

УДК 621.396

О.Я. Сова, В.А. Романюк, П.В. Жук, Я.Л. Уманець

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації  
Національного технічного університету України «КПІ», Київ**МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ  
ПЕРСПЕКТИВНИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖ  
З ДИНАМІЧНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ**

Представлена методологія синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних МР, складові якої дозволяють провести декомпозицію задач, що виникають в ході оперативного управління МР, на рекурсивну послідовність складових: на нижньому рівні вирішуються задачі управління вузлом МР, пов'язані з його адаптацією до різних умов функціонування; на верхньому – задачі планування та управління всією МР.

**Ключові слова:** мобільна радіомережа (МР), система управління, інтелектуалізація, динамічна топологія.

**Вступ**

Розвиток сучасних телекомунікаційних систем та мереж характеризується широким використанням безпроводових технологій, які надають користувачам доступ до необхідної інформації та сервісів за принципом, в будь-якому місці, в будь-який час". Не є винятком і мережі спеціального призначення, які використовуються у разі надзвичайних ситуацій, стихійних лих чи у військовій сфері, зокрема в тактичній ланці управління військами. Прикладом таких мереж є радіомережі класу Ad-Нос та Mobile Ad-Нос Networks (так-звані мобільні радіомережі, МР) [1], які характеризуються динамічною топологією, передбачають відсутність базових станцій та фіксованих маршрутів передачі інформації, а також надають можливість мобільним абонентам самоорганізовуватися в радіомережу без завчасно розгорнутої мережевої інфраструктури.

Функціонування МР неможливе без наявності ефективною системи управління (СУ) [2] у складі кожного мобільного вузла, створення якої є актуальним завданням, з огляду на постійне підвищення інтересу до застосування безпроводових технологій в усіх сферах нашої життєдіяльності.

**Постановка проблеми.** У відповідності з класичним підходом до побудови автоматизованих СУ [3] – основними складовими СУ вузлом МР є: апаратне, програмне (математичне) та інформаційне забезпечення. Як показує проведений аналіз, сьогодні існує велика кількість праць, спрямованих на розробку алгоритмів, методів та методик, що відносяться до того чи іншого виду забезпечення.

Так у [4] запропонована функціонально-декомпозиційна модель вузлової СУ, яка передбачає розподіл СУ на підсистеми відповідно до функцій, які вона повинна реалізувати: контроль стану вузла і якості обслуговування потоків даних; збір службової (контрольної) інформації про стан МР; управління маршрутизацією, топологією, навантаженням, радіоресурсом, тощо.

Для забезпечення здатності вузлів самоорганізовуватися в радіомережу та функціонувати в умовах невизначеності в [5] запропоноване застосування технологій обробки знань для інтелектуалізації процесів управління ресурсами МР, а також представлена узагальнена модель інтелектуальної системи управління (ІСУ) вузлом МР (рис. 1).

Головна відмінність ІСУ від СУ, побудованих за „традиційною” схемою, полягає в підключенні механізмів зберігання та обробки знань про ситуацію, яка склалася в радіомережі, з метою забезпечення заданої якості обслуговування різних типів трафіка.

В [6 – 8] запропонована низка „інтелектуальних” методів управління ресурсами МР, використання яких передбачається в різних функціональних підсистемах вузлової СУ.

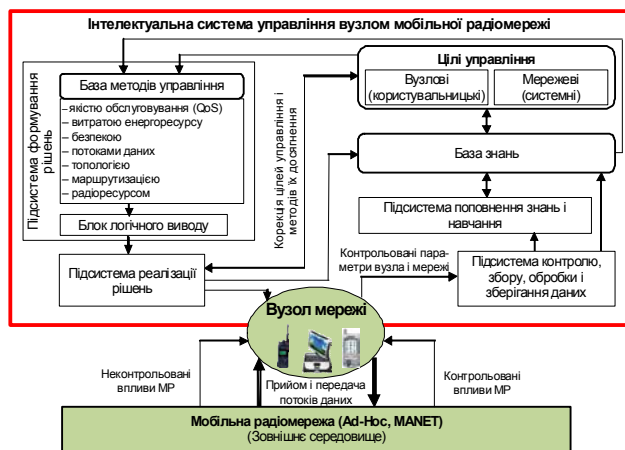


Рис. 1. Узагальнена модель інтелектуальної системи управління вузлом МР

Отже, як видно із вищезазначеного, сьогодні спроби створення СУ вузлами МР з динамічною топологією, носять фрагментарний характер. Задачі розробки методів управління ресурсами МР вирішуються відокремлено для кожної підсистеми вузлової СУ та на різних рівнях еталонної моделі OSI, а

