

МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СИСТЕМОЮ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНОЮ РАДІОМЕРЕЖЕЮ

Запропоновано структуру системи нечіткого управління мобільною радіомережею, яка реалізована на кожному вузлі мережі. Розглянуто процес прийняття рішень системою управління мобільною радіомережею методами ієрархічного цільового оцінювання альтернатив в умовах нечіткої вихідної інформації про її стан.

Нове покоління мереж зв'язку 4G припускає використання мобільних радіомереж (МР) або MANET (Mobile Ad-Hoc Networks) [1, 2], що характеризуються: високою динамікою топології, обмеженою пропускну здатністю радіоканалів, децентралізованим управлінням тощо. Під вузлом даної мережі розуміється комунікатор (переносний або кишеньковий комп'ютер з бездротовою картою), що реалізує функції маршрутизатора. Забезпечити задану якість передачі повідомлень у мобільній радіомережі неможливо без ефективної системи управління, реалізованої на кожному вузлі мережі [3].

Через динамічний характер задач управління, їх високої розмірності, складності формування повної системи показників ефективності самої системи управління (через кореляцію та нечіткий характер багатьох з них), неповноти й невірності контрольної інформації доцільне використання системи нечіткого управління (СНУ) [4]. СНУ використовує нечіткий опис керованого процесу та системи його управління (у вигляді нечіткої бази знань), а також перетворює нечіткий опис у послідовність команд для досягнення цілей управління.

У загальному випадку цикл управління полягає в тому, щоб на основі аналізу поточного стану об'єкта управління (змінні X_i стану МР) визначити значення керованих змінних (Y_i), реалізація яких дозволяє забезпечити бажане поведіння або стан об'єкта управління (тобто МР). У якості керованих змінних виступають методи (параметри) управління, які реалізуються за рівнями еталонної моделі взаємозв'язку відкритих систем (ЕМ ВВС) та функціями управління [5]. Особливостями запропонованої схеми СНУ є облік послідовності циклу управління: оцінка ситуації, визначення цілі управління, виявлення необхідності управління, пошук припустимих рішень і способу досягнення поставленої мети та реалізація обраного способу досягнення мети (рис. 1).

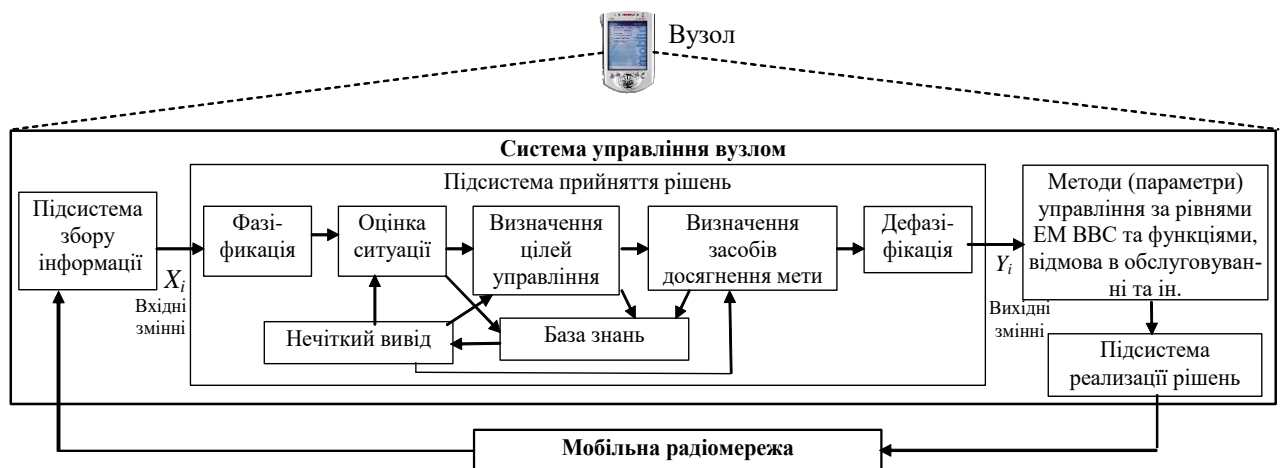


Рис. 1. Архітектура компонентів процесу нечіткого управління

Метою статті є розгляд процесу прийняття рішень системою управління МР вузлом мережі методами ієрархічного цільового оцінювання альтернатив в умовах нечіткої вихідної інформації про її стан.

