



ISSN 0042-8469

3

UDC 623 + 355/359

GODINA LVII JUL-SEPTEMBAR 2009.

MINISTARSTVO ODBRANE REPUBLIKE SRBIJE

DIREKCIJA
ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

DIREKTOR

Pukovnik
Milan Crnoglavac

VOJNOIZDAVAČKI ZAVOD

Načelnik

Potpukovnik
mr *Aleksandar* Bukvić, dipl. inž.

GLAVNI UREDNIK REDAKCIJE VOJNIH ČASOPISA

Potpukovnik
Dragan Hajduković
e-mail: dragan.hajdukovic@mod.gov.rs

ODGOVORNI UREDNIK VOJNOTEHNIČKOG GLASNIKA

Potpukovnik
mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž.
e-mail: nebojsa.gacesa@mod.gov.rs
tel.: 3006-023, vojni: 23-493

UREĐIVAČKI ODBOR

Brigadni general dr *Danko* Jovanović, dipl. inž. (predsednik Odbora); brigadni general dr *Mladen* Vuruna, dipl. inž.; potpukovnik dr *Slobodan* Ilić, dipl. inž. (zamenik predsednika Odbora); pukovnik dr *Branislav* Jakić, dipl. inž.; pukovnik dr *Mladen* Pantić, dipl. inž.; pukovnik dr *Miljko* Erić, dipl. inž.; [pukovnik dr *Miljko* Popović, dipl. inž.] pukovnik dr *Marko* Andrejić, dipl. inž.; pukovnik dr *Goran* Dikić, dipl. inž.; pukovnik dr *Bojan* Zrnić, dipl. inž.; pukovnik dr *Željko* Ranković, dipl. inž.; pukovnik *Zoran* Pantić, dipl. inž.; pukovnik dr *Zoran* Filipović, dipl. inž.; pukovnik dr *Jugoslav* Radulović, dipl. inž.; dr *Dragoljub* Vujić, dipl. inž.; dr *Slobodan* Jaramaz, dipl. inž.; potpukovnik mr *Nebojša* Gaćeša, dipl. inž. (sekretar Odbora)

Sekretar redakcije
Zora Pavličević
e-mail: zora.pavlicevic@mod.gov.rs
tel.: 3201-497, vojni: 23-497

Adresa redakcije:
VOJNOTEHNIČKI GLASNIK,
Balkanska 53, Beograd
e-mail: vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs
www.dibid.mod.gov.rs
<http://scindeks.nb.rs/journaldetails.aspx?issn=0042-8469>

Pretplata: e-mail: marketing.dibid@mod.gov.rs;
tel.-fax: 3612-506; tekući račun: 840-19540845

Rukopisi se ne vraćaju.

Štampa: Vojna štamparija – Beograd, Resavska 40b

SADRŽAJ

Pukovnik dr <i>Nebojša</i> Nikolić, dipl. inž. 100 godina teorije redova čekanja	5
Pukovnik dr <i>Marko</i> Andrejić, dipl. inž., kapetan Srđan Ljubojević, dipl. inž. Operaciona istraživanja u funkciji podrške odlučivanju u sistemu odbrane	15
Potpukovnik dr <i>Slobodan</i> Ilić, dipl. inž., potpukovnik mr <i>Goran</i> Marjanović, dipl. inž. Fenomen erozije cevi naoružanja	28
Pukovnik dr <i>Dušan</i> Rajić, dipl. inž. Metoda ispitivanja kompatibilnosti sredstava lične NHB zaštite	43
Poručnik <i>Vlada</i> Sokolović, dipl. inž., poručnik <i>Veselin</i> Popović, dipl. inž. Zona detekcije radara pod dejstvom aktivnog ometanja	58
Kapetan <i>Zoran</i> Bobar, dipl.inž. Zaštita računarskih mreža Ministarstva odbrane i Vojske Srbije primenom virtuelnog honeyneta	80
Kapetan mr <i>Boban</i> Bondžulić, dipl. inž. Uvod u registraciju slika.....	88
Kapetan sc <i>Slobodan</i> Radojević, kapetan fregate mr <i>Jovica</i> Čurčić Razvoj globalnih satelitskih navigacijskih sistema	111
Dr <i>Slavica</i> Cvetković, dipl. inž. Kvalitet u transportu robe i pošiljki	127
Potpukovnik mr <i>Nebojša</i> Gaćeša, dipl. inž. XV konferencija YU INFO 2009	134
Školski avion „Lasta 95“	142
Višenamensko oklopno borbeno vozilo „Lazar“	144

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Prototip patrolnog vozila KMW „Grizli“	151
Kamion za transport municije Tatra EOD	151

STO GODINA TEORIJE REDOVA ČEKANJA

Pukovnik dr *Nebojša Nikolić*, dipl. inž.,
nebojsa.nikolic11@mod.gov.rs,
Institut za strategijska istraživanja, SPO MO

Rezime:

U radu je prikazan nastanak i razvoj Teorije redova čekanja, poznate i kao Teorija masovnog opsluživanja. Opisan je i istorijskotehnoški kontekst vremena u kojem je došlo do publikovanja prvih radova u oblasti koja će se kasnije razviti u samostalnu naučnu disciplinu. U 2009. godini Teorija redova čekanja navršava čitav vek od svog nastanka.

Ključne reči: masovno opsluživanje, redovi čekanja, Erlang.

A HUNDRED YEARS OF THE QUEUEING THEORY

Summary:

The paper presents a short review of historical development of the Queueing Theory, also known as Theory of Waiting Lines or Theory of Mass Servicing. We described historical and technological conditions at the time when first Queueing Theory papers were published. The motivation for this report comes from fact that the year 2009 is the 100th birthday of this theory.

Key words: Queueing Theory, Theory of Waiting Lines, Erlang.

Uvod

U 2009. godini navršava se sto godina od nastanka teorije redova čekanja, koja je poznata i kao teorija masovnog usluživanja (ili posluživanja). Povodom toga održaće se naučni skup u Kopenhagenu u Danskoj, uz učešće najeminentnijih naučnika za ovu naučnu disciplinu iz čitavog sveta.

Predmet izučavanja teorije redova čekanja jesu sistemi masovnog usluživanja. Teorija je posvećena kvantitativnim aspektima fenomena redova čekanja (vreme čekanja na opslugu, dužina reda čekanja, nivo iskorišćenja kanala koji vrše opsluživanje, itd.). Pod sistemom masovnog usluživanja podrazumeva se svaki sistem u kojem pojava nekog događaja, klijenta ili zahteva uzrokuje potrebu da se na nju reaguje, da se zahtev zadovolji i da

klijenta usluži određeni entitet – kanal opsluživanja. Resursi za usluživanje su, po pravilu, ograničenih mogućnosti, što znači da će prvi klijenti biti primljeni na usluživanje odmah, a oni koji pristignu kasnije moraću da sačekaju da se neki od već zauzetih kanala oslobodi. Često je pojava zahteva za usluživanjem slučajnog karaktera: ne zna se unapred kada će se tačno pojaviti zahtev za opslugom. Isti je slučaj i sa usluživanjem koje može da traje različito vreme. Ovaj opšti koncept sistema masovnog usluživanja sugerise mogućnost njegove široke primene. Rađanje teorije masovnog opsluživanja bio je odgovor nauke na probleme telefonskog saobraćaja u periodu njegove komercijalne ekspanzije u prve dve decenije dvadesetog veka.

Agner Krarup Erlang

Osnivačem teorije masovnog usluživanja najčešće se smatra Agner Krarup Erlang, (1878–1929), danski matematičar koji je prvi rad iz ove oblasti objavio 1909. godine, pod naslovom „Teorija verovatnoće i telefonski razgovori“.



Agner Krarup Erlang (1878–1929)

Agner Krarup Erlang rođen je 1. januara 1878. godine u Danskoj, u siromašnoj učiteljskoj porodici [1]. Njegov dar za učenje, a posebno matematiku, rano je uočen, što mu je pomoglo da u kasnijim studijama dobi je stipendiju. Tokom studija u Kopenhagenu upoznaje se sa teorijom verovatnoće koja će mu kasnije postati glavna preokupacija.

U to vreme su, takođe, postojale veze između univerziteta i industrije, u ovom slučaju telefonske kompanije u Kopenhagenu. Po savetu profesora matematike Erlang se posvećuje istraživanju mogućnosti primene teorije verovatnoće u rešavanju problema telefonskog saobraćaja i piše prve radove 1907. i 1908. godine, koje kasnije uobličava i dopunjuje formalnim matematičkim dokazima i objavljuje pod pomenutim nazivom u danskom matematičkom časopisu: „Nyt Tidsskrift for Matematik“ B, Vol. 20, 1909, p. 33.

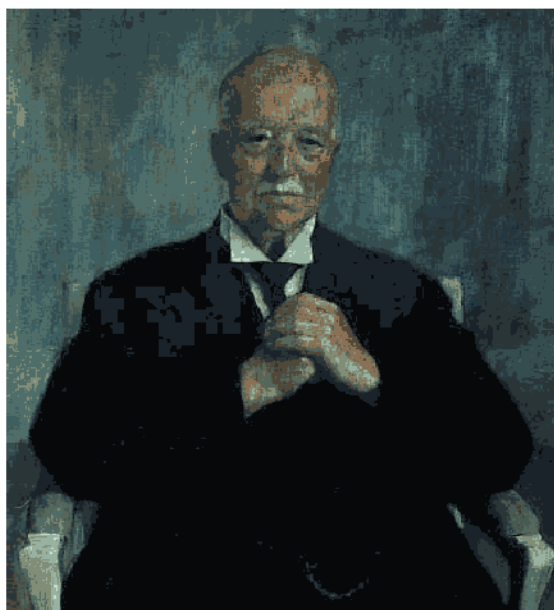
Radeći od 1908. godine u telefonskoj kompaniji u Kopenhagenu, Erlang se suočio sa problemima tadašnjeg telefonskog saobraćaja u čijem rešavanju je primenio svoja matematička znanja i razvio nove metode. Ova kompanija angažovala je Erlanga kao naučnog saradnika i rukovodioca laboratorije za istraživanja formirane pri kompaniji, gde je ostao i radio do kraja svog života. Upravo tu nastao je i Erlangov rad „Teorija verovatnoće i telefonski razgovori“, objavljen 1909. godine, koji se u naučnoj zajednici smatra prvim publikovanim radom iz oblasti teorije redova čekanja.

Jedan od prvih koraka u proučavanju realnih sistema usluživanja jeste istraživanje karaktera dolaznog toka zahteva klijenata (telefonski pretplatnici koji koriste telefon). Radi ilustracije Erlang je izradio evidenciju dužine 2461 telefonskog razgovora. Usledio je teorijski zaključak, odnosno definisanje opštije formule za skup mogućih raspodela frekvencija dužine telefonskih razgovora (danas poznata kao Erlangova raspodela).

Svoje najznačajnije delo Erlang objavljuje 1917. godine pod nazivom „Rešenje nekih problema u teoriji verovatnoće od značaja za automatski telefonski saobraćaj“ (u danskom časopisu: „Elektrotekniker“, Vol. 13, 1917., p. 3), gde je prezentovao neke od temeljnih formula za oblast koja će postati nova naučna disciplina. Formula koju je Erlang predložio daje vezu između prosečnog broja zahteva klijenata (poziva) za opsluživanje i broja raspoloživih kanala opsluživanja (servera). Formula daje verovatnoću da će, pri datim uslovima, svi kanali biti zauzeti. To znači da novi klijenti koji su došli u sistem u kojem su svi kanali opsluge zauzeti neće moći da budu odmah usluženi, odnosno odustaju od opsluge ako ne žele da čekaju. Za telefonsku kompaniju ovo odustajanje klijenata je čist gubitak. Sa druge strane, kompanija ne može sebi da priušti ni preveliki broj kanala opsluživanja, jer i to ima svoju cenu. Tom formulom data je mogućnost za razmatranje različitih scenarija po pitanju dimenzioniranja broja kanala usluživanja, pri zadatom nivou intenziteta pojave zahteva klijenata i za željeni nivo verovatnoće otkaza klijentima. Verovatnoća zauzetosti svih kanala opsluživanja, u slučaju sistema usluživanja bez čekanja, jeste verovatnoća otkaza. Otuda i široko prihvaćen termin za ovaj izraz – Erlangova formula otkaza“ („Erlang's Loss formula“). Formula Erlanga je vrlo brzo nakon objavljivanja našla široku praktičnu primenu u projektovanju i dimenzionisanju telefonskih centrala širom sveta. Originalni Erlangov rad bio je objavljen u danskom časopisu, na danskom jeziku, ali je ubrzo preveden i objavljen na engleski, francuski i nemački.

Tore Olaus Engset

Najnovija istraživanja [2] ukazuju da se, uz Erlanga, za osnivača teorije masovnog usluživanja može smatrati i norveški inženjer i menadžer Tore Olaus Engseta (1865–1943), koji je radni vek proveo (na kraju i kao generalni direktor) u norveškoj telekomunikacionoj kompaniji Telegrafverket, koja je kasnije prerasla u Telenor.



Tore Olaus Engset (1865–1943)

U vreme kada je mladi Erlang tek započinjao svoju karijeru u telefonskoj kompaniji u Kopenhagenu, radeći na problemima telefonskog saobraćaja, Engset je već bio jedan od čelnih menadžera slične kompanije u Norveškoj. Engset nije bio klasični naučnik već jedan od direktora telefonske kompanije. Menadžer Engset ostavljao je vrlo malo vremena inženjeru Engsetu, entuzijasti, pa se njegov teorijski rad uglavnom odvijao noću.

Rezultat teorijskog rada Engseta bila je neobjavljena studija iz 1915. godine od 130 strana pod nazivom „O proračunu skretnica u automatskom telefonskom sistemu“. Delove ove studije Engset je publikovao tek kasnije: 1918. i 1921. godine. Erlang i Engset sreli su se 1913. godine kada je Engset posetio telefonsku kompaniju u Kopenhagenu, pa se može pretpostaviti da su razmenili i stručna iskustva, a kasnije i sarađivali. Engsetov pristup je sasvim drugačiji i opštiji od Erlangovog, mada kao takav i sa složenijim kalkulacijama, pa i to, pored vremena objavljivanja radova, može biti jedan od razloga slabije primene u praksi i preferiranje jednostavnijeg Erlangovog pristupa.

Istorijsko-tehnološki kontekst

Krajem devetnaestog i početkom dvadesetog veka došlo je do velike komercijalne ekspanzije primene telefona. Interesantno je da su na samom početku veka (1900. godine) nordijske zemlje prednjačile u primeni telefonske tehnologije u odnosu na ostatak Evrope (sa izuzetkom Švajcarske koja je bila na nivou nordijskih zemalja), sa nekoliko puta većim procentualnim brojem telefona po stanovniku. Švedska i Norveška imale su po glavi stanovnika tri puta više telefona nego Nemačka ili Britanija, oko pet puta više od Holandije i Belgije i čak trinaest puta više od Austro-ugarske [2].

Telefon je za to vreme bio i prilično skup, a cene su varirale zavisno od poslovne politike telefonskih kompanija. Na primer, Internacionalna telefonska kompanije Bel u Oslu je 1880. godine imala godišnju telefonsku pretplatu po aparatu koja je bila jednaka dvema mesečnim platama jednog radnika na telefonskoj centrali, da bi razvojem monopola bila duplirana za samo godinu dana. Uvođenjem još jedne telefonske kompanije na tržište (nezavisna norveška kompanija Kristiania Telefonforening) cena je postala niža četiri puta već u sledećoj godini [2]. Niže cene učinile su da je telefon postao dostupniji mnogim korisnicima, što je dovelo do povećanja broja pretplatnika. Međutim, sa povećanjem broja korisnika pojačavao se i telefonski saobraćaj, što je nametalo nove zahteve u njihovom usluživanju. U to vreme telefonske centrale su, uglavnom, bile manuelne i zapošljavale su veliki broj operatera (prva takva centrala puštena je u rad 1878. godine u Njuhevenu, Konektikat, SAD).



Manuelna telefonska centrala

U Norveškoj je, na primer, kulminacija žalbi klijenata na dugo čekanje veze nastupila već od 1910. godine. Telefonska kompanija je narednih godina planirala da uvede automatske telefonske centrale, što je odloženo zbog Prvog svetskog rata i realizovano tek 1921. godine [2].

Osnovna veza između telefonskog saobraćaja i teorije verovatnoće jeste u tome da se ne zna kada će koji klijent koristiti telefonski aparat, koga će zvati i koliko dugo će razgovarati. Naravno, telefonska kompanija ne može da zna planove svih klijenata. Zato se može reći da su pozivi klijenata, sa aspekta telefonske kompanije, slučajnog karaktera. Sa druge strane, telefonska kompanija ima na raspolaganju ograničene resurse, koji imaju svoju cenu. Ako su ti resursi predimenzionirani (centrala velikog kapaciteta), klijenti će biti brzo usluženi jer će uvek biti slobodnog radnika na centrali koji će ih uslužiti (kanal usluživanja). To je odgovarajuća opcija za radnike na centrali, jer nisu mnogo zauzeti, ali i za klijente koji su zadovoljni, jer ne čekaju na opslugu. Međutim, telefonska kompanija to mora da plati, ali će imati finansijske gubitke. Ako su resursi poddimenzionirani radnici na centrali biće bolje radno iskorišćeni, ali će klijenti morati duže da čekaju na uslugu, pa će biti nezadovoljni. Situacija sa nezadovoljnim klijentima, dugoročno posmatrano, takođe vodi kompaniju u gubitke. Prema tome, mora se naći kompromis između ove dve krajnje opcije, odnosno neki način da se izloženi problem kvantifikuje i optimalno reši prema zadatim kriterijumima.

Traganja za kvantifikovanim opisom i rešavanjem problema rada telefonskih centrala u prvoj i drugoj deceniji dvadesetog veka u Danskoj (Agner Krarup Erlang) i Norveškoj (Tore Olaus Engset) upravo su rezultirala nastankom i razvojem naučne discipline koja nosi naziv teorija masovnog upsluživanja.

Andrej Nikolajevič Kolmogorov

Snažan impuls razvoju teorije masovnog usluživanja dao je ruski naučnik Andrej Nikolajevič Kolmogorov (1903–1987), koji je 1931. godine pokazao vezu između stohastičkih procesa Markovskog i jedne klase diferencijalnih jednačina. To je omogućilo opis stanja sistema masovnog usluživanja preko verovatnoća tih stanja. Sa aspekta verodostojnog modelovanja realnih sistema rezultati Kolmogorova su od ogromnog značaja, jer omogućavaju opisivanje dinamičke (vremenski zavisne) prirode rada realnih sistema. Nešto kasnije, 1933. godine, Kolmogorov je dao i aksiomatiku teorije verovatnoće, čime je ona i u najstrožem smislu definisana kao nauka.



Andrej Nikolajevič Kolmogorov (1903–1987)

Interesantno je istaći da potpuni matematički opis jednog sistema masovnog usluživanja predstavlja sistem diferencijalnih jednačina stanja sistema (poznate i kao Kolmogorove ili Erlangove jednačine). Prvo publikovano potpuno rešenje (za dinamički odziv sistema) za najjednostavniji sistem masovnog usluživanja (jednokanalni sistem, Poasonov protok klijenata i eksponencijalno vreme usluživanja) pojavilo se tek 1956. godine (rad Ledermana i Rojtera), što svedoči o matematičkoj složenosti teorije masovnog usluživanja.

Dejvid G. Kendal

Prvu sistematizaciju označavanja sistema masovnog usluživanja dao je D. G. Kendal, 1953. godine. Uveo je jednostavnu oznaku tipa A/B/C, gde je: A-tip ulaznog toka klijenata; B-tip izlaznog toka klijenata; C-broj kanala usluživanja. Kasnije su dodata i proširenja osnovne oznake koja obuhvataju i: broj mesta u redu čekanja i vrstu discipline pristupa serveru iz reda čekanja („prvi prispeo, prvi uslužen“, ili „poslednji prispeo, prvi uslužen“, itd.). U njegovu čast, ova vrsta standardizacije označavanja tipa sistema usluživanja naziva se Kendalova oznaka.

Filip Morze (1903–1985)

Prva knjiga posvećena teoriji masovnog usluživanja je „Queues, Inventory and Maintenance“ (u slobodnom prevodu: „Repovi, zalihe i održavanje“), iz 1958. godine, autora Filipa Morzea. Bukvalnim prevodom engleske reči „queue“ nastao je termin „repovi“ i „teorija repova“, koji se mogu naći u starijim izdanjima pisanim na nekadašnjem srpskohrvatskom jeziku.

Filip Morze bio je profesor na čuvenom univerzitetu MIT (Masačusetski tehnološki institut) više od 30 godina, gde je 1956. godine osnovao Centar za operaciona istraživanja. Smatra se za jednog od osnivača operacionih istraživanja u SAD. Tokom Drugog svetskog rata organizovao je istraživačku grupu za proučavanje operacija u protivpodmorničkom ratovanju.

Interesantno je da se upravo u Morzeovoj knjizi može naći praktično upotrebljiva teorijska aproksimacija za dužinu trajanja prelaznog režima rada za najosnovniji model sistema usluživanja (jednokanalni sistem usluživanja sa Poasonovim ulaznim tokom klijenata i eksponencijalnim tipom raspodele usluživanja). Problem prelaznog režima rada svoju punu afirmaciju dobio je nešto kasnije – sa širom primenom simulacionih metoda u opisu i rešavanju sistema masovnog usluživanja, što traje do današnjih dana. Korišćenjem te jednostavne formule može se lako odrediti vreme trajanja prelaznog perioda za SMO tipa $M/M/1/\infty$, u funkciji nivoa opterećenosti. Praktičan značaj problema prelaznog režima rada SMO u proučavanju realnih sistema može se videti u [7] i [8].

Džon Litl

Džon Litl prvi je izveo dokaz formule koja daje direktnu vezu intenziteta ulaznog toka klijenata, srednjeg vremena čekanja i srednjeg broja klijenata u redu čekanja, koji se po njemu naziva Litlova teorema. To je jedan od najopštijih teorijskih rezultata, koji jeste logičan i intuitivan, ali je Litl bio prvi koji je to matematički dokazao.

Metode Monte Karlo i teorija redova čekanja

Na izmene ove teorije danas utiču problemi modernih telekomunikacija (mobilna telefonija, internet, lokalne računarske mreže, itd.), ali i drugi vidovi saobraćaja (vazdušni, pomorski, kopneni), usluga, trgovine i vojne primene.

Teoriju redova čekanja karakteriše izuzetno velika matematička složenost, što znači da za mnoge složene modele i uslove rada praktično ne može da pruži upotrebljiva rešenja. Potvrda o izuzetnoj složenosti teorije redova čekanja može se naći i u [3] i [4], kao nekim od najcitiranijih sveobuhvatnih knjiga za teoriju masovnog usluživanja. I upravo tu gde je praktična moć klasične teorije masovnog usluživanja iscrpljena, stupaju na scenu metode simulacionog modelovanja slučajnih procesa, poznatije kao simulaciono modelovanje Monte Karlo.

Od sredine dvadesetog veka u proučavanju sistema masovnog opsluživanja, pored tradicionalne matematičke metodologije, intenzivno se koristi i metodologija simulacionog modelovanja Monte Karlo. Simulacio-

no modelovanje i njegova primena je poseban fenomen u nauci i praktično je nezamislivo bez blagodeti informacionih tehnologija (moćni računari i odgovarajući softver). Ime i sistematski razvoj metoda Monte Karlo praktično počinje od 1944. godine i čuvenog projekta Menhetn u okviru kojeg je razvijana atomska bomba. Istraživanja su podrazumevala simulaciju probabilističkih problema: difuzija neutrona u fisionom materijalu je stohastičkog (slučajnog) karaktera. Sa matematičkog aspekta rulet je jednostavni generator slučajnih brojeva, a grad Monte Karlo, kao prestonica ruleta i kocke Formalno, metoda Monte Karlo nastala je 1949. godina, kada je objavljen istoimeni članak Metropolis i Ulama. Ova metoda obezbeđuje približna rešenja za niz matematičkih problema primenom statističkog uzorkovanja eksperimenata nad računarskim modelima.

Vojna oblast i teorija redova čekanja

Brojni su sistemi, procesi i situacije u vojnoj oblasti koji se mogu prikazati kao sistemi masovnog usluživanja. Složenost ovih modela diktirana je realnošću, pa se, pored klasične teorije redova čekanja, intenzivno koriste metodi simulacionog modelovanja Monte Karlo.

Moderno ratovanje odlikuje se visokim intenzitetom dejstava i angažovanja, nelinearnostima, asimetričnošću i relativno kratkim trajanjem. Bojevi i ratovi uvek su neizvesni, a resursi koji se daju vojnim snagama često izgledaju nedovoljni za date zadatke. U svakom ratu oduvek su postojale bar dve strane koje su jedna drugu „usluživale“ na bojnopolju. Ofanzive su trajale nedeljama i mesecima, a ratovi godinama. Moderno doba skratilo je vreme ratova na nivo od nekoliko meseci ili čak nedelja (bojevi ili pojedinačne „kampanje“ se mere danima), ali je povećalo intenzitet i složenost dejstava i naprezanje resursa, pri čemu je neizvesnost ostala i dalje najvažnija konstanta. Ovakva konstelacija složenih faktora nametnula je imperativnu potrebu primene metode simulacija Monte Karlo u proučavanju savremenih problema u vojnoj oblasti koji su konceptualno opisivi kao sistemi redova čekanja. Više informacija o simulacionom modelovanju Monte Karlo, mogućnostima i ograničenjima teorije redova čekanja, kao i ključnim izazovima na tom polju, nalazi se u [9].

Umesto zaključka

Teorija redova čekanja i simulaciono modelovanje Monte Karlo zasnovani su na rezultatima teorije verovatnoće. Još 1812. godine čuveni francuski naučnik Pjer Simon Laplas je u svojoj knjizi „Analitička teorija verovatnoće“ rekao da je fascinantno da nauka koja je počela svoj razvoj

proučavanjem problema igara na sreću treba da postane najvažniji predmet ljudske preokupacije. Najvažnija pitanja života su većim delom, u stvari, problemi verovatnoće.

Literatura

- [1] Brockmeyer, E., Halstrom H., Jensen A., *The life and works of A. K. Erlang*, The Copenhagen Telephone Company, Copenhagen, Danmark, 1948.
- [2] Stordahl, K., *The History Behind the Probability Theory and the Queuing Theory*, Teletronikk, No.2, 2007., str. 123–140
- [3] Kleinrock, L., *Queueing systems, Volume I: Theory*, John Wiley & Sons, New York, 1975.
- [4] Gross, D., Harris, M. C., *Fundamentals of queueing theory*, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [5] Morse, P. M., *Queues, inventories and maintenance*, John Wiley & Sons, New York, 1958.
- [6] Vukadinović, S., *Masovno opsluživanje*, Naučna knjiga, Beograd, 1988.
- [7] Nikolić, N., *Korisnički aspekt prelaznog režima rada sistema masovnog opsluživanja*, Vojnotehnički glasnik, br. 4, 2007., str. 429–440.
- [8] Nikolić, N., *Limitations of theoretical and commonly used simulation approaches in considering military queueing systems*, Proceedings 15th European Simulation Symposium, Delft, Holland, Oct. 2003., str. 602–607.
- [9] Nikolić, N., *Monte Carlo Modeling of Military Queueing Systems – Challenge of the Initial Transience*, monografija, Zadužbina Andrejević i Institut za strategijska istraživanja, Beograd, 2008., (www.zandrejevic.org).

OPERACIONA ISTRAŽIVANJA U FUNKCIJI PODRŠKE ODLUČIVANJU U SISTEMU ODBRANE

Pukovnik dr *Marko Andrejić*, dipl. inž., markolis@sezampro.rs,
kapetan Srđan Ljubojević, dipl. inž., srdjanlj@ptt.rs,
Vojna akademija

Rezime:

Savremeni trendovi analitičke pripreme odluke promovišu područje operacionih istraživanja u svim delatnostima, pa i u sistemima odbrane. U radu su prikazani: kratak pregled suštinskih karakteristika operacionih istraživanja, područja moguće primene u sistemu odbrane, kao i pravci njihovog daljeg razvoja.

Ključne reči: odlučivanje, operaciona istraživanja, sistem odbrane.

OPERATIONAL RESEARCHES AS A SUPPORT TO DECISION-MAKING PROCESSES IN DEFENCE SYSTEMS

Summary:

Current analytical decision preparation trends promote operational researches in every activity, including defence systems. The paper gives a brief overview of the essential operational research characteristics and the areas of possible applications within defence systems as well as the directions of their further development.

Key words: Decision making, Operational researches, Defense system.

Uvod

Upravljanje složenim sistemima najkompleksniji je, a time i najteži zadatak menadžera. Njihov uspeh u realizaciji tog zadatka u velikoj meri zavisi od kvaliteta odluka koje donose. Rezultati menadžerskih odluka direktna su mera uspešnosti menadžmenta.

Odluke su srž svakodnevnih menadžerskih aktivnosti. Sa globalizacijom i povećanjem dinamičnosti poslovanja procesi donošenja odluka – odlučivanja postali su zahtevniji. Kvalitetna odluka zahteva sve opsežniju pripremu, a sam proces odlučivanja, usled toga, postaje sve formalizovaniji.

Metodologija pripreme i podrške procesa odlučivanja zavisi od karaktera problema, tipa odluke i hijerarhijskog nivoa organizacije na kojem se ta odluka donosi. Od mnogobrojnih klasifikacija koje se odnose na odluke i proces odlučivanja, proisteklih iz radova niza autora, moguće je izdiferencirati nekoliko najčešćih pristupa. Tako, može se prihvatiti podela odluka na programirane (rutinske) i neprogramirane (inovativne) – u smislu učestalosti pojavljivanja problema i postojanja utvrđenih načina njihovog rešavanja. Sa druge strane, prema karakteru problema i hijerarhijskom nivou organizacije na kojem se odluke donose razlikuju se operativne (pandan taktičkim odlukama u vojnoj terminologiji), taktičke (pandan operativnim odlukama u vojnoj terminologiji) i strateške odluke. Sam proces odlučivanja najčešće se klasifikuje prema stepenu poznavanja faktora koji utiču na odluku (odlučivanje pri izvesnosti, odlučivanje pri riziku i odlučivanje pri neizvesnosti) [1].

Neposredno izučavanje procesa pripreme i donošenja odluka počinje relativno kasno, tek tridesetih godina XX veka. Pre toga izučavanje procesa odlučivanja svodilo se na sprovođenje analiza odlučivanja, u krajnje oskudnoj formi, isključivo u domenu pojedinačnih naučnih disciplina, bez značajnijeg uopštavanja i bez učešća stručnjaka i specijalista iz oblasti odlučivanja. Pri tome, uporište se nalazilo u saznanjima matematike i ekonomije, uz ključnu pretpostavku da donosilac odluke reaguje na potpuno predvidiv način, te je usled toga potrebno imati na raspolaganju samo određeni skup pravila koja vode ka dobroj odluci [2].

Pre tridesetih godina XX veka najveći deo interesovanja u oblasti odlučivanja bio je akademskog karaktera, što je rezultovalo razlikama između praktičnih potreba donosioca odluka i teorijskih saznanja, koja su do tada prihvaćena. Približavanje ta dva interesa počelo je nakon I svetskog rata. Do šezdesetih godina XX veka težište interesovanja usmerilo se ka učenju i razvijanju metoda i tehnika odlučivanja, radi dobijanja optimalnih rešenja različitih problema. Krajem XX veka došlo je do nagle ekspanzije višekriterijumskog odlučivanja, kao naredne faze u sve intenzivnijoj primeni kvantitativnih metoda u rešavanju realnih problema. Nagli razvoj računarske tehnike i informacionih sistema uvodi višekriterijumsko odlučivanje na velika vrata u procese odlučivanja.

Specifičnim pristupom primene informacionih sistema u procesima odlučivanja nametnuli su se tzv. sistemi za podršku odlučivanju. U kombinaciji sa ekspertnim sistemima oni obezbeđuju „inteligentnu“ podršku odlučivanju, što predstavlja savremen i moćan instrument koji stoji na raspolaganju donosiocima odluka, na svim nivoima.

Cilj ovog rada jeste da se operaciona istraživanja približe poznavao-cima realnog sistema odbrane i njegovih podsistema i inicira njihovo opsežnije izučavanje i primena u operativnoj praksi sistema odbrane.

Operaciona istraživanja – pojam i uloga u procesu odlučivanja

Analizom modela procesa odlučivanja moguće je uočiti nekoliko faza procesa, zajedničkih za većinu modela, iako autori govore o različitom broju faza modela. Ali, bez obzira na način na koji autori diferenciraju i imenuju faze procesa odlučivanja, u njima se uvek mogu uočiti iste ili ekvivalentne aktivnosti (prikupljanje podataka, analiza podataka, generisanje alternativnih rešenja, komparacija ili evaluacija rešenja i sl.).

Sadržaj tih aktivnosti ukazuje na činjenicu da je za njihovu realizaciju potrebno utrošiti mnogo vremena, sredstava i energije. Usled dinamičnih uslova poslovanja, složenosti problema i vremenskih ograničenja za njihovo rešavanje, menadžeri često pribegavaju intuitivnom rešavanju problema, izbegavajući naučni pristup. Intuitivno odlučivanje, naravno, nije a priori pogrešno. Veliki broj organizacija značajnu pažnju posvećuje upravo negovanju i razvoju ovog načina odlučivanja, naročito na strateškom nivou. Ali, ni jedna organizacija se ne odriče sistemskog, naučnog pristupa odlučivanju, već naprotiv, sve teže njegovom razvoju, najčešće putem formalizacije procesa odlučivanja. Tome u prilog govore i podaci da još od šezdesetih godina XX veka u velikim svetskim korporacijama, kao posebne celine, kadrovski veoma brojne, egzistiraju organizacione jedinice koje se bave primenom naučnih metoda za pripremanje odluka [3].

Primena dostignuća moderne organizacije rada i teorije odlučivanja danas predstavlja premisu savremenog upravljanja složenim procesima u bilo kojoj oblasti ljudske delatnosti. Metode optimizacije u teoriji odlučivanja postale su nezaobilazne. Teško je pod jednim pojmom grupisati brojne pristupe koji zastupaju to mišljenje, ali se može prihvatiti da suština metoda operacionih istraživanja najbliže određuje te stavove. Uostalom, metode operacionih istraživanja su teoriji odlučivanja upravo i dale epiteze nauke.

U teoriji i praksi prisutne su različite definicije operacionih istraživanja (*Operational Research* ili *Operations Research* u angloskaskom, odnosno *Исследование операций* u ruskom govornom području), ali ni jedna od njih u potpunosti ne izražava njihove mogućnosti, namenu i primenu. Zavisno od hronološkog i lokacijskog aspekta, odnosno stepena razvoja nauke i tehnologije i preovladavajućih društvenih uslova u konkretnom okruženju, različiti autori ističu različite aspekte operacionih istraživanja, majorizujući ili minorizujući njihov značaj i ulogu. Tako ih jedni nazivaju „receptom za rešavanje svih problema“, dok ih drugi smatraju „veštinom davanja loših odgovora na ona praktična pitanja na koja se daju još lošiji odgovori drugim načinima“.

Još 1962. godine *Britansko društvo za operaciona istraživanja* definisalo je operaciona istraživanja kao naučni pristup i upotrebu formalnih matematičkih modela u istraživanju složenih problema koji se javljaju u

upravljanju i rukovođenju velikim sistemima, koje sačinjavaju ljudi, mašine, materijali i novčana sredstva, u industriji, trgovini, raznim oblicima vlasti i u odbrani. Za razliku od ovog, uglavnom teorijskog pristupa operacionim istraživanjima, stav *Američkog društva za operaciona istraživanja (ORSA)* više je usmeren ka praksi. Prema njemu, operaciona istraživanja predstavljaju naučni pristup donošenju odluka, jer se na naučnoj osnovi bave odlučivanjem o načinima najboljeg projektovanja i upotrebe sistema, obično u uslovima koji zahtevaju raspodelu nedovoljnih resursa.

Veliki broj autora prihvata operaciona istraživanja kao naučnu teoriju, koja na osnovu matematičkih istraživanja zakonitosti ciljno usmerenih (svrsishodnih) procesa daje kvalitativnu osnovu za izbor optimalnih rešenja u konkretnim uslovima.

Pošto se govori o usmerenim dejstvima, pod efikasnošću operacija podrazumeva se stepen njihovog prilagođavanja izvršavanju konkretnih zadataka. Operacionim istraživanjima u tom smislu smatra se teorija koja na osnovu istraživanja i matematičkog opisa objektivnih zakonitosti usmerenih procesa ljudske delatnosti, uzimanjem u obzir njihovog toka, pomaže dobijanju kvantitativne argumentacija (preporuka) za donošenje racionalnih odluka u oblasti upravljanja tim procesima [4].

Radni aparat i karakteristike primene operacionih istraživanja

Zadacima operacionih istraživanja, kao primenjene i eksperimentalne nauke, smatraju se opis ponašanja sistema ili procesa, analiza (simulacija) ponašanja sistema ili procesa u izmenjenim uslovima i predviđanje tog ponašanja u budućnosti [5]. U procesima opisa, analize i predviđanja teorija operacionih istraživanja koristi, u vidu radnog, matematičkog aparata disciplina kao što su: matematička analiza, teorija verovatnoće, teorija igara, statistička teorija, matematička logika, linearno, nelinearno i dinamičko programiranje, teorija masovnog opsluživanja, heurističko-matematičko programiranje i dr.

Metode operacionih istraživanja razlikuju se međusobno po generalnosti – širini obuhvata (veličini skupa problema koji se njima mogu rešavati) i snazi – mogućnostima (efikasnosti pronalaženja rešenja problema). Veliki broj metoda i tehnika operacionih istraživanja najčešće se klasifikuje na metode i tehnike [6]:

- linearnog programiranja,
- nelinearnog programiranja,
- celobrojnog programiranja,
- dinamičkog programiranja,
- heurističkog programiranja,
- teorije igara (teorije upravljanja konfliktnim situacijama),

- optimalnog rezervisanja,
- mrežnog planiranja,
- upravljanja zalihama,
- masovnog opsluživanja,
- višekriterijumskog (višeatributnog i višeciljnog) odlučivanja,
- teorije pouzdanosti, obnavljanja i optimalnog rezervisanja (logistika - industrijsko inženjerstvo), itd.

Osnovna karakteristika operacionih istraživanja je razvijanje matematičkog modela sistema ili procesa koji se posmatra, na osnovu kojeg će biti moguće predviđanje i upoređivanje posledica varijanti u procesu odlučivanja. U skladu s tim, suština metoda operacionih istraživanja jeste nastojanje da se vrednost postavljenog cilja optimizuje i time na racionalnoj osnovi pripremi konačna odluka.

Iako na ciljeve svakog poslovnog sistema deluje veliki broj uticajnih faktora, svi oni mogu se podeliti u dve grupe [5]:

- podaci - kao prirodne ili institucionalno date veličine, koje se mere ili opažaju i na koje se ne može uticati i
- parametri odluke - kao veličine koje se mogu svesno menjati unutar datih granica (same granice su veličine koje pripadaju klasi podataka i ne mogu se menjati).

I dok su podaci i parametri odluke veličine međusobno povezane sistemom funkcija ograničenja, koje određujuće utiču na optimalnu vrednost postavljenog cilja, veličine cilja i relevantnih faktora međusobno su povezane funkcijom cilja. Optimalno rešenje predstavlja ona kombinacija uslova koja daje željenu ekstremnu vrednost funkcije cilja, prema usvojenom kriterijumu optimizacije (minimumu – ako funkcija cilja predstavlja neki vid troškova, odnosno maksimumu – ako funkcija cilja predstavlja neki vid dobiti). Vrednost funkcije cilja je pokazatelj efektivnosti pojedinih varijantnih rešenja i ujedno kriterijum selekcije varijanti odluka.

Kako je kod složenih sistema i procesa teško jednoznačno izabrati pokazatelj efektivnosti (postoji više pokazatelja), a da bi se mogli donositi sudovi o apsolutnoj i relativnoj efikasnosti različitih varijanti odluka moraju se odabrati određeni kvalitativni pokazatelji – tzv. *kriterijumi efikasnosti*.

Kriterijum efikasnosti je ključni pojam operacionih istraživanja i predstavlja njihovu najvažniju polugu u praktičnoj upotrebi. Efikasnost se najčešće definiše kao mera ekonomičnosti korišćenja resursa u sistemu, tj. kao odnos izlaznih (ostvarenih rezultata) i ulaznih (upotrebljenih resursa) parametara sistema. Pod pojmom *kriterijum efikasnosti*, u domenu operacionih istraživanja, podrazumeva se kvantitativni pokazatelj (pokazatelji) na osnovu kojeg se procenjuju varijante odluka i vrši izbor jedne od njih. Njime se izražava stepen postizanja konkretnog cilja. Stoga, kriterijumi efikasnosti moraju objektivno da karakterišu sistem ili proces koji se analizira, moraju imati direktnu vezu sa krajnjim ciljem sistema (procesu), moraju biti osetljivi prema promeni

veličina i vrednosti koje treba odrediti u istraživanju, treba da budu jednostavni za izračunavanje, grafičku prezentaciju i analiziranje. Donosiocu odluke moraju jasno ukazivati na prednosti i nedostatke određene varijante odluke.

Za kriterijume efikasnosti često se uzimaju verovatnoće određenih događaja ili prosečne vrednosti (matematička očekivanja) određenih slučajnih veličina.

Ali, primena u praksi ima još jedan otežavajući aspekt. Kako se pomoću matematičkih metoda ne mogu u potpunosti precizno opisati složeni procesi u realnim sistemima, niti ceniti sva višestranost složenih procesa, mora se uvažiti preporuka o razumnom odnosu iskustva kompetentnih donosioca odluka, njihove intuicije i talenta, sa matematičkim metodama i tehničkim (računarskim) sredstvima u procesu odlučivanja.

S obzirom na to da se navedenim metodama i tehnikama operacionih istraživanja obezbeđuju samo kvantitativno izražene osnove za izbor optimalnog rešenja, pri donošenju odluke neophodno je uzeti u obzir i elemente kvalitativne prirode, koje nije moguće ili je veoma teško precizno kvantitativno izraziti. Drugim rečima, radi sveobuhvatnog tretiranja pojava i procesa odgovarajućim metodama i tehnikama operacionih istraživanja, potrebno je parametre kvalitativne definisanosti pojava i procesa kvantifikovati, tj. izraziti kvantitativnim karakteristikama.

Izražavanje kvalitativnih karakteristika pojava kvantitativnim parametrima moguće je pomoću odgovarajućih matematičkih operacija, primenom relativno složenog matematičkog aparata i uz pomoć savremene računarske tehnike. Međutim, i samo kvantitativno istraživanje usmereno je unapred izabranim ili zadatim kvalitativnim zahtevima, koji su opet brojčano izraženi. Za rešavanje ovakvih i sličnih problema razvijen je niz metoda i tehnika koje pripadaju posebnim oblastima operacionih istraživanja, poznatim pod nazivom teorija grubih skupova, teorija fuzzy skupova (fuzzy logika) i neuronske mreže. Uz ključnu, a time i nezaobilaznu ulogu stručnjaka – eksperata koji poznaju posmatrani sistem, pojavu ili proces moguće je kvalitativne opise predmeta posmatranja prevesti u kvantitativne i tako omogućiti primenu neke od metoda optimizacije, bez opasnosti da se sistem, pojava ili proces previše pojednostavi i aproksimira pri modelovanju.

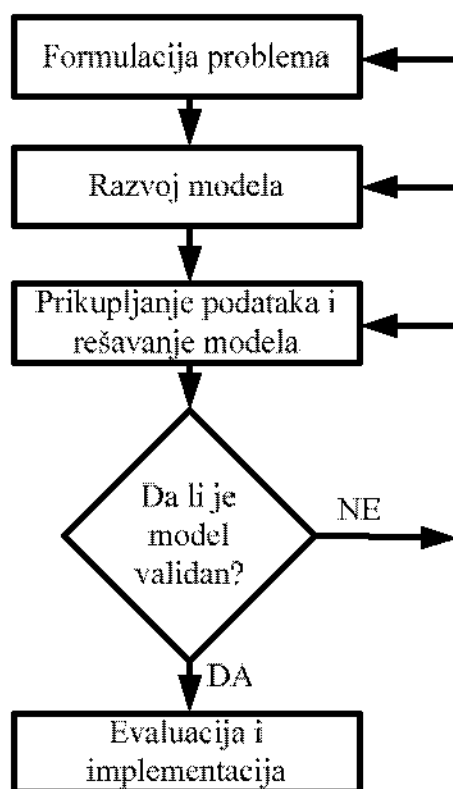
S obzirom na zadatak usmeravanja, glavni kvalitativni zahtev predstavlja ostvarenje maksimalne efikasnosti. Efikasnost može da se izrazi nizom kvalitativnih parametara: nanošenje maksimalne štete protivniku, uništavanje najvećeg broja otkrivenih neprijateljevih ciljeva, nanošenje najvećeg mogućeg razaranja najvažnijim i najopasnijim objektima neprijatelja, uništavanje protivnika uz najmanji mogući utrošak municije, maksimalan broj proizvedenih sredstava, maksimalna zarada – dobit, maksimalan broj prodatih sredstava (izvoz), najdelotvornija ishrana, itd.

Pre nego što se pristupi rešavanju zadatka, potrebno je sa operativno-taktičkog aspekta izabrati kvalitativni kriterijum koji najviše odgovara uslovima konkretne situacije i zatim ga izraziti kvantitativno. Tako izraženi kvalita-

tivni zahtevi postaju kriterijumi efikasnosti i određuju tok i, u krajnjem, rezultat daljeg kvantitativnog rešavanja postravljenog zadatka. Rezultat rešavanja zadatka predstavlja kvantitativnu meru ispunjavanja postavljenih kvalitativnih zahteva i pruža preporuke za donošenje valjanih odluka.

Sa aplikativnog aspekta, do rešenja problema pomoću operacionih istraživanja dolazi se kroz nekoliko faza, slika 1, [7]:

- definisanje problema,
- izrada matematičkog modela,
- rešavanje modela (prikupljanje ulaznih podataka, utvrđivanje kriterijuma optimalnosti i ograničavajućih uslova i sl.) i
- dolaženje do optimalnog rešenja, njegovo testiranje i primena.



Slika 1 – Faze primene operacionih istraživanja

Kada je identifikovan problem i određen cilj istraživanja, model procesa sagrađen, odabrane moguće varijante rešenja i utvrđeni kriterijumi efikasnosti, potrebno je da se na osnovu tih kriterijuma zasnuju preporuke za izbor najracionalnije varijante iz skupa generisanih.

Nemogućnost da se odredi jedinstvena varijanta, koja bi premašivala sve ostale po izabranim kriterijumima, nekada dovodi do težnje da se nekoliko kriterijuma efikasnosti grupiše u jedan uopšteni. Usled toga, izbor najbolje odluke u konkretnoj situaciji najčešće se ne svodi na matematički zadatak klasičnog maksimuma ili minimuma, već na detaljnu heurističku analizu jakih i slabih strana čitavog niza varijanti odluka, uz obavezno uvažavanje uslova njihovog ostvarivanja i mogućeg (svesnog ili nesvesnog) uticaja okruženja.

Težnja ka kvantitativnim vrednostima u primeni metoda operacionih istraživanja može navesti na pogrešan zaključak da operaciona istraživanja, u suštini, predstavljaju modifikovanu varijantu kvantitativne analize sistema, matematike ili neke druge oblasti. Ali, među njima postoje značajne razlike.

U operacionim istraživanjima težište je na izradi logičkog modela matematičkog karaktera, koji omogućava da se na osnovu utvrđenog kriterijuma i za određena ograničenja utvrdi optimalno rešenje.

Suština analize sistema je u posmatranju problem u celini i sagledavanju više mogućih rešenja analiziranog problema. Analiza sistema razmatra ponašanje složenih sistema kod kojih nije moguće definisati sve promenljive veličine i odnose među njima, pri čemu za merljive elemente koristi operaciona istraživanja – što znači da su metode operacionih istraživanja, kao i druge kvantitativne metode, važan deo analize sistema.

Analizirane varijante, pomoću kojih se mogu ostvariti usvojeni ciljevi, treba ispitati najpre u pogledu primerljivosti, a zatim i u pogledu efikasnosti. Pri tome se moraju uzeti u obzir i parametri kao što su vreme i rizik.

Takođe, operaciona istraživanja jesu naučna teorija koja široko koristi matematički aparat, ali ih ne treba poistovećivati ni sa matematikom.

Za razliku od matematike – nauke apstraktnog karaktera, teorija operacionih istraživanja je predmetna i proučava konkretne oblasti ljudske aktivnosti. Kao nauka o kvantitativnim odnosima i prostornim formama stvarnog sveta, matematika, pri formulisanju svojih zakona i pravila, apstrahuje konkretan sadržaj tih formi.

I u odnosu na druge slične discipline operaciona istraživanja mogu se jasno diferencirati. Evidentno je da postoji niz sličnosti, ali i razlika.

Područja primene operacionih istraživanja – primena u sistemu odbrane

S obzirom na interdisciplinarnu prirodu operacionih istraživanja, njihova primena nije ograničena na pojedine oblasti ljudske delatnosti. Operaciona istraživanja mogu imati aplikacije u skoro svim područjima rada, iako su ponikla na polju odbrambenih i ekonomskih sistema.

Naime, začetke primene operacionih istraživanja pojedini autori vezuju za starogrčkog matematičara i fizičara Arhimeda i zadatak da pronađe efikasnu odbranu grada Sirakuze (300. godina pre n. e.) od napada rimske flote. Deo autora smatra da se prvi pokušaji kvantifikovanja ekonomskih problema i opisa merljivih interakcija između određenih činilaca u ekonomiji mogu sresti u XVIII veku (1758. godine), kod francuskog fizičara i ekonomiste Kvisnija (Quesnay), u njegovom delu „Tableau Economique“. Primena elemenata operacionih istraživanja u kvantifikovanju proizvodnih faktora i upravljanju preduzećima sreće se, prvi put, u radovima Frederika Tejlora („Principles of Scientific Management“, 1911. godine).

Kada je reč primeni operacionih istraživanja u sistemu odbrane prihvaćeno je mišljenje da je kvantitativni pristup istraživanju operacija nastao neposredno pred Drugi svetski rat i tokom njega, a usled strateških i logističkih potreba koje su imale, do tada, nezabeležen raspon i složenost.

Sa aspekta današnjeg shvatanja operacionih istraživanja (interdisciplinarni pristup analizi realnih sistema i procesa, timski rad i sl.) njihovo nastajanje vezuje se za Veliku Britaniju (ratno vazduhoplovstvo) i Sjedinjene Američke Države u kojima su formirani interdisciplinarni timovi, sastavljeni od poznavalaca realnih sistema i procesa, inženjera, matematičara i fizičara, privrednika i naučnika drugih profila, sa zadatkom da analiziraju složene vojne procese i sisteme i predlože rešenja određenih problema vezanih za njihovo funkcionisanje i upravljanje (pronaznak radara, proučavanje izvođenja vojnih operacija, problemi protivpodmorničke borbe, projektovanje rakete „Polaris“ i dr.). Na prednosti primene operacionih istraživanja nisu ostale imune ni ruske oružane snage. Prvi primeri primene operacionih istraživanja u SSSR-u vezuju se za rešavanje problema raseljavanja rezervi borbenih potreba i za transportne probleme.

