

УДК 681.3:621.39:51

А.О. Лунтовський, д-р техн. наук¹, І.В. Мельник, д-р техн. наук²

Автоматизоване проектування безпроводових комп'ютерних мереж в системі CANDY Framework

Исследуется способ построения системы автоматизированного проектирования (САПР) комбинированных локальных сетей CANDY Framework, которые состоят из офисной сети и сети автоматизации зданий, созданных с использованием известных стандартов. Рассматриваются требования к современным радиосетям, представлены средства САПР физического уровня беспроводных сетей в соответствии со стандартами IEEE 802.11 (Wireless LAN), 802.16 (WiMAX), 802.15.4 (Wireless Sensor Networks ZigBee). Технические условия проектирования таких сетей имеют противоречиво-компромиссный характер относительно таких факторов, как производительность, эффективное энергопотребление и затраты на сетевое решение.

The paper discusses architecture of a computer-aided design (CAD) of combined networks CANDY Framework for offices and building automation systems based on diverse wired and wireless network standards. The requirements to modern radio networks design have been examined. A developed planning tool purposed to support of PHY-layer design of wireless nets by standards IEEE 802.11 (Wireless LAN), 802.16 (WiMAX), 802.15.4 (Wireless Sensor Networks ZigBee) is represented. The design requirements on these networks are often contradictive and often have to consider such factors as performance, energy and cost efficiency for a network solution altogether.

Ключевые слова: САПР, беспроводные сети, пикосети автоматизации зданий, моделирование радиосети, эмпирические модели распространения радиосигналов, распараллеливание сложных алгоритмов.

Вступ

Об'єкт проектування – комбінована мережа. Проектування сучасних проводових, безпроводових та мобільних мереж можливе тільки на основі використання високоефективних моделей та методів, котрі описані у попередніх публікаціях [1 – 3]. Якість САПР безпроводових мереж насамперед визначається математичними моделями, на яких вони базуються. Завдяки застосуванню адекватних моделей досягається підви-

щення продуктивності та поліпшення параметрів якості обслуговування мережі QoS (Quality of Service) при оптимізації її вартості, прибутковості та підвищенні точності рішень. Система CANDY (Computer Aided Network Design utility) Framework [1] є САПР комбінованих мереж у будівлях, які складаються з ділянок мереж офісної комунікації та мереж автоматизації типу: LAN Ethernet, WLAN IEEE802.11, WiMAX IEEE 802.16, WSN 802.15.4, LON (Local Operating Network), KNX (Konnex/ European Installation Bus) тощо (рис. 1). Окрім того, можлива побудова мереж автоматизації (HVAC – Heating, Ventilating and Air Conditioning) на основі суто офісних мереж Ethernet. Ефективне та економічне проектування подібних мереж передбачає ретельно продуману інтеграцію засобів та сумісність інтерфейсів.

Безпроводові сенсорні мережі. Інтерес до мереж автоматизації зростає щороку завдяки їхній невисокій вартості та відносній простоті інсталяції. Однією з найбільш перспективних галузей використання зазначених мереж WSN (Wireless Sensor Networks) є галузь автоматизації будівель та приміщень [4, 5], наприклад, автоматизовані системи для вимірювання температури та контролю освітленості. Потрібна кількість проводових сенсорів для керування кліматом у такому інтелектуальному будинку (рис. 1) може бути значною, що неминуче призводить до високих витрат праці на інсталяцію та, у деяких випадках, навіть до реконструкції будівлі із метою прокладання кабельних систем. Тому економічну та ефективну альтернативу проводовим сенсорам із використанням польових шин складають сучасні безпроводові пікомережі WSN.

Зазначені мережі [4, 5] досить критичні із точки зору енергоресурсів, оскільки заміна кількох сотен сенсорів, які вийшли з ладу, досить недешева збоку витрат та необхідної праці для обслуговуючого персоналу. Батареї мають обмежену енергоємність та розряджуються у залежності від потужності передавання та частоти відправлення повідомлень. Тому надзвичайно важливою є проблема забезпечення ефективного енергоспоживання та енергоменеджменту вузлів мережі WSN. Однією з досліджуваних нами можливостей покращення WSN з точки зору енергоспоживання є оптимізація топології на рівні PHY.