В умовах децентралізованого управління МР кожний вузол буде реалізовувати дві взаємозалежні групи цілей, що визначають багатокритеріальність управління:

- користувальницькі цілі $\{\Pi_i\}, i=1 \dots k$, визначальний пошук екстремуму або виконання обмежень по передачі повідомлень (користувальницька оптимізація). Наприклад, $\Pi_{п1}$ – виконання вимоги по оперативності ($t_{пab} \leq t_{пр}$) або $\Pi_{п2}$ – мінімум часу передачі між абонентами $a-b$ ($\min t_{пab}$), $\Pi_{п3}$ – маршрут заданої пропускної здатності ($s_{ab} \geq s_{пр}$), по безпеці $\Pi_{п4}$ – задана кількість незалежних маршрутів передачі ($M_{ab} \geq M_{пр}$) і ін.;

- мережні (зонові) цілі $\{\Pi_{cj}\}, j=1 \dots t$, які реалізують пошук субоптимальних рішень мережі або її зони (мережна оптимізація). Наприклад, Π_{c1} – мінімізація службового трафіка ($\min V_{ст}$), Π_{c2} – максимізація пропускної здатності ($\max S$), Π_{c3} – мінімізація часу передачі повідомлень ($\min t_{п}$), Π_{c4} – мінімізація потужностей передач вузлів ($\min \bar{P}$) і ін.

Однак в умовах децентралізованого управління та наявності протиріччя між оптимальною інформованістю управляючого об'єкта (системи управління вузла) і своєчасністю управляючих впливів не можна говорити про глобальну оптимізацію всієї мережі [3]. Необхідно здійснювати локальну оптимізацію в рамках окремого вузла (зони мережі). У зв'язку із цим основна ціль управління (забезпечення інформаційного обміну з необхідною якістю) декомпозується на дві складові: передача інформації між парою відправник-адресат ($a-b$) із заданою якістю при прагненні мінімізувати витрату мережевих (зонових) ресурсів на її здійснення.

Наявність множини різних і суперечливих критеріїв оптимальності МР породжує проблему багатокритеріальної (векторної) оптимізації процесу її функціонування. Завдання оптимізації за векторним критерієм складаються у відшуканні рішень, що задовольняють екстремуму одночасно всіх компонентів векторного критерію оптимальності. Існує два основних шляхи рішення даного завдання: пошук компромісних рішень, оптимальних по Парето, і пошук рішень, оптимальних у змісті узагальненого скалярного критерію, отриманого шляхом згортки (скалярізації) всіх компонентів векторного критерію оптимальності [6].

Пропонується завдання ухвалення рішення по управлінню МР звести до завдання багатокритеріальної оптимізації для нечітко заданих цілей і альтернатив [7, 8], представлених у вигляді ієрархії цілей, що задає графом типу “дерево” (вершини позначають цілі, а дуги відображають вплив досягнення цілі в підцілі).

Основну ціль управління необхідно декомпозувати на більше прості цілі. Для цього на етапі проектування будується дерево цілей. Результатом такої структуризації є граф “ціль – засоби”, вершинами якого позначені цілями, а дуги відображають вплив досягнення цілі в підцілі. Із самих загальних позицій цільову структуру (ЦС) можна представити у вигляді списку підцілей, зв'язаних певними відносинами [7, 8]:

$$ЦС = \{a_1, R_{1m(1)} \{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m(2)}\}, R_{2m(2)} \{a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3m(3)}\}, \dots, R_{km(k)} \{a_{k1}, a_{k2}, \dots, a_{km(k)}\}\},$$

де a_1 – основна ціль системи управління, $a_{im(i)}$ – $m(i)$ -я підціль i -го рівня на цільовій структурі, $i=1 \dots k$, R – множина відносин на підцілі структури, причому якщо R описує відношення на підцілях тільки суміжних рівнів, те варто говорити про дерево цілей, інакше цільова структура вироджується в мережу. Фрагмент цільової структури для вузла зображений на рис. 2. Елементами ієрархії, тобто цілі та альтернативи, є нечіткими множинами.

