



Методе и технике које се најчешће примењују као помоћ у одлучивању и истраживању у војним организационим системима

УДК 355/359

Др *Радован Максић*, пуковник и
др *Василије Мишковић*, потпуковник

У чланку су приказане карактеристике модела, метода и техника које се примењују као помоћ у одлучивању и истраживању појава и процеса који се одвијају у војним организационим системима. Поред тога, наведене су и нове математичке теорије које чине њихову теоретску подлогу, као и настанак, развој, садашње стање и тренд њиховог развоја. Примери решавања неких проблема наведени су само као илустрација могућности да се поједине методе и технике примене као помоћ у одлучивању и истраживањима у војним организационим системима у случају да су везани за борбена дејства или да се ради о некој другој класи проблема.

Увод

Основне карактеристике оружане борбе јесу изузетна сложеност појава и случајност процеса који се одвијају у простору и времену. Динамика промена стања окружења и тешко предвидива понашања људи у борби само су део проблема са којима се сусрећу доносиоци одлука и истраживачи појава у борбеним дејствима. Поуздане прогнозе о будућим дејствима веома је тешко поставити без обзира на то које се методе примењују у истраживању. Основна обележја свих дејстава која су реализована у прошлости јесу специфичности друштвено-историјских услова, материјалних ресурса и окружења. Идеја да све што је мерљиво треба измерити и довести у одговарајући однос ради анализе и даље је актуелна, али остаје проблем како да се реализује. Појаве везане за оружану борбу није могуће у потпуности истраживати кроз здружено-тактичке и друге вежбе због великих трошкова везаних за те активности и бројних других разлога. Основни разлог је чињеница да је свака вежба само једна од мноштва могућих реализација. Вежбе треба организовати ради провере одређених решења, увежбавања, одређених снимања и мерења, па и ради истраживања појава.

Бројни истраживачи се баве проблемима динамике борбених дејстава, настајањем губитака у времену и простору, димензионисањем и распоредом снага и средстава и димензионисањем и распоредом ресурса логистичке подршке. При томе примењују аналитичке моделе, симулационо моделовање, хеуристичке методе и комбиноване моделе, уз примену свих наведених модела. У различитим изворима (књиге, часописи итд.) најчешће се појављују радови са применом аналитичких модела у истраживању, при чему су математичке релације коректно изведене и доказане, а понекад се прилаже и алгоритам и програм за рачунар. На крају, готово по правилу следе објашњења да је тешко или немогуће одредити потребне параметре за улаз. Радови у којима се као основни апарат за истраживање користе симулације на рачунару и уопште савременије методе, кад су у питању истраживања везана за војне системе и појаве оружане борбе, ретко се објављују, а детаљи истраживања се обично чувају као војна тајна.

Настанак, развој и примена метода у решавању војних проблема

Услови у којима командант одлучује карактеришу неодређеност и неизвесност. Успостављање квантитативних односа смањује неодређеност и тиме омогућава доношење боље одлуке. Значај квантитативних показатеља за доношење одлука ради оптималног управљања сложеним динамичким процесима (у ту класу спадају и процеси везани за оружану борбу) уочен је још у првим радовима који су се појавили у области ратне вештине. Тако је познати кинески војни теоретичар и војсковођа Сун Цу Ву, пет векова пре нове ере, у делу *Вештина ратовања* писао: „Победоносни генерал састављао је у својој глави многе прорачуне пре него што је битка започета. Поражени генерал их је такође састављао само превише мало. На тај начин мноштво прорачуна води до победе, мало прорачуна води у пораз. Што је било мање прорачуна, тиме је боље припремао пут поразу. С обзиром на ову чињеницу, у стању сам да предвидим чија ће бити победа, а чији пораз. Сличан став¹ се јавља и код неких руских научника и војних теоретичара.

Развој математике, а посебно развој теорије вероватноће и математичке статистике омогућили су појаву и развој нових математичких дисциплина и мноштво метода и техника којима се решавају проблеми квантитативних односа у појавама у скоро свим подручјима људске делатности.

Мада су неке законитости случајних појава биле познате и раније, појава теорије вероватноће везује се за другу половину 17. и почетак 18. века, и за имена Паскала, Ферме и Хајгенса. Првом књигом о теорији вероватноће сматра се Хајгенсова књига *О рачуну у хазардним*

¹ „Математика, а посебно теорија вероватноће, најмоћније је оружје у савременим војним системима само се њиме треба разумно користити, јер у савременим условима прогнозировать значи прорачунати“ (М. Самарџић, *Операциона истраживања у управљању и командовању*, ВВШ ЈНА, Београд, 1972).

играма. Формирање теорије вероватноће као науке везује се за швајцарског математичара Јакоба Бернулија и његову књигу *Трактат о науци предвиђања*. Развој теорије вероватноће настављен је кроз радове Лапласа, Гауса, Симпсона, Бајеса, Ојлера, Д. Бернулија, Буфона, Пуасона и других. У другој половини 19. века у Западној Европи је владао став да је теорија вероватноће само математичка забава, па је стога настао застој у развоју теорије вероватноће. За то време развијала се руска школа теорије вероватноће, почев од Остроградског и Буњаковског, преко Чебишева, чији рад су наставили Марков и Љапунов. Радови тих научника су омогућили да се теорија вероватноће почне примењивати, што је поново изазвало интерес за теорију вероватноће у Западној Европи и Америци. Примена теорије вероватноће у различитим подручјима условила је разматрање њених логичких основа. Аксиоматику теорије вероватноће објавио је прво Бернштајн, 1917. године, а затим Колмогоров 1933. године. Након тога отпочет је нагли развој теорије вероватноће у различитим смеровима.