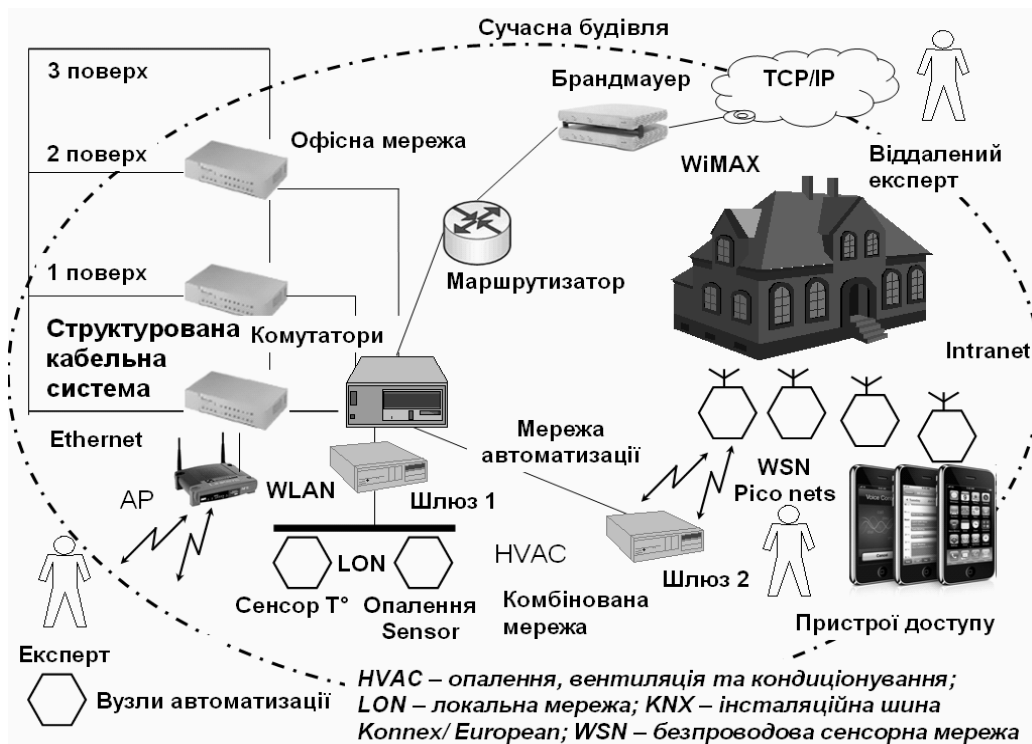


Рис. 1. Приклад комбінованої мережі у будівлях

1. Побудова САПР комбінованих локальних мереж CANDY Framework

Архітектура САПР. Архітектуру САПР комбінованих мереж у будівлях, що складаються з мереж офісної комунікації та мереж автоматизації LAN Ethernet, WLAN IEEE802.11, WiMAX IEEE 802.16, WSN, LON, CAN тощо [1–6], наведено на рис. 2. У складі зазначеної САПР CANDY Framework наявні наступні модулі, які реалізовані як вільно-інкапсульовані додатки на платформах Eclipse Rich Client Platform (ERCP plug-ins), JRE (Java Runtime Environment), Application Server, Middleware (Apache, Tomcat/JSP, Java Server Pages, EJB, Enterprise Java Beans), Web Services (Apache Axis 2). Модулі системи мають наступне призначення [1, 3].

Модуль 1. Менеджер проекту CANDY Project Manager (CPM) використовується для описання маршруту проектування та є специфічним для системи CANDY. Він дозволяє проводити описання даних проекту та умов його створення. У програмі введені відповідні елементи для опису робочих потоків (Workflow) та їхнього контролю в рамках CANDY.

