

## МОДЕЛЮВАННЯ ГЕТЕРОГЕННИХ М2М МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

*У статті приведені дані результатів дослідження з розробки нових методів автоматичного розрахунку параметрів мереж для промислових об'єктів на відкритих місцевостях, а також отримані моделі для розрахунку довжини інформаційних каналів всередині приміщень, що дозволяє застосовувати розрахунки параметрів мереж для закритих приміщень. Результати роботи можуть бути застосовані при комп'ютерному моделюванні для графічного представлення результатів обчислень.*

**Ключові слова:** гетерогенні мережі, бездротові технології, ZigBee.

*В статье приведены данные результатов исследования по разработке новых методов автоматического расчета параметров сетей для промышленных объектов на открытых местностях, а также получены модели для расчета длины информационных каналов внутри помещений, что позволяет применять расчеты параметров сетей для закрытых помещений. Результаты работы могут быть применены при компьютерном моделировании для графического представления результатов расчета.*

**Ключевые слова:** гетерогенные сети, беспроводные технологии, ZigBee.

*In article the data of results research on working out new methods of automatic calculation parameters of networks for industrial targets on open districts is cited, and also models for calculation of length information channels in premises that allows to apply calculations of parameters networks to the closed premises are received. Results of work can be applied at computer modelling to graphic representation results of calculation.*

**Key words:** heterogeneous computer networks, wireless technologies, ZigBee.

### АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Останнім часом усе частіше для побудови мереж передачі інформації використовують бездротові технології. Проте в порівнянні з офісними мережами частка їх використання на промислових об'єктах ще дуже мала. Зв'язано це з невідповідністю протоколів передачі даних у бездротових і промислових мережах, відсутністю протоколів бездротової передачі даних, які б у повній мірі відповідали високим вимогам промисловості. Для використання бездротових технологій на виробничих об'єктах обов'язкове виконання додаткових умов: високий ступінь захисту інформації, що передається, перешкодозахищеність від електромагнітних випромінювань, потреба передачі даних у реальному часі, дублювання і резервування каналів зв'язку. Тому роботи з впровадження нових бездротових технологій на промислових об'єктах, тобто у мережах М2М (machine-to-mobile, machine-to-machine) є актуальним завданням.

Перспективним є використання мереж із суміщенням різної природи передачі даних – дротових і бездротових з'єднань. Таке рішення дозволяє значно скоротити довжину дорогих аналогових кабельних з'єднань, відмовитися від використання кабельних каналів, проводити гнучке налагодження мережі, при правильній конфігурації мережі отримати можливість передбачення резервних каналів передачі даних без додаткових фінансових затрат. Крім того, побудова мережі з використанням засобів лише бездротового зв'язку має свої мінуси: не всі технології підтримують потрібне число абонентів мережі, невисока захищеність від електромагнітних перешкод. За результатами проведених досліджень [1; 2] за основну технологію на рівні датчиків і виконавчих механізмів найбільш відповідною є безпроводна технологія передачі даних стандарту IEEE802.15.4/ZigBee.

При моделюванні мереж найчастіше використовують теорію графів. Проте, як правило, при цьому розглядаються мережі з однотипними мережевими пристроями та однорідним середовищем передачі даних. У деяких роботах [3; 4] проводилося моделювання змішаних мереж, але мережі будувалися тільки для відкритих місцевостей, що не зовсім відповідає випадку побудови мереж для промислових об'єктів.

**Метою роботи** є розробка нових методів автоматичного розрахунку параметрів мереж для промислових об'єктів зовні та усередині приміщень з можливістю візуального представлення результатів обчислень при комп'ютерному моделюванні.

### **ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ**

Кожне сучасне промислове підприємство не обходиться без мережі збору даних і управління та має централізоване управління. При цьому передбачається багаторівнева архітектура промислової мережі. Важливий аргумент при виборі технології передачі даних – можливість устаткування підтримки роботи на різних мережних рівнях системи СІМ і конфігурування у пристрої різних мережних класів, виконувати різні функції.

Завданням роботи стояла розробка радіомережі збору даних, яка фізично складається з деякого числа радіосенсорів з автономним живленням з підключеними до них кабельним шляхом зовнішніми датчиками і одного центрального модуля. Радіосенсори періодично висилають пакети даних, які приймаються центральним модулем. Центральний модуль підключений до сервера і може видавати управляючі сигнали на зовнішні виконавчі пристрої відповідно до сигналів від сенсорів або передавати накопичену з радіосенсорів інформацію дротовим або бездротовим шляхом на інші комп'ютери локальної мережі або до мережі Internet.

