

Pukovnik

prof. dr MILOVAN STOJILJKOVIĆ

Potpukovnik

mr SINIŠA BOROVIĆ, viši predavač

Primena Bajesovog odlučivanja pri analizi borbenih situacija i izboru odluke

U članku je prikazan postupak analize hipotetičke situacije odvijanja borbenih dejstava, primenom modela *Jezik za formalizaciju dejstava neodređenosti* — JFDN, koji spada u modele iz familije Bajesovog odlučivanja. Dat je najpre opis modela i način izgradnje *Dijagrama toka odlučivanja* — DTO (u engleskoj literaturi poznat kao »Decision tree«), koji predstavlja osnovu za analizu uticaja neodređenosti i izbor odluke uz prihvatljiv rizik. Prikazan je postupak uvođenja dodatno sakupljenih informacija o ponašanju protivnika, tzv. posteriornih eksperimenata (indikacija), pomoću kojih se nastoji da smanji početna neodređenost u datoj situaciji odlučivanja. Model dozvoljava uvođenje željenog broja dodatnih informacija, što, međutim, ima svoje ograničenje.

U radu su objašnjene mogućnosti korišćenja sinteze dobijene uz pomoć modela JFDN, bilo kao podloge preposteriorne analize mogućeg razvoja događaja, ili kao uputstva za akciju u toku samog odvijanja borbenih dejstava. Jasno je da ovakve analize treba da imaju široku primenu pri obučavanju štabskih organa i komandanata za izbor najpovoljnijih akcija u uslovima neodređenosti i konflikata. Step en njihove primenljivosti je u srazmeri sa sposobnošću komandnih organa da razrade realne scenarije mogućeg odvijanja borbenih dejstava i da im pridruže događaje koji treba da su u određenoj uzročnoj vezi sa već izvršenim izborom protivnika, čime se smanjuje početna neodređenost o njegovim namerama.

Širenje primene računara i jačanje potrebe da se neodređenost suptilnije kontroliše pri donošenju odluka stvaraju klimu intenzivnijeg oslanjanja na modeliranje borbenih situacija i njihovo korišćenje pri formiranju odluke komandovanja, što bitno doprinosi povećavanju kvaliteta tih odluka.

Uvod

Živimo u vremenu ubrzane transformacije problemskog polja upravljanja složenim situacijama po osnovi vremenske dimenzije, stupnja određenosti i stupnja složenosti. Statičnost

ustupa mesto dinamičnosti, određenost neodređenosti, a broj relevantnih činilaca situacije u kojoj se donose odluke neprestano raste.

Trend porasta dinamizma, nesigurnosti i složenosti još je karakterističniji za vojne konfliktne situacije. Može se reći da inovacije u metodama upravljanja i odlučivanja ne prate takvu transformaciju realnih situacija. Različiti faktori deluju nepovoljno na razvoj novih postupaka i njihovo uvođenje u konkretnu praksu vojnog odlučivanja. Još uvek je prevelik skup situacija u kojima je donosiocu odluke najjače sredstvo vlastita intuicija i zdravorazumski izbor akcija. Naučne metode sporo nalaze mesto u procesima analize složenih situacija i formiranja odluke.

Teorija odlučivanja je jedna od naučnih disciplina koja se bavi istraživanjima uticajnih faktora u procesu odlučivanja i izgradnji modela za izbor najpovoljnijih akcija. Jedna od prvih poteškoća je kako izuzetno veliki skup najrazličitijih situacija klasificirati, radi olakšavanja njihove formalizacije i objektivne analize. U tim klasifikacijama situacije odlučivanja, u kojima su istovremeno prisutni i neodređenost o budućim stanjima okruženja i konflikt ciljeva dva međusobno suprotstavljena donosioca odluka, smatraju se najkompleksnijim. U literaturi se za takve situacije koristi izraz »strategijske neodređenosti«. Odluke koje komandanti moraju doneti u toku borbenih dejstava upravo su tipični primeri situacija odlučivanja pri neodređenosti i konfliktu, odnosno pri strategijskoj neodređenosti. Otuda takve situacije predstavljaju poseban izazov, i mnogi istraživači nastoje da izgrade modele koji treba da smanje početnu neodređenost i olakšaju izbor donosiocu odluke.

Među tim modelima za analizu borbenih situacija posebno su zanimljivi modeli zasnovani na tzv. Bajesovom pristupu odlučivanju. Ovi modeli su vrlo prilagodljivi za opis najrazličitijih situacija, jer je logika na kojoj su izgrađeni bliska logici i ponašanju svakog razumnog i valjano osposobljenog donosioca odluke. Modelom se formalizuje tzv. priorna situacija, a uvođenjem dobro odabranih posteriornih događaja, koji informišu o ponašanju protivnika nakon njegovog izbora akcije, donosilac odluke dobija mogućnost da ispituje različite alternative i da se permanentno prilagođava nastalim promenama na terenu.

Naučno-tehnička revolucija i razvoj informacijske tehnologije nameću potrebu stalne modernizacije sistema rukovođenja i komandovanja i primene savremenih naučnih metoda u upravljanju procesima u tom sistemu. To, pak, zahteva usavršavanje starešinskog kadra u oružanim snagama i njegovo osposobljavanje za upravljanje složenim sistemima i primenu savremenih naučnih dostignuća u donošenju odluka. Stoga je i osnovna namena ovog rada da se čitaoci »Vojnog dela« upoznaju sa mogućnostima Bajesovog odlučivanja.

1. Opis problema

Proces odlučivanja predstavlja svesnu delatnost donosioca odluke i njegovih saradnika usmerenu na traženje najpovoljnijeg ponašanja sistema u datim okolnostima, u skladu sa postavljenim ciljem i odabranim kriterijumima efikasnosti.

Donosilac odluke se često nalazi u situaciji da ne raspolaze sa dovoljno informacija o problemu o kome treba da odlučuje. On to rešava sistematskim prikupljanjem podataka o uticajnim faktorima i njihovom delovanju na problem o kome se odlučuje. Međutim, pošto se odluka donosi najčešće za neko buduće stanje, donosilac odluke je suočen sa činjenicom da on objektivno nema kontrolu nad većinom uticajnih faktora, niti može pouzdano da predvidi razvoj budućih događaja. On, po pravilu, mora da računa sa prisustvom neodređenosti o situaciji u kojoj treba da se realizuju njegove odluke. Dodatna poteškoća je ako se to čini u uslovima konflikta, što znači u uslovima antagonističkih ciljeva dva međusobno suprotstavljena donosioca odluka. Oba protivnika nastoje ne samo da što bolje prikriju vlastite namere, već pokušavaju i da zavaraju protivnika i navedu ga na pogrešno zaključivanje.