Модуль 2. Редактор CANDY Network Editor (CNE) є графічним інструментом для проектування топології мереж і складається з двох частин: текстове введення даних проекту та графічне введення топології мережі (рис. 3). Вбудований редактор мовою NDML (Network Design Markup Language) [1, 9] дозволяє

здійснювати введення топології мережі у графічному режимі, при цьому можуть бути визначені всі пристрої, зокрема ПК, шлюзи, маршрутизатори, комутатори, концентратори, точки доступу, базові станції, кабелі, СКС, вузли автоматизації, а також зв'язки між ними.

Модуль 3. CANDY Component Browser (CCB) дозволяє переглядати як бази даних мережеских продуктів, так і сформовану базу даних (БД) проекту мережі. Модуль працює сумісно з модулем CANDY Bill Reporter (CBR). БД компонентів має функцію поновлення та містить актуальні дані про сучасні мережні продукти, компоненти та їхню вартість. БД проектів містять записи про використані мережні продукти. Для вирішення задач оптимізації продуктивності, енергетичної ефективності та вартості комбінованих локальних мереж використовуються наступні засоби [1, 3].

Модуль 4. CANDY Trace Router (CTR) застосовується для автоматичного трасування структурованої кабельної системи (СКС), локальної мережі будівлі при заданих розташуваннях серверних приміщень (комутатори, шлюзи, маршрутизатори, кроспанелі) у специфічних форматах САПР (IFCXML для AutoCAD тощо) [1]. СКС для сучасних обчислювальних мереж складається з первинної, вторинної та третинної областей. CANDY Trace Router оптимізує проведення кабелю Ethernet LAN IEEE802.3 з урахуванням безпроводових ділянок стандартів WLAN IEEE802.11.



