

АДАПТИВНА НЕУРОНСКА МРЕЖА ЗА ИЗБОР ВАРИЈАНТЕ УПОТРЕБЕ КАО ПРЕДУСЛОВ ПРОРАЧУНА ЦЕНЕ КОШТАЊА НАПАДНЕ ОПЕРАЦИЈЕ КОПНЕНЕ ВОЈСКЕ

Дарко Божанић, Самед Каровић и Драган Памучар
Универзитет одбране у Београду, Војна академија

Војне операције представљају веома комплексан и врло динамичан процес. У том процесу значајан фактор за извршење мисије представља избор варијанте употребе, на основу којег се врши ангажовање снага у операцији и прорачун цене коштања. Како би се обезбедило квалитетно вредновање развијених варијанти употребе у раду је развијена адаптивна неуронска мрежа. Овим моделом скуп релевантних података за вредновање варијанти употребе обрађује се ради добијања квантитативне вредности варијанте употребе у нападној операцији Копнене војске, чиме се олакшава коначан избор, а самим тим стварају предуслови за прорачун цене коштања наведене операције.

Кључне речи: *варијанта употребе, одлучивање, fuzzy логика, адаптивна неуронска мрежа*

Увод

Употреба Војске Србије и њених делова врши се кроз реализацију различитих врста операција. За операције се везује низ карактеристика, као што је јединственост, непоновљивост, комплексност, неизвесност, динамичност и сл. Процеси планирања, организовања и извођења операција праћени су сталном потребом за доношењем, мање или више, значајних одлука, што лица која у операцијама одлучују – команданте и командире различитих нивоа ставља под стални притисак. Од њихових одлука врло често зависе и животи људи, као најзначајнији ресурс државе и војске.

За остваривање циљева операција, као и смањење људских и других губитака на минимум односно смањења трошкова операције, развијају се процедуре које помажу у анализи ситуација и начину доласка до најбољих решења. Ове процедуре заузимају значајан део материје – наставног градива које се изучава на школовањима и усавршавањима у Војсци Србије и Министарству одбране. Од 2008. годи-

не процедуре за планирање операција добиле су низ новина, углавном по угледу на процедуре НАТО и Копнене војске САД. Једна од новина представља развој, анализа и избор варијанте употребе (курса акције). Постојање више могућности, тј. избор једне из скупа могућих алтернатива (варијанти употребе) захтева примену разних метода вишекритеријумског одлучивања и модела вештачке интелигенције. У конкретном случају израђена је адаптивна неуронска мрежа (адаптивна неуро-fuzzy мрежа или ANFIS модел) којом се врши избор најповољније варијанте употребе. Избором варијанте употребе дефинише се највећи део елемената који омогућава прорачун цене коштања операције.

Опис проблема

У Војсци Србије операција се дефинише као „скуп борбених и/или неборбених активности, покрета и других акција које се предузимају по јединственој замисли, самостално или у сарадњи с другим снагама одбране, ради остваривања општег циља различитог значаја¹“. Нападне операције су основна врста борбених операција које се реализују са циљем да се наметне воља непријатељу, употребом оружане силе². Промене оперативног окружења и физиономије савременог рата мењају битна обележја операција. У том смислу развијање техника, процеса и процедура за унапређење планирања, организовања и извођења операција намеће се као стална потреба.

Планирање операција у Војсци Србије врши се применом процеса оперативног планирања којим је дефинисан хронолошки низ поступака по којима се делује, а темељи се на „прецизно дефинисаним и разграниченим надлежностима по нивоима планирања“³. Процес планирања војне операције у основи има три фазе: предвиђање, одлучивање и израду планова⁴. Постојеће упутство⁵ које регулише ову проблематику у Војсци Србије процес оперативног планирања је разрадио по фазама и корацима. На оперативно-тактичком нивоу, који је значајан за овај рад, овај процес обухвата седам фаза. То су: 1) иницирање (пријем задатка), 2) оријентација (проучавање и схватање задатка), 3) развој варијанти употребе (курсева акције), 4) анализа варијанти употребе (курсева акције) – ратне игре, 5) поређење варијанти употребе (курсева акције), 6) одобравање варијанте употребе (курса акције), 7) израда плана – наређења. Свака фаза у процесу планирања (сем прве) заснива се на подацима и закључцима из претходне фазе⁶. У оквиру фаза детаљно су разрађени кораци планирања.

¹ Доктрина Војске Србије, Медија центар „ОДБРАНА“, Београд, 2010, стр. 75.

² Исто, стр. 79.

³ Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, ГШ ВС, Београд, 2013, стр 9.

⁴ Славковић Р. и др., „Пројектовање војних операција“, Војно дело, бр. зима/2012, стр. 132.

⁵ Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, 2013.

⁶ Крстовић В. и др., „Организација рада на командном месту и функционисање процеса доношења одлука у операцијама“, Војно дело, бр. зима/2012, стр. 89.