U vojnoj organizaciji najčešće se odlučuje pri takvim okolnostima, te je otuda prvorazredno teorijsko i praktično pitanje kako pomoći komandantu da sistematski analizira veliki broj međusobno uslovljenih informacija i da, smanjivanjem početne neodređenosti o budućim stanjima okruženja i namerama protivnika, smanji rizik vlastitih odluka. Zbog svega toga istraživanja formalizacije uticaja neodređenosti i modeliranje složenih situacija odlučivanja ove vrste od posebnog su značaja za vojnu organizaciju i sistem rukovođenja i

komandovanja. Osnovna ideja za formalizaciju uticaja neodređenosti je u činjenici da je verovatnoća jedini racionalan način merenja neodređenosti i rizika. Istovremeno, u uslovima nepovljivosti situacija vojnog odlučivanja i nemogućnosti dobijanja tzv. objektivnih verovatnoća, znanje i stručnost donosioca odluka dobijaju punu verifikaciju uvođenjem subjektivnih verovatnoća kao njegove procene budućih tokova događaja. Na taj način se prevladavaju poteškoće neodređenosti i omogućava dalja analiza i izbor najpovoljnije odluke. U takvim okolnostima Bajesov pristup odlučivanju pri neodređenosti* predstavlja jedan od najuspešnijih odgovora donosioca odluke na zamke koje mu postavljaju rizik i neodređenost.

Bajesovo odlučivanje se, uopšteno govoreći, može definisati kao analiza procesa odlučivanja koju karakterišu sledeće pretpostavke:

— donosilac odluke vrši izbor u situaciji u kojoj postoje najmanje dva načina rešenja razmatranog problema i nema prepreka da se jedno od njih odabere;

— donosilac odluke je u neizvesnosti koju od mogućih vlastitih alternativa da odabere, jer ne zna koje će od mogućih stanja da nastupi u momentu realizacije odluke;

— donosilac odluke raspolaže određenim poznavanjem date situacije, što mu omogućuje da proceni efekte pojedinih alternativa i uslovne verovatnoće nastupanja za datu situaciju karakterističnih događaja, kao posledice aktuelnosti pojedinih stanja okruženja;

— donosilac odluke prihvata očekivane vrednosti odabranih efekata kao kriterijum izbora optimalne akcije, i

— donosilac odluke ima mogućnost da sakupi dodatne — posteriorne informacije i spreman je da u njihovom svetlu koriguje svoje priorne procene date situacije.

2. Model za analizu neodređenosti i izbor optimalne odluke

Za potrebe ovog rada koristićemo model koji je nazvan *Jezik za formalizaciju dejstava neodređenosti* (JFDN).

* Izgrađen na temelju u matematici poznate Bajesove teoreme.

Model se formira kroz sledeće četiri faze: (1) analiza strukture i formiranje dijagrama toka odlučivanja; (2) analiza verovatnoća; (3) analiza koristi i vrednosti informacija, i (4) sinteza i izbor optimalne akcije.

2.1. *Analiza strukture i formiranje dijagrama toka odlučivanja*

Cilj analize strukture je da se dobije grafički prikaz svih relevantnih kombinacija odnosa koji u datoj situaciji odlučivanja mogu obrazovati raspoložive alternative oba suprotstavljena učesnika sa odabranim posteriornim događajima, koji imaju određenu uslovnu vezu sa tim alternativama. Prvi učesnik (igrač) je donosilac odluke a drugi može biti ili realni protivnik ili priroda. Dobijeni grafički prikaz (slika 1) predstavlja redosled aktivnosti koje donosilac odluke mora preduzeti pre nego što donese odluku. Otuda je rezultat analize strukture nazvan *dijagram toka odlučivanja* (DTO) date situacije odlučivanja.

Elementi od kojih se sastoji dijagram toka odlučivanja:

a) Čvor izbora donosioca — čvor odluke. To je čvor u DTO iz kojeg polaze mogući izbori donosioca odluke. Prikazuje se kvadratnom figurom. Kada iz čvora odluke polaze grane osnovnih alternativa donosioca odluke, definisane priornom matricom efekata, onda čvor odluke dobija naziv konačni i prikazuje se šrafiranim kvadratom. U tom smislu, nešrafirani kvadrati u DTO se mogu nazvati pomoćnim čvorovima odluke.

b) Čvor izbora protivnika — čvor slučaja. To je čvor u DTO iz kojeg polaze mogući izbori protivnika ili (uopšteno) slučaja. Prikazuje se kružnom figurom.

c) Čvor posledica — čvor koristi. Predstavlja obavezni završni čvor svakog od uvedenih puteva u DTO. Čvor posledica prikazuje se trouglastom figurom.

d) Grana alternative donosioca odluke. Predstavlja jednu od mogućih akcija donosioca odluke (S_i), definisanu početnom matricom efekata.

e) Grana alternative protivnika (prirode). Predstavlja jednu od mogućih akcija protivnika (N_i), definisanu početnom matricom efekata.

f) Grana posteriornih događaja — rezultata eksperimenta. Predstavlja jedan od mogućih rezultata preduzetog eksperimenta, odnosno jedan od mogućih posteriornih događaja (kao posledica već odabrane akcije protivnika koja je, međutim, nepoznata donosiocu odluke).

Grane ove vrste, koje polaze iz zajedničkog pomoćnog čvora slučaja treba da obuhvate potpuni sklop međusobno isključivih događaja koji predstavljaju moguće odgovore na preduzeti eksperiment, odnosno moguće ponašanje protivnika (prirode) u datoj situaciji.

g) Grana pomoćne odluke donosioca odluke. Predstavlja akcije donosioca odluke pomoću kojih se odlaže donošenje konačne odluke i preduzima sakupljanje dodatnih (posteriornih) informacija u cilju smanjenja početne neodređenosti.

Početni čvor grane ove vrste je uvek pomoćni čvor odluke, a završni ili konačni čvor odluke je ako se odabere odustajanje od daljnjeg sakupljanja informacija (eksperimenta), ili pomoćni čvor slučaja — ako se preduzme novi eksperiment.