Рис. 2. Архітектура системи CANDY Framework

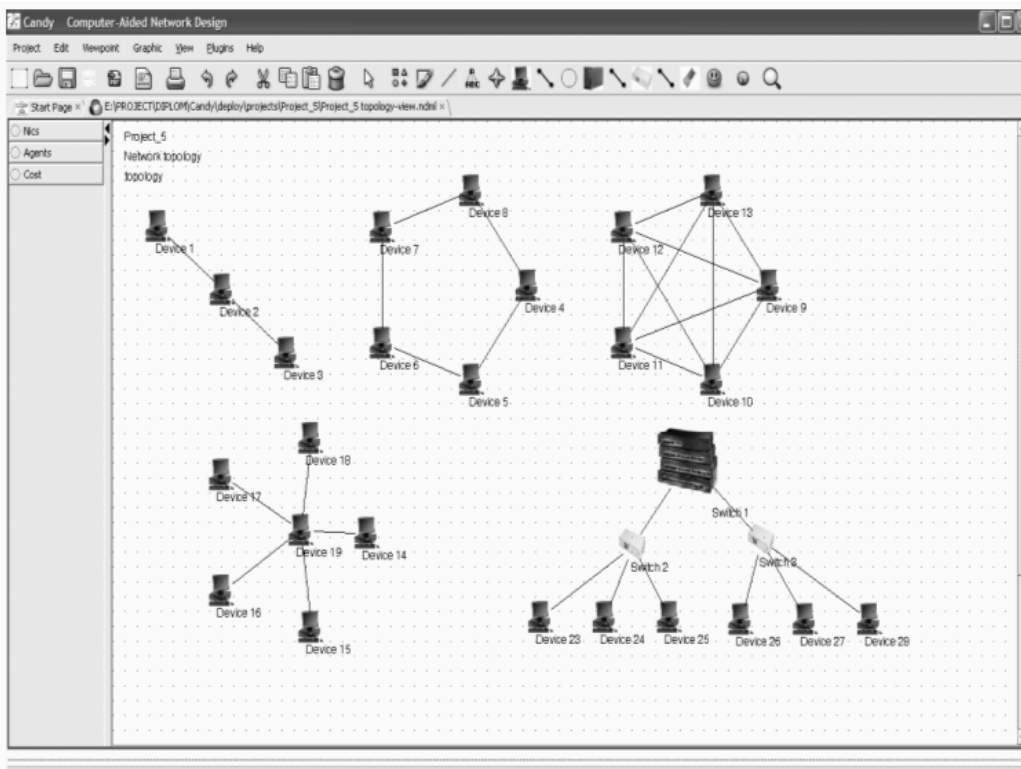


Рис. 3. Редактор топології із підтримкою мови NDML

Модуль 5. CANDY Wireless Site Finder (CSF) призначений для проектування та розрахунку безпроводової частини, який підтримує функції імпорту форматів AutoCAD, Python CAD, NDML, IFCXML, PDF, які містять поверхові плани, географічні карти та плани місцевості, також підтримується експорт стандартних форматів XML, JPEG, BMP та PNG, комфортабельний менеджмент, видалення та коректування об'єктів та перешкод [1, 3]. На рис. 4 зображено узагальнену модель безпроводової мережі для використання у САПР [6 – 8]. Реалізовані функції автоматичного розміщення точок доступу, базових станцій або сенсорів, розрахунку та візуалізації емпіричних моделей поширення [1,

3] Free Space Loss, Multi Wall, COST 231 Walfish Ikegami, Dominant Path Prediction, Line of Sight Models, візуалізації послаблення, приймальної потужності, бітової швидкості та покриття на основі даних з необхідного розподілу частот та перешкод у специфічних форматах САПР (IFCXML для AutoCAD).

Модуль 6. Приклад з проектування засобами CANDY Framework наведений на рис. 5. Для здійснення подійного моделювання, багатоваріантного аналізу TCP/IP-інфраструктури за допомогою засобів мережного моделювання NS-2, OMNet++ тощо [1, 3, 10] необхідний модуль CANDY Workload Analyser (CWE).

