

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ПРОЕКТУВАННЯ

УДК 004.75, 538.953

Д.В. Федасюк, П.В. Сердюк, Ю.Б. Семчишин
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ПАРАМЕТРИЧНИХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

© Федасюк Д.В., Сердюк П.В., Семчишин Ю.Б., 2008

Розглянуто ієрархічну архітектуру розподілення обчислювальних процесів аналізу вихідних характеристик задач, які ґрунтуються на параметричному розв'язанні лінійних диференціальних рівнянь у часткових похідних на основі методу, який дає змогу отримувати розв'язок лінійних диференціальних рівнянь у параметричному вигляді.

Hierarchical architecture of distributing computation processes of initial properties analysis in tasks, which are based on the linear differential equalizations in partial derivatives parametric solving on the basis of method which allows to get the solving of linear differential equalizations in a parametric form, are considered in the work.

Вступ

У зв'язку зі зростанням потреби вирішення складних обчислювальних завдань, стрімким підвищенням швидкодії систем розподілення обчислень та на порядок нижчою вартістю порівняно із суперкомп'ютерами останнім часом зростає актуальність використання систем розподілення обчислень [1].

За допомогою паралельних та розподілених обчислень сьогодні вирішуються надскладні обчислювальні завдання (так звані “Grand Challenges”) – фундаментальні наукові або інженерні завдання з широкою сферою застосування, ефективне вирішення яких можливе тільки з використанням потужних обчислювальних ресурсів [2].

Переважній більшості систем розв'язання параметричних задач математичної фізики, зокрема задачі теплового проектування електронних пристроїв, притаманні такі недоліки: локальна архітектура систем не уможлиблює розподіленого виконання задач навіть за наявності вільних обчислювальних ресурсів у мережі, а доступ до керування системою неможливо здійснити віддалено [3].

У роботі [4] досліджено загальні питання організації підсистем розподілення обчислень, проте приділено недостатню увагу ієрархічності та адаптивності таких підсистем. Цей підхід може не бути достатньо ефективним в умовах гетерогенних обчислювальних ресурсів, об'єднаних у денормалізовані мережі, що є звичним для значної кількості організацій та установ.

Розробки, що стосуються розподілення обчислень задач математичної фізики, ґрунтуються на числовому їхньому розв'язанні за допомогою відомих методів. Однак ці методи не дають змоги повною мірою розподіляти обчислення, оскільки є послідовними алгоритмами і потребують для цього спеціальних прийомів.

Зокрема, у роботі [5] запропоновано алгоритм розподілення обчислень для методу явних різницевих схем. Разом з тим, цей алгоритм потребує значних додаткових числових затрат порівняно з іншими методами для досягнення заданої точності у зв'язку з нестійкістю різницевої схеми.

Мета роботи

Метою цієї роботи є розроблення методу розв'язування задач математичної фізики, який надає можливість отримувати розв'язок системи лінійних диференціальних рівнянь у параметричному вигляді. Завдяки такому поданню розподілені обчислення можуть бути застосовані для розв'язування оптимізаційних, обернених чи інших параметричних задач проектування.

Постановка задачі

Розглянемо диференціальне рівняння, яке виконується у множині $V \subset R^n$:

$$\sum_{i=1..N} a_i \frac{\partial^{k_1^i, k_2^i, k_3^i, \dots, k_n^i} u}{\partial x_1^{k_1^i} \partial x_2^{k_2^i} \partial x_3^{k_3^i} \dots \partial x_n^{k_n^i}} = f(x), \quad (1)$$

де u – невідома функція, така, що $u : R^n \rightarrow R$, $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)^T$ – змінна простору R^n , $f(x)$ – відома функція $f : R^n \rightarrow R$.

Загальний розв'язок рівняння (1) може бути поданий у вигляді суми часткового (u_0) та нескінченного ряду фундаментальних розв'язків

$$u = u_0 + \sum_i C_i \exp(k_i^1 x_1 + k_i^2 x_2 + \dots + k_i^n x_n), \quad (2)$$

де C_i – невідомі, а $k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^n$ – комплексні числа, що задовольняють відповідне характеристичне рівняння диференціального рівняння (1).