Основний напрям, для якого розробляється дана система, – машинобудівні комплекси, для яких вже недостатньо потужності кабельних з'єднань, таких, як Modbus, Profibus, Interbus, Bitbus, CAN, LON, Foundation Fieldbus. З іншого боку, ця система може бути застосована для множинного доступу з різних точок до одного виконавчого пристрою.

Часові характеристики, низька вартість і надійність – основні вимоги для кожної мережі. Вибір топології мережі також важливий, як і вибір технології передачі даних. Працюючи в одноранговій мережі, пристрої створюють багато колізій, для усунення яких потрібні додаткові мережні пристрої, а значить і фінансові витрати. Рішенням даної задачі для крупних мереж буде використання гетерогенних, а для малих – гомогенних мереж [5].

Але установка на всі пристрої безпроводних засобів зв'язку веде до автоматичного подорожчання всього комплексу. Економічно вигідно використовувати мережі з використанням декількох топологій побудови мережі і різними фізичними середовищами для передачі даних. Дана необхідність призвела до розробки алгоритму автоматичної побудови подібної мережі.

Для вирішення даної задачі потрібно знайти координати радіосенсорів, датчиків, розрахувати оптимальний порядок та тип з'єднань у мережі, визначення типу обладнання в даній точці. Розв'язком даної задачі може бути функція

$$g_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^m X_{ij} > 0, \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^m X_{ij} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Потрібно знайти такий  $X$ , що мінімізує  $\min \sum_{j=1}^n g_j$  при обмеженнях:  $\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1; \forall i$ , яке

означає, що кожен клієнт повинен бути з'єднаний зі станцією,  $\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq b_j; \forall j$ , що обмежує

кількість клієнтів, які обслуговуються однією станцією,  $d(j,i)X_{ij} \leq D_i; \forall(j,i)$ , що обмежує відстань від клієнта до станції, з якою він з'єднаний.

Тут  $I = \{1, \dots, m\}$  – множина клієнтів,  $J = \{1, \dots, n\}$  – множина потенційних точок розміщення станцій,  $b_j \in N$  – максимальна кількість клієнтів, що може обслуговувати станція у точці  $j$ ,  $D_i \geq 0$  – радіус покриття клієнта  $i$ ,  $d(j, i) \geq 0$  – відстань між станцією та клієнтом.  $X_{ij} = 1$ , якщо вирішено відкрити станцію у точці  $j$  та під'єднати до неї клієнта  $i$ .  $X_{ij} = 0$ , якщо вирішено не з'єднувати клієнта  $i$  та станцію  $j$  [6, 7].

Приведений алгоритм оптимально придатний для мереж на відкритих місцевостях, за відсутності перешкод. Для розрахунку мережі в закритих приміщеннях (склад, виробничий цех, житловий сектор) потрібно ввести поправку на загасання сигналу залежно від його шляху та спотворень (віддзеркалення від поверхонь, дифракцій, інтерференцій тощо).

Для визначення оптимальних місць розташування приймально-передаючих модулів з врахуванням загасання сигналу в приміщенні використовують кілька моделей: статистичні, емпіричні та променеві [8]. На думку авторів [9; 10], у даному випадку найкраще використовувати променеві моделі.

На канал зв'язку, окрім геометричних параметрів будівлі, суттєво впливає розміщення багатьох віддзеркалювальних поверхонь: стель, стін, технологічних обладнань, людей тощо, деякі з яких можуть змінювати своє розташування або рухатися. При передачі інформації у приміщенні необхідно розглядати багатоканальну модель передачі даних, яка утворюється каналом прямої передачі даних та багато чисельними віддзеркаленнями від поверхонь із врахуванням типу цих поверхонь. Загальний вираз потужності сигналу для такої моделі для передачі даних із застосування технології ZigBee буде мати вигляд (з урахуванням тільки прямих та віддзеркалених сигналів [9]):

$$P(d) = P(d_0)d_0^2 \sum_{i=1}^L \frac{\prod_{j=1}^K \frac{\sin(\theta_j) - \sqrt{\varepsilon_j - \cos(\theta_j)^2} / \varepsilon_p}{\sin(\theta_j) + \sqrt{\varepsilon_j - \cos(\theta_j)^2} / \varepsilon_p}}{d_i} \times e^{-j16\pi d_i} \quad (2)$$

