

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ РАДІОМЕРЕЖ КЛАСУ MANET

У статті проаналізовано можливість використання інтелектуальних агентів для побудови систем управління вузлами радіомереж класу MANET, що дозволить вирішувати задачі, які виникають в ході управління МР.

Симоненко А.А., Уманець Я.Л., Романюк В.А., Сова О.Я. Анализ возможностей использования интеллектуальных агентов для построения системы управления узла радиосети класса MANET. В статье проанализирована возможность использования интеллектуальных агентов для построения систем управления узлами радиосетей класса MANET, что позволит решать задачи, возникающие в ходе управления МР.

O. Symonenko, Y. Ymanets, V. Romanyuk, O. Sova Opportunities analysis using intelligent agents for construction management system class MANET. The possibility of using intelligent agents for building nodes control systems in MANET, which allows to solve problems arising in the management of the mobile radio networks, is presented in the article.

Ключові слова: мобільна радіомережа, інтелектуальна система управління, інтелектуальний агент.

Актуальність досліджень. Перспективи реформування і розвитку Збройних Сил України (ЗСУ) тісно пов'язані з впровадженням ефективної системи управління (СУ) військами (силами). У зв'язку з цим, одним з актуальних завдань подальшого розвитку ЗСУ є створення багаторівневої мобільної компоненти (МК), основу якої складатимуть мобільні радіомережі (МР) загального користування, що будуються за технологією MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*). МР призначені для забезпечення обміну інформацією в інтересах всіх військ, які діють в тактичній ланці незалежно від їх підпорядкування та призначення.

МР або MANET – динамічна структура мереж зв'язку з можливістю самоорганізації та адаптації, яка передбачає наявність базових станцій та фіксованих маршрутів передачі інформації [3, 9]. До особливостей МР тактичної ланки управління відносяться: висока динаміка топології, значна розмірність, низька пропускна спроможність радіоканалу, неоднорідність вузлів (за продуктивністю, потужністю, мобільністю) та ін.

Особливості МР та специфіка завдань, які покладаються на них, вимагають виконання підвищених вимог щодо забезпечення доставки великих обсягів інформації із заданою якістю. Більшість типів трафіка чутливі до перевантажень мережі, затримки та втрати пакетів з даними, а отже вимагають застосування методів, що відносяться до різних рівнів моделі OSI та могли б забезпечити їх повноцінну передачу в безпроводових мережах з динамічною топологією, до яких відносяться МР [1, 4].

Зазначені вище особливості МР, а також умови їх функціонування, які характеризуються невизначеністю вихідних даних, потребують наявності ефективної системи управління у складі кожного мобільного вузла [8]. Для прийняття рішень щодо управління вузловими та мережевими ресурсами система управління повинна оцінити множини різних параметрів функціонування вузла та мережі: швидкість та напрям переміщення вузла, ємність вузлової батареї, потужність передавача, ширина смуги пропускання інформаційного напрямку та час затримки передачі пакетів на ньому, тощо. Зважаючи на те, що природа поведінки вузлів МР непередбачувана і отримати чіткі значення зазначених параметрів в режимі реального часу неможливо, доцільно отримати хоча б наближені значення цих величин („мале”, „середнє”, „велике”, тощо) для прийняття управлінського рішення. Тому, в [3] запропоновано інтелектуалізувати процес управління

вузлами МР шляхом використання технологій обробки даних та отримання знань, які є головним предметом вивчення в теорії штучного інтелекту.

Аналіз останніх публікацій. На сьогодні існує велика кількість праць вітчизняних та закордонних вчених щодо інтелектуалізації управління різними об'єктами та системами. Зокрема у працях Макарова І.М. аналізуються нові концепції, принципи і технології прийняття інтелектуальних рішень в системах управління [14]; у працях Шабельникова А.М та Ковальова С.М. розглядаються інтелектуальні системи розподіленого моніторингу на основі безпроводових сенсорних мереж[2]; С. Нагараян (*S. Nagarajan*) розглядає можливість інтелектуалізації процесу маршрутизації в безпроводових сенсорних мережах та ін.[13]. Разом з тим, відсутність робіт, спрямованих на дослідження інтелектуалізації процесу управління МР класу MANET, а також інтенсивний розвиток систем управління в напрямку їх інтелектуалізації, роблять *актуальним* завдання побудови системи управління вузлами МР з використанням інтелектуальних агентів.

