

УДК 621.396.4

О.Я. Сова, В.А. Романюк, Я.А. Стемпковська, О.А. Симоненко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

КООРДИНАЦІЯ ЦІЛЮВИХ ФУНКЦІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТАКТИЧНИМИ РАДІОМЕРЕЖАМИ КЛАСУ MANET

Розглянуто проблеми координації цільових функцій в інтелектуальних системах управління радіомережами класу MANET. Проаналізовано методи координації та особливості їх застосування. Сформульовано задачу координації, проаналізовано та математично формалізовано алгоритми координації у інтелектуальних системах управління радіомережами MANET.

Ключові слова: координація, цільова функція, ієрархічна система управління, інтелектуальна система управління.

Вступ

Особливості функціонування мобільних радіомереж (МР) класу MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*), запропонованих до використання в тактичній ланці управління військами [1], а також складність технологій їх побудови, потребують застосування нових підходів до вирішення задач управління вузловими (ємність батарей, об'єми пам'яті, потужність процесора та ін.) та мережевими ресурсами (ширина смуги пропускання радіоканалу, множина активних маршрутів між вузлами та ін.). Одним з таких підходів є введення системи управління до складу кожного мобільного вузла, а також інтелектуалізація процесів управління МР, яка полягає у використанні технологій обробки знань для формування правил доцільної поведінки вузла в залежності від умов, які склалися в радіомережі.

В [2, 3] авторами запропонована модель інтелектуальної системи управління (ІСУ) МР, яка представлена у вигляді сукупності вузлових ІСУ, що взаємодіють між собою за децентралізованим чи централізованим принципом. Головною архітектурною особливістю вузлової ІСУ є наявність бази знань, що дозволить їй приймати рішення з управління вузлом в умовах невизначеності (неповноти інформації про ситуацію, яка склалася в радіомережі) при випадковому характері зовнішніх впливів, а також розподіл системи управління на функціональні підсистеми відповідно до рівнів моделі OSI, кожна з яких характеризується власною цільовою функцією (ЦФ). Однак, відмінності в апаратних характеристиках вузлів МР, нерівномірність використання ними вузлових та мережеских ресурсів, а також у параметрах та функціональному призначенні підсистем вузлових ІСУ призводять до необхідності вирішення нової задачі, яка полягає в координації ЦФ як підсистем вузлової ІСУ, так і цільових функцій ІСУ вузлів, які приймають участь у передачі інформації.

У зв'язку з цим, метою статті є огляд та порівняльний аналіз методів та алгоритмів координації,

які можуть бути використані в ІСУ мобільною радіомережею, а також визначення оптимальних методів координації на різних рівнях ІСУ. Предметом дослідження є процес координації управлінських рішень щодо розподілу вузлових та мережеских ресурсів МР. Об'єктом дослідження є методи та алгоритми координації цільових функцій в ІСУ мобільною радіомережею.

Аналіз публікацій. Кожен вузол (чи мобільна базова станція) МР характеризується певним набором параметрів (потужність процесора та радіопередавача, швидкість переміщення та ін.), наявністю власних ресурсів (ємність батарей, об'єми вбудованої пам'яті, ширина смуги пропускання радіоканалу та ін.), а також цілеспрямованою поведінкою, наведеною на досягнення певних цілей функціонування. Враховуючи, що управління МР може здійснюватися як централізовано (мобільними базовими станціями), так і децентралізовано (кожним вузлом МР), в [4] визначено дві взаємозалежні групи цілей: мережеві (зонаві) – оптимізація мережеских або зонавих показників ефективності; користувальницькі – досягнення заданої якості передачі та оптимізація параметрів функціонування елементів мережі на деякому інформаційному напрямку (рис. 1).

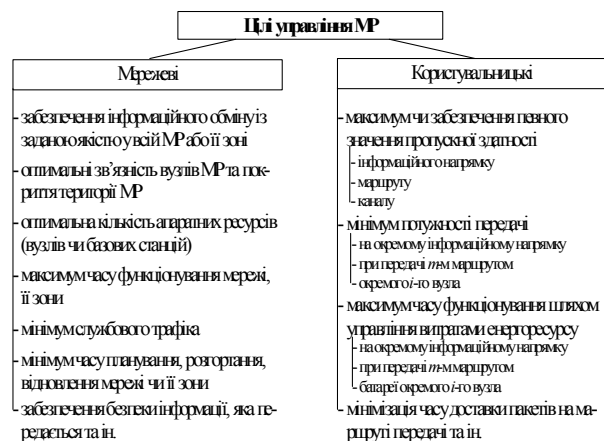


Рис. 1. Класифікація цілей управління МР

Забезпечення інформаційного обміну із заданою якістю в межах усієї МР (або її зони) є основною ціллю управління МР, яка визначає весь зміст її функціонування. В ідеалі, кожен елемент МР (мобільна базова станція чи окремий мобільний вузол) повинен прагнути до досягнення зазначеної цілі. Однак, як показано в [4], в умовах децентралізованого управління та наявності протиріччя між оптимальною інформованістю керуючого об'єкта і своєчасністю керуючих впливів неможливо досягти глобальної оптимізації в межах усієї МР. Тому, доцільно провести декомпозицію основної цілі управління МР на дві складові:

1) забезпечення заданої якості передачі інформації між парою відправник-адресат при прагненні мінімізувати витрати мережевих (вузлових) ресурсів на її здійснення (досягнення користувальницької оптимізації в рамках окремого вузла, радіоканалу, маршруту чи інформаційного напрямку);

2) створення оптимальних умов для досягнення цілей управління іншими вузлами МР.