За потребе овог рада значајне су фазе развоја, анализе и поређења варијанти употребе, ради избора, односно одобравања адекватне варијанте употребе. Под варијантом употребе подразумева се начин ангажовања снага којим је могуће остварити мисију⁷. Варијантом употребе се описује начин на који се мисија може извршити⁸. Развојем варијанте употребе дефинише се почетак и завршетак активности, ко изводи операцију, где се изводи, зашто се изводи, како се изводи и сл.⁹. Обично се развија више варијанти употребе, након чега се оне анализирају и пореде. Ради лакшег поређења све варијанте употребе се вреднују. Вредновање се врши на основу критеријума које доносилац одлуке сматра значајним, односно критеријума које дефинише штаб¹⁰. На основу поређења разрађених варијанти употребе доносилац одлуке бира једну по којој ће ангажовати снаге приликом извршења мисије. Овај избор је неопходан услов за прорачун цене коштања операције, без обзира на то да ли се ради о бруто (вредност свих ангажованих ресурса) или нето цене коштања (само додатно потребна средства, без имајућих средстава)¹¹.

Критеријуми на основу којих се врши вредновање варијанти употребе и њихови тежински коефицијенти разликују се од мисије до мисије¹². Овакав приступ избору варијанти употребе оставља простор за настанак грешака. Да би се смањиле могућности грешака у овом раду је приказан модел којим се дефинишу критеријуми, њихове тежине и односи на бази fuzzy логике и вештачких неуронских мрежа. То је посебно важно ако се има у виду да реалност има своју *differentia specifica*, коју је, и поред великог труда тешко сагледати кроз школовања, усавршавања, увежбавања и сл.¹³, али би сталне анализе, као и прикупљање знања и искуства, у великој мери могли да допринесу свеобухватнијем сагледавању проблема у реалној ситуацији.

Адаптивне неуронске мреже

Адаптивне неуронске мреже заснивају се на обједињавању концепта fuzzy логике и концепта вештачких неуронских мрежа. Обе области заузимају значајно место на пољу вештачке интелигенције¹⁴.

Fuzzy логика заснована је на расплутим (fuzzy) скуповима и обезбеђује математички потенцијал за описивање неодређености везане за когнитивне процесе

⁷ Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, 2013, стр. 43.

⁸ Сувајац М. и Ковач М., „План и концепт војних операција”, Војно дело, бр. зима/2012, стр. 98.

⁹ Исто.

¹⁰ Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, 2013, стр. 45-46.

¹¹ Мучибабић С. и др., „Цена коштања војне операције”, Зборник радова са Симпозијума „Теоријски и практични аспекти савремених операција”, Војна академија, Београд, 2004, стр. 1 – 59-63.

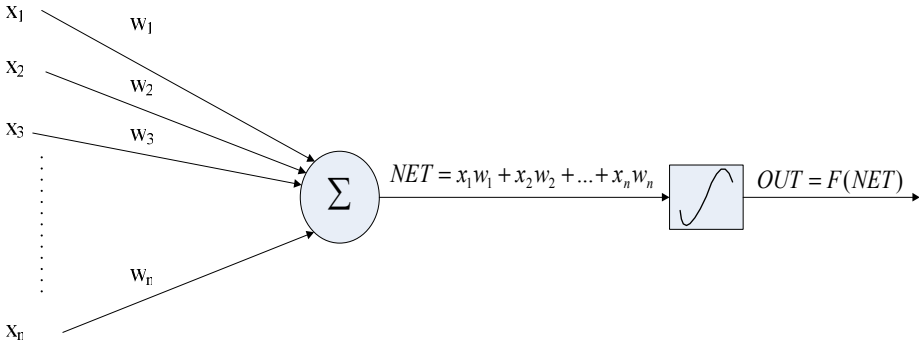
¹² Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије, 2013, стр. 77.

¹³ Божанић Д. и др., „Модификација методе аналитичког хијерархијског процеса и њена примена у доношењу одлука у систему одбране”, Техника, бр. 2/2013, стр. 332.

¹⁴ Памучар Д. и др., „Application of adaptive neuro fuzzy inference system in the process of transportation support”, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, бр. 2/2013, стр. 1250053-5.

код човека, као што су размишљање и резоновање¹⁵. Помоћу ње могуће је закључивање са непотпуном и недовољно прецизном информацијом, која се назива и механизам апроксимативног резоновања. Најчешће се користи за моделовање сложених система у којима је применом других метода тешко утврдити међузависности које постоје између појединих променљивих. Модели засновани на fuzzy логици састоје се од „ако - онда“ правила.

Вештачке неуронске мреже развијене су тако да опонашају биолошке нервне системе у обављању функција¹⁶. Док fuzzy логика обезбеђује механизам закључивања са непотпуном и недовољно прецизном информацијом, вештачке неуронске мреже пружају неке изузетне могућности, као што су могућност учења, прилагођавања (адаптације) и генерализације¹⁷. Вештачки неурони, као и биолошки, имају једноставну структуру и сличне функције као и биолошки неурони (слика 1).



Слика 1 – Приказ вештачког неурона¹⁸

Улазне вредности у неурон приказане су са x_1, x_2, \dots, x_n , где је n укупан број улаза у неурон. Свака улазна вредност се прво множи тежинским коефицијентом w_{ij} , $j = 1, 2, \dots, n$ где је i редни број неурона у неуронској мрежи. Овако помножене вредности се затим сабирају и добија се вредност p_i :

$$p_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \quad (1)$$

¹⁵ Субашић П., *Fuzzy логика и неуронске мреже*, Техничка књига, Београд, 1997.

¹⁶ Миленковић С., *Вештачке неуронске мреже*, Задужбина Андрејевић, Београд, 1997.

¹⁷ Yuan, Y. и Suarga, S., "On the Integration of Neural Networks and Fuzzy Logic Systems", *Internat. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vancouver, Canada, 1995, стр. 452-456.