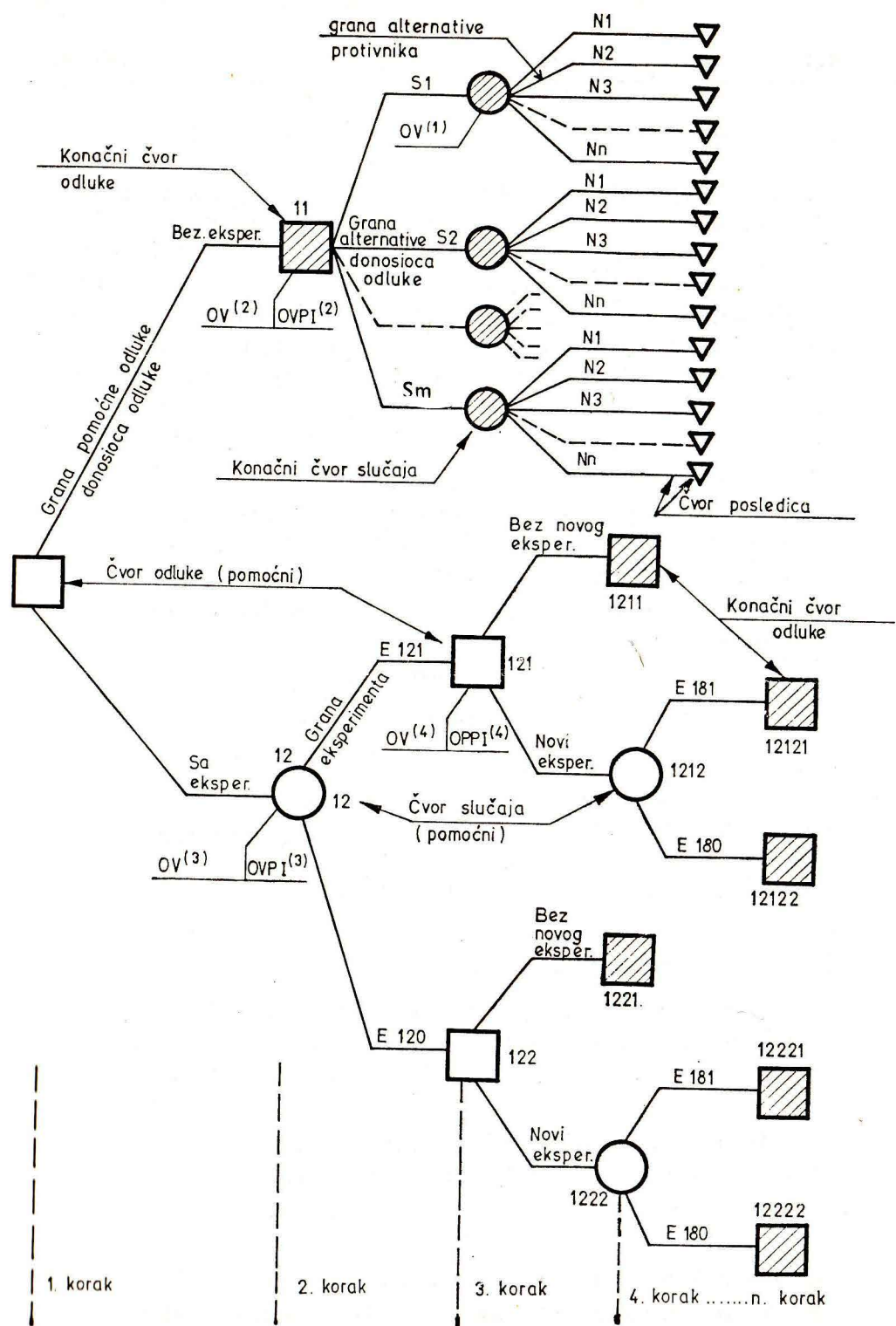
Radi prikaza opisanih elemenata, pokazaćemo ih na jednoj fiktivnoj situaciji odlučivanja.

Neka je situacija odlučivanja definisana priorno sledećom matricom efekata (tabela 1):

Tabela 1

i j		Alternative protivnika (prirode)			
		N1	N2	...	Nn
Alternative donosioca odluke	S1	e11	e12	...	e1n
	S2	e21	e22	...	e2n
	...	...	...	...	...
	Sm	em1	em2	...	emn
		P(N1)	P(N2)	...	P(Nn)

Na slici 1 prikazan je DTO sa m alternativa donosioca odluke i n alternativa protivnika, sa i bez eksperimenta (prema početnoj situaciji datoj u tabeli 1).



Sl. 1 — Opšti prikaz DTO sa i bez eksperimenata i sa objašnjenjima elemenata DTO

2.2. Analiza verovatnoća

Analiza verovatnoća u modelu JFDN zasniva se na stavu da verovatnoće nastupanja pojedinih događaja predstavljaju jedini racionalan način merenja neodređenosti u procesima odlučivanja. To vredi kako za verovatnoće dobijene kao odnos učestalosti pojave događaja u procesima koji se ponavljaju, tako i za verovatnoće koje izražavaju subjektivni stepen verovanja u procesima koji se ne ponavljaju. Cilj analize verovatnoće je da se utvrde promene verovatnoća zbivanja mogućih alternativa protivnika, u zavisnosti od naknadno sakupljenih informacija.

Analiza verovatnoća u ovom aneksnom jeziku za analizu situacije sa dejstvom neodređenosti bazira na poznatoj Bajesovoj teoremi. Prilagođena oznakama iz našeg hipotetičkog primera, ona ima sledeću formu za p posteriornih događaja (formula (1)):

$$P(N_j/I_1 I_2 \dots I_p) = \frac{P(N_j) P(I_1 I_2 \dots I_p/N_j)}{\sum_{j=1}^n P(N_j) P(I_1 I_2 \dots I_p/N_j)} \quad (1)$$

za $j = 1, 2, \dots, n$;

Uslovne verovatnoće posteriornih događaja (izrazi koji egzistiraju u formuli (1) računaju se prema formuli (2):

$$P(I_1 I_2 \dots I_p/N_j) = \prod_{k=1}^p P(I_k/N_j); \quad (2)$$

za $j = 1, 2, \dots, n$; pretpostavlja se da su posteriorni događaji $I_1, I_2, \dots, I_p$ međusobno nezavisni.

U slučaju međusobne zavisnosti posteriornih događaja trebalo bi primeniti, umesto formule (2), sledeću formulu:

$$P(I_1 I_2 \dots I_p/N_j) = P(I_1/N_j) \dots P(I_p/I_1 I_2 \dots I_{p-1} N_j); \quad (3)$$

Analiza u modelu JFDN obuhvata pet tipova verovatnoća, dodeljenih odgovarajućim granama DTO. To su:

- priorne verovatnoće alternativa protivnika (prirode), $P(N_i)$;
- uslovne verovatnoće posteriornih događaja, $P(I_k/N_j)$;
- posteriorne verovatnoće alternativa protivnika, $P(N_j/I_k)$;

- totalne verovatnoće grana sa eksperimentom, $P(I_1 I_2 \dots I_p)$;
- uslovne verovatnoće grana sa eksperimentom, $P(I_p/I_1 I_2 \dots I_{p-1})$.

Algoritmi za izračunavanje potrebnih verovatnoća su ugrađeni u softverski program modela, pa nema potrebe ulaziti u detalje. To su, inače, poznate relacije iz teorije verovatnoće.

2.3. Analiza koristi i vrednosti informacija

Cilj analize koristi i vrednosti informacija jeste da se da jednoznačni postupak rangiranja preferabilnosti pojedinih staza i čvorova u DTO, da bi se donosiocu odluke omogućio izbor u uslovima neodređenosti.

