

# Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 621.396.4

О.Я. Сова<sup>1</sup>, Д.А. Міночкін<sup>2</sup>, В.А. Романюк<sup>1</sup>, П.В. Жук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

<sup>2</sup> Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, Київ

## МОДЕЛЬ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖ КЛАСУ MANET

*У статті вперше запропоновано математичну модель організації інформаційних ресурсів інтелектуальних систем управління вузлами мобільних радіомереж класу MANET, суть якої полягає у формалізованому представленні процесів циркуляції, обробки, зберігання і використання службової інформації, що застосовується інтелектуальними системами управління для прийняття рішень з управління вузловими та мережевими ресурсами.*

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

### Вступ

Мобільні радіомережі (МР) або Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) [1] відносяться до складних динамічних систем, функціонування яких неможливе без ефективної системи управління (СУ). Так як управління МР здійснюється за децентралізованим принципом, у [2] представлена розподілена модель СУ МР, яка являє собою множину вузлових СУ, котрі взаємодіють між собою в процесі передачі інформації. Також, приймаючи до уваги те, що прийняття рішень вузловими СУ відбувається в умовах неповноти і неточності службової інформації, в [3] запропоновано інтелектуалізувати процес прийняття рішень вузловими СУ з використанням технологій обробки знань, а також технологій інтелектуальних агентів (ІА) та мультиагентних систем (МАС) [4].

Структура інтелектуальної системи управління (ІСУ) вузлом МР передбачає наявність множини функціональних підсистем (інтелектуальних агентів), координацію яких здійснює метаагент вузлової ІСУ [2 – 4]. Взаємодія між метаагентом та функціональними підсистемами відбувається шляхом обміну значними об'ємами службової інформації, яка використовується методами та протоколами підсистемами вузлової ІСУ для прийняття рішень з управління вузловими та мережевими ресурсами на кожному з рівнів мережевої моделі OSI. При цьому виникає низка завдань пов'язаних з визначенням доцільних об'ємів службової інформації, її передачею як у межах вузлової ІСУ, так і між мобільними вузлами, а також обробкою та зберіганням на вузлах. У зв'язку з цим, мета статті, яка полягає в розробці моделі організації інформаційних ресурсів інтелектуальних систем управління вузлами мобільних ра-

діомереж класу MANET, є актуальною на даному етапі розвитку безпроводових телекомунікацій.

### Аналіз сучасного стану досліджень

Прийняття управлінських рішень вузловими ІСУ щодо забезпечення заданої якості обслуговування різних типів трафіка (мова, відео, дані) потребує використання значних об'ємів службової інформації про стан вузла (сусідніх вузлів), радіоканалу та МР в цілому (причому, залежність між об'ємами службового трафіка та розмірністю МР як мінімум квадратична). Зазначена інформація утворює інформаційний ресурс вузлової ІСУ та, з урахуванням особливостей МР класу MANET, може бути класифікована наступним чином:

– з позиції інформаційного навантаження: тип інформації і вимоги до її передачі, інтенсивність вихідного навантаження, інтенсивність обслуговування, розмір вільної черги, час перебування пакетів в черзі та інші;

– за рівнями еталонної моделі взаємодії: наприклад, для фізичного – спосіб модуляції, відношення сигнал/шум, ймовірність похибки; каналного – швидкість і час передачі, ймовірність зіткнень пакетів; для мережевого рівня – прийнятий метод маршрутизації, обсяги службового і корисного трафіків, величина відмов активних маршрутів, стан маршрутної таблиці; транспортного – розмір черг, розмір вікна перевантаження, час затримки передачі пакетів і т.д.;

– організаційно-технічна: належність до рівня ієрархії управління (вузол-координатор, мобільний вузол, мобільна базова станція), величина мобільності, залишкова ємність батареї, розмірність мережі (зони), приєднання нових мобільних вузлів чи втра-

та зв'язку із вузлами-сусідами (через їх знищення або втрату радіозв'язності) та ін.

Відповідно до базової моделі мережевої архітектури OSI (рис. 1), існуючі підходи до проектування телекомунікаційних мереж зв'язку припускають незалежність функцій управління за рівнями, що, з урахуванням динамічної природи функціонування МР класу MANET, призводить до значного зростання об'ємів службового трафіка. Крім того, на відміну від стаціонарних мереж зв'язку, де для збору службової інформації виділяється окремий канал управління, отримання службової інформації в МР відбувається шляхом обробки службової частини інформаційних повідомлень (поля, заголовки, маркери), або шляхом розсилання спеціальних службових повідомлень (зондів) в процесі маршрутизації [5]. У зв'язку з цим проектування МР запропоновано здійснювати з використанням крос-рівневої архітектури [6, 7], основною метою якої є зменшення об'ємів службового трафіка, а також скорочення обсягів ресурсів (вузлових та мережевих), які витрачаються на його збір, обробку та зберігання.

