

СЪВРЕМЕННИ АВТОНОМНИ БОЙНИ СИСТЕМИ С ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

автор: Павел Г.Герасимов

e-mail: p.gerasimov@g-92.com

ABSTRACT

The following article concerns questions related with the control of groups of autonomous warfare complexes for the needs of the land forces. A new approach is proposed in which the given tasks are being completed by using modules that are based on the agent-oriented approach. The article introduces new terms such as: synergistical warfare systems, guaranteed synchronization, etc.

KEY WORDS

lethal autonomous weapons, LAWS, lethal autonomous weapon systems, LAWS, lethal autonomous robots, LAR, unmanned undersea vehicles, UUVs

Увод

Анализите на локалните конфликти през последното десетилетие по безспорен начин доказват, все по-нарастващата роля на автоматизираните комплекси с военно предназначение (АКВП).

Едно от най-перспективните направления в тази сфера е свързано с обслужването на различни оперативно-тактически задачи, пред които са изправени артилерийските батареи, ракетните дивизиони, отрядите за радиоелектронна борба (РЕБ), свързочните подразделения, разузнавателно-диверсионните подразделения, подразделенията на ПВО и др. В редица случаи това обслужване се извършва при използване на адаптирани за целта безпилотни летателни апарати (БЛА), в управлението на които е заложен специализиран софтуер, както и от роботизирани наземни средства с дистанционно управление (РНС).

Независимо от динамиката на технологичното развитие на военната индустрия, към настоящия момент са наложителни сериозни промени в проектирането и реализацията на автоматизираните модули. Като основни причини за това могат да бъдат посочени настъпилите промени в динамиката на бойните действия, както и качествените изменения на тактико-техническите параметри (ТТП) на съвременните бойни системи.

Според резултатите от проведените анализи към настоящия момент се използват универсални, а не тясно специализирани модули, съобразени със спецификата на военните подразделения от състава на сухопътните войски.

Съвременните тенденции изискват проектирането и разработката на АКВП, да бъдат съобразени с конкретните нужди на родовете войски съставляващи сухопътните, ВВС и отчасти ВМС.

Според областите на приложение бойните комплекси се разделят на следните категории:

- Сапърски роботи за еднократна или многократна употреба;

- Утилизационни устройства;
- Мобилни работи за подпомагане на процесите на РЕБ;
- Мобилни работи за подпомагане работата на подразделенията от КИС, осигуряване на връзка и подобряване комуникационните способности на подразделенията.
- Мобилни работи за разузнаване на градска среда, подходящи при системи за водене на градски бой, разузнаване на терен и нанасяне на поражения по противниковата инфраструктура.

Всяка една от така посочените категории се характеризира със свои специфични особености.

Основни задачи пред изграждането на съвременни АКВП

Преди да се пристъпи към разработката на АКВП, е нужно да бъде проведен задълбочен анализ на основните стратегически и оперативно-тактически задачи, за решаването на които те ще бъдат използвани.

За нуждите на РВА те са:

- Агрегация и първична обработка на високоточна геопространствена информация, както и решаване на широк спектър задачи, касаещи топогеодезическото и навигационно осигуряване на батареите;
- Локализиране на наземните и/или надводни цели и подготовка на целево обозначение;
- Наблюдение в реално време на бойните действия;
- Насочване на реактивното оръжие, използвано от наземните ракетни комплекси;
- Обслужване на високоточни боеприпаси;
- Борба с бронетанковите и пехотни подразделения на противника;
- Изпълнение на логистични задачи, в т.ч. и гарантиране доставката на боеприпаси и др..

По функционално предназначение автоматизираните комплекси могат да бъдат класифицирани както следва:

- Наземни разузнавателни, автоматизирани комплекси за нуждите на РВА, ПВО, РТВ, СВ, КИС, ВМС (по-конкретно в частта НИС и за нуждите на бреговата артилерия);
- Системи за въздушно разузнаване, които оставяме извън предмета на настоящите разглеждания;
- Защитни комплекси за унищожаване на обекти и цели на противника в т.ч. бронирани машини, самоходни оръдия, подвижни ракетни комплекси и др.;
- Нападателни автономни бионични комплекси „подвижна огнева точка”.

Всяко едно от посочените направления се характеризира със своя специфика. Подробното им разглеждане не е предмет на настоящия доклад. За да получим представа за високата сложност на въпроса, ще разгледаме някои от най-важните изисквания, предявявани към автоматизираните бойни системи.