Математичка статистика, као научна дисциплина, почела се развијати почетком 20. века. У савременој математичкој статистици развијају се три области: теорија естимације, теорија провере статистичких хипотеза и теорија планирања експеримента. Развој математичке статистике везан је за име Пирсона, Фишера, Кетла, Нејмана, Валда, Колмогорова, Смирнова, Лемана, Вољфовица итд. Практична примена математичке статистике ширила се на различите области, тако да сада готово нема подручја истраживања у којем се не примењује. Значај и могућности примене теорије вероватноће, а касније и математичке статистике, уочени су у подручју војних система мада више интуитивно, још у 19. веку, када су официри високог ранга у Француској слушали курсеве из теорије вероватноће. Теорија вероватноће и математичка статистика, као области математике, издвојене су јер имају посебан значај у изучавању појава, процеса и функционисања војних организационих система. Идеја о могућности комплексне примене математике у анализи војних ситуација јавила се у току Првог светског рата. У радовима Ланчестера разматра се однос снага и наоружања као фактора победе. Истовремено, у САД Едисон је радио на градњи метода за откривање и уништавање подморница, избегавању подморничких напада, заштити трговачке морнарице, и другом. Ти радови у изворном облику нису имали значајнију практичну примену, али су послужили за градњу нових метода.

Пред Други светски рат парцијално су решавани проблеми, без теоретског уобличавања метода. На нашим просторима пуковник Ивановић је формулисао и решио транспортни задатак који је, касније теоретски уобличен, познат као Хичкоков проблем. У Енглеској је Рове, који се бавио проблемима радио-локације, дошао на идеју да се у случају рата формира група истраживача која би помогла при изналажењу оптималних решења. Током 1941. године та идеја је заживела у Енглеској и Сједињеним Америчким Државама. У Енглеској су

при Адмиралитету, формиране групе за операциона истраживања које су прерасле у армијску групу за операциона истраживања. Затим је формирана група за операциона истраживања при команди ловачке авијације и групе за операциона истраживања ради побољшања одбране против надмоћнијег непријатеља. Бавиле су се откривањем и уништењем подморница и авиона, смањењем губитака бродова трговачке морнарице који су се кретали у конвојима, предвиђањем ефеката бомбардовања и избором најпогоднијих циљева за бомбардовање итд. Постигнути резултати су били веома значајни. На пример, уништење подморница повећано је за 400–700 одсто само променом дубине на којој се темпирају противподморничке бомбе.

У САД истраживачке радове су заједно започели ваздухопловство и морнарица. Убрзо након почетка Другог светског рата укључени су аналитичари у штабне групе при команди ваздухопловства. Формирано је двадесет шест група са више од четири стотине официра и цивила. Чланови тих група претходно су завршили курсеве на Технолошком институту у држави Масачусетс. У Вашингтону је формирано Одељење за операциона истраживања, које се бавило регрутацијом и обуком кадра, а при морнарици САД Секција за операциона истраживања и група при лабораторији артиљеријске поморске службе. Резултати рада тих група су систематизовани и објављени.²

Градња и развој метода операционих истраживања започети су у току Другог светског рата на војним проблемима. Након рата, кадар из ратних група за операциона истраживања већином је демобилисан и прешао је у привреду. Тиме се подручје примене тих метода знатно проширило, а њихов развој је доживео експанзију. Примена метода операционих истраживања у решавању војних проблема није престала. У Енглеској, САД, Француској, Немачкој, Швајцарској и другим земљама у оружаним снагама постоје групе које се баве операционим истраживањима. У тим земљама, као и у НАТО-у, ради се мноштво студија применом метода операционих истраживања.

Развојем математичких и других метода под заједничким називом операциона истраживања формирана је нова област науке, која се бави изучавањем проблема избора решења организације и управљања процесима с намером да се достигне постављени циљ на најрационалнији могући начин, уз поштовање постављених ограничења. Значи, та област науке бави се истраживањем количинских показатеља за доношење одлука ради оптималног управљања сложеним динамичким системима.

Поред метода које припадају, према условној класификацији, операционим истраживањима, нешто пре, упоредо или нешто касније развијале су се и друге методе и технике. Неке од њих се групишу у скупове метода по сродности и полако добијају обележја математичких

² М. Ф. Мерз и Д. Е. Кимбел, *Методы исследования операций*, „Советское радио“, Москва, 1956.

теорија. Мада већина нема опште прихваћену аксиоматику, тренд развоја показује кретање у том смеру. Најпознатије и најчешће примењиване јесу: теорија масовног опслуживања, теорија препознавања облика, теорија управљања залихама, теорија одлучивања и техника мрежног планирања. *Теорија масовног опслуживања* појавила се почетком 20. века као једна од области теорије вероватноће. Решавајући проблеме опслуживања телефонских абонената, А. К. Ерланг, дански математичар, поставио је основе теорије масовног опслуживања. Развојем теорије масовног опслуживања ширила се и њена област примене, између осталог, и на војне проблеме. *Теорија препознавања облика*, као научна дисциплина, почела се развијати педесетих година 20. века као последица развоја рачунарске технике и технологије.³ Једна од њених значајних особина *дисциплине* јесте широк фронт специфичних проблема који се решавају с ослоном на њен теоријски апарат. Почетак развоја математичких метода за *оптимизацију залиха* везује се за Ф. Хариса, који је 1915. године објавио прве формуле, на којима су радили многи научници. Међутим, до Другог светског рата сва решења су се односила на детерминистичку потражњу. Тек за време рата развијен је први стохастички модел залиха, популарно назван „модел новогодишње јелке“. Након Другог светског рата појавили су се радови који чине основе савремене теорије залиха. Развојем модела залиха и метода управљања залихама, теорија залиха све више добија карактер посебне научне дисциплине. *Теорија одлучивања* је релативно нова научна дисциплина. До шездесетих година 20. века научници су, углавном бавећи се практичним проблемима, развијали различите методе и технике ради добијања оптималних решења. Након тог периода почињу се анализирати проблеми одлучивања с некантитативног аспекта, односно одлука највише зависи од преференције коју додељује доносилац одлуке разматраној ситуацији. На тај начин део теорије одлучивања постаје *теорија корисности*. Развој рачунарске технике и информатике омогућио је примену симулација и метода вишекритеријумског одлучивања, што је било даљи подстрек за развој теорије одлучивања.

