

ФОРМАЛЬНИЙ ОПИС МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Розглядаються компоненти математичної моделі бездротових сенсорних мереж, зокрема моделі каналу передачі, розповсюдження сигналу, комунікаційного графа та інші. Визначені механізми контролю топології в БСМ.

Ключові слова: математична модель, сенсорна мережа.

The components of mathematical model of wireless sensory networks are examined, in particular models of wireless channel, distribution of signal, of communication count et al. The mechanisms of control of topology are certain in sensor networks.

Keywords: mathematical model, sensory network.

Вступ

Складністю при визначенні моделі бездротової мережі є перш за все те, що така модель повинна бути водночас достатньо спрощеною і достатньо повноцінною. Простота дозволить проводити моделювання і виведення теоретичних результатів, а повноцінність повинна забезпечуватись для того, щоб така модель могла бути застосована на практиці. Останнім часом наукові ресурси були зосереджені на моделюванні розповсюдження сигналу у системах стільникового чи широкомовного зв'язку [1-3]. Але моделі для стільникового зв'язку не можуть бути застосовані для випадку сенсорних мереж, оскільки для перших характерне обов'язкове розміщення одного з пари вузлів (базова станція, шогла-антена) на високій відстані від поверхні землі, в той час як у випадку сенсорної мережі всі вузли можуть знаходитись на поверхні землі (наприклад, прямо в траві) чи бути прикріпленими до стін приміщення на різній висоті.

Саме тому напрямок моделювання спеціалізованих та сенсорних бездротових мереж, як і мереж персонального радіусу дії, активно розвивається і лише починають з'являтися повноцінні моделі для мереж такого класу [4-10]. Розглянуті компоненти моделей постійно вдосконалюються, з'являються все нові уточнення до них. Саме коректне створення моделі та її верифікація забезпечує вдале функціонування мережі, зменшує часові затрати на проектування та налагодження і дозволяє підвищити ефективність роботи існуючої мережі.

Основні співвідношення моделі

Для математичного моделювання бездротових сенсорних мереж (БСМ) найбільш інтенсивно використовуються два підрозділи математики: теорія графів та теорія ймовірності. Зокрема використовують теорію випадкових

геометричних графів, теорію випадкових процесів, теорію випадкових розмінь, тощо.

Розглянемо компоненти математичних моделей для спеціалізованих та сенсорних бездротових мереж.

Введемо наступні позначення:

N – множина бездротових вузлів;

d – кількість вимірів, для яких розглядаємо регіон, $d = 1, 2, 3$;

l – сторона квадратного регіону;

R – зв'язаний регіон, в якому розміщені вузли, $R = [0, l^d]$;

$L(u)$ – відображення u в R , подане у d -вимірних координатах;

T – інтервал часу реалізації (множина моментів моделювання);

t – біжучий час.

u, v – пара бездротових вузлів;

P_r та P_t – потужність прийнятого та переданого сигналів відповідно;

β – поріг чутливості;

$PL(u, v)$ – втрати при передачі (втрати на тракті).

G_t та G_r – коефіцієнти підсилення передаючої та приймальної антен відповідно

λ – довжина хвилі

L – втрати на тракті

R_b – швидкість передачі даних

D – середня довжина одного пакету даних

Завдання математичного моделювання

Модель повинна розрахувати сумарні витрати енергії на побудову мережі та побудувати комунікаційний граф фізичних та логічних сусідів.

Оцінка допустимого розміру мережі

Введемо фактор сумарної надлишковості α_A , що характеризує надлишковість, яку вносять всі рівні стеку протоколів таку, що

$$S_A = R_b \times \alpha_A, \quad (1)$$

де S_A – швидкість передачі даних, виміряна на прикладному рівні. Зазначимо, що значення α_A для сучасних протоколів має значення від 0,1 до 0,5.

Нехай пакет даних довжини D надсилається кожних T_r секунд. Тоді для одноланкової передачі маємо:

$$|N| \leq \frac{R_b \times \alpha_A \times T_r}{8 \times D}. \quad (2)$$

Для прикладу, нехай вузли-сенсори надсилають кожні 2с пакет даних довжиною 5 байт із швидкістю 56 кбіт/с; прийmemo α_A рівним 0,3.

Отримаємо максимальний допустимий розмір одноланкової мережі 840.