Danas, primena operacionih istraživanja naročito daje zadovoljavajuće rezultate ako se radi o rešavanju problema optimalnog izbora i angažovanja tehničkih sistema čije su karakteristike poznate [8].

U nizu problema, iz domena sistema odbrane, koji se mogu tretirati ovim metodama i tehnikama, mogu se izdvojiti:

- istraživanje optimalnih strategija,
- optimizacija utroška resursa,
- planiranje obrazovanja i usavršavanja kadrova,
- razrada modela oružane borbe,
- simulacija ratnih igara,
- razrada modela logističke podrške,
- optimizacija pri projektovanju naoružanja i vojne opreme,
- optimalno planiranje iskorišćenja resursa,
- izbor optimalnih lokacija razmeštaja sredstava i jedinica,
- simulacija složenih logističkih procesa (snabdevanje, održavanje, transport) i izbor optimalne varijante,

- upravljanje zalihama,
- opsluživanje korisnika,
- planiranje kretanja,
- optimizacija organizacione strukture,
- prognoziranje razvoja naoružanja i opreme
- optimizacija ishrane,
- optimizacija proizvodnje, izvoza, uvoza i sl.

Trendovi daljeg razvoja metoda i tehnika operacionih istraživanja vode ka fazifikaciji metoda operacionih istraživanja primenom fazi logike i teorije fazi skupova (umesto „čvrstih“ i preciznih vrednosti prihvataju se i obrađuju se „meke“ – rasplinite vrednosti i pokušavaju se obuhvatiti nepreciznosti i neodređenosti koje su imanentne čovekovim saznavnim procesima, kao što su mišljenje i rezonovanje – zasnovani na rečima).

Sem toga, krajem XX veka uvedena je i nova računarska disciplina, kao alternativa klasičnoj veštačkoj inteligenciji, pod nazivom računarska inteligencija (computational intelligence), zasnovana na soft computing-u, tj. mekom računarstvu, koje predstavlja osnovu računarske inteligencije, odnosno skup metodologija koje omogućavaju konceptualizaciju, dizajn i primenu inteligentnih sistema. Glavni činioci mekog računarstva su: fazi logika, neuroračunarstvo, genetsko računarstvo i probablističko računarstvo. Navedene tehnike su pre komplementarne nego suprotstavljene jedna drugoj, pa se često koriste u kombinaciji, dovodeći na taj način do formiranja hibridnih inteligentnih sistema i njihove primene u podršci odlučivanju.

Primena operacionih istraživanja u sistemima odbrane drugih država

Metode i tehnike operacionih istraživanja se u različitoj meri primenjuju u sistemima odbrane različitih država. Nivo primene zavisi od niza faktora, među kojima su najuticajniiji ekonomska razvijenost države, odnosno investiranje u razvoj sistema odbrane i posedovanje stručnog kadrovskog potencijala.

Prema [9], jedan od opštih razloga manje primene metoda i tehnika operacionih istraživanja u sistemima odbrane pojedinih država jeste i u prevelikoj međusobnoj udaljenosti područja teorije operacionih istraživanja (razvoja metoda) i područja njihove primene u rešavanju kompleksnih, tehničkih, organizacionih, društvenih i drugih problema povezanih sa upravljanjem i odlučivanjem. Sa druge strane, nisu tako retki ni slučajevi da donosioci odluka, koji se u procesima odlučivanja više oslanjaju na intuiciju i emocije, predstavljaju faktore otpora uvođenju operacionih istraživanja u procese odlučivanja. Nedostatak poverenja u mogućnosti i

prednosti upotrebe operacionih istraživanja još je izraženiji ako su rezultati dobijeni primenom metoda i tehnika operacionih istraživanja u suprotnosti sa uvreženim stavovima donosioca odluka [10].

Ali, pozitivna svetska iskustva govore u prilog zagovornika primene operacionih istraživanja. Svetskog lidera na polju razvoja i ulaganja u sistem odbrane svakako predstavljaju Sjedinjene Američke Države, a upravo u njihovom sistemu odbrane operaciona istraživanja su prepoznata kao moćno sredstvo podrške procesu odlučivanja, pa se zbog toga i sistemski primenjuju.

Usled potrebe za konstantnim iniciranjem promena na globalnom nivou i čvrste kontrole nad globalnim procesima funkcionisanja i razvoja na području odbrane i vojne moći – a time i političke snage države, Sjedinjene Američke Države uvidele su važnost postojanja uređenog sistema upravljanja tim promenama i taj stav implementirale u svoje doktrinarne propise.

Zbog toga, primena operacionih istraživanja u sistemu odbrane Sjedinjenih Američkih Država danas nije pitanje pojedinca već obaveza koju nameće sistem. Ni jedan borbeni sistem, organizaciono rešenje, doktrina upotrebe snaga i sredstava ili neka druga inovacija ne može biti prihvaćena ukoliko nije odgovarajućim metodama operacionih istraživanja, tj. analitičkim rezultatima argumentovana opravdanost njenog uvođenja. Analitička argumentacija zasniva se na rezultatima eksperimenata, modelovanja, simulacija, tehničkih ispitivanja i sl.

O značaju koji se pridaje operacionim istraživanjima u sistemu odbrane Sjedinjenih Američkih Država dovoljno govori i podatak da samo u kopnenoj vojsci egzistiraju tri organizacione celine – centri koji se bave analitičkom potporom procesu odlučivanja:

- Centar za analizu u KoV (Center for Army Analysis – CAA),
- Centar za analizu u Komandi za obuku i doktrinu (Training and Doctrine Analysis Centre – TRAC) i
- Centri za analizu borbeno-tehničkih sistema KoV (Army Materiel System Analysis Activity – AMSAA).

U centrima za operaciona istraživanja prisutan je veoma kvalitetan i stručan kadar (80% zaposlenih ima naučno zvanje magistra iz odgovarajuće oblasti). Ali, i pored toga, potrebna je dobra saradnja sa ostalim organima i institucijama države i društva. Osim ovih centara, za konkretne potrebe primene metoda operacionih istraživanja u sistemu odbrane angažuju se i postojeći savezni centri za istraživanje i razvoj (Institut za odbrambene analize – IDA, Centar za analize u momarici – CNA i dr.), različiti univerziteti i druge neprofitne organizacije, profitne organizacije, pojedinci – eksperti, konsultanti i sl. Angažovanje saradnika za potrebe sistema odbrane neophodno je usled nesrazmere između relativno malih kapaciteta pomenutih centara i veličine KoV, dinamike promena i potreba za analitičkom podrškom procesa odlučivanja.

Zaključak

Primena operacionih istraživanja u sistemima odbrane ima svoje prednosti i nedostatke, kojih donosilac odluka mora biti svestan. Shodno konkretnom problemu i sopstvenom umeću primene razvijenih metoda i tehnika operacionih istraživanja imaće više ili manje uspeha u odlučivanju, tj. donosiće više ili manje kvalitetne odluke.

Operaciona istraživanja odnose se na naučnu pripremu odluke. Ona ne sadrže ni načela, ni pravila odlučivanja primerena namerama i željama menadžera. Shvatajući operaciona istraživanja kao vid ukupnosti pripreme odluke, menadžeri su nekada skloni njihovom precenjivanju. Ne treba zaboraviti da su definisanje ciljeva i procena stepena njihovog zadovoljenja vrednosti koje su prepuštene menadžerima. Konačne odluke i oni koji ih donose nalaze se izvan domena operacionih istraživanja, što može imati negativne posledice po konačnu odluku, ako se pri njenom formulisanju u dovoljnoj meri ne uvažavaju psihološki činioci, već se odluka formira samo na osnovu rezultata primene operacionih istraživanja.

Ovaj problem se u određenoj meri može prevazići upotrebom grubih skupova, fuzzy skupova i neuronskih mreža, kao područja koja pretenduju da „pomire“ i objedine analitički pristup klasičnih metoda operacionih istraživanja i vrednost empirijskog iskustva korisnika ili eksperata.

Treba znati da operaciona istraživanja ne mogu dati odgovore na sva pitanja, već služe za podoptimizaciju odluka. Ipak, pri svakoj upotrebi metoda ili tehnika treba imati na umu nekoliko činjenica [11]:

- svaki alat sadrži niz snaga i slabosti. Da bi se uspelo neophodno je da se shvate glavni problemi i sporedni efekti svakog korišćenog alata, a zatim kreativno kombinuju i primene na pravi način, u pravo vreme. Tajna je u tome da se shvati koji se alat koristi, kako i kada;

- vrednost alata procenjuje se prema njegovoj korisnosti, a ne prema modernosti;

- alati postoje za dobro ljudi, a ne obmuto. Menadžerski alati, koje su kreirali njihovi zagovornici za spasavanje korporacija, jednako su „glasni“ kao i kritike koje ih okrivljuju za njihovo razaranje. Istina je da alati ne čine ništa: ljudi čine da kompanije budu uspešne ili neuspešne.

Iako metode, tehnike i modeli operacionih istraživanja nisu jedini koji se danas koriste u analizi funkcionisanja složenih sistema i procesa i, iako treba biti obazriv pri njihovoj upotrebi, pripada im značajno mesto u analizi realnih sistema i procesa, zbog njihove uspešnosti i nastojanja da kvantifikuju merljive indikatore i parametre određenih procesa i sistema.

S obzirom na potrebe prakse, zahteve vremena i savremene trendove u odlučivanju, kao i stanje teorije i prakse odlučivanja u našem sistemu odbrane, uočava se da je odlučivanju i primeni operacionih istraživanja potrebno dati veći značaj.

Literatura

- [1] Erić, D., *Uvod u menadžment*, Čigoja, Beograd, 2000.
- [2] Čupić, M., Čamilović, S., Jovanović, P. i dr., *Menadžment* (Handbook of Management), Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1996.
- [3] Borović, S., Nikolić, I., *Višekriterijumska optimizacija – metode, primena u logistici, softver*, Sektor ŠONID GŠ VJ, Beograd, 1996.
- [4] Milovanović, M., *Odlučivanje u borbenim dejstvima*, VA, Beograd, 2004.
- [5] Stojiljković, M., Vukadinović, S., *Operaciona istraživanja*, VIZ, Beograd, 1984.
- [6] Andrejić, M., *Planiranje pozadinskog obezbeđenja mobilizacije združeno-taktičkih jedinica*, doktorska disertacija, SŠONID GŠ VJ, Beograd, 2000.
- [7] Jaiswal, N. K., *Military Operations Research*– quantitative decision making, Kluwer Academic Publishers, London, 1997.
- [8] Ljubojević, S., Dimić, S., Đorović, B., *Primena lokacijskih modela u rešavanju zadataka transportne podrške vojske*, SymOpis 2007, Zbornik radova, Zlatibor, 2007.
- [9] Hitch, J. Charles, *Management Problems of Large Organizations*, *Operations Research*, Vol. 44, No.2, 1996.
- [10] Cedel E. Thomas, *Believing Analytical Results*, *Armed Forces Journal International*, January 2001.
- [11] Mintzberg, H., Ahlstrand, B., Lampel, J., *STRATEŠKI SAFARI: Kompletan vodič kroz divljine strateškog menadžmenta*, Prometej, Novi Sad, 2004.

UDC: 623.526
531.57FENOMEN EROZIJE CEVI
NAORUŽANJA

Potpukovnik dr Slobodan Ilić, dipl. inž., simill@ptt.rs,
Vojna akademija,
potpukovnik mr Goran Marjanović, dipl. inž., masamisa@ptt.rs,
Vojnotehnički institut

Rezime:

U radu su prikazana dosadašnja istraživanja erozije cevi. Trošenje cevi je neizbežan proces do kojeg dolazi pri svakom opaljenju. Erozija cevi može se definisati kao progresivna povreda ili oštećenje površine cevi i proširenje kalibra usled opaljenja, koja utiče na: gubitak ili pad početne brzine projektila, tačnost i efektivnost oruđa. Kao glavni uzročnici koji utiču na intenzitet erozije cevi opisani su termički, hemijski i mehanički faktori. Njihov uticaj prikazan je u interakciji cev – projektil – barutno punjenje.

Ključne reči: cev, erozija, trošenje, temperatura, abrazija, hemijsko dejstvo, pad početne brzine, projektil, barutno punjenje.

GUN BARREL EROSION

Summary:

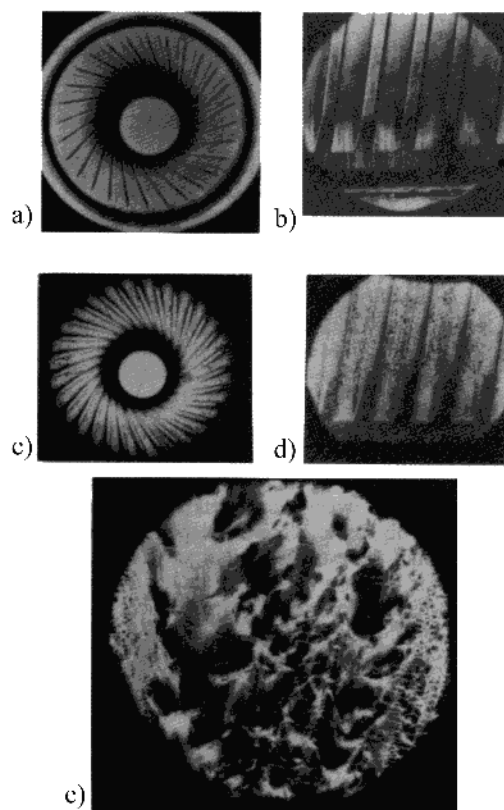
An overview of research into gun barrel erosion is presented in this paper. The gun bore wear is an unavoidable process during normal firing. The wear can be defined as progressive damage of the bore surface and enlargement of the bore, ultimately resulting in loss in the muzzle velocity, range and accuracy. Thermal, chemical and mechanical factors are described as major factors of gun barrel erosion. The influence of these factors is presented in the interaction of gun tube – projectile – propellant.

Key words: gun tube, barrel, erosion, wear, temperature, abrasion, chemical affect, loss of muzzle velocity, projectile, propellant.

Uvod

Brojni pristupi su korišćeni u karakterizaciji mehanizama erozije cevi, kao i u proračunu upotrebnoog veka cevi oruđa [1, 2]. Preko jednostavnih termomehaničkih i termohemijskih modela, koji se navode u brojnoj literaturi, još uvek nije dobijen jedinstven valjan model za proračun erozije i upotrebnoog veka cevi, niti je on potpuno razvijen. To ukazuje na činjenicu

da je problem erozije cevi složen i kompleksan, pa je neophodno da se što bolje sagleda i sistematski izuči. Erozija cevi uključuje interakciju većeg broja termičkih, mehaničkih i hemijskih faktora sa površinom kanala cevi, koji svi aktivno deluju i u isto vreme sa promenljivim intenzitetom duž vodišta projektila i sa različitim uslovima opaljenja [3].



Slika 1 – Oštećenja površine cevi oruđa 105 mm M68 kao rezultat opaljenja metka:

a) izgled cevi posle dva opaljenja, b) uveličan pogled početka ožlebljenog dela nakon dva opaljenja, c) izgled cevi posle 702 opaljenja, d) uveličan pogled početka ožlebljenog dela nakon dva opaljenja, e) uveličan pogled početka ožlebljenog dela nakon 1744 opaljenja.

Erozija cevi prikazana na slici 1 [4] može se definisati kao progresivna povreda ili oštećenje površine cevi i proširenje prečnika cevi (kalibra) usled opaljenja, koja utiče na smanjenje: početne brzine projektila, tačnosti i efektivnosti oruđa. Naravno, kada smanjenje početne brzine projektila pređe određenu veličinu ili kada projektil premaši dozvoljena odstupanja tačnosti pogađanja, zabranjuje se upotreba cevi (cev se deklasira i nastaje balistička smrt cevi). Postoji i niz drugih pojava i uslova kada se

cev artiljerijskog oruđa zabranjuje za upotrebu, ali oni nisu vezani za eroziju. Na primer, povećanje mehaničkih oštećenja usled uboja, zareza, pojava prskotina, kidanja polja, naduvavanja cevi i dr.

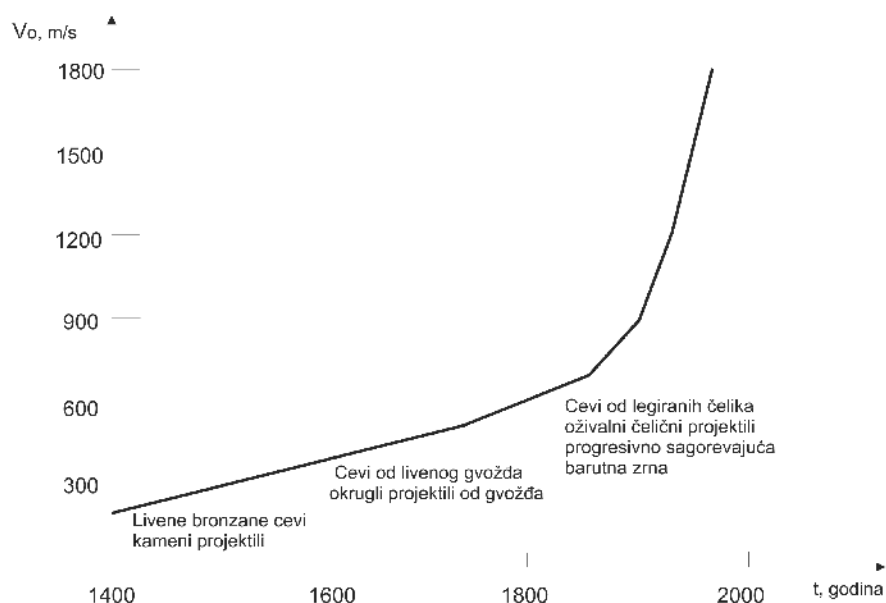
Iako je problem erozije uočen vrlo rano, već sa prvim ožlebljenim cevima, prve sistematske studije ovog problema datiraju od sredine 20 veka. Najautentičniji radovi nastali su za vreme Drugog svetskog rata pod sponzorstvom nacionalnog biroa za istraživanje (National Defense Research Committee – NDRC) i naučnog instituta za razvoj i istraživanje (Office of the Scientific Research and Development) u SAD. Rezultati su sumirani u radu iz 1946. pod naslovom „Hiperbzi topovi i upravljanje erozijom cevi“ [4].

Posle Drugog svetskog rata zanimljivi radovi posvećeni problemima erozije bili su objavljeni na simpozijumima 1950. i 1952. godine. Posebno interesovanje za efekte erozije cevi bilo je u vreme Vijetnamskog rata, kada su intenzivno korišćena artiljerijska oruđa i kada se zbog efekata erozije menjao izgled i geometrija unutrašnje površine cevi, što je direktno uticalo na tačnost i preciznost artiljerijskih oruđa. Od 1970. godine problem erozije cevi je opšte prihvaćen u svetu, a najpre je iniciran u SAD u brojnim projektima koje je pokrenulo ministarstvo odbrane. Neki rezultati ovih projekata saopšteni su na simpozijumima 1977. i 1982. godine. Istraživanja u oblasti erozije i trošenja cevi veoma su značajna. Gotovo na svim simpozijumima U. S. Army Symposium on Gun Dynamics prezentovani su radovi iz ove oblasti, a na simpozijumima održanim 1998. i 2001. godine posebne sekcije pratile su ovu oblast istraživanja.

Fenomenologija erozije cevi artiljerijskih oruđa

U proteklih 600 godina artiljerijska oruđa imala su stalni trend povećanja početne brzine projektila. Na slici 2 prikazan je trend povećanja početne brzine projektila od početka XV veka.

Neke od cevi oruđa, prema slici 2, bile su konstruisane za početne brzine projektila veće od 600 m/s, uključujući i razvoj savremenih artiljerijskih oruđa sa početnim brzinama projektila do 1800 m/s. Ovakav trend povećanja početne brzine projektila, radi povećanja njegove kinetičke energije ili dometa, i povećanje brzine gađanja, bili su glavni uzročnik erozije cevi. Istorijski gledano, haubice i minobacači, zbog manjih opterećenja pri opaljenju i nižih vrednosti prethodno navedenih veličina, imale su manje iznose trošenja cevi i zato duži životni vek od cevi tenkovskih topova i protivoklopnih topova. Danas, međutim, savremene vučne ili samohodne haubice koje imaju cevi dužine oko 7 metara i domete do 50 km imaju i realne probleme sa erozijom cevi. Zbog velikih opterećenja u cevi njihov životni vek je i do 10 puta kraći. Prema nekim nepotvrđenim informacijama, životni vek cevi kod savremenih haubica, pri maksimalnom dometu od 50 km, iznosi samo oko 100 metaka.



Slika 2 – Trend povećanja početne brzine projektila od 1400. godine

Tabela 1

Granice zabrane upotrebe cevi oruđa

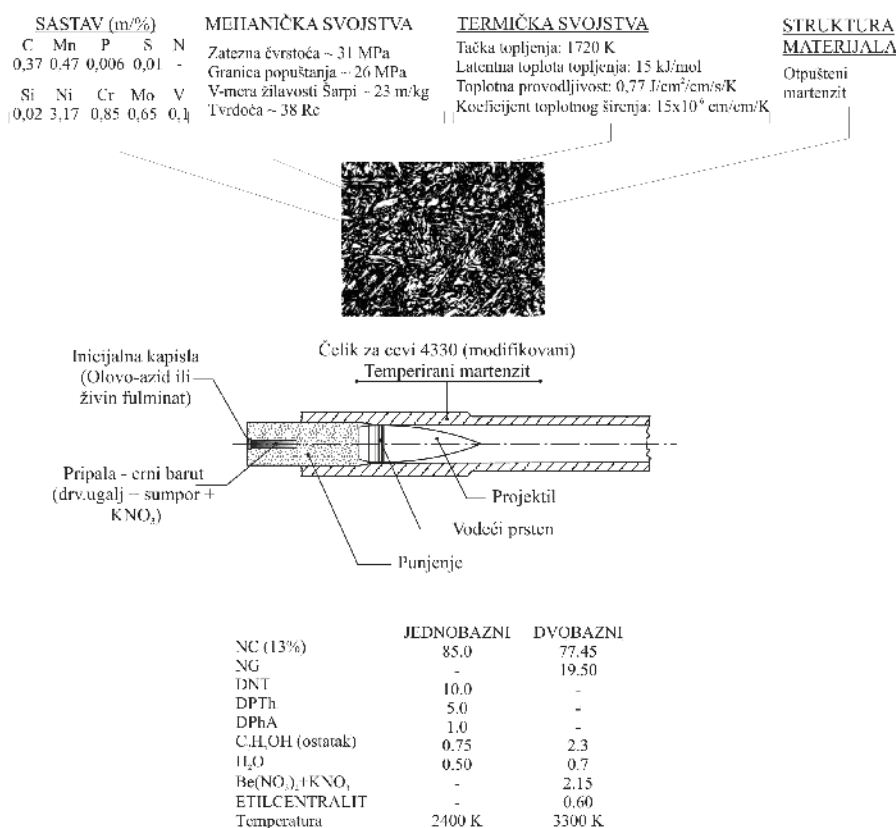
Kalibar	Granica trošenja u mm	Životni vek ^{f)} EFC projektila	Proračunski životni vek EFC projektila	Početna brzina v_0 , m/s	Projektil	Temperatura u cevi T , °K
Protivavionski top 40 mm M1	1,32 ^{a)} 349,25	12000	12000	875	M91(A1)	2433
^{b)} tenkovski top 90 mm	2,54 628,65	700	3000	914	M353	2974
Tenkovski top 105 mm	1,91 641,35	^{c)} 100	1000	1478	APDS-T	3040
	1,91 641,35	^{d)} 125	1000	1173	HEAT-T M456	3040
	1,91 641,35	^{e)} 1000	1000	1173	HEAT-T M456	3040
	1,91 641,35					
Haubica 155 mm M126	2,54 762	3350	5000	684	M107	2470
Haubica 203 mm	3,43 1346,2	10000	7500	762	M106	2700

a) mereno od zadnjeg preseka cevi, b) hromirana cev, c) sa poliuretanom, d) bez aditiva, e) sa TiO₂ aditivom, f) EFC (Effective full round) ekvivaletno puno punjenje

U tabeli 1, prema [4], dat je prikaz cevi nekih oruđa velikih kalibara koje su deklasirane zbog erozije ili prslina na unutrašnjoj površini cevi. Oruđa malih kalibara, posebno sa velikom brzinom gađanja, imaju ograničenu veličinu erozije. Tako, na primer, cev topa 20 mm M61, zavisno od brzine gađanja, ima životni vek od 3 000 do 12 000 metaka, a zbog erozije nije veći od 500 do 2 000 metaka.

Prema navedenim podacima u tabeli 1 vidi se da su granice trošenja i granice životnog veka cevi oruđa različite i među njima ne postoji nikakva korelacija, što znači da zavise i od drugih veličina, kao što su: vrsta projektila, temperatura barutnog punjenja, maksimalni pritisak barutnih gasova u cevi, brzina gađanja, vrsta materijala od koje je izrađena cev, geometrija cevi, itd. S obzirom na to da je proizvodnja cevi vrlo skupa, posebno je značajno da se u razvoju novih cevi sagledaju svi aspekti erozije kako bi se njeni efekti minimizirali.

Na slici 3 prikazani su glavni elementi koji se razmatraju pri eroziji.



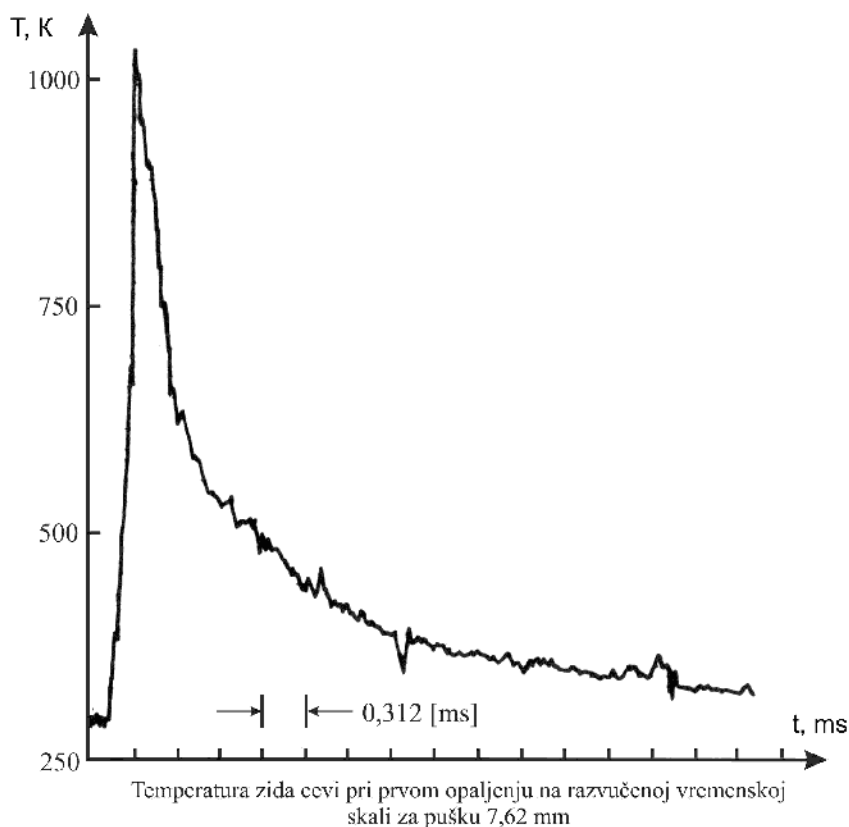
Slika 3 – Sastavni elementi erozije cevi

To su:

- cev koja je izrađena od čelika sa ožlebljenom površinom vodišta projektila, čije su osnovne karakteristike i sastav prikazani na sl. 3, i
- metak, sa barutnim punjenjem, pripalom, kapislom i projektilom. Projektil ima vodeći i centrirajući prsten. Vodeći prsten projektila ne obezbeđuje samo rotaciju projektila oko uzdužne ose, već i zaptivanje barutnih gasova radi dobijanja maksimalnog pritiska u cevi iza projektila.

Opaljenje metka prate visoka temperatura ($2800\text{--}3000^\circ\text{ K}$) i pritisak od oko $140\text{--}550\text{ MPa}$, zavisno od veličine zapremine gasova iza projektila nastalih sagorevanjem barutnog punjenja. Glavni sastojci barutnih gasova su: CO , CO_2 , H_2O , H_2 i N_2 . U gasovima su prisutne i male koncentracije NH_3 , CH_4 , NO i H_2S , kao i drugi molekuli u zanemarljivim količinama. Zavisno od vrste barutnog punjenja barutni gasovi će sadržati veće ili manje koncentracije CO i H_2 .

Navedene komponente produkata sagorevanja barutnih gasova za vreme opaljenja, kao i posle opaljenja, na određeni način hemijski reaguju ne samo međusobno već i sa unutrašnjom površinom kanala cevi.

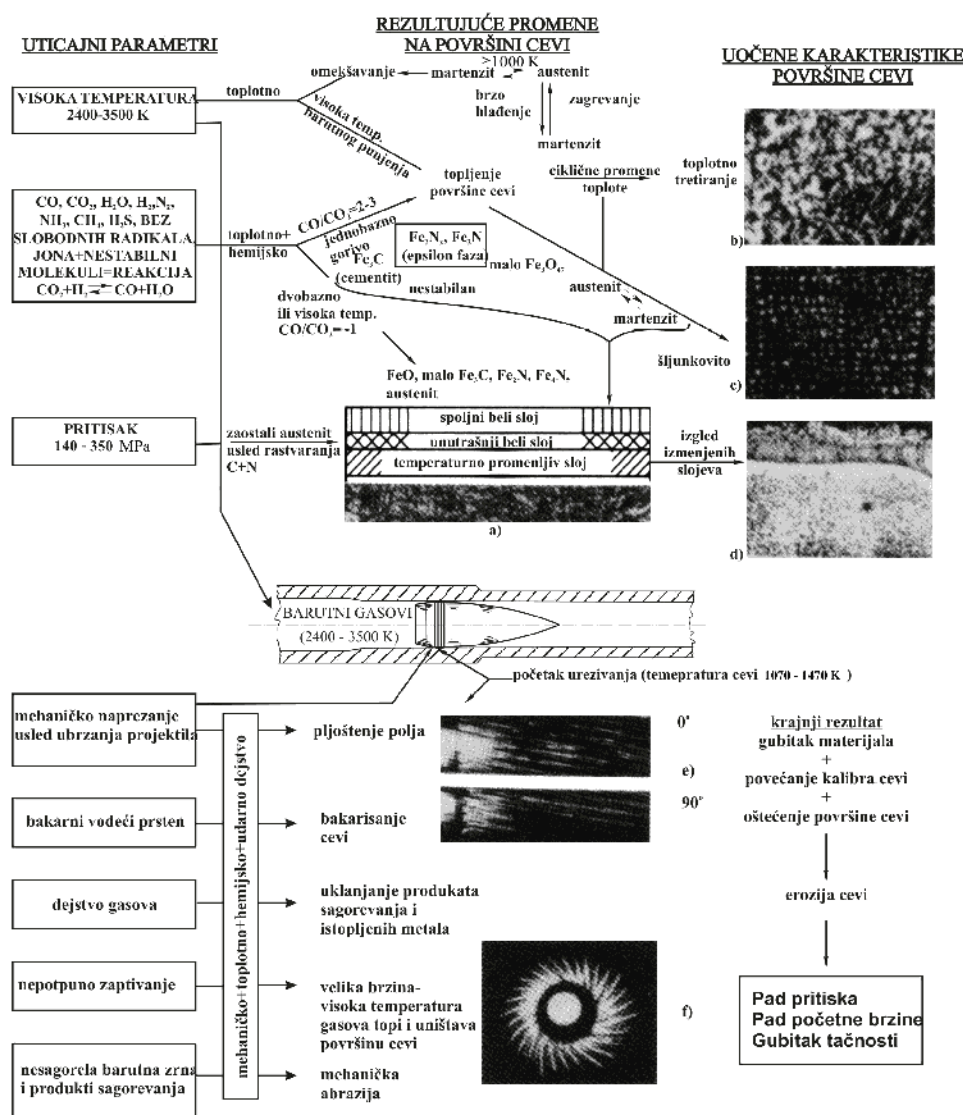


Slika 4 – Temperaturni profil površine cevi

Kod artiljerijskih oruđa velikih kalibara, na primer američke haubice 175 mm M113, vreme za koje se projektil nađe na ustima cevi iznosi $t_u=20$ ms, a kod malih kalibra automatskog naoružanja $t_u=1-2$ ms. U toku ovog kratkog perioda pod pritiskom barutnih gasova, projektil se kreće prema napred, a vodeći prsten utisnut u žleb vodišta cevi stvara kontaktni pritisak velikog iznosa oko 350 MPa. Povećana temperatura međukontakta projektila i cevi može da topi površinu vodećeg prstena stvarajući skoro hidrodinamičko podmazivanje projektila. Toplota se prenosi od zagrejanih gasova na površinu cevi konvekcijom, povećavajući temperaturu površine cevi, koja ne samo da smanjuje mehaničku čvrstoću cevi, već izaziva i hemijsku interakciju. Teorijski proračun i eksperimentalni memi podaci, dobijeni u neposrednoj blizini površine cevi, pokazali su da za prvih nekoliko milisekundi na površini cevi, prema sl. 4 [5], dolazi do naglog temperaturnog skoka.

U slučaju brze paljbe iz cevi velikih početnih brzina temperaturni profil površine cevi se slično menja za kraće vreme i može uzrokovati parcijalno topljenje površine cevi. Neki od važnih procesa koji su uključeni u dejstvo prema površini kanala cevi i utiču na stanje površine cevi za vreme opaljenja zbirno su prikazani na slici 5 [4].

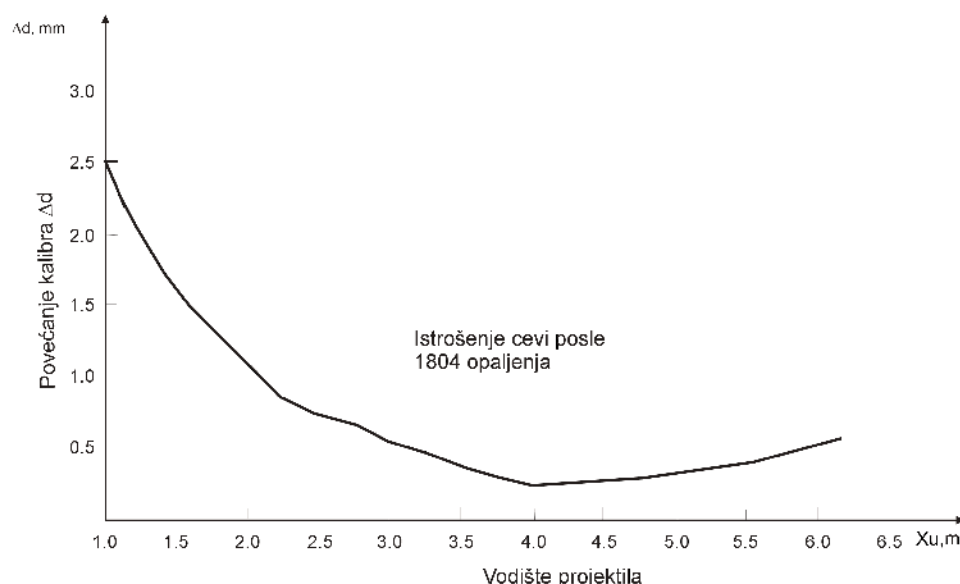
Reakcioni parametri uključuju veliki pritisak i temperaturu, hemijski reaktivne barutne gasove, naprezanja vodećeg prstena i prirodu materijala cevi. Ciklično ponavljanje visokih vrednosti temperature i pritiska dovodi do difuzija atoma ugljenika i azota, što izaziva promenu strukture i stanja površine cevi i indukuje feritno-austenitnu i martenzitno-austenitnu transformaciju čelika. Fazne transformacije praćene su zapreminskim promenama kristalne rešetke i stvaranjem dodatnih naprezanja na površini kanala cevi od kojih nastaju mikroprrsline. Pojava ovakovog stanja na površini cevi naziva se toplotno tretiranje (heat checking) [4] i prikazana je na sl. 5. Ako barutno punjenje pri sagorevanju oslobađa visoku temperaturu i ako je odnos gasova CO/CO_2 oko jedan, na površini cevi dolazi do lokalnog rastapanja FeO čestica i austenita. Ovo parcijalno topljenje površine daje izgled „šljunkovite površine“. Barutni gasovi sa nižom temperaturom normalno reaguju sa površinom kanala cevi, stvarajući takozvani beli sloj, koji se sastoji od Fe_3C (cementit) i tzv. gama i epsilon faza (Fe_4N i Fe_2N_x), malih količina Fe_3O_4 , zaostalog austenita i nešto martenzitne faze koja nastaje pri brzom hlađenju. Sledeći sloj koji se povremeno javlja nalazi se između termički izmenjenog sloja i belog sloja i naziva se unutrašnji beli sloj. To je, u stvari, austenit stabilizovan rastvaranjem ugljenika i azota i ponekad može biti parcijalno rastopljen. Vidljivo formiranje ovih slojeva je šematski prikazano na slici 5a. Tačka topljenja ovih slojeva je 1370–1420 K i za približno 520–600 K niža od tačke topljenja čelika. Velike brzine isticanja barutnih gasova ka ustima cevi dovode do odnošenja ovih rastopljenih produkata [4].



Slika 5 – Termofizički i hemijski procesi na površini cevi za vreme opaljenja

Gasna struja često prelazi preko vodećeg prstena projektila (slučaj nepotpunog zaptivanja), pa se po kanalu žleba raznese rastopljeni materijal vodećeg prstena, što dovodi do tzv. bakarisanja cevi. Nepotpuno zaptivanje vodećeg prstena utiče na funkciju vodećeg prstena projektila i na povećanje erozije cevi. Naime, nanošenje bakra u površinske prsline može ubrzati njihovo širenje po dubini zida cevi.

Nesagorele čestice barutnog punjenja na ustima cevi izazivaju mehaničku abraziju površine cevi. Svi navedeni faktori doprinose skidanju dela materijala sa unutrašnje površine cevi, što neizbežno vodi ka povećanju kalibra cevi. Ove pojave su najizraženije na početku ožlebljenog dela cevi. Tipičan oblik promene kalibra neke erodirane cevi prikazan je na slici 6 [4]. Karakter promene prečnika cevi usled erozije utvrđen je eksperimentalno [4], tj. merenjem na eksperimentalnoj cevi 155 mm XM 199 američke proizvodnje, posle 1804 ispaljena projektila. Utvrđeni maksimum erozije unutrašnjosti cevi bio je na udaljenosti od 0,92 m od zadnjeg preseka cevi, gde se upravo nalazio početak ožlebljenog dela cevi.



Slika 6 – Promena prečnika cevi usled erozije

Može se zaključiti da je tokom opaljenja, unutar određenih perioda merenih u milisekundama, površina cevi izložena:

- visokim temperaturama,
- visokim naprezanjima usled pritiska barutnih gasova,
- hemijskim interakcijama sa barutnim gasovima,
- naprezanju usled urezivanja vodećeg prstena, sile trenja i interakcije površine cevi sa vodećim prstenom,
- delovanju toplotnih i mehaničkih efekata usled nedovoljnog (nepotpunog) zaptivanja vodećeg prstena,
- ispiranju površine strujom isticanja barutnih gasova i
- abraziji usled sudara nesagorelih čestica barutnog punjenja sa površinom cevi.

Navedeni toplotni, hemijski i mehanički faktori kompleksno deluju i stalno menjaju uslove duž cevi oruđa za vreme balističkog (cikličkog) opterećenja. Posle svakog opaljenja neminovno dolazi do erozije cevi, a njene posledice su:

- povećanje prečnika cevi (kalibra) i oštećenje površine cevi,
- pad početne brzine projektila,
- pad dometa i gubitak tačnosti gađanja, odnosno povećano rasturanje projektila na cilju.

Može se reći da je upotrební vek cevi ekstremno kratak. Na primer, kod haubice 105 mm projektil napusti usta cevi nakon 10 ms od trenutka opaljenja. Ako je upotrební vek cevi ograničen na 1000 projektila, zbog erozije, to znači da će cev imati samo 10 sekundi efektivnog rada. Obično cevi većeg kalibra ranije postaju neupotrebljive od prognozirano g vremena upotrebe zbog erozije, osim ako se dodatno ne koriste aditivi, ablativi i drugi dodaci u barutnom punjenju.

Manji kalibri koji imaju veću brzinu gađanja takođe imaju kraći životni vek u odnosu na predviđeni životni vek određen proračunskim putem. Intenzivna eksploatacija cevi kod koje se odstupa od propisanog režima paljbe izlaže unutrašnji kanal povišenim naprezanjima, a posebno temperaturnim. U tom slučaju znatno će se umanjiti normalni (projektovani životni vek) radni vek cevi oruđa.

Istraživanje i određivanje veličine erozije

Pojava, odnosno nastajanje erozije tretirano je sa više aspekata [6, 7, 8, 9, 10] u pokušaju da se matematičkim modelom opiše proces erozije ili da se eksperimentalnim putem odredi zakonitost trošenja cevi. Pri tome je kod većine autora ulazna temperatura u cevi najuticajniji faktor za eroziju cevi. Proračun i merenja blizu površine cevi pokazuju da je površina cevi na početku ožlebljenja opterećena najvećom temperaturom. Zbog sporosti procesa termičke kondukcije samo vrlo tanak sloj površine trenutno dostiže temperaturu provođenja (slika 4).

Ako se prihvate neka pojednostavljenja, kao npr. da je veličina erozije cevi direktno proporcionalna dubini prodiranja neke od brojnih kritičnih izotemi, došlo se do korelacije za prosečnu veličinu trošenja na sloju od 25,4 mm od početka ožlebljenja i izračunata je maksimalna temperatura cevi u toj tački. Pokazano je [4] da je pri temperaturi ispod 930 K erozija cevi zanemarljiva. Kada je veličina temperature između 930 K i 1270 K, veličina erozije raste, proporcionalno kvadratnom korenu od kalibra cevi. Ako je temperatura cevi veća od 1270 K, veličina erozije raste vrlo brzo, jer je temperatura topljenja Fe_3C oko 1420 K.

U istraživanjima [4], koja su sprovedena još 1950, eksperimentišući sa 29 cevi različitog kalibra, razvijena je poluempirijska formula za odre-

divanje veličine erozije u radijalnom smeru. Pokazano je da se u cevi javljaju mesta sa mikropukotinama, koje su nazvane toplotne mrlje, a rezultat su turbulencije barutnih gasova i sile trenja između vodećeg prstena i cevi. Ove površine se sa svakim opaljenjem tope i ispiraju strujom vrelih gasova. U radovima novijeg datuma koriste se matematički modeli i računarski programi za predviđanje erozije [11, 12].

Značajnu ulogu u istraživanju efekata erozije cevi imaju i hemijski faktori. Kako je ranije istaknuto, efekat „bele cevi“ nastaje usled hemijskih reakcija između barutnih gasova, površine cevi i temperature u cevi. Različiti baruti, sličnih balističkih karakteristika, mogu imati različitu erozivnost.

Barutna punjenja mogu biti jednobazna, dvobazna i trobazna i sastoje se od ugljenika (C), vodonika (H), kiseonika (O) i azota (N). Osim toga, u barutima se obično nalaze i aditivi koji sprečavaju blesak nakon izlaska projektila iz cevi i taloženja u cevi, kao što su kalijum, sumpor, kalaj i olovo. Barutna punjenja sastoje se i od relativno malog udela inicijalnih materijala, kao što su kapisla i pripala. U tim materijalima nalazi se veliki broj elemenata, kao što su: barijum, antimon, aluminijum, bor, kalcijum, kalijum i sumpor.

U radu [13] autor navodi da se barutni gasovi sastoje od CO, CO₂, H₂, H₂O i N₂. Osim ovih glavnih sastojaka u barutnim gasovima nalaze se i jedinjenja u veoma malim količinama, oko 1×10^{-2} mol/kg baruta, kao što su: COS, KOH, HCN i HS. Hemijske reakcije koje se odvijaju na površini cevi zavise od vrste pogonskog punjenja i temperature barutnih gasova. Studije su pokazale da do cementacije površine cevi dolazi već nakon prvog opaljenja i da se ona povećava sa svakim narednim ispaljenim projektilom. Sa povećanjem koncentracije ugljenika tačka topljenja austenita se smanjuje. Penetracija azota slična je ugljeniku i prouzrokuje sniženje tačke topljenja austenita i povećava obrazovanje belog sloja. Spoljašnji beli sloj, iako je u osnovi cementit, biće takođe izložen penetraciji azota i ugljenika. U slučaju da se iz oruđa otvara vatra sa barutnim punjenjem sačinjenim od dvobaznog baruta (koji je u Drugom svetskom ratu imao visoku temperaturu sagorevanja), duž unutrašnje trase cevi stvarao se oksidni sloj FeO, koji se lako skidao mehaničkim delovanjem projektila ili strujom vrelih barutnih gasova.

Istraživanja koja su sprovedena još davne 1946. pokazala su da su cementitni i austenitni sloj glavni uzročnici pojave erozije cevi. Sagorevanjem baruta dolazi do penetracije ugljenika, a možda i azota u površinske slojeve cevi, a njihova količina se povećava sa brojem ispaljenih projektila. Formirani cementitni sloj i/ili visokougljenični austenitni sloj smanjuju tačku topljenja čelika, stvarajući na površini cevi efekte koji su poznati kao „pomorandžina kora“ ili temperaturi zamor. Prsline nastale usled temperaturnog zamora povećavaju izloženost površine cevi barutnim gasovima koji su bogati ugljenikom, čime se povećava i obrazovanje belog sloja. Nadalje dolazi do račvanja i širenja prskotina, zbog čega se, usled njihovog spajanja, otkidaju površinski slojevi cevi. Širenju zamorne prsline doprinose i taloženje bakra ili nekog drugog materijala sa vodećeg prstena projektila, čime povećavaju krtost površinskog sloja čelika.

Prema [14] sprovedena su istraživanja koja su se sastojala u izlaganju cevi visokim pritiscima (300–400 MPa) i temperaturama (oko 3000 K) u veoma kratkom periodu (oko 1 ms), uz pomoć balističkog kompresora. Ovi uslovi odgovaraju brojnim sredstvima naoružanja, kao što su automatska oružja, haubice, tenkovski topovi. Na osnovu promene dimenzija cevi, pomenuti istraživači su došli do zaključka da je erozija cevi linearno proporcionalna prisustvu molekula O_2 u (O_2 / N_2) jedinjenjima. Takođe, zaključili su da veoma slab doprinos eroziji cevi daju jedinjenja CO , N_2 i CO_2 . Prema njihovim istraživanjima mehanizam erozije obuhvata reakcije oksidujućih gasova sa oksidnim slojem koji se skida i odnosi strujom vrelih barutnih gasova. Ova istraživanja su u suprotnosti sa osnovnim mišljenjima vezanim za eroziju cevi.

Nilier i Birkmire [15] vršili su istraživanja interakcije jona sadržanih u barutnim gasovima sa površinom cevi. U istraživanju su merili koncentraciju i dubinu penetracije azota N_2 i kiseonika O_2 . Za eksperiment su koristili 37 milimetarski cilindar u koji su pod pritiskom uduvali različite vrele barutne gasove. Korišćene su tri vrste baruta M1, M2 i M30 bez aditiva koji smanjuju eroziju cevi i sa aditivima za smanjenje erozije cevi. Za aditive koji smanjuju eroziju cevi koristili su TiO_2 vosak, talkirani vosak i poliuretansku penu.

Pri korišćenju visokotemperaturnog baruta M2 (3319 K) sa talkiranim voskom trošenje cevi se smanjilo sa $36,8 \pm 5,5$ mg na $6,9 \pm 3,2$ mg. Korišćenjem niskotemperaturnog baruta bez aditiva trošenje cevi je bilo još manje i iznosilo je $4,9 \pm 1,9$ mg. Velika koncentracija azota N_2 i kiseonika O_2 na površini cevi nađena je pri korišćenju niskotemperaturnog baruta M1, dok je pri korišćenju visokotemperaturnog i izrazito erozionog baruta M2 koncentracija tih elemenata u površinskom sloju cevi bila zanemarljiva.

Neki istraživači [4] u svojim istraživanjima došli su do zaključka da je debljina sloja u koji su penetrirali azot N_2 i kiseonik O_2 obrnuto proporcionalna temperaturi sagorevanja baruta. Oni su želeli da pokažu da li prisustvo kiseonika O_2 u površinskom sloju cevi utiče na eroziju pri opaljenju sledećeg metka, budući da ovaj tzv. oksidni sloj ima ulogu izolatora. Istraživanja, koja su sprovedena na tenkovskom topu, pokazala su da je erozija cevi više zavisila od temperature baruta nego od hemijskog sastava baruta. Može se reći da je tek u slučaju nižih temperatura gorenja baruta hemijski uticaj na eroziju veći od temperaturnog.

Treba napomenuti da mehanički faktor, takođe, značajno utiče na eroziju cevi. Mehaničko skidanje polja usled interakcija izložene površine cevi sa vodećim prstenom projektila jedan je od mehanizama mehaničke erozije. Drugi ključni faktori su mehanička abrazija, usled nesagorelih čestica barutnog punjenja i visokih brzina klizanja projektila po zidu cevi. Čvrste čestice u gasnoj struji najčešće su nesagorele čestice barutnog punjenja i erodirani delovi materijala otkinuti od zida cevi.

Istraživanja erozije cevi u našoj zemlji

Problem erozije cevi u dužem periodu nije ozbiljno razmatrala ni jedna institucija u našoj zemlji, pa ni institucije Vojske, kao što su VTI i TOC. Razlog tome jeste u činjenici da su sredstva naoružanja u Vojsci vrlo malo eksploatisana, pa je zanemarljivo mali broj cevi oruđa uopšte dostigao svoj životni vek na osnovu broja ispaljenih metaka. Često se događalo da artiljerijsko sredstvo bude taktičko-tehnički zastarelo i kao takvo zamenjeno pre nego što mu istekne bilo koji resurs. S druge strane, i za ona oruđa koja su imala veliki broj opaljenja (kao osnovu za dobru analizu trošenja) nije bilo merenih i zabeleženih podataka. U takvoj situaciji krajni efekti trošenja cevi određivali su se (i sada se određuju) na osnovu nekritički usvojenih kriterijuma koji važe u Rusiji ili SAD.