Крајем педесетих година појавиле су се две технике мрежног планирања, 1957. године *метод критичног пута (Critical Path Method)* и 1958. године *техника процене и ревизије програма PERT (Program Evaluation and Review Tehnique)*. Те две технике су развијене у САД на систему планирања радова на одржавању и генералном ремонту у процесној индустрији и на пројекту изградње ракетног система „Поларис“. Поред две основне технике, појавиле су се и друге. На пример, у Француској је упоредо развијен потенцијални метрички метод МРМ (*Metra Potential Method*). Мноштво техника чине проширење и разне

³ С почетком развоја те научне дисциплине није се каснило у нашој земљи. Позната „Београдска шака“ је резултат примене те научне дисциплине. У Институту „Михајло Пупин“ у Београду, на протези шаке су уграђена три претварача за мерење релативног положаја прстију. Постигнуто је успешно препознавање класе лопти и класе цилиндара.

варијанте два основна метода, као што су *PERT-Time*, *PERT-Cost Management*, *CPPS*, *RAMPS*, *AMT*, *ASTRA*, *PEP*) итд.

За потребе армија многих земаља рађене су бројне студије и пројекти уз примену развијених метода и техника, а кроз рад на студијама и пројектима развијане су нове или модификоване развијене методе и технике. Студије и пројекти су рађени из области које се могу груписати на следећи начин:

- одбрамбена политика и стратегија;
- општи модели борбених дејстава;
- техничка борбена средства;
- ратне игре;
- снабдевање;
- одржавање;
- кадровска питања;
- обука;
- наоружање и војна опрема.

Примена наведених метода омогућава да се, апстракцијом конкретних случајева, успоставе зависности и формулишу законитости у структури појава. Тиме се у процесима прогнозирања, процесима доношења одлука и проналажењу оптималних решења у одлучивању може смањити утицај субјективизма и отклонити тежња за линеаризацијом у човековом мишљењу.

Модели, методе и технике

Суштина аналитичких модела се своди на примену егзактних математичких метода ради истраживања појава у оружаној борби. Оружана борба се декомпонује на догађаје и активности ради коришћења нумеричких метода и примене адекватних електронских рачунара за израчунавање жељених података. Зависно од начина математичког описивања, најчешћи аналитички модели оружане борбе описани су диференцијалним једначинама и системима диференцијалних једначина, или модели описани алгебарским или трансцедентним једначинама и системима једначина. У повезивању прогнозиране величине с осталим значајним величинама, најчешће богатију информацију носе модели описани диференцијалним једначинама и системима једначина.

Основе за такав приступ поставио је Ф. В. Ланчестер 1914. године, који је описао диференцијалним једначинама параметре бројног стања противничких страна у току борбе. Сукобљене стране се међусобно исцрпљују и настају губици у људству и материјалним средствима током борбених дејстава. Ланчестеров приступ омогућује опис промене величина снага оба противника диференцијалним једначинама. До сада су урађене разноврсне модификације основног модела, које се односе на хомогеност (исти борбени системи, једнаке могућности с различитим коефицијентима исцрпљивања) или хетерогеност снага. У диференцијалним једначинама којима се описује динамика борбе узимају се у

обзир различити фактори који утичу на организацију дејстава: увођење резерви, резерве и залихе, претходна дејства, јединице различитог типа итд. Без обзира на сва математичка извођења и теоријску оправданост таквог разматрања, евидентни су недостаци тих модела у истраживањима у којима треба да се добију практични, употребљиви резултати. Основни недостаци аналитичких модела Ланчестеровог типа јесу тешкоће око дефинисања закона промена коефицијената исцрпљивања снага по времену, увођења промена које реално настају акцијом људског чиниоца у борби и релативно великих ограничења када се примењују на реалне проблеме истраживања. Ипак, за одређене пресеке стања у анализи се могу применити ти модели, на пример, Динеров модел за анализу губитака итд.

Методe линеарног програмирања (Симплекс метода, метода додељивања, транспортни проблем итд.) примењују се када треба оптимално распоредити ресурсе и у том подручју има много радова. Проблем динамике се веома тешко може решавати коришћењем тих метода операционих истраживања. Када се другим методама истражи динамика борбених дејстава и дође до одређених статистика, методе линеарног програмирања могу да буду веома корисне за одређивање, на пример, организацијско-формацијских структура јединица, распореда ресурса за обављање разних задатака из домена позадинског обезбеђења итд.

Теорија игара (ређе коришћени назив је теорија конфликтних ситуација) чини математичку теорију за моделовање и решавање конфликтних ситуација у којима противници имају супротне интересе, или барем један играч има свој интерес. Њен развој почиње радовима Нојмана и јавља се као најстарији облик линеарног модела. Предмет теорије игара је анализа понашања учесника у конфликтним ситуацијама, односно проналажење најбољих начина дејства у условима које намећу конфликтне ситуације. Игра је математички модел реалне конфликтне ситуације, а понашања противника и сама игра имају своја правила. Јасно је да постојање скупа правила значи да је игра апстракција реалне ситуације и да су неке варијанте понашања противника ограничене или искључене. Међутим, то не значи да су ти модели непримењиви. Игре које су предмет решавања проблема методама теорије игара могу да се поделе у различите групе према различитим критеријумима.

Према критеријуму природе противника, игре се деле на две групе: *игре са „разумним“ противником* и *игре са „природом“*. Основна разлика између њих је у томе што „разумни“ противник бира најбољу стратегију у односу на избор другог противника, док „природа“ поступа независно од избора стратегије противника.

Игре се према критеријуму познавања стања и намера противника деле на: *игре са потпуном информацијом* и *игре са непотпуном информацијом*. У војној пракси најчешће се јављају игре са непотпуном информацијом.

Према критеријуму броја учесника, игре се деле на: *игре са два учесника* и *игре са више учесника*.

С обзиром на критеријум могућих варијаната дејства које учесници могу да користе, игре се деле на: *коначне игре* (с коначним бројем стратегија) и *бесконачне игре* (могући број стратегија је бесконачан).

Игре се могу поделити и према другим критеријумима. Најчешћа у војној примени, а и највише разрађена, јесте теорија игара са два противника и нултом сумом (алгебарски збир добитака и губитака једне стране једнак је нули). Противници теже супротним циљевима, што значи да повећање добити једног, значи смањење добити другог противника.