Метою даної статті є аналіз можливостей використання інтелектуальних агентів для побудови системи управління вузлами радіомереж класу MANET.

Об'єктом дослідження є процес управління МР класу MANET. *Предметом* дослідження є технологія інтелектуальних агентів для побудови системи управління вузлами радіомереж класу MANET.

Інтелектуальна система управління МР. У загальному випадку інтелектуальною системою управління (ІСУ) називають кібернетичну систему, призначену для вирішення задач, точний алгоритмізований метод вирішення яких априорі є невідомим [12]. При цьому під вирішенням задач розуміється будь-яка діяльність, пов'язана зі збором інформації про стан об'єкта управління та середовища, в якому він функціонує, розробкою планів і виконанням дій, необхідних для досягнення визначеної мети [5]. Головна відмінність ІСУ від інших кібернетичних систем, полягає в наявності характерних їм ознак:

- наявність у ІСУ власних внутрішніх моделей об'єкту (об'єктів) управління та навколишнього середовища, що забезпечує здатність системи самостійно оцінювати вхідну інформацію;
- здатність ІСУ поповнювати наявні знання, засвоювати їх та навчатися на основі отриманої вхідної інформації про стан об'єктів управління та навколишнього середовища;
- здатність ІСУ виділяти нові якісні характеристики об'єктів управління та навколишнього середовища;
- здатність до дедуктивного виведення та генерації нового рішення, що у явному і готовому вигляді не міститься в самій системі;
- здатність до прийняття рішень в умовах невизначеності (нечіткої, неточної, недостатньої вхідної інформації);
- еволюційність і адаптивність ІСУ – набуття знань системою здійснюється за допомогою навчання, заснованого на адаптації (приспосованні) її структури і параметрів у процесі еволюційного розвитку до умов зовнішнього середовища, що змінюються.

Тривалий час вважалося, що ІСУ ефективні лише для вирішення так званих неформалізованих і погано формалізованих завдань, пов'язаних з необхідністю включення в алгоритм їхнього вирішення даних про навчання на реальному експериментальному матеріалі (наприклад, завдання розпізнавання образів). Однак останнім часом ІСУ все ширше використовуються при вирішенні завдань у системах зв'язку й телекомунікацій: управління комутацією, маршрутизація, управління трафіком, розподіл каналів у рухомих системах радіозв'язку й т.д. [6, 10].

Доцільно чітко описати процес інтелектуалізації управління, з огляду на особливості зазначеного вище об'єкту та предмету дослідження. З урахуванням ознак, характерних ІСУ, *інтелектуалізація* системи управління вузлом МР – це процес використання технологій обробки знань для формування правил доцільної поведінки вузла МР в залежності від умов які склалися в радіомережі.

Відповідно до цього визначення, функціями ІСУ вузлом МР є наступні:

- збір і обробка даних про ситуацію, що склалася в МР за допомогою спеціалізованих алгоритмів обробки знань, а також програмних і апаратних засобів для їхнього перетворення (поповнення бази знань вузла або всієї МР);
- планування ефективної і доцільної поведінки мобільного вузла, що вимагає створення відповідних методів формування цілей і вирішення задач управління вузловими та мережевими ресурсами;
- розпізнавання змін обстановки в МР і формування відповідних реакцій на них з боку мобільних радіовузлів на основі правил, що містяться в базі знань ІСУ, які були отримані шляхом навчання.

В [7] представлено узагальнену модель інтелектуальної системи управління вузлом МР (рис. 1), яка повинна бути реалізована всіма елементами МР, зокрема – центром управління мережею, базовими станціями і мобільними користувачами (вузлами) [6, 11]. Запропонована модель ІСУ вузлом МР має досить складну структуру і включає до свого складу низку функціонально-підлеглих підсистем. Така організація системи управління вузлом дозволяє йому володіти розвиненими інтелектуальними можливостями щодо аналізу й розпізнавання обстановки, формування стратегії доцільної поведінки, планування послідовності дій, а також синтезу управляючих впливів, спрямованих на задоволення вимог до обслуговування різних типів трафіка.