Osamdesetih godina prošlog veka stručnjaci iz VTI radili su na prognozi životnog veka cevi artiljerijskih oruđa na osnovu saznanja iz postojeće literature [16, 17]. Metode proračuna životnog veka cevi zasnivaju se na empirijskim relacijama koje su razni autori predlagali uz odgovarajuće pretpostavke i pojednostavljenja, zavisno od pristupa problemu. U periodu od 1999. do danas, posle saznanja o realnom stanju po pitanju trošenja cevi, Katedra mehanike naoružanja i balističkih sistema, Odseka logistike VA, tokom 2000. godine započinje izradu projekta u kojem se razmatra ovaj problem u okviru NIR-a. S tim u vezi, objavljeno je nekoliko radova o trošenju cevi i vodećeg prstena projektila. U radu [18] prikazan je jedan model trošenja vodećeg prstena projektila. Projektil u kretanju rotira sa vodećim prstenom kao klizačem velikom brzinom klizanja. Model za kvantifikaciju trošenja prstena, zasnovan na teoriji trošenja usled zagrevanja (topljenja), postavljen je na osnovu jednačine za jednodimenzionalno provođenje toplote.

U radu [19] opisan je mehanizam trenja i trošenja vodećeg prstena projektila usled zagrevanja i topljenja kontaktne površine projektila. Teorijski model je dat na osnovu poznatog modela u literaturi. U radu je određena veličina trošenja vodećeg prstena i uticaj nekih parametara na silu trenja i debljinu filma otopljenog materijala prstena. Dobijeni rezultati ilustrovani su na odabranom primeru.

U proteklom periodu do danas u dostupnim stručnim publikacijama, kao i sa stručnih skupova i saopštenja, mogu se povremeno naći radovi u kojima su tretirani problemi erozije cevi. Do danas nije poznata publikacija u kojoj je problem erozije cevi, s obzirom na složeno delovanje uticajnih veličina i faktora, potpuno i do kraja rešen analitičkim putem. Može se reći da su eksperimentalna i fundamentalna istraživanja samog procesa erozije cevi na mnogo višem nivou od matematičkog opisa i formalizacije ovog problema. Kod nas, u našoj praksi, uglavnom se koristi klasična teorija koju su prihvatili strani autori pre 50 godina. Od tog vremena do danas praktično nisu učinjeni nikakvi značajni pomaci, bilo u teorijskom, bilo u eksperimentalnom izučavanju ovog problema.

Zaključak

Na osnovu iznetih činjenica može se zaključiti:

- erozija cevi uključuje interakciju većeg broja termičkih, hemijskih i mehaničkih faktora sa površinom cevi, koji aktivno deluju pri svakom opaljenju i promenljivim intenzitetom duž vodišta projektila;

- mehanizam delovanja erozije zbog međusobne uslovljenosti relevantnih faktora vrlo je složen i do danas još uvek ne postoji realan i pouzdan model određivanja erozije i životnog veka cevi;

- postoje u literaturi brojni manje ili više pojednostavljeni termomehanički i termohemijski modeli koji su dobro postavljeni, ali koji samo parcijalno rešavaju neke od problema erozije;

- prema izvršenim istraživanjima i merenjima dominantan uticaj na eroziju cevi ima termički faktor, zatim hemijski i, na kraju, mehanički. Ovu gradaciju faktora erozije treba shvatiti uslovno, jer su navedena tri međusobno uslovljena faktora. Drugim rečima, najefikasniji rezultati u smanjenju erozije mogu se postići smanjenjem temperature na površini vodišta projektila;

- ustanovljeni su i istraženi i drugi prateći „nusproizvodi“ erozivnog procesa u cevi (mikroprsrline, bele mrlje, kidanje polja) koji dovode do mehaničkih oštećenja cevi;

- niže temperature sagorevanja baruta, odnosno korišćenje takozvanih „hladnih“ baruta znatno utiče na smanjenje efekata erozije cevi;

- ustanovljeno je da hemijski sastav baruta, odnosno glavni produkti sagorevanja baruta, utiču na eroziju cevi. Preporučuje se da smeša barutnih gasova sadrži što manje koncentracije CO, CO₂ i H₂O, a da se povećaju koncentracije H₂ i N₂;

- fenomen erozije cevi, iako odavno otkriven (XIX vek), sa nesmanjenom pažnjom i dalje se istražuje ne samo kod konvencionalnih oruđa velikih kalibara već i budućih – novih koncepcija oruđa, kao što su tečni i gasni topovi, elektromagnetni topovi i dr. Predviđa se da će biti potrebno vršiti pravilnu identifikaciju materijala i konstrukcije radi smanjenja efekata erozije i za nekonvencionalna artiljerijska oruđa;

- u našoj zemlji problem erozije nije adekvatno tretiran u dužem periodu, u teorijskom i eksperimentalno-istraživačkom smislu. Zato su saznanja o ovom problemu nedovoljna. Zbog ovakvog stanja u našoj praksi problemu erozije cevi treba pristupiti sistematski, korak po korak, praktično od početka, sa težištem na matematičkom modelovanju u odnosu na eksperimentalne provere koje moraju da sačekaju bolja vremena.

Radi boljeg sagledavanja relevantnih veličina i faktora koji interaktivno i neprestano deluju u procesu opaljenja, neophodno je da se na osnovu poznatih teorija i metoda primenjene mehanike kretanja tela, mehanike oruđa, unutrašnje i spoljašnje balistike, postavi teorijsko-numerički model koji je

tačniji i pouzdaniji za određivanje relevantnih podataka koji će omogućiti objektivniju ocenu stanja cevi, odnosno erozije. Problem erozije cevi i definisanja metoda za predviđanje upotrebnog veka cevi je, po problematici koju rešava, vrlo složen i multidisciplinarnan. Za njegovo rešavanje neophodan je timski rad stručnjaka kojim bi bile pokrivene oblasti: mehanike naoružanja, unutrašnje i spoljašnje balistike, mehanike fluida, termodinamike, otpornosti materijala, metalurgije, fizičke hemije i održavanja, odnosno dijagnostike. Objektivna ocena radne sposobnosti cevi daje dobar preduslov da se izvrši relativno pouzdana prognoza upotrebnog veka cevi u budućnosti.

Literatura

- [1] Ministarstvo odbrane SSSR: *Инструкция по категорированию артиллерийского вооружения*, Vojno izdavaštvo ministarstva odbrane, Moskva, 1951.
- [2] TU SSNO: *Упутstvo o oštećenjima cevi artiljerijskih oruđa i načini ocene ishabanosti*, TU JNA, bilten br. 25, Beograd, 1959.
- [3] Jaramaz, S., *Metode za predviđanje erozije cevi artiljerijskih oruđa*, Tehnički izveštaj, 02-240-63, VTI Beograd, 1983.
- [4] Progress in Astronautics an Aeronautics: *Problem of gun barrel erosion – an overview*, Gun Propulsion Technology, American Institute of Astronautics an Aeronautics, vol. 109. Washington, 1984.
- [5] Moeller, C. E., *Measurement of Transient Bore Surface Temperatures in 7.62 mm Gun Tubes*, Technical report, AD-780938, 1973.
- [6] Conroy, J. P., *Theoretical Thermal and Erosion Investigations*, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [7] Sopok, S., Fleszar, M., *Ablative erosion model for the M256-M829E3 gun system*, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [8] Conroy, J. P. i dr., *An Investigation of the Erosion Physics-Mechanisms of Current Army Systems*, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [9] Sopok, S., Vottis, P., *Comprehensive erosion model for the 120 mm gun system*, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [10] Weinacht, P., *A numerical method for predicting thermal erosion in gun tubes*, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 2001.
- [11] Sopok, S. i dr., *First computer code for predicting thermochemical erosion in gun barrels*, US Army Armament Research, Development and Engineering Center, Watervliet, New York, 2001.
- [12] Sopok, S., *Erosion modeling of vented combustor cannon bore materials*, Technical report, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, 1996.
- [13] Fredman, E., *Thermodynamic Properties of Propellants*, Gun Propulsion Technology, American Institute of Astronautics an Aeronautics, vol. 109. Washington, 1984.

METODA ISPITIVANJA KOMPATIBILNOSTI SREDSTAVA LIČNE NHB ZAŠTITE

Pukovnik dr Dušan Rajić, dipl. inž., vti@vti.vj.rs,
Vojnotehnički institut

Rezime:

Na primeru izabranih sredstava lične NHB zaštite demonstrirana je primena metode procene kompatibilnosti, kao vrlo bitne taktičko-tehničke karakteristike za svako novouvedeno sredstvo naoružanja i vojne opreme (NVO) u Vojski Srbije. Utvrđeno je da zaštitno filtrirajuće odelo, zaštitni laki ogrtač i zaštitne rukavice ispunjavaju postavljene kriterijume kompatibilnosti. Opisana metoda provere kompatibilnosti može da se primenjuje i na druga sredstva NVO u fazama razvoja, proizvodnje i eksploatacije.

Ključne reči: kompatibilnost, metoda, sredstva lične NHB zaštite.

METHOD OF TESTING COMPATIBILITY OF PERSONAL NBC PROTECTION DEVICES

Summary:

The selected personal NBC protection devices have served as an example for demonstrating the application of the compatibility evaluation method as a very important tactical – technical characteristic of each newly introduced item of weapon and military equipment in the Serbian army. It has been determined that a filtering protective suit, a light protective coat and protective gloves meet the required criteria of compatibility. The described method of testing compatibility can be also applied to other weapons and military equipment in stages of development, production and exploitation.

Key words: compatibility, method, personal NBC protection devices.

Uvod

Kompatibilnost NHB sredstava lične zaštite veoma je značajna, naročito sa stanovišta korisnika tih sredstava, zbog veće efikasnosti u korišćenju opreme, bolje fiziološke podobnosti i dužeg trajanja sredstava

u uslovima eksploatacije. To znači da pri istovremenoj primeni ovih sredstava ona međusobno ne bi smela bitno da umanjuju osnovnu pojedinačnu funkciju, odnosno da njihova zajednička upotreba bitno ne utiče na smanjenje borbenih mogućnosti vojnika kao pojedinaca i jedinice u celini.

U literaturi ima malo konkretnih podataka o kompatibilnosti sredstava naoružanja i vojne opreme (NVO) vojnika, mada se ova karakteristika često navodi kao bitan uslov koji mora biti ispunjen.

Cilj ovog rada je:

- da se ukaže na značaj kompatibilnosti u fazi konstrukcije sredstava NVO;
- da se razradi, a u kasnijoj fazi i standardizuje metoda ispitivanja kompatibilnosti za trupnoeksploataciona ispitivanja u fazi verifikacije novorazvijenih sredstava NVO;
- da se u pogledu kompatibilnosti sredstava NVO postigne saglasnost na relaciji konstruktor sredstva – proizvođač – verifikator u fazi usvajanja sredstva u opremu VS – krajnji korisnik, tj. vojnik.

Na primeru filtrirajućeg zaštitnog odela (OFZ), zaštitnog lakog ogrtača (OZL) i zaštitnih čarapa (ČaZ) kompatibilnost je definisana teorijski i proverena praktično u terenskim uslovima ispitivanja, dok je za preostala sredstva lične NHB zaštite ona metodološki postavljena i definisana.

Kompatibilnost NHB sredstava lične zaštite sa opremom vojnika Vojske Srbije

Kompatibilnost posmatrana u sistemu NHB lične zaštite podrazumeva interakciju između sredstava lične NHB zaštite međusobno, ali i sa ostalom opremom vojnika. NHB sredstva lične zaštite u VS sačinjavaju zaštitna maska (MZ), zaštitni kombinezon (KZ), filtrirajuće zaštitno odelo (OFZ), zaštitni laki ogrtač (OZL), zaštitne čizme (ČZ), zaštitne čarape (ČaZ), zaštitne rukavice (RZ) i zaštitna kecelja (KeZ) (sl. 1).

Od navedenih sredstava svakom vojniku sleduje: MZ, OZL, RZ i ČaZ, dok su ostala sredstva namenjena samo određenim specijalnostima u okviru VS.

Oprema koju poseduje vojnik VS, i koja treba da bude kompatibilna sa NHB sredstvima lične zaštite, obuhvata: vojnu uniformu, šlem, zaštitni prsluk, borbeni ranac, cipele sa dužom sarom, lično naoružanje (puška, pištolj...), optička sredstva (dvogled, optički nišan, optička sredstva na oruđima...) i sredstva veze [1].



Slika 1 – Sredstva NHB lične zaštite razvijena u Vojnotehničkom institutu

U odnosu na projektovani model NVO [1], procenjuje se da bi vojnik pešadije pri izvršenju borbenih zadataka neprekidno nosio na sebi sledeća sredstva NVO: automatsku pušku (AP) sa potcevnim bacačem granata, balistički individualni računar, optoelektronski nišan, laserski obeleživač cilja, laserski merač daljine, uređaj za pozicioniranje u prostoru, uređaj veze, šlem, zaštitni balistički prsluk, zaštitnu masku, ratnu uniformu, individualni komplet za zagrevanje hrane, individualni sanitetski komplet, individualni komplet za osvetljavanje i signalizaciju, borbeni prsluk, potrebnu količinu individualnih resursa za autonomno izvršavanje borbenog zadatka (1 b/k municije za AP i potcevni bacač granata, ručna bomba, suvi dnevni obrok, 1 litar vode).

Navedena oprema koju bi nosio vojnik bila bi teška oko 27 kg.

U prognoziranim uslovima upotrebe NHB b/s na bojištu vojnik pešadije bi povremeno koristio sledeće komponente iz podsistema za preživljavanje na bojištu: OFZ, OZ, RZ, ČaZ, senzore za radiološku i hemijsku detekciju, kao i senzor za detekciju laserskog, elektromagnetnog i termalnog zračenja [1]. Time bi ukupna opterećenost bila povećana za oko 5 kg.

Kompatibilnost pojedinačnih NHB sredstava lične zaštite međusobno i sa opremom vojnika

Zaštitna maska

Zaštitna maska namenjena je za zaštitu organa za disanje, očiju i lica ljudi od RHB kontaminacije u vidu kapi, para, gasova, čvrstih i tečnih aerosola i čestica prašine, nastalih kao posledica upotrebe NHB oružja. Pored toga,

MZ pruža zaštitu, uz odgovarajuća cedila, od kontaminacije nastale hemijskim udesima (3). U pogledu kompatibilnosti kod MZ M3 navedeno je da u zaštitnom položaju ona mora biti kompatibilna sa KZ, OZ, OFZ i šlemom [2]. Ovaj zahtev, međutim, treba proširiti prema svim ostalim sredstvima NVO koji su u nekoj vezi sa MZ. To znači da MZ treba da bude kompatibilna sa sledećim sredstvima NVO: OFZ, OZL, KZ, šlemom, zaštitnim balističkim prslukom, ličnim naoružanjem, optičkim sredstvima i sredstvima veze.

Zaštitno filtrirajuće odelo

Zaštitno filtrirajuće odelo namenjeno je za višekratnu zaštitu od dejstva para/gasova bojnih otrova (BOT) i jednokratnu zaštitu od dejstva kapi BOT-a, kao i za jednokratnu zaštitu od dejstva termalnog impulsa nuklearne eksplozije (TINE) i kapi goruće napalm smeše. Oblači se preko veša, a oblačenje i svlačenje mora biti jednostavno. U pogledu kompatibilnosti za OFZ se navodi da mora biti kompatibilno sa MZ, RZ, OZ, ČaZ, vojničkim šlemom M-97, borbenim balističkim prslukom i modulnim rancem [3]. Ovo odelo mora da omogućiti nesmetano izvršavanje svih borbenih radnji.

Naknadno izučavanje kompatibilnosti pokazalo je da OFZ mora da bude kompatibilno sa sledećim sredstvima NVO: MZ, RZ, ČZ, ČaZ, šlemom, borbenim rancem, zaštitnim prslukom, ratnom uniformom, cipelama sa dužom sarom i ličnim naoružanjem.

U odnosu na projektovani „Model opremanja vojnika pešadije“ [1], u situacijama kada se nosi, OFZ mora biti kompatibilno sa svim sredstvima NVO koja sledeju vojnika pešadije pri izvršenju borbenih zadataka.

Laki zaštitni ogrtač

Laki zaštitni ogrtač namenjen je za jednokratnu zaštitu vojnika, lične opreme i naoružanja od kapi BOT i višekratnu zaštitu od radioaktivnih i atmosferskih padavina (na KonZ-u) [4]. U pogledu kompatibilnosti, u TTZ-u [4] nisu postavljeni nikakvi zahtevi.

Očigledno je, međutim, da OZL mora biti kompatibilan sa sledećim sredstvima NVO: MZ, OFZ, šlemom, rancem borbenim, ratnom uniformom i ličnim naoružanjem.

U odnosu na projektovani „Model opremanja vojnika pešadije“, u situacijama kada je predviđeno da se nosi, OZL mora biti kompatibilan sa svim sredstvima NVO koja sledeju vojniku pešadije pri izvršenju borbenih zadataka.

Zaštitne čizme

Zaštitne čizme služe za zaštitu nogu od dejstva kapi i aerosola BOT-a i radioaktivnih čestica [5]. Treba da budu kompatibilne sa sledećim sredstvima NVO: OFZ, KZ i ratnom uniformom.

Zaštitne čarape

Zaštitne čarape obezbeđuju zaštitu nogu i obuće od kontaminacije kapima, parama, i aerosolima BOt-a, tečnim i čvrstim radiološkim kontaminantima. One obezbeđuju zaštitu od plamena napalm smeše i TINE [6]. RZ, ČaZ, OZL i OFZ moraju međusobno biti kompatibilni, kao i sa ostalim delovima zaštitne opreme [6].

Zaštitne čarape treba da budu kompatibilne sa sledećim sredstvima NVO: cipelama sa dužom sarom, OFZ i ratnom uniformom.

U odnosu na projektovani „Model opremanja vojnika pešadije“ [1], u situacijama u kojima se nose, ČaZ moraju biti kompatibilne sa svim sredstvima NVO koja sledeju vojniku pešadije pri izvršenju borbenih zadataka.

Zaštitni kombinezon

Zaštitni kombinezon služi za zaštitu od kontaminacije BOt-om i radioaktivne kontaminacije [7]. Treba da bude kompatibilan sa: MZ, RZ, ČZ, ratnom uniformom, šlemom i ličnim naoružanjem.

U odnosu na projektovani „Model opremanja vojnika pešadije“ [1], u situacijama u kojima se nosi, KZ mora biti kompatibilan sa svim sredstvima NVO koja sledeju vojniku pešadije pri izvršenju borbenih zadataka.

Zaštitne rukavice

Zaštitne rukavice namenjene su za zaštitu ruku korisnika od para, aerosola i sitnih kapljica RHB kontaminanata i drugih toksičnih supstanci, kao i od dejstva TINE i zapaljivih sredstava tipa „napalm“ smeše [1]. Treba da budu kompatibilne sa ostalim sredstvima za ličnu NHB zaštitu tela, kao i sledećim sredstvima NVO: OFZ, KZ, ratnom uniformom, ličnim naoružanjem, sredstvima veze i preciznim instrumentima.

U odnosu na projektovani „Model opremanja vojnika pešadije“ [1], u situacijama u kojima se nose, RZ moraju biti kompatibilne sa svim sredstvima NVO koja sledeju vojniku pešadije pri izvršenju borbenih zadataka [1].

Zaštitna kecelja

Zaštitna kecelja treba da bude kompatibilna sa ratnom uniformom.

Metoda ispitivanja

U toku dosadašnjeg istraživanja i razvoja NHB sredstava lične zaštite vršena su mnogobrojna opitno-eksploataciona ispitivanja. Pri tome se u izveštajima nigde ne pominje kompatibilnost kao pojam.

Razmatrajući ovu problematiku došlo se do zaključka da se kompatibilnost NHB sredstava lične zaštite sa opremom vojnika najbolje može obraditi metodološki putem ankete u saradnji sa vojnicima – ispitanicima i vizuelnog zapažanja, kako anketara, tako i ispitanika, i to u statičkim i dinamičkim uslovima.

Metodološki problemi su najvažniji i najteži. Tu spada, pre svega, odabiranje načina prikupljanja statističkih podataka, definisanje predmeta i jedinice posmatranja, odabiranje obeležja posmatranja, odabiranje metoda obrade prikupljenih podataka i mnoga druga pitanja u zavisnosti od cilja istraživanja.

Anketna metoda zasniva se na posmatranju unapred određenih jedinica radi prikupljanja neophodnih podataka za statističku procenu karakteristika statističke mase. Opšte karakteristike ankete su [8]:

- a) predmet posmatranja je konačna masa slučajno odabranih jedinica posmatranja (uzorak);
- b) informacije dobijene anketom imaju statistički karakter;
- c) posmatranje se vrši neposredno i jednoobrazno;
- d) posmatranje je delimično.

Uslovi za kvalitetno anketiranje ispitanika su: dobro osmišljena anketa; pitanja moraju biti jasno i stručno postavljena i neposredno usmerena na određeni problem; anketa se mora izvršiti odmah po završetku predviđenih radnji, dok su zapažanja ispitanika još sveža.

Pošto se anketa vrši za svako sredstvo NHB lične zaštite zasebno, to znači da specifičnosti sredstva određuju pitanja u anketi, kao i važnost i redosled pri zaključivanju o kompatibilnosti sa ostalom opremom vojnika VS.

Za bolju analizu ankete, za svako sredstvo za koje se proverava kompatibilnost sa ostalom opremom vojnika VS koristi se nekoliko novouvedenih pojmova poput nivoa relevantnosti kriterijuma koji se ocenjuje (5–10), ocene kompatibilnosti (1–5) i koeficijenta kompatibilnosti (Kk).

Anketa za proveru kompatibilnosti filtrirajućeg zaštitnog odela

U tabeli 1 navedena je anketa za ispitivanje kompatibilnosti OFZ-a za slučajeve kada vojnik samostalno podešava opremu i/ili kada mu u tome pomaže drugi vojnik.

Pod kompatibilnošću u dinamičkim uslovima podrazumeva se izvršenje gađanja i kretanje na bojištu, a adekvatna anketa prikazana je u tabeli 2.

Tabela 1

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti OFZ u statičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li rubovi kapuljače OFZ dobro naležu na ojačani prsten MZ	9	4	36	36/45=0,8	0,7 kompatibilan
2	Da li je spoj OFZ sa RZ dobar	9	4	36	36/45=0,8	
3	Da li kapuljača OFZ utiče na polje vida sa MZ u zaštitnom položaju	8	4	32	32/40=0,8	
4	Da li zaštitni prsluk može da se obuče preko OFZ	8	4	32	32/40=0,8	
5	Da li je podbradna traka šlema dovoljno duga da se može zakopčati preko kapuljače OFZ-a	7	3	21	21/35=0,6	
6	Da li veličina OFZ-a (V, S, M) obuhvata svu vojničku populaciju, tj. da li je OFZ udoban	7	4	28	28/35=0,8	
7	Da li je korišćenje OFZ u letnjim uslovima, preko ratne uniforme, podnošljivo za korisnika i u kojoj meri	7	3	21	21/35=0,6	
8	Da li OFZ može da se obuče preko vojne uniforme (letnja, zimska) i kakvi se problemi tu javljaju	7	4	28	28/35=0,8	
9	Da li se borbeni ranac može nositi preko OFZ-a i kakvi se problemi (npr. dužina ramenih traka, žuljanje...) javljaju	6	3	18	18/30=0,6	
10	Koji problemi se javljaju pri nošenju opasača sa ličnim naoružanjem (pištolj, bomba, municija...) preko OFZ-a	6	4	24	24/30=0,8	
11	Da li ima problema pri nošenju ČaZ sa OFZ	5	5	25	25/25=1	

Tabela 2

Ispitivanje kompatibilnosti OFZ-a putem ankete u dinamičkim uslovima

A) Izvršenje gađanja

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li OFZ smeta korisniku pri gađanju ličnim naoružanjem (puška, puškomitraljez...)	9	5	45	45/45=1	1 visokokompatibilan
2	Da li je korisniku koji nosi OFZ remnik puške dovoljno dug pri izvođenju gađanja tromblonskom minom	7	5	35	35/35=1	

B) Kretanje na bojištu

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li OFZ smeta pri izvođenju marša u odnosu na ostalu opremu vojnika (lično naoružanje, ranac borbeni, MZ, itd.)	9	5	45	45/45=1	1 visoko-kompatibilan
2	Da li OFZ smeta pri prevoženju u borbenim i neborbenim m/v	7	5	35	35/35=1	
3	Koliko i kako OFZ utiče na pretrčavanje vojnika na bojištu	7	5	35	35/35=1	
4	Da li i kako OFZ smeta pri zaleganju	7	5	35	35/35=1	
5	Kako OFZ smeta pri izradi zaklona za ležeći stav	7	5	35	35/35=1	
6	Kako spoljna temperatura i atmosferske prilike utiču na ispitanika koji nosi OFZ	7	5	35	35/35=1	

Anketa za proveru kompatibilnosti zaštitnog lakog ogrtača

U tabeli 3 prikazana je anketa za ispitivanje kompatibilnosti OZL u statičkim uslovima, a odnosi se na slučajeve kada vojnik samostalno podešava svoju opremu i kada mu u tome pomaže drugi vojnik.

Tabela 3

Ispitivanje kompatibilnosti OZL u statičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li kapuljača OZL smeta pri disanju, kada je MZ u zaštitnom položaju	9	4	36	36/45=0,8	0,54 kompatibilan
2	Da li OZL smeta pri držanju ličnog naoružanja o desno rame	8	3	24	24/40=0,6	
3	Da li kapuljača OZL utiče na polje vida kada se koristi zajedno sa OFZ i MZ u zaštitnom položaju	8	2	16	16/40=0,4	
4	Da li kapuljača OZL smanjuje polje vida	8	2	16	16/40=0,4	
5	Da li se OZL može dobro namestiti kada je šlem na glavi	7	3	21	21/35=0,6	
6	Da li ima problema pri nošenju OZL u zimskim uslovima, kada se nosi vetrovka	7	3	21	21/35=0,6	
7	Da li se može nositi borbeni ranac ispod OZL	6	2	12	12/30=0,4	

U tabeli 4 prikazana je metoda ispitivanja kompatibilnosti OZL u dinamičkim uslovima.

Tabela 4

Ispitivanje kompatibilnosti OZL u dinamičkim uslovima

A) Izvršenje gađanja

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li kapuljača OZL navučena preko šlema smeta pri nišanjenju	10	3	30	30/50=0,6	0,56 kompatibilan
2	Da li OZL smeta pri punjenju i pražnjenju ličnog naoružanja u ležećem, klečećem i stojećem stavu	9	3	27	27/40=0,7	
3	Da li i kako OZL smeta pri upotrebi ručnog raketnog bacača	8	2	16	16/40=0,4	

B) Kretanje na bojištu

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li i kako OZL smeta pri izvođenju marša	9	3	27	27/45=0,6	0,52 kompatibilan
2	Da li i kako OZL smeta pri ulazanju i izlaženju iz borbenih i neborbenih m/v (brzina ukrcavanja i iskrcavanja)	8	3	24	24/40=0,6	
3	Da li OZL smeta pri pretrčavanju na bojištu (bez rastinja, sa visokim rastinjem, sa niskim rastinjem, sa tmjem...)	8	2	16	16/40=0,4	
4	Da li i kako OZL smeta pri zaleganju i ustajanju u toku izvođenja borbenih radnji na bojištu	8	2	16	16/40=0,4	
5	Kako i koliko OZL smeta pri izradi zaklona za ležeći stav	7	3	21	21/35=0,6	

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti zaštitnog kombinezona

Zaštitni kombinezon je sredstvo za ličnu NHB zaštitu, a koriste ga specijalne jedinice i pojedinci (jedinice ABHO i NHB izviđači i dekontaminatori u ostalim jedinicama).

U tabeli 5 prikazano je ispitivanje kompatibilnosti KZ u statičkim uslovima, a u tabeli 8 u dinamičkim uslovima.

Kompatibilnost u statičkim uslovima odnosi se na slučaj kada vojnik samostalno podešava opremu i kada mu u tome pomaže drugi vojnik.

Tabela 5

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti KZ u statičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li kapuljača KZ dobro naleže na ojačani deo MZ	9				
2	Da li je dobar spoj RZ sa rukavima KZ	8				
3	Da li je dobar spoj ČZ sa nogavicama KZ	7				
4	Da li je dužina podbradne trake šlema dovoljna pri nošenju sa KZ	6				

Tabela 6

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti KZ u dinamičkim uslovima

A) U radu pri izviđanju i dekontaminaciji

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Kako KZ smeta pri izvršenju radnji izviđača ABHO	9				
2	Koliko i da li KZ smeta pri izvršenju radnji na dekontaminacionoj stanici (u toku pripreme i izvršenja dekontaminacije)	8				

B) Kretanje na bojištu

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li i kako KZ smeta pri pretrčavanju (kretanje ABHO izviđača, odbrana mesta za dekontaminaciju...)	9				
2	Da li KZ smeta pri dejstvu iz ličnog naoružanja	9				
3	Da li i kako KZ smeta pri zaleganju	7				

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti zaštitnih čizama

U tabeli 7 prikazano je ispitivanje kompatibilnosti ČZ u statičkim uslovima, a u tabeli 8 u dinamičkim uslovima.

Tabela 7

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti ČZ u statičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li je spoj ČZ i nogavica OFZ hermetičan	9				
2	Da li je spoj ČZ i nogavica KZ hermetičan	9				
3	Da li su ČZ udobne (da li žuljaju po obodu sare)	8				
4	Da li se i koliko znoje noge ispitanika u ČZ	6				

Tabela 8

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti ČZ u dinamičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li ČZ žuljaju po obodu sare pri dužem hodanju (izviđanje i dekontaminacija)	9				
2	Da li ČZ žuljaju na spoju sa KZ, pri izviđanju i dekontaminaciji	8				
3	Da li ČZ žuljaju na spoju sa OFZ, pri izviđanju i dekontaminaciji	8				
4	Da li pri dužem nošenju, usled znojenja nogu, dolazi do klizanja unutar čizme	6				

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti zaštitnih rukavica

U tabeli 9 data je METODA ispitivanja kompatibilnosti RZ u statičkim uslovima, a u tabeli 10 u dinamičkim uslovima.

Tabela 9

Ispitivanje kompatibilnosti RZ u statičkim uslovima

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li je hermetičan spoj RZ sa KZ	9				
2	Da li je hermetičan spoj RZ i OFZ	9				
3	Da li RZ smetaju pri rukovanju ličnim naoružanjem	7				

Ispitivanje kompatibilnosti RZ u dinamičkim uslovima
A) Pri izvođenju gađanja

Tabela 10

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li i kako RZ smetaju pri punjenju i pražnjenju ličnog naoružanja (okvira AP, PM, punjenja pištolja, itd.)	9				
2	Da li i kako RZ smetaju pri izvršenju okidanja u toku gađanja	9				
3	Da li i kako RZ smetaju pri bacanju bombe	8				

B) Na bojištu

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li RZ smetaju pri rukovanju uređajima i instrumentima (sredstvima veze, radiološki detektor, hemijski detektor, itd.)	9				
2	Da li RZ smetaju pri podešavanju nišanskih sprava (npr. RB)	8				
3	Da li RZ smetaju pri upotrebi ručnih raketnih bacača	8				
4	Da li RZ smetaju pri pružanju prve pomoći ranjenom ili povređenom licu	7				

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti zaštitnih čarapa
 U tabeli 11 prikazana je anketa za ispitivanje kompatibilnosti ČaZ.

Tabela 11

Ispitivanje kompatibilnosti ČaZ pomoću ankete

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li se može nesmetano hodati kada se ČaZ obuku preko cipela sa dužom sarom (asfaltni put, makadam, kamenjar, put obrastao niskim tnovitim rastinjem)	9	4	36	36/45=0,8	0,9 VISOKO KOMPATIBILNO
2	Da li veza ČaZ na mestu spoja sa ratnom uniformom žulja	8	5	40	40/40=1	
3	Da li su ČaZ dovoljno velike da se mogu navući na cipele svih brojeva koje nose vojnici	7	5	35	35/35=1	

Anketa za ispitivanje kompatibilnosti zaštitne kecelje

U tabeli 12 prikazana je anketa za ispitivanje komapatibilnosti KZ.

Tabela 12

Ispitivanje kompatibilnosti zaštitne kecelje pomoću ankete

Br. parametara, n	Kriterijum koji se ocenjuje	A, Nivo relevantnosti (5–10)	B, Ocena (1–5)	Broj poena (AB)	Kk	Ocena komp. $\Sigma Kk/n$
1	Da li je dovoljno duga okovratna traka KZ kada se nosi preko zimske uniforme (vetrovka)	9				
2	Da li je dovoljno duga traka koja ide oko struka kada se KZ nosi preko zimske uniforme (vetrovke)	8				

Vizuelni pregled

Radi dopune ocene o kompatibilnosti, dobijene putem ankete, neophodno je da anketar zapiše svoja vizuelna zapažanja u toku ispitivanja, a bilo bi poželjno da to isto urade i ispitanici. Vrlo je značajno da ispitivač pravovremeno reaguje kada uoči da ispitanik nepravilno nosi sredstava NHB zaštite.

Analiza

Posle praktičnih ispitivanja, anketiranja i beleženja zapažanja u toku izvođenja predviđenih radnji treba izvršiti temeljnu analizu na osnovu koje se daje ocena ispunjenja kompatibilnih karakteristika ispitivanog sredstva.

Sa stanovišta kriterijuma koji se ocenjuje bira se ona karakteristika sredstva koja je, u odnosu prema nekom drugom sredstvu, značajna sa stanovišta kompatibilnosti. Ta karakteristika se vrednuje preko parametra – nivoa relevantnosti, koji se izražava ocenom od 5 (veoma mali uticaj na kompatibilnost) do 10 (izvanredan uticaj na kompatibilnost). Zatim se ocenjuje zadovoljenje postavljenog kriterijuma ocenama od 1 (nije kompatibilan) do 5 (visoko kompatibilan). Između nivoa relevantnosti i ocene kompatibilnosti postavljena je korelacija data u tabeli 13.

Tabela 13

Zavisnost između nivoa relevantnosti kompatibilnosti i visine ocene

Nivo relevantnosti (5–10)	Minimalna dozvoljena ocena (1–5)
10	3
9	2
8	2
7	1
6	1
5	1

Ukoliko je data ocena ispod minimalno dozvoljene, sredstvo ne zadovoljava uslov kompatibilnosti, bez obzira na ostale kriterijume. Ukoliko je zadovoljen ovaj nužan uslov, ide se na proračun koeficijenta kompatibilnosti Kk. Njegova vrednost mora biti $\geq 0,5$. Ukoliko taj uslov nije ispunjen sredstvo nije kompatibilno.

Zaključak

U radu je prikazana originalna metoda ispitivanja kompatibilnosti sredstava NHB lične zaštite međusobno i sa ostalom opremom vojnika VS. Pri tome je utvrđeno:

1. Ocenjena je međusobna kompatibilnost NHB sredstava lične zaštite: zaštitne maske, filtrirajućeg zaštitnog odela, lakog zaštitnog ogrtača, zaštitnih čarapa, zaštitnih čizama, zaštitnih rukavica, zaštitnog kombinezona i zaštitne kecelje, ali isto tako i njihova kompatibilnost sa ostalim sredstvima NVO koja sledeju vojniku VS.

2. Metoda ispitivanja kompatibilnosti zasniva se na kvalitativnoj oceni datoj kroz anketiranje korisnika NHB sredstava lične zaštite i kvantitativnoj oceni vrednovanjem kompatibilnosti preko faktora kompatibilnosti Kk, koji predstavlja odnos između eksploataciono određene kompatibilnosti i maksimalno teorijski moguće. Taj odnos, tj. faktor Kk, mora da bude $\geq 0,5$, kako bi sredstvo bilo proglašeno za kompatibilno.

3. Za sva sredstva NHB lične zaštite teorijski je razrađena metoda ispitivanja kompatibilnosti. Za filtrirajuće zaštitno odelo M2, laki zaštitni ogrtač i zaštitne čarape M2 postavljena metoda ispitivanja kompatibilnosti verifikovana je kroz eksploataciona ispitivanja.

4. Dobijeni rezultati ispitivanja kompatibilnosti filtrirajućeg zaštitnog odela M2, lakog zaštitnog ogrtača i zaštitnih čarapa M2 ukazuju na to da je izabrana metoda ispitivanja u potpunosti zadovoljila.

Ovaj rad predstavlja nastavak razrade ideje da se na primeru sredstava lične NHB zaštite metodološki ukaže na mogući način prilaženja ovoj tematici. Da bi se došlo do faze prihvatanja metode za ocenu kom-

patibilnosti bilo kojeg sredstva NVO u VS, očigledno je da se ova aktivnost mora nastaviti i kroz praktičan rad dalje proveravati i dograđivati, a u zavisnosti od specifičnosti svakog pojedinačnog sredstva NVO.

Literatura

- [1] Projektni zadatak: *Model opremanja vojnika pešadije u funkciji optimizacije borbene efikasnosti, autonomnosti u izvršavanju borbenih zadataka i mogućnosti preživljavanja na bojištu*, GŠ VJ, Sektor za KoV, Uprava pešadije, 2001.
- [2] Maska zaštitna M-3, program realizacije, VTI br. 6535506.
- [3] Odelo filtrirajuće zaštitno, program realizacije, VTI br. 6543504.
- [4] Ogrtač zaštitni laki, program realizacije, VTI br. 6543505.
- [5] Čizme zaštitne M-5, PKP, VTI br. 6257.
- [6] Čarape zaštitne M2, program realizacije, VTI br. 6543505.
- [7] Kombinezon zaštitni M-5. PKP, VTI 0031/85.
- [8] Veljković, V., *Poslovna statistika*, Naučna knjiga, Beograd, 1992.

ZONA DETEKCIJE RADARA POD DEJSTVOM AKTIVNOG OMETANJA

Poručnik Vlada Sokolović, dipl. inž., sokosv@yahoo.com,
Vojna akademija,
poručnik Veselin Popović, dipl. inž., veskopopovic@yahoo.com,
126. centar VOJIN

Rezime:

U radu su simulirane karakteristike radara u prisustvu samozaštitnog ometača i ometača iz zone. Promenom parametara radara, ometača i njihovog međusobnog položaja korisnik može lako da uoči promene karakteristika radara. Pri simulaciji signal ometača simuliran je preko temperature šuma sistema. Termički šum prijemnika i antene takođe je uračunat. Simulirana je antena pravougaonog oblika sa uniformnom raspodelom polja u vertikalnoj ravni i Tejlorovom raspodelom polja u horizontalnoj ravni. Uticaj višestrukog prostiranja talasa takođe je uračunat, jer znatno utiče na karakteristike radara.

Ključne reči: radar, ometač, šum, antena, propusni opseg, višestruko prostiranje.

RADAR DETECTION ZONE UNDER ACTIVE JAMMING

Summary:

The performance of a radar in the presence of a standoff and a self-jammer is simulated. By varying the radar and jammer parameters and geometry, the user can study the effects of the jammer on the radar performance. The temperature is used in the radar equation to access the impact of jammer power on the radar SNR. The thermal noise introduced by the receiver and antenna can also be included. The antenna is a rectangular aperture uniformly illuminated in elevation and represented by a sampled aperture with a Taylor distribution in azimuth. Multipath (i. e. the interference of a ground-reflected wave with the direct wave) can significantly affect the radar performance.

Key words: radar, jammer, noise, antenna, bandwidth, multipath.

Uvod

Masovna upotreba radara u sistemima naoružanja nametnula je potrebu upotrebe elektronskih sredstava za degradiranje njihovih osnovnih parametara. Sredstva i postupci koji se primenjuju pripadaju elektronskoj

borbi, odnosno elektronskim dejstvima. Elektronska dejstva imaju za cilj da smanje verovatnoću detekcije i povećaju verovatnoću lažnog alarma radara i time onemogućavaju pravilnu detekciju ciljeva.

Cilj ovog rada je da analizom elektronskih dejstava pokaže uticaj elektronskih dejstava na bitne karakteristike radara. Pomoću matematičkog modela i programskog paketa *radom* detaljno su opisani parametri radara i ometača neophodni za analizu uticaja elektronskih dejstava, pri primeni šumnih smetnji. Rezultat analize prikazan je na konkretnom primeru radara TPS-63.

Osnovi radarske teorije

Jedna od najvažnijih jednačina za analizu karakteristika radara je radarska jednačina (1):

$$S = \frac{PGA_{ef}\sigma}{(4\pi)^2 R^4}. \quad (1)$$

Minimalna snaga korisnog signala S_{min} koja se na osnovu određenih kriterijuma može detektovati u smeši signal/šum određuje maksimalni domet radara:

$$R_{max} = \sqrt[4]{\frac{PG^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}}}. \quad (2)$$

Detekcija pojedinačnog impulsa

Iako se detekcija vrlo retko obavlja na osnovu jednog reflektovanog impulsa, u nastavku je prikazan model za računanje faktora detekcije za pojedinačan impuls.

Naime, prema ovoj metodi, problem detekcije paketa sa proizvoljnim brojem impulsa može se svesti na problem detekcije pojedinačnog impulsa od nefluktuirajućeg cilja (M tip cilja).

U opštem slučaju važi:

$$P_d = F(q, P_{la}), \quad (3)$$

gde je q – potreban odnos signal/šum u prijemniku radara (faktor detekcije).

U praksi je obično potrebno odrediti potreban odnos signal/šum za unapred date verovatnoće detekcije i lažnog alarma, što se može postići rešavanjem prethodne jednačine po q , i tada se dobija $q = q(P_d, P_{la})$.

Minimalna snaga korisnog signala u prijemniku radara prikazana je sledećom jednačinom:

$$S_{\min} = kT_s B q(P_d, P_{la}), \quad (4)$$

gde je: k – Bolcmanova konstanta, T_s – temperatura šuma sistema, B – frekvencijski opseg prijemnika.

Ako se (4) uvrsti u radarsku jednačinu dobija se:

$$R = \sqrt[4]{\frac{PG^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 kT_s B q(P_d, P_{la})}} = R(\sigma, P_d, P_{la}). \quad (5)$$

Antiradarska jednačina

Za definisanje antiradarske jednačine moraju se prethodno uvesti neki neophodni parametri.

Parametri radara:

- P_s – impulsna snaga radara,
- G_s – maksimalni dobitak antene radara,
- $F_s - (\varphi, \theta)$ normalizovana vrednost dijagrama zračenja antene radara,
- B_s – širina spektra signala na koji je podešen ulazni filter prijemnika,
- A_s – efektivna površina otvora antene data kao:

$$A_s = \frac{G_s \lambda^2}{4\pi}. \quad (6)$$

Parametri ometača:

- P_j – impulsna snaga ometača,
- G_j – maksimalni dobitak antene ometača,
- $F_j - (\varphi, \theta)$ normalizovana vrednost dijagrama zračenja antene ometača,
- B_j – širina spektra signala ometača,
- D_j – udaljenost ometača od radara.

Generalno važi da je gustina snage zračenja koju stvara ometač u okolini antene radara data kao [8]:

$$P_j = \frac{P_j G_j}{4\pi D_j^2} A_s F_s^2(\phi_j, \theta_j) F_j^2(\phi_j, \theta_j) \gamma_j \frac{B_s}{B_j} \Gamma_{js, radar}^2 10^{0.1 \alpha L_j}. \quad (7)$$

gde su: α – koeficijent slabljenja (dB/km) na rastojanju L_j (km), G_j – faktor prostiranja talasa između radara i ometača.

Intenzitet korisnog signala na ulazu prijemnika radara je [8]:

$$P_s = \frac{P_s G_s}{4\pi D_s^2} \frac{\sigma}{4\pi D_s^2} A_s \Gamma_s^4 10^{-0.2\alpha L_j} \quad (8)$$

Na osnovu jednačina (7) i (8) dobija se odnos snaga na ulazu u prijemnik:

$$k = \frac{P_j}{P_s} = \frac{P_j G_j}{P_s G_s} \frac{B_s}{B_j} F_s^2(\phi_j, \theta_j) F_j^2(\phi_s, \theta_s) \gamma_j \frac{4\pi D_s^4}{\sigma D_j^2} \frac{\Gamma_j^2}{\Gamma_s^4} 10^{0.1\alpha L_j} \quad (9)$$

Iz jednačine (9) vidi se da na efikasnost ometanja bitno utiče i koeficijent polarizacije γ koji govori o usklađenosti polarizacija antene radara i signala ometača.

Analiza radarske antene

U analizi reflektorskih antena koriste se tri metode: metoda geometrijske optike, aperturna metoda i metoda strujne raspodele na reflektoru. Aperturna metoda predstavlja kombinaciju geometrijske optike i fizičke optike. Naime, metodama geometrijske optike nalazi se raspodela polja u otvoru antene, a zatim se metodama fizičke optike (difrakcije) računa polje u dalekoj zoni. Ova metoda daje za praksu zadovoljavajuće rezultate, što je primenjeno i u ovom radu. Prikazan je najprostiji primer pravougao-nog oblika $S = ab$ sa takozvanom separabilnom raspodelom polja[3].

$$E_0(x, y) = E_m f_1(x) f_2(y), \quad (10)$$

gde je E_m maksimalna vrednost polja, dok su f_1 i f_2 normalizovane, bezdimenzione raspodele.

Može se utvrditi da od svih ekvifaznih raspodela, uniformna amplitudna raspodela daje najuži snop zračenja i najveći dobitak, ali sa visokim nivoom bočnog loba od oko $-13,2$ dB, što je posledica naglog pada raspodele sa jedinične vrednosti na nultu vrednost na krajevima antene. Da bi se nivo bočnog loba smanjio raspodela mora da opada ka krajevima antene. Nažalost, tada dolazi do proširenja glavnog loba i pada dobitka, pa se mora tražiti kompromis. Jedan od opšteprihvaćenih kompromisa je takozvana Tejlorova raspodela.

Efikasnost zračenja antene η , računa se na osnovu faktora iskorišćenja koji zavise od funkcije raspodele polja u otvoru antene [2]. U programu se raspodela polja zasniva na Tejlorovoj raspodeli, što znači da efikasnost zavisi od nivoa bočnog loba G_s , što se može videti iz priložene tabele. Izraz

za izračunavanje efikasnosti dat je u (11), a faktori iskorišćenja η_x, η_y računaju se prema izrazima u tabeli 1.

$$e_a = \eta_x \eta_y. \quad (11)$$

Tabela 1

Faktor iskorišćenja antene za pojedine funkcije raspodele polja

Funkcija raspodele polja	Faktor iskorišćenja η_x, η_y	Konstanta širine snopa, K
Uniformno pravougaona	1	0,886
Uniformno kružna	1	1,02
Tipa $\cos$	0,80	1,19
Tipa $\cos^2$	0,67	1,27
Tejlorova funkcija	$1 + 0,011(G_s + 15) + (0,008(G_s + 15))^2$	$0,9 - 0,0135(G_s + 15)$
Tipa $\csc^2$	$^* \eta_c - \frac{\eta_y}{L_{cs}}$	

* L_{cs} – je takozvani $\csc^2$ gubitak.

Pored maksimalnog dobitka G_m antene u radarskoj tehnici definiše se i dobitak antene G u proizvoljnom pravcu, što će biti iskorišćeno za opis dijagrama zračenja antene.

$$G = G(\theta, \varphi) = G_m g(\theta, \varphi), \quad (12)$$

gde je $G_m = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef}$.

Efektivna površina antene srazmerna je geometrijskoj, tako da se može pisati [3]:

$$A_{ef} = \rho A_{geom}, \quad (13)$$

gde je: ρ tzv. koeficijent iskorišćenja otvora antene, koji zavisi od raspodele polja u otvoru antene.

Podrazumeva se pravougaoni oblik reflektorske antene, pri čemu su W_{az} i W_{el} dimenzije otvora antene. Normalno na površinu antene postavljena je z osa, tako da je antena uvek pozicionirana na cilj. Raspodela polja po elevaciji je uniformna, a po azimutu Tejlorova. Apertura je izdvojena sa 0,5 talasnih dužina signala i uzeto je minimalno 5 odbiraka. Ukoliko zadati nivo bočnih lobova prelazi -15dB primenjuje se uniformna raspodela polja po azimutu. Potiskivanje zadnjih lobova izraženo je kosinus-kvadratnom formom [6]:

$$EF = (1 - BII) \cos^2(\theta/2) + BII, \quad (14)$$

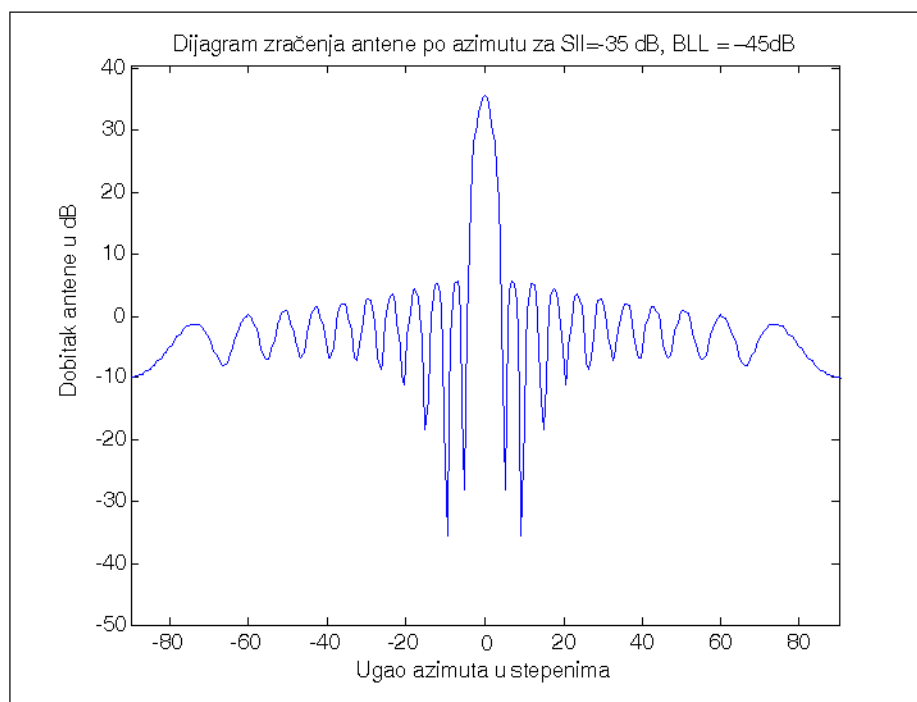
gde je $BII = 10^{(BII_{dB}/20)}$ a BII_{dB} relativni nivo zadnjih lobova u [dB].