Зважаючи на зазначене, виникає необхідність у розділенні всього процесу прийняття рішень на таку кількість рівнів, яка б спростила розв'язання задачі оптимізації на кожному з них. У зв'язку з цим, запропонована в [2] структура ІСУ мобільною радіомережею передбачає два рівні – мережевий та вузловий (рис. 2).



Рис. 2. Кординація мережевих та вузлових ресурсів

До вузлового рівня відноситься множина функціональних підсистем вузлових ІСУ, які запропоновано реалізувати за допомогою технології інтелектуальних агентів (ІА) для виконання різних функцій управління, відповідно до рівнів еталонної моделі OSI (управління радіоресурсом, маршрутизація, управління потоками даних та ін.) [7]. На метаагента вузлової ІСУ покладається здійснення функцій координації ІА, шляхом визначення оптимального набору управляючих впливів і послідовності їх виконання всіма підсистемами вузлової ІСУ.

Разом з тим, в МР великої розмірності (сотні чи тисячі радіовузлів) або з високою динамікою

зміни топології радіомережі пропонується координувати роботу ІСУ вузлів, які приймають участь в інформаційному обміні. Це дозволить скоротити час, а також зменшити використання вузлових та мережевих ресурсів, необхідних для збору службової інформації про ситуацію в МР, що використовується ІСУ для прийняття рішень. В такому випадку множина метаагентів кожного вузла радіомережі утворить мережевий рівень ІСУ, координацію на якому проводитиме один з інтелектуальних вузлів, виділений з-поміж інших за певною ознакою (апаратні характеристики, місце розташування в топології радіомережі, кількість сусідів, тощо).

Сьогодні в науковій літературі можна знайти наступні визначення координації [5]:

– подолання надлишкових ступенів свободи рухомого органу управління, тобто перетворення його в систему, якою можна керувати;

– процес досягнення єдності зусиль всіх підсистем (підрозділів) організації для реалізації її задач та цілей;

– керівна діяльність, що полягає в забезпеченні взаємозв'язку та узгодженості суб'єктів, об'єктів і процесів праці в часі та просторі;

– функція менеджменту у встановленні зв'язків, організації взаємодії і узгодженості роботи компонентів системи, оперативної диспетчеризації виконання планів і задач.

Узагальнюючи наведені вище визначення, можна сформулювати наступне визначення координації в ІСУ МР – це процес узгодження користувальницьких та мережевих цілей усіх підсистем ІСУ під час розподілу вузлових та мережевих ресурсів для забезпечення інформаційного обміну із заданою якістю в радіомережі або її зоні.

Головним завданням координації є досягнення злагодженості в роботі всіх підсистем ІСУ шляхом встановлення раціональних зв'язків (взаємодій) між ними, використовуючи при цьому єдині для всіх вузлових ІСУ принципи та методи координації. Основними принципами координації в інтелектуальних ієрархічних системах управління МР є:

– принцип взаємозв'язку і одночасності: передбачає, що координація повинна відбуватися одночасно між всіма взаємозв'язаними підсистемами ІСУ МР;

– принцип ієрархічної підпорядкованості: чітке розміщення кожного елемента в структурі ІСУ;

– принцип узгодженості: визначена множина параметрів, за якими буде координуватися робота різних підсистем;

– принцип збалансованості та рівноваги: передбачає оптимальне використання наявних мережевих та вузлових ресурсів, необхідних для досягнення мережевих та користувальницьких цілей;

- принцип резервування: передбачає виділення деякої частини мережевих та вузлових ресурсів, які будуть використані у випадку неточної оцінки управлінської ситуації в МР;
- принцип загальної цілі: спрямованість управляючих впливів на всіх рівнях ієрархії для забезпечення інформаційного обміну із заданою якістю в межах усієї МР (або її зони).

Методи координації в ІСУ вузлами мобільних радіомереж

Однією із особливостей ІСУ МР є агрегування великих об'ємів службової інформації, що передається з нижніх рівнів до координатора, а також невизначеність, пов'язана не тільки з неточністю чи недостатньою кількістю інформації про об'єкти управління, але й можливою неоднозначністю дій підсистем ІСУ на різних рівнях. При цьому, координатора цікавить не поточний стан всіх елементів нижнього рівня, а певні показники їх роботи на визначеному інтервалі часу, які використовуватимуться для досягнення цілей координації.

На рис. 3, у порядку від конкретних цілей окремого інтелектуального агента до основної цілі управління МР, зображена ієрархія цілей координації взаємодії ІСУ вузлів МР.