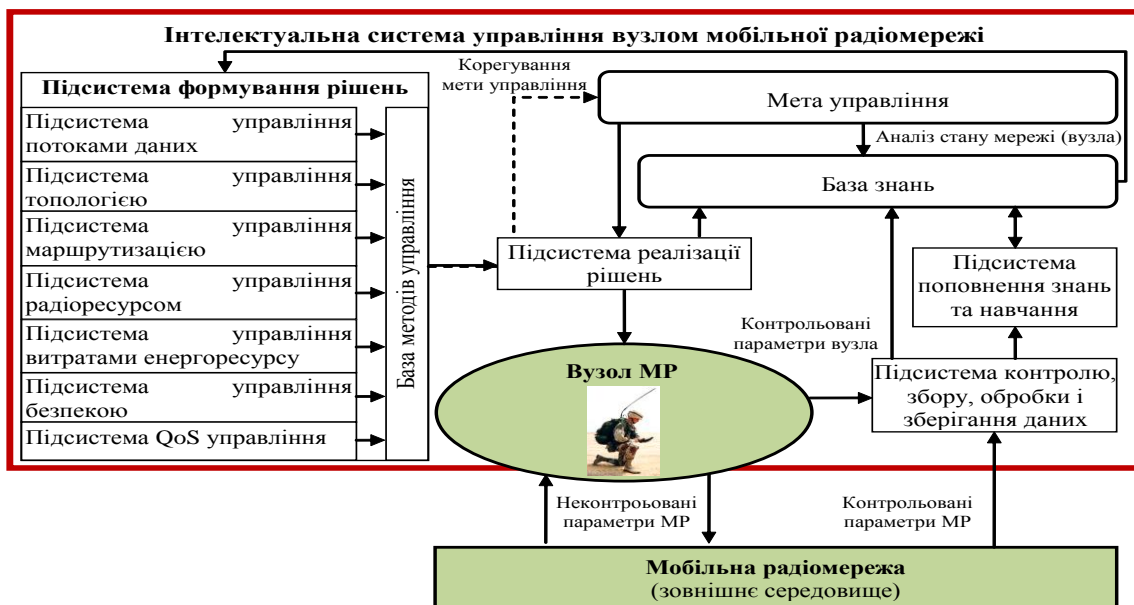


Рис. 1. Узагальнена модель інтелектуальної системи управління вузлом мобільної радіомережі

Важливо зазначити, що головна архітектурна особливість, яка відрізняє запропоновану інтелектуальну систему управління від побудованої за „традиційною” схемою, пов’язана з підключенням механізмів зберігання й обробки знань (блок „база знань”) для реалізації здатності виконувати необхідні функції в умовах невизначеності (неповноти інформації) при випадковому характері зовнішніх впливів. В базі знань міститься інформація про принципи побудови системи управління та мету її функціонування, специфіку використання різних методів управління, а також особливості функціонування підсистеми реалізації рішень та самого об’єкту управління. Крім того, до складу системи управління, у разі необхідності, може входити *підсистема поповнення знань та навчання*, яка забезпечує узагальнення накопиченого досвіду і, таким чином, поповнює базу новими знаннями.

Підсистема контролю, збору, обробки і зберігання даних призначена для вимірювання контрольованих параметрів мобільних вузлів та радіомережі в цілому.

Підсистема формування рішень побудована за принципом функціональності управління, який передбачає об'єднання функцій системи управління у відносно незалежні групи, що дозволяє здійснити декомпозицію управління мережею на підсистеми (що значно спрощує задачу розробки математичного забезпечення управління).

Для забезпечення виконання покладених на ІСУ вузлом МР функцій реалізація наведених вище підсистем можлива з використанням так званих програм-агентів. З одного боку, агент – це програма, яка знаходиться в середовищі, від якого отримуються дані про події, що відбуваються, інтерпретує їх і виконує команди, що впливають на це середовище. З іншого боку, поняття агента стало одним з розширень поняття програми. Воно з'явилося у зв'язку з використанням програм не тільки для вирішення численних завдань, пов'язаних зі збором, обробкою та структуризацією інформації, але і в системах реального часу (*real-time systems*) для швидкого прийняття рішень різними системами управління. Агент може містити програмні і апаратні компоненти.

На рис. 2 зображена класифікація агентів за різними ознаками.