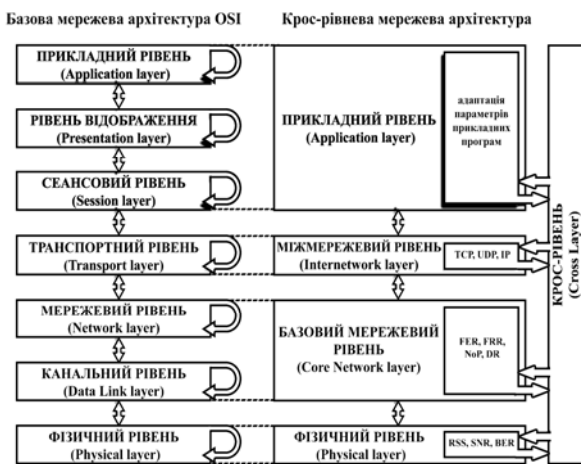


Рис. 1. Порівняння моделей мережевої архітектури

Як видно з рис. 1, крос-рівень є незалежним структурним елементом у представленій мережеві архітектурі і служить своєрідною базою даних, у якій міститься весь необхідний для прийняття управлінських рішень вузловою ІСУ інформаційний ресурс. Зібрана на нижніх рівнях (фізичному та базовому мережевому) інформація, з використанням крос-рівня надається протоколам управління (TCP, UDP, IP, тощо) та прикладним програмам, які функціонують на вищих рівнях (міжмережевому та прикладному). Це дозволить вищим рівням адаптувати характеристики різних типів трафіка (мова, відео чи дані) до наявних умов та ресурсів (вузлових та мережевих) перед передачею у МР.

Для формування та підтримання в актуальному стані інформаційного ресурсу (збір, обробка і зберігання службової інформації про стан вузла, МР чи її зони) в структурі вузлової ІСУ передбачається

наявність підсистеми контролю, збору, обробки і зберігання даних (ПКЗОЗ) [2, 8]. Дана підсистема отримує службову інформацію у вигляді контрольованих параметрів вузла та МР (чи її зони), аналізує її та, у разі необхідності, уточнює (корегує) поточні цільові функції вузлової ІСУ. На основі зібраного інформаційного ресурсу інтелектуальними агентами, які реалізують функції відповідних підсистем вузлової ІСУ, приймаються рішення з управління мобільним вузлом чи МР в цілому.

Приймаючи до уваги все вищенаведене, можна визначити основні чинники, які обумовлюють необхідність розробки математичної моделі організації інформаційних ресурсів, що забезпечують функціонування вузлової ІСУ:

- визначені базовою моделлю OSI підходи до проектування мереж зв'язку не враховують інформаційних потреб вузлової ІСУ під час прийняття управлінських рішень;

- неспівпадіння моментів надходження службової інформації з моментами її споживання методами та протоколами ІСУ, з урахуванням динамічних умов функціонування МР, призводить до швидкого старіння інформаційного ресурсу. Тому, з одного боку, нема необхідності зберігати значні об'єми службової інформації про стан МР у вузлах, але, з іншого боку, виникає необхідність до постійного оновлення даної інформації, що значно підвищує об'єми службового трафіка, який передається в МР;

- не дивлячись на різноманітність мобільних вузлів (мобільний вузол, базова станція чи сенсорний вузол), вузлові ІСУ використовують одні і ті ж компоненти інформаційних ресурсів для споживання методами та протоколами відповідних функціональних підсистем, що дозволить застосувати одну і ту ж модель їх організації;

окремі компоненти інформаційних ресурсів використовуються методами та протоколами вузлових ІСУ шляхом багатократного повторення (циклічно), тому, в залежності від складності задач управління, модель інформаційних ресурсів може бути реалізована як паралельно, так і послідовно.

## Вихідні дані моделі

Моделлю організації інформаційних ресурсів ІСУ вузлів МР (в подальшому МОІР) є параметричне представлення процесів циркуляції, обробки і зберігання інформації, яка використовується методами і алгоритмами відповідних функціональних підсистем вузлових ІСУ при розв'язанні задач управління вузлом та МР. Відповідно до об'єктної багатоагентної моделі оперативного управління МР [9], у загальному вигляді схему взаємодії компонентів МОІР зображено на рис. 2.