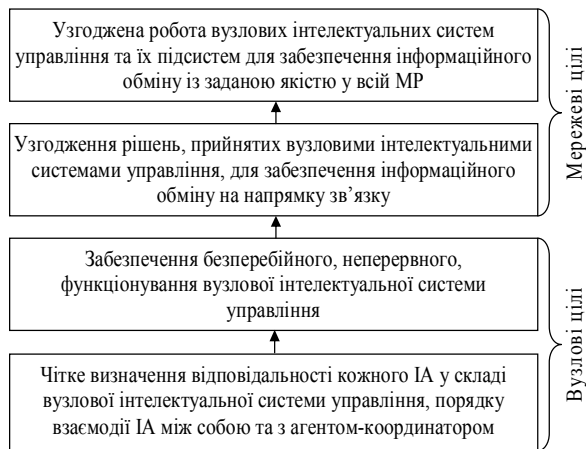


Рис. 3. Ієрархія цілей координації взаємодії вузлових ІСУ

Досягнення зазначених вище цілей реалізується шляхом використання відповідних методів координації в процесі функціонування ІСУ МР. Безумовно, вибір методу координації залежить від параметрів вузлів та умов функціонування МР, від обраної стратегії управління та структури системи управління. На рис. 2 наведена класифікація методів координації, які можливо використовувати в ІСУ МР. У загальному, за способом оптимізації, всі методи координації можна поділити на ітеративні та безітеративні.

У наявних сьогодні ітеративних методах (алгоритм Данцига-Вульфа [9]; алгоритм Корнаї-Ліптика [10]; методи, що ґрунтуються на введенні функції

Лагранжа або її різних модифікацій; алгоритми оптимізації; узагальнена схема ітеративних алгоритмів Алієва та Ліберзона [11]) оптимальне рішення визначається в процесі ітеративного обміну інформацією між центром і елементами. На кожному кроці ітеративного процесу розв'язуються локально-оптимальні задачі елементів і координуюча задача центру.

Недоліком ітеративних методів координації, при застосуванні в MANET, є значні затрати мережевих та вузлових ресурсів для збору інформації про стан підсистем ІСУ та узгодження управляючих рішень, які приймаються ними.

Безітеративні методи передбачають здійснення координації шляхом одноразового обміну інформацією між координатором та підлеглими йому підсистемами ІСУ. Для детермінованої системи управління координуюча підсистема (метаагент) повинна мати детальні моделі підсистем і точно знати їх цільові функції. Однак, такий підхід призводить до неможливості децентралізованого управління ІСУ і значного ускладнення структури координатора та процесу координації. Основним недоліком всіх безітеративних методів є необхідність визначення і передачі на вищий рівень управління всієї ефективної множини параметрів підсистем (або достатньо точної апроксимації цієї множини). Перевагами безітеративних методів у разі застосування в ІСУ вузлами радіомереж MANET є мінімальні затрати мережевих і вузлових ресурсів та можливість прийняття рішень в умовах невизначеності.

У свою чергу, як ітеративні, так і безітеративні методи координації можуть класифікуватися за наступними ознаками: за видом координаційних дій, за етапом функціонування системи управління, за рівнем організації взаємодії, за показником організації взаємодії. Розглянемо детальніше кожен з них (рис. 4).

Інтегральна координація (м'яка), коли для кожної підсистеми задається плановий показник K на визначений період часу T і різноманітні обмеження (нормативи) $z(t)$:

$$\int_0^T [z(t) - z^*] dt \leq K(t).$$

Чітка координація (жорстка), коли для параметра K , який координується, в кожний момент часу ставиться вимога дотримання рівності $K(t) = K$.

Інтервальна координація – вимагає лише належності координуючого параметра K заданому інтервалу: $K(t) \in [K_{\min}, K_{\max}]$.

Лінгвістична координація – для генерування нечітких координуючих вказівок використовується природна мова. У такому випадку координуюча величина K є нечіткою і задається функцією належності $\mu(K)$.

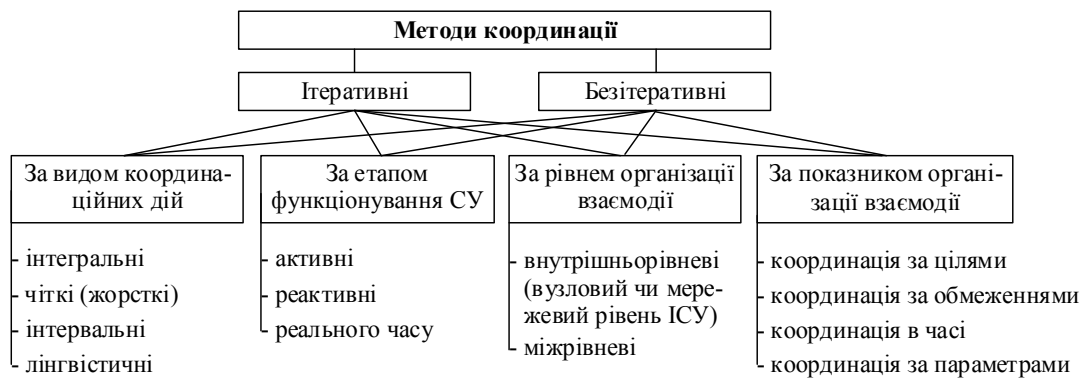


Рис. 4. Класифікація методів координації

Активні (попереджувальні) методи координації – використовуються для формування обмежень, у межах яких повинна відбуватися робота елементів інтелектуальної системи управління МР, ще до прийняття рішення нижчестоящими елементами.