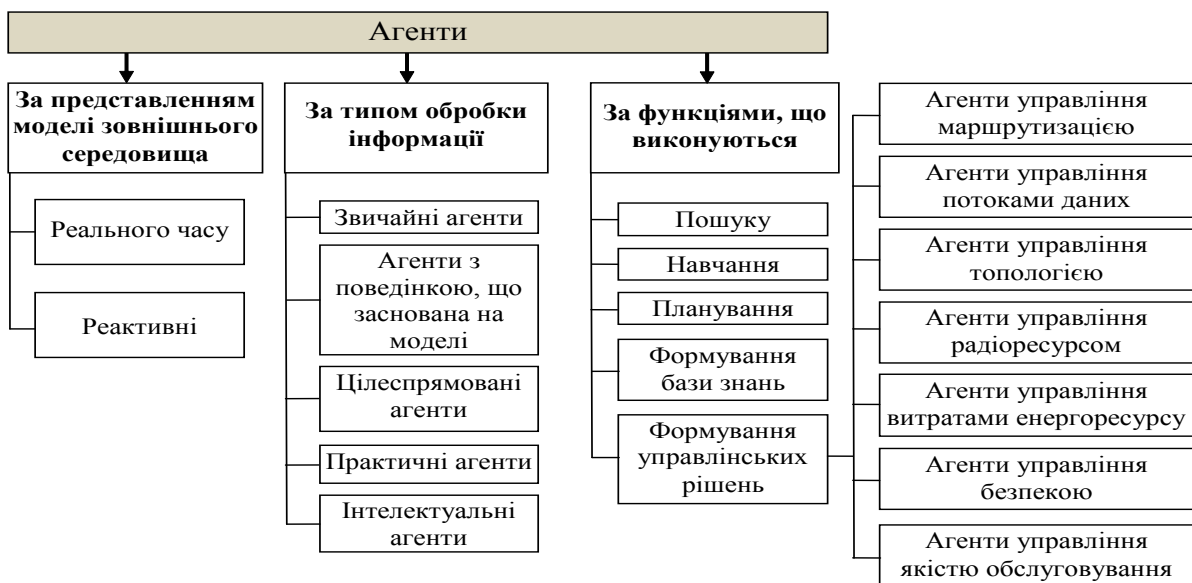


Рис. 2. Класифікація агентів

Розглянемо наведену класифікацію детальніше. Головна відмінність агентів, що працюють у режимі реального часу, є те, що вони функціонують (запускаються, призупиняються, поновлюються, завершуються, запускаються знову) у відповідності із зовнішніми фізичними збудниками (змінами у навколишньому чи програмному середовищі). Програма-агент, що працює в реальному часі, взаємодіє з оточенням (отримує і передає інформацію) за допомогою інтерфейсів, тобто вона впливає на навколишнє середовище і відчуває, в свою чергу, вплив навколишнього середовища. Звідси випливає інша відмінність програм-агентів реального часу, яка полягає у потенційній можливості оцінювати результати свого функціонування (зворотній зв'язок) і міняти свої дії в майбутньому з урахуванням досвіду, отриманого в минулому. Саме ці відмінності від звичайної програми призвели до виникнення поняття інтелектуального агента (ІА). У традиційних системах програми можуть правильно функціонувати тільки в умовах повністю передбачуваного оточення, а не в умовах невизначеності. Для того щоб виконати за допомогою програми деякі обчислення користувач повинен задати всю вхідну інформацію (аргументи). Якщо програма бере вихідні дані з бази даних, то повинна бути повна впевненість у тому, що ці дані є в базі. Реактивні ж агенти не мають ніякого уявлення про стан зовнішнього середовища, ні механізму вирішення завдань, ні достатньої кількості власних ресурсів.

Агенти *пошуку* займаються пошуком інформації та поповнюють нею наявну базу даних, з якої потім агенти *формування бази знань* формуються знання та правила, що застосовуються при вирішенні поставлених завдань. Агент *планування* відповідає за організацію діяльності ІСУ при вирішенні різних задач. Він повинен балансувати діяльність ІСУ між метою її функціонування в умовах, що змінюються, і безпосереднім виконанням поставлених на вузол МР завдань з урахуванням доступних вузлових та мережевих ресурсів.

Агенти *навчання* здійснюють процес інтелектуалізації системи управління, тобто забезпечують здатність самостійно приймати рішення.