Для багатоланкової передачі введемо поняття h_m – середня кількість ланок для досягнення пакетом монітора, тоді:

$$N \leq \frac{R_b \times \alpha_A \times T_r}{8 \times D \times h_m}. \quad (3)$$

Тобто максимальний розмір мережі з багатоланковою передачею є обернено пропорційним до середньої кількості ланок.

Для мережі з кількома моніторами та багатоланковою передачею маємо:

$$N \leq \frac{N_s \times R_b \times \alpha_A \times T_r}{8 \times D \times h_m}, \quad (4)$$

де N_s – кількість моніторів/контролерів.

Розташування вузлів у просторі.

Функція $L: N \rightarrow R$ зв'язує кожен вузол з місцем його розташування всередині R . У випадку мобільності бездротових вузлів маємо, що функція $L: N \times T \rightarrow R$ визначає для $\forall u \in R$ та $\forall u \in T$ множину d -вимірних координат, подаючи місце розташування $\forall u \in R$ в $\forall u \in T$. Таким чином, d -вимірна бездротова спеціалізована мобільна мережа представляється парою $M_d = (N, L)$.

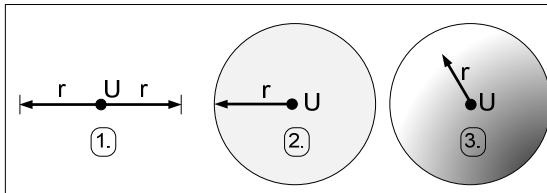


Рис.1. Области моделювання для бездротової мережі:
(1) – одновимірна область, (2) – двовимірна і (3) – тривимірна області

Призначення комунікаційного радіусу

Проблема призначення комунікаційного радіусу (Range Assignment) для множини з N вузлів у d -вимірному просторі полягає у знаходженні мінімального комунікаційного радіусу, індивідуально для кожного із вузлів мережі, при якому комунікаційний граф мережі – зв'язний та сумарна енергетична вартість утворення мережі – мінімальна.

Функція призначення комунікаційного радіусу для M_d є деяка функція RA , що призначає кожному елементу u з N значення дальності передачі $RA(u) \in (0, r_{max}]$, де r_{max} – максимальна дальність передачі вузла u . Визначення частини R , в якій дані можуть бути коректно прийняті, можливе на основі даних про $r \in (0, r_{max}]$ та кількість вимірів мережі d . Для

одновимірної мережі це сегмент довжиною $2 \times r$ з центром в u , для двовимірної мережі це круг радіусу r з центром u та у випадку тривимірної мережі (приклад: мережа підводних сенсорів, розташованих на різній глибині) – куля радіусу r з центром в точці u (рис.3.1).

Позначимо $RA(u)_{MAX}$ призначення області покриття за максимальної потужності випромінювання, такої, що $RA(u) = r_{max}$ для $\forall u \in N$. Це означає, що кожен вузол передає на максимальній потужності.

Призначення комунікаційного радіусу ϵ зв'язуючим в час t , якщо комунікаційний граф ϵ зв'язним в час t , тобто якщо існує як мінімум один орієнтований маршрут між будь-якими двома вузлами.

Призначення комунікаційного радіусу, при якому всі вузли мають однаковий радіус передачі r , $r \in (0, r_{max}]$ називають r -гомогенним або просто гомогенним, якщо значення r не є важливим. Зауважимо, що комунікаційний граф, згенерований гомогенним визначенням області покриття для кожного вузла є неорієнтованим, оскільки $(u, v) \in E_t \Leftrightarrow (v, u) \in E_t$. Тому однією з основних проблем при виборі оптимальної функції покриття є забезпечення симетричності (передачі) в комунікаційному графі.

Критичний комунікаційний радіус.

Проблема знаходження критичного радіусу передавача (CTR) є частковим випадком функції призначення комунікаційного радіусу і стосується знаходження однакового для всіх вузлів мінімального комунікаційного радіусу, при якому комунікаційний граф мережі – зв'язний.

Отже критичний радіус r_c для забезпечення зв'язності комунікаційного графа – це мінімальне значення радіусу області покриття r , $r \in (0, r_{max}]$ таке, що при r -гомогенному визначенні області покриття комунікаційний граф є зв'язним. Згідно [2] r_c в мережі $M_d = (N, L)$ відповідає найдовшому ребру Евклідового каркасу комунікаційного графа G .