Konačno, u izraz ulaze maksimalni dobitak antene i efikasnost antene čiji su proračuni prethodno prikazani [6]:

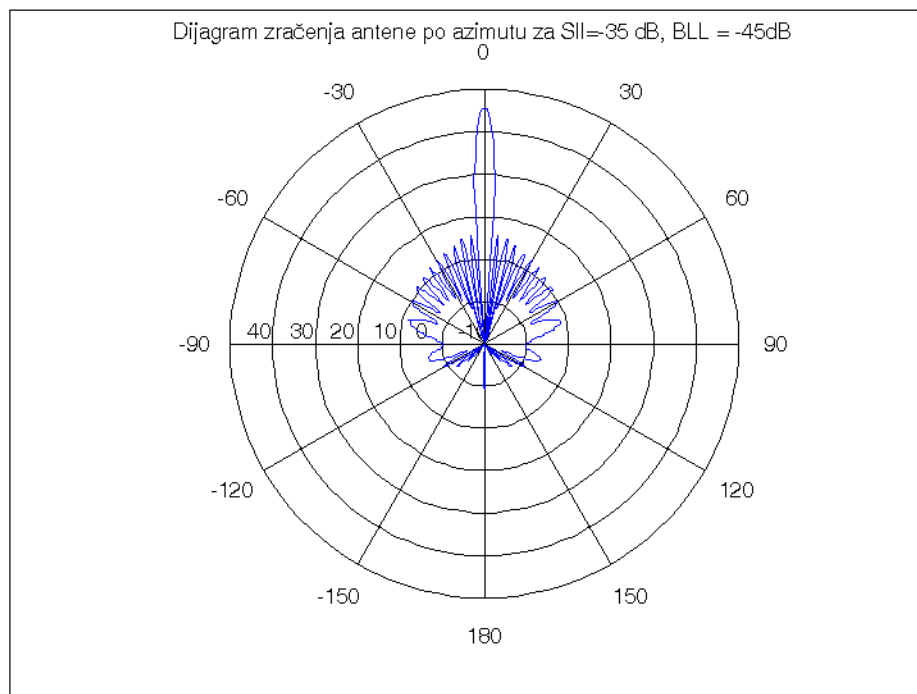
$$G(\theta_{el}, \varphi_{az}) = \underbrace{\frac{4\pi(W_{az}W_{el})e \cdot e_A}{\lambda^2}}_{\equiv G_{max}} \times \underbrace{\times Taylor^2(W_{az}, k \sin \theta \sin \varphi, nbar, Sll dB) \cdot EF^2 \sin^2 \left(\frac{kW_{el}}{2} \sin \theta \cos \varphi \right)}_{\equiv f^2}$$

pri čemu f_i predstavlja normalizovanu vrednost dijagrama zračenja antene.

Na slici 1 prikazan je dijagram zračenja antene radara TPS-63, u pravougaonoj ravni. Sa ovog dijagrama vidi se da je dobitak glavnog loba antene oko 35dB i da se prvi bočni lobovi nalaze na oko -30dB. Može se izračunati i širina dijagrama zračenja na -3dB maksimalne vrednosti dobitka antene.



Slika 1 – Dijagram zračenja antene radara TPS-63 prikazan u pravougaonoj ravni



Slika 2 – Dijagram zračenja antene radara TPS-63 prikazan u polarnoj ravni

Na slici 2 prikazan je dijagram zračenja antene radara TPS-63 u polarnoj ravni. Sa ovog dijagrama vidi se celokupan izgled dijagrama zračenja antene u azimutalnoj ravni.

Gubici u sistemu

Posebnu vrednost razvijenog računarskog modela predstavlja mogućnost analize uticaja različitih gubitaka, u procesu radarskog osmatranja, na karakteristike radarskog sistema.

Postoji nekoliko uzroka koji utiču na smanjenje raspoložive energije signala na ulazu u prijemni kanal radara. To su [1]:

- a) gubici u predajniku, (L_t , engl. „transmission line loss“),
- b) gubici na anteni, disipativni gubici (L_a , engl. „dissipative loss“) i gubici zbog oblika dijagrama zračenja (L_n , engl. „pattern constant“),
- c) gubici u atmosferi (L_α , engl. „atmospheric attenuation“),
- d) gubici u prijemnom vodu (L_r , engl. „receiving line loss“),
- e) gubici zbog oblika dijagrama zračenja (L_p , engl. „beamshape loss“).

U grupu gubitaka koji nastaju u toku obrade primljenog radarskog signala spadaju [1]:

- a) *faktor podešenosti filtra* (M , engl. „filter matching factor“),
- b) *gubitak integracije* (L_i , engl. „integration loss“),
- c) *gubici propadanja* (L_c , engl. „collapsing loss“),
- d) *gubici fluktuacije* (L_f , engl. „fluctuation loss“),
- e) *gubici usled CFAR detekcije* (L_g , engl. „CFAR loss“),
- f) *gubici usled nepoklapanja po daljini* (L_{er} , engl. „range straddling loss“),
- g) *gubici zbog nepoklapanja po uglu* (L_{ea} , engl. „angle straddling loss“),
- h) *gubici zbog zamračenja* (L_{ec} , engl. „eclipsing loss“),
- i) *ostali gubici u obradi* (L_x , engl. „miscellaneous loss“).

Temperatura šuma sistema

Temperatura šuma sistema je koncept koji objedinjuje sva tri izvora termičkog šuma u prijemnom kanalu radara (antena – prijemni vod – prijemnik) u jedan ekvivalentni šum koji vlada na priključku antene, tako da se prijemni kanal može smatrati idealnim.

Temperatura šuma sistema računa se prema jednačini [1]:

$$T_s = T_a + T_r + L_r T_e, \quad (15)$$

gde pojedine komponente imaju sledeće značenje:

– *temperatura šuma antene*: $T_a = (0,88T_{a'} - 254)/L_a + 290$,

$T_{a'}$ – temperatura neba,

L_a – disipativni (omski) gubici unutar antene;

– *temperatura prijemnog voda*: $T_r = T_{tr}(L_r - 1)$,

T_{tr} – fizička temperatura prijemnog voda,

L_r – gubici u prijemnomvodu;

– *temperatura prijemnika*: $T_e = T_0(F_n - 1)$,

T_0 – referentna temperatura (290 K),

F_n – faktor šuma prijemnika.

Uticaj efekta prostiranja na domet radara

Osnovni efekti koji utiču na realni domet radara jesu *refrakcija, slabljenje u atmosferi, refleksija od tla i difrakcija na površinskim objektima* duž putanje radarskog snopa.

Radi određivanja regiona u kojem se izračunavaju efekti prostiranja potrebno je izračunati veličinu koja se naziva referentni domet radara. To je maksimalni potencijalni domet radara, pod pretpostavkom da je obrada energije signala koja postoji na ulazu radarskog prijemnika idealna. Pri

proračunu referentnog dometa uzima se da je potreban odnos signal/šum 12 dB i da su uslovi prostiranja idealni, tj. da nema slabljenja u atmosferi.

Jednačina za izračunavanje referentnog dometa je [1]:

$$R_x = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{P_a t_o G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 F_n L_t L_r}} \quad (16)$$

Refrakcija

Refrakcija nastaje usled nehomogenosti atmosfere, a označava efekat povijanja radarskog snopa naviše ili naniže pri prolasku kroz troposferu i jonosferu, u zavisnosti od vrednosti indeksa refrakcije. Refrakcija utiče na dijagram pokrića i na tačnost merenja koordinata cilja.

Efekat refrakcije modeluje se uvođenjem faktora efektivnog prečnika Zemlje K_e . Ako se nehomogena atmosfera želi zameniti homogenom (bez refrakcije) potrebno je uvesti korigovani poluprečnik Zemlje r'_z koji je jednak [1]:

$$r'_z = K_e r_z, \quad (17)$$

gde je $r_z = 6370$ km stvarni poluprečnik Zemlje, a K_e faktor efektivnog prečnika Zemlje koji u ovom slučaju treba da ima vrednost 4/3.

Slabljenje u atmosferi

Atmosferske čestice (vazduh, padavine, oblaci, magla, itd.) uzrokuju gubitak energije radarskog signala usled efekata apsorpcije i raspršenja. Slabljenje radarskog signala u normalnoj atmosferi zanemarivo je na nižim frekvencijama (ispod 1 GHz), dok na višim postaje značajno. Ako postoje padavine, koeficijent slabljenja imaće dodatnu komponentu. Kiša i mokr sneg znatno povećavaju slabljenje, dok suv sneg, magla i oblaci imaju manji uticaj na slabljenje.

Slabljenje u atmosferi je funkcija koeficijenta slabljenja k_a (na nivou mora), daljine do cilja R i efektivne dužine putanje na nivou mora R_a . Efektivna dužina putanje na nivou mora zavisi od ugla elevacije cilja i predstavlja dužinu koja ima isto slabljenje kao putanja sa zadatom eleva-

cijom kroz celu atmosferu. Pošto se cilj nalazi na konstantnoj visini, njegova elevacija računa se prema izrazu [1], [2]:

$$\sin \theta_i = \frac{h_i - h_r}{R} - \frac{R}{2K_e R_z}, \quad (18)$$

gde su:

h_r – visina na kojoj se nalazi centar faznog fronta radarske antene,

R – daljina do cilja,

$R_z = 6370$ km – poluprečnik Zemlje,

K_e – faktor efektivnog prečnika Zemlje,

θ_i – ugao elevacije cilja.

Efektivna elevacija cilja θ_{ef} iznosi:

$$\theta_{ef} = \theta_i + \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{\theta_i + 0,028}, \quad (19)$$

gde je potrebno elevaciju cilja θ_i zadati u radijanima.

Efektivna dužina putanje na nivou mora računa se na osnovu jednačine:

$$R_a = \frac{3,0}{\sin \theta_{ef}} [\text{km}], \quad (20)$$

Koeficijent slabljenja u slučaju padavina računa se prema relaciji:

$$k'_a = r_p k_{ap} + k_a, \quad (21)$$

gde su:

k'_a – ukupno slabljenje u atmosferi,

r_p – brzina padanja,

k_{ap} – koeficijent slabljenja za određenu vrstu padavina,

k_a – slabljenje u čistoj atmosferi.

Konačno, ukupni gubici u atmosferi dobijaju se prema sledećem izrazu [1]:

$$L_\alpha = k'_a R_a \left(1 - e^{-\frac{R}{R_a}}\right). \quad (22)$$

Vrednost slabljenja u atmosferi, koja će biti korišćena pri proračunu temperature neba, računa se za domet radara do 500 km i ta se vrednost smatra konstantnom na celom intervalu $0 < R < 500$ km. Koeficijent sla-

bljenja u čistoj atmosferi k_a , kao i koeficijenti slabljenja u slučaju kiše i snega k_{ap} (normalizovani brzinom padavina) izražavaju se u dB/km i prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2

Koeficijenti slabljenja u atmosferi

Opseg	UHF	L	S	C	X	K _u	K	K _a	V	W		
f [GHz]	0,4	1,3	3	5,5	10	15	22	35	60	95	140	240
k _a [dB/km]	0,01	0,0012	0,015	0,017	0,024	0,055	0,3	0,14	35	0,8	1	15
k _{ap} (kiša)	0	0,0003	0,0013	0,008	0,037	0,083	0,23	0,57	1,3	2	2,3	2,2
k _{ap} (sneg)	0	0,0003	0,0013	0,008	0,002	0,004	0,008	0,015	0,03	0,06	0,006	0,08

U nastavku izvršenja programa zadata je vrednost faktora galaktičkog i solarnog šuma koji predstavlja komponentu temperature neba. Vrednost tog parametra postavljena je na $K_g = 3 \cdot 10^8$, što znači da ovi šumovi imaju normalnu vrednost.

$$\text{Temperatura ovih šumova je [1]: } T_g = \frac{K_g}{f^{2.5}} + T_1, \quad (23)$$

gde je f – frekvencija nosioca [MHz], a $T_1 = 5$ K. Zatim se proračunava temperatura neba, koja pored galaktičke komponente ima i komponentu usled atmosfere T_{pa} :

$$T_{pa} = 290 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{L_\alpha}} \right). \quad (24)$$

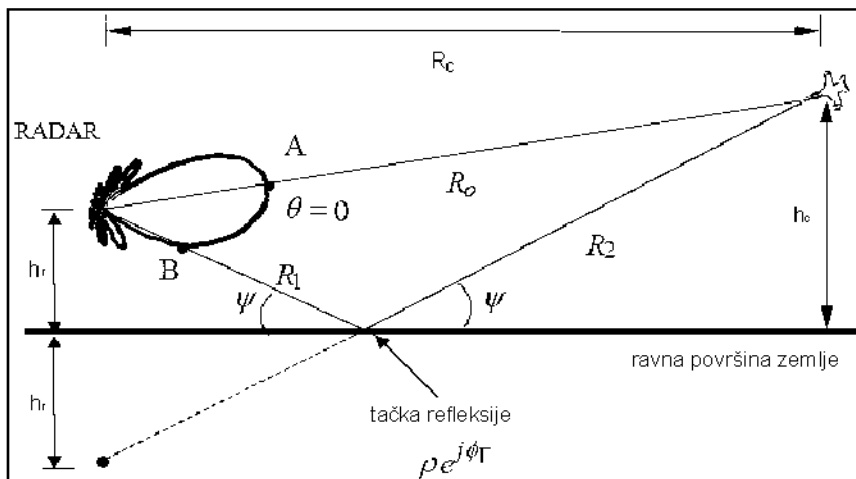
$$\text{Temperatura neba je: } T'_a = T_g + T_{pa}. \quad (25)$$

Refleksija od tla i difrakcija

Refleksija od tla izaziva modifikaciju oblika dijagrama zračenja (lepezasta struktura) u odnosu na dijagram zračenja u slobodnom prostoru, što utiče na domet, a usled efekta višestrukog prostiranja javljaju se greške merenja koordinata cilja. Efekti refleksije i difrakcije mogu se modelovati preko veličine koja se naziva faktor oblika prostiranja.

U proračunu karakteristika radara faktor oblika prostiranja (F, engl. „pattern propagation factor“) daje odnos snage signala koja bi postojala na kraju putanje snopa zračenja u slobodnom prostoru prema trenutno postojećoj snazi.

Faktor prostiranja ulazi u brojilac radarske jednačine i to kao četvrti stepen (F^4), jer se mora uzeti u obzir dvostruka putanja koju prelazi elektromagnetni talas.



Slika 3 – Refleksija signala sa ravnog tla

Na slici 3 prikazan je osnovni model refleksije sa ravnog tla na osnovu kojeg se vrši proračun uticaja refleksije.

Ukupno električno polje koje se formira na cilju sada je zbir električnog polja direktnog i reflektovanog talasa [4], [6]:

$$|E_{tot}| = \left| \underbrace{E_{dir}}_{\text{DIREKTNI}} + \underbrace{E_{ref}}_{\text{REFLEKTOVANI}} \right| = F_T(\theta_A) \frac{e^{-jkR_0}}{4\pi R_0} \left[1 + \overbrace{\rho e^{j\phi_r} \frac{f_t(\theta_B)}{f_t(\theta_A)}}^{=F} e^{-jk\Delta R} \right]. \quad (26)$$

Ukoliko su faktori prostiranja dati u obliku:

$$\begin{aligned} f(\theta_d) &= f_d e^{-j\beta_d}, \\ f(\theta_r) &= f_r e^{-j\beta_r}, \end{aligned} \quad (27)$$

gde su f_d i skalarnе magnitude, a β_d i β_r fazni stavovi signala direktnog i reflektovanog talasa i ukoliko je α razlika ovih uglova, može se pisati:

$$F = f_d \left| 1 + \frac{\rho f_r}{f_d} e^{j\alpha} \right|. \quad (28)$$

Ukoliko je antena pozicionirana na cilj, onda je $f_d(\theta_d) = 1$. Prime-nom Ojlerove teoreme, gde je $e^{j\phi} = \cos \phi + j \sin \phi$, dobijamo konačnu jednačinu [4]:

$$F = \left| \sqrt{1 + x^2 + 2x \cos \alpha} \right|, \text{ gde je } x = \frac{\rho f_r}{f_d}. \quad (29)$$

Maksimalni domet radara

U slučaju proračuna maksimalnog dometa u idealnim uslovima prostira-nja iskorišćen je uslov da je temperatura sistema $T_s = T_0$ (gde je $T_0 = 290$ [K]).

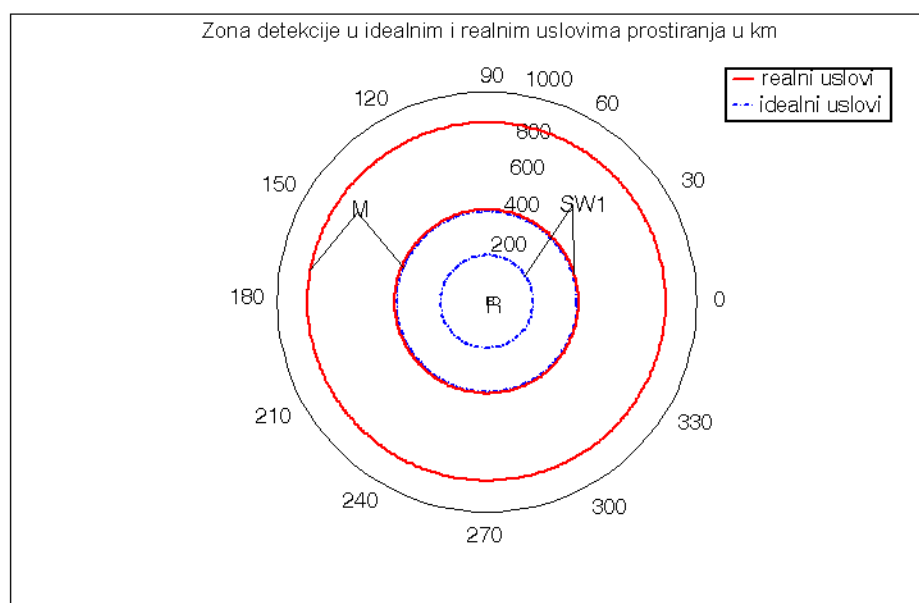
Na slici 4 prikazan je grafički interfejs programskog paketa radom koji je razvijen za potrebe simulacije elektronskih dejstava šumnim smet-njama. U osnovni prozor mogu se uneti parametri radara ometača i cilja neophodni za proračun.

The screenshot shows the 'radom' software interface with the following sections:

- PARAMETRI RADARSKE ANTENE**
 - polarizacija: H, V, R, I (radio buttons)
 - V [u/min]: 10
 - SI1 (dB): -35
 - SI2 (dB): -45
 - sirina aperture (m): 4.8
 - visina aperture (m): 3.3
 - visina (m): 4
- PARAMETRI RADARA**
 - Pr (dB): 50
 - Gr (dB): 10
 - BW (MHz): 10
 - sirina imp (mic.s): 10
 - faktor suma prij: 10
 - Ip (k): 500
 - Pla: 1+6
 - Pa: 3.95
 - pri (Hz): 0.75
 - f (GHz): 1.3
- CILJ**
 - tip cilja: SW1 (dropdown)
 - rip (m^2): 1
 - visina (m): 1000
- REFLEKSIVNOST**
 - magnitude: (empty field)
 - exn (deg): 120
- STACIONARNI OMETAC**
 - polarizacija: H, V, R, L (radio buttons)
 - PjCj (W): 100000
 - BW (MHz): 20
 - azimut (deg): 0
 - daljina (km): 500
 - visina (m): 10
- SAMOZASITNI OMETAC**
 - polarizacija: H, V, R, L (radio buttons)
 - PjCj (W): 1000
 - BW (MHz): 100
 - Qj (dB): -5
- Buttons:** START, STOP
- Results:**
 - MAKSIMALNI DOMET RADARA U IDEALNIM USLOVIMA PROSTIRANJA U [KM]: 220.5662
 - MAKSIMALNI DOMET RADARA U IDEALNIM USLOVIMA PROSTIRANJA U [KM]: 457.5286

Slika 4 – Interfejs programa *radom* pomoću kojeg su realizovane simulacije

Maksimalni domet radara u idealnim i realnim uslovima prostiranja prikazan je na slici 5. I u jednom i u drugom slučaju vidi se da efekat prostiranja, kao i gubici u sistemu predaje i prijema, koji se ispoljavaju preko temperature šuma sistema, bitno utiču na domet radara. Pri simulaciji dometa radara simulirani cilj bio je Markumovog tipa i tipa Sverling 1 koji se najčešće koristi u analizama.



Slika 5 – Zona detekcije radara u idealnim i realnim uslovima prostiranja za cilj tipa M i SW1

Elektronsko ometanje

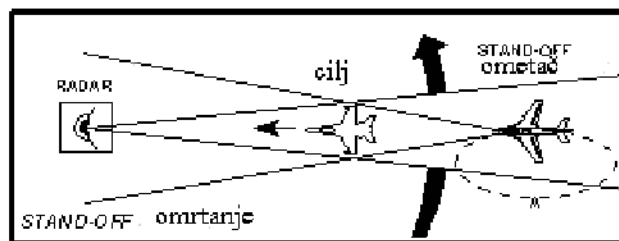
Elektronska dejstva predstavljaju skup mera i postupaka usmerenih na degradiranje karakteristika elektronskih uređaja. Elektronska dejstva imaju za cilj da smanje verovatnoću detekcije i povećaju verovatnoću lažnog alarma i na taj način onemoguće pravilnu detekciju radara.

Ukoliko su poznati svi potrebni parametri mogu se primeniti uskopojasne smetnje. Tada je odnos širine spektra smetnji i signala $B_j/B_s = 1$.

Što se tiče tehničke realizacije postoje šumne i impulsne smetnje. Šumne smetnje zaslepljuju, a impulsne stvaraju lažne ciljeve. Za uspešnu primenu šumnih smetnji potrebno je koristiti razne taktičke postupke koji će doprineti još većoj efikasnosti. Primena odgovarajućih taktičkih postupaka zavisi od konkretne situacije. Taktički postupci su:

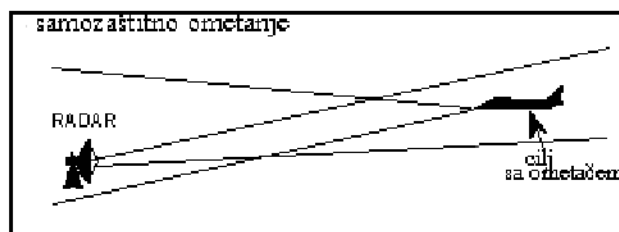
- ometanje iz zone (engl. „stand off jamming“),
- ometanje van borbenog poretka (engl. „escort jamming“),
- ometanje iz borbenog poretka (engl. „self-screening/self-protection jamming“),
- kooperativno ometanje (engl. „kombinacija više postupaka istovremeno“).

Ometanje iz zone predstavlja taktički postupak, kao na slici 6, pri kojem se ometanje vrši iz zone koja nije izložena dejstvu sistema oružja protivnika, a sa ciljem da se smanji efikasnost sistema naoružanja protivnika. Za izvršenje ovog ometanja potrebne su velike snage (1–2 kW srednje snage po opsegu), jer se ometanje vrši po bočnim snopovima dijagrama zračenja prijemne antene radara.



Slika 6 – Taktički postupak ometanja iz zone

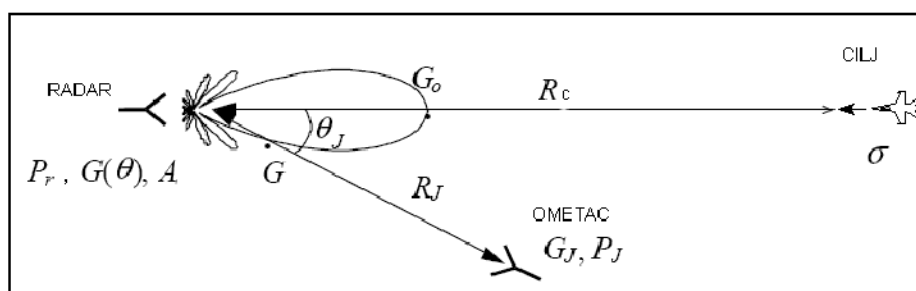
Ometanje iz borbenog poretka u slučaju jednog aviona naziva se samozaštitno ometanje, kao na slici 7, a u slučaju grupe aviona naziva se zavesno ometanje. Svaki moderan avion snabdeven je sistemom samozaštitnog ometanja, a pri dejstvu u grupi ukupna snaga se povećava.



Slika 7 – Taktički postupak ometanja iz borbenog poretka – samozaštitno ometanje

Parametar koji karakteriše efikasnost ometanja naziva se dubina prodora kroz protivničku PVO R_{bt} . Dubina prodora predstavlja kosu daljinu od ometača do radara na kojoj su smetnje još uvek efikasne, tj. radar ne dobija podatke o cilju, a posle ove daljine može da izmeri koordinate cilja i omogući dejstvo po njemu.

U analizi su obrađena dva načina ometanja šumom i to ometanje iz zone i ometanje iz poretka sa taktičkom situacijom kao na slici 8.



Slika 8 – Taktička situacija položaja radara i ometača

Ometanje iz zone

Ometanje iz zone može biti posredstvom ometača koji se nalazi na zemlji ili na avionu. Pošto se takav ometač najčešće nalazi dosta daleko od radara prihvaćen je princip da se smatra stacionarnim u odnosu na radar, tj. da se nalazi pod konstantnim azimutom. Jednačina koja pokazuje kolika je snaga koju prima radar od ometača je [6]:

$$P_{rj} = \left(\frac{P_j G_j}{4\pi R_j^2} \right) \left(\frac{\lambda^2 G(\theta_j)}{4\pi} \right) = \frac{P_j G_j \lambda^2 G(\theta_j)}{(4\pi R_j)^2} \gamma_j, \quad (30)$$

gde su:

- $P_j G_j$ – efektivna izračena snaga ometača u pravcu radara,
- R_j – daljina ometača,
- $G(\theta_j)$ – dobitak antene radara na azimutu ometača.

Smatrajući da je dobitak antene po glavnom lobu, koji se nalazi na cilju, $G_0 \equiv G(\theta = 0) = G_{\max}$, snaga reflektovanog, korisnog signala data je kao:

$$P_r = \frac{P_t G_0^2 \lambda^2 \sigma G_p}{(4\pi)^3 R_t^4}, \quad (31)$$

gde je G_p generalizovano procesno pojačanje u toku obrade signala. Odnos korisnog signala i signala ometača prikazan je kao [6]:

$$SJR = \frac{S}{J} = \frac{P_r}{P_{rj}} = \left(\frac{P_t G_0}{P_j G_j} \right) \left(\frac{R_j^2}{R_t^4} \right) \left(\frac{\sigma}{4\pi} \right) \left(\frac{G_0}{G(\theta_j)} \right). \quad (32)$$

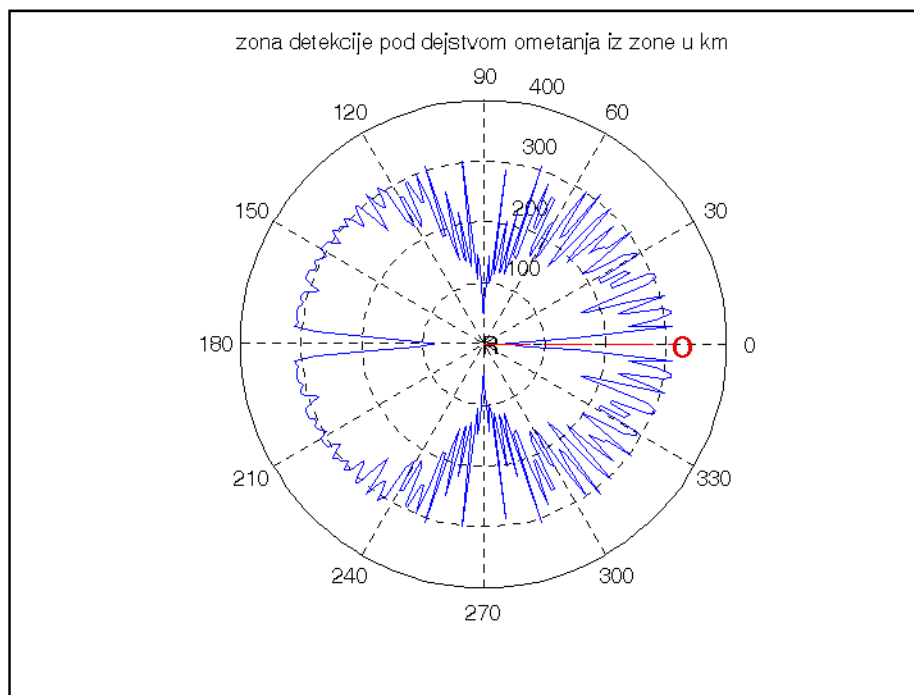
Uticaj ometanja može se efikasno modelovati kroz temperaturu, kao $N_0 \equiv P_{rj} = kT_j B_n$, tako da izraz za P_{rj} dobija oblik:

$$P_{rj} = \frac{P_j G_j G(\theta_j) \lambda^2}{(4\pi R_j)^2} \gamma_j \left(\frac{B_n}{B_j} \right) \quad (33)$$

Temperatura koja se pritom stvara na strani radara iznosi:

$$T_j = \frac{P_{rj}}{kB_n} = \frac{P_j G_j G(\theta_j) \lambda^2 \gamma_j}{(4\pi R_j)^2 kB_j}. \quad (34)$$

Ova temperatura ulazi u sastav celokupne temperature šuma sistema. Na sledećoj slici prikazan je primer zone detekcije radara pod dejstvom ometanja iz zone.



Slika 9 – Zona detekcije radara TPS-63 pod dejstvom ometanja iz zone

Na slici 9 prikazan je uticaj šumnog ometanja iz zone na oblast detekcije radara. Vidi se da je najveći efekat dejstva ispoljen na glavnom lobu zbog najvećeg dobitka antene na tom pravcu. Efekat je izražen i po

bočnim lobovima. Efekat dejstva po zadnjim lobovima u realnoj situaciji nije toliko izražen, a posledica je simulacije. Takođe, vidi se kolika je zona zamračenja, gledano po uglu azimuta, u kojoj radar ne može da detektuje cilj, i kolika je dubina prodora, odnosno granica gde su korisni signal i signal ometanja jednaki.

Ometanje iz poretka

S obzirom na to da radar na daljini otkrivanja teško može da razdvoji bliske ciljeve, tako da se oni nalaze u istoj rezolucionoj ćeliji, smatra se da se eskortno ometanje može svesti na princip samozaštitnog ometanja. Jedan od najčešće primenjivanih principa izračunavanja dometa radara pod dejstvom ometanja jeste pomoću modela šuma, gde šum ima karakter kvazibelog šuma koji se superponira sa termičkim šumom prijemnika. Efekat ovog načina ometanja ispoljava se kroz porast ukupne spektralne snage šuma u prijemnom kanalu radara sa N_0 na $N_0 + J_0$, gde je J_0 spektralna gustina snage ometačkog signala data sa [1]:

$$J_0 = \frac{P_j G_j G(\theta) \lambda^2 F_j^2}{(4\pi)^2 B_j R_j^2 L_{\alpha j}} \gamma_j, \quad (35)$$

gde su:

P_j – snaga ometača,

G_j – dobitak antene ometača u pravcu radara,

$G(\theta)$ – dobitak prijemne antene radara,

F_j^2 – karakteristika prostiranja na pravcu ometač – radar,

$L_{\alpha j}$ – slabljenje kroz atmosferu na pravcu ometača,

B_j – širina spektra ometačkog signala,

γ_j – faktor polarizacije.

Proizvod $P_j G_j$ često se u literaturi označava kao *ERP* (engl. „Effective Radiation Power“), što predstavlja efektivnu snagu ometača izračenu ka radaru. Uticaj ometača na domet radara može se uzeti u obzir preko porasta temperature šuma sistema T_s . Doprinos temperaturi šuma sistema računa se prema sledećoj jednačini [1]:

$$T_j = \frac{P_j G_j G(\theta) \lambda^2 F_j^2 \gamma_j}{(4\pi)^2 k B_j R_j^2 L_{\alpha j}}, J_0 = k T_j \Rightarrow T_j = \frac{J_0}{k}. \quad (36)$$

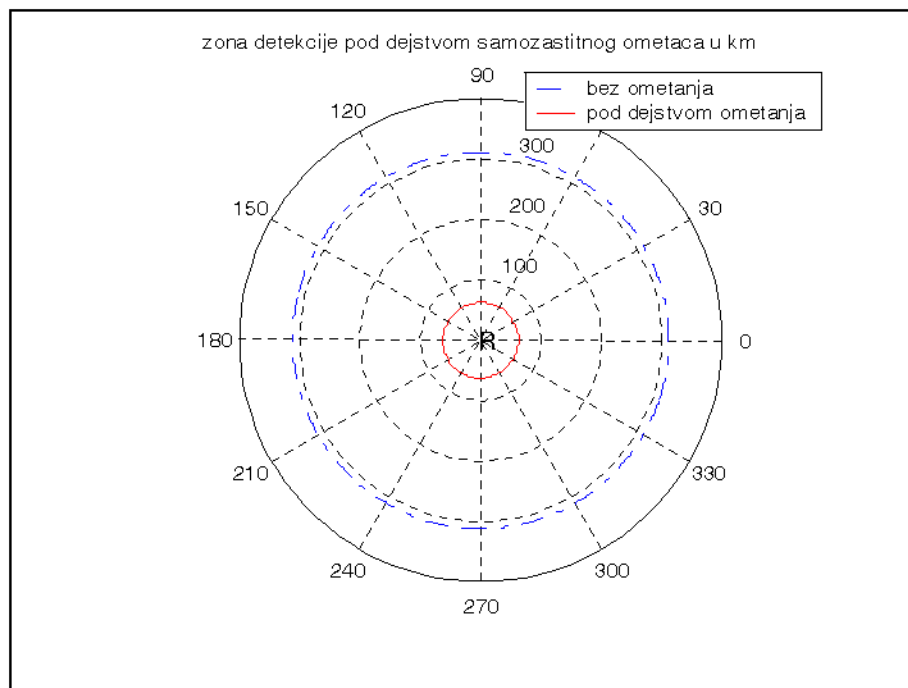
Sada je ukupna temperatura šuma u prijemnom kanalu radara:

$$T_{uk} = T_s + T_j. \quad (37)$$

Uticaj odstupanja ometačkog šuma od idealne Gausove prirode modeluje se faktorom kvaliteta smetnje Q_j . Ako šum odstupa od idealne raspodele Q_j uzima vrednost manju od jedinice, dok je u suprotnom $Q_j=1$. Faktor kvaliteta šuma uzima se u obzir pri određivanju temperature šuma smetnje na sledeći način:

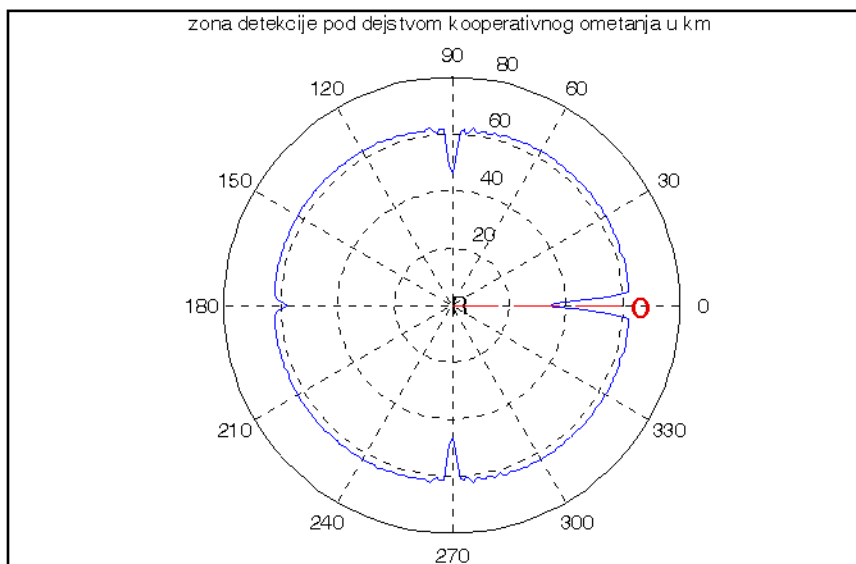
$$T_j = \frac{Q_j P_j G_j G(\theta) \lambda^2 F_j^2 F_p^4}{(4\pi)^2 k B_j R_j^2 L_{eq}}. \quad (38)$$

Pošto se samozaštitni ometač nalazi podvešan na avionu, tj. samom cilju, podrazumeva se da se nalazi u glavnom lobu dijagrama zračenja antene, a tu je najveći dobitak antene. Posledica toga je velika efikasnost ovog tipa ometanja, što je prikazano na slici 10.



Slika 10 – Zona detekcije radara TPS-63 sa i bez uticaja samozaštitnog ometanja

Na slici 11 prikazan je primer kooperativnog ometanja, odnosno združenog dejstva ometanja iz zone i ometanja iz poretka. Na taj način zona detekcije radara pomerena je daleko na strani radara, a efekat maskiranja veoma je efikasan.



Slika 11 – Zona detekcije radara TPS-63 pod dejstvom kooperativnog ometanja

Ukoliko je $B_j < B_n$ ometač će pokrivati samo deo spektra radarskog signala, što znači da će biti manje efikasan u maskiranju ciljeva nego u slučaju kada je širina spektra signala ometača jednaka širini spektra korisnog signala. Podrazumeva se da je propusni opseg prijemnika podešen na širinu spektra korisnog signala.

Ako je polarizacija talasa koju zrači ometač različita od polarizacije antene radara, efikasnost smetnji biće smanjena. U tabeli 3 dat je koeficijent usklađenosti polarizacija antene i prijemnog talasa ometača, $0 < F_p \leq 1$. U tabelama 4, 5 i 6 prikazane su karakteristike ometača koji se koriste za ometanje iz zone, eskortno ometanje i samozaštitno ometanje respektivno.

Tabela 3

Koeficijent usklađenosti polarizacija signala radara i ometača

Polarizacija antene radara	Polarizacija signala ometača	Faktor usklađenosti F_p
H	H	1,0
H	V	0,1
HiliV	RiliL	0,5
V	V	1,0
V	H	0,1
R	R	0,5
R	L	1,0
RiliL	ViliH	0,5
L	L	0,5
L	R	1,0

Parametri SOJ ometača namenjenih ometanju iz zone

Tabela 4

Udaljenost ometača od radara R_i	10–1000 km
Visina ometača	0–30 km
ERP $P_i G_i$	$1-10^6$ W
Kvalitet šuma ometača Q_i	-10–0 dB
Širina propusnog opsega ometača B_i	1–1000 MHz
Polarizacija ometača	H, V, R, L

Parametri ESJ ometača namenjenih ometanju van borbenog poretka

Tabela 5

Udaljenost ometača od cilja R_c	-100–100 km
ERP $P_i G_i$	$1-10^6$ W
Kvalitet šuma ometača Q_i	-10–0 dB
Širina propusnog opsega ometača B_i	1–1000 MHz
Polarizacija ometača	H, V, R, L

Parametri SSJ ometača namenjenih ometanju iz borbenog poretka

Tabela 6

ERP $P_i G_i$	$1-10^4$ W
Kvalitet šuma ometača Q_i	-10–0 dB
Širina propusnog opsega ometača B_i	1–1000 MHz
Polarizacija ometača	H, V, R, L

Zaključak

Rad pokazuje na koji način elektronska dejstva utiču na promenu karakteristika radara. Kroz matematički model programskog paketa *radom* opisani su svi neophodni parametri za analizu rada radara i ometača. Pokazano je koji od parametara radara su podložni uticaju elektronskih dejstava i u kojoj meri. Izvršena je detaljna analiza ometanja, šumnim smetnjama, pomoću stacionarnih i samozaštitnih ometača. Pored tehničkih karakteristika ometača prikazani su i osnovni taktički postupci elektronskih dejstava.

Pouzdanost rezultata dobijenih analizom zasniva se na pouzdanosti jednačina korišćenih u radu. Dobijeni rezultati ne odgovaraju u potpunosti realnoj situaciji, pre svega zbog raznih aproksimacija u modelu, ali zato mogu dati procenu realne situacije sa zadovoljavajućim rezultatima.

Literatura

- [1] Barton, D. K., *Modern Radar System Analysis*, Artech House, Norwood, 1988.
- [2] Barton, D. K., *Modern Radar System Software*, User manual, Artech House, Norwood, 1992.

- [3] Zatkalik, J., *Radiolokacija I deo*, IP „Nauka“ Beograd, 1995.
- [4] Blake, L. V., *Radar Range-Performance Analysis*, Artech House, Norwood, 1986.
- [5] *Antenna Radiation Pattern*, Artech House, Norwood, 1986.
- [6] Sokolović, V., *Analiza karakteristika radara pod dejstvom aktivnog ometanja*, Diplomski rad, VA OL, Beograd, 2003.
- [8] Vakin, S., Shustov, L. N., Dunwell, R., *Fundamentals Of Electronic Warfare*, Artech House, Norwood, 2001.

ZAŠTITA RAČUNARSKIH MREŽA MINISTARSTVA ODBRANE I VOJSKE SRBIJE PRIMENOM VIRTUELNOG HONEYNETA

Kapetan Zoran Bobar, dipl. inž., zoran.bobar@mod.gov.rs,
Uprava za odnose sa javnošću MO

Rezime:

U ovom radu obrađena je zaštita računarskih mreža u Ministarstvu odbrane i Vojski Srbije primenom virtuelnog honeyneta. Zaštita je obrađena sa aspekta arhitekture računarskih mreža koje imaju pristup internetu. Predloženi koncept primene virtuelnog honeyneta uzima u obzir dostignuća nauke u ovoj oblasti u svetu, ostale primerjene metode i tehnike zaštite, mogućnosti i potrebe korisnika i elemente delova računarskog sistema Ministarstva odbrane i Vojske koji bi mogli biti meta napada sa udaljenih mesta globalne (internet) mreže.

Ključne reči: zaštita, bezbednost, računarske mreže, honeypot, honeynet.

SECURITY OF COMPUTER NETWORK OF THE MINISTRY OF DEFENCE AND THE SERBIAN ARMED FORCES USING VIRTUAL HONEYNETS

Summary:

This paper covers the proposed solution for security of computer network in the Ministry of Defence and the Serbian Armed Forces using virtual honeynets. The security is covered from the aspect of the architecture of computer networks with Internet access. The proposed usage of virtual honeynets for protection takes into account the accomplishments of science in this field as well as security methods and techniques, users' needs and opportunities along with the computer network components of the MoD and the SAF that can be targets for attack.

Key words: protection, security, computer network, honeypot, honeynet.

Uvod

Proporcionalno sa razvojem informacionih tehnologija i telekomunikacionih sistema raste složenost sistema i široka primena, ali i broj incidenata na javnim mrežama. Napadači vrlo brzo pronalaze propuste u

zaštiti novih sistema, razvijaju sopstvene alate i tehnike kojima se zaobilaze definisane sigurnosne mere. Vreme za reagovanje pri upadu u računarski sistem znatno je skraćeno. Imajući u vidu ove pretnje, pri razvoju novih računarskih mreža studiozno se pristupa projektovanju sistema zaštite. Međutim, i pored svih preduzetih mera, značajan je negativan učinak malicioznih programa koji se svakodnevno pojavljuju – tipa virusa, crva, trojanaca, itd.

Bilo koji napad na sistem karakterišu sledeći elementi [1]:

- metod: veština, znanje, alat i druga sredstva kojima se vrši napad,
- prilika: vreme i raspoloživost sistema za napad i
- motiv: razlog zbog kog neko napada sistem.

Sa stanovišta zaštite računarskih sistema izuzetno je bitno praćenje i poznavanje karaktera napada sa svim njegovim elementima. Mehanizmi za detekciju napada nisu u mogućnosti da preventivno deluju na sve vrste napada. Česti su napadi koji nisu poznati i predstavljaju novinu, te se nameće potreba za pravovremenim otkrivanjem i izučavanjem njihove prirode u fazi dok nisu kompromitovani ciljni sistemi.

Tehnike, metode, sredstva i motivi svakodnevno poprimaju nove nepoznate dimenzije. Da bi se prikupili podaci i izučila priroda napada koji sigurno predstoje, primenjuju se različite tehnike. Relativno nova, ali svakim danom sve popularnija tehnika, namenjena prvenstveno svim vrstama napadača, jeste i honeypot.

Honeypot obuhvata sve računarske resurse (hardverski, aplikativni i mrežni) koji služe kao mamac, a predviđeni su da budu napadnuti ili kompromitovani od neovlašćenih korisnika. Načini implementacije i primena honeypota je raznolika, što ovaj sistem zaštite čini fleksibilnim i primenjivim u različitim područjima zaštite računarskih sistema.

Zaštita računarskih sistema je trajni proces celokupnog životnog ciklusa sistema, koja treba da obezbedi:

– **prevenciju** (prevention) – postupak preduzetih radnji pri projektovanju računarskih sistema na preventivnom delovanju zaštite računarskih resursa,

– **detekciju** (detection) – postupak praćenja saobraćaja i uočavanja sigurnosnih propusta u procesu prevencije, obaveštavanje o neovlašćenim pristupima i mogućim napadima na računarski sistem, i

– **reakciju** (reaction) – način na koji organizacija reaguje na detekciju neovlašćenog pristupa.

Honeypot se može svrstati u sve tri faze zaštite (što zavisi od tipa). Mogućnost detekcije neovlašćenih aktivnosti, te prikupljanje novih spoznaja o tehnikama i alatima koje napadači koriste, a koji se kasnije koriste za razvoj novih sigurnosnih rešenja, karakteristike su koje to potvrđuju.

Pojam, definicija i arhitektura

Prvi korak u razumevanju honeypota je njegova definicija. Za razliku od firewolla i mehanizma za prevenciju napada (IPS – Intrusion Prevention System), honeypot ne može da spreči maliciozne aktivnosti u sistemu. Njegova svrha je, prvenstveno, da te aktivnosti registruje. Ovaj resurs može da registruje bilo koji nekriptovani napad u mrežama, što ga čini fleksibilnim, pa time i popularnim i sve češće primenjivanim.

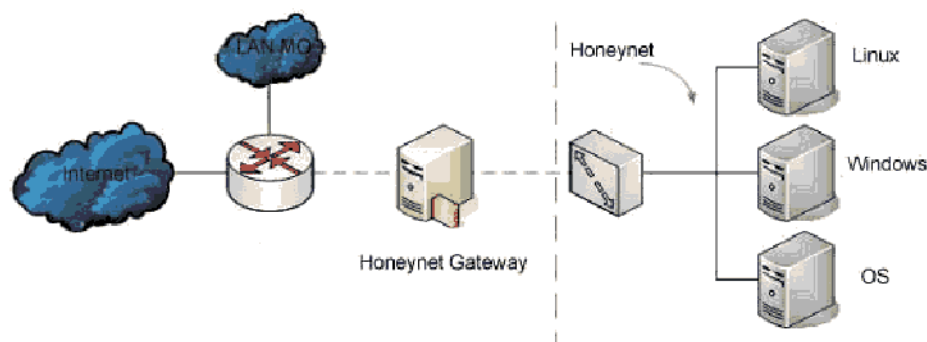
Definicija da je „honeypot resurs informacionih sistema namenjen neovlašćenim korisnicima“ [2] ukazuje na mogućnost njegove široke primene u svim tipovima distribuiranih informacionih sistema sa velikim mogućnostima detekcije. Postavlja se pitanje same prirode honeypota kao arhitekture koja beleži samo neautorizovane aktivnosti i na sebi ne sme imati korisne resurse za sam informacioni sistem na koji je postavljen.

Teoretski, honeypot ne bi trebao da vidi saobraćaj u mreži, jer on nema legitimne aktivnosti. Svaka interakcija produkcionih uređaja sa honeypotom je nelegitimna aktivnost i tako se i registruje u njemu. Zamisao je da je potrebno obmanjivati napadača da radi na legitimnom sistemu iako je on na honeypotu koji samo simulira rad pravog. Tako napadač troši dragoceno vreme i resurse, dok će honeypot pratiti i snimati sve njegove aktivnosti. Tako honeypot prikuplja dovoljno informacija o napadaču, a da, u stvari, ne raspolaže legitimnim podacima kompanije.

Složenija rešenja honeypota, koja simuliraju čitave mreže sa svim komponentama klasičnih računarskih mreža (server, firewall, switch, mehanizmi za detekciju i prevenciju napada i dr.) nazivaju se honeynetom i prvenstveno su primenjeni u svrhu istraživanja, tj. prikupljanja informacija o napadaču. Honeynet nije proizvod, ne instalira se nikakav softver, to je arhitektura koja se sastoji od niza honeypotova. Ova arhitektura treba da bude dobro kontrolisana kako bi se moglo pratiti šta se dešava u mreži. Ovakva arhitektura postavlja se u ciljni sistem.

Za uspešno postavljanje arhitekture honeyneta ključna su tri zahteva:

- kontrola podataka (data control), koja definiše koje aktivnosti se kontrolišu honeynetom, kako bi se minimizirao rizik;
- snimanje podataka (data capture) koji su usmereni ka honeynet aktivnosti napadača;
- zbirka podataka (data collection). Ovaj zahtev karakterističan je samo za organizacije koje imaju više honeynet platformi u distribuiranom okruženju, kao što je *Honeynet istraživačko udruženje*. Ove organizacije sve snimljene podatke prikupljaju na jedno mesto, kako bi se ukrstili i porredili.



Slika 1 – Honeynet druge generacije [3]

U prvoj generaciji honeyneta firewall je postavljen na trećem nivou gde se lako detektuje. Ovaj problem je rešen postavljanjem gatewaya sa dva uređaja koji se teško detektuje. Firewall radi u bridge modu i kontroliše sve konekcije spolja i iznutra nalik prvoj generaciji honeyneta. Prednosti gatewaya u drugoj generaciji je ugradnja IPS-a, koji omogućava iste funkcije kao i mehanizam za detekciju napada (IDS – Intrusion Decetion System), ali za razliku od IDS-a ima sposobnost da blokira i modifikuje napade [4]. Ova osobina pomaže u razdvajanju legitimnih i malicioznih aktivnosti. Ukoliko napadač pokuša da napadne mrežne resurse van honeypota IPS će takav pokušaj blokirati ili modifikovati. On registruje poznate napade, a nepoznati napadi prolaze. Ova generacija honeyneta je teža za detekciju s obzirom na to da realnije simulira računarske mreže.

Virtuelni honeynet sve funkcionalnosti honeyneta izvršava na jednom računaru. Razvijen je softver koji kreira više virtuelnih mašina i radi na različitim operativnim sistemima. Ova tehnologija je dobra ukoliko su ograničeni resursi. Takođe, virtuelni honeynet je lakše održavati u poređenju sa klasičnim, jer se sve izvršava na jednom računaru. Virtuelni honeynet ima nekoliko ograničenja u pogledu tipa arhitekture i operativnog sistema koji se može koristiti, što je uslovljeno konkretnim rešenjem [5].

Analiza realnog sistema

Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije imaju razvijene informacione sisteme usklađene sa organizacionom strukturom. Pojedini delovi sistema funkcionišu zasebno u organizacijskim celinama kao lokalne računarske mreže. Uprava za telekomunikacije i informatiku je nadležna za razvoj, opremanje i projektovanje računarskih mreža u Vojsci i Ministarstvu [6].