¹⁸ Памучар Д., „Примена Fuzzy логике и вештачких неуронских мрежа у процесу доношења одлуке органа саобраћајне подршке“, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 133.

Ова се вредност користи као улаз у нелинеарну функцију σ која зависи од параметра θ – прага активације. Зависност је најчешће таква да се θ одузима од p_i и при том се њихова разлика користи као улаз у нелинеарну функцију σ . Тако се добија вредност излаза i -тог неурона:

$$y_i = \sigma(p_i - \theta) = \sigma\left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_j - \theta\right) \quad (2)$$

Вредности тежинских фактора w_{ij} , $j = 1, 2, \dots, n$ се мењају, тј. прилагођавају улазним и излазним подацима како би се постигла минимална грешка у односу на задате податке. Овај процес прилагођавања тежинских фактора назива се учењем, тј. тренирањем неуронске мреже.

Неуронске мреже и fuzzy логика баве се важним аспектима представљања знања, закључивања и учења, али користе различите прилазе и поседују сопствене предности и мане. Неуронске мреже могу да уче из примера – аутоматски, али је готово немогуће описати овако стечено знање. С друге стране, fuzzy логика омогућава апроксимативно закључивање, али нема особину самоприлагођавања (адаптивности)¹⁹.

Неуро-адаптивна техника заснива се на методама fuzzy моделирања и учења на основу задатог скупа података. Израчунавање параметара функција припадности одвија се тако да одговарајући fuzzy логички систем закључивања (ФЛС) најбоље, тј. са најмањом грешком, одговара задатим паровима улазно-излазних података. Овај метод учења сличан је методу учења неуронских мрежа. Користећи задати улазно/излазни скуп података, адаптивна неуронска мрежа формира ФЛС код којег су параметри функција припадности подешавани користећи алгоритам повратне пропагације или у комбинацији са методом најмање квадратне грешке. Овакав приступ омогућава да ФЛС учи на основу података које моделира.

Моделовање адаптивне неуронске мреже за избор варијанте употребе у планирању нападне операције КоВ-а

Саставни део адаптивне неуронске мреже представља fuzzy логички систем. Први кораци у дизајнирању ФЛС су избор критеријума и функција припадности улазно-излазних променљивих, као и дефинисање скупа лингвистичких правила које користе доносиоци одлука при избору варијанте употребе у нападној операцији.

Дефинисање критеријума на основу којих се врши вредновање варијанти употребе и њихових тежинских коефицијената представља сложен истраживачки процес за који се користи велики број метода. Једна од најчешћих је delphy метода²⁰

¹⁹ Памучар Д. и др., 2013, стр. 1250053-7.

²⁰ Више о delphy методи може се погледати у: Ђоровић Б., „Методе експерата и оцена њихове компетенције”, *Савремени проблеми ратне вештине*, бр. 42/2000, стр. 135-154; Мучибабић С., *Одлучивање у конфликтним ситуацијама*, Војна академија, Београд, 2003.

која се обично користи за „усаглашавање различитих мишљења експерата о некој појави која ће се догодити у будућности²¹“. У овом раду биће преузети резултати већ постојећих истраживања, која су обрађивала ову проблематику. Критеријуми и тежински коефицијенти преузети су из рада „Критеријуми за ангажовање снага у операцијама“²². Критеријуми за вредновање варијанти употребе у нападној операцији Копнене војске су:

1) *Маневар* (K_1) представља „умешно коришћење покрета и ватре ради довођења сопствених снага у повољнији положај у односу на непријатеља на стратегијском, оперативном и тактичком нивоу²³“;

2) *Ватра* (K_2) представља основно средство за неутралисање непријатељеве живе силе и технике на копну, мору и ваздушном простору²⁴;

3) *Командовање* (K_3) је функција јединственог руковођења оружаним снагама или њеним деловима у миру и рату²⁵;

4) *Обавештајна делатност (обезбеђење)* (K_4) представља целокупно сазнање о непријатељу што представља основу наших идеја и поступака²⁶;

5) *Покретљивост* (K_5) представља способност оружаних снага у целини или појединих видова, родова и јединица да у различитим земљишним, климатским и борбеним условима савлађују простор (копно, море, ваздушни простор), на бојишту или ван њега²⁷;

6) *Логистика* (K_6) има задатак да обезбеди материјалне, здравствене и инфраструктурне предуслове за ефикасно функционисање војске у миру, ванредном стању, припреме и ефикасан прелазак на ратну организацију и успешно функционисање у рату²⁸;

7) *Једноставност* (K_7) представља квалитативну способност руководиоца да задатке добијене од претпостављеног старешине реализују успешно, у оптималном времену²⁹;

8) *Противваздухопловна дејства* (K_8) су садржај борбених дејстава којим се наносе губици ваздухопловним снагама непријатеља на копну, у ваздушном простору и њиховој инфраструктури³⁰.

Наведене дефиниције критеријума дате су у најкраћим цртама јер бављење њима као појмовима није тема овог рада. Тежински коефицијенти дефинисаних критеријума дати су у табели 1.

²¹ Мучибабић С., 2003, стр. 110.

²² Каровић С. и Пушара М., „Критеријуми за ангажовање снага у операцијама“, *Нови гласник*, бр. 3-4/2010, стр. 44-55.

²³ *Доктрина Војске Србије*, 2010, стр. 98.

²⁴ *Војни лексикон*, Војноиздавачки завод, Београд, 1981, стр. 657.

²⁵ Исто, стр. 222.