Kriterijum rangiranja je maksimalna očekivana vrednost koristi (efekata koji su uvedeni u početnu matricu alternativa), a sa njim je kompatibilan i kriterijum minimalne očekivane vrednosti potpune informacije (pojmovi pomenutih očekivanih vrednosti, kao i način njihovog računanja, detaljno su obrađeni u modelu JFDN).

Elementi ove faze analize situacije su:

- a) korist, kao odabrana mera iskazivanja efekata u početnoj matrici alternativa, e_{ij} (posledice iz početne matrice efekata);
- b) očekivana vrednost koristi za posmatrani čvor, OV;
- c) očekivana vrednost koristi pri određenosti, OV*;
- d) očekivana vrednost potpune informacije za posmatrani čvor, OVPI;
- e) očekivana vrednost informacije uzorka za posmatrani eksperiment, OVIU;
- f) očekivana vrednost čistog efekta uzorka za posmatrani eksperiment, OVEU.

2.4. Sinteza i izbor optimalne odluke

Nakon što su izračunati svi karakteristični parametri, kao pokazatelji preferabilnosti pojedinih čvorova i stepena neodređenosti date situacije, pristupa se selekciji mogućih staza u

DTO, sa ciljem izbora optimalne odluke. Ta selekcija vrši se unatrag, a osnovni kriterijum za selekciju je maksimalna očekivana vrednost koristi. U zavisnosti od toga da li je donosilac odluke spreman da izvrši konačan izbor pri datom stepenu neodređenosti (pri čemu mu kao mera služi odgovarajuća vrednost OVPI), DTO će obuhvatiti manji ili veći broj posteriornih informacija. Međutim, u složenim situacijama, u kojima je potrebno preposteriočno ispitati uticaje različitih mogućih kombinacija posteriornih događaja, odnosno preduzeti mnoštvo eksperimenata sa ciljem smanjivanja visoke početne neodređenosti, analiza situacije i traženja optimalne alternative vezani su sa znatnim logičkim i tehničkim poteškoćama. Dok se tehničke poteškoće mogu savladati brzim proračunom vrednosti karakterističnih parametara pomoću računara, dotle je logička analiza i dalje otežana, zbog velikog broja informacija. Stoga postaje nužno da se dobijeni rezultati prikažu na pogodniji način i izvrši sinteza.

U našem slučaju, to znači da se grupišu sve značajne logičke kombinacije posteriornih događaja (uzoraka informacija) prema stepenu preferabilnosti razmatranih alternativa donosioca odluka. Ako se ovakva analiza mogućeg posteriornog razvoja situacije izradi pre početka odvijanja dejstava (preposteriočno), donosilac odluke će moći da svoj izbor usaglasi sa stvarnim tokom događaja, prihvatajući preporuke modela za identifikovanu kombinaciju indikacija. Kako su u takvoj analizi izračunate i vrednost i OV i OVPI za sve čvorove DTO, donosilac odluke raspolaže i ocenom valjanosti donete odluke (njenom korisnosti), kao i ocenom stepena njene neodređenosti. To se radi u formi koja podseća na tzv. tabelu odlučivanja. U tabeli su razvrstane sve moguće kombinacije posteriornih događaja koje preferiraju jednu te istu alternativu »Crvenog«. Svakako, vrednosti parametara OV, OVPI i ostalih su različite za svaku od tih kombinacija uslova. Na taj način su grupisane kombinacije posteriornih događaja za svaku od mogućih alternativa »Crvenog«. To je shematski prikazano u izveštaju po alternativama. Donosilac odluke treba da uporedi realan tok događaja sa nekom od grana u DTO (da prepozna nastupajuću kombinaciju posteriornih događaja) i da očita šta mu model preporučuje kao optimalnu odluku.

3. Definisane borbene situacije i tok odlučivanja

Na primeru jedne hipotetičke situacije između »Crvenog« i »Plavog«, pokazaćemo prednost Bajesovog modela u analizi borbene situacije i izboru načina dejstava. »Plavi« štiti važne objekte, a »Crveni« ima zadatak da »Plavom« nanese što veće gubitke. Očekivane efekte dejstava izrazićemo brojem uništenih objekata »Plavog«.

a) Alternative »Crvenog« za izvršenje zadatka:

S_1 — Upotreba kombinovane borbene grupe (BG);

S_2 — Napad divizionom artiljerije (DA);

S_3 — Napad jedinice lovačko-bombarderske avijacije (A).

b) Alternative »Plavog« za zaštitu objekata:

N_1 — Dati težište na utvrđivanje i zaprečavanje (UZ);

N_2 — Dati težište na fortifikacijsko uređenje (FU);

N_3 — Ispoljiti težište zaštite na protivvazdušnoj odbrani (PVO).

Proračunom i ekspertskom procenom možemo doći do konsekvenci (efekata) primene odgovarajućih alternativa »Crvenog« i »Plavog«. Te vrednosti su zapisane u sledećoj matrici efekata »Plavog« (tabela 2).

Tabela 2

i \ j		Alternative »Plavog«		
		UZ	FU	PVO
Alternative »Crvenog«	DG	$e_{11}=8$	10	20
	DA	12	6	18
	A	10	18	8
		$P(UZ)=0,4$	$P(FU)=0,4$	$P(PVO)=0,2$

Ako ovako postavljeni problem rešimo primenom teorije igara, kao problem dva lica sa nul-sumom, ni »Crveni« ni »Plavi« ne mogu uključiti dodatne informacije koje smanjuju početnu neodređenost o namerama protivnika. Osim toga, model teorije igara pretpostavlja da se »igra« ponavlja, što se u

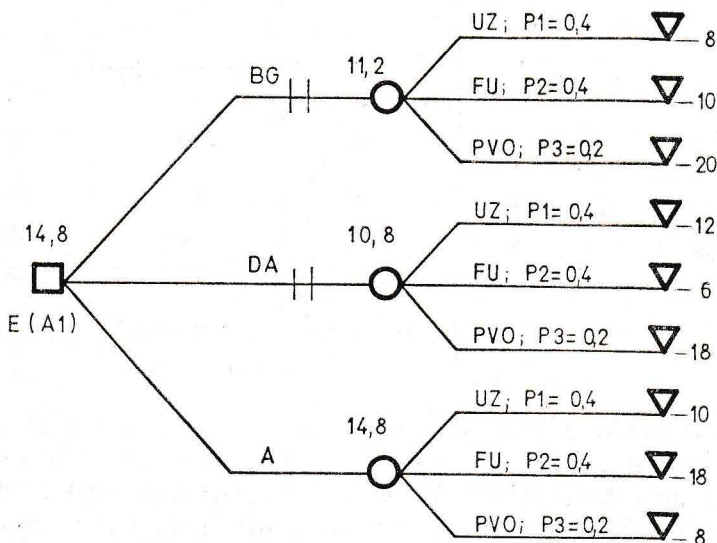
stvarnoj situaciji ne može očekivati. Međutim, u svakoj realnoj situaciji, bez obzira na metod donošenja odluke, komande nastoje da sakupljanjem informacija o ponašanju protivnika smanje početnu neodređenost o njegovim namerama.