відсутність понятійного апарату „інтелектуалізації” управління – тільки ускладнює цей процес. Тому, актуальною є наукова проблема, пов'язана з розробкою методології синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних МР з динамічною топологією (далі методологія).

**Метою статті** є визначення об'єкту та предмету наукового дослідження, а також сукупності засобів та послідовності дій, необхідних для вирішення зазначеної наукової проблеми.

### Основна частина

Відповідно до загального визначення методології наукових досліджень [9], розкриємо зміст складових запропонованої методології синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних МР з динамічною топологією.

#### 1. Об'єкт та предмет наукового дослідження

За етапами задачі управління класичними радіомережами діляться на задачі планування, розгортання і оперативного управління [4]. На відміну від задач планування та розгортання, які в більшості випадків реалізуються організаційними способами, задачі оперативного управління вирішуються змішаним способом (централізовано/ децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово повторюються.

На відміну від класичних радіомереж, створення МР не потребує етапу планування, а етап розгортання МР здійснюється в режимі самоорганізації, тому в ході дослідження доцільно зупинитися на етапі оперативного управління, під час якого за прийнятими критеріями ефективності постійно оцінюється стан МР, і приймаються заходи (відповідно до визначеної мети управління та реальної обстановки) з утримання показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх оптимізація.

Таким чином, в ході розробки методології об'єктом дослідження є процеси оперативного управління вузлами МР з динамічною топологією. Відповідно, предметом дослідження є методи та методики оперативного управління вузловими та мережевими ресурсами в МР, як складова програмного (математичного) забезпечення вузлової СУ.

#### 2. Математичний апарат для створення інтелектуальних СУ (для забезпечення здатності СУ функціонувати в умовах невизначеності)

Насамперед наведемо деякі доводи на користь того, що ІСУ повинні стати найважливішою складовою частиною вузла МР:

– по-перше, головною проблемою при управлінні мережею MANET є необхідність вибору з безлічі можливих управлінських рішень в залежності від ситуації, яка склалася в мережі, а також вимог до

передачі певного типу трафіка;

– по-друге, управління мережею вимагає обробки великого обсягу різномірної службової інформації про її стан, що використовується методами управління різних рівнів моделі OSI для прийняття відповідних рішень. Проблема одержання інформації з об'єктів (вузлів мережі), що функціонують у реальному масштабі часу, на сьогоднішній день вирішена (використання різних способів зондування мережі). Але це породило іншу проблему: як зменшити об'єм службової інформації до рівня, який дійсно необхідний для ухвалення рішення системою управління? У той же час слід зазначити, що втрата службової інформації, яка надходить від вузлів мережі, що працюють у реальному масштабі часу, може істотно позначитися на кінцевому рішенні, прийнятому системою управління;

– по-третє, нестача часу на прийняття рішень і проблема координації взаємодії методів управління, що виконують різні функції (потоками даних, управління маршрутизацією, топологією, енергоспоживанням, безпекою та ін.).

У зв'язку з цим, забезпечення здатності МР до самоорганізації, а також адаптації її елементів до різних умов функціонування вимагає розробки нових методів управління ресурсами МР із залученням технологій обробки знань. Проблеми обробки та використання знань, як ефективного засобу аналізу погано формалізованих задач при апріорній неповноті та нечіткості вихідних даних були і залишаються головним предметом вивчення в теорії штучного інтелекту [10].

Як показав проведений аналіз, найбільш перспективними для створення ІСУ представляються чотири технології: експертних систем, асоціативної пам'яті, нечіткої логіки, нейронних мереж [10 – 12]. Основна ідея при цьому полягає в переході від строго формалізованих алгоритмів, які пропонують метод вирішення завдання, до логічного програмування зі вказівкою на те, що потрібно вирішувати на базі знань, накопичених фахівцями в конкретних предметних областях.