Реактивні методи координації – передбачають корегування параметрів та цільових функцій елементів інтелектуальної ієрархічної системи управління МР після прийняття рішення ними.

Методи координації реального часу – передбачають узгодження рішень, що приймаються ІСУ, в процесі оперативного управління МР.

Внутрішньорівневі методи координації – передбачають узгодження роботи підсистем вузлової ІСУ в межах одного рівня (вузлового чи мережевого).

Міжрівневі – передбачають координацію розподілу вузлових та мережевих ресурсів, узгодження користувальницьких та мережевих цілей.

Координація за цілями – система управління вищого рівня (або координатор у межах одного рівня) може встановлювати для підсистеми нижчого рівня цілі функціонування і показники, що їх характеризують із зазначенням їх кількісних значень у період розгортання МР. Тобто цільова функція підсистеми формується вищим рівнем (координатором) [5].

Координація за обмеженнями – у цьому випадку на низку параметрів у точках дотику підсистем встановлюються обмеження вищою системою управління. Ці обмеження задаються з системних позицій і враховують цілі та обмеження підсистем.

Координація в часі – цей тип координації полягає в синхронізації роботи підсистем.

Координація за параметрами – координуючі дії узгоджуються за вхідними або вихідними параметрами відповідних підсистем.

Постановка задачі координації цільових функцій інтелектуальних систем управління мобільної радіомережі

Постановку задачі координації розглянемо на прикладі ІСУ вузлом МР (рис. 2), модель якої являє

собою дворівневу мультиагентну систему управління [6], в якій нижній рівень представлений ІА, котрі виконують покладені на них функції у складі відповідних підсистем вузлової ІСУ, а верхній рівень – метаагентом вузлового рівня, який виконує функції координатора (рис. 5).

Реальна модель ІСУ МР, крім наведених на рис. 5 рівнів, може додатково мати вищий рівень, на якому функціонує вузол-координатор (головний вузол зони чи мобільна базова станція), та один або декілька нижчих рівнів, які деталізуватимуть роботу функціональних підсистем вузлових ІСУ.

Введемо наступні позначення: L – загальна кількість рівнів у системі (для системи на рис. 5 $L = 2$); N_l – загальна кількість ІА (далі елементи) на l -му рівні; n_{li} – i -й елемент l -го рівня. На першому рівні наявний лише один елемент $N_1 = 1$ – метаагент (координатор). На l -му рівні, $l \in [1 : L]$, наявні N_l елементів, (для нашого прикладу $N_2 \geq 2$).

Елементи нижнього рівня підпорядковані одному елементу верхнього рівня – координатору. Для елемента n_{li} введемо множину індексів, яка відображає зв'язки елемента n_{li} з елементами $(l+1)$ -го рівня і позначимо її як J_{li} , $l \in [1 : L-1]$. Множини J_{li} мають такі властивості:

$$\bigcup_{i \in [1 : N_l]} J_{li} = [1 : N_{l+1}]; \quad J_{li_1} \cap J_{li_2} = \emptyset \text{ при } i_1 \neq i_2.$$

Для системи управління, наведеної на рис. 5, $J_{11} = \{1, 2, \dots, N_2\}$.

Нехай $w_{li} = \{w_{lij}\}$, $l \in [1 : L]$, $i \in [1 : N_l]$, $j \in J_{li}$ – вектор рішень, які приймаються елементом n_{li} щодо підлеглих йому елементів нижнього рівня $n_{(l+1)j}$ і визначають параметри їх функціонування, а також координують векторні критерії $\Phi_{li}(x_{li})$ елементів $(l+1)$ -го рівня; x_{li} , $l \in [1 : L]$, $i \in [1 : N_l]$ – вектор, що характеризує стан елемента n_{li} внаслідок впливу деякого управляючого рішення w_{lij} , що надійшло від вищестоящого елемента; $F_{li}(x_{li})$ – век-

тор показників елемента p_{ij} , який передається на верхній рівень.

У загальному випадку взаємозв'язок між елементами різних рівнів задається системою:

$$\begin{cases} w_{li} = \{w_{lj}\}, l \in [1:L], i \in [1:N_l], j \in J_{li}, \\ x_{li} = \{F_{(l+1)j}\}, l \in [1:L-1], i \in [1:N_l], j \in J_{li}. \end{cases} \quad (1)$$

Для системи управління, наведеної на рис. 5, вираз (1) запишемо наступним чином:

$$\begin{cases} w_1 = \{w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1N_2}\} \\ x_1 = \{F_{21}, F_{22}, \dots, F_{2N_2}\} \end{cases} \quad (2)$$