Първият и най-важен аспект, който има пряко отношение към планирането, провеждането и анализа на едно оперативно мероприятие е разузнаването.

Основна задача на автоматизираните разузнавателните комплекси е да извършват агрегиране (*събиране на данни, получаване на информация*) и първична обработка (*цифровизация, съхраняване, филтриране, първичен анализ и др.*) при използване на оптични, оптико-електронни, *сейсмични, акустични или друг вид* сензори и специализирани преобразователни блокове, базирани на ЦАП и АЦП, като сме длъжни да подчертаем, че основната част от информацията е свързана с дислокацията (*разположението*) и действията на противниквите сили. Задачата може да бъде сведена до локализиране на един или група от подвижни обекти в *нееднородна среда*. Към това би следвало да се добави и възможността за провеждане на радиационно-химическо разузнаване, с всички произтичащи от това последствия. Този тип средства биха могли да бъдат използвани в най-рисковите направления, независимо от природните условия и по всяко време на денонощието.

Нападателните роботизирани средства от типа „*подвижна огнева точка*” са в състояние, да изпълняват както спомагателни (*поддържащи*), така и основни функции в бойните действия. Особено внимание трябва да бъде отделено, на възможността за изграждане на **автоматизирани синергетични минометни комплекси**, към които няма как да съотнесем **безекипажните самоходни оръдия**, които са предмед на друг вид разглеждания.

Към поставените изисквания могат да се добавят възможността за транспортиране на големи разстояния, наличието на подвижен пункт за управление и контрол, спомагателни средства за ремонт и поддръжка и др..

Всеки един модул е в състояние да функционира в стационарен и динамичен режими, при гарантирана *енергийна независимост* (висока степен на *робастност* на автоматизираната бойна система).

Според начина на управление, АКВП условно биха могли да бъдат разделени в две групи:

- Дистанционно –управляем (*до 5 километра*);
- Автономно-синергетични (*5 и повече километра*).

За всяка една от тях оптималните изисквания към максималното време за разгръщане на боекомплектите са както следва:

- За дистанционно- управляемите - *до 5 минути*;
- За автономно-синергетичните - *под 3 минути, като активацията на системите би следвало да не отнема повече от 60 секунди*.

Системи на база изкуствен интелект използвани в АКВП

Един от основните проблеми при проектирането на автоматизирани бойни системи, е определянето на изискванията към модулите, гарантиращи автономност.

Този въпрос е елемент от т.н. „методи за решаване на задачи“, които са основен компонент на *системите с изкуствен интелект (artificial intelligence systems)*.

При военните системи предметната област на този въпрос включва:

- Дефиниране на вида пространство, в рамките на което ще се решава задачата.
- Времева и пространствена динамика на изменение на параметрите.
- Определеност на задачите за изпълнение.
- Достоверност на входящите параметри.

Независимо от това дали военните действия се водят при полеви условия или в градска среда, първата и основна задача е обвързана с *локализирането на динамични обекти*.

Специфичното в този случай е, че обектите не са пасивни. Освен, че се стремят да променят своето положение в пространството, те представляват непосредствена заплаха за системата. Това е гарантирано от средствата за ефективна контраатака. Цел на тези средства е да неутрализират действията на АКВП. Този процес се нарича *противодействие на системата*.

Един от доказалите своята ефективност подходи при проектиране системите за управление на автономни комплекси, е агентно-ориентираният.

Определение: Под „агент“ се разбира всеки обект, който е в състояние да възприема заобикалящата го среда посредством датчици и да въздейства на тази среда, посредством изпълнителен механизъм.

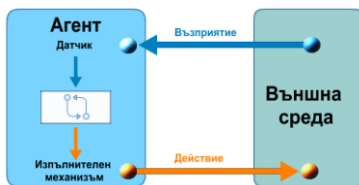
Агентите могат да бъдат както физически, така и виртуални (*програми*).

В зависимост от степента на автономност те се разделят на *абстрактни интелигентни агенти (abstract intelligent agents)* и *автономни интелигентни обекти (autonomous unintelligent objects)*.

Управлението на автономните бойни системи (АБС) с изкуствен интелект се осъществява от автономни интелигентни обекти.

Определение: Автономен интелигентен обект ще наричаме интелигентен агент с подчертана автономна същност. Тази същност се изразява във възможността агентът да формира своето поведение въз основа на придобитият опит, за сметка на вградено знание.