²⁶ Клаузевец К., *О рату*, Графичко предузеће „Вук Караџић“, Београд, 1951.

²⁷ *Војни лексикон*, 1981, стр. 412.

²⁸ *Доктрина Копнене Војске*, Медија центар „Одбрана“, Београд, 2012, стр. 93.

²⁹ Даниген Џ. Ф., *Како водити рат*, ВИНЦ, Београд, 1983.

³⁰ *Доктрина Војске Србије*, 2010, стр. 92.

Табела 1– Тежински коефицијенти критеријума за вредновање варијанти употребе у нападној операцији КовЗ1

Критеријум	К ₁	К ₂	К ₃	К ₄	К ₅	К ₆	К ₇	К ₈
Тежински коефицијент	0.188	0.224	0.180	0.117	0.095	0.080	0.061	0.056

У овом ФЛС-у вредности улазних критеријума представљене су лингвистичким изразима. Fuzzy логички систем састоји се од осам улазних и једне излазне променљиве. Интервал поверења улазних и излазне променљиве налази се у опсегу [0, 1].

Вредности улазних променљивих описане су скупом лингвистичких дескриптора, $S=\{l_1, l_2, l_3, \dots, l_i\}$, $i \in H=\{0, \dots, T\}$, где је Т укупан број лингвистичких дескриптора. Лингвистичке варијабле представљене су троугластим fuzzy бројем који је дефинисан као (a_1, a_2, a_3) , где a_2 представља тачку у којем функција припадности fuzzy броја има максималну вредност, тј. 1.0. Вредности a_1 и a_3 представљају леву и десну дистрибуцију функције припадности од вредности у којој функција припадности достиже максималну вредност.

Број лингвистичких дескриптора је Т=9: занемарљиво – З, веома мало – ВМ, средње мало – СМ, мало – М, средње –С, велико – В, средње велико – СВ, веома велико – ВВ, перфектно – П (слика 2)³². За дефазификацију fuzzy лингвистичких дескриптора у реалне бројеве могу се користити изрази³³:

$$\text{defuzzy } A = [(a_3 - a_1) + (a_2 - a_1)]3^{-1} + a_1 \tag{3}$$

$$\text{defuzzy } A = [\lambda a_3 + a_2 + (1 - \lambda) a_1]2^{-1} \tag{4}$$

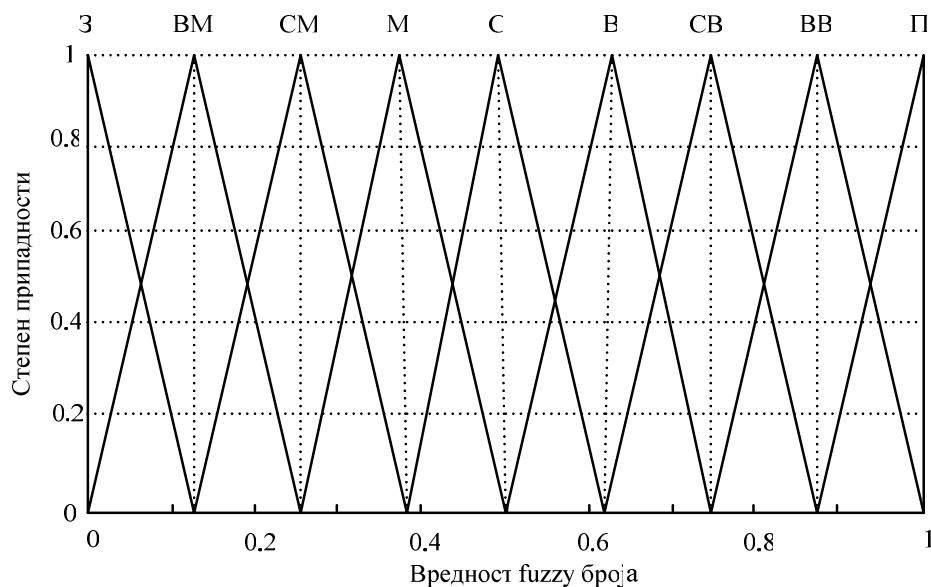
где $\lambda, \lambda \in [0, 1]$ представља степен уверености доносиоца одлука који врше процену.

Следећи корак је избор функција припадности улазно-излазних променљивих. Улазне променљиве описане су са три функције припадности. Изабране су Гаусове криве, јер обезбеђују најмању грешку на излазу из адаптивне неуронске мреже. У случајевима израде адаптивне неуронске мреже обично се користи Sugeno fuzzy систем. За излазне променљиве дефинисано је десет константи, што указује на то да ће бити израђена тзв. „zero order” адаптивна неуронска мрежа. Функције припадности нису подешаване већ су усвојени параметри функција које даје програмски пакет MATLAB.

³¹ Каровић С. и Пушара М., 2010, стр. 56.

³² Детаљнији опис дефинисаних лингвистичких дескриптора може се погледати у: Памучар Д., Божанић Д. и Милић А., „Selection of a course of action by Obstacle Employment Group based on a fuzzy logic system”, *Yugoslav Journal of Operations Research*, рад прихваћен за објављивање, DOI 10.2298/YJOR140211018P.

³³ Seiford L. M., „The evolution of the state-of-art (1978-1995)”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 7, 1996, 99-137.