Нехай множина V обмежена гранями Γ_i , $\partial V = \bigcup_i \Gamma_i$, які не перетинаються між собою $\Gamma_i \cap \Gamma_j = \emptyset \Leftrightarrow i \neq j$, на кожній з яких задана гранична умова:

$$B_i(u) = a_i \frac{\partial u}{\partial n} + b_i u + c_i = 0; x \in \Gamma_i, \quad (3)$$

де a_i, b_i, c_i – певні сталі, $\frac{\partial u}{\partial n}$ – похідна по нормалі до грані Γ_i .

Тоді невідомі коефіцієнти C_i визначаються з умови мінімізації похибки граничних умов:

$$F(C_1, C_2, \dots, C_n) = \sum_i \int_{\Gamma_i} (B_i(u))^2 d\Gamma_i \rightarrow \min. \quad (4)$$

Мінімізація цього функціонала зводиться до розв'язування системи лінійних рівнянь із невідомими коефіцієнтами C_i .

Особливістю пропонованого методу є те, що для обчислений розв'язок рівняння (1) може бути поданий у вигляді функції, яка залежить від декількох параметрів, що дає змогу виконувати аналіз результатів розв'язання задачі за одержаним формульним виразом, здійснювати оптимізацію вихідних характеристик тощо.

Для параметричного подання розв'язку застосовано об'єктно-орієнтований підхід, що дає змогу тримати в пам'яті аналітичні вирази.

Розроблена програмна реалізація цього методу, яка дає можливість інтегрувати, диференціювати та виконувати інші обчислення, зберігаючи параметричний вигляд розв'язку.

При аналізі вихідних характеристик, які залежать від багатьох параметрів, часові затрати обчислень можуть перевищувати допустимі норми. Для таких випадків передбачено розподілення обчислювальних процесів.

Формати даних системи теплового проектування електронних пристроїв

Для збереження, передавання та опрацювання даних було використано мову опису даних XML (eXtended Markup Language), що широко використовується у різних інформаційних системах

завдяки поєднанню стандартизованості з гнучкістю, розширюваністю та ефективністю при поданні ієрархічних структур даних [6].

Вхідні дані задачі теплового проектування являють собою готовий опис параметричної задачі мовою XML, що має певну структуру (рис. 1). Відповідно до пропонованої структури кореневий вузол у вигляді атрибутів містить розмірність, стаціонарність та необхідну точність задачі, а також набори необмеженої кількості дочірніх вузлів для подання параметрів задачі, даних конструкції, теплофізичних характеристик.

Конструкція декомпонується на набір доменів, у межах кожного теплофізичні характеристики (теплоємність, теплопровідність та функція джерела) вважаються сталими. Дані домену містять зазначені теплофізичні характеристики, початкову температуру, а також його геометрію, що визначається набором базових геометричних примітивів (див. рис. 1). Для одновимірних задач такими геометричними примітивами будуть точка та відрізок; для двовимірних задач – трикутник та паралелограм; для тривимірних – піраміда і паралелепіпед.