От така проведеното определение следва, че характерна особеност за този вид агенти е възможността им да се самообучават. Това позволява компенсация на грешката от неточности в предварително заложеното знание.



Фиг.1. Принципна схема на агент.

Предимството на агентно ориентирания подход при системите с изкуствен интелект (СИИ), е по-високата ефективност, в случаите, когато са налице фактори ограничаващи възможността за получаване на пълноценна информация за заобикалящата го среда.

Основно изискване към агентите е, те да бъдат максимално рационални (*елементи с висока степен на ефективност*).

По дефиниция: „*Рационалността на една система е нейната максимална прогнозна ефективност.*”.

Важно е да се отбележи, че *прогнозната* ефективност не винаги съвпада с *фактическата* такава. В идеалния случай те би следвало да бъдат равни, но в реалния, фактическата е с по-ниски стойности от прогнозната.

Първата и най-важна задача при прилагането на агентно-ориентирания подход, е определяне на *базовите критерии за ефективност на системата*.

При артилерийските и ракетни системи с наземно базиране, базовите критерии включват: тактико-техническите характеристики на използваните оръжейни системи, експлоатационните им свойства, условията при които са използвани, резултатите от тяхното прилагане и пр.. Тъй като става дума за относително сложни системи е необходимо, да се отчита и действието на различни случайни фактори (*смущаващи въздействия*), които влияят непосредствено върху общата ефективност и качеството на системата. Теоретично, оценката за степента на изпълнение на поставената пред автоматизираната система задача, може да варира в интервала от 0 до 100%. Реално обаче, ние имаме само два варианта - *задачата е изпълнена и задачата не е изпълнена*.

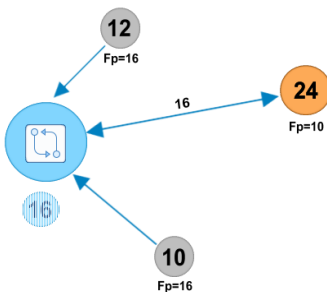
Използването на оценка съвпадаща с реалната, а не с теоретичната, позволява оптимизиране на използвания математически апарат и минимизиране на разходите за една автономна единица.

Едно от най-важните изисквания към системи използващи агентно-ориентиран подход, е високата скорост на реакция. Както ефективността, така и скоростта на реакция е величина, която се намира в непосредствена зависимост от много вътрешни или външни фактори за системата.

Вътрешните фактори имат непосредствено отношение към конструкцията, задвижващите механизми, управляващите блокове и пр. елементи, от които е изградена системата.

Външните фактори са свързани със заобикалящата среда (*специфика на терена, природно-климатични условия, флора и фауна на средата*) и противодействието, инспирирано от действията на системата (*прекъсване на телеметриката, физическо унищожаване, контраатака и др.*).

Всяка погрешна реакция от страна на агентите, които управляват системата, спрямо външно въздействие, може да доведе до нейното унищожаване.

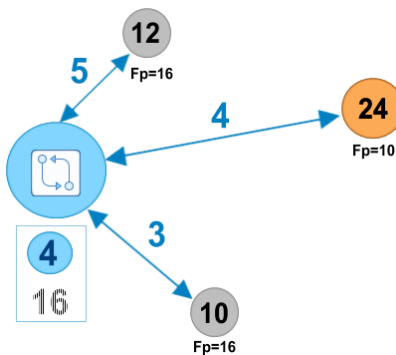


Фиг.2. Типична за автономните системи грешка

На Фиг.2 е показана типична за автономните системи грешка. В случая АКВП атакува обект с висока позиционна значимост и относително ниска огнева мощ, като за тази цел използва 16 от 16-те агента, изграждащи системата за управление. Разглежданият автономен комплекс е атакуван от два обекта с по-висока огнева мощ, чиято основна цел е разрушаване на датчиците и последващо преустановяване дейността на изпълнителните механизми.

За да бъде избегната тази грешка е наложително, при проектирането на АКВП, да бъдат предвидени средства за самоотбрана.

Същността на самоотбраната се изразява в това, че независимо от настъпилите изменения в заобикалящата я среда, системата винаги ще разполага с достатъчен брой незаети агенти, които ще бъдат в състояние да предотвратят всяка външна атака (случайна или умишлена).



Фиг.3. Разпределение на агентите в случай на самоотбрана

Числовата стойност на ефективността на АКВП се определя на базата на динамично променящи се критерии, при отчитане влиянието на външните фактори.

Важно е да отбележим, че скоростта на реакция е в пряка зависимост от начина, по който се изчислява тази стойност.