Нелинеарно програмирање је метода, односно скуп специјализованих метода за решавање проблема у којима функција критеријума није линеарна или се ограничења у којима се тражи оптимално решење не могу приказати скупом линеарних једначина или неједначина. Значи, функција критеријума или ограничења није линеарна. Најчешћи су следећи случајеви:

- функција критеријума није линеарна, а ограничења су линеарна;
- функција критеријума је линеарна, а ограничења су нелинеарна;
- функција критеријума није линеарна, а ограничења се не могу изразити скупом линеарних једначина и неједначина.

С обзиром на наведене случајеве и на различите могуће облике нелинеарности разрађене су, или се разрађују, специјализоване методе за изналажење оптималних решења (на пример, целобројно програмирање, квадратично програмирање итд). При решавању комплексних нелинеарних проблема изналажење оптималних решења у већини случајева захтева веома комплексне и сложене поступке.

Целобројно програмирање, као метода операционих истраживања и специјализована метода нелинеарног програмирања, користи се у истраживању појава везаних за борбена дејства. У литератури⁴ је обрађен проблем оптималног распореда наоружања у нападу на појасно организовану одбрану. Метода целобројног програмирања комбинована је са захтевом за минимизацијом трошкова. С обзиром на ограничења која та метода намеће, за решавање проблема је развијен хибридни модел, који подразумева хеуристику. Када је створен такав модел, у који су уведени параметри вероватноће (ближи реалној ситуацији), поред осталог, добијен је резултат (потребан број ракета за напад) већи од „оптималног“. Аутор (Д. Орлин) каже да комбинација два прилаза обезбеђује реалнија решења проблема распореда оружја за напад, а такав приступ треба да буде мотивација за будућу градњу бољих хибридних модела.

Динамичко програмирање је метода која се користи у решавању проблема динамичких процеса када треба у различитим временским

⁴ D. Orlin, *Optimal Weapons Allocation Against Layered Defenses*, „Nava Research Logistics“, Vol. 34, 1987.

интервалима доносити више одлука које утичу једна на другу.⁵ Примењује се у планирању динамичких задатака управљања, као што су вишестепени процеси одлучивања. Као метода операционих истраживања примењује се у истраживању појава везаних за оружану борбу и позната је, најчешће, као метода за решавање проблема минимум-максимум. У литератури⁶ је методом динамичког програмирања, на пример, решен проблем оптималних стратегија за нападача и браниоца у случају истовременог напада на простор браниоца, при чему бранилац сазнаје за напад после његовог почетка. Бранилац покушава да распореди своје снаге тако да максимизира математичко очекивање преживљавања, а нападач да минимизира очекиване губитке против најбоље организоване одбране. Уведена ограничења су, на пример, истовременост удара свим средствима, бранилац може своје ресурсе да премешта тек пошто открије напад, сви нападачи су идентични и могу уништити циљеве противника с истом вероватноћом итд. Аутори (О'Меара и Соланд) напомињу да за проблеме са већом количином података треба користити рачунаре одговарајућих могућности и водити рачуна о трошковима при решавању таквих проблема.

Стохастичко програмирање, као метода, примењује се за изналажење оптималних решења у проблемима у којима су параметри, који улазе у функцију критеријума и ограничења, случајне величине. Често примена метода линеарног програмирања у решавању тих проблема не даје добре резултате, јер се чини груба грешка апроксимацијом случајне величине њеном средњом вредношћу или математичким очекивањем. Метода стохастичког програмирања може се применити уколико су испуњени услови линеарности и код функције критеријума и код ограничења. Решавање проблема методом стохастичког програмирања захтева веома сложен математички апарат. У процесима који се одвијају и проблемима који се јављају у војној пракси, по правилу, делују случајни фактори, па је примена те методе понекад нужна.

Методе вишекритеријумског рангирања (вишекритеријумско програмирање, векторска оптимизација) користе се за решавање проблема оптимизације две или више функција циља на скупу могућих решења. Постоје различити приступи решавању тих проблема, па су, према различитим приступима, развијене и различите методе, зависно од тога који је проблем решаван. Зато су поједине методе мање или више примерене решавању одређене класе проблема. Постоји мноштво метода и фамилија метода, (на пример, *POP*, *STEM*, *SEMOPS*, *MENOR*, *ANP*, *TOPSYS*, фамилија метода *ELECTRE*, фамилија метода *PRO-METHEE* итд.). Осим њих, и класичне једнокритеријумске методе су

⁵ Аутор методе динамичког програмирања Р. Белман дао је следеће запажање: „Оптимална одлука поседује следећу особину: без обзира на почетно стање и почетну одлуку касније одлуке морају да формирају оптималну политику с обзиром на стање система које произилази из прве одлуке“.

⁶ N. T. O' Meara, R. M. Solaud, *Optimal Strategies for Problems of Simultaneous Attack Against an Area Defense without impact – Point Prediction*, „NRL“, Vol. 38, 1991.

модификоване за решавање проблема оптимизације две или више функција циља. Неке од њих су двокритеријумски симплекс, двокритеријумски и трокритеријумски транспортни проблем, мултиатрибутни проблем асигнације, вишекритеријумско хиперболично рангирање итд.

Методe вишекритеријумског рангирања се све више користе у истраживању неких појава везаних за оружану борбу. На основу података из праксе (савремени ратови, вежбе и друге војне активности) и теорије, као и података обрађених на основу мишљења експерата, може се, применом метода вишекритеријумског рангирања, доћи до најбољих варијаната решења. Најчешће се те методе примењују када треба решити проблем организације, јер се јављају различити, често и противуречни критеријуми. Суштина наведених метода је усаглашавање критеријума различитог ранга и степена важности с различитих аспеката и изналажење најбоље варијанте. При томе се варијантна решења рангирају према ваљаности.