Крім того, однією з передових тенденцій в цій області є спроба інтеграції різних технологій з метою об'єднання характерних їм переваг [10 – 12]. Так, наприклад, одночасне забезпечення високої функціональної гнучкості та швидкодії може досягатися шляхом комплексного застосування нечітких нейронних мереж. З одного боку, вони дозволяють розробляти та представляти моделі систем в формі правил нечітких продукцій, які характеризуються наочністю та простотою змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж, що є більш зручним та менш трудомістким процесом для системних аналітиків.

На практиці зазначені технології можливо реалізувати у вигляді інтелектуальних агентів (ІА). ІА – програмний продукт, здатний діяти в інтересах поставленої мети і володіти наступними властивостями: активність; мобільність; кооперованість і можливість комунікації з іншими агентами; сумісна робота на досягнення загальної мети. При цьому, головною властивістю ІА є інтелектуальність – здатність до самонавчання, логічної дедукції чи конструювання моделей навколишнього середовища для знаходження оптимальних способів поведінки.

### 3. Модель внутрішньої організації ІСУ вузлом МР

Як зазначалося вище, узагальнена модель інтелектуальної системи управління вузлом МР зображена на рис. 1.

В цілому, суть методології зводиться до організації та систематизації процесу побудови інтелектуальних СУ вузлами МР, які повинні відповідати наступним вимогам  $\{B_q\}$ :

- забезпечення адаптивного і розподіленого функціонування МР з можливістю її самоорганізації;
- оптимізація характеристик мережі;
- прийняття рішень в реальному масштабі часу;
- мінімальне завантаження мережі службовою інформацією;
- автоматизація процесів управління мережею;
- забезпечення основної мети функціонування вузла – передача всіх видів інформації із заданою якістю обслуговування.

Так, кінцевою метою ІСУ окремого вузла МР може бути екстремум або виконання обмежень деякого функціонала (наприклад, максимум пропускної здатності, мінімум загальної середньої затримки повідомлень у мережі, мінімум об'єму службового трафіка) для всієї МР, або на інформаційному напрямку між відправником та одержувачем в цій МР.

Наприклад, формально задача максимізації пропускної здатності мережі  $S$  може бути записана в наступному вигляді:

$$U^*(t) = \arg \max_{U(t) \in \Omega} S(\Gamma^\xi(t), v(t), N(t), E^\delta(t), U(t)),$$

при обмеженнях  $\Omega$ , які накладаються на вибір управління

$$\Omega = \{t_n^\xi(U(t)) \leq t_{\text{н доп}}^\xi, r(U(t)) \leq r_{\text{і max}}, U(t) \in \{B_q\}, q = \overline{1, Q}\}$$

і обмеженнях на ресурси мережі

$$e_i^\delta(t) \leq e_{i \text{ max}}^\delta, v_i(t) \leq v_{i \text{ max}}, s_{ij}(t) \leq s_{ij \text{ max}}, \\ n_k(t) \leq n_{k \text{ max}}, N(t) \leq N_{\text{ max}},$$

де  $U(t) = \langle U_1(t) \rangle$  – управління, яке реалізує 1-у функцію управління;  $t_n(U(t)) = (t_n(U(t)), \dots, t_{nm}(U(t)))$  – вектор середнього часу передачі пакетів між  $m$  кореспондуючими парами абонентів;

$\Gamma^\xi(t) = \|\Gamma_{ik}^\xi(t)\| \leq \gamma_{\text{max}}^\xi$  – інтенсивність вхідних потоків  $\xi$ -типу від  $i$ -го відправника  $k$ -му адресату;  $v(t) = [0..v_{\text{max}}]$  – інтенсивність зміни топології мережі;  $\|v_i(t)\|$  – мобільність вузлів;  $E^\delta(t) = \|e_i^\delta(t)\|$  – ємність батарей вузлів;  $s_{ij}$  – пропускна здатність каналу  $(i, j)$ ;  $i, j, k \in V$ ,  $|V| = N$  – множина вузлів мережі,  $r$  – радіус передачі,  $n_k$  – загальна кількість каналів між двома вузлами.