»Crveni« dovoljno poznaje taktičku situaciju da može subjektivno da proceni verovatnoće nastupanja raspoloživih alternativa »Plavog«. To su tzv. priorne verovatnoće za svaku od mogućih alternativa »Plavog«. Takođe »Crveni« može da preduzme aktivnosti radi prikupljanja informacija o ponašanju protivnika u fazi njegove pripreme za realizaciju već donete odluke. To su događaji koji omogućavaju proračun posteriornih verovatnoća ponašanja »Plavog« i smanjenje početne neodređenosti. Ovim je donosilac odluke, koristeći naknadne informacije, indikativne eksperimente i svoje ili tuđe procene, smanjio prvobitnu neodređenost konfliktne situacije i problem sveo na odlučivanje pri riziku, tj. omogućio primenu Bajesovog odlučivanja kao metode za analizu borbene situacije i izbor najpovoljnije akcije.

Ako za ovaj hipotetički primer donosilac odluke proceni priorne verovatnoće za alternative »Plavog« kao:

$$P_1(UZ) = 0,4; \quad P_2(FU) = 0,4; \quad P_3(PVO) = 0,2;$$

onda imamo dovoljno podataka da konstruišemo DTO za prioru situaciju (slika 2):



Sl. 2 — Segment A1, bez eksperimenta — priora situacija

Aktivnosti koje »Crveni« može preduzeti radi smanjenja početne neodređenosti nastupanja alternativa »Plavog«, nazivaju se, eksperimenti ili uzimanje uzoraka. U zadatoj taktičkoj situaciji racionalno je preduzeti sledeće eksperimente:

- akcija izviđačke jedinice (I);
- izviđanje avijacijom (A);
- izviđanje obaveštajnom službom (O);
- dvostruka izviđanja sledećim kombinacijama: prvo A, zatim O, A-I, O-A, O-I, I-A, I-O.

Trostruko izviđanje ne bi imalo taktičkog opravdanja.

Kod svakog preduzetog eksperimenta od strane »Crvenog« radi smanjivanja početne neodređenosti, treba predvideti potpuni skup mogućeg reagovanja »Plavog«, kako bi se za svaku od tih reakcija (rezultata eksperimenta) mogle izračunati odgovarajuće uslovne verovatnoće. U našem slučaju reakciju »Plavog« ćemo svesti na dva međusobno isključiva događaja, ali koji obuhvataju potpuni skup mogućeg reagovanja. Tako, na primer, na naš eksperiment vazdušnog izviđanja (A), moguća su dva ishoda kao reakcije »Plavog«:

- Rv »Plavi« otvorio vatru na izviđačke objekte »Crvenog«;
- Sv »Plavi« nije otvorio vatru na izviđačke objekte »Crvenog«.

Slično je i sa ostalim eksperimentima koje »Crveni« preduzima nakon trenutka kada se »Plavi« već odlučio kako će dejstvovati. Jasno je da dobijanje potrebnih podataka o »Plavom«, njegovim namerama, trenutku kada je već izvršio vlastiti izbor akcije, itd. u velikoj meri zavisi od sposobnosti »Crvenog« da prati i simulira ponašanje protivnika (bez toga se i onako ne može odlučivati, bilo da se to radi sa modelima ili tradicionalno). Ono što »Crveni« mora da obavi nakon što se opredelio sa kakvim uzorcima (eksperimentima) će pokušati da smanji početnu neodređenost o namerama protivnika je da izračuna (u stvari da proceni, jer je malo realnih situacija u kojima se to može egzaktno izračunati) tzv. *uslovne verovatnoće*, koje govore o tome kolika je verovatnoća da će »Plavi« reagovati na eksperimentat »Crvenog« na jedan od predviđenih načina (recimo, Rv ili Sv u slučaju vazdušnog izviđanja), ako se *prethodno već opredelio* za prvu, drugu ili treću alternativu.

Izrazi ($P(R_v/U_z)=0,2$ i $P(S_v/U_z)=0,8$) govore da postoji 20 odsto verovatnoće da će »Plavi« reagovati na vazdušno izviđanje »Crvenog« ako se prethodno opredelio za svoju alternativu utvrđivanja i zaprečavanja (UZ), odnosno da postoji 80 odsto verovatnoće da »Plavi« neće reagovati na vazdušno izviđanje »Crvenog« u slučajevima kada se već odlučio na svoju alternativu UZ.

Na isti način treba proceniti i ostale uslove verovatnoće za sve kombinacije rezultata preduzetih eksperimenata i relevantnih alternativa »Plavog«.

One su date kako sledi:

a) Akcija izviđačke jedinice (I)

$$P(R_i/U_z)=0,35$$

$$P(S_i/U_z)=0,65$$

$$P(R_i/PVO)=0,4$$

$$P(S_i/PVO)=0,6$$

b) Izviđanje avijacijom (A)

$$P(R_v/U_z)=0,2$$

$$P(S_v/U_z)=0,8$$

$$P(R_v/FU)=0,3$$

$$P(S_v/FU)=0,7$$

$$P(R_v/PVO)=0,8$$

$$P(S_v/PVO)=0,2$$

c) Izviđanje obaveštajnom službom (O)

$$P(R_o/U_z)=0,9$$

$$P(S_o/U_z)=0,1$$

$$P(R_o/FU)=0,2$$

$$P(S_o/FU)=0,8$$

$$P(R_o/PVO)=0,3$$

$$P(S_o/PVO)=0,7$$

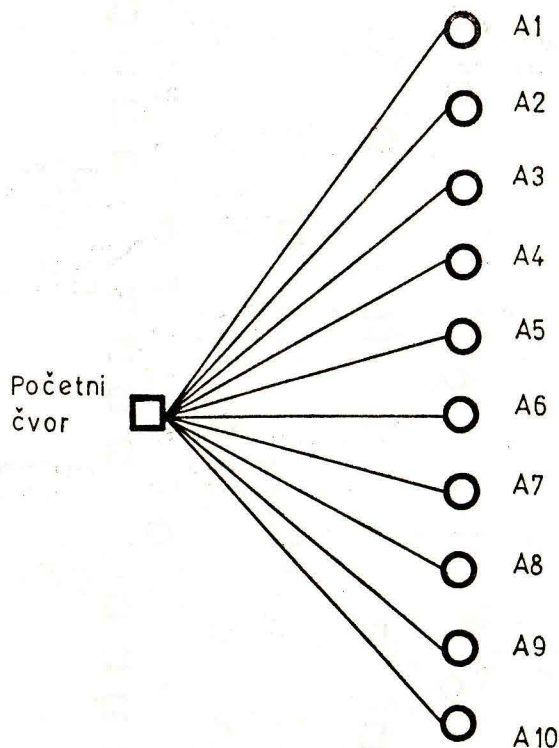
Pomoću ovih verovatnoća izračunavaju se posteriorne verovatnoće nastupanja alternativa »Plavog«, a preko njih i karakteristične vrednosti svih alternativa »Crvenog«.