Агенти *формування управлінських рішень* відповідають за реалізацію множини методів управління вузловими та мережевими ресурсами, які функціонують на різних рівнях моделі OSI.

Звичайні агенти діють тільки на основі поточних знань (рис. 3). Їх агентська функція заснована на схемі умова-дія (*IF* (умова) *THEN* (дія)). Така функція може бути успішною, тільки якщо навколишнє середовище повністю піддається спостереженню. Деякі агенти також можуть мати інформацію про власний поточний стан, що дозволяє їм не звертати уваги на умови, передумови яких вже виконані.

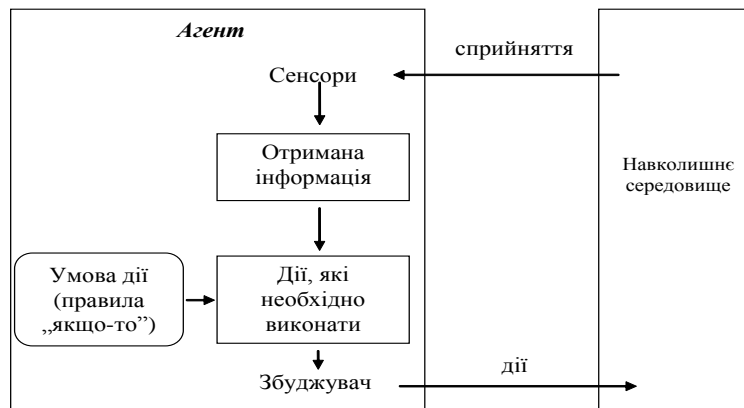


Рис. 3. Структурна схема звичайного агента

Агенти з поведінкою, що засновані на моделі, можуть оперувати з середовищем, яке лише частково піддається спостереженню. У середині агента зберігається уявлення про ту частину, що знаходиться поза межами огляду. Щоб мати таке уявлення, агенту необхідно знати, як виглядає навколишній світ, як він влаштований.

Цілеспрямовані агенти схожі з попереднім типом, проте вони, крім іншого, зберігають інформацію про ті ситуації, які для них прийнятні. Це дає агенту можливість вибрати серед багатьох шляхів той, що приведе до потрібної мети.

Цілеспрямовані агенти розрізняють тільки стан, коли мета досягнута, і коли не досягнута. *Практичні агенти*, крім цього, здатні розрізняти, наскільки бажаний для них поточний стан. Така оцінка може бути отримана за допомогою „функції корисності”, яка проектує безліч станів на безліч заходів корисності станів.

ІА мають здатність до навчання і пристосування до змін навколишнього середовища. На відміну від звичайного агента (рис. 3), який передбачає реакцію на зовнішній вплив, шляхом перебору наявних в базі знань правил, яка самостійно не поповнюється, ІА в своєму складі має блоки, які дозволяють їм виробляти нові знання в процесі функціонування (рис. 4).

Сенсори агента відповідають за отримання повідомлень від середовища та інших агентів і деяким чином перетворюють їх у внутрішнє представлення агента (які, в разі автономності агента, нічим не відрізняються від середовища за способом взаємодії). У *блоці*

порівняння агента здійснюється порівняння наявної інформації, що міститься в базі знань, з інформацією, яка надходить від зовнішнього середовища та інших агентів.

Блок навчання агента відповідає за поповнення новими знаннями існуючої бази знань, яка служить для зберігання всіх без винятку знань, отриманих в процесі функціонування агента. Сюди входять база моделей агентів, база знань про розв'язувані задачі і база знань власного „досвіду”. На етапі ініціалізації в базі знань знаходиться деяка інформація про стан зовнішнього середовища та інших агентів. Дані поміщаються в базу по мірі взаємодії з іншими агентами чи навколишнім середовищем. База знань, опрацьовуючи ситуацію, яка склалася, зберігає знання про способи вирішення завдань і методи вибору цих способів.