Як видно з рис. 2, основними компонентами МОІР є [10]:

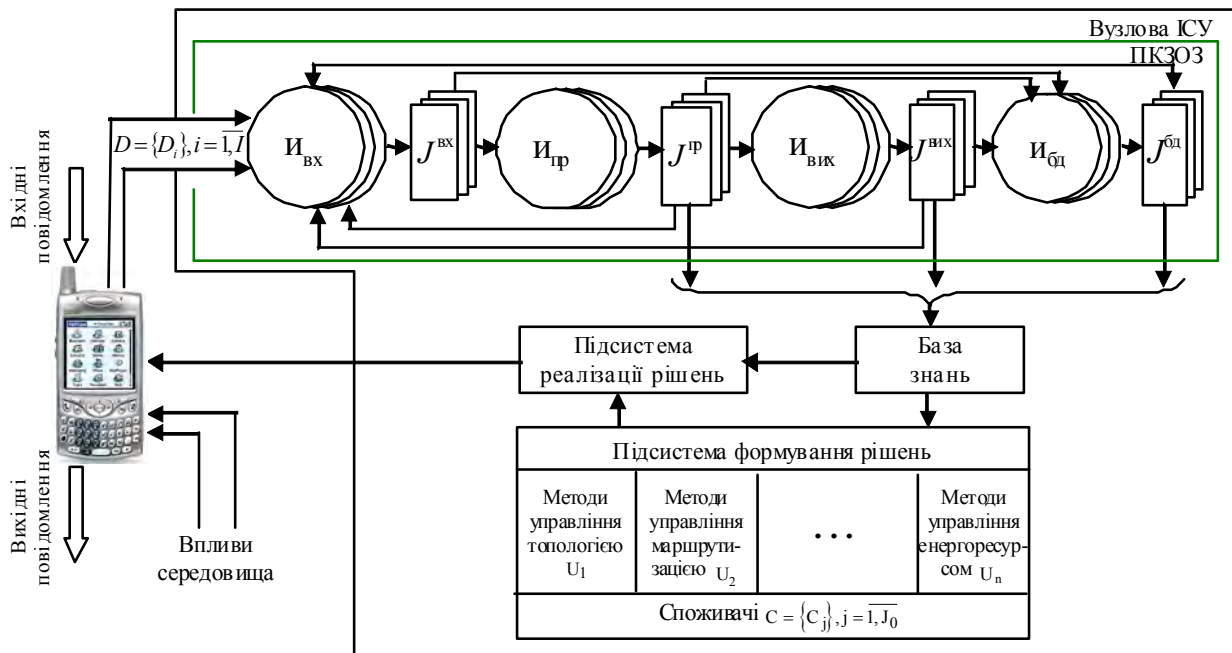


Рис. 2. Схема взаємодії компонентів МОІР вузлової ІСУ

– джерела службової інформації, яка поступає на вхід ПКЗОЗ  $D = \{D_i, i = \overline{1, I}\}$  : вузлові сенсори, які вимірюють параметри радіоканалу та навколишнього середовища, а також параметри інформації, яка передається в каналі;

– споживачі інформаційних ресурсів  $C = \{C_j, j = \overline{1, J}\}$ : методи і алгоритми підсистеми формування рішень відповідно до рівнів моделі OSI (управління топологією, управління маршрутизацією, управління навантаженням, управління радіоресурсом, управління енергоресурсом і т.д.);

– інформаційні ресурси ПКЗОЗ: інформаційний ресурс і його характеристики визначаються фізичним змістом параметрів, які вимірюються сенсорами мобільного вузла, а також способами організації інформаційних полів (записів, масивів, файлів, об'єктових баз даних) у тій чи іншій точці вузлової ІСУ:

$$J = \{J^{вх}, J^{пр}, J^{вих}, J^{бд}\},$$

де  $J^{вх} = \{J_n^{вх}, n = \overline{1, N}\}$  – вхідні інформаційні ресурси;

$J^{пр} = \{J_\ell^{пр}, \ell = \overline{1, L}\}$  – проміжні інформаційні ресурси;

$J^{вих} = \{J_k^{вих}, k = \overline{1, K}\}$  – вихідні інформаційні ресурси;

$J^{бд} = \{J_c^{бд}, c = \overline{1, C}\}$  – ресурси об'єктових баз даних;

– процедури перетворення одних інформаційних ресурсів в інші: їх характеристики визначаються набором операторів для такого перетворення, порядком їх виконання і засобами реалізації кожного оператора процедури:

$$\theta = \{\theta_{вх}, \theta_{пр}, \theta_{вих}, \theta_{бд}\},$$

де  $\theta_{вх}$  – процедури формування вхідних інформаційних ресурсів;  $\theta_{пр}$  – процедури формування проміжних інформаційних ресурсів;  $\theta_{вих}$  – процедури формування вихідних інформаційних ресурсів;  $\theta_{бд}$  – процедури формування об'єктових баз даних (в тому числі – процедури формування вузлової бази знань [11]).