U skladu sa materijalnim mogućnostima i raspoloživim sredstvima vrši se integracija računarskih mreža radi realizacije jedinstvenog infor-

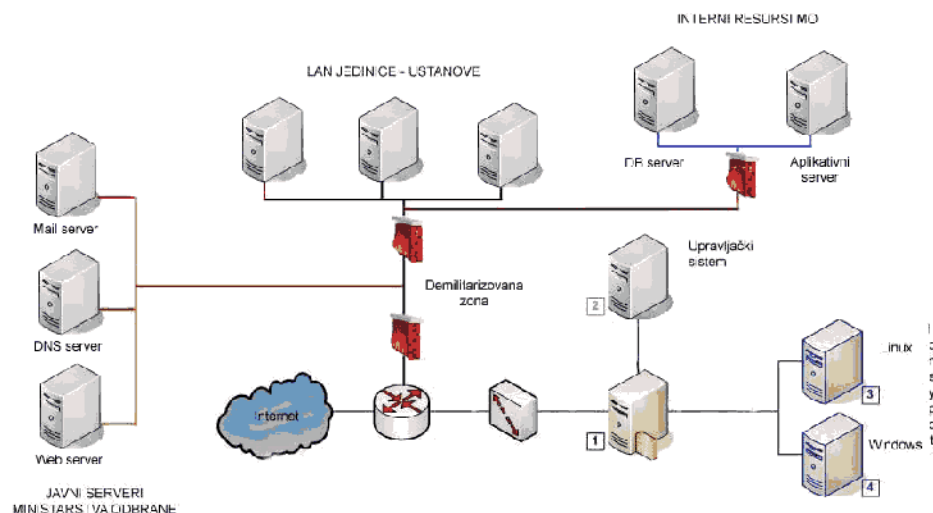
macionog sistema. Integrisanje delova ovog sistema karakterišu poprečne veze internog karaktera, ali zbog fizičkog razmeštaja velikog broja organizacionih celina neophodna je upotreba i delova javnih mreža. Poseban aspekt kome se pristupa planski u svim fazama projektovanja informacionih sistema u Vojsci i Ministarstvu je zaštita računarskih sistema. Primenom svih poznatih hardverskih i softverskih rešenja sprečava se neovlašćeni pristup računarskim mrežama spoljnog ili internog karaktera. Obavezna je primena firewalla, mehanizma za detekciju i prevenciju napada, a prenos podataka se vrši kriptovano. Pretnje koje se nameću razvojem i otvaranjem pojedinih delova sistema ka javnoj mreži (internetu) postaju svakim danom sve veće, posebno imajući na umu znanja i metode napadača. Imajući u vidu značaj informacija koje se nalaze u računarskim resursima Ministarstva odbrane i Vojske, nameće se potreba kontinuiranog praćenja i dogradnje zaštite informacionih sistema. Dosađanja primenjena rešenja zasnivaju se na prevenciji, detekciji i otklanjanju malicioznih aktivnosti napadača koji deluju poznatim metodama i tehnikama. Metode zaštite spadaju u pasivne, te do sada nepoznate metode i tehnike napada nesmetano inficiraju sistem i prete nanošenjem štete nesagledivih posledica. Radi efikasne zaštite potrebno je raspoloživim sredstvima preuzeti aktivnu ulogu u zaštiti računarskih sistema Ministarstva odbrane i Vojske.

Primena virtuelnog honeyneta u zaštiti računarskih sistema Ministarstva odbrane i Vojske

Imajući u vidu razvojne mogućnosti, potrebe i preduzete mere zaštite, značajno unapređenje zaštite računarskog sistema u Ministarstvu odbrane i Vojsci predstavlja uvođenje virtuelnog honeyneta, što je varijanta koja omogućava da se honeynet sa više operativnih sistema postavi na jednom računaru. Ova solucija ima svoje prednosti kao što su moguća implementacija sa relativno malim angažovanjem resursa i jednostavna administracija.

Predloženo rešenje u potpunosti podržava honeynet treće generacije, osnovne module druge generacije honeyneta (data control, data capture), a unapređenja se odnose na integrisanu analizu podataka (data analysis) i grafički interfejs sa administriranjem na daljinu.

Internet računarska mreža Ministarstva odbrane i Vojske Srbije je preko jedinstvene pristupne tačke (ruter) povezana sa javnom (internet) mrežom. Neposredno iza rutera moguća je instalacija arhitekture virtuelnog honeyneta i to preko switcha na jednom host računaru. Svi virtuelni honeypotovi se rutiraju kroz honeywall koristeći VMWare interfejs.



Slika 2 – Arhitektura zaštite računarskih sistema Ministarstva odbrane i Vojske primenom virtuelnog honeyneta

VMWare je programski paket koji podržava kreiranje virtuelnih komponenti mreže za zamišljenu računarsku mrežu. To je, u stvari, virtuelna mreža koju će honeynet videti nakon instalacije. Honeynet je konfigurisan kao virtuelna mašina koja koristi tri interfejsa: dva *bridge* i jedan *host-only*. Honeypot 3 i 4 su konfigurisani preko jednog *host-only* interfejsa, dok napadač koristi *bridge* interfejs. Bridge interfejs nam služi da honeypot konektujemo na računarsku mrežu preko host računara. Pomoću bridgea vrši se konekcija virtuelne mrežne kartice u virtuelnom honeypotu na mrežnu karticu host računara. Host-only virtuelni ethernet adapter omogućava vezu sa host operativnim sistemom. Tako se uspostavlja komunikacija između host računara i virtulnog honeypota na istom računaru.

Po pravilu, na host računar se uvek prvo instalira VMWare, a zatim različiti operativni sistemi za honeypot (3 – Linux i 4 – Windows). Nakon instaliranja operativnog sistema instalira se honeywall, što uključuje razvoj, konfigurisanje i upravljanje honeynet gatewayom. Honeynet je na drugom nivou zaštite, a prima i kontroliše sve podatke koji pristižu od napadača.

Arhitektura virtuelnog honeyneta, iako deo globalne računarske mreže Ministarstva odbrane i Vojske Srbije, ne sadrži legitimne podatke i nije deo redovnog protoka informacija, pa je bilo koji zahtev upućen ovoj komponenti sistema nelegalan, bio to zahtev sa javne mreže ili interni – od organa i institucija Ministarstva odbrane.

Prednosti primene honeypota

Za razliku od IDS-a koji prijavljuje kada i ko od napadača pristupa mreži, honeypot je odvojen od mreže, ne vodi računa o preopterećenju saobraćaja na mreži niti razdvajanje legitimnih od nelegitimnih paketa podataka. Honeypot prati samo podatke koji pristižu na njega. Obično je ta količina podataka mala, ali vrlo važna, jer nosi informacije o napadaču. Honeypot daje mogućnost administratorima da brzo uče o nedozvoljenim pristupima, a ako je honeypot napadnut i onesposobljen daje mogućnost administratoru da u realnom vremenu spreči napad na računarske resurse Ministarstva, te može služiti i kao svojevrsni alarm.

Prednosti ove metode mogu biti [5]:

- *mogućnost prikupljanja informacija o tehnikama i alatima* koje napadač koristi;
- *mali broj lažnih upozorenja* s obzirom na to da honeypot registruje samo neovlašćene aktivnosti; za legalne aktivnosti realnog sistema nije namenjen; ukoliko se honeypot koristi kao IDS ovo je velika prednost imajući u vidu da klasični IDS često šalje niz lažnih upozorenja (što zavisi od kvaliteta IDS-a);
- *relativno mala količina prikupljenih podataka* – za razliku od sigurnosnih rešenja, kao što su mrežni (network based) i host (host based) sistemi za detekciju neovlašćenih aktivnosti, honeypot beleži znatno manje količine podataka, ali s obzirom na prirodu tih podataka oni su najčešće korisni podaci;
- *fleksibilnost* – brojne mogućnosti i vrlo široko područje primene;
- *skromni zahtevi za računarskim resursima* – s obzirom na to da su namenjeni da beleže maliciozne aktivnosti nisu potrebni resursi za implementaciju zahtevnih aplikacija;
- *mogućnost analize kriptovanih protokola* – bez obzira na to o kom se servisu ili protokolu radi honeypot beleži napade koji su usmereni ka njemu;
- *jednostavnost* – projektovanje arhitekture jeste jednostavno, ali se ne može reći da je implementacija trivijalan zadatak, imajući u vidu da je potrebno solidno znanje o principima zaštite računarskih sistema. Za implementaciju nisu potrebni složeni algoritmi ili tablice stanja i sl., kao što je to slučaj sa drugim tehnologijama koje su namenjene za detekciju i identifikaciju neovlašćenih korisnika.

Zaključak

Honeypot je relativno nova koncepcija zaštite računarskih sistema sa velikim potencijalom detekcije neovlašćenih aktivnosti i prikupljanja informacija o novim nepoznatim napadima. Kao koncept motivisan novim

mogućnostima, honeypot se kroz honeynet arhitekturu vrlo brzo razvijao, kroz tri generacije, čime su određivani pravci razvoja. Predloženo rešenje primene virtuelnog honeyneta u sistemu zaštite računarskih sistema obuhvata najnovija dostignuća u ovoj oblasti, uvažavajući postojeći sistem zaštite i zahtevane potrebe koje nameće dalji razvoj i otvaranje računarskih mreža Ministarstva odbrane i Vojske Srbije ka javnim mrežama, uz minimalna ulaganja i rizik.

Primarna namena honeyneta jeste prikupljanje što više informacija o napadima na sistem. Honeynet je arhitektura koja simulira bilo koju realnu mrežu. Pomoću nje može se razviti bilo koji sistem, po želji. Ako je arhitektura honeyneta dobro postavljena moguće je prezentovati jedinstvene i veoma korisne podatke o raznim vrstama napada. Razni mehanizmi koji su implementirani u honeynet preuzimaju rizike koje upućuju napadači.

Današnja rešenja virtuelnog honeyneta imaju karakteristike dobrih simulacija koje napadači teško otkrivaju. Ona simuliraju više operativnih sistema na jednom računaru, sa mehanizmima za analizu podataka, i imaju mogućnost upravljanja na udaljenim lokacijama preko javne mreže. To su rešenja koja u svakom slučaju treba imati u vidu pri projektovanju i implementaciji zaštite računarskih sistema u sistemu odbrane.

Literatura

- [1] Pfleeger, C., Lawrence, S., Security in Computing, Third Edition, Prentice Hall PTR, New Jersey, 2002.
- [2] Honeynet Research Alliance, <http://www.honeynet.org> – Honeypot, Honeynet, Honeywall, VMWare [27.01.2009]
- [3] Shuja, F., Virtual Honeynet: Deploying Honeywall using Vmware, Pakistan Honeynet Project, 2006.
- [4] Dulanović, N., Hinić, D., Simić, D., An intrusion prevention mechanism in Network Infrastructure, YUJOR, 2006.
- [5] Honeynet Research Alliance, Know your enemy – learning about security threats, 2nd Edition, The honeynet project, 2006.
- [6] Uputstvo o korišćenju interneta u Ministarstvu odbrane i Vojski Srbije i Crne Gore, „Službeni vojni list“ br. 1/2006.

UVOD U REGISTRACIJU SLIKA

Kapetan mr *Boban* Bondžulić, dipl. inž., bondzulici@yahoo.com,
Vojna akademija

Rezime:

U radu su dati osnovni pojmovi koji se koriste u registraciji slika, a koja je potrebna u različitim primenama obrade i analize slike. Prikazano je nekoliko primera registracije izvornih slika. Kroz jedan od primera ilustrovani su koraci koji se javljaju u registraciji. U drugom primeru, korišćenjem programskog paketa „Matlab 7.0“, ilustrovana je registracija slika iz baze multisenzorskih slika autora. Ostali primeri preuzeti su iz literature.

Ključne reči: izdvajanje obeležja, uparivanje obeležja, funkcije preslikavanja, registracija slika, sjedinjavanje slika.

IMAGE REGISTRATION INTRODUCTION

Summary:

This paper gives the basic ideas of image registration needed in various applications of image processing and image analysis. A couple of examples of source image registration are given. The image registration steps are illustrated in one example. The „Matlab 7.0“ software is used in another example to illustrate image registration out of the author's multisensor image dataset. The other examples are taken from available literature.

Key words: feature detection, feature matching, transformation functions, image registration, image fusion.

Uvod

Moderni sistemi video nadzora sadrže više od jednog senzora. Na primer, savremene platforme na avionima sadrže najmanje senzore koji rade u vidljivom i infracrvenom delu elektromagnetnog (EM) spektra. Ovakvi sistemi često imaju jedan displej za prikaz podataka sa senzora, pa ne mogu istovremeno prikazati multispektralne podatke. Zbog toga se nakon akvizicije svih spektralnih karakteristika operateru prikazuje sjedinjena slika. Procesi vremenskog i prostornog usaglašavanja podataka sa senzora moraju se rešiti pre pikselnog sjedinjavanja izvornih slika.

Kada se sjedinjavaju slike dva ili više senzora bitno je da pikseli dve slike prikazuju istu tačku scene. Ukoliko to nije slučaj, tačka realne scene može biti prikazana više puta na sjedinjenoj slici i na taj način uneti zabunu pri reprezentaciji scene. Idealan slučaj imali bi kada senzori rade sinhronizovano i imaju isti optički put, ali to često nije moguće [1].

Na sl. 1 prikazane su dve izvorne slike koje su vremenski usaglašene, ali nisu usaglašene prostorno. Na istoj slici prikazani su rezultati aritmetičkog sjedinjavanja izvornih slika.



Slika 1 – (a) (b) izvorne slike; (c) sjedinjena slika

Sa sl. 1 vidi se da sjedinjena slika objekte na sceni prikazuje dva puta (pešaci, vozila na parkingu, ulična svetiljka, ...).

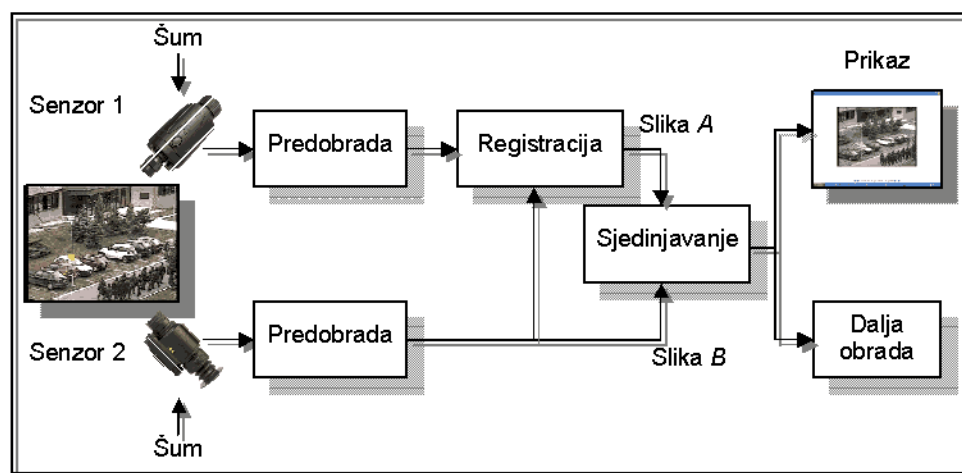
U toku poslednjih dvadeset godina razvijen je veliki broj metoda pikselnog sjedinjavanja slika, ali svi polaze od pretpostavke da su izvorne slike prostorno i vremenski usaglašene. Na taj način kvalitet sjedinjavanja izvornih slika u najvećoj meri zavisi od tačnosti usaglašavanja.

Automatsko usaglašavanje slika je veoma težak zadatak, naročito ukoliko su slike dobijene sa senzora različitog tipa i/ili kada je potrebno izvršiti složene geometrijske transformacije [2, 3]. Tokom godina veliki broj tehnika registracije razvijen je za različite tipove senzora i različite aplikacije.

Registracija slika

Registracija slika je proces prostornog i/ili vremenskog usaglašavanja dve ili više slika scene [4, 5, 6, 7]. Ova široka definicija obuhvata veliki broj problema usaglašavanja. Proces registracije je najbitniji korak u obradi i analizi slike gde se krajnja informacija dobija kombinovanjem različitih tipova podataka, kao što je to slučaj pri sjedinjavanju slika, detekcije promena, restauracije slike iz projekcija... Proces registracije je potreban u daljinskom osmatranju (multispektralna klasifikacija, detekcija promena, prognoza vremena, formiranje superrezolucionih slika, formiranje mozaik slika, integracija informacija u geografske informacione sisteme), u medicini (kombinovanje podataka dobijenih računarskom tomografijom i nuklearnom magnetskom rezonancom, monitoring rasta tumora, poređenje podataka pacijenta sa anatomskim atlasima, verifikacija lečenja), u kartografiji (ažuriranje karata), u računarskim primenama (lokalizacija ciljeva, automatska kontrola kvaliteta), itd. [8].

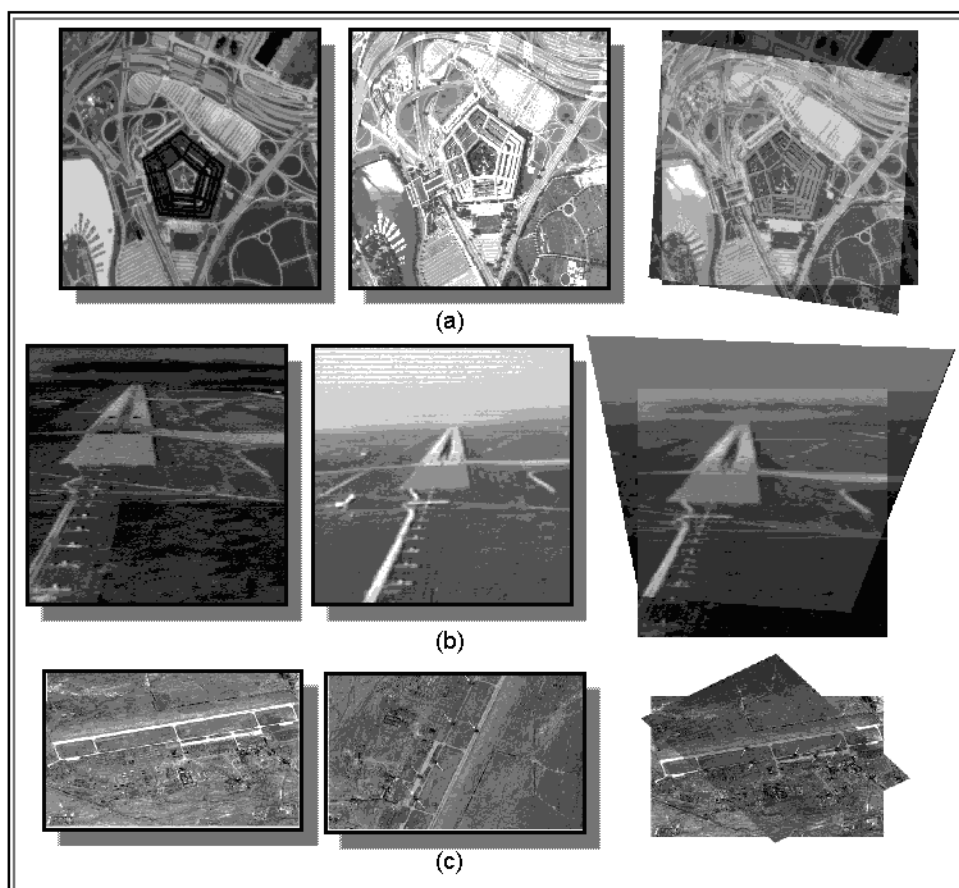
U lancu digitalne obrade slike sjedinjavanje slika može se dobiti kroz različite arhitekture. Jedna od arhitektura prikazana je na sl. 2 i odgovara jednostavnom sjedinjavanju dve slike, nakon procesa registracije. U ovom slučaju radi se transformacija jedne izvorne slike i sjedinjena slika se prikazuje i/ili koristi za dalju obradu [9].



Slika 2 – Struktura pikselnog sjedinjavanja slika

Na sl. 3 prikazana su tri primera registracije izvornih slika, a na sl. 3a slike Pentagona dobijene senzorima koji rade u različitim delovima infracrvenog dela EM spektra i prikazane su slike nakon registracije. Različit lokalni polaritet je prisutan u centralnom i donjem levom delu izvornih slika. Treba primetiti da su granice struktura i puteva ispravno usaglašene.

Na sl. 3b su prikazane slike dobijene televizijskom (TV) i termovizijskom (IR) kamerom, respektivno, i prikazuju pistu za vreme sletanja aviona. Slike imaju inverzne lokalne polaritete i različite opsege nivoa sivog. Nakon registracije se vidi da su granice puteva i sletne staze usaglašene. Primeri prikazani na sl. 3a i 3b su preuzeti iz [2].



Slika 3 – Primeri registracije izvornih slika

Na sl. 3c prikazane su slike aerodroma pre i nakon vazdušnog napada. U ovom slučaju registracija je potrebna zbog procene štete. Na drugoj izvornoj slici belim strelicama obeleženi su krateri eksplozija. Primer je preuzet iz [7].

Razlike dve ili više slika iste ili slične scene mogu se podeliti u dve kategorije: prostorne (geometrijske) i amplitudske (intenzitetske).

Amplitudske razlike nastaju zbog:

- **razlike na sceni.** Na primer, određeni objekat može biti prisutan na jednoj od slika, menjajući opseg nivoa sivog u određenim regionima slika;

- **različiti tipovi senzora.** Akvizicioni uređaji mogu meriti različite fenomene (temperatura, apsorpcione karakteristike tkiva, osvetljenost objekata na sceni, refleksione karakteristike tkiva, itd.). Na taj način isti fizički fenomen može imati veoma različite prezentacije, što je slučaj kod multimodalnih slika. Ovakve prezentacije obično sadrže korelisane informacije, kao i komplementarne, nekorelisane informacije;

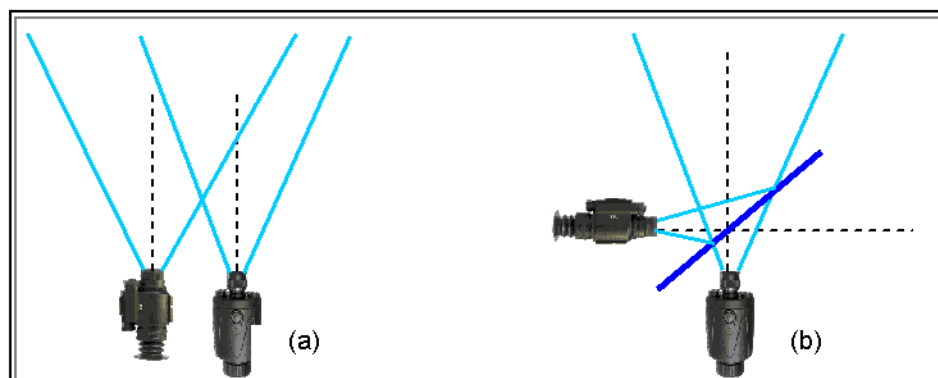
- **različiti uslovi pri kojima je izvršena akvizicija.** Na primer, različita osvetljenost scene kod konvencionalnih kamera, promena atmosferskih uslova, različite osobine uređaja, i sl.

Relacije između intenziteta piksela slika različitih modaliteta (televizijska kamera, termovizijska kamera, radar, itd.) veoma su kompleksne i nepoznate. Karakteristike prisutne na jednoj slici ne moraju se pojavljivati u drugoj i obrnuto. Takođe, u regionima slike može postojati inverzan polaritet, koga nema u drugim delovima slike. Više vrednosti nivoa sivog jedne slike može odgovarati jednoj vrednosti nivoa sivog na drugoj slici i obrnuto. Drugim rečima, dve slike često nisu korelisane u potpunosti, tj. nisu globalno korelisane [10].

Prostorna neusaglašenost obično nastaje zbog razlika u poziciji senzora, podrtavanja platformi u toku akvizicije, promena objekata i struktura (kretanja, deformacije, rast), razlika u karakteristikama senzora (rezolucija, vidno polje, karakteristike sočiva), šuma senzora, itd. Zbog toga postoje razlike u translaciji, rotaciji, dimenzijama, kao i druge geometrijske razlike [5, 8, 11]. Što je više razlika između izvornih slika teže je postići tačnu registraciju.

Multisenzorski sistem najčešće ima jednu od dve konfiguracije prikazane na sl. 4. Kod prve konfiguracije senzori su postavljeni jedan do drugog i kalibrisani na određenu distancu (obično u beskonačnosti). Ovakvo jednostavno podešavanje ima jedan nedostatak – efekat paralakse (parallax effects). Zbog različitih optičkih puteva senzora nije moguće pronaći fiksnu transformaciju koja će uvek preslikavati jednu sliku na drugu. Umesto toga, transformacija ima kompleksnu zavisnost od daljine senzor – objekat. U praksi, za senzore koji su postavljeni jedan do drugog i kalibrisani na beskonačnost efekat paralakse postaje zanemariv kada distanca prelazi određenu granicu (obično par stotina metara) [11]. Razdvajanje senzora stvara baznu liniju koja je korisna u stereo viziji, ali je nepoželjna kada se sjedinjavaju slike dva senzora. Zbog toga je potrebno da senzori budu što bliže jedan drugom, tako da se, kada je scena daleko od senzora, efekat paralakse manifestuje kao minimalna translacija između dve slike. Između senzora mogu postojati i razlike u rotaciji koje uzrokuju pomeraj ili rotaciju slika. Razlike u veličini zavise od žižnih daljina ili dimenzija piksela.

Efekat paralakse može se izbeći korišćenjem zajedničke aperture (sl. 4b). Kod ove konfiguracije koriste se jedno ili više ogledala kako bi senzori imali isti optički put. U praksi, određeni stepen paralakse može postojati zbog fizičkih ograničenja senzora/ogledala (posebno kod sistema sa više od dve kamere).



Slika 4 – Primeri konfiguracije senzora: (a) jedan do drugog; (b) sa zajedničkom aperturom

Procesom registracije koriguju se neke od razlika, dok se druge zadržavaju [3]. Pri implementaciji algoritma registracije bitno je identifikovati razlike koje se žele korigovati, a to su najčešće geometrijske razlike. U radu se neće razmatrati amplitudske razlike, tj. različiti opsezi nivoa sivog (boje) izvornih slika. Međutim, korisno je poznavati relacije između nivoa sivog zbog identifikacije geometrijskih razlika.

Terminologija

U radu će biti korišćena sledeća terminologija:

- modaliteti. Slike se mogu dobiti iz različitih izvora, koje zovemo modaliteti;
- referentna slika. Jedna od dve izvorne slike. Ova slika u procesu registracije ostaje nepromenjena;
- podešavajuća slika (*sensed image*). Druga iz skupa od dve slike. Ova slika se prilagođava kako bi se izvršila registracija;
- funkcija transformacije. Funkcija koja preslikava podešavajuću sliku na referentnu sliku. Određuje se korišćenjem koordinata određenog broja tačaka izvornih slika.

Koraci u registraciji slika

Pri registraciji slika obično se koriste sledeći koraci [4, 6]:

- predobrada. Obuhvata pripremu slika za izdvajanje obeležja i njihovo uparivanje. Koriste se metode kao što su usaglašavanje dimenzija, eliminacija šuma i segmentacija;

– izdvajanje obeležja. Za registraciju dve slike vrši se izdvajanje obeležja i utvrđuje njihova usaglašenost. Nakon toga moguće je naći funkciju transformacije kako bi se izvršilo prostorno usaglašavanje izvornih slika. Obeležja koja se koriste u registraciji slika su uglovi, linije, konture, templeti (*template*), itd. Obeležja koja se izdvajaju zavise od tipa korišćenih slika;

– **uparivanje obeležja.** Može se postići izdvajanjem obeležja referentne slike i traženjem selektovanih obeležja na podešavajućoj slici ili nezavisnom selekcijom obeležja na obe slike i utvrđivanjem njihovih veza;

– **određivanje funkcije transformacije i registracija.** Poznavanjem koordinata uparenih tačaka na slikama određuje se funkcija transformacije. Tip funkcije transformacije zavisi od tipa geometrijske distorzije između slika. Ukoliko distorzija nije poznata, koriste se transformacije koje se mogu prilagoditi geometrijskoj distorziji (izobličenju). Nakon određivanja funkcije transformacije vrši se usaglašavanje podešavajuće slike sa geometrijom referentne slike.

Na sl. 5 prikazan je primer koji obuhvata korake koji se koriste pri registraciji dve izvorne slike.

Predobrada

Slike koje je potrebno registrovati često imaju različitu prostornu rezoluciju, sadrže šum, razmrljane su zbog pokreta objekata i/ili kamere, postoji nelinearnost senzora, itd. Dimenzija piksela na satelitskim snimcima i medicinskim slikama često je poznata, pa se može menjati prostorna rezolucija jedne od slika, ili se obe slike mogu svoditi na istu rezoluciju. Promena prostorne rezolucije olakšava izdvajanje i uparivanje obeležja. U zavisnosti od obeležja koja se izdvajaju nekada je potrebno vršiti segmentaciju slike.

Poboljšanje kvaliteta slike

Osnovni cilj metoda za popravku kvaliteta slike jeste da se obradom polazne slike dobije slika koja je pogodnija za dalju primenu. Ukoliko se polazna slika popravljala da bi se dobio bolji prikaz na monitoru, najčešće je potrebno istaći ivice i popraviti kontrast. Popravkom kvaliteta slike ne povećava se informacioni sadržaj slike, već se omogućava posmatraču, ili sistemu za analizu slike, lakše uočavanje nekih obeležja.

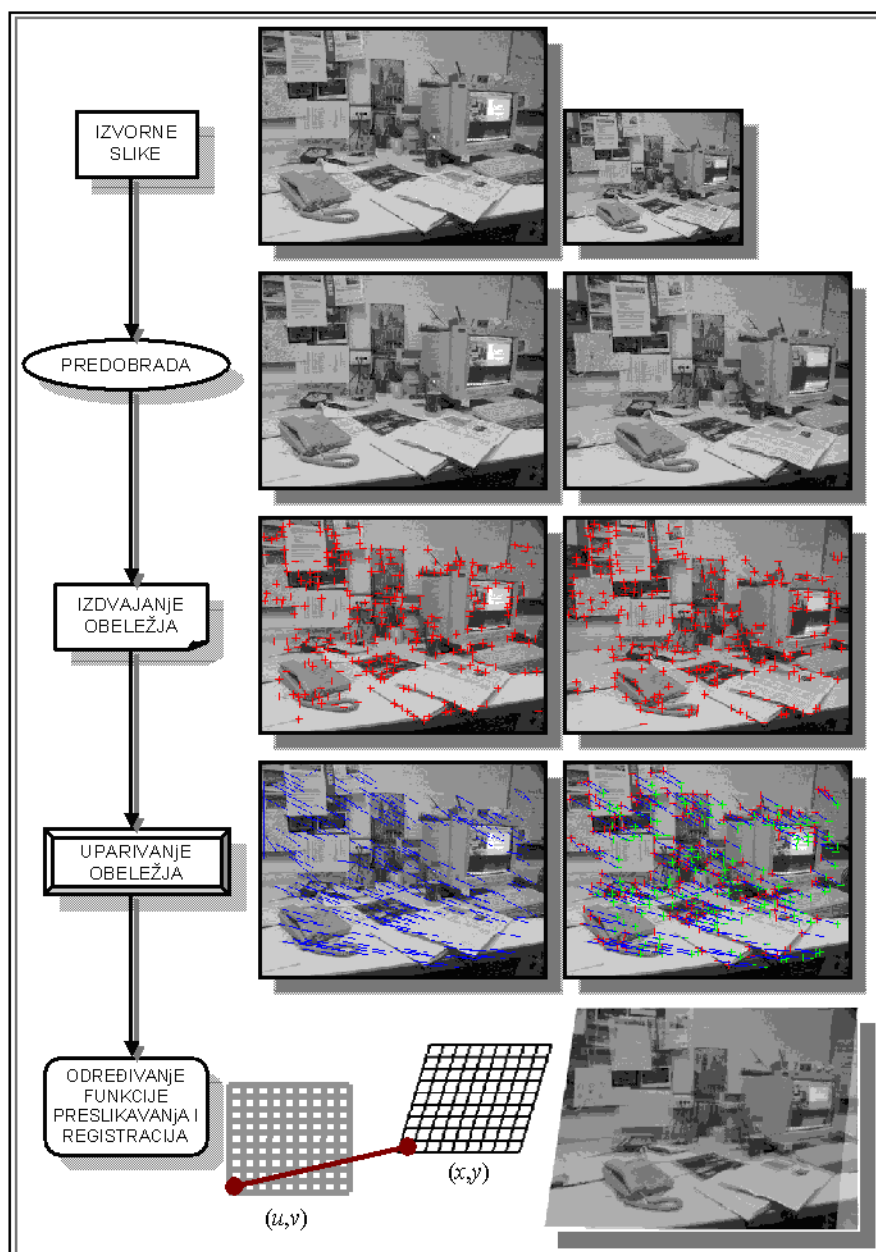
Najvažnije metode za popravku kvaliteta slike obuhvataju transformacije nivoa sivog, transformacije kontrasta, isticanje ivica, bojenje slike, itd. Većina metoda za popravku kvaliteta slike je empirijskog karaktera i iterativne prirode.

Za uklanjanje šuma iz slike koristi se prostorno usrednjavanje, koje se obavlja zamenom vrednosti nivoa sivog svakog piksela sa težinskom srednjom vrednošću lokalnog susedstva tog piksela. Prostorno usrednjavanje ima i negativne posledice. Usrednjavanjem se gubi oštrina slike, jer se oštri prelazi (ivice) ublažavaju [12].

Segmentacija slike

Termin segmentacija slike odnosi se na grupu postupaka za podelu slike na regione sa sličnim atributima. Od atributa se najčešće koristi osvetljenost,

kod monohromatskih slika, ili boja, kod slika u boji. Metode segmentacije mogu se grupisati u tri klase: metode segmentacije pomoću praga, metode segmentacije pomoću granica regiona i metode segmentacije pomoću rasta regiona.



Slika 5 – Koraci pri registraciji dve izvorne slike

Metoda segmentacije pomoću praga zasnovana je na poređenju osvetljenosti piksela sa jednim ili više pragova i svrstavanjem piksela u dve ili više kategorija. Ako se koriste obeležja izračunata na prostomom susedstvu piksela dobijaju se regionalne metode segmentacije. Segmentacija scene može se izvršiti i određivanjem granica objekata. Za određivanje granica mogu se iskoristiti mnogobrojne metode izdvajanja ivica. Međutim, ako postoji šum u slici, ili ako se obeležja pojedinih regiona malo razlikuju, granice objekata biće isprekidane i neće predstavljati zatvorene krive. Kako bi se formirale neprekidne granice regiona mora se primeniti i neki od postupaka za spajanje ivica [12]. Osnovna ideja segmentacije pomoću rasta regiona jeste da se izvrši grupisanje susednih piksela sličnih osvetljenosti i tako formiraju regioni.

Izdvajanje obeležja

Obeležja slike su jedinstvene osobine koje se mogu koristiti za uspostavljanje veza između dve slike. Najpoželjnija obeležja su tačke, jer se njihove koordinate mogu direktno koristiti za određivanje parametara funkcije transformacije. U nekim situacijama nije moguće izdvojiti tačke, pa se obeležja izdvajaju od linija i regiona. Na primer, tačke za uparivanje izdvajaju se iz preseka parova linija ili centara mase odgovarajućih regiona.

Relevantne tačke

Relevantne tačke su najpoželjnija obeležja. Ukoliko su poznate koordinate odgovarajućih tačaka dve slike, funkcija transformacije može se odrediti, a geometrija jedne slike usaglasiti sa geometrijom druge slike. Tačke od interesa su poznate i kao granične tačke, kontrolne tačke, ugao one tačke. Tačke od interesa mogu se dobiti iz preseka linija, centroida regiona, lokalnih ekstrema frekvencijskih transformacija slike i sl.

Linijski segmenti

Slike veštačkih objekata sadrže veliki broj linijskih obeležja, koja se mogu koristiti za registraciju slika. Ukoliko šum nije izražen i postoji mali broj linija, za njihovu detekciju može se koristiti Houghova transformacija. Veza se može uspostaviti korišćenjem parova krajnjih ili središnjih tačaka.

Regioni

Slike dobijene sa uređaja za daljinsko osmatranje i medicinsku dijagnostiku često sadrže jasno definisane regione. Na primer, na satelitskim i aerofoto snimcima jezera javljaju se kao veoma homogena površina i veoma se razlikuju od okolnog zemljišta, pa se mogu izdvojiti korišćenjem metoda segmentacije pomoću praga. Na slikama dobijenim računarskom tomografijom (CT – *computed tomography*) koštana tkiva predstavljaju skoro homogene regione koji se razlikuju od okolnog mekog tkiva. Regioni se često predstavljaju preko centra mase koji je otporan na uticaj šuma i varijacije nivoa sivog.

Templejti

Templejt čini skup susednih piksela slike. Kao templejt može da se koristi skup piksela slike koji se nalaze u pravougaonom ili kružnom prozoru. Kada se templejt izdvoji sa referentne slike na podešavajućoj slici traži se površina koja ima sličan izgled.

Kao alternativa metodima koji koriste prostorne relacije koriste se invarijantna obeležja u odnosu na očekivanu deformaciju slike. Obeležja moraju ispunjavati nekoliko uslova. Najbitniji uslovi su invarijantnost (opis odgovarajućeg obeležja obe slike treba da bude isti), jedinstvenost (dva različita obeležja moraju imati različit opis), stabilnost (opis malo promenjenog obeležja je sličan opisu originalnog obeležja) i nezavisnost (ukoliko je opis obeležja vektor, njegovi elementi moraju biti nezavisni). Međutim, obično svi uslovi nisu ili ne mogu biti istovremeno ispunjeni.

Uparivanje obeležja

Prisustvo komplementarnih karakteristika multisenzorskih slika uslovljava poteškoće i za tehnike uparivanja obeležja. Kako obeležja jedne slike ne moraju postojati na drugoj traženje parova odgovarajućih obeležja postaje teško [5,6].

Uparivanje kontrolnih tačaka

Pretpostavimo da su nam dostupni skupovi kontrolnih tačaka na obe slike. Zbog uticaja šuma i drugih faktora, moguće je da se određene tačke pojavljuju u samo jednom od skupova. Ovakve tačke potrebno je izbaciti iz razmatranja i utvrditi veze između preostalih tačaka.

Uparivanje linija

Linijski segmenti određeni su pozicijom, orijentacijom i dužinom. Uticaj šuma se najmanje odražava na orijentaciju linije. Ukoliko između izvornih slika postoji razlika u translaciji, rotaciji i dimenzijama, tada se na osnovu linijskih segmenata prvo određuju razlike koje postoje zbog promene u rotaciji, a nakon toga se određuju parametri translacije i skaliranja.

Uparivanje regiona

Uparivanje regiona može se svesti na uparivanje tačaka, ukoliko se koriste centriodi regiona. Pri uparivanju regiona, osim položaja, dostupne su informacije i o dimenzijama i obliku regiona. Dodatne informacije mogu se koristiti za definisanje dopunskih kontrolnih tačaka.

Uparivanje templejta

Uparivanje templejta je proces lociranja templejta na slici. Templejt se može posmatrati kao deo referentne i podešavajuće slike. Lociranjem tem-

plejta sa referentne na podešavajućoj slici određuje se veza tačaka dve slike. Proces templejt mečinga (*template matching*) obuhvata pomeranje templejta na podešavajućoj slici, nakon čega se za svaki pomeraj određuje sličnost templejta i dela slike i određuje pozicija maksimalne sličnosti.

Nedostatak ovakvog pristupa leži u samoj ideji. Korišćenje pravougaonog prozora je pogodno samo ukoliko postoji razlika u translaciji. Ukoliko je razlika složenija, ovakav tip prozora nije u mogućnosti da pokrije iste delove obe slike. Nekoliko autora je predložilo da se koristi kružni oblik prozora za slike kod kojih postoji razlika u rotaciji. Međutim, kompatibilnost prozora narušava se ukoliko postoje složenije geometrijske deformacije.

Drugi nedostatak ovih metoda odnosi se na sadržaj prozora. Postoji velika verovatnoća da će se prozor koji sadrži ravnu površinu bez istaknutih detalja usaglasiti sa drugim ravnim površinama bez vidnih detalja.

Funkcije transformacije

Izbor funkcije transformacije zavisi od tipa i mere geometrijskih razlika slika, tačnosti izdvajanja i uparivanja obeležja, gustine i organizacije kontrolnih tačaka i sl. Pomoću ove funkcije vrši se registracija referentne i podešavajuće slike. Zadatak koji se rešava sastoji se od izbora funkcije preslikavanja i njenih parametara.

Zbog nelinearne prirode procesa akvizicije slike i prirode scene, slike koje je potrebno registrovati imaju nelinearne geometrijske razlike. Neka-da su nelinearne geometrijske razlike između dve slike male i zanemari-ve, pa se mogu koristiti linearne transformacije. Nasuprot tome, ukoliko su geometrijske razlike između slika velike i kompleksne, pri registraciji se koriste složene lokalne transformacije.

Ukoliko se poznaju kontrolne tačke dve slike veliki broj funkcija transformacije može se koristiti za uparivanje kontrolnih tačaka. Neke funkcije transformacije mogu tačno preslikati kontrolne tačke jedne u kontrolne tačke druge slike, ali i previše deformisati podešavajuću sliku, unoseći greške u registraciji tačaka koje se nalaze dalje od kontrolnih tačaka. Kako se parametri funkcije transformacije računaju na osnovu veza kontrolnih tačaka, greška u uparivanju će usloviti i grešku parametara funkcije transformacije.

Na osnovu podataka koje koriste funkcije preslikavanja mogu se svrstati u dve široke kategorije. Globalni modeli koriste kontrolne tačke za estimaciju parametara funkcije preslikavanja slika. Sa druge strane, lokalne funkcije preslikavanja tretiraju sliku kao kompoziciju delova i parametri funkcije preslikavanja se menjaju od dela do dela slike.

U svakom slučaju, osnovni problem je isti – pronaći preslikavanje:

$$(x, y) \rightarrow (u, v) \quad (1)$$

između piksela na poziciji (x, y) jedne slike i piksela na poziciji (u, v) druge slike. Složenost rešenja zavisi od aplikacije koja se razmatra. U najjednostavnijem slučaju translacija ili rotacija su dovoljne za prostorno usaglašavanje dve slike. Složeniji pristupi uključuju afinu (*affine*), projekativnu i polinomijalnu transformaciju. Pomenute transformacije su globalne transformacije. Kod njih se jedan matematički izraz koristi za usaglašavanje kompletne slike. Kod lokalnih transformacija različiti matematički izrazi primenjuju se na različite regione slike.

Pre rešavanja izraza (1) potrebno je odrediti uzrok zbog kojeg slike nisu usaglašene i nakon toga izabrati transformaciju kojom će se raditi usaglašavanje [5].

Transformacija sličnosti

Jedan od najčešće korišćenih globalnih modela preslikavanja koristi polinome nižeg reda. Najjednostavniji model – transformacija sličnosti, obuhvata rotaciju, translaciju i skaliranje i definisana je sa:

$$\begin{aligned} u &= s(x \cos \theta + y \sin \theta) + t_x \\ v &= s(-x \sin \theta + y \cos \theta) + t_y \end{aligned} \quad (2)$$

gde su s , θ i (t_x, t_y) veličinske, rotacione i translatorne razlike slika, respektivno. Ova četiri parametra mogu se odrediti ukoliko su poznate koordinate dva para tačaka izvornih slika. Ugao rotacije može se odrediti na osnovu ugla linija koje povezuju dve tačke slika. Razlika u veličini može se odrediti na osnovu distance između tačaka slika. Ukoliko su poznate vrednosti s i θ , parametri translacije (t_x, t_y) se određuju zamenom koordinata kontrolnih tačaka u gornje izraze i njihovim rešavanjem.

Ukoliko je poznato da korespondencija tačaka sadrži šum ili je netačna, za određivanje parametara preslikavanja potrebno je koristiti više od dva para kontrolnih tačaka i to metodom najmanjih kvadrata ili klasterizacijom. Metoda najmanjih kvadrata koristi se kada se odstupanja mogu modelovati kao šum nulte srednje vrednosti, dok se klasterizacija koristi kada se između korespondencija mogu javiti velike greške.

Funkcija sličnosti može se koristiti za registraciju aerofoto i satelitskih snimaka gde je scena skoro ravna, platforma veoma daleko od scene i senzor gleda normalno na scenu. U medicini se koštane strukture mogu registrovati korišćenjem ove transformacije.

Projektivna i afina transformacija

Proces akvizicije slike je projekтивni proces i ukoliko ne postoje nelinearnosti sočiva i senzora, relacija između dve slike scene može se opisati preko projekтивne transformacije:

$$\begin{aligned} u &= \frac{ax + by + c}{dx + ey + 1} \\ v &= \frac{fx + gy + h}{dx + ey + 1}. \end{aligned} \quad (3)$$

U prethodnoj relaciji $a-h$ su osam nepoznatih parametara transformacije, a mogu se odrediti ukoliko su poznate koordinate četiri para nekolinearnih tačaka izvornih slika.

Izraz (3) opisuje deformacije ravne scene snimljene pomoću kamere čija optička osa nije normalna na scenu. Ukoliko je scena veoma daleko, projektivna aproksimacija može se aproksimirati afinom transformacijom:

$$\begin{aligned} u &= ax + by + c \\ v &= dx + ey + f. \end{aligned} \quad (4)$$

Afina transformacija ima šest parametara koji se mogu odrediti ukoliko su poznate koordinate najmanje tri para nekolinearnih tačaka izvornih slika. Afina transformacija najčešće se koristi u registraciji satelitskih i aerofoto-snimaka.

Polinomijalna transformacija

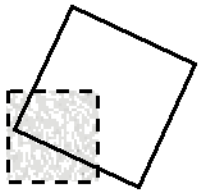
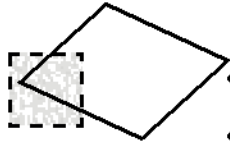
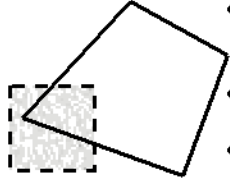
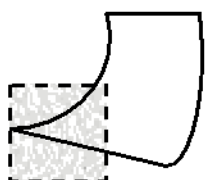
Pretpostavimo da je efekat paralakse zanemariv u sistemu (ili zbog toga što su objekti na sceni dovoljno daleko ili zbog zajedničke aperture). Dodatna pretpostavka o sinhronizaciji senzora omogućava da se pronađe fiksna transformacija preslikavanja jedne slike u drugu. Na ovaj način neusaglašenost postoji zbog razlika u karakteristikama senzora (rezolucija, optička distorzija, vidni ugao) i generalno se može predstaviti korišćenjem polinomijalne transformacije N -tog reda [11]:

$$\begin{aligned} u(x, y) &= \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i a_{i,j} x^j y^{i-j} \\ v(x, y) &= \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i b_{i,j} x^j y^{i-j}, \end{aligned} \quad (5)$$

gde su $a_{i,j}$ i $b_{i,j}$ konstante koje je potrebno odrediti. Ukoliko je $N = 1$ izraz (5) svodi se na afinu transformaciju. Dodavanje članova viših redova omogućava kompenzaciju kompleksnih distorzija sočiva, kao što su „pin-cushion“ i „barrel“ distorzija.

Na sl. 6 prikazani su navedeni tipovi geometrijskih transformacija izvornih slika. Prikazane su i relacije koje povezuju koordinate izvornih sli-

ka, minimalan broj parova kontrolnih tačaka potrebnih za određivanje parametara preslikavanja, kao i neke od geometrijskih osobina.

Tip distorzije i broj kontrolnih tačaka	Preslikavanje	Distorzija	Geometrijske osobine
Translacija (1 par)	$u = x + c$ $v = y + f$		• Pozicija se menja • Dimenzije, nagib i uglovi ostaju isti • Paralelne linije ostaju paralelne • Prave linije ostaju prave
Rotacija, skaliranje i translacija (RST) (2 para)	$u = ax + by + c$ $v = -bx + ay + f$		• Pozicija, dimenzije i nagib se menjaju • Uglovi ostaju konstantni • Paralelne linije ostaju paralelne • Prave linije ostaju prave
Afina (3 para)	$u = ax + by + c$ $v = dx + ey + f$		• Pozicija, dimenzije, nagib i uglovi se menjaju • Paralelne linije ostaju paralelne • Prave linije ostaju prave • Pravougaonici postaju paralelogrami
Projektivna (4 para)	$u = \frac{ax + by + c}{gx + hy + 1}$ $v = \frac{dx + ey + f}{gx + hy + 1}$		• Pozicija, dimenzije, nagib i uglovi se menjaju • Prave linije ostaju prave • Paralelne linije ne ostaju paralelne
Polinomijalna 6 parova (drugi red) 10 parova (treći red) 15 parova (četvrti red)	$u(x, y) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i a_{i,j} x^i y^j$ $v(x, y) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^i b_{i,j} x^i y^j$		• Pozicija, dimenzije, nagib i uglovi se menjaju • Prave linije ne ostaju prave • Paralelne linije ne ostaju paralelne

Slika 6 – Tipovi geometrijskih transformacija i neke od osobina

Radijalna distorzija sočiva

Distorzija sočiva je poznat fenomen [13] koji se javlja u nekim primenama digitalne obrade slike. Ovaj fenomen u znatnoj meri utiče na geometriju slike. Postoji nekoliko tipova distorzije, od kojih radijalna distorzija najčešće ima najveći uticaj na ukupnu distorziju, naročito ukoliko se koriste široko-ugaona sočiva.

Postoje dva tipa radijalne distorzije [14]. Kada se tačka slike pomera sa željene pozicije na poziciju koja je bliža optičkoj osi sočiva (negativan pomeraj) javlja se „barrel“ distorzija. Ukoliko se tačka slike pomera sa željene pozicije na poziciju koja je dalje od optičke ose sočiva (pozitivan pomeraj) javlja se „pincushion“ distorzija.

Na sl. 7 prikazane su „barrel“ i „pincushion“ distorzije slike realne scene, gde se vidi da se distorzija slike povećava sa udaljavanjem od centra slike.



Slika 7 – (a) „barrel“ distorzija; (b) „pincushion“ distorzija slike realne scene

Neki autori pri korekciji distorzije sočiva polaze od polinomijalnog modela distorzije [15, 16, 17]:

$$\begin{aligned} u &= x(1 + k_1 r_d^2 + k_2 r_d^4 + \dots) \\ v &= y(1 + k_1 r_d^2 + k_2 r_d^4 + \dots), \end{aligned} \quad (6)$$

gde je (u, v) pozicija tačke na slici bez distorzije, (x, y) pozicija tačke na slici sa distorzijom i:

$$r_d = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (7)$$

radijus distorzije.

Nekoliko testova je pokazalo da je za većinu postupaka korekcije dovoljno koristiti samo parametar distorzije k_1 [16]. Parametar distorzije k_1 zavisi od sočiva i može se proceniti primenom bispektralne analize [15] ili pomoću test-slika [16, 17].