Eksperimentima dobijene informacije »Crvenog« imaju, takođe, svoju cenu, koju ćemo izraziti ili vremenom čekanja ili gubitkom snaga izviđanja. Ti se gubici izračunavaju u istim jedinicama kao i konsekvence alternativa. Za naš primer ti gubici su procenjeni na $I=1$, $A=1$ i $O=1$.

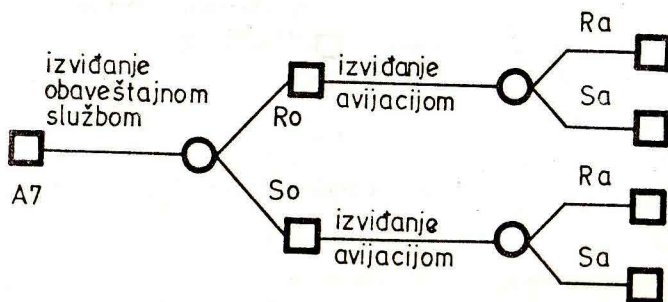
Donosilac odluke može se opredeliti za neke ili za svih deset eksperimenata. Tako se u DTO stvara deset segmenata A_1

do A_{10} (jer je moguća i varijanta bez eksperimenta), koji su prikazani na slici 3:

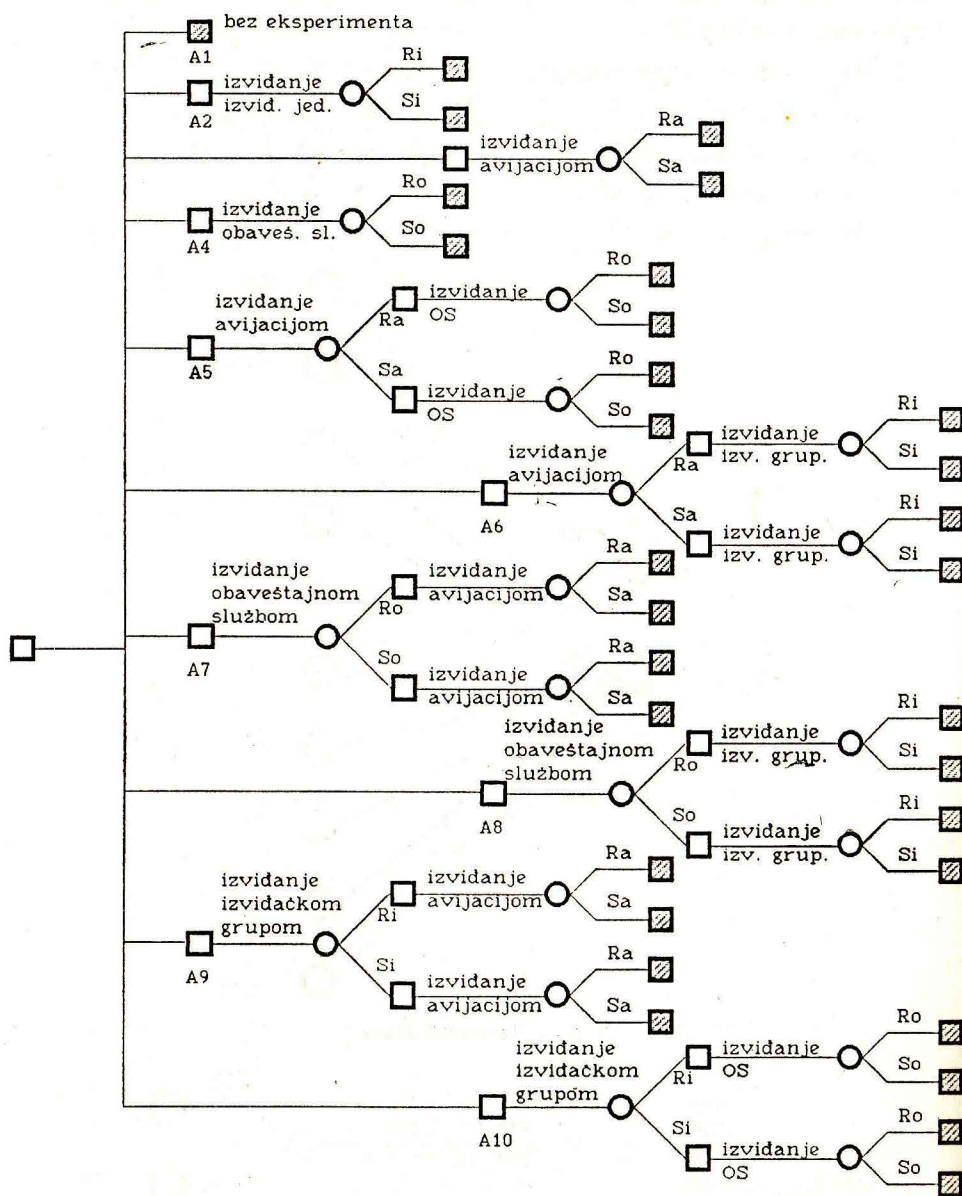
- | | |
|--------------------------|-----------------|
| A_1 — bez eksperimenta | A_6 — A, I |
| A_2 — izviđanje I | A_7 — O, A |
| A_3 — izviđanje A | A_8 — O, I |
| A_4 — izviđanje O | A_9 — I, A |
| A_5 — A zatim O | A_{10} — I, O |



Sl. 3 — Segmenti DTO



Sl. 4 — Segment A_7



Sl. 5 — Grafički prikaz DTO

Na slici četiri je prikazan samo jedan od tih deset segmenata (segment A_7), a na slici pet date su sve moguće kombinacije eksperimenata. Šrafirane kvadratne figure na kraju svake od prikazanih grana, definišu tzv. konačne čvorove odluka, što znači da nakon njih sledi deo DTO sa alternativama »Crvenog« i »Plavog«. Time je završeno formiranje dijagrama toka odlučivanja za datu situaciju.

4. *Proračun vrednosti čvora i sintetički prikaz rezultata*

Nakon što je definisan DTO za analiziranu situaciju, unose se ulazni podaci: (a) elementi priorne matrice efekata; (b) priorne alternative »Plavog« $P(M_j)$, i (c) uslovne verovatnoće (PI/M_j); a zatim se prema opisanoj proceduri u tački dva izračunavaju posteriorne verovatnoće alternativa »Plavog« i vrednosti svih čvorova u datom DTO. Da bi se veliki broj proračuna obavio tačno i brzo, koristi se računar, i to ne samo za proračunavanje svih potrebnih vrednosti, već i za izradu sintetičkog izveštaja. U tom izveštaju određuju se optimalne akcije »Crvenog« u zavisnosti od kombinacija rezultata eksperimenata (rezultata sakupljenih informacija o ponašanju »Plavog«, u toku njegove pripreme za sprovođenje vlastitih zamisli i odluka).