Теорија масовног опслуживања се појавила као област теорије вероватноће почетком 20. века, када су решавани проблеми опслуге телефонских претплатника. Сада је проширена употреба те теорије на индустрију, медицину, саобраћај, војне науке итд. Решавање задатака применом теорије масовног опслуживања значи одређивање међусобних веза између показатеља ефикасности система опслуживања и карактеристика токова захтева за опслуживањем. У страним и домаћим војним часописима могу се наћи бројни чланци у којима се применом теорије масовног опслуживања решавају проблеми опслуживања техничких материјалних средстава (попуна горивом и муницијом, оправка итд.). Проблеми гађања циљева у ваздушном простору, анализе могућности ракетних и других система такође се решавају применом теорије масовног опслуживања. Поред значајних могућности примене, та теорија има и одређених ограничења када се примењује у војним истраживањима, поготову за појаве у оружаној борби. Тачне релације се могу израчунати када је заступљена ординарност, одсуство последица (регуларност протока догађаја, где они следе један за другим, а време опслуживања има експоненцијалну расподелу) и стационарност. Постоји много случајева у којима се могу извести поједностављења и применом теорије масовног опслуживања доћи до жељених квантитативних резултата. За случајеве у којима се истовремено одвија више сложених процеса с изразитим међусобним утицајем, или се одвијају непуасоновски процеси, теорија масовног опслуживања се не може користити.

Техника мрежног планирања је техника планирања и вођења пројеката, која омогућава еластичније, сигурније и оперативније планирање, анализирање и вођење пројеката различите намене у области привреде, науке, војне организације и других делатности. Области у којима се она примењује стално се проширују и чине је све значајнијом. Њеном развоју и примени посебно је допринео развој рачунарске технике. Техника мрежног планирања не искључује класичне методе планирања, него их допуњава и употпуњава.

У мрежном графу одбачена је временска размера, чиме је добијен једнозначни графички приказ редоследа и међусобних логичких зависности за сваки сегмент у обављању комплексног задатка. Временска димензија пребачена је у посебну фазу, која се обавља након што је формиран графички приказ реализације пројекта. На тај начин, мрежни план се формира у две фазе, кроз фазу анализе структуре и фазу анализе времена.

Технике мрежног планирања имају значајна преимућства над класичним методама планирања и управљања, а основне предности су:

- економисање снагама, средствима и временом;
- обезбеђује планирање и контролу сложених пројеката на неколико праваца истовремено;
- омогућава проналажење уских грла и њихово отклањање;
- обезбеђује очигледност и погодност за схватање плана у целини и по деловима;
- омогућава прогнозирање могућих одступања од плана и њихове последице;
- омогућава примену просте методике измене, прецизирања и допуне плана;
- погодна је за примену рачунарске технике итд.

Развојем технике мрежног планирања омогућио је формирање нове научне дисциплине – управљање пројектима.

Теорија препознавања облика има велике могућности примене у војним системима. „Препознавање облика је изразито интердисциплинарна област, јер се проблеми препознавања могу формулисати и припремити за решавање у веома различитим дисциплинама“.⁷ Према садржају и достигнутом степену развоја, теорија препознавања облика је мање јединствена математичка теорија, с опште прихваћеном аксиоматиком, и ближе је скупу сродно оријентисаних метода које су развијене према захтевима постављених практичних проблема. Основни проблем којим се бави теорија препознавања облика је класификовање објеката.⁸ У најширем смислу, разликују се два основна типа класификовања:

- сврставање, када се утврђује припадност класи објеката за које та припадност није унапред позната, за разлику од класа објеката;
- разврставање, када класе објеката нису унапред познате, него се образују у току процеса класификације према одређеним својствима скупа објеката.

Приликом решавања проблема карактеристичне су фазе издвајања карактеристичних атрибута посматраног облика, редукција броја карактеристичних величина и доношења одлуке, односно класификације. Суштина препознавања облика је процес којим се нови улазни облик

⁷ Д. Ацтека, *Одабрана поглавља теорије препознавања облика са применама*, Институт за математику, Нови Сад, 1986.

⁸ Објекат је основни појам који се не дефинише. Може да буде конкретан, ако при његовом опажању главну улогу имају чула, или апстрактан, ако у његовом опажању главну улогу имају сложени мисаони процеси (Д. Ацтека, *исто*).

препознаје као члан неке од познатих класа упоређивањем његових атрибута с атрибутима облика познате класе.

Примена статистичке теорије једна је од метода којом се вероватноћа погрешне одлуке у препознавању облика своди на минимум. За доношење одлуке – класификације, циљ је максималан број непогрешивих препознавања, па се у ту сврху граде рачунарски програми са тзв. надгледаним и ненадгледаним учењем. Суштина тих захвата је повећање броја запамћених информација којима се утиче на смањење вероватноће погрешке при препознавању облика.

Резултати примене наведене научне дисциплине о којој је реч видљиви су приликом развоја и усавршавања средстава наоружања и војне опреме, као и у домену градње експертских система за помоћ при одлучивању везаном за борбена дејства. Област вештачке интелигенције и њен развој повезани су са развојем теорије препознавања облика, која је једна од базичних области вештачке интелигенције. Примери примене теорије препознавања облика су многобројни. Овде ће бити наведена само два. Један од њих је анализа сцене⁹ коју чини скуп метода заснованих на могућностима рачунарске технике, чији је задатак да упросте и опишу дводимензионалне слике. Захтев рачунару је да опише сцену приказану сликом, а опис слике се своди на одговор на једно од следећих питања:

- да ли слика приказује одређени предмет?
- набројати и именовати предмете приказане на слици;
- да ли две слике приказују исти предмет?

Други пример је препознавање појединих типова авиона на основу радарских сигнала¹⁰ које се заснива на бајесовском одлучивању (класификовање). Предмет бајесовског класификовања је екстраховани ехо-сигнал. Екстракција сигнала се спроводи с обзиром за фазу, фреквенцију, Доплеров ефекат или амплитуду. Пре класификације екстрахованог ехо-сигнала обавља се припрема, односно сигнал се подвргава низу тестова, на основу којих се елиминишу сигнали за које се са високом вероватноћом може претпоставити да не потичу од неког циља.

Теорија „fuzzy“ скупова¹¹ (расплинути скупови, неразговетни скупови) зачета је радовима Задеха 1965. године. Након појаве првих радова, објављени су бројни радови, а њихов број се стално повећава. Усмерени су у два правца: у правцу развоја теорије „fuzzy“ скупова као теорије, и у правцу решавања практичних проблема применом наведене теорије. Подручје њене примене шири се на различите области људске делатности (поред примене у управљању организационим системима, примењују

⁹ З. Стојиљковић, *Препознавање облика* (предавања на ПДС ТОб у ВТА ВЈ, Београд, 1996).