З урахуванням наведених компонентів, структуру МОІР можна представити у вигляді орієнтованого мультиграфа  $G$ , в якому інформаційні ресурси  $J_k$ , процедури формування інформаційних ресурсів  $\theta_r$ , джерела інформації  $D_i$  і споживачі інформації  $C_j$  відповідають вершинам графа, а параметричні зв'язки ребрам графа (рис. 3):

$$G = (J; \theta; Z; P; D; C), \quad (1)$$

де  $J = \{J_k, k = \overline{1, K}\}$  – множина інформаційних ресурсів;

$Z = \{z_1^{(j)}, z_2^{(j)}, \dots, z_1^{(j)}, \dots, z_m^{(j)}, j = \overline{1, m}\}$  – множина задач, які розв'язує функціональна підсистема  $U_j, j = \overline{1, n}$ ;

$\theta = \{\theta_r, r = \overline{1, R}\}$  – множина процедур формування інформаційних ресурсів;

$P$  – матриця параметричних зв'язків;  $D = \{D_i, i = \overline{1, I}\}$  – множина джерел інформації;

$C = \{C_j, j = \overline{1, J}\}$  – множина споживачів інформації.

Формалізація МОІР у вигляді графа  $G$  дозволяє представити задачу її розробки наступним чином: з урахуванням наведених вище компонентів МОІР, необхідно вибрати оптимальний варіант структури вузлової ІСУ і, на його основі, синтезувати граф можливих реалізацій інформаційних ресурсів вузлових ІСУ  $G_0$ .

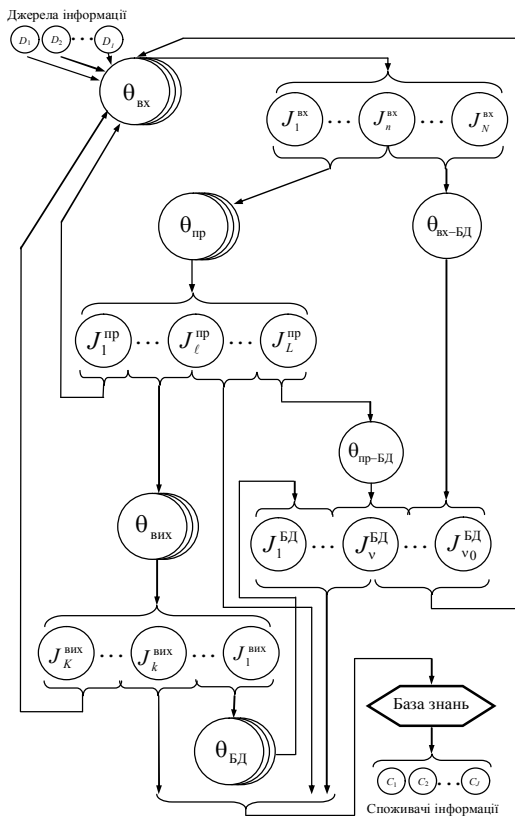


Рис. 3. Графове представлення МОІР вузлової ІСУ

У якості обмеження вважатимемо, що між компонентами МОІР існують тільки зв'язки, пов'язані з передачею службової інформації. Також, кількість джерел інформації  $D = \{D_i\}$ ,  $i = \overline{1, I}$  і споживачів інформації  $C = \{c_j\}$ ,  $j = \overline{1, J}$  не змінюється в процесі моделювання.

### Модель організації інформаційних ресурсів ІСУ вузлами МР

Динамічна топологія МР, а також множина архітектур мобільних вузлів та методів, які використовуються вузловими ІСУ для прийняття управлінських рішень, задають варіант постановки задачі розробки МОІР з можливістю заміни джерел і споживачів інформаційних ресурсів. Тобто вирішення задачі полягає не тільки у визначенні оптимальної структури і організації ПКЗОЗ, але і у виборі необхідних і достатніх для формування інформаційних ресурсів джерел інформації, оптимальних споживачів інформації та процедур її перетворення всередині моделі, а також встановлення відповідних значень параметричних зв'язків між зазначеними компонентами моделі. Опишемо їх детальніше.

**Інформаційні ресурси.** Кожний інформаційний ресурс множини  $J = \{J^{вх}, J^{пр}, J^{вих}, J^{БД}\}$  характеризується властивістю цілісності, яка проявляється у тому, що всі параметри ресурсу, як у межах вузлової ІСУ, так і між ІСУ різних вузлів, передаються за

параметричними зв'язками як зв'язана сукупність. Для селекції частини параметрів інформаційного ресурсу  $J_k$  необхідно виконати відповідну функцію, яка задається процедурою формування нового інформаційного ресурсу  $\theta_r$ . Опис інформаційного ресурсу складається із переліку параметрів, їх основних характеристик (фізичний зміст; джерело для отримання значень; допустима точність отриманих значень параметра, якщо він чисельний; міра достовірності значень параметра і т.п.) та області допустимих значень параметрів ресурсів з урахуванням допустимих взаємних зв'язків між ними.

**Процедури формування інформаційних ресурсів.** Для процедур формування інформаційних ресурсів  $\theta_r$  вузлових ІСУ характерною є властивість замкнутості. Ця властивість проявляється у тому, що зв'язок процедури  $\theta_r$  з рештою елементів інформаційної моделі можливий тільки за фіксованими лініями параметричного зв'язку (тобто, процедури не взаємодіють безпосередньо між собою).