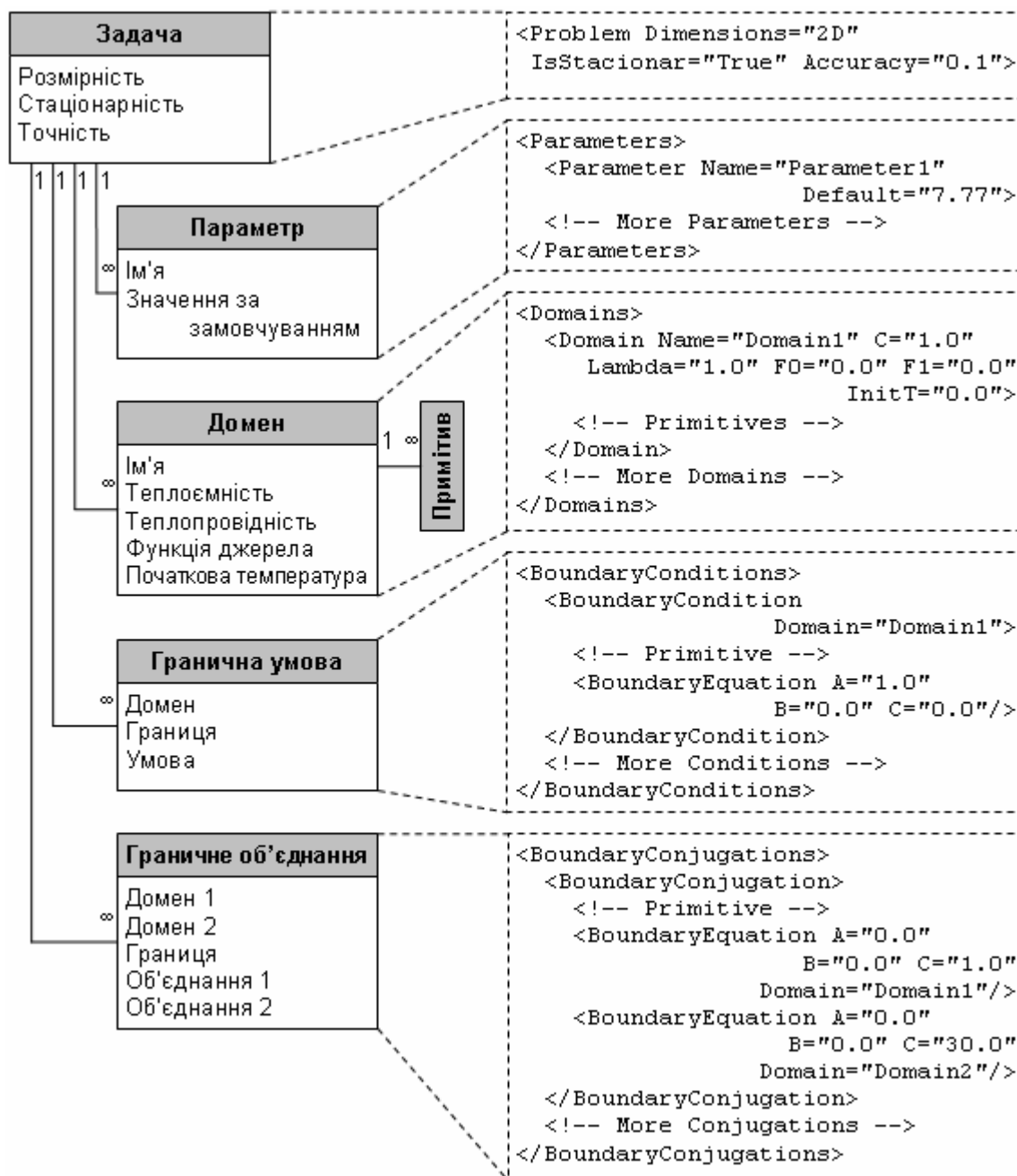


Рис. 1. Структура опису задач теплового проектування

Окрім того, вхідні дані містять опис граничних умов та умов спряження між доменами (умови рівності теплового потоку, ідеального теплового контакту тощо).

Параметрами задачі проектування можуть бути будь-які вищеперелічені вхідні характеристики. Під час розв'язування задач ці параметри включаються у розв'язок для розв'язання параметричних задач.

Вихідні дані параметричного розв'язку являють собою опис параметрів задачі мовою XML, і складаються з результуючої залежності, поданої у числово-аналітичному вигляді та множини параметрів, для кожного з яких задано його ім'я, початкове та кінцеве значення та крок табуляції.

Результати виконання зберігаються та передаються в бінарному вигляді, обгорнутому, проте, в набір кореневих тегів мови XML. Це дає змогу, водночас, з одного боку, дотриматися сумісності з форматом XML і реалізовувати подальше розширення формату, та, з іншого боку, здійснювати високошвидкісні передавання та опрацювання даних у вигляді, оптимальному для центрального процесора.

Архітектура системи теплового проектування електронних пристроїв

Система теплового проектування електронних пристроїв має комплексну архітектуру (рис. 2). Користувач використовує можливості системи за допомогою Web- або WinForms-клієнтів, кожен з яких взаємодіє з Web-сервісом. Web-сервіс, своєю чергою, використовує реляційну базу даних для отримання різноманітних теплофізичних констант та взаємодіє з підсистемою розподілення обчислень.