Модуль 7. CANDY Bill Reporter (CBR) як

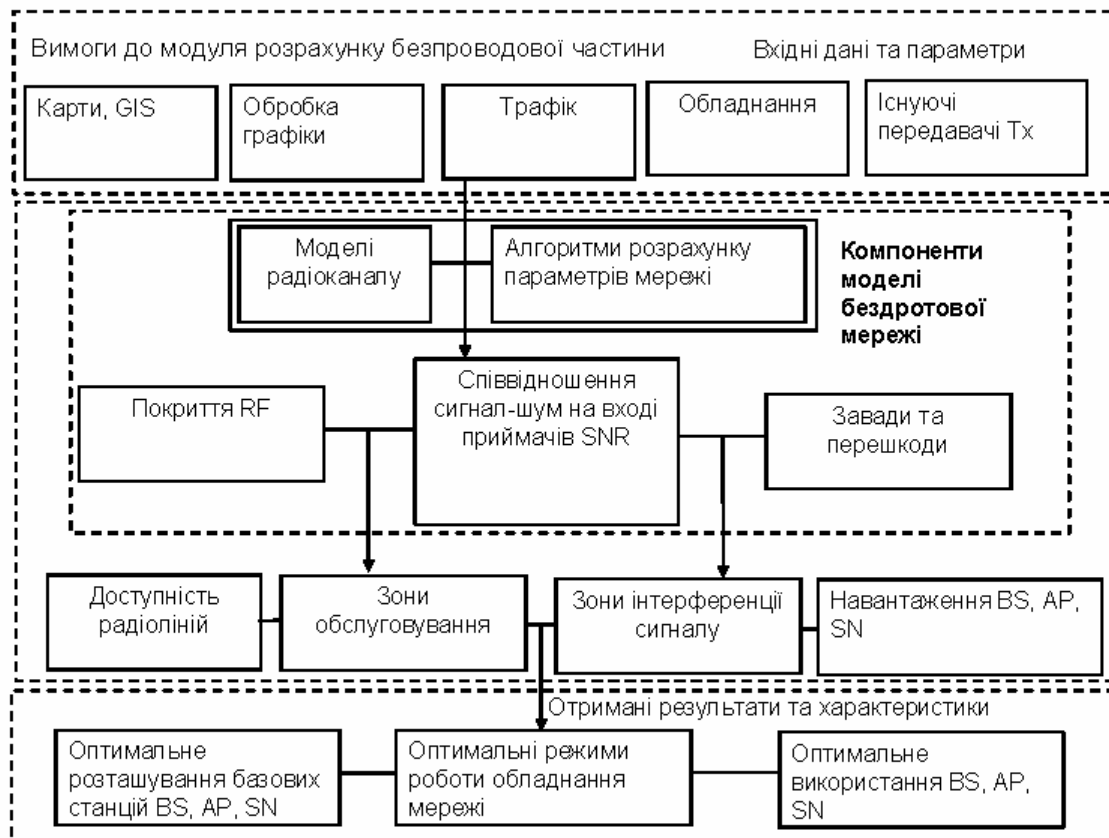


Рис. 4. Узагальнена модель безпроводової мережі для використання у САПР

засіб розрахунку вартості мережі базується на даних з використаних компонентів, про СКС та мережні продукти, які містяться у БД. CBR дозволяє розраховувати динамічні цільові функції (ЦФ) вартості мережі $K(t)$ для визначеного періоду експлуатації, надавати прогнози із поточної вартості та рентабельності модифікації.

Критерії оптимізації мереж. Технічні вимоги до проектування сучасних мереж досить часто мають супротивно-компрісний характер та стосуються здебільшого таких позицій, як продуктивність (QoS, Quality of Service), ефективне енергоспоживання та оптимальність з точки зору вартості та видатків мережного рішення. Для комбінованих мереж, які включають WSN, надзвичайно важливою є також проблема забезпечення ефективного енергоспоживання та енергоменеджменту вузлів. Цільова функція загальної вартості має вигляд:

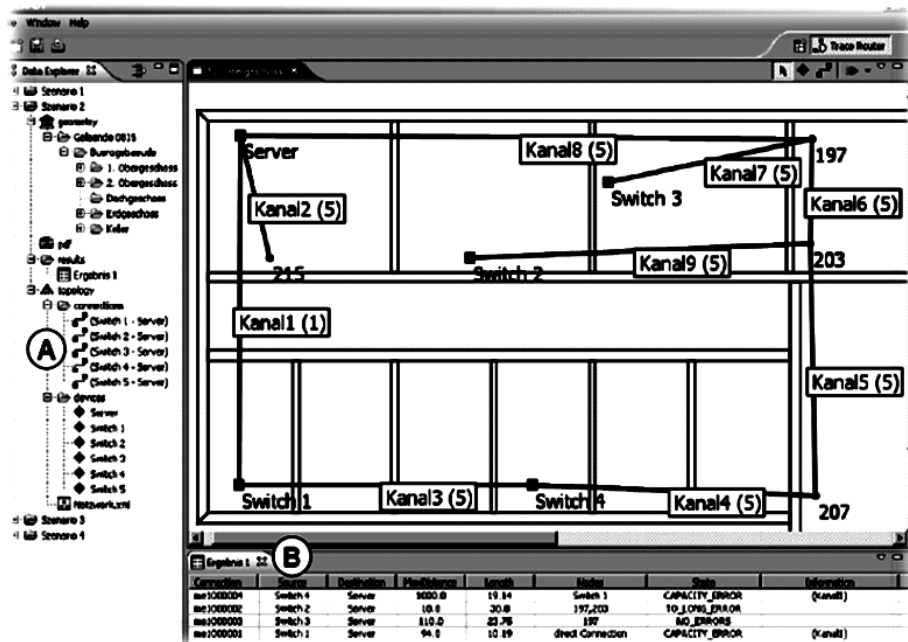
$$K = K(N_1, N_2, QoS(DR), L, t), \quad (1)$$

де N_1 – оптимальна кількість введених у дію мережних пристроїв (комутаторів, маршрутизаторів тощо), N_2 – оптимальна кількість введених у дію безпроводових точок доступу та безпроводових сенсорних вузлів за умови оптимального розташування WLAN та WSN, яке отримане за допомогою методів моделювання фізичного рівня,