Za odabrani fiktivni primer data su takva dva izlazna pregleda:

a) *Ispis DTO sa odabranim alternativama.* To je ispis preporuka donosiocu odluka (izbor najbolje alternative »Crvenog«) za svaku granu analiziranog DTO. Pošto ispis DTO po granama može biti preobiman, a samim tim nepregledan, za štapske organe i komandanta pravi se sintetički izveštaj u kome se tabelarno sređuju sve kombinacije preposteriornih uslova koje preferiraju jednu te istu alternativu (samo se razlikuju prema stepenu rizika sa kojim se ta alternativa preporučuje) i tako redom za sve uvedene alternative »Crvenog«.

ISPIS DTO SA ODABRANIM ALTERNATIVAMA

AKO NEMA EKSPERIMENTA, ONDA JE ODABRANA ALTERNATIVA A
OBAVI EKSPERIMENTAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI : ODABRANA ALTERNATIVA A
SI : ODABRANA ALTERNATIVA DA

OBAVI EKSPERIMENTAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA : ODABRANA ALTERNATIVA BG
SA : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENTAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO : ODABRANA ALTERNATIVA DA
SO : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENTAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO : ODABRANA ALTERNATIVA DA
SO : ODABRANA ALTERNATIVA BG

SA :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO : ODABRANA ALTERNATIVA DA
SO : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENTAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI : ODABRANA ALTERNATIVA A
SI : ODABRANA ALTERNATIVA BG

SA :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI : ODABRANA ALTERNATIVA A
SI : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENTAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA : ODABRANA ALTERNATIVA DA
SA : ODABRANA ALTERNATIVA DA

SO :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA : ODABRANA ALTERNATIVA BG
SA : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENTAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI : ODABRANA ALTERNATIVA A
SI : ODABRANA ALTERNATIVA DA

SO :

OBAVI EKSPERIMENTAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI : ODABRANA ALTERNATIVA A
SI : ODABRANA ALTERNATIVA BG

OBAVI EKSPERIMENAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI :

OBAVI EKSPERIMENAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA : ODABRANA ALTERNATIVA A

SA : ODABRANA ALTERNATIVA A

SI :

OBAVI EKSPERIMENAT IZA . REZULTATI MOGU BITI:

RA : ODABRANA ALTERNATIVA BG

SA : ODABRANA ALTERNATIVA A

OBAVI EKSPERIMENAT IZI . REZULTATI MOGU BITI:

RI :

OBAVI EKSPERIMENAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO : ODABRANA ALTERNATIVA A

SO : ODABRANA ALTERNATIVA A

SI :

OBAVI EKSPERIMENAT IZO . REZULTATI MOGU BITI:

RO : ODABRANA ALTERNATIVA DA

SO : ODABRANA ALTERNATIVA BG

b) *Izveštaj po alternativama*. U ovom izveštaju za svaku preporučenu alternativu »Crvenog« date su sledeće vrednosti (u odabranim jedinicama merenja efekata alternativa, ili jedinicama »koristi«):

- očekivana vrednost koristi, OV;
- očekivana vrednost koristi pri određenosti, OV*;
- očekivana vrednost potpune informacije OVPI.

Primeru radi, uporedimo preporuku datu »Crvenom« u *Izveštaju po alternativama* da se odluči za svoju alternativu A (za napad lovačko-bombarderskom avijacijom). Ona se ponavlja pet puta, ali ta ista preporuka u slučaju odlučivanja bez naknadnog sakupljanja informacija (prvi red — »Bez eksperimenta«) ima stepen rizika $OVPI = 5,20$ jedinica koristi, a u slučaju odlučivanja ako nastupi kombinacija eksperimenata »IZA-SA« i »IZO-SO« (zadnji red u tabeli) ima stepen rizika $OVPI = 1,89$ jedinica koristi, što je skoro tri puta manji rizik.

Ili drugi primer. Ako nastupi kombinacija uslova »IZO-RO« (šesti red u tabeli), »Crvenom« se preporučuje alternativa DA (napad divizionom artiljerije), ali ta odluka nosi veći stepen rizika nego da se odlučivalo bez eksperimenta ($OVPI = 6,24 > OVPI = 5,20$). To, u stvari, znači da u slučaju odvijanja situacije koja odgovara grani dijagrama toka odlučivanja sa eksperimentom IZO i rezultatom RO nisu povoljni us-

IZVEŠTAJ PO ALTERNATIVAMA

Kombinacija eksperimenata (rezultata uzoraka — indikacija)										Odabrana vrednost konačnog čvora			
										Alter.	OV	OV*	OVPI
Bez eksperimenta										A	12.80	18.00	5.20
IZI RI										A	14.44	18.00	3.56
IZI SI										DA	12.52	18.00	5.48
IZA RA										BG	14.00	20.00	6.00
IZA SA										A	13.38	18.00	4.63
IZO RO										DA	11.76	18.00	6.24
IZO SO										A	14.56	18.00	3.44
IZA RA	IZO RO									DA	13.00	18.00	5.00
IZA RA	IZO SO									BG	15.11	20.00	4.89
IZA SA	IZO RO									DA	11.26	18.00	6.74
IZA SA	IZO SO									A	16.11	18.00	1.89

lovi da se odmah donese odluka, već da se ona odloži, a da se sakupljanjem novih informacija potraži odluka koja će imati niži stepen rizika.

Međutim, sa kojim stepenom rizika se odluka ipak može doneti, odnosno kada treba prekinuti sa analizom novih informacija stvar je samog donosioca odluke. Odluke, naime, ne donosi model, već komandant. Model mu samo daje potrebne elemente za to.

5. Zaključak

U radu je prikazana primena Bajesovog odlučivanja pri analizi borbene situacije, primenom procedure razrađene u modelu *Jezik za formalizaciju dejstava neodređenosti*. Model je vrlo prikladan za pripremu alternativnih načina dejstava u početnom periodu rata, ili u odbrani pojedinih regiona ili ciljeva. Od stepena poznavanja vlastitih mogućnosti i sposobnosti za simulaciju mogućeg ponašanja protivnika direktno zavisi valjanost izgrađenog modela i njegova primena.

Moglo se lako uočiti da *dijagram toka odlučivanja* i odgovarajući *izveštaj po alternativama* mogu poslužiti podjednako uspešno, kako za analizu situacije i pripremu valjanih odgovora na moguće alternative dejstva »Plavog«, tako i kao svojevrsna »radna karta« na kojoj će komandovanje upoređivati realno ponašanje »Plavog« sa predviđenim, te očitavati preporučene alternative »Crvenog«.