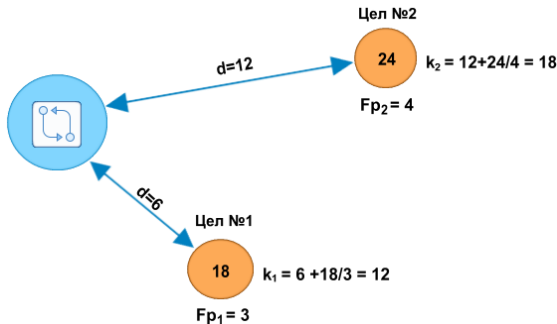
Определянето на ефективността във всеки един момент, е от изключително значение за последващите действия на автономните системи. За да бъде разбран този въпрос, ще си послужим с пример.

Пример:

Показаният на *Фиг.4* АКВП е от типа „*подвижна огнева точка*”, чиято задача е да се осъществи противодействие на настъпваща бронирана техника..

За изпълнението на поставената цел е нужно да бъдат унищожени колкото е възможно по-голям брой противникови машини, за възможно най-кратко време. Заданието ще се счита за изпълнена само, ако сумарната оценка на ефективността на унищожената противникова техника, е по-голяма от тази на АКВП (*врагът е понесъл по-големи загуби*).

Под „*ефективност*” на противниковата техника ще разбираме възможните поражения, които тя би могла да нанесе, в случай че не бъде унищожена. Към това би следвало да се добави и коефициент, отчитащ значимостта от стратегическа и/или тактическа гледна точка, на заеманата от обекта позиция.



Фиг.4. Определяне приоритета на атака.

На *Фиг.4* е показана опростена ситуация, при която системата за изкуствен интелект трябва да определи приоритетната цел на атака, при отчитане на следните показатели:

- d_i - Разстояние от АКВП до i -тия обект;
- P_{si} - Позиционна значимост на i -тия обект;
- F_{pi} - Огнева мощ на i -тия обект.

Изчисляването на k_i за всяка цел се извършва въз основа на следната зависимост 1.1:

$$(1) \quad k_i = d_i + \left(\frac{P_{si}}{F_{pi}} \right).$$

За първата цел $k_1 = 12$, а за втората $k_2 = 18$. В този случай приоритетна цел за АКВП е вторият обект, независимо, че се намира на по-голямо отстояние.

В разглеждания пример въведохме редица ограничения, с цел опростяване в максимална степен на използвания математическия апарат. Пренебрегнати бяха фактори, като влиянието на ландшафта, температура, влажността на въздуха, движението на въздушните маси и др..

За всички обекти бе прието, че те са абсолютно неподвижни (*стационарни обекти*) в момента на определяне на местоположението им. На практика, това е *идеален случай*, а не реална задача.

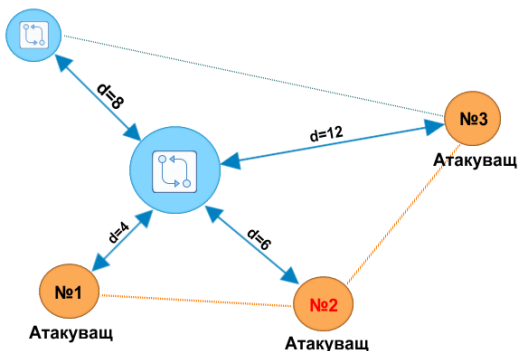
Друго наложено ограничение бе, че се абстрахирахме от това дали оръжието е реактивно или конвенционално.

При проектиране на интелигентните системи за управление на един реален АКВП от типа „*подвижна огнева точка*” задължително се приема, че всяка цел е *динамичен обект*, който променя своето местоположение в нееднородна среда. Също така е важно да се отчита, че атаката и контраатаката могат да се извършват *както в състояние на покой, така и в състояние на движение*.

Изключително важен аспект в етапа на проектиране е правилното формулиране на критериите, въз основа на които ще се формира начинът на разходване на боскомплекта на АКВП. В този случай е важно, да бъдат спазени изискванията за *гарантирана самоотбрана*.

Така изложените изисквания поставят редица допълнителни въпроси, касаещи проектирането на автономни военни комплекси. Причината за това е, че всеки един АКВП е елемент от много по сложна *самоорганизиращи се система*. Този вид системи имат по-скоро *бионичен* характер и изисква *гарантирана синхронизация* между обектите от една група. Това предполага използване на друг вид математически апарат, различаващ се от стандартно използвания при СИИ.