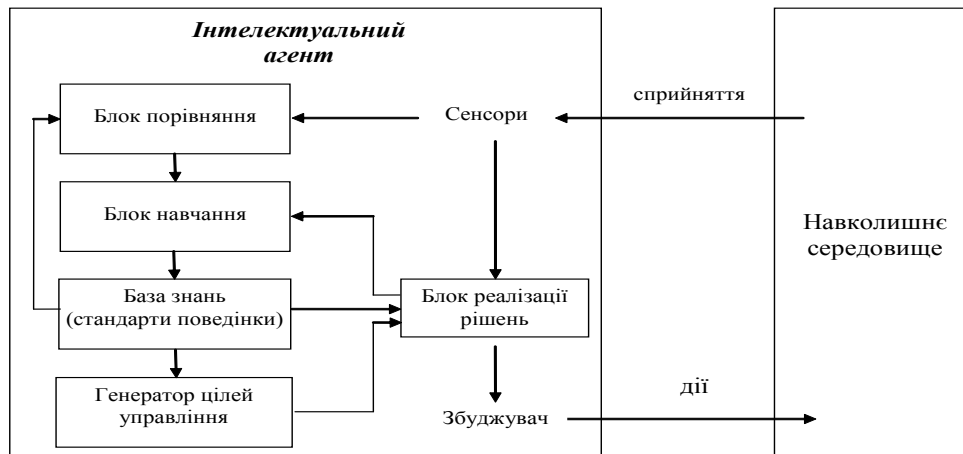


Рис. 4. Інтелектуальний агент

В блоці *генератор цілей управління* обробляються всі отримані дані та показники і формується ціль, яку потрібно досягти для вирішення поставленої задачі. У блоці *реалізації рішень*, на основі правил поведінки, визначених базою знань, а також поставленої мети здійснюється формування та реалізація управляючого впливу. *Збуджувачі* агента служать засобом відправлення управляючих повідомлень до середовища та інших агентів.

Таким чином, на відміну від звичайних агентів, ІА володіють деякими знаннями про навколишній світ, які дозволяють їм самим вирішувати завдання без втручання користувача. Крім того, ІА може взаємодіяти з іншими агентами з метою спільного вирішення певних завдань. Сьогодні прийнято розрізняти два визначення інтелектуального агента – „слабке” і „сильне” [13].

Під ІА в слабкому сенсі розуміється програмно або апаратно реалізована система, яка володіє такими властивостями:

автономність – здатність інтелектуального агента функціонувати без втручання людини і при цьому здійснювати самоконтроль над своїми діями і внутрішнім станом;

суспільна поведінка (*social ability*) – здатність функціонувати у взаємодії з іншими агентами, обмінюючись з ними повідомленнями за допомогою деякої загальнозрозумілої мови комунікацій;

реактивність (*reactivity*) – здатність сприймати стан середовища і своєчасно відповідати (реагувати) на ті зміни, які в ній відбуваються;

мобільність (*mobility*) – здатність агента мігрувати мережею в пошуках необхідної інформації для вирішення своїх завдань, при кооперативному вирішенні завдань спільно або за допомогою інших агентів і т.д.;

проактивність (*proactivity*) – здатність агента брати на себе ініціативу, тобто здатність генерувати цілі і діяти раціонально для їх досягнення, а не тільки реагувати на зовнішні події.

Сильне визначення агента формується за допомогою доповнень до вище перелічених властивостей. Зокрема, головним з них є наявність у агента хоча б деякої підмножини так

званих „ментальних властивостей”, або інтенціональних понять, до яких відносяться наступні:

знання (*knowledge*) – це постійна частина знань агента про себе, середовище і інших агентів, тобто та частина, яка не змінюється в процесі його функціонування;

переконання (*beliefs*) – знання агента про середовище, зокрема, про інших агентів; це ті знання, які можуть змінюватися в часі і ставати невірними, проте агент може не мати про це інформації і продовжувати залишатися в переконанні, що на них можна засновувати свої висновки;

бажання (*desires*) – це стани, ситуації, досягнення яких з різних причин є для агента бажаним, проте вони можуть бути суперечливими і тому агент не очікує, що всі вони будуть досягнуті;

наміри (*intentions*) – це те, що агент або зобов’язаний зробити в силу своїх зобов’язань по відношенню до інших агентів (йому „це” доручено і він узяв цю задачу на себе), або те, що впливає з його бажань (тобто несуперечливе підмножина бажань, вибране з тих чи інших причин, і яке є сумісним з прийнятими на себе зобов’язаннями);

цілі (*goals*) – конкретика множини кінцевих і проміжних станів, досягнення яких агент прийняв в якості поточної стратегії поведінки;

зобов’язання по відношенню до інших агентів (*commitments*) – завдання, які агент бере на себе на прохання (дорученням) інших агентів у рамках кооперативних цілей або цілей окремих агентів в рамках співпраці.