Але в умовах децентралізованого управління і наявності протиріччя між оптимальною інформативністю управляючого об'єкта і своєчасністю управляючих впливів не можна говорити про глобальну оптимізацію [4]. Тому, необхідно здійснювати локальну оптимізацію в рамках окремого вузла (зони мережі). У зв'язку з цим основна мета управління декомпозується на дві складові: передача інформації між парою відправник-адресат  $(a-b)$  із заданою якістю при прагненні мінімізувати витрати мережевих (зонових) ресурсів на її здійснення. Тому в умовах децентралізованого управління МР кожен вузол буде реалізовувати дві взаємопов'язані групи цілей, які визначаються багатокритеріальністю управління:

– користувачські цілі  $\{C_{ki}\}, i = 1..k$ , які визначають пошук екстремуму або виконання обмежень до передачі повідомлень у межах вузла (користувачка оптимізація). Наприклад,  $C_{k1}$  – виконання вимог з оперативності або  $C_{k2}$  – мінімум часу передачі,  $C_{k3}$  – маршрут заданої пропускної здатності,  $C_{k4}$  – задана кількість незалежних маршрутів передачі та ін.;

– мережеві (зонові) цілі  $\{C_{mj}\}, j = 1..m$ , які реалізують пошук субоптимальних рішень мережі або її зони (мережева оптимізація). Наприклад,  $C_{m1}$  – мінімізація службового трафіка,  $C_{m2}$  – максимізація пропускної здатності,  $C_{m3}$  – мінімізація часу передачі повідомлень,  $C_{m4}$  – мінімізація потужностей передач вузлів та ін.

### 4. Концептуальна модель ієрархічної побудови ІСУ мобільною радіомережею

МР, як складна динамічна система, складається з низки підпорядкованих підсистем – центру управління радіомережею, мобільних базових станцій і вузлів. Очевидно, що мета функціонування вузла, як елемента нижнього рівня системи, залежить від мети функціонування радіомережі в цілому. З іншого боку, завдання, які вирішуються радіомережею, можуть коригуватися в залежності від ситуації, що склалася у вузлах (їх стану). В цілому, управління в МР засноване на тому, що кожен з елементів радіомережі вирішує деяку свою приватну задачу в умовах відносної самостійності. Рішення, які виробля-

ються усіма підсистемами будь-якого рівня ієрархії, координуються підсистемою вищого рівня, якому вони підпорядковані.

Ієрархія такого підпорядкування обумовлює необхідність декомпозиції вихідних цілей і завдань управління на рекурсивну послідовність вкладених складових, що, в свою чергу, визначає організацію системи управління МР у вигляді багаторівневої структури з вертикальними зв'язками, які відображають підпорядкованість виконуваних завдань. На нижньому рівні вирішуються завдання управління вузлом радіомережі, на верхньому – завдання управління всією радіомережею.

На рис. 2 представлена модель ієрархічної по-

будови інтелектуальної системи управління МР, яка складається з мережевого і вузлового рівнів. Управління радіомережею здійснюється шляхом реалізації множини методів управління ресурсами вузла і мережі в цілому, які перебувають у складі відповідних підсистем вузлової системи управління і відносяться до різних рівнів моделі OSI.

Враховуючи умови функціонування вузлів МР, які характеризуються невизначеністю, а також беручи до уваги те, що різними вузлами радіомережі доводиться вирішувати суміжні завдання управління, пропонується функції (методи) управління мережею реалізувати у вигляді множини ІА, котрі знаходяться в кожному вузлі МР.