Успехът на всяко оперативно-тактическо мероприятие се намира в пряка зависимост от синхронизацията между бойните звена. Това е една от най-трудните задачи пред съвременните синергетични (*самоорганизиращи се*) бойни системи.



Фиг.5. Взаимодействие между автоматичните бойни обекти

За нуждите на настоящите разглеждания ще опитаме да подложим на анализ, реакцията на два АКВП в случай когато единият от тях е подложен на атака. Ситуацията е илюстрирана на Фиг.5.

Приемаме, че взаимодействието между вражеските обекти се осъществява посредством безпроводна връзка, при която обект с номер 2 служи като ретранслатор за обекти с номера 1 и 3.

С цел упростиране на математическия апарат ще приемем, че всеки един от обектите се *придвижава линейно в равнинна плоскост с постоянна скорост* спрямо всички останали. Също така допускате, че всеки един обект, е в състояние да удържи атаката на друг, за времето необходимо за да се измени дистанция от 4 условни единици.

Най-близо до атакуваната АКВП се намира обект с номер 1 (дистанция $d_1 = 4$). Приятелският обект, който би следвало да осъществи поддръжка, се намира на по-голяма дистанция.

Първото решение, генерирано автоматично от системата за управление на АКВП, е да бъде унищожен вражески обект с номер 2. Логиката за това се изразява в следното:

- Елиминирайки обект с номер 2, на практика се прекратява взаимодействието между обект с номер 3 и обект с номер 1;
- Дистанцията до обект с номер 1 е 4 условни единици, а до обект с номер 2 – 6 условни единици. Разликата е 2 условни единици, което означава, че АКВП ще бъде в състояние да противодейства на неизбежната атака от страна на обект номер 1.
- Времето, през което ще се осъществи това е достатъчно, за да бъде в състояние вторият АКВП да се включи в защитните действия и да спомогне за отрязване на атаката от страна на обект с номер 3.

Така описаната логика следва определен алгоритъм, който лесно може да бъде мащабиран.

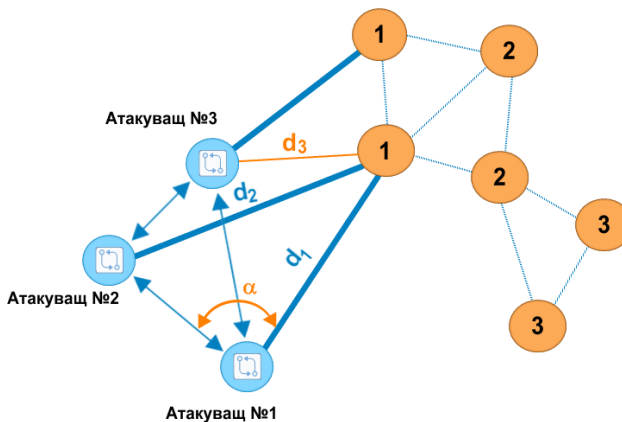
При проектиране на реална АКВП се приема, че атакуващите обекти са в състояние да променят скоростта си на придвижване и не се движат праволинейно. Също така е важно да се знае, че управлението на реалните АКВП работи не в двумерно, а в n-мерно пространство (отчитат се фактори като време, температура, атмосферно налягане и др.).

Когато автономните средства изпълняват тактическо задание в група, е необходимо периодично да се извършват корекции във функционирането на агентите, с оглед настъпилите промени в оперативната обстановка. На практика част от агентите изпълняват ролята на своеобразни координатори. В редица случаи този процес се разглежда като „*прегрупиране*”.

На Фиг.6 е показан случай, при който три АКВП атакуват шест противникови обекта. Използвайки механизма на прегрупиране, два от атакуващите модули извършват нападение над един от противниковите. По този начин те имат гарантирано числено превъзходство. В същото време третият модул, атакува най-близо стоящият обект, като целта е да нанесе поражения до момента, в който бъде подкрепен от един от двойката АКВП, атакували съседна цел. Останалият свободен атакуващ обект се насочва към най-близката цел.

Очевидно е, че тук не става дума за просто решаване на транспортна задача (*намиране на най-кратък път*), а за нещо доста различно.