Вироблення рішень здійснюється по функціях управління (на різних рівнях ЕМ ВВС і різними способами рис. 2) з реалізацією однієї із цілей [3]. Кожна ціль характеризується вектором ознак, які можна розбити на наступні групи:

- ресурси, тобто сукупність засобів досягнення цілі;
- керовані параметри по рівнях ЕМ ВВС: на фізичному рівні – потужність передачі, вид модуляції, швидкість передачі й ін.; на каналному – метод доступу; на мережному – метод маршрутизації; на транспортному – спосіб передачі й т.д.;
- некеровані параметри: динаміка топології мережі та її розмірність; закладені протоколи інформаційного обміну; вимоги до якості інформаційного обміну різних типів трафіка; апаратно-програмні можливості вузлів і ін.
- вихідні продукти, тобто результати рішення або цільовий стан.

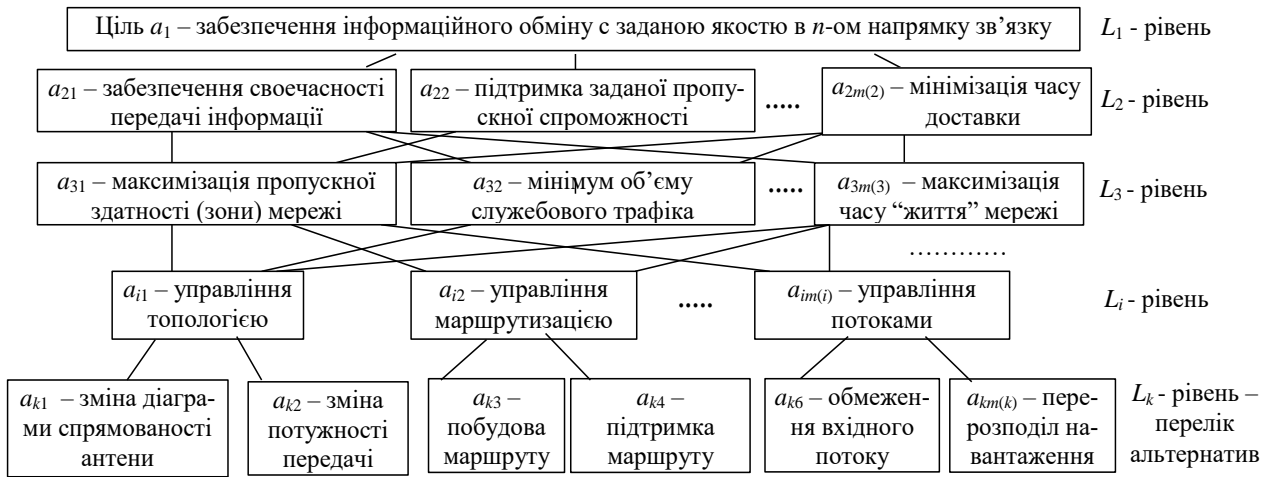


Рис. 2. Домінантна ієрархія процесу ухвалення рішення по управлінню МР

Розглянемо домінуючу ієрархію H з k рівнями: L_1, \dots, L_k .

Кожний i -й рівень ієрархії містить у собі m_i об'єктів (рис. 2).

Позначимо $L_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im(i)}\}$ – i -й рівень ієрархії, $i = \overline{1, k}$.

Для першого рівня $m_1 = 1, L = \{b\}$.

Ієрархію H можна розглядати як сукупність рівнів L_i :

$$H = \bigcup_{i=1}^k L_i = \bigcup_{i=1}^k \bigcup_{j=1}^{m_i} a_{ij}.$$

На другому рівні ієрархії задане нечітке відношення нестрогої переваги (в.н.п.) R_{21} об'єктів другого рівня стосовно першого об'єкта вищестоящого рівня на безлічі $L_2 = \{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2m(2)}\}$ з функцією приналежності $\mu_{R_{21}}(a_{2i}, a_{2j})$.

На кожному i -ом рівні $L_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im(i)}\}$ задається стільки нестрогих відносин переваг, скільки елементів на вищестоящому рівні – m_{i-1} , де $i = \overline{2, k}$.