Вважатимемо, що кожна підсистема вузлової

ІСУ (елемент p_{li}), починаючи з другого рівня і нижче, має власну цільову функцію, яка залежить від вектору управляючих рішень вищестоящого елемента $w_{(l-1)i} = \{w_{(l-1)j}\}$, що визначає параметри функціонування підсистеми p_{li} та координує її векторні критерії $\Phi_{li}(x_{li})$, а також від вектора x_{li} , що характеризує її стан, і може бути представлена у вигляді

$$C_{li}(w_{(l-1)j}, x_{li}) \rightarrow \text{opt}, l \in [2:L]. \quad (3)$$

Системна ЦФ вузлової ІСУ збігається з цільовою функцією елемента першого рівня і, з урахуванням (2), має наступний вигляд:

$$C_1(w_1, x_1) \rightarrow \text{opt}. \quad (4)$$

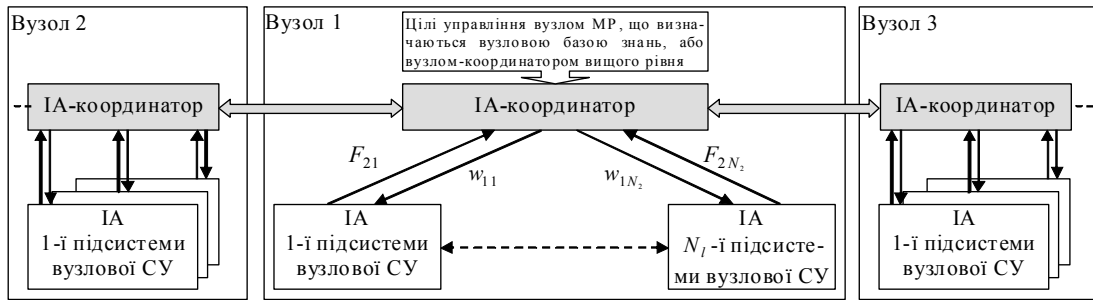


Рис. 5. Схема взаємодії ІА в дворівневій ІСУ вузлом МР

Під час моделювання складних систем неможливо врахувати достатньо велику кількість реальних параметрів, оскільки це приведе до ускладнення системи. Тому в модель доводиться вводити лише обмежену кількість таких параметрів, які з тих чи інших міркувань вважають найважливішими. Щодо неврахованих параметрів, то тут існують два підходи. Перший – їх можна вважати абсолютно неважливими і повністю ігнорувати під час прийняття рішень з використанням моделі вузлової ІСУ. За другим підходом можна явно не вводити неважливі фактори в математичну модель ІСУ, але враховувати їх вплив у вигляді обмежень. Для системи управління, у якій $L > 2$, вектори x_{li} мають задовольняти наступним обмеженням:

– для елементів найнижчого, L -го рівня обмеження записуються у вигляді

$$x_{Li} \in X_{Li}, i \in [1:N_L], \quad (5)$$

де X_{Li} – деяка множина;

– для $l \in [1:L-1]$ вектори x_{li} повинні задовольняти обмеженням:

$$x_{li} \in X_{li} = X_{li}^1 \cap X_{li}^2, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} X_{li}^1 &= \{x_{li} = \{F_{(l+1)j}, j \in J_{li}\} \mid F_{(l+1)j} = \\ &= F_{(l+1)j}(x_{(l+1)j}); x_{(l+1)j} \in X_{(l+1)j}\}; \end{aligned}$$

$$X_{li}^2 = \{x_{li} \mid C_{li}(x_{li}) \geq b_{li}\};$$

$C_{li}(\cdot)$ – вектор цільової функції; b_{li} – вектори умов обмежень на ресурси та вимоги до якості обслуговування різних типів трафіка.

Враховуючи вирази (1) – (6), задачу координації для дворівневої системи управління, зображеної на рис. 5, можна записати в такому вигляді:

$$w_1 = \{w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1N_2}\}, x_1 = \{F_{21}, F_{22}, \dots, F_{2N_2}\},$$

$$X_1^1 = \{x_1 = \{F_{21}(x_{21}), F_{22}(x_{22}), \dots,$$

$$\dots, F_{2N_2}(x_{2N_2})\} \mid x_{2i} \in X_{2i}, i \in [1:N_2]\};$$

$$X_1^2 = \{x_1 \mid C_1(w_1, x_1) \geq b_1\}.$$

Вирішення цієї задачі полягає в знаходженні оптимального вектору управляючих рішень елемента p_{li}

$$w_1^* = \{w_{11}^*, w_{12}^*, \dots, w_{1N_2}^*\},$$

який би задовольнив виконання системної цільової функції вузлової ІСУ (6).

Алгоритм функціонування вузлової ІСУ щодо досягнення цілей координації

Рішення метаагента (координатора), пов'язане з вибором поточної координуючої дії для досягнення зазначених вище цілей координації, приймається за деякими спрощеними моделями, які повинні відображати поведінку ІА нижнього рівня. Загальний алгоритм координації у дворівневій ІСУ вузлом МР, зображеної на рис. 5, зводиться до послідовності кроків, які циклічно повторюються (рис. 6):

1) ІА нижнього рівня n_{2i} передають метаагенту вектор показників своєї роботи $F_{2i}(x_{2i})$, припустимий з погляду його локальних обмежень (блок 1);

2) на основі отриманих від ІА векторів $F_{2i}(x_{2i})$ метаагент вузла оцінює ситуацію, яка склалася в МР або зоні МР (блок 2), та приймає рішення щодо необхідності її корегування з метою досягнення поставлених вузлових та мережевих цілей функціонування МР (блок 3);