Системата за изкуствен интелект взема решение, коя да бъде атакуваната от обекта цел, не въз основа на отстоянието до целта и отстоянието до най-близкият атакуващ обект, а *въз основа на ъгъла*, който се сключва между линиите свързващи обекта, с най-близкия атакуващ и този с най-близката атакувана цел. Ако този ъгъл е по-малък от 120° ($\alpha \leq 120^\circ$), целта се атакува по двойки. Ако обаче това условие не е изпълнено ($\alpha > 120^\circ$), АКВП атакува самостоятелно. На практика задачата бе сведена, до стандартна задача от теория на управлението, използваща размита логика.



Фиг.6. Избор на последователност от цели в случай на прегрупиране

Друг критерий за формиране на атакуваща двойка е сходството в отстоянието до целта. Колкото това сходство е по-голямо, толкова е по-голяма вероятността, съседни обекти да формират атакуваща двойка.

Подобен подход се използва и при други тактически прийоми, които системите с изкуствен интелект използват за да решат поставената задача. На практика АКВП са в състояние да извършат „прихващане“, „отклоняване“ и друг вид прийоми, характерни за конвенционалните бойни действия.

Заклучение

От така разгледаните примери, може да получим бегла представа, за всички проблеми съпътстващи проектирането, на управляващите модули на съвременните системи с изкуствен интелект.

За разлика от системите с телеметрично управление, автономните синергетични системи са в състояние да изпълняват оперативни задачи без човешка намеса.

Ако се придържаме стриктно към семантичното значение на думата „*изкуствен интелект*“, неминуемо ще стигнем до извода, че използваните от сухопътните войски АКВП, са по-скоро системи с *изкуствен инстинкт*.

Предимствата на този вид системи е, че те са много по-лесни за реализация, изискват много по-малък експлоатационен ресурс и са многократно по-ефективни в реална бойна обстановка.

За тяхната практическа реализация обаче е нужно, да се обединят усилията на експерти в направления, като управление на огъня, математическо моделиране, програмиране, автоматика, бионика и др..

Това, което би следвало да се отчита е, че за нуждите на ракетните войски и артилерията АКВП притежават своя специфика. Крайно необходимо, да се пристъпи към изграждане на специализирано направление, което да разработи теоретичните основи и инженерните решения, на принципно нови наземни артилерийски и ракетни системи с автономно действие, както и на средства за активно противодействие на космически навигационни системи.

Друг интересен аспект е, че всички принципи на взаимодействие, които бяха разгледани в настоящият доклад могат да бъдат приложени без съществени изменения и към автономните подводни апарати (*Unmanned Undersea Vehicles, UUVs*).

Използвана литература:

1. Buckland M. Programming game AI by example. Wordware, 2005. ISBN1556220782.
2. Cormen T.H. Introduction to algorithms. The MIT press, 2001. ISBN0262032937.
3. Haykin S. Neural networks: a comprehensive foundation. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA, 1994. ISBN0023527617.
4. Russelland S.J., P. Norvig. Artificial intelligence: a modern approach. Prenticehall,1995.
5. Ранбиди Н.Г., Е.П.Гребенников, А.И.Адамацкий, А.Г.Девятков, Д.В.Яковенчук. Биомолекулярные нейросетевые устройства. Радиотехника М, 2002.
6. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах; под ред. В.Н.Вагина и Д.А.Поспелова. — М.: Физматлит, 2004.—704 с.
7. Ahmed, S.H., Gwanghyeon Kim, Dongkyun Kim. Cyber Physical System: Architecture, applications and research challenges. Wireless Days, 2013 IFIP Conference: 13-15 Nov. 2013. P. 1 – 5.
8. Hoang, Dat Dac, Hye-Young Paik, and Chae-Kyu Kim. Serviceoriented middleware architectures for cyber-physical systems, International Journal of Computer Science and Network Security. 2012. P. 79-87.
9. Wu, Fang-Jing, Yu-Fen Kao, and Yu-Chee Tseng. From wireless sensor networks towards cyber physical systems, Pervasive and Mobile Computing. 2011. P. 397-413.
10. Sanislav, Teodora, and Liviu Miclea. Cyber-Physical Systems–Concept, Challenges and Research Areas, Journal of Control Engineering and Applied Informatics. 2012. P. 28-33.
11. Wan, J., Yan, H., Liu, Q., Zhou, K., Lu, R. and Li, D. Enabling cyber-physical systems with machine-to-machine technologies, Int. J. Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2012. Vol. 9, No. 3/4. P.1-9.
12. Insup Lee, Sokolsky. O. Health Cyber Physical Systems, 47th ACM/IEEE Design Automation Conference, Anaheim, 2010. P.13-18.