$R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im(i-1)}$ – нечіткі відносини переваги об'єктів i -го рівня стосовно кожного об'єкта вищестоящого $i-1$ рівня.

$$R_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & \mu(a_{i1}, a_{i2}) & \dots & \mu(a_{i1}, a_{im(i)}) \\ \dots & 1 & & \dots \\ \mu(a_{im(i)}, a_{i1}) & \dots & & 1 \end{vmatrix}$$

де $\mu_{R_{ij}}(a_{i1}, a_{ir}) \in [0; 1], i = \overline{2, k}, j = \overline{1, m_{i-1}}, l, r = \overline{1, m_{(i)}}$.

Основна ціль завдання прийняття рішень – одержання вектора пріоритету елементів нижнього рівня ієрархії стосовно цілі – елементу першого рівня. Рішення основного завдання можливо декількома методами.

1 метод (на основі процедури зважування методу аналізу ієрархій [7, 9]).

Для кожного відношення нестрогої переваги R_{ik} де $i = \overline{2, h}, k = \overline{1, m_{i-1}}$ визначається нечітка підмножина недомінуючих об'єктів L_{ik}^{nd} відносно k -го елемента $(i-1)$ рівня.

Кожний об'єкт при цьому характеризується функцією приналежності

$$\mu_{R_{ik}}^{nd}(a_{ij}) \in [0;1], i = \overline{2, h}, k = \overline{1, m_{(i-1)}}, j = \overline{1, m_{(i)}}.$$

$$\mu_{R_{ik}}^{nd}(a_{ij}) = \inf_{y \in L_i} (1 - \mu_{R_{ik}}^s(y, a_{ij})), a_{ij} \in L, \text{ або}$$

$$\mu_{R_{ik}}^{nd}(a_{ij}) = 1 - \sup_{y \in L_i} \mu_{R_{ik}}^s(y, a_{ij}), a_{ij} \in L.$$

У цьому випадку ієрархія H представлена у вигляді сукупності нечітких підмножин, де вектори пріоритетів бінарних операцій – функції приналежності нечітким підмножинам елементів ієрархії.

2-й рівень

$$\mu_{211}, \dots, \mu_{21i}, \dots, \mu_{21m_{(2)}},$$

де μ_{2li} – пріоритет i -го об'єкта 2-го рівня стосовно 1-го об'єкту вищестоящого рівня.

3-й рівень (вектори пріоритетів об'єктів третього рівня стосовно всіх об'єктів другого рівня)

$$\mu_{311}, \dots, \mu_{31i}, \dots, \mu_{31m_{(3)}},$$

$$\mu_{321}, \dots, \mu_{32i}, \dots, \mu_{32m_{(3)}},$$

.....,

$$\mu_{3m_{(2)}1}, \dots, \mu_{3m_{(2)}i}, \dots, \mu_{3m_{(2)}m_{(3)}}.$$

k -й рівень (вектори пріоритетів об'єктів k -го рівня стосовно всіх об'єктів $k-1$ рівня)

$$\mu_{k11}, \dots, \mu_{k1i}, \dots, \mu_{k1m_{(k)}},$$

$$\mu_{k21}, \dots, \mu_{k2i}, \dots, \mu_{k2m_{(k)}},$$

.....,

$$\mu_{km_{(k-1)}1}, \dots, \mu_{km_{(k-1)}i}, \dots, \mu_{km_{(k-1)}m_{(k)}}.$$

Таким чином, зв'язок сусідніх рівнів ієрархії $L_{i-1}=X, L_i=Y$ визначається нечіткою відповідністю $X \circ Y \rightarrow [0;1]$, яких можна представити у вигляді матриці функцій приналежності елементів X щодо кожного з об'єктів $y \in Y$.

$$W_y(X) = \begin{vmatrix} \mu_{(i+1)11} & \mu_{(i+1)21} & \dots & \mu_{(i+1)m_{(i)}1} \\ \mu_{(i+1)12} & \mu_{(i+1)22} & \dots & \mu_{(i+1)m_{(i)}2} \\ \mu_{(i+1)1(m_{i+1})} & \mu_{(i+1)2(m_{i+1})} & \dots & \mu_{(i+1)m_{(i)}m_{(i+1)}} \end{vmatrix}.$$

$$\text{Для } L_2 \quad W_b(L_2) = \mu_b(L_2) = \{\mu_{211}, \dots, \mu_{21i}, \dots, \mu_{21m_{(2)}}\}.$$