3) у разі необхідності корегування параметрів ІА метаагент проводить декомпозицію вихідного завдання на часткові задачі, розділяє ці задачі між ІА-виконавцями, формуючи план їх „поведінки”, оптимальний з погляду всієї ІСУ (4) (блоки 4 – 7). При цьому кожному підлеглому агенту n_{2i} надсилається управляючий вплив w_{1j} , з його векторним критерієм $\Phi_{2i}(x_{2i})$;

4) з урахуванням $\Phi_{2i}(x_{2i})$, кожен ІА-виконавець вирішує задачу з оптимізації власної цільової функції $C_{2i}(w_{1j}, x_{2i})$, розділяючи її на підзадачі у разі необхідності (блоки 8, 9), і передає метаагенту новий вектор показників $F_{2i}(x_{2i})$ (блок 10).

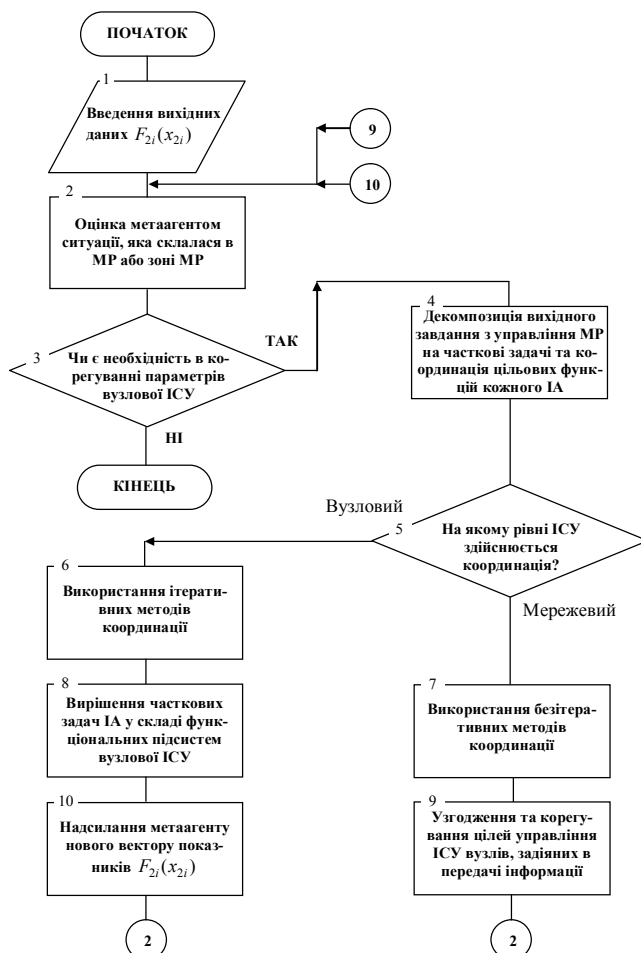


Рис. 6. Схема алгоритму координації у дворівневій ІСУ вузлом МР

Таким чином, за загальний результат функціонування вузлової ІСУ відповідає метаагент (координатор), який, крім декомпозиції та розподілу задач між ІА, повинен забезпечувати координацію їх взаємодії, а також узгоджувати рішення, прийняті ним на вузловому рівні, з метаагентами ІСУ інших вузлів, які приймають участь у передачі інформації, або метаагентом вузла-координатора [6, 7]. Вирішення задачі координації полягає у визначенні такої взаємодії ІА, при якій управління кожної з підсистем буде оптимальним за загальним критерієм для МР або зони МР. В якості такого критерію може виступати максимум (обмеження) пропускної здатності МР, мінімум потужності передачі в МР, максимум часу функціонування МР та ін. (рис. 1) [4].

Як зазначалося вище, для розв'язання поставленої задачі координації взаємодії ІСУ вузлів МР можуть бути використані безітеративні та ітеративні алгоритми цільової координації.

Безітеративні алгоритми координації у вузлових інтелектуальних системах управління

Загальна схема безітеративних алгоритмів для ІСУ із загальною кількістю рівнів L має наступний вигляд. Для елементів найнижчого L -го рівня розглядається задача векторної оптимізації:

$$\begin{cases} \Phi_{Li}(x_{Li}) \rightarrow \text{opt}; \\ x_{Li} \in X_{Li}, i \in [1: N_L]. \end{cases} \quad (7)$$

де $\Phi_{Li}(x_{Li})$ – векторний критерій елемента n_{Li} , закладений в ньому програмно, або визначений в ході попередніх управляючих впливів координатора.

Нехай $S_{Li} = \{F_{Li}(x_{Li}), x_{Li} \in P_{Li}^X\}$ – множина ефективних значень показників. На верхній $(L-1)$ -й рівень передається множина Q_{Li} , яка є деякою апроксимацією множини S_{Li} (у випадку, якщо кількість точок у множині S_{Li} не дуже велика, то $Q_{Li} = S_{Li}$). Варіанти визначення множини Q_{Li} наведені в [5].