Слика 2 – Графички приказ лингвистичких дескриптора³⁴

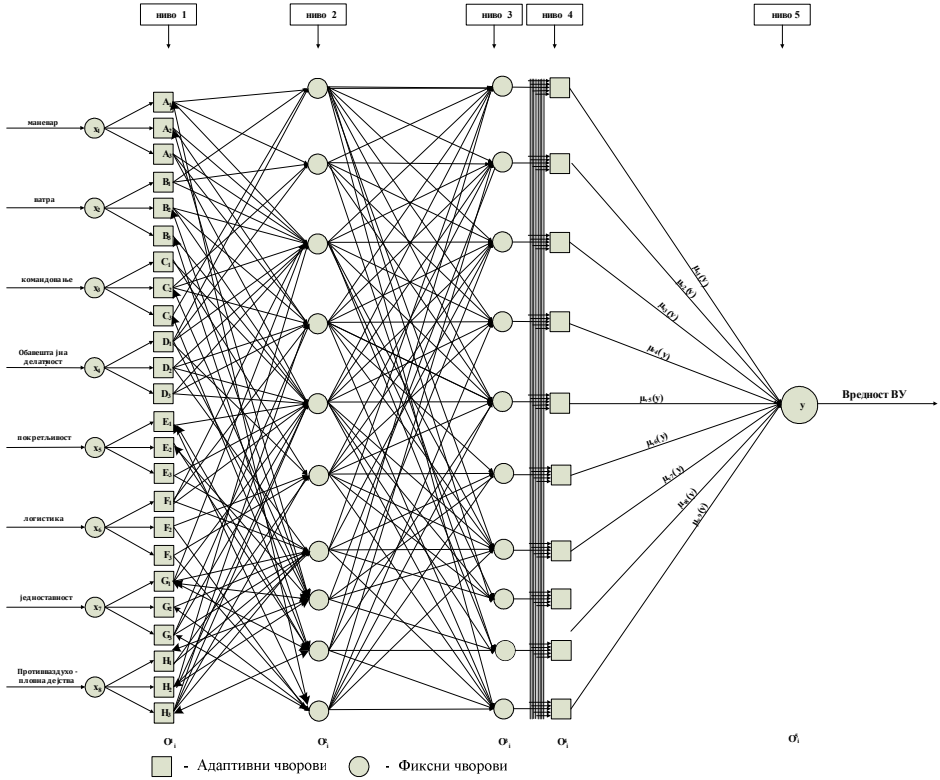
Следећи корак је дефинисање скупа лингвистичких правила које користе доносиоци одлука при избору варијанте употребе у нападној операцији. Дефинисање скупа правила је веома обиман истраживачки процес, посебно у ФЛС са више улазних променљивих. За потребе израде адаптивне неуронске мреже неопходно је дефинисати само кључна правила. У конкретном случају дефинисано је десет правила, до којих се дошло применом методе агрегације тежине премиса правила³⁵.

Након дефинисања почетног ФЛС, приступа се израду адаптивне неуронске мреже, односно обучавању³⁶ почетног fuzzy логичког система. На слици 3 приказано је пресликавање ФЛС у петослојну адаптивну неуронску мрежу.

³⁴ Памучар Д. и др., DOI 10.2298/YJOR140211018P.

³⁵ Више о методи агрегације тежине премиса правила се може погледати у: Божанић Д. и Памучар Д., „Израда базе правила fuzzy логичког система за подршку одлучивању агрегацијом тежина премиса правила”, Техника, бр. 1/2014, стр. 129-138.

³⁶ *Supervised learning* (енгл.) – у домаћој литератури може се наћи и као израз тренинг, учење или надгледано учење. Под овим појмом подразумева се изградња или израда предиктора уз помоћ познатог скупа улазно-излазних података, где на крају процеса предиктор треба да обезбеди предвиђање разумних одговора на нове податке (MATLAB R2014b, доступно на: <http://www.mathworks.com/help/stats/supervised-learning-machine-learning-workflow-and-algorithms.html>).



Слика 3 – Структура адаптивне неуронске мреже

Сваки ниво представља један слој (layer), који заједно чине једну целину³⁷:

а) На првом нивоу приказани су чворови првог слоја који представљају вербалне категорије улазних променљивих које су квантификоване fuzzy скуповима. Сваки чвор првог слоја је адаптиван чвор и описан је функцијом припадности $\mu_{x_i}(x_i), i=1,2,\dots,8$. Функције припадности описане су у облику Гаусових кривих које карактеришу два параметра c (центар функције) и σ (ширина функције):

$$Gaussian(x, c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \tag{5}$$

³⁷ Памучар Д., *Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа*, докторска дисертација, Војна академија, 2013, стр. 127-128.

Пошто су fuzzy правила изражена у облику „ако – услов, онда – последица“, категорије улазних променљивих које су квантификоване fuzzy скуповима приказане су адаптивним чворовима првог слоја.