Određivanje optimalnih koeficijenata globalne transformacije multimodalne registracije nije jednostavno zbog kompleksnih relacija između spektralnih opsega. Intenzitet piksela slike nije određen samo karakteristikama kamere, već zavisi i od fizičkih karakteristika (karakteristike materijala scene, atmosferski uslovi, zračenje pozadine). Zbog toga se mnoge tehnike registracije ne mogu direktno primeniti kod multimodalnih slika.

Transformacija slike i interpolacija nivoa sivog

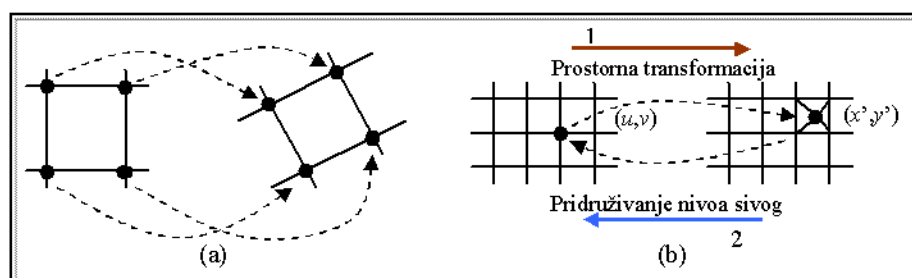
Funkcija transformacije, koja je definisana kroz prethodne korake, koristi se za transformaciju podešavajuće slike i na taj način se vrši registracija slika. Transformacija:

$$\begin{aligned} u &= u(x, y) \\ v &= v(x, y), \end{aligned} \quad (8)$$

povezuje koordinate referentne slike sa koordinatama odgovarajućih tačaka podešavajuće slike. Za koordinate (x, y) podešavajuće slike, prethodne relacije određuju koordinate tačke referentne slike (u, v) . Očitavanjem vrednosti nivoa sivog na poziciji (x, y) podešavajuće slike i snimanjem na poziciju (u, v) nove slike, podešavajuća slika se tačku po tačku preslikava na geometriju referentne slike. U prethodnom izrazu (x, y) su celobrojne vrednosti dok su (u, v) necelobrojne. Ovakva transformacija naziva se transformacija unapred.

Zbog diskretizacije i zaokruživanja u izlaznoj slici mogu se pojaviti rupe i/ili preklapanja, pa se zbog toga koristi inverzna funkcija preslikavanja koja se naziva transformacija unazad. Koristeći inverznu funkciju preslikavanja, od podešavajuće slike dobija se registrovana slika, pa se u izlaznoj slici neće pojaviti rupe i/ili preklapanja. Kako su nivoi sivog podešavajuće slike dostupni samo za celobrojne koordinate tačaka (x, y) , vrednost nivoa sivog nove slike određuje se na osnovu vrednosti nivoa sivog određenog broja piksela u neposrednom okruženju – interpolacija nivoa sivog.

Na sl. 8 ilustrovana je inverzna funkcija preslikavanja i postupak interpolacije nivoa sivog na osnovu najbližih suseda.



Slika 8 – (a) parovi uparenih tačaka segmenata dve slike; (b) interpolacija nivoa sivog na osnovu najbližih suseda

Sa sl. 8b vidi se da se u jednom smeru vrši prostoma transformacija, a u drugom smeru pridruživanje nivoa sivog.

Najčešće korišćene funkcije za interpolaciju nivoa sivog su funkcija najbližeg suseda, bilinearna i kubna funkcija. Iako je bilinearna interpolacija po pitanjima tačnosti i vizuelnog utiska lošija od metoda viših redova, ona predstavlja najbolji kompromis između tačnosti i računarske kompleksnosti i zbog toga je jedan od najčešće korišćenih metoda. Kubna interpolacija predlaže se ukoliko geometrijska transformacija zahteva bitno uvećanje podešavajuće slike. Metoda najbližih suseda se izbegava zbog lošeg vizuelnog utiska nakon interpolacije. Izuzetak predstavljaju situacije u kojima je potrebno transformisati slike koje imaju mali broj nivoa sivog.

Procena kvaliteta registracije

Veoma je poželjno da korisnik ima informaciju o kvalitetu metoda registracije i mogućim primenama. Procena kvaliteta registracije nije jednostavna, delimično zbog toga što se greške mogu javiti u svakom od koraka registracije (izdvajanje obeležja, uparivanje obeležja, funkcija transformacije), a delimično zbog toga što je teško razlikovati greške u registraciji i aktuelne fizičke razlike sadržaja slika.

Greška lokalizacije. Pomeraj koordinata kontrolnih tačaka zbog pogrešne detekcije naziva se greška lokalizacije. Srednja preciznost metoda detekcije kontrolnih tačaka poznata je za različite tipove slika i dobija se računarskom simulacijom i pomoću različitih idealnih poređenja.

Greške u uparivanju. Greške u uparivanju mogu se meriti brojem lažnih uparivanja kontrolnih tačaka. Pogrešno uparivanje može se identifikovati dodatnom verifikacijom, gde se dva različita metoda uparivanja koriste na istom skupu kontrolnih tačaka. Samo parovi tačaka koji su upareni po oba metoda uzimaju se kao validni parovi, dok se neuparene tačke isključuju iz dalje obrade. U slučaju da ne postoji drugi validan metod uparivanja, pogrešni parovi mogu se identifikovati kroz sledeći proces. U svakom koraku isključuje se jedan par iz skupa kontrolnih tačaka i računaju parametri preslikavanja. Nakon toga se proverava kako su sa funkcijom preslikavanja isključene tačke preslikane jedna u drugu. Ukoliko je pomeraj tačaka manji od zadatog praga, tačke se prihvataju kao validan par kontrolnih tačaka.

Greška u registraciji. Pod greškom u registraciji podrazumeva se razlika između modela preslikavanja koji se koristi i stvarnog modela geometrijske distorzije. Dva su glavna razloga za prisustvo greške u registraciji. Tip funkcije preslikavanja ne mora odgovarati stvarnom modelu distorzije i/ili parametri modela nisu tačno izračunati. Prvi razlog je posledica nedostatka apriornih znanja o geometrijskoj distorziji, dok je drugi razlog posledica nedovoljnog broja kontrolnih tačaka, grešaka u lokalizaciji i uparivanju.

Greška u registraciji može se izračunati na nekoliko načina. Najjednostavnija mera za izračunavanje je srednja kvadratna greška pozicija kontrolnih tačaka. Iako se često koristi, ona nije dobra mera za računanje greške registracije. Ova mera govori samo o prilagođavanju koordinata kontrolnih tačaka primenom funkcije preslikavanja. Za bilo koji skup kontrolnih tačaka nulta srednja kvadratna greška može se dobiti izborom modela preslikavanja sa dovoljno velikim stepenom slobode. Sa druge strane, velika srednja kvadratna greška može biti prouzrokovana greškama u lokalizaciji i u tom slučaju ne odslikava verno kvalitet registracije.

Drugi pristup koji se koristi za određivanje tačnosti registracije jeste korišćenje više različitih načina registracije. U ovom slučaju, slika koja se registruje pomoću metoda koji se ispituje poredi se (na osnovu metrike u domenu slike) sa istom slikom registrovanom sa drugim komparativnim metodom. Kao komparativni metod koristi se metod za koji se veruje da daje najbolje rezultate u aplikaciji. Ukoliko ovakav metod ne postoji, kao komparativni metod koristi se bilo koji metod koji ima različitu prirodu od prirode metoda koji se ispituje. Male razlike u rezultatima registracije pokazuju, mada i ne garantuju, tačnost registracije.

Najstariji metod određivanja kvaliteta registracije je subjektivna procena stručnjaka iz oblasti registracije. Ovaj metod se i dalje koristi kao dopuna objektivnih mera procene.

Za procenu kvaliteta registracije obično se koriste sledeći kriterijumi: tačnost, pouzdanost, robustnost i računarska kompleksnost. Tačnost predstavlja razliku između pravih i estimiranih vrednosti. Ukoliko je manja razlika, estimacija će biti tačnija. U registraciji slika tačnost se odnosi na srednju vrednost, medijanu, maksimum ili srednju kvadratnu grešku između tačaka na referentnoj slici i odgovarajućih tačaka podešavajuće slike nakon registracije. Tačnost se može određivati korišćenjem sintetičkih slika na kojima su koordinate tačaka uparivanja poznate. Alternativno, mogu se koristiti i markeri koji se postavljaju na scenu i njihova pozicija se koristi u proceni. Tačnost se meri u pikselima/vokselima.

Pouzdanost se odnosi na broj uspešnih u odnosu na ukupan broj sprovedenih testova. Neka je n broj parova slika koje se testiraju pri registraciji i neka je m broj zadovoljavajućih rezultata registracije. Ukoliko je n dovoljno veliko, tada količnik m/n predstavlja pouzdanost algoritma registracije. Ukoliko je ovaj odnos bliži jedinici algoritam je pouzdaniji.

Robustnost predstavlja stepen stabilnosti tačnosti ili pouzdanosti algoritma registracije pri promeni jednog ili više ulaznih parametara. Robustnost se može gledati u odnosu na uticaj šuma, amplitudske i geometrijske varijacije slika i sl. Ukoliko postoji više ulaznih parametara, svaki od njih utiče na tačnost i pouzdanost, pa se robustnost algoritma određuje u odnosu na svaki od parametara. Jedan algoritam može biti robustan u odnosu na uticaj šuma, ali ne i u odnosu na geometrijske razlike. Za neki algoritam registracije se kaže da je robustan ukoliko se performanse algoritma znatno ne menjaju sa promenom ulaznih parametara.

Računarska kompleksnost govori o brzini sprovođenja registracije i pokazuje primenljivost algoritma u realnim situacijama. Računarska kompleksnost meri se brojem sabiranja/množenja u zavisnosti od dimenzija slike. Poželjno je da računarska kompleksnost algoritma registracije linearno zavisi od dimenzija slike.

Klasifikacija metoda registracije

Algoritmi registracije mogu se klasifikovati po različitim kriterijumima [3]:

- modalitet. Monomodalna registracija odnosi se na situacije u kojima su izvorne slike dobijene sa istog senzora ili senzora istog tipa, tako da ne postoje bitne razlike u opsezima nivoa sivog koji odgovaraju istom fizičkom/fiziološkom fenomenu. Kod multimodalne registracije opsezi nivoa sivog se mogu znatno razlikovati;

- dimenzionalnost. Odnosi se na broj dimenzija izvornih slika. Slike imaju dve prostorne dimenzije – 2D. Danas, različite tehnike vizuelizacije omogućavaju prikaz trodimenzionalnih (3D) volumena. Takođe, senzori mogu davati i sekvence slika, gde se vreme posmatra kao dodatna dimenzija, odnosno, po dogovoru, kao 0,5 dimenzija. Na taj način registraciju možemo označavati kao 3D (tri prostorne dimenzije), 2D (dve prostorne dimenzije) i 2,5D (dve prostorne dimenzije + vreme). Današnje aplikacije najčešće obuhvataju 2D/2D i 3D/3D registraciju.

- brzina. Registracija može biti „offline“ i „online“. „Offline“ registracija odnosi se na aplikacije u kojima vreme trajanja registracije nije ograničeno. Kod „online“ aplikacija postoji vremensko ograničenje trajanja registracije.

- subjekat. U medicini se može obavljati registracija slika koje su dobijene od istog subjekta – pacijenta (intrasubjektna) ili različitih subjekata (intersubjektna).

- priroda usaglašavanja. Razlike izvornih slika postoje zbog različitih faktora, uključujući različite pozicije i orijentacije senzora, vremenske razlike, i sl.

- korišćeni informacioni sadržaj. Mogu se identifikovati dva tipa metoda: pristupi koji koriste kontrolne tačke i pristupi zasnovani na sadržaju slike. Kontrolne tačke mogu imati jasno fizičko tumačenje (pouzdati markeri vidljivi na svim modalitetima) ili mogu biti samo od teoretskog interesa (linije, uglovi, itd.). Pristupi zasnovani na korišćenju sadržaja slike koriste nivoe sivog, vektore gradijenata, vejtlet (wave/et) koeficijente i sl. Obično su sporiji od prethodnih pristupa, ali mogu biti tačniji i robustniji.

- lokalitet mere usaglašavanja. Usaglašavanje se može raditi na nivou čitave slike, korišćenjem globalnih mera, npr. srednja kvadratna greška nivoa sivog ili korišćenjem grupe susednih piksela i korišćenjem lokalnih mera, npr. lokalna korelacija.

– transformacija. Postoje dva tipa geometrijskih transformacija: parametarske (afina, projektivna, polinomijalna, itd.), kod kojih mali broj parametara određuje transformaciju i neparametarske (optički protok), kod kojih je pomeraj piksela nezavisan, pa slika može biti slična sa bilo kojom slikom koja ima isti opseg nivoa sivog kao i izvorna slika.

– optimizacija. Zbog brzine registracije iterativni metodi se koriste zajedno sa multirezolucionim pristupima.

– određivanje parametara metoda. Kod direktnih metoda parametri transformacije određuju se iz podataka. Kod metoda pretraživanja u procesu optimizacije kvaliteta registracije vrednosti se dobijaju pretraživanjem skupa mogućih vrednosti.

– tip podataka. Podaci koji se koriste u procesu registracije mogu biti sirovi podaci – vrednosti nivoa sivog piksela (voksela) ili se koriste obeležja izdvojena iz podataka – ivice, pokretni objekti, i sl. Među metodima koji koriste sirove podatke najviše se koriste metodi zasnovani na zajedničkoj informaciji [19, 20]. Zajednička informacija dva skupa elemenata (piksela, voksela) jeste maksimalna kada su dva skupa registrovana.

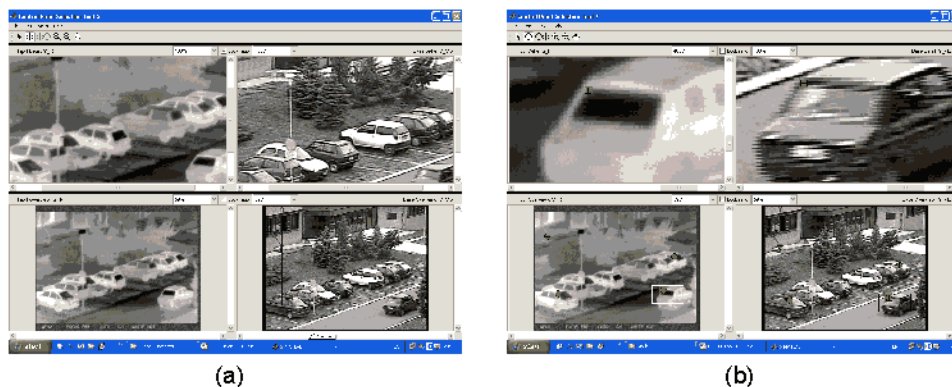
– nivo automatizacije. Metod je automatski ukoliko nije potrebna ili je potrebna mala intervencija korisnika. Ukoliko je neophodna intervencija korisnika metod je poluautomatski.

Primer registracije slika iz baze autora

U eksperimentu su korišćene termovizijske i televizijske slike iste scene. Slike scene dobijene su pomoću televizijske kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra (0,4–0,7) μm i termovizijske kamere firme ATIS (Advanced Thermal Imaging System), u dalekom infracrvenom delu spektra (8–12) μm . Baza slika formirana je sa nepokretnim kamerama postavljenim na platformu. Optička vidljivost bila je ograničena zbog oblačnosti i sumaglice [21]. Slike sa raspoloživih senzora su vremenski usaglašene, a zbog različitih karakteristika senzora postoji prostoma neusaglašenost.

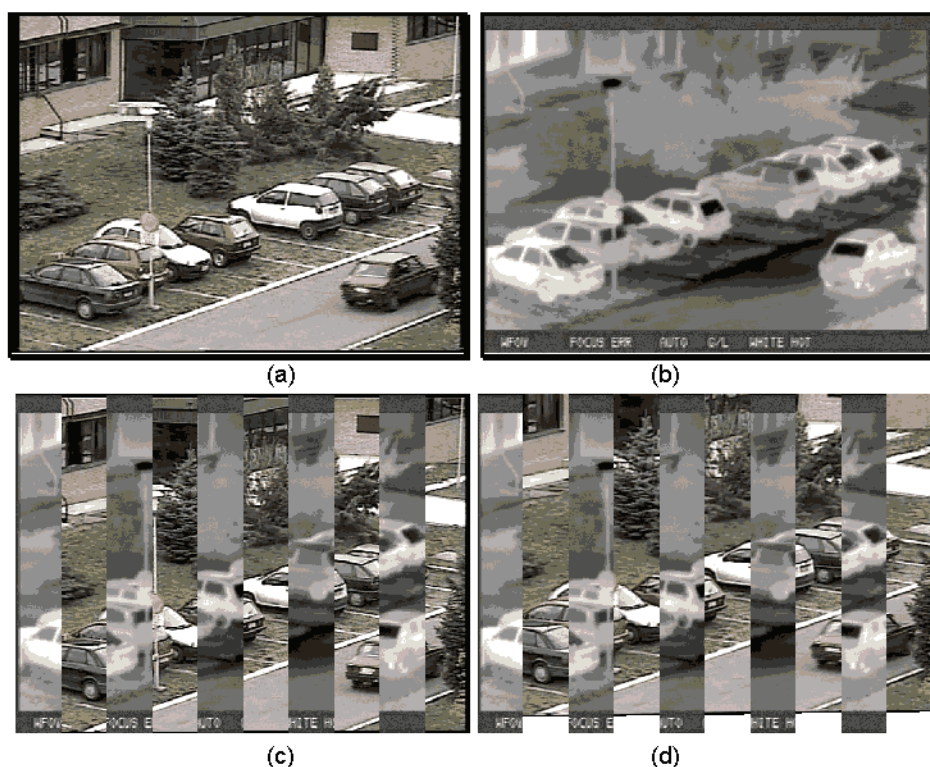
Za registraciju slika korišćen je programski paket „Matlab 7.0“, koji omogućava da se ručno odaberu parovi kontrolnih tačaka i tip transformacije. Nakon toga program određuje vrednosti parametara preslikavanja. Pri pokretanju funkcije za registraciju slika dobija se radni prozor prikazan na sl. 9. Slika 9a daje prikaz radnog prozora pre izbora kontrolnih tačaka, a na sl. 9b uočavaju se četiri para kontrolnih tačaka koje su obeležene znakom $\oplus$.

Pri registraciji slika odabrana je projektivna transformacija, a za izbor koeficijenata transformacije koriste se četiri para kontrolnih tačaka.



Slika 9 – Radni prozor programskog paketa „Matlab 7.0”: (a) pre izbora kontrolnih tačaka; (b) nakon izbora kontrolnih tačaka

Na sl. 10 prikazane su izvorne slike i rezultati registracije. Zbog boljeg uočavanja rezultata registracije, sl. 10c prikazuje vertikalne segmente izvornih slika, a sl. 10d vertikalne segmente registrovanih slika. Uočava se da je uspešno obavljeno usaglašavanje izvornih slika.



Slika 10 – (a) (b) izvorne slike; (c) (d) vertikalni segmenti slika pre i nakon registracije

Zaključak

Registracija slika sa kompleksnim, nelinearnim i lokalnim distorzijama, multimodalna registracija i registracija N -D slika ($N > 2$) spadaju u najveće izazove u registraciji.

Kod multimodalne registracije zajednička informacija koristi se kao standardna tehnika, naročito u obradi medicinskih slika. Ova tehnika ima određena ograničenja. Kako bi se ova ograničenja prevazišla, neki autori kombinuju zajedničku informaciju sa drugim metodima, kako bi se povećala robustnost i pouzdanost. Da bi se povećala brzina registracije često se koriste piramidalne reprezentacije slike sa različitim algoritmima optimizacije. Međutim, ukoliko postoje znatne razlike u rotaciji i/ili skaliranju, ovakvi metodi ili daju pogrešan rezultat ili traju dugo. Pretpostavka od koje se kreće pri piramidalnoj (multirezolucionalnoj) registraciji jeste da odgovarajući signali na svim rezolucionalnim nivoima sadrže dovoljno korelisanih struktura koje omogućavaju stabilnu registraciju. Ova pretpostavka je generalno tačna, ukoliko se koriste slike sa istog senzora ili različitih kamera istog modaliteta. Međutim, kod multisenzorskih parova slika (tj. slika sa različitih modaliteta) signali su najpre korelisani na višim rezolucionalnim nivoima, dok se korelacija signala smanjuje sa smanjenjem prostorne rezolucije. Do toga dolazi zbog toga što viši rezolucioni nivoi sadrže više prostorne učestanosti, koje odgovaraju fizičkim strukturama scene, zajedničkim za obe slike. Niži rezolucioni nivoi, sa druge strane, zavise od osvetljenosti, fotometrijskih i fizičkih karakteristika senzora i znatno se razlikuju kod multimodalnih slika.

Dalji trendovi uključuju i različita razmatranja metoda koje koriste obeležja slike invarijantna i neosetljiva na modalnost.

Glavnu težinu registracije N -D slika predstavlja računarska kompleksnost. Zbog toga postoji potreba za smanjenjem vremena sprovođenja registracije. Osim kompleksnosti povećava se i količina podataka (veća rezolucija, veća dimenzionalnost, veće dimenzije skeniranih površina). Potreba za većom robustnošću i tačnošću registracije obično zahteva rešenja zasnovana na iterativnim postupcima, ili postupcima sa vraćanjem unazad, što takođe povećava računarsku kompleksnost metoda.

Ubuduće će istraživači raditi na metodu registracije koji može da prepozna tip deformacije i da odluči koje je najprikladnije rešenje. Metod bi predstavljao kombinaciju različitih pristupa.

Zbog raznovrstnosti slika koje je potrebno registrovati i zbog različitih degradacija nemoguće je dizajnirati univerzalni metod registracije.

Literatura

[1] Dwyer, D., Smith, M., Dale, J., Heather, J., *Real time implementation of image alignment and fusion*, Proceedings of the Defense and Security Symposium 2005, Orlando, FL, 2005.

- [2] Sharma, R. K., *Probabilistic Model-Based Multisensor Image Fusion*, PhD Thesis, Oregon Graduate Institute of Science and Technology, October 1999.
- [3] Sabuncu, M. R., *Entropy-based image registration*, PhD Thesis, Princeton University, November 2006.
- [4] Zitova, B., Flusser, J., *Image registration methods, a survey*, Image and Vision Computing 21 (2003), 977–1000.
- [5] Zhang, Z., Blum, R., *A hybrid image registration for a digital camera image fusion application*, Information Fusion 2 (2001), 135–149.
- [6] Gostasby, A., 2-D and 3-D image registration for medical, remote sensing, and industrial applications, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [7] Peng, X., Ding, M., Zhou, C., Ma, Q., *A practical two-step image registration method for two-dimensional images*, Information Fusion 5 (2004), 283–298.
- [8] Brown, L. G., *A Survey of Image Registration Techniques*, ACM Computing Surveys, Vol. 24, No. 4, pp. 325–376, 1992.
- [9] Riley, T., Smith, M. I., *Image fusion technology for security and surveillance applications*, Proceedings of the Security & Defense 2006 Conference, Stockholm, Sweden, 11–14 September, 2006.
- [10] Irani, M., Anandan, P., *Robust Multi-Sensor Image Alignment*, Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision, pp. 959–966, 1998.
- [11] Heather, J. P., Smith, M. I., *Multimodal Image Registration with Applications to Image Fusion*, Proceedings of the 8th International Conference on Information Fusion (Fusion 2005), Philadelphia, PA, USA, July 2005.
- [12] Popović, M., *Digitalna obrada slike*, Akademski misao, Beograd, 2006.
- [13] Rosenfeld, A., Kak, A. K., *Digital Picture Processing*, Volume 2, 2nd Edition, Academic Press, Inc., 1982.
- [14] Perš, J., Kovačić, S., *Nonparametric Model-Based Radial Lens Distortion Correction Using Tilted Camera Assumption*, Proc. of the Computer Vision Workshop 2002, Austria, pp.286–295, 2002.
- [15] Farid, H., Popescu, A. C., *Blind Removal of Lens Distortion*, Journal of the Optical Society of America, Vol. 18, No. 9, 2001.
- [16] Devernay, F., Faugeras, O., *Straight lines have to be straight*, Machine Vision and Applications (2001) 13, 14–24.
- [17] Gribbon, K. T., Johnston, C. T., Bailey, D. G., *A Real-time FPGA Implementation of a Barrel Distortion Correction Algorithm with Bilinear Interpolation*, Proc. Image and Vision Computing, pp.402–407, 2003.
- [18] Bondžulić, B., Zrnić, B., *Korekcija barel distorzije*, Konferencija TELFOR, 2005.
- [19] Viola, P., *Alignment by Maximization of Mutual Information*, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Technical Report 1548, June, 1995.
- [20] Maes, F., Collignon, A., Vandermeulen, D., Marchal, G., Suetens, P., *Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information*, IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol. 16, No. 2, April 1997.
- [21] Bondžulić, B., *Detekcija pokreta na slici scene*, magistrski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2005.

RAZVOJ GLOBALNIH SATELITSKIH NAVIGACIONIH SISTEMA

Kapetan sc Slobodan Radojević,
slobodan.radojevic@va.mod.gov.rs, Vojna akademija,
kapetan fregate mr Jovica Ćurčić,
jovicacurcic@artcommunication.rs, Komanda Rečne flotile

Rezime:

U radu se analiziraju načini poboljšanja karakteristika globalnih satelitskih navigacionih sistema kako bi zadovoljili strože sigurnosne zahteve. Takođe, dat je osvrt na postojeće globalne satelitske navigacione sisteme. Bliža budućnost postojećih globalnih satelitskih navigacionih sistema jeste u međusobnoj integraciji, a dalja u integraciji i sa ostalim senzorima za prikupljanje svih vrsta podataka koji služe kreiranju informacija potrebnih za bilo koji aspekt ljudskog života. Prikazana je procena i očekivanje porasta broja korisnika globalnih satelitskih navigacionih sistema u budućnosti, u različitim sferama ljudskog života, koja dovoljno govori o njihovoj važnosti i širokoj primeni. Ključne reči: globalni satelitski navigacioni sistemi, sigurnost.

DEVELOPMENTS OF GLOBAL NAVIGACION SATELLITE SYSTEMS

Summary:

The article analyses the methods to improve the characteristics of the global navigation satellite systems so as to comply with more stringent safety demands. Existing global navigation satellite systems have also been discussed. Near future of existing global navigation satellite systems can be observed in the mutual integration and further in the integration with other sensors used for collecting all kinds of data serving in the creation of information necessary for any aspect of human life. At the end there is also an assessment given as well as the expectations that the number of users of global navigation satellite systems will rise in the future in various fields of human life, which says more than enough about how important and how broadly applied they are.

Key words: *global navigation satellite systems, safety.*

Uvod

Osnovna specifičnost gotovo svakog satelitskog radio-navigacionog sistema je dvoetačni rad. U prvoj etapi, po podacima trajektornih merenja koja se izводе u fiksiranim trenucima, određuju se početni parametri orbite

navigacionog satelita i prognozira se njegovo kretanje, tj. proračunavaju se njegovi tekući efemeridi (koordinate i komponente vektora brzine satelita). U drugoj etapi određuju se pozicija i vektor brzine letelice, broda (korisnika) u njegovom računar na osnovu izmerenih navigacionih parametara i efemeridne informacije izdvojene iz signala dobijenog sa satelita [1].

Prihvatanje satelitskih navigacionih sistema u vazduhoplovstvu i pomorstvu zavisi od strogih sigurnosnih aspekata i mora da zadovolji više zahteva. To su:

1) *tačnost* – mogućnost sistema da osigura zadovoljavajuću navigacionu tačnost za pojedine faze leta ili plovidbe;

2) *celovitost* – garancija da sve funkcije sistema rade unutar operativnih granica tolerancije uz mogućnost detekcije anomalija signala koje bi mogle da izazovu navigacione greške veće od propisanih;

3) *dostupnost* – svojstvo sistema da je upotrebljiv unutar područja pokrivanja i da je navigacioni signal dostupan korisniku i

4) *kontinuitet* – mogućnost sistema da osigura funkcionalnost bez prekida u radu, kao i da sistem funkcioniše sve vreme trajanja neke operacije [2].

Postojeći satelitski navigacioni sistemi, američki GPS¹ i ruski GLO-NASS,² ne zadovoljavaju sve zahteve u fazama leta i plovidbe, pogotovo ne za precizni prilaz pri sletanju i za približavanje obali. Podaci o poziciji dobijeni satelitskim navigacionim sistemom mogu poslužiti u vazduhoplovstvu tek nakon što se uporede sa drugim proverenim navigacionim sistemom.

Sistem globalnog pozicioniranja bio je zamišljen kao globalno dostupan satelitski navigacioni sistem prvenstveno za vojne, a tek zatim i za civilne korisnike. Za ispravan rad celokupnog sistema važno je da sateliti emituju tačne podatke na osnovu kojih prijemnici izračunavaju poziciju. Satelitski navigacioni sistemi ne omogućavaju civilnim korisnicima dovoljan uvid u stanje ispravnosti satelita [3].

Integritet sistema podrazumeva garanciju da sve njegove funkcije rade u operativnim granicama tolerancije. Ako dođe do kvara na predajniku satelita, satelit neće emitovati signale i neće moći da utiče na greške pozicioniranja. Međutim, ako satelit šalje signale, ali je došlo do nepravilnosti u radu zbog kojih šalje netačne podatke, to rezultuje greškom pozicioniranja većom od dopuštene. Grešku registruje zemaljski kontrolni segment sistema i satelitu šalje korekciju, u čijoj je navigacijskoj poruci sadržan podatak o stanju satelita koji može biti emitovan sa velikim kašnjenjem s obzirom na kon-

¹ GPS (Global Positioning System) – Sistem globalnog pozicioniranja je jedan od satelitskih navigacijskih sistema za vrlo tačno i stalno određivanje pozicije, u vlasništvu i pod nadzorom Ministarstva obrane SAD. Pokrenut je sedamdesetih godina prošlog veka.

² GLONASS (ruski: ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ili engleski: Global Navigation Satellite System), doslovno: „globalni navigacijski satelitski sistem“) je satelitski navigacijski sistem koji je započeo SSSR 1976. godine. Po raspadu Sovjetskog Saveza Rusija je preuzela projekat i on se trenutno nalazi u nadležnosti ruskih svemirskih snaga.

cepciju slanja korekcijskih podataka kontrolne stanice prema satelitima. U pomorstvu i vazduhoplovstvu i ovakvo kašnjenje može imati velike posledice u pogledu sigurnosti. Radi toga sistem bez dodatnih dogradnji ne može biti prihvaćen kao jedini navigacijski sistem koji zadovoljava sve zahteve.

Problem integriteta sistema treba razmotriti naročito u situacijama približavanja obali ili aerodromu, kad bi se upozorenje o otkazu sistema ili nepreciznosti trebalo, zbog sigurnosti, javiti za manje od 6 sekundi od nastanka kvara. Postoje razne varijante nadzora, kontrole i dojave celovitosti, što utiče na prihvaćenost tehnologije nadgradnje navigacionih sistema.

Dostupnost sistema na poziciji korisnika može se definisati kao postotak vremena u kojem je usluga pozicioniranja iskoristiva u definisanom periodu. Kontinuitet sistema definiše se kao verovatnoća da je usluga pozicioniranja podržana za sve vreme otkad je korisnik započeo neku operaciju do njenog kraja bez prekida.

Diferencijalni GPS

Kako postojeći satelitski navigacioni sistemi ne zadovoljavaju zahteve tačnosti u fazama leta i plovidbe potrebno je poboljšati njihovu tačnost. Visoka tačnost pozicije neophodna je pri plovljenju kroz kanale, navigaciono teška područja i u prilazima lukama. U tim slučajevima tačnost mora biti znatno veća od zahtevane tačnosti pozicije broda na otvorenom moru.

Veća tačnost određivanja pozicije korisnika može se dobiti merenjem sa višekanalnim GPS prijemnikom, dužim vremenom opažanja i naknadnom obradom dobijenih podataka, simultanim opažanjem sa više prijemnika, a takođe i diferencijalnim globalnim pozicionim sistemom (DGPS) [1].

Diferencijalni režim rada realizuje se pomoću kontrolnih primopredajnih stanica, čiji su osnovni elementi: prijemnik radio-navigacionih signala GPS, koji radi sa topografski privezanim antenom; računar koji određuje koordinate prijemne stanice na osnovu primljenih radio-navigacionih signala i izračunava diferencijalne popravke navigacionih parametara upoređenjem izračunatih koordinata sa poznatim koordinatama kontrolne stanice; i predajnik pomoću kojeg se te popravke prenose na letelicu ili brod (korisniku).

Postoje diferencijalni radio-navigacioni sistemi sa različitim korekcijama:

– *radio-navigacioni sistem sa korekcijom pozicije*. Na kontrolnoj stanici periodično se mere diferencijalne popravke pozicije trodimenzionalne tačke u geocentričnom pravouglom (Δx , Δy , Δz) ili sfernom ($\Delta \phi$, $\Delta \lambda$, Δh) koordinatnom sistemu, koje se zatim predaju korisnicima sistema. Za realizaciju ove varijante potrebno je da kontrolna stanica i svi korisnici koji se nalaze u zoni njenog opsluživanja koriste jedan isti radni set navigacionih satelita. Pri narušavanju ovog uslova brzo nastaje poremećaj, a ne kompenzacija sistemske greške određivanja pozicije korisnika;

– *radio-navigacioni sistem sa korekcijom pseudodaljine*. Ovaj sistem ne zahteva da korisnici koriste isti set navigacionih satelita koji koristi kontrolna stanica. Korisnici dobijaju diferencijalne popravke o pseudodaljini za sve vidljive navigacione satelite sa kontrolne stanice. Greške određivanja pozicije u ovoj varijanti nastaju zato što kontrolna stanica i korisnici za navigacione parametre koriste efemeridnu informaciju, formiranu u različitim trenucima. Pri tome se promene promenljivih komponenta efemeridne informacije računavaju samo na kontrolnoj stanici, jer jeftini prijemnici tipa Z, zbog odsustva posebnog informacionog kanala, ne mogu da obnavljaju ovu informaciju posle njenog regularnog uvođenja u toku 30 do 40 minuta;

– *radio-navigacioni sistemi sa vremenskom korekcijom*. Dok prve dve varijante predstavljaju sisteme dalje navigacije sa lokalnom korekcijom, dotle se u ovom navigacionom sistemu realizuje sistem relevantne (bliže) navigacije, jer korisnici određuju svoju poziciju u odnosu na kontrolnu stanicu, a ne na satelite. To omogućava da se uprosti šema prijemnika korisnika i smanji broj korigovanih parametara radi dobijanja tačne pozicije.

Dakle, standardna metoda poboljšanja tačnosti jeste postavljanje kontrolnih stanica na tačno poznatim pozicijama, koje izračunavaju korekcijske veličine za tačnije pozicioniranje i šalju ih korisnicima preko radio-veza.

Sistem radi sa pomoćnom zemaljskom stanicom za nadzor na tačno poznatoj poziciji. Nadzorna stanica prima signale svih vidljivih satelita, izračunava greške i preko radio-veze emituje podatke o veličini grešaka i potrebne korekcije. Ovakvim korekcijama u krugu od nekoliko stotina kilometara od nadzorne stanice može se postići tačnost do 2 m (tabela 1). Korisnik mora posedovati prijemnik za poruke sa DGPS i program za obradu korekcijskih podataka. Zemaljska stanica služi kao „dodatni satelit“ i daje dodatni podatak sa vrlo tačnom pozicijom.

Tabela 1

Izvori grešaka GPS, poboljšanje tačnosti sa DGPS [2]

Komponenta greške, tipično (po satelitu)	Standardni GPS (m)	Diferencijalni GPS (m)
Vreme u satelitu	1,5	0,0
Greške orbite	2,5	0,0
Jonosfera	5,0	0,4
Troposfera	0,5	0,2
Šum u prijemniku	0,3	0,3
Višestruka refleksija	0,6	0,6
Ukupno	10,4	1,5

Prisutne su i modifikacije ovog načina otklanjanja grešaka. Moguće je sačuvati merenja u baznoj stanici i merenja u prijemniku i kasnije pristupiti proračunu gde je prijemnik bio (*mapiranje*). Obrnut proces (Inverted) diferencijalnog sistema koristi se kada se iz baze želi nadzirati veliki broj prijemnika (npr. javni prevoz). Kako se ne bi u svako vozilo ugrađivao prijemnik koji podržava DGPS ulaz, u vozilu se mere samo pseudoudaljenosti koje se radio-vezom prosleđuju bazi, gde se proračunava i korekcija [2].

U Americi radi DGPS služba koju kontroliše Obalska straža SAD (*U. S. Coast Guard*). Za emitovanje diferencijalnih korekcija koristi se frekvencijama postojećih srednjih talasa odašiljača obalnih radio-farova (285–325 KHz). Domet ovih predajnika je oko 500 km. Sistem je namenjen prvenstveno za pomorsku navigaciju u priobalnim područjima. Na kopnu se mogu vrlo uspešno koristiti mreže postojećih ultrakratkotalasnih (UKT) predajnika za emitovanje diferencijalnih korekcija. Osim vrlo dobre pokrivenosti, velika prednost upotrebe UKT predajnika je i mogućnost korišćenja jednostavnim prijemnicima. Gotovo svi evropski predajnici već emituju, uz normalne radio-programe, i digitalne podatke preko RDS sistema (*Radio Data Service* – radio-digitalni podaci). RDS omogućava automatsku identifikaciju, izbor vrste programa i druga obaveštenja, kao i prenos dodatnih informacija. Primena UKT predajnika za prenos diferencijalnih korekcija može biti problematična samo za vazduhoplove na većim visinama, jer odašiljači imaju usmerenu karakteristiku antena orijentisanu, uglavnom, na niže elevacije [4].

U novije vreme diferencijalne korekcije mogu se slati korisnicima i internetom. Ovakvi sistemi sa korekcijama merenja pseudoudaljenosti na lokalnom nivou nazivaju se LADGPS (*Local Area DGPS* – sistem sa diferencijalnim korekcijama na lokalnom nivou), a navigacijske greške postaju sve nepreciznije povećanjem udaljenosti od kontrolne stanice. Ukoliko se diferencijalne korekcije prenose nekom bežičnom tehnologijom (npr. GSM), sistem se naziva WAGPS (*Wireless Assisted GPS* – bežično podržani GPS).

Smanjenje tačnosti zbog prostorne dekorelacije može se popraviti pomoću sofisticiranih tehnika WADGPS sistema (*Wide Area DGPS* – veliko područje pokrivenosti DGPS). Prednosti diferencijalnog sistema su povećana tačnost pozicioniranja od 2 do 3 m na prostoru do 1000 km udaljenosti od kontrolne stanice. Na manjim udaljenostima, do 50 km, može se postići tačnost od 1 do 2 m. Kako diferencijalni sistem kontinuirano kontroliše sve parametre sistema, svaka degradacija njegovog rada registruje se i trenutno signalizira korisnicima. Reakcija DGPS je mnogo brža nego što kontrolni segment sistema signalizira nepravilnost u radu satelita unutar navigacione poruke i time omogućava eliminaciju podataka tog satelita. Zato diferencijalni sistem ima vrlo dobru kontrolu integriteta sistema, što je vrlo važan činilac za sigurnost pri upotrebi sistema u vazduhoplovstvu [5].

Kvalitet korekcijskih parametara zavisi od kvaliteta bazne stanice, a preostali izvori grešaka koji su neotklonjivi ovom metodom jesu šum prijemnika i greška zbog višestrukog puta signala. Što je prijemnik dalje od bazne stanice, diferencijalna korekcija postaje netačnija. Greške su u granicama dozvoljenih, sve do udaljenosti od 250 km, ali su korekcije obično ograničene dometom odašiljača tih korekcija na oko 170 km LADGPS (Local DGPS – lokalni DGPS). Za veća područja pokrivenosti izgrađuju se mreže baznih stanica tako da prijemnik bira korekcije iz bliže stanice WADGPS. Starost LADGPS korekcije koja dođe do prijemnika manja je od 5 sekundi, što ne utiče na njenu valjanost, a ukoliko prijemnik prestane dobiti WADGPS korekcije, koristi poslednju koju je primio još oko 2 minuta. Osim popravke položaja, važan zadatak DGPS je poboljšavanje pouzdanosti merenja radi brže dojave mogućeg kvara satelita. Sistemi WADGPS ostvaruju nešto manju tačnost (oko 3 m na području gde su korekcije valjanе) za razliku od sistema LADGPS (do 1,5 m oko referentne stanice), jer WADGPS ne pokriva uticaj troposfere na kašnjenje signala.

Poboljšanja satelitskih navigacionih sistema

Jedan od mogućih načina poboljšanja i dopune satelitskih navigacionih sistema koristi se geostacionarnim satelitima INMARSAT.³ Inmarsatovi sateliti omogućavaju uvođenje diferencijalnih usluga satelitskih navigacionih sistema za široko područje upotrebe. Geostacionarna satelitska dopuna GPS i GLONASS za civilnu navigaciju uvedena je kako bi korisnici dobili dodatne podatke koji omogućavaju postizanje strogih zahteva pouzdanosti i celovitosti informacija i navigacionih podataka. Dodatni navigacioni signali generišu se u zemaljskim stanicama i emituju uzlaznom (*uplink*) vezom do satelita Inmarsat-3 koji imaju repetitorske kanale za reemitovanje navigacionih signala korisnicima. Takva dopuna omogućuje sledeće usluge:

- emitovanje informacija o celovitosti i ispravnosti svakog GPS i GLONASS satelita u realnom vremenu;
- emitovanje dodatnih navigacionih signala radi povećanja dostupnosti GPS signala, što rezultuje povećanjem RAIM⁴ dostupnosti, i
- emitovanje diferencijalnih korekcija na širokom prostoru za GPS i GLONASS korisnike, kako bi se povećala tačnost signala civilnih korisnika.

Kombinacija ovih usluga čini WAAS sistem (Wide Area Augmentation System – široko područje augmentacije) [4] i [5].

³ INMARSAT – sateliti koji se nalaze u geostacionarnoj orbiti na udaljenosti od 35700 km, čime je osigurano vreme obilaska od 24 časa, odnosno zbog čega se za nepokretnog posmatrača položaj satelita na nebeskom svodu ne menja tokom vremena.

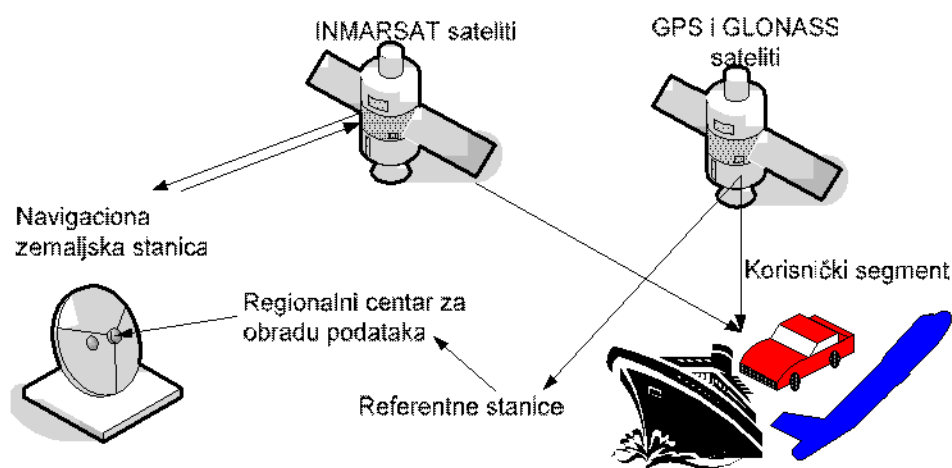
⁴ RAIM – Receiver Autonomous Integrity Monitoring – tehnika za procenu tačnosti signala u prijemniku.

Sistem WAAS

Radi povećanja tačnosti satelitskih navigacionih sistema GPS i GLONASS za civilne korisnike pri radu na velikim prostranstvima, danas se razvija nekoliko satelitskih sistema za povećanje mogućnosti sredstva satelitske navigacije (SBAS – Satellite Based Augmentation System), kao što su:

- evropski globalni geocentrični navigacioni sistem (EGNOS), namenjen za prekrivanje zone određen Evropskom konferencijom civilnog vazduhoplovstva (ECAC);
- američki sistem WAAS, koji bi pokrивao kontinentalni deo SAD;
- japanski sistem MSAS, koji bi pokrивao japanska ostrva.

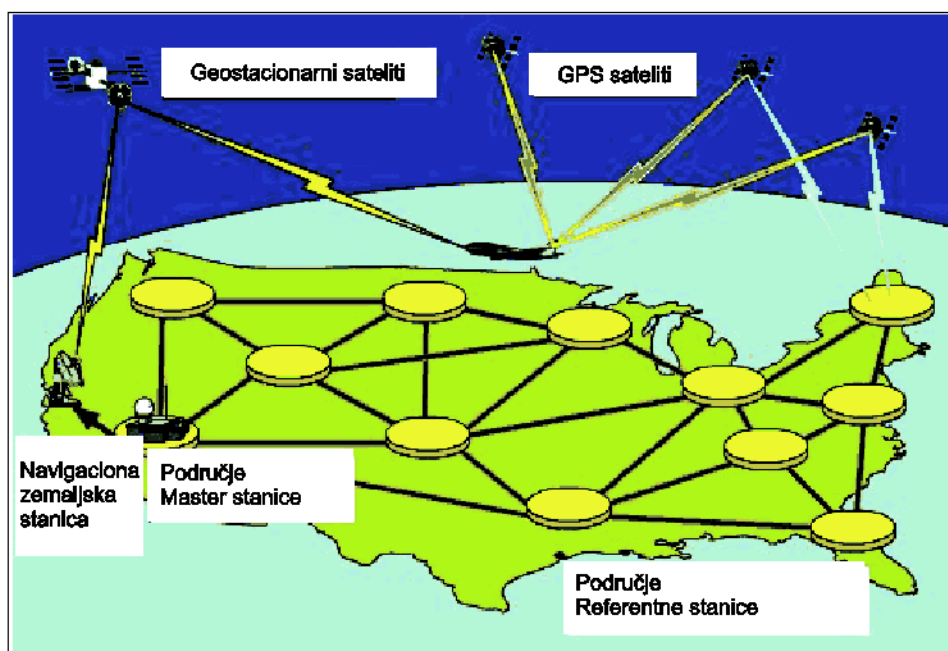
Sistemi SBAS pomoću satelita šalju korekcijske podatke i podatke o integritetu satelitskih sistema GPS i GLONASS. Svrha ovih sistema jeste da povećaju tačnost i pouzdanost određivanja pozicije. Sistem WAAS razvijen je u SAD i pokriva ceo kontinent Severne Amerike [4] i [5]. Navigacioni signali GPS i GLONASS primaju se na referentnim stanicama (integrity monitoring) raspoređenima na širokom prostoru SAD. Primljeni podaci šalju se mrežama do regionalnog centra za obradu, gde se obrađuju podaci o celovitosti, diferencijalnim korekcijama i jonosferskim vrednostima za svaki pojedini satelit. Načelo rada WAAS sistema prikazano je na slikama 1 i 2 (obrađa autora na osnovu [5]).



Slika 1 – Sistem WAAS

Kako su geostacionarni Inmarsat sateliti sastavni deo sistema, i za njih je potrebno obraditi precizne orbitalne informacije. Integrisana korekcijska poruka prosleđuje se do navigacione zemaljske stanice. U naviga-

cionoj stanici signal proširenog spektra se precizno sinhronizuje sa referentnim vremenom i moduliše sa podacima o integritetu i ispravnosti sistema, kao i diferencijalnim isporavkama.



Slika 2 – Sistem WAAS u SAD

Taj signal emituje se prema geostacionarnom satelitu na uzlaznoj frekvenciji (*uplink*) u C-pojasu. Na Inmarsat satelitu navigacioni signal se frekvencijski transponira i emituje korisnicima na frekvenciji $L_1=1575,42$ MHz i do navigacionih zemaljskih stanica u C-pojasu. Ovaj signal u C-pojasu služi za vrlo precizno vremensko usklađivanje *takt-signal*a u zatvorenoj petlji povratne veze, kako bi se signal mogao tretirati kao da je generisan na satelitu za određivanje udaljenosti.

Signal WAAS je tako koncipiran da su za postizanje kompatibilnosti potrebne minimalne modifikacije sklopova GPS prijemnika. Kao nosilac koristi se samo frekvencija L_1 i modulacioni postupci kao u GPS, uključujući C/A pseudoslučajni PRN kod (Pseudo Random Noise). Faza koda sinhronizovana je sa GPS vremenom, kako bi se imitirao satelit sa mogućnošću određivanja udaljenosti.

Brzina podataka i format modulacionih podataka superponiranih na nosilac proširenog spektra drugačiji su nego u GPS signalu. U signalu su mnogobrojne poruke koje generiše WAAS operater i namenjene su kompatibilnim GPS prijemnicima za informisanje o funkcionisanju satelit-

skog navigacionog sistema. Poruke sadrže i informacije o korekcijama jonosferskog kašnjenja koje se koriste za poboljšanje preciznosti i tačnosti pozicioniranja. Simboli poruke prenose se brzinom od 500 simbola u sekundi [4] i [5].

Da bi se koristile prednosti WAAS sistema bilo gde na Zemlji, potpuno kompatibilni kontrolni sistemi morali bi biti postavljeni i izvan SAD, širom sveta. U Evropi se razvija verzija WAAS sistema pod nazivom EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service – Evropski geostacionarni navigacijski servis).

Evropski geostacionarni navigacioni servis – EGNOS

Sistem EGNOS je zajednički projekat Evropske unije, Evropske agencije za svemirska istraživanja⁵ (ESA) i Evropske organizacije za sigurnost vazduhoplovne navigacije EUROCONTROL. Planovi razvoja sistema za globalnu navigaciju predviđaju razvoj u nekoliko faza [3]. U prvoj fazi koristila bi se infrastruktura GPS i GLONASS sistema uz nezavisan sistem za kontrolu i praćenje. Kontrolni sistem bi se sastojao od glavne kontrolne stanice, nekoliko kontrolnih stanica za praćenje celovitosti sistema raspoređenih na Islandu, u severnoj Skandinaviji, u istočnom Mediteranu i Kanarskim ostrvima, i navigacijskih zemaljskih stanica uz geostacionarne satelite s navigacionim predajnicima koji treba da osiguraju dodatno merenje pseudoudaljenosti. Sistem treba da osigura WADGPS uslugu za ceo evropski kontinent u realnom vremenu. Rad sistema je vrlo sličan WAAS sistemu u Americi [3]. Za razliku od WAAS, EGNOS je planiran da daje i diferencijalne korekcije za GLONASS i za Galileo sistem.