Ono što ovom modelu daje posebnu aktuelnost je njegova pogodnost za izgradnju odgovarajućih ekspertnih sistema kao podrške komandovanju. U vreme kada je model JFDN operacionalizovan nije bilo još govora u literaturi o ekspertskim sistemima, pa nije ni mogla biti uočena mogućnost primene u tom smislu. Model pruža odgovore na tri osnovna uslova svakog ekspertnog sistema:

- formalizacija problema, što je obezbeđeno zahtevom da se razrade alternative obe strane i matrica efekata;

- struktuiranje znanja o problemu, što je obezbeđeno sistematskom konstrukcijom odgovarajućeg DTO;

- postojanje upravljačke procedure za korišćenje memorisanog znanja, što je obezbeđeno primenom Bajesove procedure proračuna posteriornih verovatnoća i procedure sin-

teze, sa izborom najpovoljnije akcije prema kriterijumu maksimizacije očekivane »koristi«.

To može biti samo dodatni razlog da se procedura Bajesovog odlučivanja ugradi u softverske programe postojećih taktičkih laboratorija i počne sistematsko izučavanje mogućnosti ovih modela na konkretnim primerima iz prakse.

S U M M A R Y

APPLICATION OF BAYES' DECISION-MAKING MODEL IN ANALYSING COMBAT SITUATIONS AND REACHING DECISIONS

The article presents the procedure of analysis of hypothetical situations of conduct of combat operations by application of the model of language for formalization of impact of indefiniteness, which belongs to the Bayes' family of decision-making models. After giving a description of the model, the author proceeds with the manner of building a diagramme of the decision-making flow (known in English literature as the "decision tree"), which makes the basis for analysing the impact of indefiniteness, and for reaching a decision that entails an acceptable risk. A procedure is portrayed of entering additionally gathered information on the adversary's conduct, the so-called posterior experiments (indices), by which an endeavour is made towards a reduction of the initial indefiniteness in the given decision-making situation. The model permits introduction of a desired number of additional information, which is, however, to a measure limited.

Possibilities are explained for utilization of the synthesis reached by means of the above mentioned model. The synthesis makes either the basis for pre-posterior analysis of possible development of events or the direction for action in the sequence of combat operations proper. It is clear that such analyses should be widely applied in training the staff organs and commanders in selection of most advantageous actions in conditions where indefiniteness and conflicts exist. The level of their applicability is proportionate to the ability of command and control organs to work out realistic scenarios of possible courses of combat operations, and to incorporate with them events that should be in a definite causal connection with already made choice of adversary, by which the initial indefiniteness concerning his intentions is reduced.

The growing use of computers and the increasing need that the indefiniteness should be more subtly controlled when decisions are reached and worked out create a climate of a more intensive relying on modelling of combat situations and on utilization of such models when the commander's decision is formed, which contributes profoundly to increasing the quality of such decisions.

RESUME

APPLICATION DU MODELE DE PRISE DE DECISIONS DE BAYES
LORS DE L'ANALYSE DES SITUATIONS DE COMBAT
ET DU CHOIX DE LA DECISION

Le présent article rend compte du procédé d'analyse d'une situation hypothétique de l'évolution des actions de combat par l'application du modèle intitulé *Langage de formalisation des actions de l'incertitude* — LFAI, qui fait partie des modèles de la famille de prise de décisions de Bayes. L'auteur présente d'abord la description du modèle et le mode de construction du *Diagramme du circuit de décision* — DCD (en littérature anglaise connu sous la dénotation de «Decision tree») qui est le fondement de l'analyse de l'action de l'incertitude et représente le choix d'une décision sous peine d'un risque acceptable. L'auteur présente aussi le procédé d'introduction des informations complémentaires relatives au comportement de l'adversaire, des expériences (indications) a posteriori, moyennant lesquelles on tente de réduire l'incertitude initiale dans une situation donnée de prise de décisions. Le modèle permet l'introduction d'un nombre voulu d'informations complémentaires, lequel est, pourtant, censé avoir des limites.

Dans son livre, l'auteur explique les possibilités d'utiliser la synthèse obtenue à l'aide du modèle LFAI, soit en tant que base d'une analyse a posteriori du développement possible des événements soit en tant qu'instruction à suivre pour agir au cours du déroulement même des actions de combat. Il est clair que de telles analyses doivent être largement appliquées lors de la formation des organes d'Etat-major et des commandants en vue de choisir les actions les plus convenables dans les conditions dictées par l'incertitude et les conflits. Le degré de leur applicabilité est proportionnel aux capacités des organes du commandement d'élaborer les scénarios possibles de l'évolution des actions de combat et de leur associer les événements qui sont dans un rapport de causalité avec le choix déjà fait par l'adversaire, ce qui contribue à réduire l'incertitude initiale relative aux intentions de ce dernier.

L'extension de l'application de l'ordinateur et le besoin pressant de réduire l'incertitude à un contrôle plus subtil lors de la prise de décisions concourent à créer le climat dans lequel le recours aux modèles de situations de combat et l'exploitation de ces dernières lors de la prise de décisions au niveau du commandement se font avec plus d'intensité, ce qui influe à faire accroître essentiellement la qualité de ces décisions.

РЕЗЮМЕ

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙСОВСКОГО СПОСОБЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ БОЕВОЙ ОБСТАНОВКИ И ВЫБОРЕ РЕШЕНИЯ

В статье показывается поступок анализа гипотетичной обстановки проведения боевых действий, применением модели *Язык для формализации действий неопределенности* — ЯФДН, который относится к моделям из семьи байсовского принятия решений. В начале дается описание модели и способа строительства *Диаграммы течения принятия решения* — ДТТР (известной в английской литературе как „Decision tree“), являющейся основой иля анализа влияния неопределенности и выбора решения при приемлемом языке. Показан поступок ввода дополнительно собранных информаций о поведении противника, так называемых постериорных эксперимента (индикаций), при помощи которых пытаются понизить начальную неопределенность в данной обстановке принятия решения. Модель обеспечивает ввод желаемого количества дополнительных информаций, что, однако, имеет свои ограничения.

В труде объясняются возможности использования синтеза, полученного при помощи модели ЯФДН, либо как основания для препостериорного анализа возможного развития событий, либо как инструкции для акции в ходе проведения боевых действий. Очевидно, что такие анализы должны широко применяться при подготовке штабных органов и командиров для выбора наиболее выгодных акций в условиях неопределенности и конфликта. Степень их применяемости зависит от способности командных органов разработать реальные сценарии возможного хода боевых действий и подсоединить к ним события, которые должны быть в определенной причинной связи с уже совершенным выбором противника, чем уменьшается начальная неопределенность в отношении его намерений. Распространение применения вычислителей и повышение потребности более тонко контролировать неопределенность при принятии решений создают климат, требующий более интенсивно опираться на моделирование боевых ситуаций и их использование при оформлении решения командования, что вносит существенный вклад в повышение качества этих решений.