До так певної ієрархії, елементи якої є нечіткими підмножинами, застосовна теорема, доведена в роботі [7] і яка представляє собою застосування ієрархічного синтезу до матриць $W_y(x)$: функція приналежності елементів нижнього k -го рівня ієрархії щодо мети b визначається в такий спосіб:

$$\mu_b(L_k) = B_k * B_{k-1} * \dots * B_3 * \mu_b(L_2) \dots$$

Теорема доводить справедливість рішення МАИ (методу аналізу ієрархій) багатокритеріальних завдань із нечітко вираженими альтернативами й критеріями з одержанням функції корисності. При цьому функція корисності розглядається як функція приналежності глобальної мети на безлічі альтернатив.

2 метод. Тому що вихідними даними в методі прийняття рішень на базі нечіткої логіки є нечіткі відносини, то до них коректніше застосувати алгоритми згортки нечітких відносин.

Як було показано, найбільш достовірним з них є алгоритм згортки нечітких відносин переваг, кожне з яких характеризується ваговими коефіцієнтами.

На основі нечітких відносин переваг

$$R_{21} = \begin{vmatrix} 1 & \mu(a_{21}, a_{22}) & \dots & \mu(a_{21}, a_{2m(2)}) \\ \dots & 1 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ \mu(a_{2m(2)}, a_{21}) & \dots & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

методом прийняття рішень на базі нечіткої логіки з одним експертом сформуємо безліч нечітких альтернатив L_{21}^{nd} другого рівня стосовно мети ієрархії.

Відповідний вектор ступенів недомінуєності альтернатив $\mu_{R_{21}}^{nd}(a_{2j}) \in [0;1]$, $j = \overline{1, m_2}$ нормалізуємо, у результаті чого будуть отримані ваги об'єктів другого рівня щодо мети ієрархії $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m_2}\}$.

На третьому рівні ієрархії сформована в.н.п. $R_1, R_2, \dots, R_{m(2)}$ (їх кількість збігається з кількістю елементів на другому рівні – $m(2)$) переваги об'єктів третього рівня стосовно кожного з елементів другого рівня:

$$R_1 = \begin{vmatrix} \mu(u_1, u_1) & \dots & \mu(u_1, u_{m(3)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu(u_{m(3)}, u_1) & \dots & \mu(u_{m(3)}, u_{m(3)}) \end{vmatrix}, \dots, R_{m(2)} = \begin{vmatrix} \mu(u_1, u_1) & \dots & \mu(u_1, u_{m(3)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu(u_{m(3)}, u_1) & \dots & \mu(u_{m(3)}, u_{m(3)}) \end{vmatrix}.$$

Будуємо згортку P в.н.п. $R_1, \dots, R_{m(2)}$ в вигляді:

$$P = \bigcap R_l(u_i, u_j) = \min\{\mu(u_i, u_j)\}, l = \overline{1, m(2)}.$$

З отриманим в.н.п. асоціюється $P^S = P \cdot P^T$.

Визначається безліч недомінуєних альтернатив U_P^{nd} .

Будується опукла згортка

$$Q = \sum \lambda_l R_l, l = \overline{1, m(2)}.$$

Для згортки визначається безліч недомінуєних альтернатив U_Q^{nd} . Розглядаємо перетинання множин

$$U_Q^{nd} \cap U_P^{nd}, \mu^{nd}(u_i) = \min\{\mu_P^{nd}(u_i), \mu_Q^{nd}(u_i)\}.$$

Отриманий вектор ступенів недомінуєності альтернатив нормалізуємо, у результаті чого одержимо узагальнені ваги об'єктів $\{\lambda_1, \dots, \lambda_{m_3}\}$ третього рівня стосовно мети першого рівня (при цьому вужу виявляється врахованим другий проміжний рівень). Далі к $\{\lambda_1, \dots, \lambda_{m_2}\}$ и в.н.п. нижележащего рівня застосовуємо той же алгоритм, одержуючи узагальнені ваги 4-го рівня й т.д. В остаточному підсумку буде отриманий вектор ступенів недомінуєності альтернатив самого останнього рівня ієрархії:

$$\mu_k^{nd} = \{\mu_k(u_i), \dots, \mu_k(u_{m(k)})\}.$$

Вектор глобальних пріоритетів розглянутих альтернатив $W = \{w_1, \dots, w_{m(k)}\}$ буде отриманий нормалізацією вектора

$$\mu_k^{nd} = \{\mu_k(u_i), \dots, \mu_k(u_{m(k)})\}.$$

Таким чином, можна сформулювати наступну теорему [7].