б) На другом нивоу сваки чвор рачуна минималну вредност од осам улазних вредности адаптивне неуронске мреже. Излазне вредности чворова другог слоја су значајности правила:

$$O_1^2 = w_i = \mu_{A_i}(x_1) \times \mu_{B_i}(x_2) \times \mu_{C_i}(x_3) \times \mu_{D_i}(x_4) \times \mu_{E_i}(x_5) \times \mu_{F_i}(x_6) \times \mu_{G_i}(x_7) \times \mu_{H_i}(x_8) \quad (6)$$

в) На нивоу 3 сваки i -ти чвор рачуна укупну тежину i -тог правила из базе правила према изразу:

$$O_1^3 = \tilde{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

г) На четвртном нивоу има десет адаптивних чворова који представљају преференцију експерата да одређена алтернатива из скупа посматраних алтернатива има највећу вредност критеријумске функције за посматране критеријуме. Сваки чвор овог слоја рачуна пресек одговарајућег fuzzy скупа са максималном вредношћу улазних значајности правила:

$$O_1^4 = \tilde{w}_i f_i = \tilde{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), i = 1, 2, \dots, 8 \quad (8)$$

д) Једини чвор петог слоја је фиксни чвор у којем се рачуна излазни резултат адаптивне неуронске мреже. То је fuzzy скуп са одређеним степенима припадности могућих вредности критеријумске функције посматране алтернативе. Дефазификација се врши у чвору петог слоја. Излазна вредност је реални број који се налази у интервалу $[0, 1]$:

$$O_1^5 = Overalloutput = \sum_i \tilde{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (9)$$

Обучавањем неуронске мреже нумеричким примерима вредновања алтернатива прилагођавају се полазни облици улазно/излазних функција припадности fuzzy скупова. Подаци за обучавање добијени су применом методе вишекритеријумског компромисног рангирања (ВИКОР)³⁸, а на основу тежинских коефицијената који су дефинисани у табели 1. Обучавање је вршено са хиљаду података.

Адаптивна неуронска мрежа је у првом кораку обучавана Hybrid алгоритмом. Међутим, примена овог алгоритма није дала задовољавајуће резултате, односно његовом применом постојећа грешка се није могла довољно смањити. Због тога се приступило обучавању помоћу алгоритма са повратном спрегом (енгл. Backpropagation algorithm). Обучавање је извршено периодичним пропуштањем података из тренинг скупа

$(x_k, k = 1, 2, \dots, n)$, где n представља укупан број улазних вредности) кроз мрежу.

³⁸ О методи ВИКОР више се може видети у: Оприцовић С., *Вишекритеријумска оптимизација*, Научна књига, Београд, 1986; Оприцовић С. и Gwo-Hshiang Tzeng, „The Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS“, *European Journal of Operational Research*, бр. 2/2004, стр. 445-455.

Обучавање адаптивне неуронске мреже врши се применом следећих математичких трансформација³⁹:

$$S_j = \sum_{k=1}^n W_{jk} x_k, \quad (10)$$

$$v_j = f(S_j), j = 1, 2, \dots, h \quad (11)$$

$$q_i = \sum_{j=1}^h W_{ij} v_j, \quad (12)$$

$$y_i = f(q_i), i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

где x_k представља улазне вредности, а y_i вредности добијене на излазу адаптивне неуронске мреже.

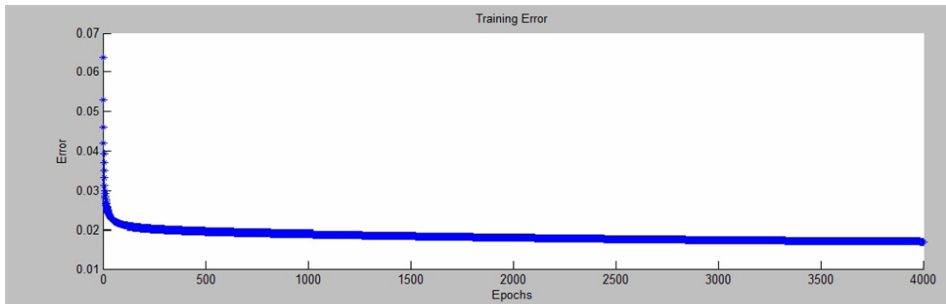
Добијене вредности на излазу из мреже y_i упоређују се са очекиваним подацима y_i^d за улазну вредност x_k ⁴⁰:

$$\delta_i = f'(q_i)(y_i^d - y_i) \quad (14)$$

Уколико постоји разлика између добијених и очекиваних података врше се модификације на везама између неурона ради смањења грешке тако што се подешавају функције припадности у адаптивним чворовима⁴¹:

$$\Delta_j = f(S_j) \sum_{i=1}^m w_{ij} \delta_i \quad (15)$$

Просечна грешка на крају обучавања овог модела износи 0.017, што је у системи-ма за подршку одлучивању прихватљиво. На слици 4 приказан је ток процеса отклањања грешке кроз четири хиљаде епоха обучавања почетног fuzzy логичког система.



Слика 4 – Приказ смањења грешке приликом обучавања почетног ФЛС

³⁹ Памучар Д., *Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа*, докторска дисертација, Војна академија, 2013, стр. 128-129.

⁴⁰ Исто.

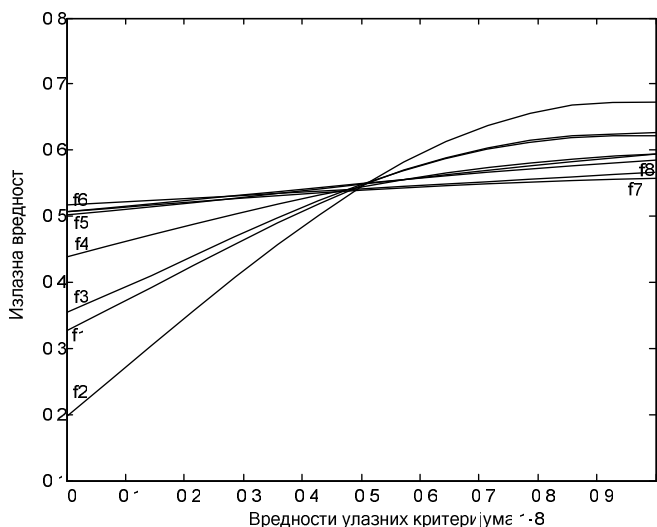
⁴¹ Исто.