На рис.2 зображені двовимірні комунікаційні графи мережі ($d=2$). Зліва показано всі можливі значення r_c . Позначено дійсне значення r_c , яке забезпечує зв'язність графа.

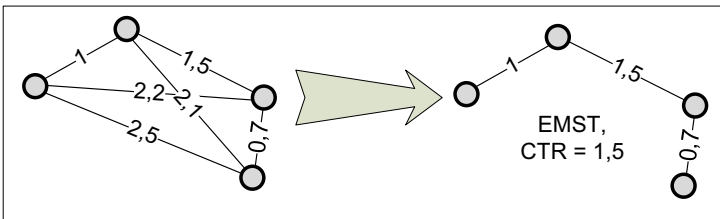


Рис.2. Комунікаційний граф та критична область покриття

В залежності від кількості вимірів, в якій працює мережа, застосовуються наступні формули, що дозволяють провести аналітичну оцінку критичного радіусу:

Густонаселена двовимірна мережа:

$$CTR = l \times \frac{\sqrt{\ln(N) + f(N)}}{\pi \times N} \quad (1)$$

де l – сторона квадратного регіону, N – множина бездротових вузлів, $f(N)$ – деяка зростаюча функція, така, що $\lim_{N \rightarrow \infty} f(N) = +\infty$. Тут приймаємо

$$f(N) = \ln \ln N.$$

Густонаселена одновимірна мережа:

$$CTR_{dense1D} = l \times \frac{\ln(N)}{N}$$

Густонаселена тривимірна мережа:

$$CTR_{dense3D} = l \times \sqrt[3]{\frac{\ln(N) - \ln \ln(N)}{\pi \times N} + \frac{3}{2} + \frac{1,41 + g(N)}{\pi \times N}}$$

$g(N)$ – деяка зростаюча функція, така, що $\lim_{N \rightarrow \infty} g(N) = +\infty$.

Найпростішим способом визначення критичного радіусу передачі є знаходження найдовшого ребра комунікаційного графу між двома найближчими сусідніми вузлами. Проте такий спосіб не гарантує зв'язності комунікаційного графа, оскільки в такому випадку існує висока ймовірність появи відокремлених сегментів мережі і комунікаційний граф втрачає зв'язність.

Таким чином, при виборі ребра графу, на основі довжини якого буде зроблено висновок про критичний радіус передачі, перш за все треба враховувати вимогу зв'язності комунікаційного графа. Для цього звичайно використовують алгоритм EMST (Euclidean Minimal Spanning Tree), що вимагає наявності глобальної інформації про розташування вузлів мережі. Розповсюдження такої інформації є явно нераціональним у випадку БСМ. Для розподіленої системи (якою є БСМ) передача глобального (з точки зору всієї мережі) знання є надлишковим і вимагає великої кількості повідомлень, що, в свою чергу, веде за собою втрати по живленню. Останнє відбивається на такому параметрі як час життя мережі.

Спосіб передачі.

З точки зору енергоспоживання доцільніше використовувати багатоланкову передачу повідомлень на короткі відстані, ніж намагатись передати повідомлення без його ретрансляції. Багатоланкова передача інформації дозволяє також збільшити ємність мережі, тобто кількість одночасно працюючих в ній пристроїв, оскільки передача повідомлень на велику відстань створює завади для вузлів, що знаходяться в зоні покриття,

що веде за собою повторну передачу повідомлень або ж взагалі унеможливує роботу в зоні такого сильного випромінювача.

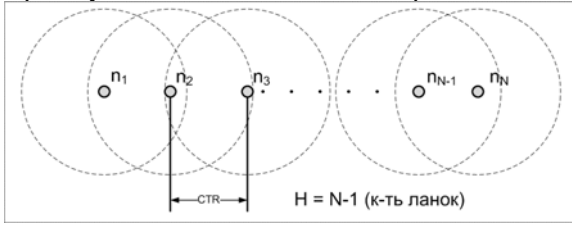


Рис.3.Багатоланкова передача

$$\frac{P_{TX}^{\text{одноланкова}}}{P_{TX}^{\text{багатоланкова}}} = \frac{P_{RX} (H \times CTR) \times CTR^2 \times H^2}{P_{RX} (CTR) \times CTR^2 \times H} = H \quad (7)$$

Як бачимо, виграш багатоланкової передачі становить H разів порівняно з одно ланковою без ретрансляції. Ця цифра може бути зменшена, оскільки не береться до уваги споживання під час прийому а також можливі колізії при передачі.