Відповідно до представленої в [7] концепції, а також проведеної вище класифікації агентів інтелектуальну систему управління вузлом МР (див. рис. 1) можна представити у вигляді моделі, що складається з ІА різного призначення (рис. 5). Координація роботи ІА здійснюється метаагентом, який відповідає за функціонування вузлової ІСУ, метою якого є забезпечення заданої якості обслуговування різних типів трафіка, що передаються в радімережі.

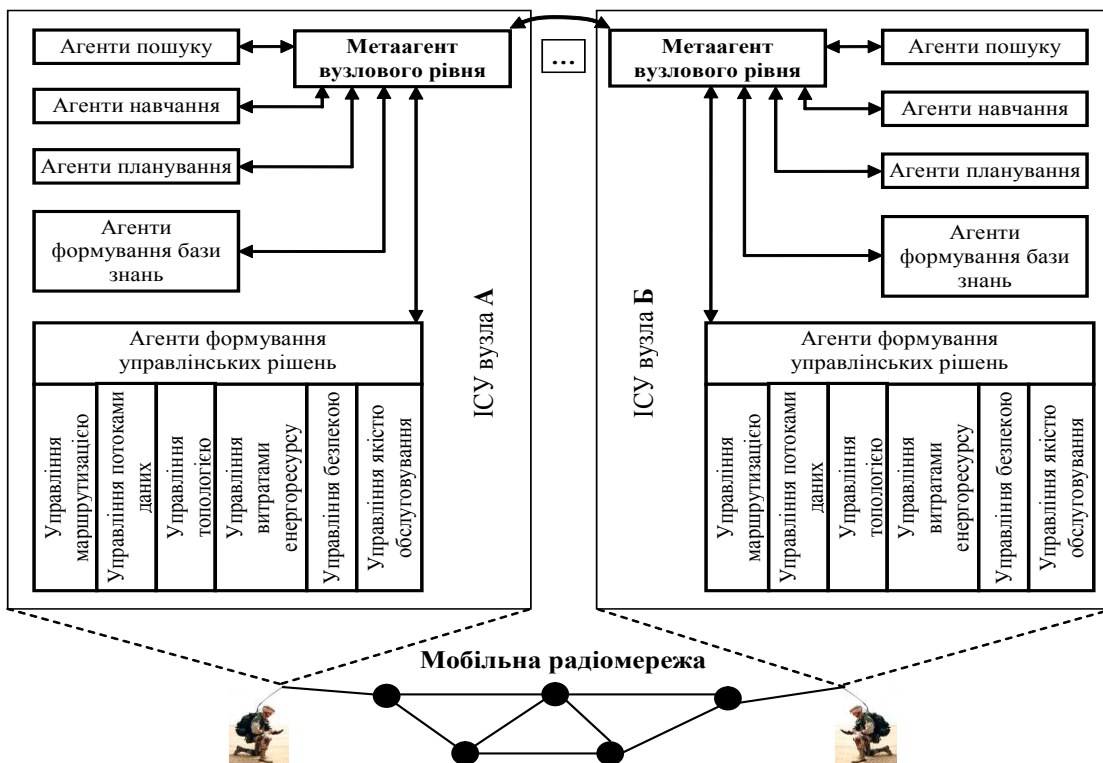


Рис. 5. Модель системи управління вузла МР з використанням ІА

З урахуванням поточного стану вузла зв’язку та вимог до якості передачі певного типу інформації, а також поточного стану та динаміки зміни середовища, ІА повинні здійснювати

формування управляючих рішень та забезпечувати адаптацію системи управління до зміни зовнішнього середовища або зміни параметрів вузлової системи управління шляхом:

- підтримки необхідних режимів функціонування мобільних вузлів (радіомережі чи її зони);
- створення правил поведінки та моделей реакцій на основі даних, отриманих з зовнішнього середовища;
- перерозподілу функцій мобільного вузла, у разі виходу його з ладу, на інший мобільний вузол чи групу вузлів;
- визначення (зміна, у разі необхідності) пріоритетів функціонування ІА в залежності від доступних йому внутрішніх ресурсів, що дозволить уникнути ситуації, за якої прийняття управляючих рішень буде покладене на ІА з недостатніми внутрішніми ресурсами;
- активізації інших ІА у разі зміни параметрів зовнішнього середовища чи після надходження команд з ІСУ;
- збору даних про стан навколишнього середовища, а також вузлові та мережеві ресурси і передача цих даних (за необхідності) іншим ІА;
- забезпечення самонавчання ІСУ на основі зібраної інформації про стан навколишнього середовища та стан самої системи управління;
- виконання функцій тимчасового координатора МР, при втраті зв'язку з вузлом, який координує роботу МР, в залежності від визначеної в процесі функціонування пріоритетності;
- відстеження подій і сигналізації про їх виникнення при надходженні управляючої команди від ІСУ;
- отримання даних про правила поведінки та моделі реакцій від ІА вузлового рівня.

Висновки. Таким чином, забезпечення здатності МР до самоорганізації, а також адаптації її елементів до різних умов функціонування вимагає наявності інтелектуальної системи управління у складі кожного вузла МР. У статті запропоновано реалізувати функції різних підсистем інтелектуальної системи управління вузлом МР шляхом використання інтелектуальних агентів, головною особливістю яких є здатність до навчання і пристосування до змін навколишнього середовища.

Проведена класифікація програм-агентів, а також розглянуті структура та властивості інтелектуальних агентів дозволили зробити висновки про те, що для побудови ІСУ вузлом радіомережі класу MANET доцільно використовувати інтелектуальні агенти різного призначення, які відрізнятимуться за потужністю та покладеними на них функціями.

В ході подальших досліджень будуть розроблені методи прийняття рішення інтелектуальними агентами у складі ІСУ вузлом МР, а також методи для координації рішень, що приймаються агентами різних вузлів МР.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Gajewski Resource Management in Mobile Military Networks/ P. Gajewski, J. Jarmakiewicz, P. Lubkowski, J. Krygier, M. Lies, P. Sevenich// RTO Information Systems Technology Symposium, Prague, Czech Republic, April 2008.
2. Шабельников, А.Н. Интеллектуальные системы распределенного мониторинга на основе беспроводных сенсорных сетей с использованием системы мобильных объектов / А.Н. Шабельников, С.М. Ковалев, В.А. Шабельников // Сб. науч. трудов V-ой междунар. науч.-практ. конф. «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Т.2. – 2009. – С.
3. Романюк В.А. Мережі MANET – Основа побудови тактичних мереж зв'язку : збірник матеріалів IV Науково-практичного семінару ВІТІ [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”] / – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 15 – 28.
4. Ren W. Broadcasting in Multi-Radio Multi-Channel Wireless Networks using Simplicial Complexes/ Ren W., Zhao Q., Ramanathan R., Gao J., Swami A., Bar-Noy A., Johnson M., Basu

P.// Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2011 IEEE 8th International Conference, On page(s): 660 – 665.

5. Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макарова]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с.

6. Міночкін А.І. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – № 3. – С. 51 – 60.

7. Романюк В.А. Концепция иерархического построения интеллектуальных систем управления тактическими радиосетями класса MANET: сборник тезисов докладов и выступлений участников XXII Международной Крымской конференции ["СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии"], (КрыМиКо). / Романюк В.А., Сова О.Я., Жук П.В., Романюк А.В. – Севастополь, 2012. – С. 265.

8. Романюк В.А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 3. – С. 70 – 76.

9. Akyildiz Ian F. CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks / Akyildiz Ian F., Lee Won-Yeol, Chowdhury Kaushik R. // Ad Hoc Networks. – №7, 2009. – pp. 810 – 836.

10. Романюк В.А. Інтеллектуальні мобільні радіомережі: збірник матеріалів V науково-технічної конференції [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”] / – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 28 – 36.

11. Романюк В.А. Принципи побудови системи управління автоматизованою мережею радіозв'язку / Романюк В.А. // Збірник наукових праць КВІУЗ. – 2000. – № 5. – С. 60 – 64.

12. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.;

13. D. Karthik. Suituation based intelligence routing in wireless sensor network / D. karthik, S. Nagarajan // International Conference on Computational Intelligence and Computing Research. – 2011.

14. Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макарова]; Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с.