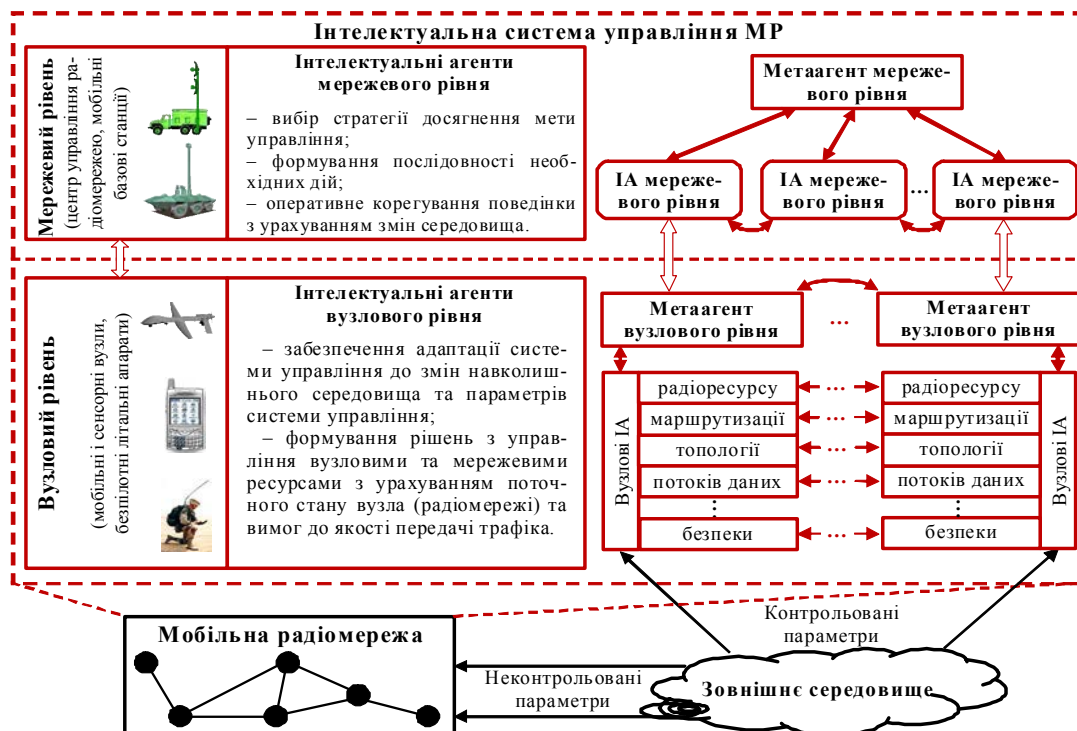


Рис. 2. Модель ієрархічної побудови інтелектуальної системи управління МР

На мережевому рівні (центр управління радіомережею, мобільні базові станції) здійснюється планування доцільної поведінки мобільних вузлів та радіомережі в цілому. Основні завдання, які вирішуються ІА на цьому рівні, полягають у виборі стратегії досягнення мети управління радіомережею (або її зоною), формуванні послідовності необхідних управляючих впливів для досягнення мережевої (зонової) оптимізації, а також оперативного коригування поведінки елементів радіомережі, виходячи з прогнозованих і планованих змін ситуації.

Координація роботи агентів мережевого рівня здійснюється метаагентом мережевого рівня (рис. 2), який відповідає за роботу ІСУ радіомережею.

На вузловому рівні (мобільні вузли, вузли-сенсори) вирішуються завдання управління окремими радіотерміналами або інформаційними напрямками з урахуванням виробленої на мережевому рівні

стратегії поведінки мобільних вузлів та радіомережі в цілому. Взаємодія з мережевим рівнем здійснюється метаагентами вузлового рівня, які, в свою чергу, визначають „поведінку” вузлових ІА, а також здійснюють координацію дій агентів різних вузлових СУ з метою забезпечення заданої якості обслуговування різних типів трафіка, що передаються в радіомережі (так звана вузлова оптимізація).

Формування управляючих рішень здійснюється з урахуванням специфіки функціонування кожного вузла (його поточного стану і технічних характеристик, вимог до якості передачі певного типу трафіка, поточного стану і динаміки зміни зовнішнього середовища). Так як крім планових змін стану MANET, існує значна початкова невизначеність, а також істотна невизначеність середовища, то ІА повинні забезпечувати адаптивне управління радіомережі. У цьому випадку адаптація виступає як засіб управління радіомережею за

відсутності її точної моделі і в таких умовах дозволяє оптимізувати характеристики МР.

Така організація взаємодії вузлів МР з використанням ІА, взаємодіючих між собою, дозволить вирішити загальну задачу управління МР розподіленим чином.

### Висновки

Таким чином, у статті показано, що забезпечення здатності МР до самоорганізації, а також адаптації її елементів до різних умов функціонування вимагає наявності ІСУ у складі кожного вузла МР.