Теорема.

Нехай H – повна ієрархія, L_{i-1} , L_i , L_{i+1} ($i-1$)-й, (i)-й, ($i+1$)-й рівні ієрархії відповідно, $i = \overline{3, k-1}$.

$W_{(i-1)} = \{\lambda_{(i-1)1}, \dots, \lambda_{(i-1)m_{(i-1)}}\}$ – вектор пріоритетів об'єктів ($i-1$)-го рівня щодо мети $L_1 = \{b\}$, $i = \overline{3, k-1}$. При $i = 3$ $W_{(i-1)} = W_2 = \{\lambda_{21}, \dots, \lambda_{2m_{(2)}}\}$ – нормалізовані ступені невідоміюємісті альтернатив відносини $\varphi_{R_2} : L_2 \times L_2 \rightarrow [0; 1]$.

$\varphi_{R_{ij}} : L_i \times L_i \rightarrow [0; 1]$, $i = \overline{3, k-1}$, $j = \overline{1, m_{(i-1)}}$ – відносини об'єктів (i)-го рівня стосовно j -му об'єкта ($i-1$)-го рівня.

$\varphi_{R_{(i-1)j}} : L_{i+1} \times L_{i+1} \rightarrow [0; 1]$, $i = \overline{3, k-1}$, $j = \overline{1, m_{(i)}}$ – відносини об'єктів ($i+1$)-го рівня стосовно j -му об'єкта i -го рівня.

Вектор пріоритетів $\lambda_{(i+1)1}, \dots, \lambda_{(i+1)m_{(i-1)}}$ об'єктів $L_{(i+1)}$ рівня щодо мети $\{b\}$ визначається в такий спосіб:

$$1. \lambda_{ij} = \min \{ \mu_{P_i}^{nd}(u_j); \mu_{Q_i}^{nd}(u_j) \} / \sum_j \min \{ \mu_{P_i}^{nd}(u_j); \mu_{Q_i}^{nd}(u_j) \}, j = \overline{1, m_{(i)}} .$$

$$2. \lambda_{(i-1)j} = \min \{ \mu_{P_{i-1}}^{nd}(u_j); \mu_{Q_{i+1}}^{nd}(u_j) \} / \sum_j \min \{ \mu_{P_{i-1}}^{nd}(u_j); \mu_{Q_{i+1}}^{nd}(u_j) \}, j = \overline{1, m_{(i+1)}} .$$

Таким чином, у методи ухвалення рішення на базі нечіткої логіки як перший етап доцільно включати побудова ієрархії процесу вибору альтернатив. Порівняння об'єктів на кожному рівні можна проводити кожним з методів. Шляхом подальшої нормалізації отриманих оцінок альтернатив кожного рівня, застосовуючи процедуру зважування методу аналізу ієрархій або алгоритм “згортки” інших методів, можна одержати пріоритет альтернатив нижнього рівня стосовно мети першого рівня (фактично здійснювати вибір керуючого впливу на МР).

Література

1. Міночкін А.І., Романюк В.А. Концепція управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення // Збірник наукових праць № 3. – К.: ВІПІ НТУУ “КПІ”. – 2005. – С. 51 – 60.
2. Романюк В.А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 12. – С. 62 – 68.
3. Миночкин А.И., Романюк В.А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53 – 58.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
5. Миночкин А.И., Романюк В.А. Координация и интеллектуализация уровней OSI – новая парадигма управления MANET // 7-международная научно-практическая конференция “Современные информационные и электронные технологии” (Одесса, 2006г.).
6. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмишин Н.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К: Техника, 2002. – 140 с.
7. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Методы принятия решений в условиях неопределенности. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
8. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический подход. – К: Наукова думка, 2002. – 381 с.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иєрархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.