Тоді для елементів на рівнях $(L-1), \dots, 3, 2$ вводяться задачі векторної оптимізації такого вигляду

$$\begin{cases} \Phi_{li}(x_{li}) \rightarrow \text{opt}; x_{li} = \{F_{l+1j}, j \in J_{li}\}; \\ F_{l+1j} \in Q_{l+1j}; C_{li}(x_{li}) \geq b_{li}; \\ l \in [2: L-1], i \in [1: N_l], \end{cases} \quad (8)$$

у результаті розв'язання яких формується множина Q_{li} , що є апроксимацією множини

$$S_{li} = \{F_{li}(x_{li}), x_{li} \in P_{li}^X\}.$$

І на рівні метаагента (елемент n_{ij}) розв'язується звичайна задача математичного програмування:

$$\begin{cases} C_1(w_1, x_1) \rightarrow \text{opt}; \\ w_1 = \{w_{1j}, j \in [1:N_2]\}; \\ x_1 = \{F_{2j}, j \in [1:N_2]\}; \\ F_{2j} \in Q_{2j}, j \in [1:N_2]. \end{cases} \quad (9)$$

Слід зазначити, що для дворівневої вузлової ІСУ, представленої на рис. 5, координаційна задача задається виразом (9).

Ітеративні алгоритми координації у вузлових інтелектуальних системах управління

У загальному випадку схема ітеративних алгоритмів у багаторівневих системах управління полягає в наступному. Елемент першого найвищого рівня n_{11} (координатор чи метаагент у нашому випадку) надсилає управляючий вектор $w_1 = \{w_{1j}\}$, $l \in [1:L]$, $i \in [1:N_1]$, $j \in J_{li}$ елементам (підсистемам) другого рівня.

Елемент n_{2i} , $i \in [1:N_2]$ отримує управляюче рішення w_{1j} , яке дає змогу представити модель елемента n_{2i} у вигляді

$$\begin{cases} \Phi_{2i}(w_{1j}, x_{2i}) \rightarrow \text{opt}, j \in [1:N_2]; \\ x_{2i} = \{F_{3j}, j \in J_{2i}\}; C_{2i}(x_{2i}) \geq b_{2i}; \\ F_{3j} \in Q_{3j} = \{F_{3j}(x_{3j}), x_{3j} \in X_{3j}\}. \end{cases} \quad (10)$$

Вирішення задачі (10) полягає в тому, що елемент n_{2i} , а за ним і елементи n_{3i} , ..., n_{L-i} повинні сформувати для підлеглих їм елементів управляючі рішення, які в результаті дають змогу перетворити багатокритеріальні задачі елементів останнього L -го рівня на задачі математичного програмування:

$$\begin{cases} \Phi_{lj}(w_{(L-1)j}, x_{lj}) \rightarrow \text{opt}; \\ x_{lj} \in X_{lj}, j \in [1:N_L]. \end{cases} \quad (11)$$

Для дворівневої системи (рис. 5), з урахуванням виразів (10) та (11), координуюча задача для елементів другого рівня, яка залежить від вектора управляючих рішень метаагента першого рівня $w_1 = \{w_{1j}\}$, може бути записана в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \Phi_{2i}(w_{1j}, x_{2i}) \rightarrow \text{opt}; j \in [1:N_2]; \\ x_{2i} \in X_{2i}; C_{2i}(x_{2i}) \geq b_{2i}. \end{cases} \quad (12)$$

Результати вирішення задачі координації (12) у вигляді вектору F_{2j} , $j \in [1:N_2]$ передаються координатору, після чого формується і розв'язується його координуюча задача

$$\begin{cases} C_1(w_1, x_1) \rightarrow \text{opt}; \\ w_1 = \{w_{1j}\}; x_1 = \{F_{2j}\}; \\ F_{2j} \in Q_{2j} = \{F_{2j}(x_{2j}), x_{2j} \in X_{2j}\}; \\ C_1(x_1) \geq b_1; j \in [1:N_2], \end{cases} \quad (13)$$

розв'язком якої є нове значення управляючого вектора w_1 для ІА другого рівня. Процес триває доти, поки у результаті ітеративного обміну інформацією між метаагентом та підлеглими йому ІА другого рівня не буде знайдено оптимальний управляючий вектор w_1^* .

Таким чином, головна відмінність між ітеративними та безітеративними алгоритмами координації полягає в „напрямку” координації. В ітеративних алгоритмах координація ініціюється елементом найвищого рівня (метаагентом), причому вектор координуючого рішення $w_1 = \{w_{1j}\}$ залежить як від точної цільової функції елемента вищого рівня, так і від вектора показників елементів нижчого рівня, який отриманий в ході попередньої ітерації.

На відміну від ітеративних, в безітеративних алгоритмах прийняття рішення координатором не залежить від передісторії, а координуючий вектор, як і цільова функція координатора, формується на основі рішень задач (7) та (8) у вузловій базі знань, яка містить детальні моделі підлеглих підсистем. Це відповідає принципу оптимальності Беллмана [8], згідно якого оптимальне рішення, що приймається координатором в ІСУ, не залежить від стану елементів нижніх рівнів та рішень, які ними приймалися, а повністю визначається цільовою функцією координатора в певний момент часу. Всі наступні рішення елементів нижніх рівнів повинні бути оптимальними відносно цього рішення.