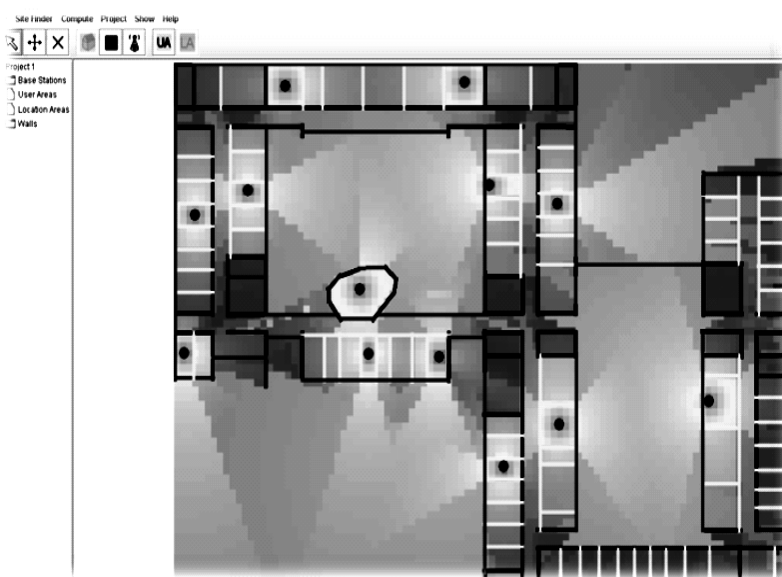
QoS, DR – прийнятний рівень якості обслуговування QoS, насамперед, швидкість передання даних (data rate), L – оптимальна суцільна довжина СКС, t – час експлуатації. CBR використовує також константи конфігурації визначені у [1], які виражають, зокрема, коефіцієнт амортизації мережі або окремих мережних компонентів.

2. Складні задачі проектування радіомереж та забезпечення доступу до багатоядерного комп'ютеру

Сервіс для доступу CANDY Web Service. Для забезпечення доступу до багатоядерного комп'ютеру, розпаралелювання ресурсоемних алгоритмів моделювання безпроводових мереж та прорахунку чисельних варіантів проектування у мережах TCP/IP, окремі модулі САПР CANDY Framework можуть бути надані у якості сервісів CANDY Web Service. Проведений модельний експеримент із використанням CANDY Web Service для доступу до багатоядерного комп'ютеру MARS SGI Altix 4700, встановленому у ТУ Дрезден, із 1024 ядрами Intel Itanium dual-core, обсягом оперативної пам'яті 6,5 ТБайт. Розроблений сервіс застосовує платформу Axis 2 та стандартний протокол доступу SOAP для передавання та приймання повідомлень SOAP із вкладками (SOAP with attachments, SwA-messages).



а) інфраструктура: трасування СКС для Ethernet



б) проектування безпроводової частини: послаблення середовища

Рис. 5. Проектування комбінованих мереж у системі CANDY Framework

На рис. 6 представлений діалог у сервісі CANDY Web Service. Розроблений сервіс CANDY Web Service надає фахівцям та студентам унікальну можливість доступу до експериментальних засобів проектування CANDY та до алгоритмів моделювання у комбінації з обчислювальною потужністю багатоядерного комп'ютеру MARS. Для прискорення розрахунку ресурсоємних алгоритмів моделювання безпроводових мереж успішно застосовується інтерфейс паралельних обчислень OpenMP.

Приклад проектування з паралельними обчисленнями. Для розрахунку завдань на MARS звичайно застосовується від п'яти до 70 ядер. Складні задачі проектування присвячені, наприклад, аналізу «вузьких місць» в інфраструктурі мережі TCP/IP, візуалізації розподілу прийнятної потужності (рис. 4) безпроводових мереж (WLAN) на двовимірних планах та у точках доступу AP [6 – 8]. Спочатку було виконано паралельну реалізацію відповідного алгоритму DPP (Dominant Path Prediction) складності за