Кожна процедура  $\theta_r$  описується метою перетворення інформації та функціями, які реалізуються цією процедурою. До функцій відносяться:

- часові характеристики роботи процедури (максимальна тривалість роботи процедури при виконанні кожної з функцій);
- множина ліній параметричних зв'язків;
- умови синхронізації обробки інформації, яка надходить з різних ліній
- аналіз правильності значень вихідних даних та вироблення реакцій у випадку, коли аналіз дав негативний результат;
- аналіз повноти множин значень вихідних даних та вироблення реакцій у випадку, коли аналіз повноти дав негативний результат.

**Параметричні зв'язки.** Параметричні зв'язки описують взаємодію між окремими компонентами інформаційної моделі. Опис параметричного зв'язку  $P_i$  складається із:

- списку компонентів інформаційної моделі, взаємодію між якими здійснює цей зв'язок;
- переліку інформаційних ресурсів, які передаються у напрямку даного параметричного зв'язку;
- опису правил, згідно яких здійснюється передача інформаційних ресурсів з використанням даного параметричного зв'язку.

Процеси управління вузлом та МР у цілому характеризуються циклічністю. Тому вважатимемо, що опис процесу циркуляції інформації в МОІР у межах одного циклу буде поширюватися на всі цикли.

Додатково введемо наступні позначення:  $T$  – множина описів часових характеристик переміщення інформації за лініями параметричних зв'язків;  $M$  – множина описів інформаційних ресурсів, які переміщуються за лініями параметричних зв'язків.

Опис функціонування МОІР складається із опису функцій, які виконуються у вузлах графа та опису процесу переміщення інформації у часі між вузлами графа, який задається параметричними зв'язками ( $P_i$ ), кожному із яких ставиться у відповідність множина

$$P_i \leftrightarrow \{X_i, Y_i, M_i, T_i\}, \quad (2)$$

де  $M_i \subset M$ ;  $T_i \subset T$ ;  $X_i$  – джерело інформації параметричного зв'язку  $P_i$ ;  $Y_i$  – адресат інформації, яка надходить параметричним зв'язком  $P_i$ .

У виразі (2)  $X_i$  та  $Y_i$  визначають як напрямок переміщення інформації, так і вершини графа інформаційної моделі, які пов'язані параметричним зв'язком  $P_i$ . Підмножина  $M_i$  характеризує склад інформаційних ресурсів, які переміщуються, а підмножина  $T_i$  характеризує часові характеристики, які описують правила переміщення ресурсів. Кожному елементу із  $M_i$  ставиться у відповідність елемент із  $T_i$ . Таким чином, множина

$$A \equiv \{P_i, X_i, Y_i, M_i, T_i\}, \quad (3)$$

яка описує процес функціонування інформаційної моделі, разом з графом (1), який описує її компоненти, складають модель організації інформаційних ресурсів І вузлових ІСУ:

$$I \equiv \{A, G\}. \quad (4)$$

У такому представленні МОІР міститься формалізована схема проходження інформації в ПКЗОЗ вузлової ІСУ. Деталізація описів елементів множин  $J$  до кожного параметру інформаційного ресурсу дозволяє представити повний склад інформації (вхідної, проміжної і вихідної), яка піддається обробці засобами вузлових підсистем або формується в результаті такої обробки.

Однак, неформалізованими залишаються описи процесів, які здійснюють перетворення інформації в середині споживачів інформації  $C = \{C_j\}, j = \overline{1, J}$  у

графі  $G$ . Представлення споживачів інформаційних ресурсів вузлами  $C_1, C_2, \dots, C_j$ , не дозволяє відобразити інформаційні зв'язки між методами, алгоритмами та протоколами, які функціонують всередині кожного з них. Їх формалізація є основною задачею побудови математичних моделей цих компонентів МОІР.

Як зазначалося вище, відповідно до представлені в [3] концепції, множина функціональних підсистем вузлової ІСУ може бути зображена у вигляді взаємодії типу „метаагент – множина агентів”. Введемо позначення:  $U = \{u_1, \dots, u_j, \dots, u_n\}, j = \overline{1, n}$  – множина функціональних підсистем вузлової ІСУ;  $Z = \{z_1^{(j)}, \dots, z_i^{(j)}, \dots, z_m^{(j)}\}, j = \overline{1, m}$  – множина задач, які розв'язує функціональна підсистема  $U_j, j = \overline{1, n}$ ;  $Al_i^{(j)} = \{Al_{i1}^{(j)}, \dots, Al_{ik}^{(j)}, \dots, Al_{in}^{(j)}\}, k = \overline{1, n}$  – множина методів (алгоритмів) рішення задачі  $Z_i^{(j)}$ , які має у своєму розпорядженні функціональна підсистема  $U_j, j = \overline{1, n}$ ;  $IKZ_i^{(j)} = \{IKZ_{i1}^{(j)}, \dots, IKZ_{ik}^{(j)}, \dots, IKZ_{in}^{(j)}\}, k = \overline{1, n}$  – множина інформаційних контурів вирішення задачі  $Z_i^{(j)}, i = \overline{1, m}$  функціональною підсистемою  $U_j, j = \overline{1, n}$  ( $IKZ_{ik}^{(j)}$  – інформаційний контур вирішення задачі) за алгоритмом  $Al_{ik}^{(j)}, k = \overline{1, n}$ .