Комунікаційний граф.

Комунікаційний граф визначає топологію мережі, а саме, множину бездротових зв'язків, які вузли зможуть використовувати для комунікації. Маючи мережу $M_d = (N, L)$ та функцію RA введемо поняття комунікаційного графа, виведеного функцією RA на M_d в момент часу t . Це орієнтований граф $G_t = (N, E(t))$, де напрямлене ребро $[u, v]$, що належить множині ребер $E(t)$, існує тоді і тільки тоді коли $RA(u) \geq \delta(L(u, t), L(v, t))$, де $\delta(L(u, t), L(v, t))$ – Евклідова відстань між u та v в час t . Іншими словами зв'язок між u та v можливий тоді і тільки тоді, коли відстань між вузлами щонайбільше $RA(u)$ в момент часу t . У випадку існування ребра $[u, v]$, v є сусідом першої ланки для u . Бездротове з'єднання вважається симетричним, якщо $(u, v) \in E_t$ та $(v, u) \in E_t$. В цьому випадку u та v є симетричними сусідами. Комунікаційний граф при $RA(u) = RA(u)_{MAX}$ назвемо графом максимальної потужності. Такий граф відображає всі можливі зв'язки між вузлами у мережі.

Сусідство вузлів

Множину вхідних сусідніх вузлів визначимо як:

$$N_i(u) = \{v \in N : (v, u) \in E\}$$

Множина вихідних сусідніх вузлів визначимо як:

$$N_o(u) = \{v \in N : (u, v) \in E\}$$

Множина симетричних сусідніх вузлів:

$$N_s(u) = N_i(u) \cap N_o(u) = \{v \in N : (v, u) \in E, (u, v) \in E\}$$

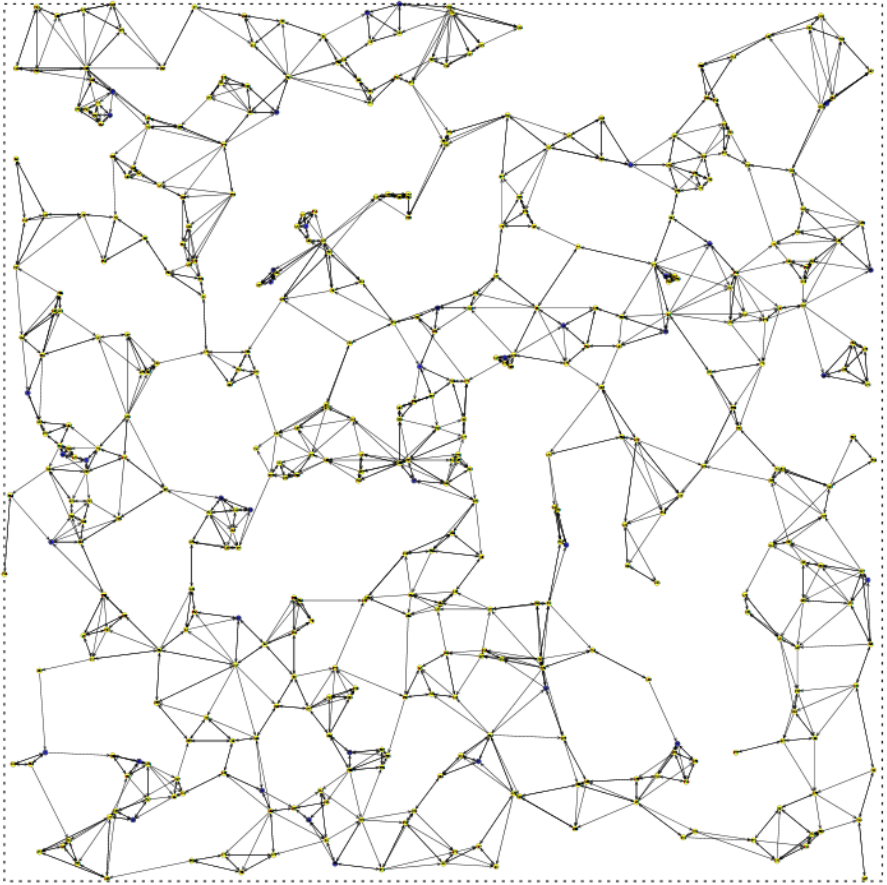


Рис.4.Приклад комунікаційного графа бездротової мережі для випадку $|N| = 1000$, відокремлені області відсутні