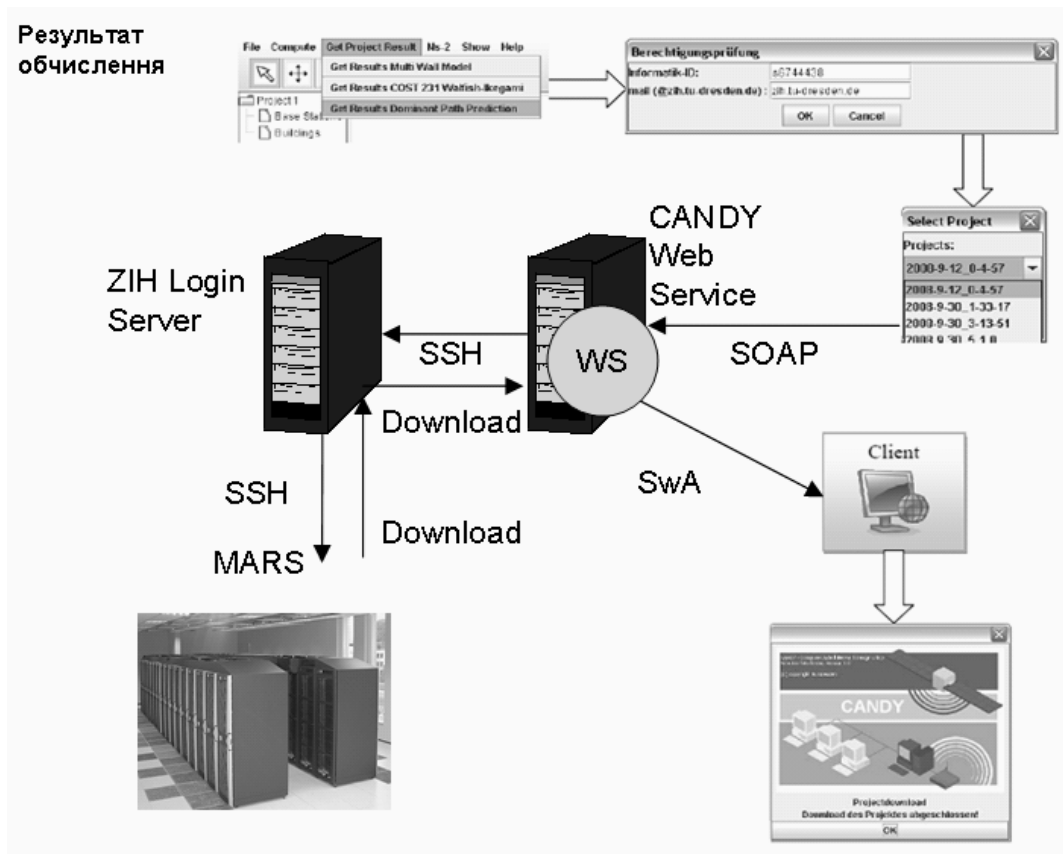


Рис. 6. Діалог у сервисі CANDY Web Service, робота з віддаленим завданням

Ландау $O(\exp(k))$ (k – кількість променів) у складі модуля CANDY Site Finder на двох- та чотирьох'ядерних процесорах (Dualcore/ Quadcore CPU). Тим не менш, для отримання відчутного виграша у часі обчислення при підвищенні відносно ресурсоемності програмування із послідовного на паралельне, необхідно використання високопродуктивних комп'ютерів типу MARS. Відповідний обчислювальний експеримент був проведений із комп'ютером MARS для складної мережі, яка являє собою кампус розміром $1000 \times 697 = 697000$ точок, складається з 64 будівель із сумарним числом стін 360 та двома станціями BS (base stations) типу WiMAX.

У таблиці 1 наведені сумарні витрати часу для розрахунку зазначеного складного проекту безпроводової мережі WiMAX у розпаралеленому модулі DPP у рамках модуля 5 CANDY Site Finder для чисельних варіантів, залежно від кількості потоків та ядер. Прийнята для даного експерименту роздільна здатність $1000 \times 697 = 697000$ точок моделювання відповідає абсолютній точності $\varepsilon \leq 73,4$ см, розрахунок на одному ядрі займає 2 год 23 хв. При цьому розмір стільників WiMAX загалом складає ≥ 2 км. Експеримент показує зменшення часу обчислень у 56 разів. Аналітична апроксимація може бути задана наступною формулою:

$$T = T_1 \cdot N^{-\alpha}, T_1 = 8021 \text{ с}, \alpha = 0,95, \quad (2)$$

де T – загальний час обчислень у секундах, T_1 – час розрахунку для одного ядра у секундах, N – кількість необхідних ядер, α – напівемпіричний коефіцієнт.