З метою спрощення припустимо, що функціональна підсистема має тільки одну мету функціонування, для досягнення якої розв'язується тільки одна задача  $Z_i^{(j)}, i = \overline{1, m}$  згідно алгоритму  $Al_{ik}^{(j)}, k = \overline{1, n}$ . Ця ситуація відповідає одному елементу матриці  $(u)m \times n \in U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_n\}$  (рис. 4). Кількість матриць  $U_{mn}$  дорівнює кількості функціональних підсистем вузлової ІСУ.

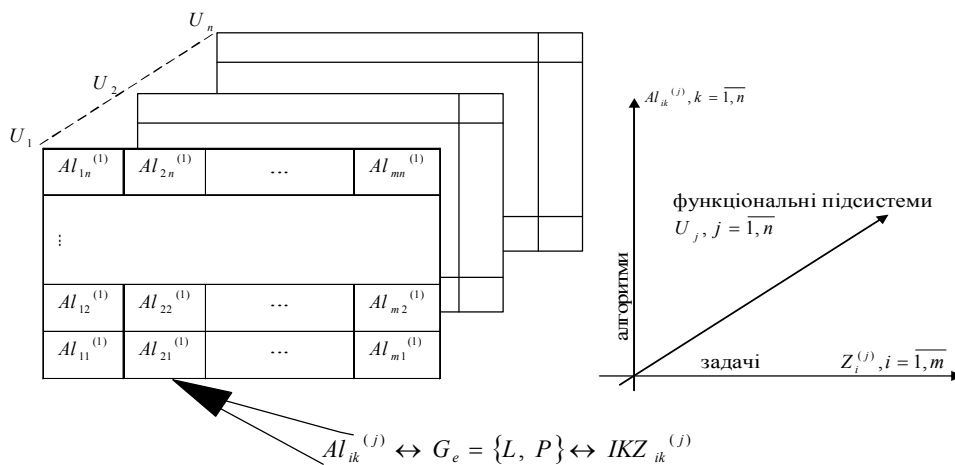


Рис. 4. Багатомірне представлення  $AI \subset Z \subset U$

Як видно з рис. 4, кожному алгоритму  $Al_{ik}^{(j)}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, n}$  ставиться у відповідність

підграф  $G_e$ , який є моделлю найпростішого інформаційного контуру  $IKZ_{ik}^{(j)}$  (рис. 5)  $G_e = \{L, P\}$ , де

$L = \{L_1, \dots, L_6\}$  – вузли графа, які відображають елементи ланки „метаагент – множина агентів” споживача інформаційних ресурсів  $C_j$ . Відповідно до концепції [3] та об’єктної багатоагентної моделі оперативного управління МР [9], елементами множини  $L$  є метаагент, агент, алгоритм, база знань, підсистема реалізації рішень та ресурс  $J_k$ , сформований ПКЗОЗ;  $P = \{P_1, \dots, P_{11}\}$  – множина параметричних зв’язків між вузлами графа, які відображають зміст потоків службової інформації між елементами ланки.

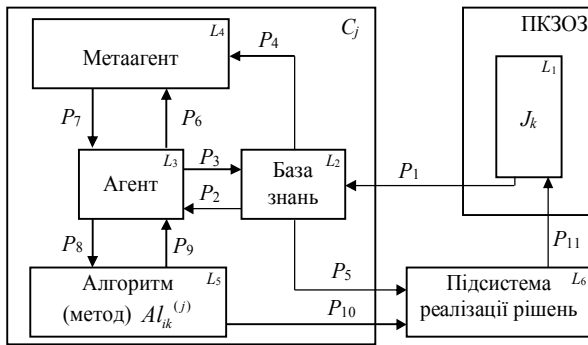


Рис. 5. Найпростіший інформаційний контур споживача інформаційних ресурсів

Основу будь-якої ІСУ становить база знань, у якій містяться правила поведінки системи в залежності від ситуації в той чи інший момент часу. Відповідно, основу найпростішого інформаційного контуру  $IKZ_{ik}^{(j)}$  складає вузлова база знань та множина інформаційних ресурсів  $J_k$ , яка міститься в ПКЗОЗ. Взаємодія між базою знань, ПКЗОЗ та рештою елементів контуру описується параметричними зв’язками  $P_1 - P_{11}$ .