Бездротовий канал

Пряме бездротове з'єднання існує якщо і тільки якщо $P_r \geq \beta$. Значення β залежить від багатьох факторів, зокрема від параметрів прийомопередавача а також від швидкості передачі даних. Чим вища швидкість передачі даних, тим вище значення β :

$$P_r = \frac{P_t}{PL(u, v)} > \beta.$$

Наявність бездротового каналу між u та v може бути передбачена, якщо відомі $PL(u, v)$. Моделювання втрат на тракті є найбільш складним завданням. Механізми регулювання розповсюдження сигналу можуть бути поділені на три категорії: відбиття, дифракція та розсіювання.

Розповсюдження сигналу та втрати на тракті.

Втрати на тракті моделюються відповідно до розповсюдження сигналу. Існує декілька моделей розповсюдження сигналу.

Пряма видимість.

Ця модель є найпростішою і використовується коли між передавачем та приймачем немає жодних перешкод. Отже:

$$P_r(d) = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times d^2 \times L}, \quad (9)$$

або приймаючи

$$\frac{G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times L} = C_f, \quad (10)$$

маємо:

$$P_r(d) = C_f \times \frac{P_t}{d^2}. \quad (11)$$

З останньої рівності бачимо, що область покриття в моделі розповсюдження на прямій видимості є коло радіусу:

$$d = \sqrt{C_f \times P_t}. \quad (12)$$

Розповсюдження сигналу. Двопроменева модель.

Приймаємо h_t і h_r висоти від поверхні землі антен приймача та передавача. У двопроменевої моделі сигнал розповсюджується двома шляхами – прямим та відбитим від землі променем

Тоді, припускаючи, що $d = \sqrt{h_t \times h_r}$, маємо:

$$P_r(d) = C_f \times \frac{P_t}{d^4}. \quad (13)$$

Розповсюдження сигналу. Модель з логарифмічною залежністю від відстані (модель для неоднорідного або анізотропного середовища).

Розглянемо модель для неоднорідного середовища. З наведеного вище можна побачити, що радіус області покриття $r \propto \sqrt[4]{P_t}$. Значення α визначене експериментально для середовищ різного типу, деякі часткові випадки наведені в табл.1.

Таблиця 1

Значення α для середовищ різного типу

Середовище	Значення α
Відкритий простір	2
Місто	2,7 – 3,5
Всередині приміщення, пряма видимість	1,6 – 1,8
Всередині приміщення, пряма видимість відсутня	4 – 6

Така модель передбачає лише середнє значення прийнятої потужності, що може досить істотно відрізнитись від пікових значень. Тому для передбачення мінливості бездротового каналу застосовуються так звані імовірнісні моделі розповсюдження. Їх ділять на 2 класи: крупномасштабні (велика дальність) та маломасштабні (мала дальність). Останні також називають моделями багатопроменевого завмирання сигналу або просто завмирання. Важливою серед крупномасштабних є модель з логарифмічно-нормальним затіненням, де втрати на тракті моделюються змінною з випадковим значенням, що має логарифмічно-нормальний розподіл в околі $\frac{P_t}{d^\alpha}$. Найбільш важливою моделлю завмирання сигналу є модель Релея.

Існують також моделі для ультраширококутного зв'язку, вузькокутного зв'язку, також у неліцензованому діапазоні частот для виробництва, науки та медицини (ISM, Industrial, Scientific and Medical band), де для втрат на тракті часто застосовують модель контрольних точок:

$$L(d) = \begin{cases} 40.2 + 20 \times \log(d) & d \leq 8m \\ 58.3 + 33 \times \log(d/8) & d > 8m \end{cases}$$

Для мереж, що призначені для використання всередині приміщення існує модель втрат на тракті з урахуванням стін та перекриттів, для мереж, що працюють на відкритій території, а також в лісі, досліджений ефект втрат у листі.

Модель енергоспоживання.