Представлені складові методології синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних МР з динамічною топологією, які включають: об'єкт та предмет наукового дослідження; математичний апарат для створення ІСУ; модель внутрішньої організації ІСУ вузлом МР; концептуальну модель ієрархічної побудови ІСУ мобільною радіомережею.

Зазначені вище складові методології дозволили провести декомпозицію задач, які необхідно вирішити в ході оперативного управління МР, на рекурсивну послідовність складових: на нижньому (вузловому) рівні вирішуються задачі управління вузлами МР, пов'язані з їх адаптацією до різних умов функціонування; на верхньому (мережевому) – задачі планування та управління всією МР.

В ході подальших досліджень необхідно розробити методи прийняття рішення інтелектуальною системою управління МР, а також методи для координації рішень, що приймаються вузлами різних рівнів ієрархії. Для розробки зазначених методів пропонується використовувати технологію інтелектуальних агентів.

### Список літератури

1. Романюк В.А. Мобільні радіомережі (MANET) – основа побудови тактичних мереж зв'язку / В.А. Романюк // IV Науково-практичний семінар ВІПІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – К.: ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 5-18.

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

3. Котенко И.В. Теория и практика построения автоматизированных систем информационной и вычислительной поддержки процессов планирования связи на основе новых информационных технологий / И.В. Котенко. – СПб: ВАС, 1998. – 404 с.

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

5. Романюк В.А. Интеллектуальные самоорганизующиеся радиосети: сборник тезисов докладов и выступлений участников XXI Международной Крымской конференции [“СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”], (КрыМиКо) / В.А. Романюк, О.Я. Сова, П.В. Жук. – Севастополь, 2011. – С. 491-492.

6. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / [С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк]. – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН України”, 2012. – 444 с.: ил.

7. Метод підтримання діючих маршрутів на основі прогнозованого часу їх існування в радіомережах типу MANET / [В.А. Романюк, П.В. Жук, О.Я. Сова, А.І. Міночкін] // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2011. – № 3. – С. 34-43.

8. Романюк В.А. Метод віконного управління потоками даних в мобільних радіомережах військового призначення на основі системи нейро-нечіткого виводу / П.В. Жук, О.Я. Сова, О.В. Жук, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”. – 2011. – № 2. – С. 36-46.

9. Основи наукових досліджень : Навчальний посібник / В.С. Марцин, Н.Г. Міценко, О.А. Даниленко та ін. – Л.: Ромус-Поліграф, 2002. – 128 с.

10. 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.

11. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Комашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.

12. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Надійшла до редколегії 20.06. 2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Кувшинов, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «КПІ», Київ.

### МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВУЗЛАМИ ПЕРСПЕКТИВНИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОСЕТЕЙ С ДИНАМІЧЕСЬКОЮ ТОПОЛОГІЄЮ

О.Я. Сова, В.А. Романюк, П.В. Жук, Я.Л. Уманец

Представлена методология синтеза интеллектуальных систем управления узлами перспективных МР, элементы которой позволяют провести декомпозицию задач, возникающих в ходе оперативного управления МР, на рекурсивную последовательность составляющих: на нижнем уровне решаются задачи управления узлом МР, связанные с его адаптацией к различным условиям функционирования; на верхнем – задачи планирования и управления всей МР.

**Ключевые слова:** мобильная радиосеть, управляющая система, интеллектуализация, динамичная топология.

### METHODOLOGY OF INTELLECTUAL CONTROL SYSTEMS SYNTHESIS FOR PERSPECTIVE MOBILE RADIO NETWORKS WITH DYNAMIC TOPOLOGY

O.Y. Sova, V.A. Romanuk, P.V. Zhuk, Y.L. Umanets

The methodology of intellectual control systems synthesis for perspective mobile radio networks with dynamic topology is presented in the article. Components of the methodology allow realizing decomposition of mobile radio networks operative management tasks on the recursive sequence of components: tasks related to node management and its adaptation to the different operating conditions are solved at lower level; planning and mobile radio network management tasks are solved at upper level.

**Keywords:** mobile radio network, control the system, intellectualization, dynamic topology.