Враховуючи особливості двох класів методів координації, можна зробити висновок про те, що ітеративні методи координації доцільно використовувати на вузловому рівні ІСУ мобільною радіомережею, а для їх побудови пропонується використання методів нелінійного програмування, зокрема комбінованих методів множників Лагранжа [6]. Так як ітеративні методи потребують значних об'ємів службової інформації для прийняття управляючих рішень, то на мережевому рівні ІСУ мобільною радіомережею пропонується використовувати безітеративні методи координації, побудовані на основі методів теорії нечіткої логіки та теорії ієрархічних багаторівневих систем. З одного боку це призведе до втрати деяких деталей функціонування елементів на нижніх рівнях ІСУ, але дозволить вирішувати завдання координації цільових функцій на всіх рівнях ІСУ з позиції системної мети, а також будувати ефективні моделі елементів ІСУ з урахуванням фактичної невизначеності для об'єкта управління [12].

Висновки

Таким чином, місце і роль координації цільових функцій серед інших функцій управління МР визначається як центральне, оскільки координаційна діяльність становить суть управління такою складною динамічною системою як МР. Відповідно, основною задачею, яка повинна бути розв'язана при проектуванні інтелектуальних систем управління МР, є розроблення алгоритмів та методів координації цільових функцій як підсистем вузлової ІСУ так і систем управління різних вузлів, що приймають участь у передачі інформації.

У статті дано визначення процесу координації в ІСУ МР, визначено принципи координації, побудовано ієрархію цілей координації, а також проведено класифікацію методів координації, які можуть бути використані при побудові ІСУ МР. Значну увагу приділено аналізу, математичній формалізації та обґрунтуванню оптимальних умов застосування ітеративних та безітеративних алгоритмів координації. Вперше сформульовано задачу координації цільових функцій на прикладі дворівневої ІСУ вузлом МР.

В ході подальших досліджень буде розроблено методи координації цільових функцій на різних рівнях ІСУ мобільною радіомережею.

Список літератури

1. Романюк В.А. Інтелектуальні мобільні радіомережі: збірник матеріалів V науково-технічної конференції [Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення] / В.А. Романюк – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 28 – 36.
2. 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). / [В.А. Романюк, О.Я. Сова, П.В. Жук, А.В. Романюк]. – Севастополь, 2012. – С. 265.
3. Архитектура системы управления сетями MANET: Тези доповідей та виступів учасників V Міжна-

родної конференції [Проблеми телекомунікацій – 2011], (Київ, 19 – 22 квітня 2011р.) / В.А. Романюк, О.Я. Сова, О.В. Жук. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 58 – 60.

4. Романюк В.А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – К., 2012. – № 1. – С. 109 – 117.

5. Катренко А.В. Механізми координації у складних ієрархічних системах / А.В. Катренко, І.В. Савка // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи та мережі. – Львів : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”. – 2008. – С. 156 – 166.

6. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление / [Сост. М. Сингх, А. Титли; сокр. пер. с англ. А.В. Запорожца]. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

7. Аналіз можливостей використання інтелектуальних агентів для побудови системи управління вузлами радіомереж класу MANET / [О.А. Симоненко, Я.Л. Уманець, В.А. Романюк, О.Я. Сова] // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – К., 2013. – № 1. – С. 76 – 84.

8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде – М: Мир, 1976. – 165 с.

9. Жолобов Д.А. Введение в математическое программирование: учеб. пособие. / Жолобов Д.А. – М.: МИФИ, 2008. – 376 с.

10. Мамченко О.П. Моделирование иерархических систем: учебник для вузов / О.П. Мамченко, Н.М. Оскорбин. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – 317 с.

11. Алиев Р.А. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления / Р.А. Алиев, М.И. Либерзон – М: Радио и связь, 1987. – 208 с.

12. Координація взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів радіомереж класу MANET: доповіді та тези доповідей виступів учасників VIII міжнародної конференції „Проблеми телекомунікацій” / [В.А. Романюк, О.Я. Сова, Я.А. Стемпковська, О.А. Симоненко]. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2014. – С. 151 – 153.

Надійшла до редколегії 22.08.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, Київ.

КООРДИНАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТАКТИЧЕСКИМИ РАДИОСЕТЯМИ КЛАССА MANET

О.Я. Сова, В.А. Романюк, Я.А. Стемпковская, А.А. Симоненко

Рассмотрены проблемы координации целевых функций в интеллектуальных системах управления радиосетями класса MANET. Проанализированы методы координации и особенности их применения. Сформулирована задача координации, проанализированы и математически формализованы алгоритмы координации в интеллектуальных системах управления радиосетями MANET.

Ключевые слова: координация, целевая функция, иерархическая система управления, интеллектуальная система управления.

OBJECTIVE FUNCTION COORDINATION IN TACTICAL MANET INTELLECTUAL CONTROL SYSTEMS

O.Ya. Sova, V.A. Romanyuk, Y.A. Stempkovska, O.A. Simonenko

The problems of interaction coordination in tactical MANET intellectual control systems are considered. The methods of coordination and features of their application are analyzed. The coordination problem is formulated; coordination algorithms in MANET intellectual control systems are analyzed and mathematically formalized.

Keywords: co-ordination, objective function, hierarchical control the system, intellectual control the system.