Нехай α – ступінь втрат на тракті. Маючи деяке визначення області покриття RA для мережі $M_d = (N, L)$, можемо сказати, що затрати енергії c на забезпечення RA визначаються як:

$$c(RA) = \sum_{u \in N} RA(u)^\alpha. \quad (14)$$

Моделі мобільності.

Більшість моделей мобільності передбачають рух без перешкод.

Модель випадкових координат (RWP – Random Waypoint model) – вузол обирає випадковим чином деяку точку і рухається до неї по прямій. Коли мобільний вузол досягає точки призначення, він витримує деяку паузу, потім обирає координати нової точки призначення і продовжує рух.

Модель випадкового напрямку (RDM – Random direction model) – вузол випадковим чином обирає напрям та швидкість руху. Після того як вузол досягає границь області розповсюдження R є декілька варіантів подальших дій:

- обрати новий напрям і швидкість і продовжити рух до границі R;
- «відбитись» від границі R і продовжити рух;

- модифікація: вузол рухається в обраному напрямку деякий випадковий час t , а потім змінює напрям та швидкість руху.

Модель з Броунівським рухом – в такому варіанті застосовується рух по кроках, що обираються випадковим чином, причому параметри кожного наступного кроку залежать від попереднього. Прикладом моделі Броунівського руху є модель з використанням трьох параметрів:

P_{stat} – імовірність того, що рух відсутній на протязі всього часу;

P_{move} – імовірність того, що вузол рухатиметься протягом поточного часового інтервалу;

m – моделіює швидкість вузла в даний інтервал часу.

Якщо вузол рухається під час деякого інтервалу часу i , то його позиція в момент часу $i+1$ визначається випадковим чином у квадраті зі стороною $2 \times m$ з центром в поточній позиції вузла.

Модель з урахуванням географії – в цьому випадку вузли рухаються вздовж раніше визначених шляхів. Попередньо випадковим чином вузли розміщуються на таких шляхах і розпочинають рух за визначеною схемою. На перехрестях шляхів (якщо такі присутні) вузли випадковим чином обирають напрям і швидкість подальшого руху.

Модель з мобільністю груп. З усієї множини вузлів N обирається деяка підмножина лідерів $N_l \subset N$, причому $|N_l| \ll |N|$. Всі інші вузли випадковим чином обирають собі лідера і рухаються за ним. Лідер може використовувати одну з вищенаведених моделей.

Критерії оцінки ефективності методів контролю топології

Одним варіантів оцінки ефективності методів контролю топології є оцінка властивостей результуючого комунікаційного графа та деяких параметрів мережі. Наступні властивості є ключовими в оцінці ефективності досліджуваного методу побудови:

- Мінімальна, максимальна та середня степінь вузла мережі;
- Найдовша відстань до найближчого сусіднього вузла;
- Довжина найкоротшого шляху, що з'єднує всі вузли мережі;
- Загальна довжина ребер комунікаційного графа;
- Кількість з'єднаних вузлів;
- Критичне число сусідніх вузлів;
- Довжина найдовшого ребра комунікаційного графа;

Введено поняття енергетичної вартості встановлення K -зв'язності для одного вузла мережі:

$$E_u = \sum_{i=1}^{p_{\max}} P_i(i) \times C_f \times c_T \times t_i + E_r \times t_r,$$

де p_{\max} - кількість повторів надсилання даних, $P_i(i)$ - потужність передавача

в даній ітерації, $C_f = \frac{G_t \times G_r \times \lambda^2}{(4\pi)^2 \times L}$, де G_t та G_r – коефіцієнти підсилення

передаючої та приймальної антен відповідно, λ – довжина хвилі, L – втрати на тракті, $E_r \times t_r$ - втрати енергії під час перебування в режимі прийому, c_T - енергетична вартість кванта потужності при передачі, t_i - час роботи передавача при передачі пакету.

$P_i(i)$ щоразу збільшуємо аж поки умова $RA(u) \in (r_{\min}, r_{\max}]$ або бажаної фізичної зв'язності K . При цьому приймаємо для дослідження критичного радіусу $r_{\min} = 0,5 \times CTR$, $r_{\max} = 2 \times CTR$. Звідси $E = E_u \times (|N| - |N_M|)$, де N_M - множина моніторів.