де  $d$  – відстань між передавачами;  $d_0$  – будь-яка стандартна відстань із зміряним рівнем потужності  $P(d_0)$ ;  $i$  – номер каналу з довжиною  $d_i$ , по якому відбувається передача інформації;  $K$  – кількість віддзеркалень на  $j$ -му шляху;  $L$  – кількість каналів, які утворюються  $j$ -ми віддзеркаленнями від поверхонь з діелектричною проникністю поверхні  $\varepsilon_j$ ;  $\theta$  – кут падіння променя;  $\varepsilon_p$  – коефіцієнт, який залежить від типу поляризації сигналу [11].

Деякі з результатів моделювання на прикладі п'яти і шести каналної моделі приведені на рис. 1. У розрахунках розглядалося розміщення передавачів біля стін на висоті 1-1,5 м, при зміщенні одного з модулів уздовж стіни (зміна параметру  $a_1$ ) в пустій кімнаті.

Із збільшенням кількості каналів у моделі зростає точність й складність розрахунків. Для недопущення перевантажень у розрахунках доцільно вибрати оптимальну кількість каналів у моделі. Для цього в роботі запропоновано використовувати міру середньоквадратичних відстаней між функціями. Дослідження цієї функції показали, що використовувати моделі з кількістю інформаційних каналів більше п'яти-шести недоцільно, оскільки це призводить до незначних змін інтерференційних картин.

З рис. 1 видно, що будь-які зміни в розташуванні перетворювачів призводять до зменшення рівнів сигналів на кілька десятків дБ. Проте при чутливості ZigBee модулів на рівні -90 – -110 дБ у рамках однієї кімнати такий вплив не є перешкодою для передачі інформації [10]. Отримані залежності дозволяють визначити точне значення довжини каналу передачі інформації всередині приміщення [9].

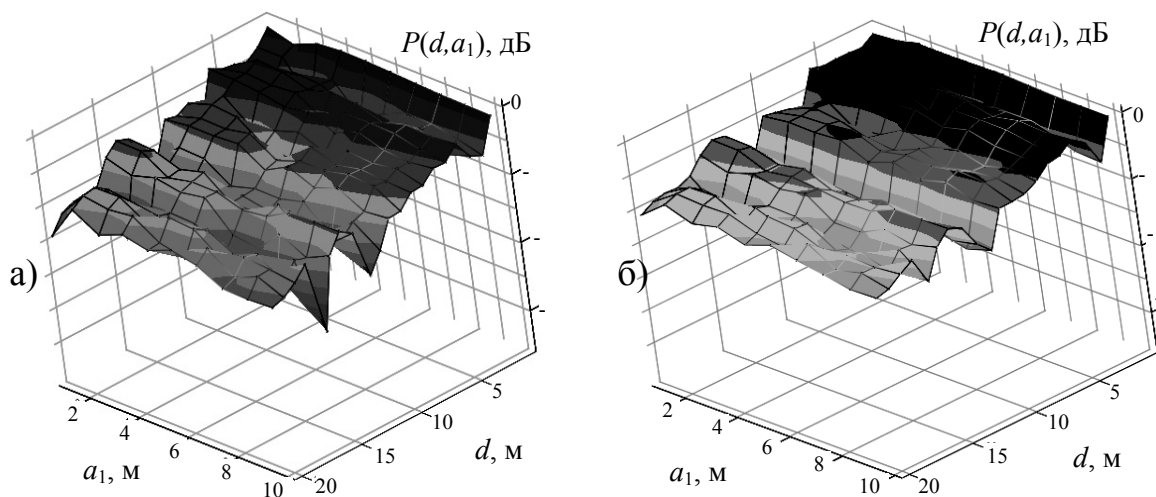


Рис. 1. Залежність потужності сигналу від відстані між передавачами ( $d$ ) та відстані до однієї із стін ( $a_1$ ): а – для п'яти каналної моделі; б – для шестиканальної моделі