¹⁰ Д. Ацтека, *исто*.

¹¹ Теорија „fuzzy“ скупова не припада групи модела, метода, скупова метода и групи техника – то је посебна математичка теорија. У чланку је представљена као нова теорија за коју се сматра да може имати изузетно широку примену у подручју које је третирано у чланку.

се у градњи различитих техничких уређаја: веш-машине, видео-камере итд).

Често се улазни параметри неопходни за доношење одлуке не могу прецизно дефинисати. Проблеме кад су параметри окарактерисани неизвесношћу, непрецизношћу, субјективизмом, неодређеношћу и вишеславношћу третира теорија „fuzzy“ скупова. У класичној теорији скупова јасно је разграничено да ли елеменат припада или не припада скупу. Међутим, постоји мноштво скупова који немају јасне границе које раздвајају елементе у скупу од елемената изван скупа. У скуповима дефинисаним појмовима „мало“, „средње“, „велико“, „кратко“, „дуго“, „отприлике око...“ итд. не може се са сигурношћу говорити о припадности појединих елемената неком скупу. Тај тип проблема се такође решава теоријом „fuzzy“ скупова, па се све чешће јавља мишљење да је вероватноћа као опис одговарајућих појава превише „тврда“ за многа подручја истраживања. Могућности примене тог релативно новог подручја математике у области истраживања појава и процеса у оружаном борби нису још јасно изражене, али наведени опис појава и процеса отвара нове могућности. Нови квалитет се посебно очекује од примене „fuzzy“ скупова, релација и логике у симулационом моделовању.

Моделовање и симулација тренутно је вероватно најмоћнији и најперспективнији „алат“ у рукама истраживача који се баве проблемом војних организационих система. Поред тога, имају изузетно широку примену у готово свим областима. Развој рачунарске технике је омогућио практичну примену те методе, која ће се повећати с даљим развојем рачунарске технике.

Симулација на рачунару је нумеричка техника којом се може експериментисати с математичким моделима који описују понашање сложеног система у времену. Испитивање унутрашњих међузависности елемената система, процена понашања у одређеним ситуацијама, провера нових стратегија и других показатеља могућа је под условом да је креиран добар симулациони модел и кодиран у адекватном језику, и да су проведени одговарајући експерименти. Основа за стохастичко моделовање и омогућавање симулације је метода Монте Карло.

Квалитетни симулациони модели се раде у сарадњи стручних људи, аналитичара реалних система и стручњака за симулационе системе и језике. Конструисани модел се мора вредновати, што је трајан процес (од почетка до краја употребе изводе се доградње), а вредновање се своди на испитивање слагања понашања модела и реалног система (валидност) и на проверу модела (верификација) у погледу слагања с моделом имплементираном на рачунару. У литератури се препоручује да се модели вреднују према следећој концепцији:

- испитивање репликативне ваљаности модела, односно способности модела да генерише податке према раније прикупљеним подацима о систему, који је пресликан у симулациони модел;

- испитивање предикативне ваљаности, односно способности модела да из садашњег стања омогућује утврђивање будућих понашања система;

– испитивање структурне ваљаности, односно тачног оцртавања начина на који функционише реални систем.

У литератури¹² се наводе као критеријуми за оцену ваљаности симулационих модела техничка ваљаност, операциона ваљаност и динамичка ваљаност модела. За наведене критеријуме су у одређеној мери развијене и технике којима се могу испитати. Заједничке особине испитивања ваљаности симулационих модела које се налазе у литератури своде се на следеће:

– процес вредновања модела везан је за скуп услова у којима модел мора да репрезентује реални систем;

– вредновање симулационог модела је комплементаран са процесима развоја и имплементације модела.

Од почетка анализе реалног система до завршетка планираних експеримената неопходна је сарадња експерата за реални систем и систем аналитичара. Подразумева се стална провера и доградња, а за истраживања се користе само довољно добри симулациони модели и програми за рачунар. Када се поседују довољно добри историјски подаци о реалном систему, често се може креирати симулациони модел који омогућава да се експериментом добију излази који одговарају реалном исходу. Ако су при градњи модела остварени и други критеријуми (предикативна и структурна ваљаност), тада истраживачи одређених појава располажу поузданим апаратом за истраживања.

У последњих десетак година одбрањено је више магистарских и докторских радова у којима се, поред осталог, користи симулација на рачунару за истраживање сложених појава узрочно-последично везаних за оружану борбу.¹³ Такође, објављено је више радова у домаћим војним часописима¹⁴ итд., у којима су симулацијама решавани проблеми снабдевања јединица у борби, одржавања техничких материјалних средстава, настајања губитака и оштећења у борби итд. У радовима где се симулација користи као централна метода за добијање потребних података прво су анализирани реални системи, најчешће коришћењем системског приступа. Модели су рађени према дефинисаним експерименталним оквирима, оцењена је ваљаност симулационих модела и верификовани су програми за рачунар. У већини радова је обављена статистичка обрада и анализа резултата, као поређење с искуствима из праксе.

¹² Д. Бечејски-Вујаклија, С. Боровић, *Обезбеђење квалитета одлучивања при избору стратегије конверзије наменске индустрије помоћу метода за подршку одлучивања*, „ВТГ“, бр. 4, 1995.

¹³ Р. Максић, *Прилог дефинисању поступка за утврђивање законитости утрошка муниције у времену за јединице у оружаном борби* (докторска дисертација), ЦВТШ, 1989; В. Мишковић, *Развој модела и поступака за одређивање ресурса снабдевања муницијом артиљерије за подршку* (докторска дисертација), ЦВШ ВЈ, ВТА, 1994, и С. Боровић, *Експертски системи за руковођење техничким обезбеђењем* (докторска дисертација), ВВТШ КоВ ЈНА, Загреб, 1989.

¹⁴ Р. Максић, М. Савић, *Могући приступ истраживању ресурса за оправку ТМС у борби*, „ВТГ“, бр. 2, 1992, и Р. Максић, *Приступ одређивању ресурса за снабдевање ТМС у борби*, „ВТГ“, бр. 2, 1993.