Висновки

Для дослідження методів побудови та контролю топології у мережах великого розміру, та їх реалізації у контролері бездротового інтерфейсу, розроблено симулятор дискретних подій БСМ. Розроблений симулятор передбачає можливість функціонального розширення, опис нових на запропонованих моделях та зміну рівня деталізації моделювання, опис розподілених алгоритмів для негомогенних пристроїв, та дозволяє досліджувати довільні характеристики мережі або окремих вузлів в реальному часі.

Проведені дослідження існуючих методів побудови БСМ дозволили встановити способи їх покращення та створили підґрунтя для розробки нових методів побудови. Це дало підставу розробити метод побудови БСМ, що завдяки застосуванню попередньо обчисленого критичного радіусу та перевірки досяжності шлюзу дозволяє на 20% знизити сумарне енергоспоживання в мережі та на 40% знизити сумарну потужність випромінювання для мереж з цільовою зв'язністю вузла >5 та кількістю вузлів >100 у порівнянні з відомим методом K-NEIGH, що збільшує живучість та час життя мережі.

1. Handbook of sensor networks : algorithms and architectures / edited by Ivan Stojmenovic. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005 – 553 с.
2. Wireless Networks / [Georgios I. Papadimitriou, Andreas S. Pomportsis, P. Nicosopolitidis, Mohammed S. Obaidar]. – England: John Wiley & Sons Ltd, 2003. – 405 с.
3. Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analysis and Design / [Roberto Verdone, Davide Dardari, Gianluca Mazzini, Andrea Conti] . – NY, USA: Academic Press, 2008 – 364 с.
4. Santi, Paolo. Topology control in wireless ad hoc and sensor networks 2006/ Paolo Santi. p. cm. Includes bibliographical references and index.1. Wireless communication systems. 2. Wireless LANs. 3. Sensor networks.
5. Rappaport , T. S. (1996). Wireless Communications, 1st edn. Upper Saddle River, NJ:Prentice Hall .
6. Roberto Verdone, Davide Dardari, Gianluca Mazzini, Andrea Conti. Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analysis and Design 2008
7. Зеляновський М.Ю. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу / М.Ю.Зеляновський, О.В.Тимченко // Моделювання та

інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.50. – К.: 2009. – С. 192-200.

8. *Тимченко О.В.* Дослідження особливостей функціонування сенсорних мереж / *О.В.Тимченко, М.Ю. Зеляновський* // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.58. – К.: 2010. – С. 172-180.

9. *Тимченко О.В.* Принципи побудови бездротових сенсорних мереж для контролю виробничих умов / *О.В.Тимченко, М.Ю. Зеляновський* // Комп'ютерні технології друкарства. Зб. наук. пр. – Вип. 24. – Львів: УАД. – 2010. – 282 с. – С.145-154.

10. *Зеляновський М.Ю.* Методи самоорганізації у спеціалізованих та сенсорних мережах бездротового доступу // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.50. – К.: 2009. – С. 182-186.

Поступила 21.01.2011р.

УДК 621.3

Л.С. Сікора, д.т.н., НУ «Львівська політехніка» м. Львів.

СИСТЕМНІ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТА КОГНІТИВНІ КОМПОНЕНТИ ВИНИКНЕННЯ РИЗИКОВАНИХ ТА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ В ІЄРАРХІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРИ КРИЗОВОМУ УПРАВЛІННІ (ЧАСТИНА 1)

Анотація. Розглянуто системні, інформаційні, когнітивні компоненти помилкових управлінських рішень, які приводять до екстремальних ситуацій у виробничих системах з ієрархічною структурою з різними рівнями складності. Сформульовано вимоги до персоналу.

Аннотация. Рассмотрены системные, информационные, когнитивные компоненты ошибочных решений, которые приводят к аварийным последствиям. Сформулированы требования к уровню профессиональной подготовки персонала.

Annotation. Reviewed systemic, informational and cognitive components of wrong decisions which lead to emergency consequences. The requirements to the level of staff training are formulated.

Ключові слова. Система, людина, ризик, когнітивні здібності, психологічна та інтелектуальна стійкість, моделі ситуацій.

Ключевые слова. Система, человек, риск, когнитивные способности, психологическая и интеллектуальная стойкость, модели ситуаций.

Key words. System, person, risk, cognitive ability, psychological and intellectual resistance model situations.