Podaci i formati podataka bili bi identični. Problemi rada sistema mogu se pojaviti u severnijim delovima kontinenta, gde su geostacionarni sateliti nisko iznad horizonta sa vrlo malom elevacijom, pa prijem signala može biti problematičan. Na geografskim širinama iznad 80° elevacije geostacionarnih satelita su ispod horizonta. Da bi se izbegao problem zaklonjenosti geostacionarnih satelita koji emituju EGNOS signale, od februara 2002. godine ESA nudi mogućnost pristupa EGNOS signalima i preko interneta korišćenjem SISNeT tehnologije.⁶ Tako svaki korisnik preko interneta može pristupiti EGNOS sistemu potpuno nezavisno od signala geostacionarnih satelita [3]. Signali sa geostacionarnih satelita su

⁵ **Evropska svemirska agencija ili Evropska agencija za svemirska istraživanja (ESA)** (engl. *European Space Agency*) osnovana je 1975. godine kao međuvladina organizacija posvećena istraživanju svemira sa trenutno 16 država članica. Sedište ESA je u Parizu, Francuska. ESA ima 1900 zaposlenih (ne računajući podizvođače i nacionalne svemirske agencije).

⁶ SISNeT – Signal In Space over Internet – pristup satelitskim signalima preko interneta.

vidljivi avionima i brodovima, dok je u gradskim sredinama čest problem gubitak korekcijskog signala zbog zaklanjanja malog broja stacionarnih satelita raznim preprekama. Zbog toga je ESA razvila SiSNeT koji korisnicima spojenim na internet omogućuje pristup EGNOS signalu. Pristup korekcijama za sada je besplatan (uz autorizaciju koju je moguće zatražiti na SiSNeT@esa.int uz opis za šta se traži, za koju IP adresu i koji port). Osim autorizacije na SiSNeT server, potreban je i SIS2DS klijent (protokol izgrađen na bazi TCP/IP, a optimizovan za prenos EGNOS poruka). Poruke je potrebno raspakovati, a nakon toga sledi i aplikacija koja će ih koristiti uzimajući od GPS prijemnika samo izmerene pseudoudaljenosti. Gotovo rešenje za sada nije dostupno, a detaljna uputstva za izradu pojedinih komponenata, kao i primeri koda i potrebnih specifikacija, mogu se naći u *User Interface Documentu*. Do sada je provedeno tek nekoliko demonstracija ove tehnologije i to koristeći GSM modem za bežični prenos korekcija, PDA za računanje položaja i običan GPS prijemnik za merenje pseudoudaljenosti.

Prednosti EGNOS sistema su:

- emitovanje signala geostacionarnog satelita pokriva veliku teritoriju;
- kombinacija sistema EGNOS i WAAS može osigurati gotovo globalnu pokrivenost, i
- prate se greške jonosferskog kašnjenja, efemerida satelita i greške u vremenu.

Nedostaci EGNOS sistema su:

- velika i skupa infrastruktura mreže na Zemlji;
- problematična vidljivost geostacionarnih satelita na velikim geografskim širinama i u polarnim krajevima;
- slaba vidljivost satelita u urbanim, planinskim krajevima i šumama, i
- geostacionarni sateliti emituju slične signale kao i navigacioni sateliti, pa su podložni istim smetnjama i otkazima.

Gruba procena tačnosti merenja različitim tehnikama prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2

Gruba procena tačnosti merenja različitim tehnikama [2]

Metoda merenja	Procena tačnosti (m)
Običan prijemnik, SPS	20
WAAS	3
EGNOS	1–2
Beacon DGPS	1–3
LADGPS	1

Budući da su sistemi GPS i GLONASS pod vojnim nadzorom, druga faza evropskog sistema za globalnu navigaciju trebalo bi da osigura nezavisnost od GPS i GLONASS sistema, lansiranjem vlastitih navigacionih satelita. Taj projekt se naziva „Galileo“. Lansiranje prvih satelita sistema Galileo počelo je decembra 2005. godine, a sistem je u 2008. godini počeo da funkcioniše. Galileo treba da osigura Evropi potpunu nezavisnost na polju upravljanja transportom i donese brojne ekonomske koristi evropskim proizvođačima i industriji otvaranjem novih radnih mesta. Takođe, trebalo bi da pruži poboljšane usluge pozicioniranja sa boljom raspoloživošću i dostupnošću sistema. U fazi definisanja određena su dva zahteva za tačnošću sistema, a to su da bude: a) prilagođen masovnoj primeni i b) prilagođen potrebama povećane sigurnosti.

Prednosti sistema Galileo nad ostalim sistemima jesu:

- osmišljen je kao civilni sistem, a ujedno sa svim potrebnim merama zaštite;
- nudi mnoge usluge vezane za poslovni svet sa odgovarajućom pouzdanošću podataka;
- tehnološki je osmišljen kao i GPS, i omogućuje dobijanje jednake, ako ne i veće tačnosti zahvaljujući odabranoj konstelaciji satelita i zemaljskih kontrolnih stanica;
- vrlo je važna činjenica da će se moći videti i na područjima velikih geografskih širina, u urbanim sredinama i zatvorenim prostorima, jer dizajn i konstrukcija signala to omogućuje;
- lokalni element preusmerava signal na manje dostupna područja;
- način na koji Galileo nadopunjuje GPS vrlo je koristan, jer predstavlja Evropu kao ravnopravnog partnera SAD;
- projekat je finansiran iz mnogih privatnih izvora;
- Galileo je kreiran tako da će prijemnik moći da se koristi u svrhu pozicioniranja ili u kombinaciji sa komunikacijskim sredstvima kao što su GSM, GPRS i UMTS;
- predstavlja pravu javnu, odnosno civilnu službu i kao takav garantuje kontinuitet za određene aplikacije, za razliku od GPS signala koji su u poslednjih nekoliko godina povremeno bili nedostupni iz planiranih ili neplaniranih razloga, i
- kao korak dalje, Galileo će posedovati i funkciju pretrage i spasavanja (SAR, Search and Rescue-traganje i spasavanje) koja se zasniva na postojećem sistemu COSPAS-SARSAT (međunarodni satelitski sistem namenjen traganju i spasavanju). Za razliku od COSPAS-SARSAT koji ne obezbeđuje povratnu spregu ka korisniku, Galileo će emitovati poruku ka korisniku kojom će ga obavestiti da je njegova situacija detektovana i da je pomoć na putu.

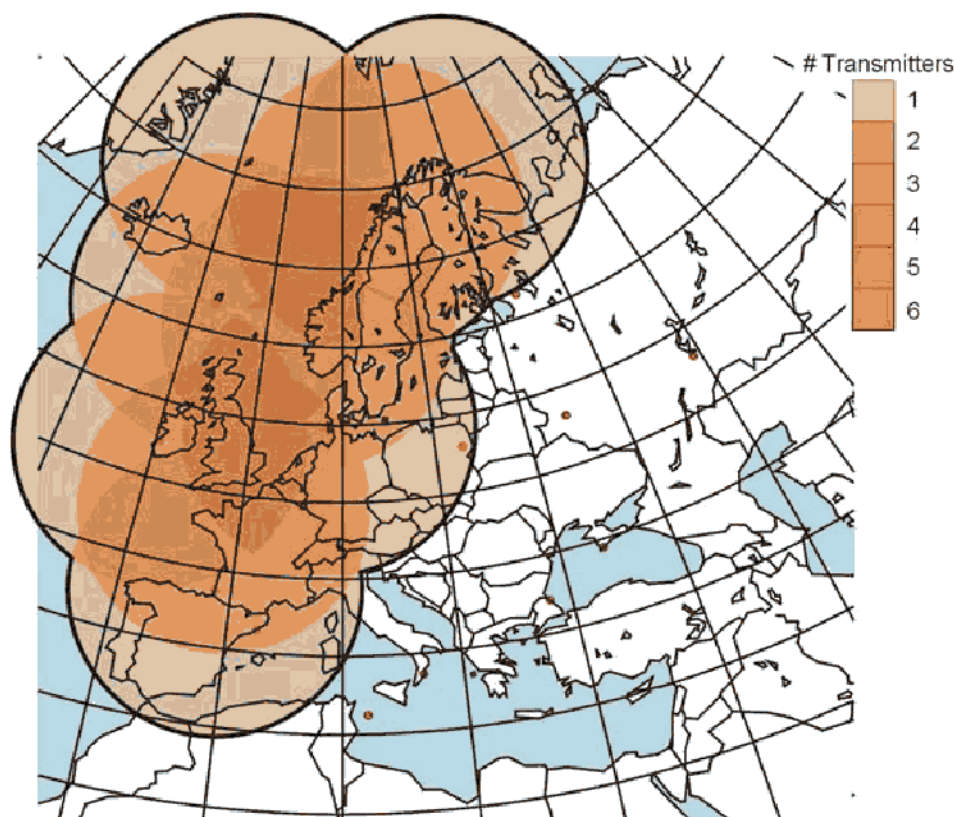
Sistem EUROFIX

Jedna od mogućnosti dopune satelitskih navigacionih sistema je kombinovanje sa zemaljskim navigacionim sistemima, što omogućuje da se korisnicima poboljša pouzdanost i dostupnost usluga pozicioniranja. Sve primene sa strogim sigurnosnim zahtevima mogle bi da se zasnivaju na satelitskom navigacionom sistemu GPS ili GLONASS i hiperbolnom navigacionom sistemu kao zemaljskoj komponenti. Čak i budući evropski projekat satelitskog navigacionog sistema Galileo neće moći da zadovolji sve sigurnosne zahteve, pogotovo u područjima gde je signal sa satelita zaklo-njen preprekama (drveće, zgrade, planine i sl.), pa će morati da se kombi-nuje sa komplementarnim navigacionim sistemima. Sistem Loran-C pred-stavlja najpovoljnije rešenje za kombinovanje sa satelitskim navigacionim sistemima [6]. Karakteristika rasprostiranja signala Loran-C na frekvenciji 100 MHz potpuno je drugačija od satelitskih navigacionih signala, a pouzdanost sistema je vrlo dobra zbog kontrole celovitosti Loran lanaca.

Oba sistema (GPS i Loran-C) mogu se kombinovati zajedno radi po-boljšanja dostupnosti i pouzdanosti, ali takva zajednička integracija neće neminovno voditi do bolje preciznosti pozicioniranja i celovitosti rada na-vigacionih sistema. Osnovna tačnost pozicioniranja Loran-C sistema ne može poboljšati SPS uslugu GPS sistema, ali kako infrastruktura već po-stoji, uz relativno mala ulaganja, postojeći Loran-C lanci mogli bi se prilago-diti za emitovanje diferencijalnih korekcija za DGPS. Kao osnovna do-puna sistema za poboljšanje tačnosti može poslužiti sistem Eurofix, koji kombinuje zemaljski i satelitski navigacioni sistem, tako da emituje dife-rencijalne korekcije za GPS/GLONASS sistem, koristeći se 100 kHz nosi-ocem Loran-C lanaca. Eurofix prijemnik spojen na GPS/GLONASS pri-jemnik dekodira signal diferencijalne korekcije, čime omogućuje poboljša-nu tačnost pozicioniranja [6].

Sistem je počeo sa radom 1997. godine u severnoj Nemačkoj, gde je Loran-C lanac Stylt prilagođen za emitovanje diferencijalnih korekcij-skih signala. Taj se signal emituje u području čiji je radijus od 1000 km oko Stylt odašiljača. Kontrolni Eurofix prijemnik bio je postavljen na Delft University, udaljen oko 400 km od odašiljača, kako bi se nadzirala emisi-ja Loran-C lanca i daljinski kontrolisali Eurofix podaci. Tačnost pozicioni-ranja ovakvog sistema bila je bolja od 3 m za 95% vremena.

Koristeći se postojećom infrastrukturom NELS sistema (Northwest European Loran-C System – zapadnoevropski Loran-C) DGPS uslugom može se sa vrlo velikom tačnošću i pouzdanošću pokriti veliki deo evrop-skog kontinenta. Četiri odašiljača severnoevropskih Loran-C lanaca emituju Eurofix podatke. Osim Eurofix referentne stanice, koja generiše diferencijal-ne korekcijske podatke, sistem se služi i stanicom koja neprestalno prati ce-lovitost rada navigacionog sistema. Ova konfiguracija pokriva područje od North Capa u Norveškoj do Pirinejskog poluostrva na jugu (slika 3).



Slika 3 – Pokrivenost NELS sistemom u Evropi [6]

Krajnji cilj je da Eurofix signal pokrije celu evropsku teritoriju, za šta se mogu iskoristiti postojeći Loran-C odašiljači u Italiji i Turskoj, i celokupna infrastruktura ruskog sistema Čajka, koji je sličan Loran-C sistemu [6]. Time bi se postigla potpuna pokrivenost evropskog kontinenta Eurofix signalom.

Najveće poboljšanje pri integraciji Loran-C sistema i GPS može se postići Eurofix signalom i istovremeno kontinuiranom kalibracijom pozicije Loran-C prijemnika pomoću tačnih DGPS pozicija. Za vreme kada satelitski navigacioni signali nisu dostupni zbog zaklonjenosti satelita ili smetnji, kalibrisani Loran prijemnik može dovoljno precizno utvrđivati poziciju korisnika zbog vrlo dobre ponovljivosti određivanja pozicije Loran-C sistema. To znatno poboljšava kontinuitet rada integrisanog navigacionog sistema [6].

Prednosti Eurofix sistema:

- nije potrebna posebna mreža između Eurofix stanica;
- niski troškovi s obzirom na postojeću infrastrukturu;
- dobro rasprostiranje Loran-C signala i dostupnost u urbanim sredinama, šumama i planinama, i

- integrirani DGPS korekциони podaci i informacija o celovitosti satelitskog navigacionog sistema.

Nedostaci Eurofix sistema:

- nema globalnu pokrivenost, ne pokriva okeane, i
- nema odvojenog merenja grešaka vremena, grešaka efemerida satelita i jonosferskog kašnjenja.

Sistem MSAS

Multifunkcionalni satelitski augmentacioni sistem – MSAS (Multifunctional Transport Satellite Space-Based Augmentation System) jeste SBAS sistem razvijen za područje Japana. Osnovao ga je Ministarstvo zemlje, infrastrukture i transporta Japana i Japanska meteorološka agencija. Sastoji se od multifunkcionalnih satelita MTSAT (Multi-Functional Transport Satellite satelita) koji predstavljaju seriju geostacionarnih satelita za kontrolu vazdušnog transporta i vremena. Upotreba sistema MSAS počela je krajem 2005. godine.

Očekivani razvoj

Ključni značaj sistema Galileo biće mogućnost da ponudi celovitost sistema koja je potrebna za osiguranje kvaliteta usluge i za podršku sigurnosti. Planira se da sistem osigura celovitost za upozoravanje korisnika sa emitovanjem alarma sa satelita kada je satelitski signal izvan specifikacija. Korisnički prijemnik tada može da odbaci signal sa satelita na koji se odnosi alarm i tako smanji uticaj na konačno izračunatu poziciju.

Radi pružanja tačnijih i pouzdanijih informacija korisnicima širom sveta Evropska unija i ESA pridaju veliku važnost komplementarnosti i ujedno interoperabilnoj vezi između dva sistema. Od 2004. godine usluge EGNOS su dostupne. Četiri godine kasnije, uključanjem Galilea u globalni satelitski navigacioni sistem, njegova infrastruktura se udvostručila. Galileo sistem je u potpunosti kompatibilan sa postojećim GPS sistemom. Poboljšanje kvaliteta usluga, povećanje broja potencijalnih korisnika i njihova primena biće ostvareni tako što će biti dostupne dve ili više konstelacija i više nego dvostruki broj satelita na nebu.

Integritet i servisne garancije verovatno su najvažnija poboljšanja koja sistem Galileo može omogućiti, naročito kada su u pitanju strateški aspekti i sigurnost. Postojanje dva satelitska navigaciona sistema jeste prednost za korisnike, jer će moći da koriste isti prijemnik za prijem GPS i Galileo signala.

Dodatan trošak za integrisanje oba sistema u GPS ili Galileo prijemnik je manji od 5% od ukupne cene, što predstavlja neznatan iznos u poređenju sa znatnim tehnološkim i tržišnim prednostima koje ovaj integrisani sistem nudi.

Galileo je osmišljen tako da korisnicima pruži prednosti oba sistema, što znači povećanje dostupnosti signala u urbanim područjima. U tako zahtevnim uslovima kombinacija Galileo i GPS rezultuje dostupnošću signala preko 95%.

Vrlo veliki potencijal za poboljšanje tačnosti i celovitosti navigacionih sistema jeste u hibridnim tehnologijama prijemnika, gde se kombinuju globalni satelitski navigacioni sistemi, Loran-C i Eurofix [6] i [7]. Strategija integrisanih prijemnika ima veliki značaj i važnost radi povećane pouzdanosti u osnovi različitih navigacionih sistema. Ovakva kombinacija primene satelitske i zemaljske navigacije prihvatljivija je od upotrebe dva ili više satelitskih navigacionih sistema koji imaju u osnovi iste nedostatke i ograničenja.

Očekivana šira primena GPS prijemnika, bilo kao samostalnih uređaja ili kao delova složenijih sistema, svakako poboljšava kvalitet života dela stanovništva koje ih koristi.

Takođe, očekuje se dalje širenje primene satelitskih navigacionih sistema u bežičnoj komunikaciji, GIS, višenamenskom digitalnom katastru, sistemima baziranim na internet protokolu, kod LAN i WAN mreža, kod sistema za daljinska istraživanja, u gradiometriji, altimetriji, u kombinaciji sa inercijalnim sistemima CCD kamerama, odometrima, drugim senzorima, itd. [8].

Istovremeno se otvaraju široke mogućnosti dodatnih aktivnosti, dodatnog razvoja i unapređenja sistema, kao i primene u području naprednih tehnologija.

Zaključak

Razvoj i primena satelitskih navigacionih sistema dostigao je toliki stepen da zadire u sve sfere privrede i ekonomije razvijenih zemalja, postajući jedan od najvećih zamajaca njihovog razvoja. Ovi sistemi osiguraće veću sigurnost i efikasnost u svim vrstama transporta, omogućiće povećanje ekonomskog prosperiteta, napredak u industriji i opšte poboljšanje kvaliteta življenja. Raspon mogućih primena satelitskih navigacionih sistema je neizmerno širok.

Satelitska navigacija postaće zanimljiva inovacija u svim sferama života, istraživanja, organizaciji transporta, monitoringu struktura i različitih tipova automatizacije. Sistem će uveliko olakšati organizaciju vazdušnog, pomorskog, putnog i železničkog transporta. Kontrola transporta zahteva visoku tačnost određivanja položaja, pouzdanost i integritet te informacije. Ti zahtevi biće ostvarivi pomoću složenog sistema za pozicioniranje koji će se sastojati od kombinacije globalnog satelitskog navigacionog sistema sa drugim senzorima. Efikasnost, sigurnost, kontinuitet i pristupačnost morskog transporta je od velike važnosti. Sistemi će se koristiti u svim fazama pomorske navigacije: na moru, kopnu, pri pristajanju i manevrisanju brodova u luci u svim vremenskim uslovima. Takođe, predstavljaće temeljno oruđe pri uvođenju inovacija i u druge pomorske aktivnosti, kao što su okeanografija, istraživanja nalazišta nafte i gasa i ribolov.

Vazdušni transport je svakog dana sve gušći, a vazdušni prostor sve manji, što predstavlja poteškoće pri upravljanju vazdušnim transportom. Pomoću sistema piloti i kontrolori leta moći će dovoljno tačno i pouzdano da odrede položaj vazduhoplova, što će omogućiti gušći i sigurniji vazdušni transport i jednostavnost pri sletanju i poletanju.

Globalni satelitski navigacioni sistemi omogućiće praćenje kretanja opasnih materija (radioaktivnog otpada, nafte i dr.) i unaprediće mnoge specijalizovane službe (spasilačke službe).

Iako se zemaljski hiperbolni navigacioni sistemi sa pojavom satelitskih navigacionih sistema sve manje koriste, postoji potreba za dopunom satelitske navigacije zemaljskim navigacionim sistemima. Satelitska navigacija omogućila je veliki broj novih primena, ali su uočena i mnoga ograničenja. Za primene u kojima se traži vrlo velika sigurnost, osnovni satelitski navigacioni sistemi ne mogu zadovoljiti zahteve za tačnost i dostupnost. Problem dostupnosti navigacionih signala pojavljuje se u urbanim sredinama kao rezultat zasenjenosti satelitskih signala raznovrsnim preprekama. Dodatni problem jeste da su satelitski sistemi pod vojnim nadzorom, tako da zbog strateških razloga američka i ruska vojska mogu u bilo kojem trenutku onemogućiti korišćenje sistema.

U vazduhoplovstvu će sofisticirana primena satelitskih navigacionih sistema, zajedno sa inercijalnim sistemima i drugim elektronskim uređajima, omogućiti navigaciju tokom leta, prilaz i sletanje aviona, izbegavanje sudara i rano upozoravanje posade u slučaju skretanja sa kursa.

Izvođenje vojnih operacija velikih sila postalo je nezamislivo bez asistencije satelitskih navigacionih sistema, dovodeći sve ratove na prekretnicu, primenom novih tehnologija. Narodi i države koji nisu bili svesni ovog značaja bili su surovo poraženi i kažnjeni. Prioritet u razvoju i reorganizaciji vojske bio bi pravilna i kvalitetna edukacija profesionalnog sastava vojske u skladu sa novim tehnologijama i opremanjem svih jedinica (rodova) vojske prijemnicima. Takođe, sveobuhvatnom integracijom ovih prijemnika u borbene sisteme na taktičkom nivou omogućilo bi se formiranje visokoprecizne slike bojišta, kao ispomoć komandantima u procesu donošenja odluke.

Literatura

- [1] Timanić, S., Bursać, S., *Satelitska radio-navigacija letelica*, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 2001.
- [2] ERD: <http://www.gps.oma.be>, decembar 2008.
- [3] ERD: <http://www.esa.int>, decembar 2008.
- [4] ERD: <http://www.navcen.uscg.gov/gps>, decembar 2008.
- [5] ERD: <http://www.gps.faa.gov>, decembar 2008.
- [6] ERD: <http://www.loran.org>, decembar 2008.
- [7] Ćurčić, J., Šoškić, S., *Pozicioni satelitski sistemi*, Vojna akademija, radni materijal, Beograd, 2005.
- [8] Sekulović, D., Gigović, Lj., *Geografski informacioni sistemi u komandnim i kontrolnim informacionim sistemima*, SYM-OP-IS 2008, Zbornik radova, Beograd, 2008.

KVALITET U TRANSPORTU ROBE I POŠILJKI

Dr Slavica Cvetković, smijoc@yahoo.com,
Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

Rezime:

Danas je kvalitet dominantan kriterijum pri izboru isporučioaca, a novi koncept kvaliteta smatra se superiornim metodom za reformu menadžmenta. Za razliku od tradicionalnog pristupa, novi koncept kvaliteta obezbeđuje povećanje prodaje uz istovremeno sniženje ukupnih troškova poslovanja. Obezbeđenje kvaliteta u skladu sa međunarodnim standardima serije ISO 9000 predstavlja uslov za nastup na svetskom tržištu i saradnju sa inostranim preduzećima.

Ključne reči: kvalitet, transport, logistika.

QUALITY OF PRODUCTS AND FORWARDED GOODS TRANSPORT

Summary:

When choosing a supplier today, a dominant criterion is quality, and a new concept of quality is said to be a superior method in the management reform. Unlike the traditional approach, the new concept of quality provides sales growth as well as a reduction in overall business expenses. Providing quality in accordance with the international standards series ISO 9000 is a condition to be fulfilled in order to enter the world market and cooperate with international companies.

Key words: quality, transport, logistics.

Uvod

Prema standardu ISO 8402 kvalitet se definiše kao: „Celokupnost karakteristika nekog entiteta, koje se odnose na njegovu sposobnost da zadovolji iskazane potrebe i potrebe koje se podrazumevaju“. Entitet može biti: aktivnost, proces, proizvod, kompanija, sistema, osoba ili bilo koja kombinacija navedenih izraza. U ovom radu govori se o transportu i kvalitetu transporta.

Transportna usluga je rezultat koji je proizišao iz niza aktivnosti prevoznika (operatora), počevši od stvaranja svih uslova za obavljanje transportne delatnosti (nabavka vozila, obezbeđenje finansijskih sredstava, odgovarajućih ljudskih resursa, itd.), preko planiranja transportnog procesa, pripreme vozila i osoblja, pa do izvršenja premeštanja robe ili putnika,

u skladu sa njihovim zahtevima u pogledu obima, količine, rastojanja, kvaliteta: brzine, ritma, komfora, usluge, itd.

U istim standardima kvalitet se definiše kao sveukupna svojstva – karakteristike usluge, koje se odnose na sposobnost davaoca (prevoznika) da zadovolje zahtevane i sve one potrebe korisnika koje se podrazumevaju.

Transportni sistemi, transportna tehnologija i transportna usluga imaju značajne specifičnosti u odnosu na druge proizvodno-tehnološke sisteme i proizvode. Osnovne karakteristike transportne tehnologije i transportne usluge su:

- putnik ili roba ne pripadaju proizvođaču – isporučiocu transportne usluge;

- višeparametarski karakter transportne usluge;

- pored obima i kvaliteta bitni parametri transportne usluge u odnosu na druge proizvode i usluge su prostor i vreme;

- istovremenost proizvodnje i trošenja usluge u prostoru i vremenu.

Transportna usluga se mora pružiti, na mestu gde je i momentu kada je zahtev ispostavljen, u obimu i kvalitetu kako je zahtevano;

- pouzdanost funkcionisanja u pogledu obima i kvaliteta usluge transportnih sistema, kao organizacijsko-tehnoloških sistema, obezbeđuje se rezervisanjem kapaciteta vozila, a ne kao kod drugih proizvodno-tehnoloških sistema rezervisanjem proizvoda – usluga;

- završna kontrola kvaliteta, kao faktor pouzdanosti sistema, pre realizacije usluge nije moguća zbog pomenute osobine jednovremenosti isporuke i „trošenja“ usluge. Kontrola kvaliteta usluge obavlja se, dakle, jednovremeno sa „trošenjem“ usluge.

Uloga i značaj transporta u društvu i okruženju

Transport je delatnost od višestrukog i izuzetnog značaja i uticaja na okruženje. U oblasti društvene proizvodnje transport ima nekoliko značajnih uloga:

- kao podsistem logističke podrške svim proizvodnim procesima direktno utiče na rezultate svih primarnih i sekundarnih proizvodnih procesa. Naime, putem premeštanja objekata stvaraju se uslovi da se osnovni elementi proizvodnje (živi rad – ljudi, predmeti rada i sredstva za rad) nađu „na pravom mestu u pravom trenutku“;

- indirektno, kroz ostvaren kvalitet procesa izraženog kroz zamor ljudi ili oštećenja stvari, utiče na kvalitet i efektivnost tih procesa;

- kao privredna delatnost angažuje velika sredstva uložena u transportna vozila, živi rad, energiju, finansije i dr., i značajno je da ona posluje ekonomično.

Transport, takođe, utiče i na mogućnosti realizacije i drugih potreba ljudi. Svojim performansama i tehnologijom utiče na lokaciju, formu, veli-

činu i kvalitet života u gradovima i vojnim objektima. Takođe, značajni su i uticaji transporta na okolinu.

Jedan od neželjenih koprodukata transporta su povrede i gubici života ljudi, kao i materijalni gubici i štete na transportnim vozilima i okolini usled saobraćajnih nezgoda kojih je sa povećanjem obima transporta svakog dana sve više.

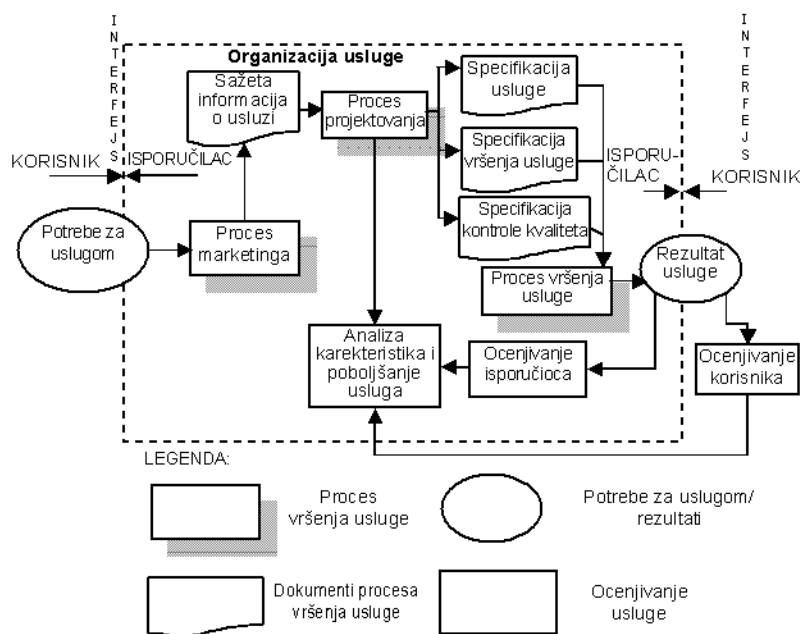
Drugi negativan uticaj transporta na okolinu jeste stvaranje buke, zagađenje izduvnim gasovima i otpadnim materijama, što su neželjeni produkti transportne tehnologije.

Treći značajan uticaj ogleda se u tome da struktura i performanse transportnog sistema (brzina, kapacitet i cena, vidovna raspodela, itd.) bitno određuju racionalno korišćenje površina kao jednog od osnovnih prirodnih resursa, naročito u gradovima.

Transportni sistem takođe utiče na potrošnju energije koja potiče od prirodnih resursa (nafte, uglja, itd.), čije je racionalno trošenje vrlo značajno za svako društvo.

Kvalitet usluga u transportu robe i pošiljki

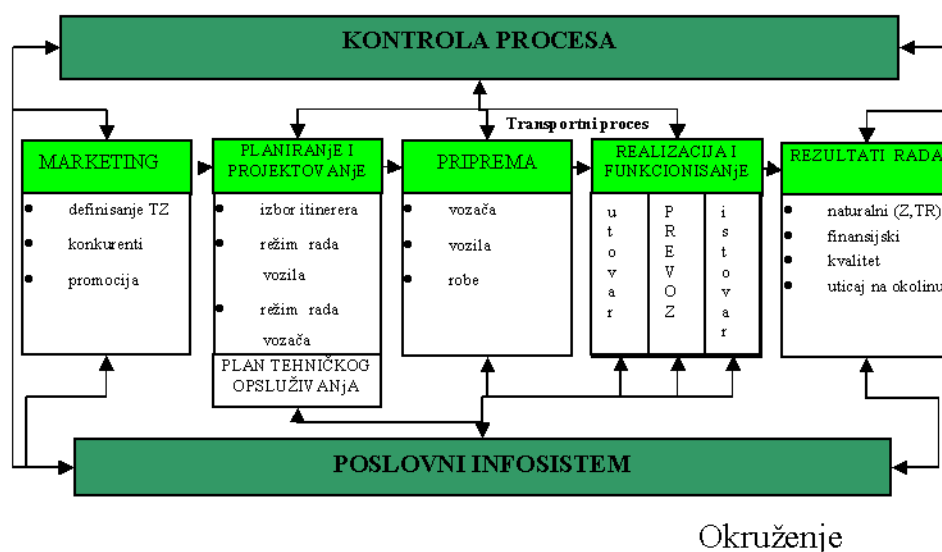
Da bi se obezbedila kvalitetna usluga i njeno stalno unapređenje prema standardima ISO 9001-4 neophodno je realizovati određene procese i dokumente koji ih prate.



Slika 1 – Petlja kvaliteta pružanja usluge

Osnovni procesi i dokumenti koji treba da prate obavljanje svake, pa i transportne usluge prikazani su u blok-dijagramu tzv. *petlje kvaliteta* (sl. 1).

Pod organizacijom transportnog procesa podrazumeva se niz usklađenih operacija, čiji je zadatak obavljanje transportne usluge. Da bi se uspešno organizovalo i upravljalo ovim složenim procesom, neophodno je da se prethodno sagledaju svi potprocesi i operacije u njemu, koje treba da budu usklađene sa petljom kvaliteta. Osnovni potprocesi i operacije u okviru transporta robe, odnosno pošiljki, uzimajući u obzir petlju kvaliteta TU, prikazani su na slici 2.



Slika 2 – Potprocesi i operacije u procesu transporta robe

Potprocesi u transportu robe i pošiljki

Kako se iz blok-dijagrama na slici 2 vidi, osnovni potprocesi u realizaciji transporta robe su: marketing; planiranje i projektovanje transportnog procesa; proces transporta; kontrola kvaliteta koju obavlja prevoznik; prikupljanje; memorisanje i obrada informacija; transportna usluga – obračun rezultata rada i učinka.

Marketing

Marketing obuhvata tri potprocesa:

- istraživanje i definisanje transportnih zahteva,
- istraživanje karakteristika najznačajnijih konkurenata na tržištu usluga,
- promociju i reklame transportnih usluga.

Prva faza u organizaciji svakog transportnog procesa jeste da se utvrde konkretne vrednosti osnovnih svojstva i kvantitativni pokazatelji transportnih zahteva.

Pri definisanju kvantitativnih pokazatelja treba odrediti brojne vrednosti za količine robe – broj pošiljki koje treba transportovati, protoke i obim transportnog rada po vrstama roba, kao i ostale karakteristike toka roba za svaki karakterističan period: po polascima, u toku dana, sedmice, sezone u toku godine, kao i njihovu raspodelu u prostoru (početne i završne tačke otpreme – prijema robe ili pošiljki).

Pri definisanju kvalitativnih pokazatelja transportnih zahteva potrebno je definisati zahteve u pogledu kvaliteta usluge i rangirati ih po značajnosti sa aspekta korisnika. Do definisanja zahteva dolazi se istraživanjem tržišta i, po mogućnosti, stvaranjem dugoročnih odnosa korisnika i prevoznika u kojima će biti precizirani svi elementi usluge u dužem periodu.

Ova aktivnost podrazumeva bliže definisanje performansi glavnih konkurenata, kako u pogledu ponuđenih kapaciteta, kvaliteta usluge, cena i sl. Izlazni rezultati iz ove faze u organizaciji transportnog procesa su transportni zahtevi merodavni za proračun potrebnih kapaciteta (vozila, ljudi, energije itd.) za izvršenje procesa.

Planiranje i projektovanje transportnog procesa

U okviru ovog potprocesa vrši se planiranje i projektovanje usluge:

- izbor optimalnog sistema kretanja vozila – itinerera,
- režim rada vozila i vozača,
- sistem tarifa, i
- plan rada tehničkog opsluživanja.

Organizacija kretanja vozila u toku rada treba da obezbedi najveći učinak – proizvodnost uz najmanji utrošak resursa (vozila, živog rada, energije). Pod itinererom (putanja, obrt, tura) podrazumeva se kretanje vozila u toku jednog ciklusa transportnog procesa od početne tačke puta (Us) do ponovnog povratka u istu tačku puta.

Obrt vozila sastoji se od više vožnji (kretanje vozila između svaka dva utovarno-istovarna mesta u toku jednog obrta vozila), koje mogu biti sa teretom ili bez njega.

Za utvrđivanje ukupnog učinka prevoznika uvek se polazi od učinka u toku svakog obrta vozila koji se sumiraju na nivou grupe vozila, podistema i sl. Zbog toga je važno definisati osnovne pokazatelje rada vozila, počevši od jednog obrta vozila.

Osnovni pokazatelji rada jednog vozila u toku jednog obrta su:

– *dužina itinerera – puta transporta (K)*, koja predstavlja rastojanje koje vozilo pređe u toku jednog ciklusa kretanja. Dužina puta predstavlja zbir dužina pojedinih vožnji sa teretom (K_{ts}) ili bez tereta (K_{ps}), odnosno:

$$K = \sum_s K_{t,s} + \sum_s K_{p,s} \quad (1)$$

– *vreme obrta* (T), koje predstavlja vreme trajanja ciklusa u okviru kojeg se obave sve operacije u toku jednog itinerera: kretanje vozila između krajnjih tačaka itinerera, i utovarno-istovarni procesi. Vreme obrta predstavlja zbir vremena provedenih vožnji (t_w) i na utovaru-istovaru (t_{ui}), odnosno:

$$T = \sum t_{ui} + \sum t_w \quad (2)$$

– *broj obrta u toku rada* (n_o), koji predstavlja broj ponovljenih ciklusa u toku rada vozila i dobija se iz odnosa vremena vozila na radu i vremena obrta:

$$n_o = \frac{H_r}{T}, \quad (3)$$

– *broj vozila na radu* (N),

– *nosivost – kapacitet jednog vozila* (C_v),

– *količina transportovane robe, odnosno broja pošiljki u toku jednog obrta vozila* (P).

Količina transportovane robe u toku jednog obrta vozila predstavlja zbir količina roba transportovanih u pojedinim vožnjama (U_s), odnosno:

$$P = \sum U_s. \quad (4)$$

S druge strane, količina robe, odnosno pošiljki koje može da preveze jedno vozilo u toku vožnje jednaka je proizvodu između nosivosti vozila (C_v) i iskorišćenja te nosivosti (γ_s):

$$Z_s = C_v \cdot \gamma_s, \quad (5)$$

pa je količina transportovanih pošiljki u toku jednog obrta:

$$P = C_v \cdot \sum \gamma_s \text{ (tona)}. \quad (6)$$

Iz prethodnih jednakosti se vidi da iskorišćenje korisne nosivosti vozila predstavlja odnos između nosivosti vozila i prevezene količine robe, odnosno:

$$\gamma_s = \frac{Z_s}{C_v} \quad (0 < \gamma_s < 1). \quad (7)$$

Obavljeni transportni rad (NTR) predstavlja proizvod između transportovane količine robe, odnosno pošiljki i rastojanja prevoza i može se izračunati:

– *za jednu vožnju* (NTR_s):

$$NTR_s = Z_s \cdot l_s \text{ (t·km)}, \quad (8)$$

– *za jedan obrt* (NTR) kao zbir izvršenog transportnog rada u pojedinim vožnjama:

$$NTR = \sum NTR_s = \sum Z_s \cdot l_s \text{ (t·km)}. \quad (9)$$

Ponuđeni transportni rad (BTR) predstavlja proizvod između ponuđenog kapaciteta vozila (C_v) i dužine transporta i može se izračunati:

– za jednu vožnju:

$$BTR_s = C_{v_s} \cdot l_s \text{ (t·km)} \quad (10)$$

za jedan obrt vozila:

$$BTR = \sum BTR_s = \sum C_{v_s} \cdot l_s \text{ (t·km)} \quad (11)$$

Zaključak

Za izvršenu transportnu uslugu korisnici plaćaju određenu nadoknadu, čija je visina unapred definisana tarifnim sistemom ili međusobnim dogovorom isporučioaca i korisnika usluge koji se utvrđuje ugovorom.

U transportu se cena usluge određuje se prema izvršenom učinku i zavisi, najčešće, od dužine (distance) transporta. Tarifni sistem predstavlja uređen sistem po kojem se određuje visina naknade za izvršene transportne usluge.

Za korisnika tarifni sistem predstavlja spisak cena za pojedine vrste usluga, a za prevoznika to je složen sistem koji obuhvata: izbor tipa tarifnog sistema koji će biti primenjen, određivanje tzv. osnovne cene (tarifnog modula), izbor tarifnih koraka, vrste i visine popusta za određene kategorije korisnika, itd.

U toku eksploatacije dolazi do promene tehničkog stanja vozila. Osnovni procesi koji utiču na promenu tehničkog stanja podsklopova, sklopova i vozila su: trenje, korozija, zamor i starenje materijala od kojih je vozilo sačinjeno. Intenzitet ovih procesa zavisi od kvaliteta vozila (ugrađena svojstva vozila), uslova eksploatacije (opterećenja, usponi, vlaga, itd.) i intenziteta eksploatacije (časovi vozila u radu).

Literatura

- [1] Internet: *Computerised Vehicle Routing and Scheduling (CVRS) for Efficient Logistics* Freight Best Practice, DfT (Department for Transport), 2005, UK,
- [2] Marinković, Z., *Skladišna tehnika – autorizivana predavanja*, MF Niš, 2003.
- [3] Filipović, S., *Osnovi tehnologije transporta*, Saobraćajni fakultet Beograd, 2005.
- [4] Jovanović, A., *Operaciona istraživanja*, Rudarsko-metalurški fakultet Bor, 2005.
- [5] Špagnut, D., *Tehnološke osobine transportne robe u prevozu*, Saobraćajni fakultet Beograd, 1989.
- [6] Cvetković, S., Barac, N., Milovanović, G., *Poslovna logistika (zbirka rešenih zadataka)*, Niš 2004.

XV KONFERENCIJA YU INFO 2009

Potpukovnik mr *Nebojša Gaćeša*, dipl. inž.,
 nebojsa.gacesa@mod.gov.rs,
 Uprava za školstvo, Sektor za ljudske resurse MO

Na Kopaoniku je od 8. do 11. marta 2009. godine održana XV jubilara međunarodna konferencija iz oblasti informacionih i komunikacionih tehnologija (ICT) – YU INFO 2009.

Konferencija je održana pod okriljem Informacionog društva Srbije – udruženja za informacione sisteme i računarske mreže. To je neprofitna i nevladina organizacija koju čine stručnjaci iz računarskih i telekomunikacionih oblasti, kao i predstavnici vodećih domaćih IT kompanija. Bavi se popularizacijom savremenih tehnologija, širenjem informacija iz ove oblasti, organizovanjem simpozijuma, konferencija i različitih načina obuke, kao i učešćem na projektima koji se bave IT problematikom. Članovi društva su IT eksperti iz poslovnih, akademskih i naučnih krugova, kao i stručnjaci iz sektora državne uprave. Glavne aktivnosti ovog udruženja su, pre svega, povezane sa organizovanjem konferencija i seminara, od kojih je najznačajnija YU INFO konferencija.

Ovogodišnja Konferencija YU INFO okupila je preko 400 ICT profesionalaca, istraživača i menadžera iz zemlje i regiona, koji su imali priliku da se upoznaju sa najnovijim trendovima, projektima i rešenjima u oblastima ICT i da se povežu u međunarodnu mrežu ICT eksperata.

Ova konferencija već godinama omogućuje svojim učesnicima da, kroz raznovrsne programske forme, čuju iskustva najboljih i prošire svoju mrežu poslovnih kontakata.

Ove godine, pored Konferencije i kompanijskih prezentacija rešenja, na programu su bile i dve panel diskusije: panel diskusija ICT lidera iz Srbije i panel diskusija o mogućnostima i izazovima učestvovanja na EU projektima.

Programski i organizacioni odbor XV konferencije YU INFO 2009 sačinjavalo je 30 profesora sa Elektrotehničkog fakulteta Beograd, Fakulteta organizacionih nauka Beograd, Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad, Prirodnomatemičkog fakulteta Novi Sad, Elektronskog fakulteta Niš, Tehničkog fakulteta Zrenjanin, Florida Atlantic University-a iz SAD, Megatrend Univerziteta Beograd, FIT Beograd, SF Beograd, Ekonomskog fakulteta Skoplje, Faculty of Electrical Engineering Ljubljana, kao i predstavnici Informacionog društva Srbije.

Sesije i panel diskusije XV konferencije YU INFO 2009 obuhvatale su sledeće programske oblasti:

- e-Society (e-Learning, e-Government, e-Business, e-Health, Internet ...),
- Informacioni sistemi,
- Razvoj softvera i alati,

- Veštačka inteligencija i računarska simulacija (ekspertni sistemi, sistemi za podršku odlučivanju ...),
- Računarske mreže i telekomunikacije,
- Računarski hardver i sistemi,
- Primenjena informatika (proizvodnja, mašinstvo, elektrotehnika, građevinarstvo, poljoprivreda ...),
- Zaštita podataka i pravni aspekti.

U radnom delu konferencije, u okviru 12 sesija i četiri postera, izložena su 174 rada (u okviru sesija 87 radova – na konferenciji oko 75% radova i 96 radova na panelima, uz prisustvo oko 60% autora ili koautora). Radovi su izazvali značajno interesovanje, a prisustvo velikog broja mladih autora pokazuje da ova konferencija ima dobru perspektivu.

Bogat radni i društveni program doprineo je celokupnom utisku proslave jubileja, a učesnicima su bile na raspolaganju brojne teme i programske forme (prezentacije autorskih radova, kompanijski nastupi, panel diskusije i prateći program).

Predavanja po pozivu u okviru sesije otvaranja konferencije, odnosila su se i na stručnu javnost i na menadžment kompanija. Tako je Dejan Cvetković iz Microsofta održao prezentaciju o „Timovima i liderima: kako zajedno do cilja“, uporedivši liderstvo sa tipičnim poimanjem menadžmenta.

Prof. dr Sašo Tomažič sa Univerziteta u Ljubljani je govorio o „Kvalitetu života u informacionom društvu“, analizirajući odgovor na pitanje ima li kvaliteta života (posle) IT?

Dr Srđan Krčo iz Ericssona-Irska održao je predavanje na temu „Integration of the Physical and Digital World in the Network of the Future - SENSEI point of view“, o Sensei projektu i senzorskim mrežama kao budućnosti umrežavanja.

Prvog radnog dana predavanje po pozivu održao je i prof. dr Nikola Šerbedžija, sa instituta Fraunhofer FIRST na temu „Mixed Feelings Systems“.

Kako jednom jubileju i priliči, dodeljene su nagrade za izuzetan doprinos radu Konferencije YU INFO tokom proteklih 15 godina, sledećim istaknutim učesnicima i organizatorima:

- prof. dr Branimiru Đorđeviću, Univerzitet u Nišu,
- prof. dr Jelici Protić, prodekanu Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, hroničaru konferencije,
- prof. dr Zori Konjović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu,
- Igoru Pavlici, Saga d. o.o. Beograd,
- mr Dušanu Korunoviću, Deux ex Machina.

Na konferenciji je učestvovalo 14 kompanija čije su prezentacije i nagradne igre privukle pažnju brojnih učesnika, među ostalim Comtrade, IBM, King ICT, ENEL PS, Saga d. o.o, Telekom Srbija...

Pregled radova pripadnika Vojske Srbije i Ministarstva odbrane Republike Srbije po sesijama

Sesija S 1.1

Programska oblast E-SOCIETY (E-Learning)

Goran Šimić, Vojna akademija Beograd,
Aleksandar Jevremović, Univerzitet Singidunum Beograd
CASE STUDIES IN PROBLEM BASED LEARNING

U radu su predstavljene dve aplikacije učenja rešavanjem problema (PBL – problem based learning): PBL u Java programiranju i PBL u računarskim mrežama. PBL predstavlja pedagošku strategiju usmerenu na studente u kojoj oni uče kroz iskustva stečena u rešavanju konkretnih problema i zadataka. Različiti domeni korišćenja ovih sistema (npr. matematika, medicina, umrežavanje računara, programiranje) zahtevaju različite pristupe u njihovom dizajnu. Zbog toga su predstavljene dve studije slučaja korišćenja. Obe aplikacije razvijene su kao dodatni moduli za postojeći sistem za upravljanje učenjem (LMS – learning management system). Na taj način dobija se dvostruka korist: proširuje se osnova funkcionalnosti LMS i resursi učenja koji postoje u LMS, a mogu da budu korišćeni u PBL modulima.

Ivan Tot, Vojna akademija Beograd

INFORMACIONA PODRŠKA POSLOVIMA SMEROVA NA VOJNOJ AKADEMIJI

U ovom projektu predstavljen je primer automatizacije procesa koji se odnose na funkcionisanje smera na Odseku logistike u Vojnoj akademiji. To u organizacionom smislu podrazumeva analizu ispitnih rokova i vođenje evidencije o ispitima studenata, praćenju brojnog stanja studenata, vođenju rednih listi, itd.

Sesija S 4.1

Programska oblast VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Boban Bondžulić, Vojna akademija Beograd,
Dimitrije Bujaković, Vojna akademija Beograd,
Vladimir Petrović, Imaging Science – University of Manchester
SJEDINJAVANJE MULTIFOKUSIRANIH SLIKA

U ovom radu opisane su neke od tehnika sjedinjavanja multifokusiranih slika kod kojih se sjedinjena slika dobija preuzimanjem blokova izvornih slika koji u sebi nose više informacija. Rezultati sjedinjavanja opisanih tehnika upoređeni su sa rezultatima sjedinjavanja pikselnih tehnika.

Za procenu rezultata sjedinjavanja korišćene su objektivne mere procene. Naime, scena koju je potrebno snimiti obično sadrži objekte na različitim udaljenostima od kamere. Oština slike ovakve scene zavisi od različitih faktora. Objekti koji se nalaze u fokusu su jasniji, dok jasnoća objekata koji se nalaze ispred i iza fokusirane distance postepeno opada. Sjedinjavanjem slika sa različitim podešavanjima fokusa može se dobiti slika kod koje su svi objekti u fokusu.

Sesija S 4.2

Programska oblast VEŠTAČKA INTELIGENCIJA (Računarska simulacija...)

Dimitrije Bujaković, Vojna akademija Beograd,
Boban Bondžulić, Vojna akademija Beograd,
Mladen Antić, Vojna akademija Beograd

JEDAN PRISTUP ANALIZI UTICAJA KOLOR KOORDINATA NA MOGUĆNOSTI PRAĆENJA OBJEKATA

U radu je opisan jedan od metoda za detekciju i praćenje objekata na slici scene. Korišćena je pseudorealna sekvenca kolor slika. Izvršena je analiza uticaja primenjenih kolor koordinata na mogućnosti detekcije i praćenja objekata u realnoj sekvenci. Mera kvaliteta detekcije je greška detekcije u svakom frejmu sekvence. Pokazano je da kvalitet detekcije zavisi od primenjene kolor koordinate i da je korišćenjem pojedinih kolor koordinata nemoguće izvršiti detekciju i praćenje objekta u realnoj sekvenci

Sesija S 5.2

Programska oblast RAČUNARSKE MREŽE I TELEKOMUNIKACIJE

Milenko Andrić, Vojna akademija Beograd,
Stojadin Manojlović, Vojna akademija Beograd

ANALIZA RADARSKIH SIGNALA POMOĆU SPEKTRALNE ENTROPIJE

Ovaj rad predstavlja razmatranje spektralne entropije, korišćene za detekciju zvučne aktivnosti, u kontekstu detekcije radarskog signala. Sprovedena je analiza audio Doplerovog signala na bazi rezultata dobijenih pomoću spektralne entropije. Maksimalna Doplova frekvencija signala je 2 KHz. Entropija ima važnu osobinu da je nezavisna od apsolutnog skaliranja kako po amplitudi tako i po frekvenciji signala. Prisustvo radarskog cilja koji se kreće u procesu radarskog osmatranja uzrokuje zvučne komponente u audio Doplerovom signalu koje operator može da čuje. Povećavanje subjektivnog osećaja o čistoći audio Doplerovog signala uzrokuje smanjivanje vrednosti spektralne entropije. Zato se spektralna entropija može koristiti kao važno obeležje u procesu detekcije radarskog signala.