Вредности функција припадности након обучавања приказане су у табели 2.

Табела 2 – Вредности функција припадности након обучавања модела

Функција припадности/улазн-а вредност	Функција припадности 1	Функција припадности 2	Функција припадности 3
Маневар	[0.8468, 0.4063]	[0.4899, 0.4884]	[0.4807, 0.8692]
Ватра	[1.053, -0.1535]	[0.4289, 0.4807]	[0.499, 0.884]
Командовање	[0.7338, 0.5756]	[0.5159, 0.5404]	[0.454, 0.858]
Обавештајна делатност	[0.6227, 0.4263]	[0.5721, 0.5225]	[0.575, 0.595]
Покретљивост	[0.6465, 0.5011]	[0.5862, 0.575]	[0.6122, 0.6341]
Логистика	[0.6772, 0.5049]	[0.5968, 0.5722]	[0.643, 0.632]
Једноставност	[0.6371, 0.4797]	[0.6144, 0.5312]	[0.6577, 0.574]
Противваздухоплов-на дејства	[0.6641, 0.5345]	[5.51e-005, 0.431]	[0.7411, 0.6337]

Прва провера подешености адаптивне неуронске мреже, односно подешеног fuzzy логичког система врши се провером његове осетљивости. Провером осетљивости превасходно се утврђује да ли промене улаза резултирају адекватним променама излаза. Анализом функција са слике 5 долази се до закључка да подешени систем има задовољавајућу осетљивост, односно да се повећањем вредности улазних критеријума повећава и излазна вредност, и обрнуто. Са слике се јасно уочава зависност добијених функција од тежине улазних критеријума.

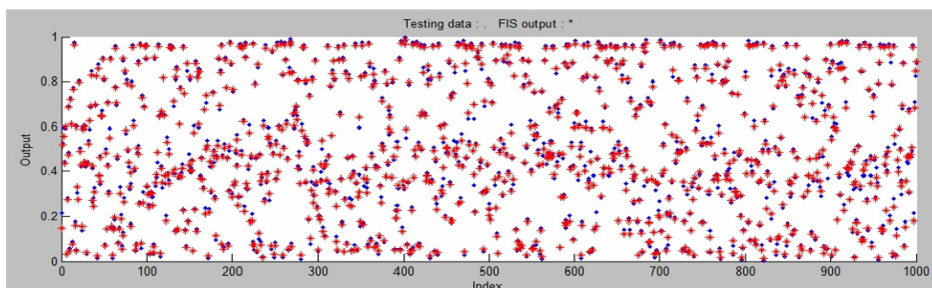


Слика 5 – Графички приказ осетљивости модела

Тестирање модела

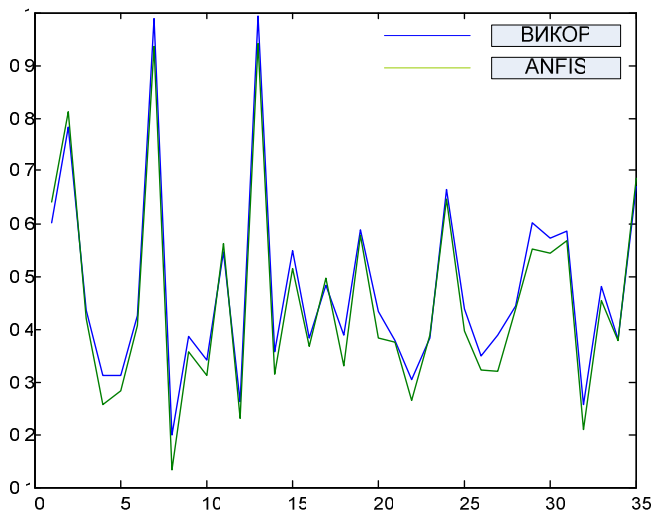
Тестирање описаног модела извршено је у две фазе.

Фаза 1: извршено је тестирање добијеног модела са подацима са којима је обучавана адаптивна неуронска мрежа. Резултати тестирања приказани су на слици 6. Плавим тачкама приказане су излазне вредности из методе ВИКОР које су коришћене за обучавање адаптивне неуронске мреже, а црвеним крстићима излазне вредности које се добијају помоћу обучене адаптивне неуронске мреже.



Слика 6 – Графички приказ излазних вредности којима је модел обучаван

Фаза 2: извршено је тестирање са новим подацима, којима није вршено обучавање модела. Приказ излазних резултата применом методе ВИКОР и адаптивне неуронске мреже види се на слици 7.



Слика 7 – Приказ излазних резултата

Као што се види са слике, разлике излазних резултата су прихватљиве, па се може сматрати да је адаптивна неуронска мрежа подешена.

Закључак

Избор варијанте употребе у свим врстама операција, па тако и нападним, од изузетног је значаја. У Војсци Србије велика пажња посвећује се развоју, анализи и вредновању варијанти употребе, али сталне промене оперативног окружења намећу потреба константног унапређења ових процеса.