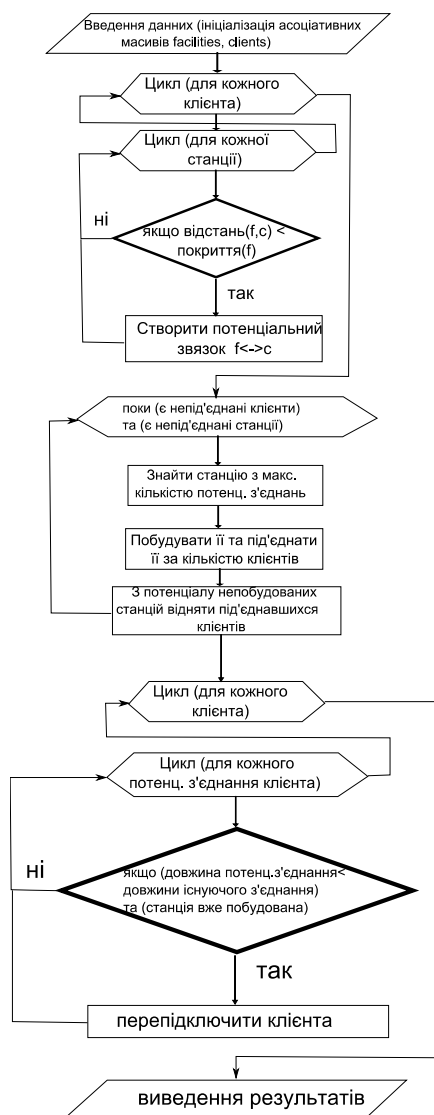


Рис. 2. Блок-схема роботи алгоритму автоматичної побудови гетерогенної мережі з різномірними фізичними середовищами передачі даних

Отримані результати дозволили сформувати алгоритм для автоматичної побудови гетерогенної мережі з різномірним фізичним середовищем для відкритих та закритих середовищ передачі інформації (рис. 2). Якщо обрахунки проводяться для відкритого простору, то у виділеному блоці ведеться перевірка з врахуванням лише евклідової відстані. В разі розрахунків для закритих приміщень – у даному блоці також здійснюється перевірка по потужності за формулою 2 для кожної з приєднаних станцій.

### **ВИСНОВКИ**

Таким чином, у роботі розроблені нові методи автоматичного розрахунку параметрів мереж для промислових об'єктів на відкритих місцевостях. Крім того, отримані моделі для розрахунку довжини інформаційних каналів усередині приміщень дозволяють застосовувати алгоритм розрахунку параметрів мереж для закритих приміщень. Результати роботи можуть бути застосовані при комп'ютерному моделюванні для графічного представлення результатів обрахунків.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Musienko M.P., Diduk V.A., Kutsenko S.V. Building M2M networks on the ZigBee technology [Текст]: «Вісник Черкаського державного технологічного університету». – 2009. – Спецвипуск. – Черкаси. – С. 147-149.
2. Анализ критериев использования и возможностей применения беспроводных технологий на промышленных объектах [Текст]: Праці VIII-ї НТК «Приладобудування-2009: стан і перспективи». – Київ, 2009. – С. 82
3. Мочалов В.А., Е.Н. Турута: Интеллектуальная САПР сенсорных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itfru.ru/index.php/intellectual-cad-of-sensor-networks>.
4. Мусієнко М.П., Дідук В.А., Казмирчук П.П. Моделирование архитектуры гетерогенных сетей для открытых местностей [Текст]: IV Міжнародна науково-практична конференція «Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології», 2010.
5. Дмитриев В. Технология передачи данных Zigbee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kite.ru/articles/wireless/2004\\_1\\_70.php](http://www.kite.ru/articles/wireless/2004_1_70.php).
6. Варгаузин В. Сетевая технология ZigBee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.telemultimedia.ru/art.php?id=85>.
7. Варгаузин В. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4. [Текст] // ТелеМультиМедиа – 2005. – № 6.
8. Гуреев А.В., Кустов В.А. Волноводная модель беспроводных каналов связи внутри зданий / Электронный журнал «Исследовано в России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/135.pdf>.
9. Мусієнко М.П. Розрахунок втрат розповсюдження радіохвиль в комунікаційних системах на транспортних засобах [Текст]: М.П. Мусієнко, В.І. Томенко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 122-126.
10. Томенко В.І., Куценко С.В., Мусієнко М.П. Побудова полісенсорних реконфігурованих пожежно-охоронних систем у приміщеннях на базі технології ZigBee [Текст]: Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – № 4. – С. 67-70.
11. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи [Текст] / К. Веселовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского; под. ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с.

© Мусієнко М.П., Дідук В.А.,  
Куценко С.В., 2010

*Стаття надійшла до редколегії 18.05.10 р.*