Poster sesija P1

Programska oblast E-SOCIETY (E-Learning, E-Government, E-Business, E-Health, Internet...)

Željko Mihić, Vojna akademija - Odsek logistike, Beograd,
Đuro Alfrević, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd,
Uroš Racković, Generalštab Vojske Srbije, Beograd

TESTIRANJE STUDENATA NA VOJNOJ AKADEMIJI PRIMENOM SOFTVERSKOG PAKETA I WEB APLIKACIJE

Ovaj projekat predstavlja praktičnu realizaciju jednog informacionog sistema koji će omogućiti automatizaciju procesa testiranja studenata upotrebom računara i lokalne računarske mreže primenom Web aplikacije.

Zoran Gavranović, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd,
Nikola Simić, Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Beograd

E-REGRUTOVANJE U PROCESU PRIBAVLJANJA LJUDSKIH RESURSA

Uspešno regrutovanje u procesu pribavljanja ljudskih resursa počiva na sposobnosti da se lociraju adekvatni kandidati i pozicije za talentovane pojedince u organizaciji i van nje. E-regrutovanje nudi nove mogućnosti podrške za menadžment ljudskih resursa i čini organizaciju konkurentnijom na tržištu rada.

Poster sesija P2

Programske oblasti INFORMACIONI SISTEMI • RAZVOJ SOFTVERA I ALATI

Branko Jovanović, Vojna akademija Beograd,
Marko Papović, Vojna akademija Beograd

INFORMACIONI SISTEM KATEDRE ZA FIZIČKU KULTURU VOJNE AKADEMIJE

Ovaj rad predstavlja predlog da se posao Katedre za fizičku kulturu Vojne akademije, koji se odnosi na praćenje rada studenata ocenjivanjem fizičke sposobnosti, obavi efikasnije i lakše.

Marko Ristić, Vojna akademija Beograd,
Marko Dragonjić, Vojna akademija Beograd

INFORMACIONI SISTEM STOMATOLOŠKE ORDINACIJE NA VOJNOJ AKADEMIJI

Na Vojnoj Akademiji nalazi se ambulanta sa stomatološkom ordinacijom. Kao i u ostalim ustanovama koje se bave stomatologijom, neophodno je da se vodi detaljna i sveobuhvatna evidencija o pacijentima – vojnim licima, kao i svakom tretmanu koji je ikada rađen za svako vojno lice u garnizonu. Vođenje evidencije takvog tipa na sadašnji način je za-

starelo i zahtevno. Zato je potreban savremeni informacioni sistem koji bi ubrzao proces evidentiranja, olakšao čuvanje podataka o pacijentima, kao i prebacivanje kartona pacijenata u ordinacije u drugim garnizonima. Ovaj rad nudi takvo rešenje.

Marko Papović, Vojna akademija Beograd,
Branko Jovanović, Vojna akademija Beograd

INFORMACIONI SISTEM ZA EVIDENCIJU KVAROVA MATERIJALNO TEHNIČKIH SREDSTAVA VOJSKE SRBIJE

Na Vojnoj akademiji evidenciju i prijavljivanje kvarova materijalno-tehničkih sredstava obavlja referent čete ručno, što je prilično neefikasan način s obzirom na brzinu unošenja i preglednost evidencije. Ovaj rad je pokušaj da se taj postupak automatizuje i da se poboljša kontrola upotrebe materijalno-tehničkih sredstava.

Komlen Lalović, Vojna akademija Beograd,
Slađan Milošević, Elektrotehnički fakultet Beograd

INFORMACIONI SISTEM AEROFOTO SNIMANJA ZA POTREBE VOJSKE SRBIJE

Ovaj rad opisuje informacioni sistem koji se bavi tematikom aerofoto snimanja zemljanih površina, objašnjava njegovu zamisao, namenu i sam način funkcionisanja.

Nenad Tomić, Vojna akademija Beograd,

INFORMACIONI SISTEM ZA IZRADU PLANA POLAGANJA ISPITA NA VOJNOJ AKADEMIJI

Na Vojnoj akademiji izrada plana polaganja ispita do sada se obavljala ručno, pri čemu je često dolazilo do grešaka pri unosu, što je otežavalo rad profesorima, studentima i referentima koji su zaduženi za planiranje i organizaciju izrade plana polaganja ispita. Radi bolje funkcionalnosti plana polaganja ispita javlja se potreba za informacionim sistemom koji će omogućiti olakšano unošenje podataka o ispitnom roku (naziv ispitnog roka, školska godina) i ispitnim obavezama (predmet, nastavna grupa, profesor, prostorija, itd). Ovaj rad nudi takvo rešenje.

Marko Dragonjić, Vojna akademija Beograd,
Marko Ristić, Vojna akademija Beograd

ANALIZA ISPITNIH ROKOVA NA NIVOU ČETE 1. STUDENTSKOG PUKA VOJNE AKADEMIJE

Vojna akademija (VA) u Beogradu predstavlja visokoškolsku ustanovu u sistemu obrazovanja Ministarstva odbrane i kao takva na njoj se školuje veći broj, kako budućih oficira, tako i deo trenutnog profesionalnog sastava Vojске Srbije. Kod studenata koji se školuju za poziv oficira, ovaj veliki broj polaznika je utoliko kompleksniji, jer se ogleda u spektru različitih smerova i specijalnosti koje postoje u 1. studentskom puku VA. Zbog različitih nastavnih

grupa i velikog broja različitih nastavnih planova i programa, sve analize ispitnih rokova su otežane. Ovaj program pokušava da olakša posao komandirima četa tako što će izvršiti automatizaciju samog procesa obrade podataka.

Poster sesija P3

Programske oblasti

VEŠTAČKA INTELIGENCIJA (Veštačka inteligencija, Računarska simulacija, Sistemi za podršku odlučivanju, Ekspertni sistemi)

RAČUNARSKE MREŽE I TELEKOMUNIKACIJE – KOMPONENTE, SISTEMI I INŽENJERING

Komlen Lalović, Vojska Srbije,

Ivan Jovanović, Vojska Srbije,

Iva Gruić, Elektrotehnički fakultet, Beograd

UVOD U PRETRAGU PODATAKA POSLOVNIH PROCESA

U ovom radu analizirana je „pretraga podataka“ u smislu „pametne pretrage“, pojam „pretraga“, način upotrebe „pogleda na ono što treba da uradimo“ radi dobijanja „poslovne inteligencije“. Takođe, prikazano je sedam algoritama pretrage koji se nalaze u MS SQL Server 2005 i pokazano za šta je svaki od njih optimalan.

Boban Pavlović, Vojna akademija Beograd,

Milojko Jevtović, Jugoslovenska inženjerska akademija u Beogradu

ANALIZA KARAKTERISTIKA SIGNALIZACIONIH PROTOKOLA PAKETSKIH MREŽA

U radu su prikazane osnovne karakteristike, prednosti i nedostaci signalizacionih protokola paketskih mreža. Takođe, ukazano je na mogućnosti njihovog međusobnog povezivanja radi obezbeđenja prenosa preko heterogenih mreža.

Vladimir Petošević, Vojna Akademija Beograd

VRSTE VIDEOKONFERENCIJE I KONTROLA TOKA

Kontrola toka videokonferencije nameće podelu na nekoliko glavnih vrsta koje u osnovi određuju način konekcije, rada i razmene sadržaja:

– point-to-point i multipoint videokonferencija podrazumeva povezanost dve ili više konferencijskih tačaka u simultanu interakciju. Pored obaveznog CODEC uređaja u slučaju multipoint veze neophodna je i MCU (Multipoint Control Unit) jedinica;

– glasovno uključivanje u konferenciju se podrazumeva za multipoint konferenciju i podrazumeva da zvučni signal obezbeđuje prisustnost u komunikaciji. Kontrola predsedavajućeg mu daje mogućnost odabira prihvatanja i prikaza slike, dok svi saitoi prihvataju sav zvuk;

– kontinualno prisustvo podrazumeva konstantnu uključenost svih sajtova zvukom i slikom.

Poster sesija P4

Programska oblast PRIMENJENA INFORMATIKA (proizvodnja, mašinstvo, elektrotehnika, građevinarstvo, poljoprivreda)

Ivan Vulić, Generalštab Vojske Srbije

PRIMENA INTELIGENTNIH MOBILNIH KLIJENATA U INTERVENTNIM GEOGRAFSKIM INFORMACIONIM SISTEMA

Interventni geografski sistemi predstavljaju specijalizaciju klase mobilnih geografskih sistema koja podržava potrebe donosioca odluka u interventnim situacijama. Interventne situacije zahtevaju pristup prostomim podacima u realnom vremenu. U radu je prikazana mogućnost primene inteligentnih mobilnih klijenata radi zadovoljenja potreba korisnika interventnih geografskih sistema za vremensko-prostomim podacima u realnom vremenu u ograničenom komunikacionom okruženju.

Aleksandar Stanojević, Vojna akademija Beograd

OBJEKTNOORIJENTISANI RAZVOJ SISTEMA ZA VOĐENJE EVIDENCIJE USPEHA UČENIKA VOJNE GIMNAZIJE

Vođenje evidencije o uspehu učenika Vojne gimnazije zahteva mnogo truda i vremena. Postoje pokušaji da se taj proces pojednostavi i automatizuje, što se, međutim, nije pokazalo dovoljno efikasnim. Ovaj projekat treba da omogući korisniku u mrežnom okruženju što efikasniji pristup informacijama.

Stojadin Manojlović, Vojna akademija Beograd,

Stevica Graovac, Elektrotehnički fakultet Beograd,

Milenko Andrić, Vojna akademija Beograd

PRIMENA ADAPTIVNOG UPRAVLJANJA U SINTEZI AUTOPILOTA KOD RAKETA MALOG DOMETA

U radu je analizirana primena dva tipa adaptivnog upravljanja u sintezi autopilota: autopilot sa gain-scheduling adaptacijom parametara i autopilot sa samopodešavanjem. Kao objekat upravljanja posmatrana je hipotetička samovođena raketa malog dometa. U programskom paketu SIMULINK formirani su simulacioni modeli kretanja rakete u scenarijima gađanja nemanevrišućeg i manevrišućeg cilja u dolasku i odlasku.

Davorin Mikluc, Vojna akademija Beograd,

Željko Đurović, Elektrotehnički fakultet Beograd

KOMPARATIVNA ANALIZA ALGORITAMA ZA PRIDRUŽIVANJE PODATAKA U SISTEMIMA ZA PRAĆENJE VIŠE POKRETNIH CILJEVA

U ovom radu je predstavljena komparativna analiza 9 algoritama za pridruživanje podataka. Usvojeni kriterijum za poređenje algoritama za pridruživanje podataka je odnos broja potvrđenih i broja formiranih tragova u sistemu za praćenje više pokretnih ciljeva. Algoritmi su primenjeni na scenariju sa tri pokretna cilja, koja vrše jedan manevr.

Na XV konferenciji YU INFO 2009, kao uostalom i prethodnih godina, ističe se učešće pripadnika Vojske Srbije i Ministarstva odbrane Republike Srbije. Takođe, zapaženo je i značajno prisustvo radova mlađih učesnika – studenata Vojne akademije.

Dopunski izvori

[1] Zvanična internet prezentacija Informacionog društva Srbije, www.e-drustvo.org, 27. 4. 2009.

ŠKOLSKI AVION LASTA 95



Domaći školski avion *lasta 95* zvanično je predstavljen 9. aprila 2009. godine, u Tehničkom opitnom centru (TOC) na batajničkom aerodromu. Ovo je letelica na kojoj će se ubuduće obučavati piloti Vojske Srbije i koja će u osnovnoj obuci zameniti avion Utva-75, a u delu osnovne obuke i avion supergaleb G-4.

Lasta je proizvod dugogodišnjeg rada Vojnotehničkog instituta (VTI), naše naučnoistraživačke ustanove zadužene za razvoj i istraživanje sredstava naoružanja i vojne opreme, koja je 2008. godine proslavila 60 godina uspešnog rada. Radni tim zadužen za razvoj aviona je poslednjih godina naporno i savesno radio na ovom projektu, uprkos mnogim teškoćama i preprekama na koje je nailazio. Avion je izrađen u pančevačkoj fabrici Utva, a za njegovu svetsku promociju i proboj na svetsko tržište zadužen je Jugoimport SDPR. Vojska Iraka već je naručila 20 ovih letelica, uz zahtev da budu osposobljeni i za borbenu obuku i dejstva.

Time je završena prva faza projekta. Trenutno se radi na verifikaciji rezultata i dodatnom ispitivanju, koje zajednički sprovode VTI i TOC. Kada rezultati zadovolje, sledi zvanična procedura za usvajanje *Laste* i u naoružanje Vojske Srbije, a nakon toga serijska proizvodnja.

U VTI ističu da je više od 100 inženjera i tehničara, koji su neposredno uključeni u razvoj i ispitivanje *laste*, postiglo veliki uspeh uz veliki samopregor i nebrojeni prekovremeni rad. Projekat „*Lasta*“ prati i usmerava lično direktor VTI pukovnik dr Mladen Pantić, dipl. inž., a glavni koordinatori u razvoju aviona su zamenik direktora VTI pukovnik dr Dušan Rajić, dipl. inž., načelnik Sektora za vazduhoplove VTI Vojislav Dević, dipl. inž. i načelnik Sektora za vazduhoplovne sisteme mr Dušan Minić, dipl. inž. U realizaciji projekta neposrednu podršku daje Uprava za odbrambene tehnologije Sektora za materijalne resurse Ministarstva odbrane Republike Srbije, na čelu sa brigadnim generalom dr Dankom Jovanovićem, dipl. inž. Ovaj projekat u kontinuitetu prati i daje svaku vrstu podrške pomoćnik ministra odbrane za materijalne resurse Ilija Pilipović, dipl. inž., koji se posebno pobrinuo da se zanovi

informatička oprema VTI, kako bi efikasnost bila što veća. Značajan doprinos projektu daju i Uprava za planiranje i razvoj Generalštaba Vojske Srbije (J-5), na čelu sa general-majorom dr Božidarom Forcom, komanda V i PVO, na čelu sa general-potpukovnikom Draganom Katanićem i fabrika Utva sa generalnim direktorom Tomislavom Bjelogrićem, dipl. inž. na čelu.

Lasta-95 je jednomotorni niskokrilac metalne konstrukcije, sa dva sedišta za pilote postavljena jedno iza drugog. Uvlačeći stalni trap omogućava poletanje i sletanje sa betonskih i uređenih travnatih poletno-sletnih staza. Letelica je projektovana po postojećim svetskim standardima i opremljena savremenom elektronikom koja omogućava i GPS i radio-navigaciju. Avion je dug 7,97 m i visok 3,16 m, razmah krila mu je 9,71 m, a površina krila 12,9 m². Pokreće ga šestocilindrični motor „Lycoming AEIO-540-L1B5D“. Opremljen je pozicionim svetlima, reflektorom za sletanje, svetlom za taksiranje i protiv sudara. U budućnosti može biti opremljen sa dva spoljna potkrilna nosača naoružanja nosivosti od po 120 kg, koji mogu da nose kontejnere sa mitraljezima, višecevnim lanserom nevođenih raketnih zrna kalibra 57 mm ili dve aviobombe mase po 100 kg. Minimalna brzina leta iznosi 105 km/h, a maksimalna 340 km/h, dolet iznosi 1.060 km, taktički radijus opterećenog aviona je 400 km, dok je plafon leta 5.200 m. Maksimalna brzina penjanja je 8,5 m/s, a masa praznog aviona je 850 kg.

Lasta-95 ima male brzine sletanja i poletanja i „dobroćudno“ se ponaša – prašta greške neiskusnom pilotu. Zato je idealna pri selekciji kandidata u Vojnoj akademiji i omogućava jednostavan prelaz na viši nivo obuke. Svojim karakteristikama i osavremenjenom opremom u potpunosti obezbeđuje obuku pilota u svim namenama: u osnovnom, figurativnom, navigacijskom i instrumentalnom letenju, osnovnim elementima noćnog letenja, instrumentalnom sletanju prve kategorije. Na njoj se mogu naučiti i osnovni elementi gađanja, raketiranja i bombardovanja. U Vojski Srbije avion će biti korišćen za letačku obuku, dok će borbena obuka i dalje biti sprovedena na avionu *supergaleb G-4*.

Promotivni let na batajničkom aerodromu izveo je pilot Vojske Srbije potpukovnik Salko Hadžić, koji je sa majorom Sašom Grubačom obavio ukupno 21 let u sklopu ranijih fabričkih ispitivanja. Tokom polučasovnog leta predstavnicima medija prikazane su neke od mogućnosti ove letelice – niski let, zaokret, „brisanje“...

Prema rečima ministra odbrane Dragana Šutanovca, koji je prisustvovao promociji, „školske avione u Evropi pravi svega četiri-pet proizvođača, a u svetu ne više od deset. *Lasta-95* biće naš izvozni potencijal i ponosni smo što njome pomažemo smanjenju spoljnotrgovinskog deficita. Osim što je ovaj avion naš izvozni adut, omogućiće i velike uštede. Sat naleta na avionu *supergaleb* košta oko 2.000, dok *Lasta* troši nešto manje od 300 evra“.

Prvi zvanični let *Laste* pratili su i načelnik Generalštaba VS general-potpukovnik Miloje Miletić i komandant vojnog vazduhoplovstva general-potpukovnik Dragan Katanić.

Nebojša Gaćeša

VIŠENAMENSKO OKLOPNO BORBENO VOZILLO LAZAR*



Na vojnom poligonu Nikinci, 6. februara 2009. godine, zvanično je promovisano višenamensko oklopno borbeno vozilo *lazar*, domaće proizvodnje. *Lazar* predstavlja komercijalni projekat kompanije Jugoimport SDPR i njenog tima istraživača i konstruktora, na čelu sa dr Nenadom Miloradovićem, pomoćnikom generalnog direktora.

Jugoimport-SDPR, kao sistem integrator srpske odbrambene industrije, saglasno svojoj razvojnoj strategiji, koja se zasniva na praćenju i analizi trendova razvoja sredstva NVO i kompatibilnosti postojećih trendova sa aktuelnim i perspektivnim kadrovskim, istraživačko-razvojnim, opitnim i tehničko-tehnološkim mogućnostima srpske odbrambene industrije i drugih tehnoloških partnera, započeo je razvoj familije višenamenskog oklopnog vozila namenjenog izvršavanju niza taktičkih zadataka iz domena potencijalnih kategorija oružanih sukoba. Ovo oklopno vozilo namenjeno je širem krugu potencijalnih kupaca, uključujući i Vojsku Srbije. Prototip vozila *lazar* finalizovan je tokom 2008. godine, za rekordnih 14 meseci, a ime je dobilo po knezu Lazaru koji je na čelu svojih oklopljenih konjanika i cele srpske vojske herojski poginuo u Kosovskoj bici, na Vidovdan 1389. godine.

Vozilo je svojim konceptom i tehničkim rešenjima posebno prilagođeno jedinicama savremene pešadije i specijalnim jedinicama angažovanim u izvršavanju zadataka u okviru protivterorističkih operacija i mirovnih operacija, sa težištem na dejstva u urbanim sredinama, naseljenim područjima i ispresecanom zemljištu, i to u uslovima primene zasednih dejstva protivnika, protivtenkovskih mina, improvizovanih eksplozivnih naprava. Koncept vozila praktično predstavlja savremeno vozilo klase MRAP (Mine Rersistent Ambush Protected vehicle – vozilo otporno na mine i zaštićeno od zasednih dejstava), sa nekim karakteristikama (pre svega pokretljivost, tj. vanputna prohodnost i vatrena moć) vozila klase

* Prema podacima iz revije Report, br. 26, decembar 2008, izdavač Jugoimport SDPR

MRAV (Multi Purpose Armored Vehicle – višenamensko oklopno vozilo), te praktično kombinuje osnovne karakteristike ove dve danas u svetu izuzetno značajne klase oklopnih vozila točkaša.

Pri projektovanju koncepta vozila težište je na razvoju visoke pokretljivosti, sistema oklopne zaštite, sistema naoružanja, uz mogućnost prevoženja 10 boraca koji mogu brzo da napuste i ukrcaju se u vozilo iz zaštićene pozicije, primenom zadnjih vrata. Ukrcano odeljenje smešteno je tako da su borci okrenuti prema velikim prozorima, koji su izrađeni od balističkog stakla, i puškarnicama, što im omogućava odličnu preglednost, osmatranje okoline i dejstvo ličnim naoružanjem. Pri projektovanju koncepta pogona i oslanjanja vozila, na osnovu dugotrajnog izučavanja i modelovanja mogućih tehničkih rešenja, odabran je princip primene formule 8x8, sa krutim mostovima i oprugama, koji omogućava istovremeno postizanje vrlo visokog nivoa zaštite od dejstava protivtenkovskih mina i improvizovanih eksplozivnih naprava, a uz istovremeno visok nivo prohodnosti van puteva. Vozilo je pri ispitivanju na terenu pokazalo vrlo visok nivo prohodnosti van puteva u različitim terenskom i vremenskim uslovima, vrlo visoku sposobnost savladavanja uzdužnog nagiba, rovova, a posebno bočnog nagiba. Vrlo visoka realizovana sposobnost savladavanja bočnog nagiba posebno je značajna kada se ima u vidu visoko postavljeno težište vozila uzrokovano potrebom za postizanjem značajnog nivoa protivmiske zaštite.

Visok nivo balističke zaštite ostvaren je primenom oklopnog tela izrađenog od pancirnog čelika, koje u osnovnoj formi, uključujući i pancirna stakla, obezbeđuje zaštitu nivoa III+ (zaštita od metka 12,7 x 108 mm B-32 sa udaljenosti od 100 m) u skladu sa standardom STANAG 4569 sa prednje strane i nivoa II sa ostalih strana. Primenom kombinovanog dodatnog oklopa složene kompozitne konstrukcije, koji se montira na osnovni oklop, postiže se balistička zaštita nivoa V sa prednje i IV sa ostalih strana. Dizajn oklopnog tela omogućava posadi vozila brzo postavljanje i zamenu elemenata dodatnog oklopa čija ugradnja ne degradira osnovne funkcije vozila. Opciono, primenom eksplozivnog reaktivnog oklopa koji se montira na dodatni oklop postiže se efikasna zaštita protiv pešadijskih protivoklopnih sredstava klase RPG-7, koja danas predstavljaju osnovnu pretnju u navedenim kategorijama borbenih dejstava. Donji deo oklopnog tela je V oblika i u kombinaciji sa velikim rastojanjem od tla i primenom krutih pogonski mostova obezbeđuje zaštitu od eksplozije protivtenkovskih mina i improvizovanih eksplozivnih naprava ispod točka i poda vozila nivoa IIIa (6 kg ispod točka i poda vozila). Sistem naoružanja vozila smešten je u prostoru između kabine vozača i komandira i prostora za ukrčno odeljenje. Koncept vozila omogućava ugradnju šireg spektra turela, kupola i oružnih stanica, u zavisnosti od osnovne namene vozila i planiranog budžeta korisnika.

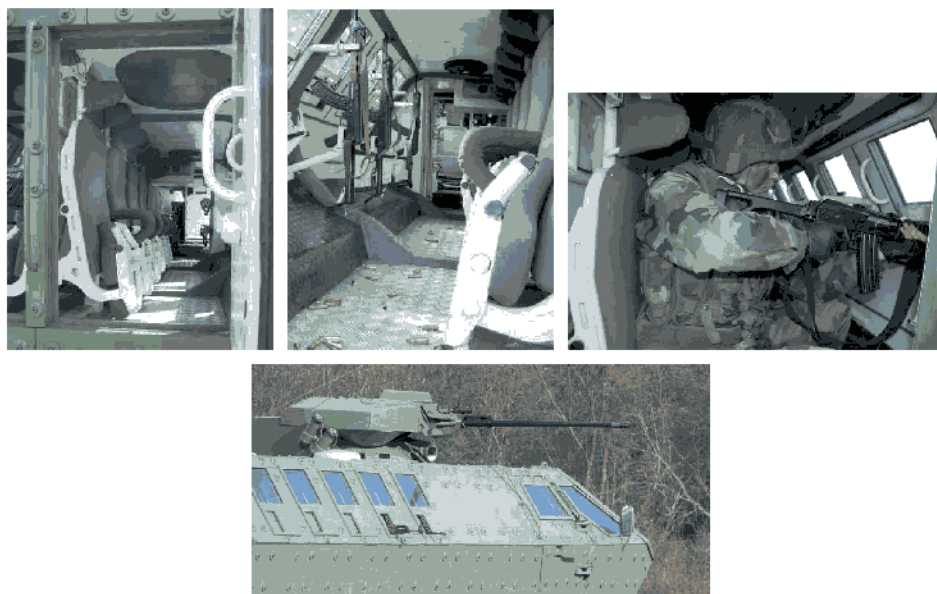
Najjednostavnije naoružanje sastoji se od delimično oklopljene modularne turele M06 sa montažno-demontažnim postoljima za postavljanje sledećih vrsta naoružanja, alternativno: mitraljeza kalibra 7,62 x 54 mm M86

sa električnim okidanjem; mitraljeza kalibra 12,7 x 108 mm, automatskog bacača granata 30 mm; topa M55 (HS 804) kalibra 20 x 110 mm.

Na aktuelnom funkcionalnom modelu, prikazanom na slikama, ugrađena je laka kupola LK08 sa topom kalibra 20 x 110 mm M55 (HS804) sa punjenjem pomoću redenika i mitraljezom kalibra 7,62 x 54 mm M86. Koncept omogućava ugradnju raznih oružnih stanica sa optoelektronskim sistemom sa upravljanje vatrom i integrisanim sistemom naoružanja koji obuhvata kombinaciju nekih od sledećih vrsta naoružanja: top 20 mm M55, top 30 mm M86, raketni sistem POVR Maljutka 2 sa dvostrukim lanserom, mitraljez 7,62 mm M86, mitraljez 12,7 mm M87, automatski bacač granata 30 mm M93.

Ukupna borbena masa turela/kupola/oružnih stanica iznosi do dve tone, a prečnik ležaja do 1600 mm. U svim varijantama turela, kupola ili oružnih stanica, osim navedenog naoružanja, ugrađuju se i četiri bacača dimnih kutija. Posadu čine tri stalna člana – komandir, vozač i operator naoružanja, kao i pešadijsko odeljenje od 10 ukrcnih vojnika – boraca pešadije, odeljenja vojne policije, protivterorističke jedinice, specijalnih jedinica, jedinica MUP, žandarmerije, itd.

Preklopna sedišta, pričvršćena na krov vozila, omogućavaju veću pokretljivost posade i obezbeđuju dodatnu zaštitu posade od efekata eksplozije mina ispod vozila.



Iskrčno odeljenje od deset ljudi prevozi se u zadnjem delu vozila sedeći na preklapajućim zasebnim ergonomski projektovanim sedištim pričvršćenim za krov vozila, i to po pet boraca sa svake strane vozila, okrenuti leđima

jedan prema drugome i sa mogućnošću osmatranja terena (kroz prozore izrađene od balističkih stakala) i dejstva streljačkim naoružanjem – automatskim jurišnim puškama, puškomitraljezima, ručnim bacačima granata 40 mm kroz ugrađene puškarnice postavljene ispod prozora. Raspoloživi prostor omogućava nesmetano uкрcavanje, iskrcavanje i udoban smeštaj boraca opremljenih punom balističkom zaštitom uključujući balističke zaštitne prsluke sa balističkim pločama i taktičke prsluke sa municijom i drugom opremom. U prostoru između kabine vozača i komandira i ukrnog odeljenja, sa leve i desne strane korpe kupole, odnosno mesta operatora oružnom stanicom, nalazi se prostor za smeštaj različitog pešadijskog naoružanja: ručnih protivoklopnih lansera, prenosnih sistema vođenih protivtenkovskih raketa, odnosno prenosnih raketnih sistema PVO i sl.

Ulazak i izlazak posade iz vozila obavlja se kroz zadnja vrata, koja su, takođe, opremljena prozorima i puškarnicama i koja omogućavaju ukrcavanje celokupnog odeljenja za oko 10 sekundi i njihovo smeštanje u sedišta, dok se radi prinudnog izlaza mogu koristiti i otvori na krovu vozila.



Prema zapažanjima korisnika iskazanih pri upoznavanju sa vozilom, vozilo *lazar* pruža mogućnost udobnog prevoženja, odličnu preglednost, brzu i laku obuku vozača, nesmetanu i efikasnu upotrebu ličnog naoružanja, značajnu vatrenu podršku iskrcanog ljudstva dejstvom ugrađenog naoružanja, nesmetano i brzo iskrcavanje i ukrcavanje. Uz to, što je veoma značajno, pruža osećaj sigurnosti i dominacije na bojištu. Osnovni koncept vozila predstavlja osnovu za razvoj familije vozila, koja obuhvata različite verzije – komandno vozilo, ambulantno vozilo, vozilo namenjeno logističkoj podršci (kargo vozilo), inženjerijsko vozilo – tegljač, protivminsko vozilo, kao i osnovu za samohodni minobacač 120 mm, samohodno artiljerijsko oruđe 122/155 mm, artiljerijski, raketni ili hibridni (artiljerijsko-raketni) sistem PVO i drugo.

Cena *lazara* je bitno niža od cene sličnih vozila u svetu.

Po zahtevu kupca moguća je i ugradnja specijalne dodatne opreme:

- klimatizacija, kompresor, split sistem,
- VVF radio-uređaj, snage 15W, sa UMR,

- uređaj za filtroventilaciju za stvaranje natpritiska u oklopnom telu, filter za prečišćavanje vazduha za ABH zaštitu,
- komandno-informacioni sistem (KIS) sa navigacionim sistemom baziranim na GPS,
- panoramska optoelektronska izviđačko-osmatračka stanica, stabilizovana u dve ravni, sa CCD TV kamerom, termovizijskom kamerom i laserskim daljinomerom.

Komandno-informacioni sistem (KIS) predstavlja hardversko i softversko rešenje koje omogućava komandiru – komandantu jedinice podršku u planiranju i pripremi misije, donošenju odluka, organizaciji, pripremi izveštaja, slanju naredbi, uočavanju i određivanju položaja ciljeva i sličnim aktivnostima vezanim za borbene aktivnosti.

Osnovne funkcije KIS-a su: prikazivanje položaja sopstvenog i drugih vozila na situacionoj mapi, podrška u planiranju misije, određivanje sopstvenog položaja i navigacija, komunikacija sa pretpostavljenim i sa dejstvujućim jedinicama, razmena podataka, učešće u proceduri određivanja cilj, praćenje cilja i izvršenje gađanja.



Višenamensko oklopno borbeno vozilo *lazar* predstavljeno je i na jednom od najvećih svetskih sajmova naoružanja i vojne opreme Ajdeks '09, devetom po redu. Najveće interesovanje gostiju na štandu srpske vojne industrije, koju je ovde kao integrator predstavljala kompanija „Jugoimport“ SDPR, izazvalo je upravo borbeno oklopno vozilo *lazar*.

Takođe, za vreme posete delegacije Ministarstva odbrane Srbije Iraku iračkom vojnom vrhu u Bagdadu prikazan je film o *lazaru*. Izgledi da ovaj proizvod srpske vojne industrije stigne u Irak su vrlo dobri i to bi mogao da bude veliki izvozni posao Srbije.

Daljim razvojem i usavršavanjem *lazara*, njegovim prihvatanjem i serijskom proizvodnjom, otvara se mogućnost za opremanje i modernizaciju Vojske Srbije: pešadijskih jedinica u brigadama Kopnene vojske, specijalnih jedinica, izviđačkih sastava i jedinica vojne policije.

Inače, na svetskom tržištu NVO uočljivi su trendovi masovnog opremanja OS velikog broja zemalja oklopnim vozilima točkašima dve osnovne kategorije, poznate po engleskim skraćenicama MRAP (Multi Role Armored vehicle) i MRAP (Mine Resistant Ambush Protected Vehicle). Radi se o dve kategorije vozila, koje se bitno razlikuju po nekim osnovnim konceptualnim parametrima, kao i osnovnoj taktičkoj nameni, ali koja su uporediva po svojim osnovnim performansama i parametrima efikasnosti u upotrebi u nekim danas najznačajnijim kategorijama oružanih sukoba, kao što su protivteroristička dejstva, tj. operacije kontrole teritorije u zonom terorističkih – pobunjeničkih aktivnosti, mirovne operacije i sl.

Višenamensko oklopno vozilo (engl. MRAP) jeste, pre svega, oklopno vozilo točkaš formule pogona 8x8, sa samonosećom konstrukcijom oklopnog tela i nezavisnim sistemom oslanjanja (ređe sa šasijom, kao npr. finska Patria i nemački Boxer). Konstrukcijom ovih vozila obezbeđena su amfibijska svojstva. Oklopno telo je izrađeno od pancirnog čelika kojim je obezbeđen relativno visok nivo balističke zaštite, uz mogućnost ugradnje dodatnog montažno-demontažnog oklopa, izrađenog na bazi kompozitnih materijala (kombinacijom keramike, polietilena visoke molekularne gustine/aramidni materijali) ili u vidu principijelno drugačijih sistema dodatne zaštite, na bazi šipkastih (kavezastih) oklopa ili eksplozivno-reaktivnog oklopa namenjenih smanjivanju efikasnosti ručnih protivoklopnih sredstava. Ova vozila su po svojoj koncepciji višenamenska, što znači da se mogu koristiti kao: oklopni transporter, borbena vozila pešadije, izviđačka vozila... U osnovnoj varijanti ova vozila se koriste kao oklopni transporter kojima se prevozi pešadijsko odeljenje od 8 do 12 ljudi, koje se ukrcava u vozilo kroz zadnja vrata.

Rešenje koncepta vozila omogućava da se pripadnici ukrcnog odeljenja pešadije prevoze u sedećem položaju, u zasebnim sedištim, okrenuti najčešće prema unutrašnjosti vozila, tj. bez mogućnosti da se iz vozila dejstvuje ličnim naoružanjem. Stalnu posadu vozila čine, osim vozača i komandira, i operator naoružanja, koje je najčešće rešeno u vidu daljinski upravljane oružne stanice, snabdevene senzorskim sistemima i naoružanjem, koje se sastoji, u zavisnosti od rešenja, alternativno, od najjednostavnije, tj. najskromnije varijante - mitraljeza kalibra 7,62 mm, zatim mitraljeza 12,7 mm, automatskog bacača granata 40 mm, kao i automatskih topova 20 mm, 25 mm, 30 mm, u kombinaciji sa mitraljezima i protivoklopnim vođnim raketama. Konceptom vozila obezbeđen je određen nivo protivminске zaštite u slučaju kontakta sa protivtenkovskim minama i drugim improvizovanim eksplozivnim napravama. Vozila karakterišu relativno velike gabaritne dimenzije i srazmerno velika masa, složeni sistemi za pogon i prenos snage, što sve zajedno uzrokuje vrlo visoke cene vozila. Svako od

vozila te kategorije predstavlja osnovu za razvoj familije oklopnih vozila, koja, osim prethodno navedenih varijanti, obuhvata i samohodni minobacač – artiljerijsko oruđe, samohodni artiljerijsko-raketni sistem PVO, komandno vozilo, ambulantno vozilo, vozilo za izvlačenje, itd.

Nabavka nove generacije familija višenamenskih oklopnih vozila (Multi Role Armored vehicle - MRAP) postao je imperativ opremanja oružanih snaga vodećih zemalja Zapada. Ubrzo potom, prateći ovaj trend, i druge zemlje, pre svega članice NATO, ali i OS zemalja iz drugih delova sveta, počele su da razmatraju i realizuju nabavke familija ovih vozila.

Vozilo otporno na mine i zaštićeno od zasednih dejstava (engl. MRAP) razvijeno je usled potrebe da se ukrcana pešadija angažovana na zadacima svakodnevnih dužnosti patroliranja u zonama očekivanih dejstva pobunjenika – terorista, kao i potrebom transporta do tih zona, prevozi u uslovima konstantne pretnje od mina i zasednih dejstava terorista/gerilaca/pobunjenika, naročito u svetlu aktuelnog rata protiv terorizma, tj. iskustva vodećih zemalja zapada predvođenih SAD u Avganistanu i Iraku. Ukrcano ljudstvo u takvim uslovima mora biti sposobno da izvodi neprekidno osmatranje okoline i, po potrebi, direktno dejstvuje iz vozila streljačkim naoružanjem, te se brzo i efikasno iskrca iz vozila i razvije u borbeni poredak na terenu. Koncept realizacije vozila ove kategorije je u osnovi baziran na konverziji različitih kategorija terenskih patrolnih vozila i teretnih transportnih vozila – kamiona razvijenih na bazi kamionskih šasija visoke prohodnosti, sa krutim pogonskim mostovima, koji je omogućio postizanje visokog nivoa protivmiske zaštite, formula 4x4, 6x6 i 8x8. Osim toga, relativno velika udaljenost donjih oklopnih ploča od površine zemlje, karakteristična za ovakav koncept vozila, omogućava opadanje efikasnosti udarnog talasa nastalog eksplozijom nagaznih protivtenkovskih mina i drugih eksplozivnih naprava na telo vozila, što predstavlja značajnu prednost i nad konceptom savremenih vozila tipa MRAP. Osnovni zahvati konverzije sastoje se u modularnoj ugradnji oklopnih tela sa: osmatračkim prozorima i puškarnicama za ukrcno odeljenje izrađenim od pancirnih stakala odgovarajuće balističke zaštite, protivmiskom zaštitom, kao i naoružanjem, koje se najčešće ugrađuje u oklopljene turele sa manuelnim upravljanjem, naoružanih mitraljezima kalibra 7,62 m i 12,7 mm. Takođe, vozila su po pravilu opremljena i uređajima za ometanje daljinski upravljanih eksplozivnih naprava na bazi mreže mobilne telefonije ili drugih radio-signala različitih frekvencija, kojima se onemogućava aktiviranje ovih sredstava u okolini vozila, na rastojanjima do nekoliko desetina metara, kao i bacačima dimnih kutija. Opremanje OS SAD vozilima kategorija MRAP predstavlja program opremanja koji je treći po obimu angažovanih finansijskih sredstava, odmah iza programa višenamenskog borbenog aviona (JSF) i sistema odbrane od balističkih raketa.

N. G.

SAVREMENO NAORUŽANJE I VOJNA OPREMA

Prototip patrolnog vozila KMW „Grizli“*

Kompanija Krauss-Maffei Wegmann (KMW) isporučila je prototip zaštićenog patrolnog vozila KMW Grizli (Grizzly) nemačkom ministarstvu odbrane radi testiranja za potrebe nemačke armije. Vozilo Grizli, 6×6, mase 25 t, ponuđeno je na osnovu zahteva za popunu flote oklopnih komandnih i operativnih vozila nemačke armije.

Vozilo obezbeđuje posadi zaštitu od improvizovanih eksplozivnih naprava, drumskih mina i direktne streljačke vatre i može se prevoziti transportnim avionima A400 M. Prototip, kojim su završena ispitivanja pokretljivosti, treba da se isporuči u toku novembra.



Prototip patrolnog vozila Grizli

Vozilo Grizli može da prevozi 10 potpuno opremljenih vojnika i koristan teret preko 4,5 t. Sa maksimalnom brzinom od 90 km/h ovo vozilo ima operativni domet više od 700 km. Kabina vozača i odeljenja za posadu formiraju „sigurnu čeliju“ koja je zaštićena od raznih opasnosti, uključujući balističke projekte, rakete, mine i improvizovane eksplozivne naprave. Motor, čija je izlazna snaga 331 kW, i transmisija takođe su zaštićeni. Šasiju vozila projektovao je IVECO, a radove na karoseriji izveo je Porše.

Grizli će uključivati ambulantne i komandne varijante, kao i KWM-ov obaveštajni moduli sistem, koji će imati manje vozila verzije 4×4, i veća – 8×8. Kako kažu zvaničnici iz KMW, koncept Grizli zadovoljava sadašnje povećane zahteve kopnenih snaga u oblasti tehničkih performansi, mogućnosti, namenske fleksibilnosti i zaštite posade. Ministarstvo odbrane Nemačke ima zahteve za preko 650 vozila ove klase u brojnim varijantama.

*Kamion za transport municije Tatra EOD**

Novo vozilo za transportovanje eksplozivne artiljerijske municije i uklanjanje improvizovanih eksplozivnih uređaja adaptirano je za potrebe češke armije. Nova Tatra EOD je oklopljeno vozilo izrađeno na bazi vojnog kamiona T-815-7

* Prema podacima iz Jane's Defence Weekly, 27. 6. 2007.

* Prema podacima iz International Defence Review, jul 2007. godine.



*Češki kamioni za prevoz municije
Tatra EOD*

u verziji 6×6 i može se transportovati na avionu C-130. Vozilo ima pneumatsko oslanjanje i promenljivi klirens, koji može da bude spušten do 105 mm i da se podiže za 90 mm. Njegova trosedišna kabina može fabrički da se opremi oklopom ili dodatno oklopi na bojištu kompletom oklopnih ploča. Pokretni kontejner EOD takođe je balistički zaštićen do standarda STANAG 4560 Nivo 1, što se odnosi i na rezervoar za gorivo i neke delove šasije.

Kabina i kontejner imaju sistem kolektivne NBH zaštite, prilagođen za operacije u širokom dijapazonu klimatskih uslova. Vozilo ima centralno punjenje guma koje su opremljene ran-flet ulošcima.

Kontejner sadrži prostor za utovar pirotehničkih sredstava, opreme, uključujući tešku eksplozivno-rasprskavajuću zaštitnu opremu i Rajnmetalov vučni robot za uklanjanje bombi dužine 1300 mm i mase 300 kg. Robotom može da se upravlja daljinskim putem sa relativno bezbednog rastojanja od kontejnera ili to obavlja operator koji koristi daljinski upravljački panel. Hidraulička dizalica, kapaciteta 500 kg, smeštena je na zadnjem delu kontejnera. Posada se sastoji samo od vozača i specijaliste, a ostatak tima EOD/IEDD prevozi se u Land Roveru.

Tatra EOD je duga 9,15 m, široka 2,15 m, visoka 4 m i ima ukupnu masu 29.000 kg. Serija T-815-7 je projektovana tako da može da prihvati mnoge pogonske pakete, uključujući vodom hlađeni motor Cummins ili motore Caterpillar i automatske transmisije Alison ili Twin Disc. Međutim, češka armija verovatno je odobrila ugradnju vazdušno hlađenog dizel motora snage 270 kW Tatra T-3-928, koji ne koristi elektronski upravljano punjenje gorivom. Projekat serije novog tipa T-815-7, koja uključuje verzije 8×8 i 10×10, omogućava da se pola pogonskih osovina može podići, tako da je povratak u bazu moguć i kada je jedan od točkova potpuno uništen.

Preveo *Mirko Krbavac*

„Vojnotehnički glasnik“ je naučni časopis Ministarstva odbrane Republike Srbije, koji objavljuje: originalne naučne radove, prethodna saopštenja, pregledne i stručne radove, prikaze naučno-stručnih skupova, kao i tehničke informacije o savremenim sistemima naoružanja i savremenim vojnim tehnologijama.

Časopis prati jedinstvenu intervidovsku tehničku podršku Vojske na principu logističke sistemske podrške, oblasti osnovnih, primenjenih i razvojnih istraživanja, kao i proizvodnju i upotrebu sredstava NVO, i ostala teorijska i praktična dostignuća koja doprinose usavršavanju pripadnika Ministarstva odbrane i Vojske Srbije.

Vojnotehnički glasnik je, na osnovu analize Centra za evaluaciju u obrazovanju i nauci – CEON (<http://ceon.rs/>) i odluke Ministarstva za nauku Republike Srbije, svrstan u kategoriju naučni časopisi (M53). Podaci o kategorizaciji mogu se pratiti na sajtu KOBSON-a (Konzorcijum biblioteka Srbije za objedinjenu nabavku). Pristup ovoj stranici omogućen je samo sa računara koji su priključeni na internet preko Akademske računarske mreže. Kategorizacija časopisa izvršena je prema Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača, koji je propisao Nacionalni savet za naučni i tehnološki razvoj (Službeni glasnik RS, broj 38/2008).

Detaljnije informacije mogu se pronaći na sajtu Ministarstva za nauku:

http://www.nauka.gov.rs/cir/index.php?option=com_content&task=view&id=621&Itemid=37.

U skladu sa ovim pravilnikom i tabelom o vrsti i kvantifikaciji individualnih naučno-istraživačkih rezultata (u sastavu Pravilnika), objavljeni rad u Vojnotehničkom glasniku vrednuje se sa 1 (jednim) bodom. Časopis se prati u kontekstu Srpskog citatnog indeksa – SCindeks (baza podataka domaćih naučnih časopisa – detalji dostupni na sajtu <http://scindeks.nb.rs/>) i podvrgnut je stalnom vrednovanju (monitoringu) u zavisnosti od uticajnosti (impakta) u samoj bazi i, dopunski, u međunarodnim (Thompson-ISI) citatnim indeksima.

Članci se dostavljaju Redakciji elektronskom poštom na adresu vojnotehnicki.glasnik@mod.gov.rs (arial, srpska latinica, veličina slova 11 pt, prored Exactly).

Članak treba da sadrži rezime (u najviše osam do deset redova), sa ključnim rečima na srpskom i engleskom jeziku, uvod, razradu, zaključak i literaturu (bez numeracije naslova i podnaslova). Obim članka treba da bude do jednog autorskog tabaka (16 stranica formata A4 sa proredom single). Tekst mora biti jezički i stilski doteran, sistematizovan, bez skraćenica (osim standardnih). Sve fizičke veličine moraju biti izražene u Međunarodnom sistemu memih jedinica – SI. Redosled obrazaca (formula) označava se rednim brojevima, sa desne strane u okruglim zagradama. Fotografije i crteži treba da budu jasni, pregledni i pogodni za reprodukciju. Crteže treba raditi u programu word ili corel. Fotografije i crteže treba postaviti na željeno mesto u tekstu. Tabele se pišu na isti način kao i tekst, a označavaju se rednim brojevima sa gornje strane. Literatura u tekstu navodi se u uglastim zagradama, a spisak korišćene literature sadrži neophodne bibliografske podatke prema redosledu citata u tekstu. Bibliografski podatak za knjigu sadrži prezime i inicijale imena autora, naziv knjige, naziv izdavača, mesto i godinu izdavanja. Bibliografski podatak za časopis sadrži prezime i ime autora, naslov članka, naziv časopisa, mesto, broj i godinu izdavanja. Opširan pregled literature neće se prihvatiti.

Pored članka dostavlja se propratno pismo u kojem treba istaći o kojoj vrsti članka se radi, koji su grafički prilozi (fotografije i crteži) originalni, a koji pozajmljeni.

U propratnom pismu navode se i autorovi podaci: ime i prezime, čin, zvanje, e-mail, adresa poslodavca (VP), kućna adresa, telefon na radnom mestu i kućni (mobilni) telefon, račun i naziv banke, SO mesta stanovanja i JMB građana.

Svi radovi podležu stručnoj recenziji, a objavljeni radovi i stručne recenzije honorišu se prema važećim propisima.

Adresa redakcije: Vojnotehnički glasnik, 11002 Beograd, Balkanska 53, VE-1.

Redakcija

**DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-
-INFORMACIONU DELATNOST**

- Balkanska 53, 11000 Beograd •
- Telefoni: (011) 32-01-806 i 32-01-495
- Telefaks: (011) 36-12-506 •
- Tekući račun: 840-19540845-28 • PIB: 102116082
- PDV: 135328814 •

POZIV NA PRETPLATU ZA 2009. GODINU

Pretplaćujemo se na časopis:

br. primeraka

1. „Vojnotehnički glasnik“

Godišnja pretplata 785,00 dinara (727,00 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963054

.....

2. „Novi glasnik“

Godišnja pretplata 1.408,00 dinara (1.303,70 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963053

.....

3. „Vojno delo“

Godišnja pretplata 1.296,00 dinara (1.200,00 din + 8% PDV)

Prilikom uplate pozvati se na broj: 122742312963051

.....

Pretplatne cene važe do 30. 6. 2009. godine.

Broj primeraka izdanja koja se naručuju upisati u narudžbenicu, a primerak narudžbenice sa dokazom o izvršenoj uplati na gore navedeni tekući račun poslati na gore navedenu adresu.

Kupac

tel.:

Mesto

Ulica

br.

Potpis naručioca

M. P.

.....



**DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU
I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST**
11000 Beograd, Balkanska 53 • telefaks: 011/3612-506

Preporučujemo nova izdanja VOJNOIZDAVAČKOG ZAVODA



MOTORI I MOTORNA VOZILA

Grupa autora

Broširano • format: 17×24 cm • 390 str.

ISBN 978-86-335-0231-3

Šifra: 111078

Cena: 864,00 din.



**NAORUŽANJE
SA NASTAVOM GAĐANJA 1**

Autor: prof. Ivan Č. Stamenov

Broširano • format: 17×24 cm
• 496 str.

ISBN 978-86-335-0247-4

Šifra: 111079

• Cena: 864,00 din.



**METODIKA IZUČAVANJA SLEPOG KUCANJA
NA TASTATURI RAČUNARA**

Autor: mr Saša Devetak

Broširano • Format: 14×20 cm • 44 str.

ISBN 978-86-335-0254-2

Šifra: 111080 • Cena: 324,00 din.

Ovom narudžbenicom neopozivo naručujem knjige sa šifrom/primeraka

Telefoni za informacije:
(011) 3612-506 i vojni 23-495

Kupac: _____

Ulica i broj: _____

Mesto i broj pošte: _____

Knjige ću platiti (zaokružiti broj):

1) odjednom (plaćanje unapred)

2) na kredit u _____ mesečne rate (najviše šest rata)
po _____ dinara (najmanji iznos rate je 1.000 din.)

Uz narudžbenicu poslati dokaz o uplati.

Telefon: _____

Potpis naručioca: _____

NAPOMENA: za svaku narudžbu knjiga potrebno je uplatiti 200,00 din. za troškove poštarine.

DIREKCIJA ZA IZDAVAČKU I BIBLIOTEČKO-INFORMACIONU DELATNOST

Žiro račun: 840-19540845-28 RC MO; pib 102116082

Reklamacije za naručene knjige
primamo u roku od 30 dana

Art direktor
mr *Nebojša* Kujundžić
e-mail: nebojsa.kujundzic@mod.gov.rs

Tehničko uređenje
Zvezda Jovanović

Lektor i korektor
Dobriša Miletić, profesor
e-mail: dobriša.miletic@mod.gov.rs

Prevod na engleski
Jasna Višnjić, profesor

Cena: 245,00 dinara
Tiraž: 800 primeraka

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku,
tehnologiju i razvoj Republike Srbije,
broj 413-00-1201/2001-01 od 12. 9. 2001. godine,
časopis „Vojnotehnički glasnik“ je publikacija
od posebnog interesa za nauku.

UDC: Centar za vojnonaučnu dokumentaciju, informacije i bibliotekarstvo (CVNDIB)