На основі інформаційного ресурсу  $J_k$ , який поступає параметричним зв’язком  $P_1$ , у базі знань формується ціль управління функціональною підсистемою вузлової ІСУ (параметричні зв’язки  $P_4$  та  $P_5$ ), а також правила, які визначають доцільну поведінку агента (параметричні зв’язки  $P_2$  та  $P_3$ ). Між метаагентом та агентом відбувається інформаційний обмін

(параметричні зв’язки  $P_6$  та  $P_7$ ), який полягає у координації дій кожного агента [12] з урахуванням сформованої для функціональної підсистеми цілі управління. Для визначення необхідних управляючих рішень між агентом та алгоритмом (методом чи протоколом) функціонують параметричні зв’язки  $P_8$  та  $P_9$ , а результати роботи алгоритму за допомогою параметричного зв’язку  $P_{10}$  потрапляють до підсистеми реалізації рішень. Для оцінки якості прийнятих рішень (їхнього впливу на досягнення визначеної цілі управління) між підсистемою реалізації рішень та ПКЗОЗ функціонує параметричний зв’язок  $P_{11}$ .

Графічна модель найпростішого інформаційного контуру  $IKZ_{ik}^{(j)}$  представлена на рис. 6, в якій  $L_1 - L_6$  – вузли графа  $G_e = \{L, P\}$ , що відображають елементи ланки „метаагент – множина агентів”, а  $P_1 - P_{11}$  – ребра графа, які відображають відповідні параметричні зв’язки.

Однак, у залежності від складності, розв’язання задачі  $Z_i^{(j)}$ ,  $i = \overline{1, m}$  функціональної підсистеми  $U_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  може потребувати застосування декількох методів (алгоритмів чи протоколів) та/або залучення декількох ІА. У такому випадку модель інформаційного контуру ускладнюється за рахунок введення додаткових вузлів і додаткових параметричних зв’язків, але із збереженням їх типів (рис. 6, а).

Наприклад, якщо для вирішення задачі  $Z_i^{(j)}$ ,  $i = \overline{1, m}$  потрібно залучити два ІА, функціонування яких ґрунтується на використанні одного і того ж методу (алгоритму чи протоколу), то на графі інформаційного контуру з’являться вузли  $L_3^1$  та  $L_3^2$  і, відповідно, додаткові параметричні зв’язки, які відобразатимуть їх взаємодію з метаагентом (параметричні зв’язки  $P_6^1, P_6^2, P_7^1$  та  $P_7^2$ ), з методом (параметричні зв’язки  $P_8^1, P_8^2, P_9^1$  та  $P_9^2$ ), а також між собою (параметричні зв’язки  $P_3^{12}, P_3^{21}$ ) (рис. 6, б).

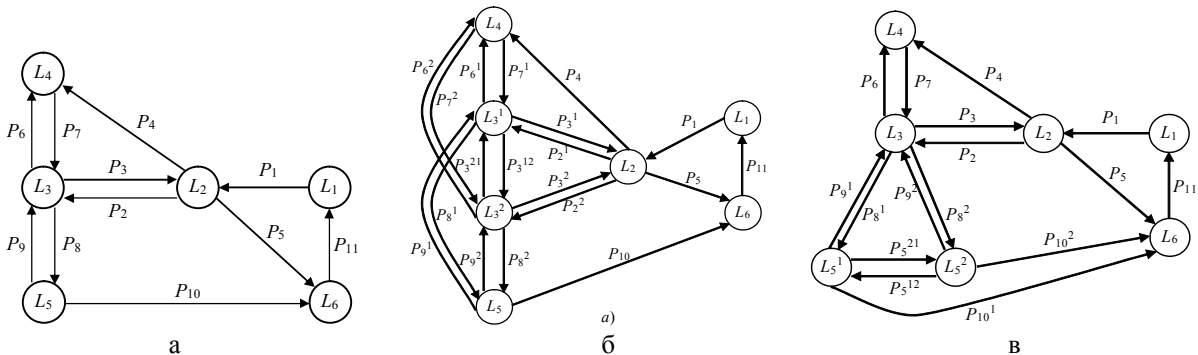


Рис. 6. Граф найпростішого (а) та ускладненого (б, в) інформаційного контуру

В іншому випадку, якщо для вирішення задачі  $Z_i^{(j)}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , ІА потрібно використовувати два методи (алгоритми чи протоколи), то на графі інформаційного

контуру з’являться вузли  $L_5^1$  та  $L_5^2$ , а також параметричні зв’язки, які відобразатимуть їх взаємодію з ІА (параметричні зв’язки  $P_8^1, P_8^2, P_9^1$  та  $P_9^2$ ), з підсисте-

мою реалізації рішень (параметричні зв'язки  $P_{10}^1$ ,  $P_{10}^2$ ), а також між собою (параметричні зв'язки  $P_5^{12}$ ,  $P_5^{21}$ ) (рис. 6, в). У випадку, якщо вирішення задачі управління потребує збільшення кількості ІА чи ІА використовуватимуть більшу кількість методів (алгоритмів чи протоколів), ускладнення графа інформаційного контуру відбуватиметься за наведеними вище схемами.