Приказана адаптивна неуронска мрежа даје један приступ начину вредновања варијанти употребе у нападној операцији Копнене војске. У односу на постојеће стање овај модел има неколико предности. Успостављен је математички однос постојећег модела којег се развијеним варијантама употребе додељује квантитативна вредност. Тиме су описне представе (мало, велико, добар, лош) преведене у бројчане вредности, које се могу поредити и рангирати. Развијени модел штеди време потребно за доношење одлуке, смањује напрезање доносиоца одлуке и даје могућност лицима са мање искуства да донесу мање штетну, односно више корисну одлуку. Основни недостатак модела јесте што су сви улазни критеријуми приказани као лингвистички дескриптори, што лицима која доносе одлуку оставља и даље могућност грешке, која може да буде последица њихове субјективности.

Највећи значај модела је његова могућност даљег учења – подешавања, адаптације, јер је основни циљ модела да опонаша одлучивање команданата у конкретној ситуацији. Са довољним бројем нових података прецизност модела може се повећати. Модел може да се обучава и прилагођава на основу примера из праксе, што математичка формулација метода вишекритеријумског одлучивања не дозвољава. Изабраном варијантом употребе дефинише се ангажовање снага у нападној операцији, што даље омогућава прорачун њене цене коштања.

Литература

1. Seiford L. M.: „The evolution of the state-of-art (1978-1995)”, *Journal of Productivity Analysis*, vol. 7, 1996, 99-137.
2. Wang, Y. и Rong, G.: „A self-organizing neuralnetwork- based fuzzy system”, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 103, 1999, стр. 1-11.
3. Yuan, Y. и Suarga, S.: „On the Integration of Neural Networks and Fuzzy Logic Systems”, *Internat. Conf. on Systems, Man and Cybernetics*, Vancouver, Canada, 1995, стр. 452-456.
4. Божанић Д. и Памучар Д.: „Израда базе правила fuzzy логичког система за подршку одлучивању агрегацијом тежина премиса правила”, *Техника*, бр. 1/2014, стр. 129-138.
5. Божанић Д., Памучар Д. и Ђоровић Б.: „Модификација методе аналитичког хијерархијског процеса и њена примена у доношењу одлука у систему одбране”, *Техника*, бр. 2/2013, стр. 327-333.
6. *Војни лексикон*, Војноиздавачки завод, Београд, 1981.
7. Даниген Џ. Ф.: *Како водити рат*, ВИНЦ, Београд, 1983.
8. *Доктрина Војске Србије*, Медија центар „Одбрана”, Београд, 2010.
9. *Доктрина Копнене Војске*, Медија центар „Одбрана”, Београд, 2012.
10. Ђоровић Б.: „Методе експерата и оцена њихове компетенције”, *Савремени проблеми ратне вештине*, бр. 42/2000, стр. 135-154.

11. Каровић С., Пушара М.: „Критеријуми за ангажовање снага у операцијама”, *Нови гласник*, бр. 3-4/2010, стр. 37-58.
12. Клаузевиц К.: *О рату*, Графичко предузеће „Вук Караџић”, Београд, 1951.
13. Крстовић В., Славковић Р. и Кевац В.: „Организација рада на командном месту и функционисање процеса доношења одлука у операцијама”, *Војно дело*, бр. зима/2012, стр. 84-90.
14. MATLAB R2014b, доступно на: <http://www.mathworks.com/help/stats/supervised-learning-machine-learning-workflow-and-algorithms.html> (12. 10. 2014.).
15. Миленковић, С.: *Вештачке неуронске мреже*, Задужбина Андрејевић, Београд, 1997.
16. Мучибабић С., Васковић З. и Николић Н.: „Цена коштања војне операције”, *Зборник радова са Симпозијума „Теоријски и практични аспекти савремених операција”*, Војна академија, Београд, 2004, стр. 1-59-63.
17. Мучибабић С.: *Одлучивање у конфликтним ситуацијама*, Војна академија, Београд, 2003.
18. Оприцовић С. и Gwo-Hshiong Tzeng: „The Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS”, *European Journal of Operational Research*, бр. 2/2004, стр. 445-455.
19. Оприцовић, С.: *Вишекритеријумска оптимизација*, Научна књига, Београд, 1986.
20. Памучар, Д.: „Примена Fuzzy логике и вештачких неуронских мрежа у процесу доношења одлуке органа саобраћајне подршке”, *Војнотехнички гласник*, бр. 3/2010, стр. 125-145.
21. Памучар, Д., Божанић, Д. и Милић, А.: „Selection of a course of action by Obstacle Employment Group based on a fuzzy logic system”, *Yugoslav Journal of Operations Research*, рад прихваћен за објављивање, DOI 10.2298/YJOR140211018P.
22. Памучар, Д.: *Дизајнирање организационе структуре управних органа логистике коришћењем fuzzy приступа*, докторска дисертација, Војна академија, 2013.
23. Памучар, Д., Луковац, В. и Пејчић-Тарле, С.: „Application of adaptive neuro fuzzy inference system in the process of transportation support”, *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, бр. 2/2013, стр. 1250053.
24. Славковић, Р., Талијан, М. и Јелић, М.: „Пројектовање војних операција”, *Војно дело*, бр. зима/2012, стр. 129-139.
25. Субашић, П.: *Fuzzy логика и неуронске мреже*, Техничка књига, Београд, 1997.
26. Сувајац М., Ковач М.: „План и концепт војних операција”, *Војно дело*, бр. зима/2012, стр. 91-101.
27. *Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије*, ГШ ВС, Београд, 2013.