У литератури¹⁵ је теоријски разрађен и формулисан поступак за утврђивање настанка утrophка муниције у времену за јединице у борбеним дејствима. Системским поступком су формализовани утицајни фактори и услови за извођење борбених дејстава, карактеристични за настајање утrophка муниције. Креирани су и верификовани симулациони модели за добијање временске слике стања, на основу динамичког модела борбених дејстава, као и модели за квантификацију утrophка муниције у времену. За дејства браниоца и нападача у боју може се одредити улазни скуп података за провођење симулације и квантификацију утrophка муниције за дефинисана борбена дејства. На конкретном боју утврђен је скуп кривих за трошење муниције по врстама у времену. На истом примеру је утврђена одрживост добијених резултата, применом аналитичких модела борбених дејстава (Ланчестеровог типа), за одређене пресеке стања. Резултати који се могу добити на наведени начин могу да се користе за даља истраживања система снабдевања техничким материјалним средствима у оружаном борби.

За потребе истраживања настајања губитака и оштећења борбених возила у боју израђен је симулациони модел. Анализом реалних система одређени су потребни параметри, функције и почетне вредности променљивих величина, валидизовани су модели и верификовани програми и проведени експерименти. За улазне величине коришћена су позната искуства и резултати претходних дејстава. Из доступне домаће и стране литературе прикупљени су подаци о законитостима промена вероватноћа погађања и уништења средстава, зависно од места погађања и врсте пројектила којом је погодак остварен, поштована су тактичка начела за дефинисање зауставних правила итд. Добијени су излазни резултати који не одступају од података добијених анализом познатих дејстава. Репликавита вредност модела је такође потврђена (уносом података за средства новије производње, добијени су резултати који се могу користити за прогнозирање будућих дејстава).

У литератури,¹⁶ поред осталог, развијен је и формализован поступак за одређивање врста и количина муниције које треба да имају јединице за артиљеријску подршку на ватреном положају и како треба муницију ешелонирати, као и које карактеристике треба да има систем за снабдевање муницијом у односу на потребе јединица за артиљеријску подршку.¹⁷

Добрим симулационим моделима и адекватним програмима за рачунар може се доћи до квантитативних показатеља потребних за даље анализе. Такође, може се одговорити на питање која је варијанта, на пример, с неког аспекта организације борбеног распореда ресурса по-

¹⁵ Р. Максић, Прилог дефинисању поступака за утврђивање законитости утrophка муниције у времену за јединице у оружаном борби, исто.

¹⁶ В. Мишковић, исто.

¹⁷ За потребе израде овога рада аутори су користили симулацију на рачунару као централну методу. Развијени модели су коректно оцењени, као и програми за рачунар, обављени су планирани експерименти, а добијени излази статистички обрађени и анализирани.

вољнија у односу на друге. Међутим, симулацијама се не могу добити оптимална решења (за то су повољније друге методе операционих истраживања: (линеарно, целобројно и динамичко програмирање итд.), али се може доћи до, на пример, улазних података за примену других квантитативних метода.

Основни правци даљег развоја

У току и за потребе истраживања и помоћи у одлучивању непрестано се развијају нове или модификују постојеће методе и технике. Основни тренд развоја је усавршавање постојећих метода и техника, развој метода и модела заснованих на теорији „fuzzy“ скупова и развој методе моделовања и симулације. Међутим, због комплексности истраживања и решавања, различитих проблема, који реално постоје и које намеће пракса, неопходна је интеграција знања, коју омогућавају научна и технолошка достигнућа у развоју рачунарске технике. Интеграција научних спознаја даје нови квалитет у приступу и начину одлучивања и истраживања.

Већ сада се савремена ратишта разликују од досадашњих, а у будућности се очекује да ће техничке могућности условити да успех првенствено зависи од могућности система командовања да у веома кратком времену квалитетно обради мноштво информација и донесе одлуке о најрационалнијем коришћењу сопствених ресурса. Таква чињеница нужно условљава, да би се задовољили захтеви, да се бројно стање команди стално повећава. Међутим, то повећање не може да прати брзину раста броја информација које треба обрадити у све краћем и краћем времену. Све већи и већи захтеви које намећу научна, техничка и технолошка достигнућа доводе човека, због ограничених могућности, у позицију да временски не стиже да прати њихов развој, нити да га примени у пракси. Поготову човек није у стању да ефикасно користи све што му пружа као могућност развој науке и технике и да компетентно управља процесима. На тај начин се ствара тзв. јаз управљања.

Развој метода и техника за изналажење оптималних решења успорава повећање тог „јаза“, а његово превазилажење, не само у практичном решавању проблема него и у истраживањима, омогућава интеграција знања. Она претпоставља постојање човека експерта за одређено подручје који је у могућности да на основу кључних елемената препознаје, анализира ситуације и прогнозира какве ће промене у систему донети поједине акције. Аналогно томе, а на основу развоја рачунарске технике, почели су да се развијају експертски системи, који су „софтверски производ који представља структурирано знање експерата дефинисано скупом правила и уграђено у рачунарске програме са разрађеном управљачком процедуром претраживања, а са циљем да се програмски дође до перформанси које поседује човек – експерт“.¹⁸

¹⁸ С. Боровић, *Експертски систем за руковођење техничким обезбеђењем*, исто.

Појам и развој „вештачке интелигенције“¹⁹ још увек изазивају контроверзне реакције, чак и од уважених ауторитета из тог подручја. Мишљења су различита, од недвосмисленог одушевљења и прогнозе да ће „веома брзо бити произведене машине које мисле“ до саркастичних примедба да „онај ко верује у вештачку интелигенцију нема природну“. Одбацујући екстремне ставове, барем за блиску будућност, остају тврдње везане за експертне системе:²⁰

- уско подручје експертизе;
- ограничен језик изражавања чињеница и релација;
- ограничене представе о проблему и методама решавања;
- мало знања о властитом подручју и ограничењима.