## Висновки

Таким чином, визначені у статті чинники дозволили обґрунтувати необхідність розробки математичної моделі організації інформаційних ресурсів ІСУ вузлами МР, суть якої полягає у формалізованому представленні процесів циркуляції, обробки, зберігання і використання службової інформації, що застосовується ІСУ для прийняття рішень з управління вузловими та мережевими ресурсами.

Новизна моделі полягає у використанні теорії графів для формалізованого опису джерел та споживачів службової інформації, які відповідають вершинам графа, а також параметричних зв'язків, які описують взаємодію між джерелами та споживачами і відповідають ребрам графа.

Запропонована модель дозволить вирішити задачу синтезу схеми організації інформаційних ресурсів вузлових ІСУ, а також узгодити їх характеристики з характеристиками споживачів інформаційних ресурсів, у якості яких виступають методи (алгоритми та протоколи) вирішення задач оперативного управління вузлом МР на кожному з рівнів моделі OSI.

У ході подальших досліджень буде розроблено BDI-модель (beliefs-desire-intention) архітектури інтелектуального агента для реалізації методів (алгоритмів чи протоколів) прийняття управлінських рішень підсистемами вузлової ІСУ при розв'язанні задач управління МР.

## Список літератури

1. Conti M. *Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions* / M. Conti, S. Giordano // *Communications Magazine, IEEE*. – Vol. 52, Is. 1. – P. 85 – 96.

2. Миночкин А.И. *Методология оперативного управления мобильными радиосетями* / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // *Зв'язок*. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.

3. Концепция иерархического построения интеллектуальных систем управления тактическими радиосетями класса MANET / [О.Я. Сова, В.А. Романюк, П.В. Жук, А.В. Романюк] // *Тез. докл. XXII Межд. Крымской конференции „СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”*. – Севастополь: КрыМиКо – 2012. – С. 265 – 266.

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

5. Миночкин А.И. *Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения* / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // *Зв'язок*. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55.

6. *Investigating Communication Architecture For Tactical Radio Networks Design* / [Suman B., Sharma S.C., Pant M., Kumar S.] // *Int. Journal of Research in Engineering & Applied Sciences*. – Vol. 2, Issue 2. – 2012. – P. 106 – 118.

7. *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*. – P. 6-1 – 6-14.

8. Романюк В.А. *Архитектура системы управления сетями MANET* / В.А. Романюк, О.Я. Сова, О.В. Жук // *Тези доп. НТК „Проблеми телекомунікацій – 2011”*. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 77.

9. Миночкин А.И. *Объектно, багатоагентна модель оперативного управления мобильною компонентою мережі зв'язку військового призначення нового покоління* / А.И. Миночкин, П.В. Шаціло // *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*. – К.: ВІТІ, 2008. – № 3. – С. 107 – 118.

10. МСЭ-Т. *Обобщенная сетевая информационная модель для TMN. Рекомендация М. 3100*. – 1993.

11. *Методика побудови нечітких баз знань інтелектуальних систем управління вузлами мобільних радіомереж класу MANET* / [О.Я. Сова, П.В. Жук, Д.А. Міночкин, О.А. Симоненко] // *Системи озброєння і військова техніка*. – 2014. – № 4(40). – С. 117 – 124.

12. Координація цільових функцій інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET / [О.Я. Сова, В.А. Романюк, Я.А. Стемпковська, О.А. Симоненко] // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – X.: ХУПС, 2014. – Вип. 3(40). – С. 85 – 92.

Надійшла до редколегії 10.02.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.В. Кувшинов, Військового інституту телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ.

## МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛАМИ МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЕЙ КЛАССА MANET

О.Я. Сова, Д.А. Миночкин, В.А. Романюк, П.В. Жук

*В статье впервые предложена математическая модель организации информационных ресурсов интеллектуальных систем управления узлами мобильных радиосетей класса MANET, заключающаяся в формализованном представлении процессов циркуляции, обработки, хранения и использования служебной информации, которая применяется интеллектуальными системами управления для принятия решений по управлению узловыми и сетевыми ресурсами.*

**Ключевые слова:** мобильная радиосеть, информационный ресурс, интеллектуальная система управления, интеллектуальный агент.

## THE INFORMATION RESOURCES ORGANIZATION MODEL IN THE MANET'S INTELLECTUAL NODAL CONTROL SYSTEMS

O.Ya. Sova, D.A. Minochkin, V.A. Romanyuk, P.V. Zhuk

*Mathematical model of the information resources organization in the MANET's intellectual nodal control systems is first proposed in the paper. Model is based on a formalized representation of service information circulation, processing and storage, used by the intelligent nodal control systems for nodal and network resources management decisions.*

**Keywords:** mobile radio, information resource, intelligent control system, intelligent agent.