Таблиця 1. Розпаралелений модуль CANDY Site Finder: час моделювання складного проекту безпроводової мережі методом DPP

Кількість потоків	Витрати часу, с
1	8021
2	4163
5	1749
10	908
20	471
30	321
55	181
70	144

Розпаралелювання важливе не тільки для певних алгоритмів. Часто проведення багатоваріантних досліджень у САПР може стати особливо ефективним при використанні технологій розпаралелювання та прогоні кількох «клонів» однієї й тієї самої моделі мережі із різними параметрами налаштування (multi-variant analysis). Так, наприклад, для мереж WLAN та WiMAX є

дуже ефективним обчислювати складні сценарії для відразу кількох рівней (розрізів висоти у місті, поверхів в будівлях тощо) на кількох ядрах або процесорах.

Висновки

Досліджено побудову та властивості САПР комбінованих локальних мереж, що складаються з офісної мережі та мережі для автоматизації будівель, створених із використанням численних відомих проводових та безпроводових мережних стандартів. Розглянуті вимоги до сучасних радіомереж, представлені засоби САПР, призначені для підтримки проектування фізичного рівня безпроводових мереж за стандартами IEEE 802.11 (Wireless LAN), 802.16 (WiMAX), 802.15.4 (Wireless Sensor Networks ZigBee). Для сучасних безпроводових сенсорних мереж (WSN, Wireless Sensor Networks IEEE 802.15.4) надзвичайно важливою є проблема забезпечення ефективного енергоспоживання.

Для забезпечення доступу до багатоядерного комп'ютеру, розпаралелювання ресурсоємних алгоритмів моделювання безпроводових мереж та розрахунку численних варіантів проектування у мережах TCP/IP окремі модулі САПР CANDY Framework подаються у якості сервісів CANDY Web Service. Проведений модельний експеримент із використанням CANDY Web Service для доступу до багатоядерного комп'ютеру. Зазначений сервіс надає фахівцям та студентам унікальну можливість використання експериментальних засобів проектування.

Література

1. *Luntovskyy A.* Integration Concepts for Computer-Aided Design Tools for Wired and Wireless Local-Area Networks. – Shaker Verlag Aachen, 2008. – 196 p.
2. *Лунтовський А.О.* Технології розподілених програмних додатків // – К.: ДУІКТ, 2010. – 474 с.
3. *Лунтовський А.О., Мельник І.В.* Проектування та дослідження комп'ютерних мереж // Навч. пос. – К.: Університет „Україна”, 2010. – 362 с. (ISBN 978-966-388-315-1).
4. *Luntovskyy A., Vasyutynskyy V.* On Computer-Aided Design of Energy Efficient Wireless Sensor Networks. – ACM supported IWCMC 2010, Caen, France, 28 June - 2 July 2010. P. 311-315.
5. *Luntovskyy A., Vasyutynskyy V., Kabitzsch K.* Propagation Modeling and Placement Algorithms for Wireless Sensor Networks. – IEEE ISIE 2010, Bari, Italy, 4-7 July, 2010.
6. *Гуреев А.В., Кустов В.А.* Компьютерное моделирование беспроводных сетей и проблемы их электромагнитной совместимости // Electronic Magazine “Researched in Russia” (Online 2011): <http://zhurnal.ape.relarn.ru>.
7. *Luntovskyy A., Schill A.* Functionality of Wireless Network Design Tools. – IEEE CriMiCo Conference, Sevastopol, 14-18 Sept. 2009. – P. 343-345.
8. *Luntovskyy A., Uhlig S., Guetter D.* Cross-Layered Wireless Network Planning and Modeling Methods and Tools. – 5th IEEE and ACM ICWMC, June 2009, Leipzig. – P.1417-1421.
9. NDML (Online 2010): <http://www.rn.inf.tu-dresden.de/>.
10. Network Simulator NS-2 (Online 2011): <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

¹BA Dresden University of Coop. Education, Dresden, Germany

²National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”, Kyiv, Ukraine