Чињеница је да је низ експертних система везаних за „вештачку интелигенцију“, реализован и уведен у употребу, као и то да је ниво стручности упоредив с нивоом стручности људских експерата у само уско специјализованој области. Експертни системи углавном решавају проблеме за које нема алгоритамиких решења. Функције које обављају експертни системи, барем према доступним подацима, јесу:

- интерпретација,
- прогнозирање,
- дијагностика,
- планирање,
- мониторинг функције,
- поправка,
- лечење,
- управљање.

Експертни системи се примењују у различитим областима: медицини, хемији, математици, информатици, машинству, електроници, метеорологији, географији, геодезији, војним системима, саобраћају итд. У војним системима су примењени и експертни системи везани за борбена дејства и они који то нису, а решавају следеће проблеме:²¹ саветовање, анализирање, категорисање, комуникација, консултовање, пројектовање, дијагностика, објашњавање, испитивање, прогнозирање, образовање концепата, идентификација, интерпретација, оправдавање, обучавање, руковођење, управљање, надзор, планирање, представљање, тражење, распоређивање, тестирање и одлучивање. Области у којима се примењују и функције које обављају у војним системима²² јесу:

- обрада сигнала и разумевање слике и говора;
- систематизација и презентација података са радара, ласера и других сензора;
- помоћ у одлучивању, управљању и обављању;
- обучавање – од извршилаца до доносилаца одлуке;
- аутоматско тестирање и дијагностицирање;

¹⁹ „Под вештачком интелигенцијом подразумевамо скуп примењених дисциплина, које се баве машинском симулацијом људског расуђивања“ (Д. Ацтека, *исто*).

²⁰ С. Боровић, *исто*.

²¹ *Исто*.

²² *Исто*.

- примене у инжињеријским, научним и руководећим активности;
- војна роботика (возила и оружја роботи);
- праћење борбених дејстава – електронске карте;
- картографија и географски проблеми;
- осматрачке и обавештајне активности;
- аутоматски пилоти и копилоти;
- аутоматско распознавање и избор циљева;
- управљање пројектима;
- интегрисани системи командовања, управљања и комуникација типа C³I и други;

– „Рат звезда“ и „Стратегијска одбрамбена иницијатива“.

Доминацију у развоју експертних система имају развијене земље, посебно САД и Јапан. Њихове тренутне предности у развоју експертних система су мање одређене њиховим економским и технолошким могућностима, а више усвојеном политиком у развоју.²³

– јапанско министарство за спољну трговину и индустрију је 1981. године покренуло пројекат у вредности од 500 милиона америчких долара;

– британска Алвијева комисија је препоручила 1983. године капиталан напредак у области експертних система;

– америчко министарство одбране је иницирало 1984. године програм развоја у вредности 500 милиона долара,

– земље Европске економске заједнице су, преко својих програма дугорочног развоја, организовано приступиле питањима „вештачке интелигенције“, засноване углавном на проблематици експертних система.

Може се очекивати да тек предстоји права експанзија развоја наведених подручја, и то у смеру интегрисања знања.

Закључак

Истраживачима појава које се одликују изузетно сложеним и, најчешће, случајним процесима због специфичности оружане борбе, стално се намеће проблем коришћења метода истраживања и верификације добијених резултата. Права провера се обавља тек у оружаног борби, а за потребе теорије и праксе мора се доћи до одређених података, чињеница и законитости још у миру, док се обављају одговарајуће припреме, па све оружане снаге посвећују изузетну пажњу изучавању тих проблема.

Применом само једне или неколико метода у истраживању појава везаних за оружану борбу ретко се може доћи до применљивих резултата, поготову у прогнози будућих дејстава. Истраживања су, по правилу, мултидисциплинарна, уз ангажовање научног и стручног кадра различитих

²³ Р. Петровић и други, *Управљање системима*, „Научна књига“, Београд, 1986.

тог профила. Међу методама које се примењују у истраживањима оружане борбе посебан значај имају методе за квантификацију (методе операционих истраживања), које су и развијене (и стално се усавршавају) за потребе рата.

Чињеница да се сви елементи не могу обухватити и да сваку прогнозу засновану на подацима добијеним научним путем може да елиминише непредвидивост понашања људског чиниоца не искључује примену квантитативних метода. Ако се предузму мере да се ресурси оптимално припреме и распореде, људство обучи и увежба с ослоном на резултате истраживања, повећава се вероватноћа за успех и реализацију прогнозе.

У методологији научноистраживачког и стручног рада, када је основни предмет истраживања оружана борба, неминовна је примена метода за квантификације. Посебна погодност је постојање савремене информатичке технологије и добро разрађена теоријска основа за већину метода операционих истраживања. Развијени специјални системи и језици вишег реда који се користе за симулације инструменти су чија примена омогућава истраживачима ефикасан рад.

Тимски рад је готово правило када су у питању истраживања у вези са појавама у оружаној борби. Експерти за реалне системе и познаваоци метода операционих истраживања, информатичари, специјалисти за организационе, технолошке и друге системе нужно се појављују као чланови привремених и сталних истраживачких тимова.

Литература:

1. П. Н. и другие, *Математические модели боевой действий*, „Советское радио“, Москва, 1969.
2. П. Г. Скачко, Г. Т. Волков, В. М. Кулоков, *Планирање борбених дејстава и командовање јединицама помоћу мрежних дијаграма* (превод с руског), ИНТД, Београд, 1969.
3. Ј. В. Чујев, Ј. Б. Михајлов, *Прогнозирање у војсци* (превод с руског) ВИЗ, Београд, 1980.
4. М. Стојиљковић, С. Вукадиновић, *Операциона истраживања*, ВИЗ Београд, 1984.
5. Д. Теодоровић, S. Kikuchi, *Увод у теорију fuzzy скупова и примене у саобраћају*, Саобраћајни факултет, Београд, 1991.
6. П. Станојевић, В. Буквић, В. Мишковић, *Fuzzy модел одређивања броја неисправних средстава и минималних ресурса за одржавање у посебним условима експлоатације*, Зборник радова, XXII SYMOPIS 95.
7. Дж. Ту, Р. Гонсалес, *Принципы распознавания образов*, МИР, Москва, 1978.
8. М. Чупић, *Увод у теорију одлучивања*, „Научна књига“, Београд, 1987.
9. В. Р. Zeigler, *Theory of modeling and simulation*, J. Wiley, New York, 1976.