Підсистема розподілення обчислень дає змогу координувати виконання поставлених завдань на великій кількості незалежних просторово розподілених вузлів-виконавців. Мережа цих вузлів-виконавців являє собою високопродуктивний обчислювальний кластер, що має ієрархічну та адаптивну архітектуру.

Для подання користувачеві результатів виконання поставленої задачі використовується окремий модуль візуалізації, що працює на клієнтській стороні та вповні використовує засоби графічної системи користувацького комп'ютера.

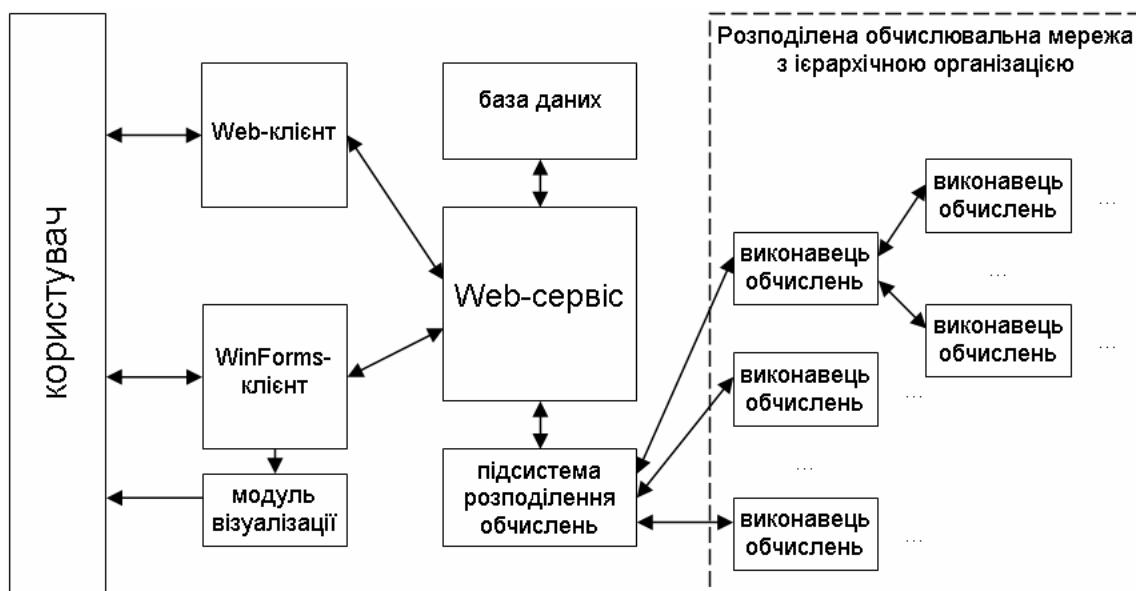


Рис. 2. Архітектура системи теплового проектування електронних пристроїв

Користувач має можливість доступу до системи теплового проектування електронних пристроїв двома способами:

- за допомогою Web-клієнта;
- за допомогою WinForms-клієнта.

Кожен зі способів має певні переваги та недоліки (табл. 1).

Таблиця 1

Переваги та недоліки клієнтів

	Web-клієнт	WinForms-клієнт
Обмеження на операційну систему	немає	Microsoft Windows
Можливість візуалізації тривимірних даних	-	+
Можливість використання без інсталяції	+	-

Результатом роботи будь-якого з клієнтів є готовий опис параметричної задачі мовою XML. Web-сервіс виконує такі функції:

1. Отримує опис параметричної задачі.
2. Здійснює попереднє його оброблення у параметричній формі з використанням інформації, що міститься у базі даних.
3. Отримує опис параметрів задачі.
4. Передає вже оброблений опис параметричної задачі та опис параметрів задачі підсистемі розподілення обчислень.

Підсистема розподілення обчислень є адаптивною та має ієрархічну структуру, що є оптимальним розв'язанням для таких задач [7, 8].

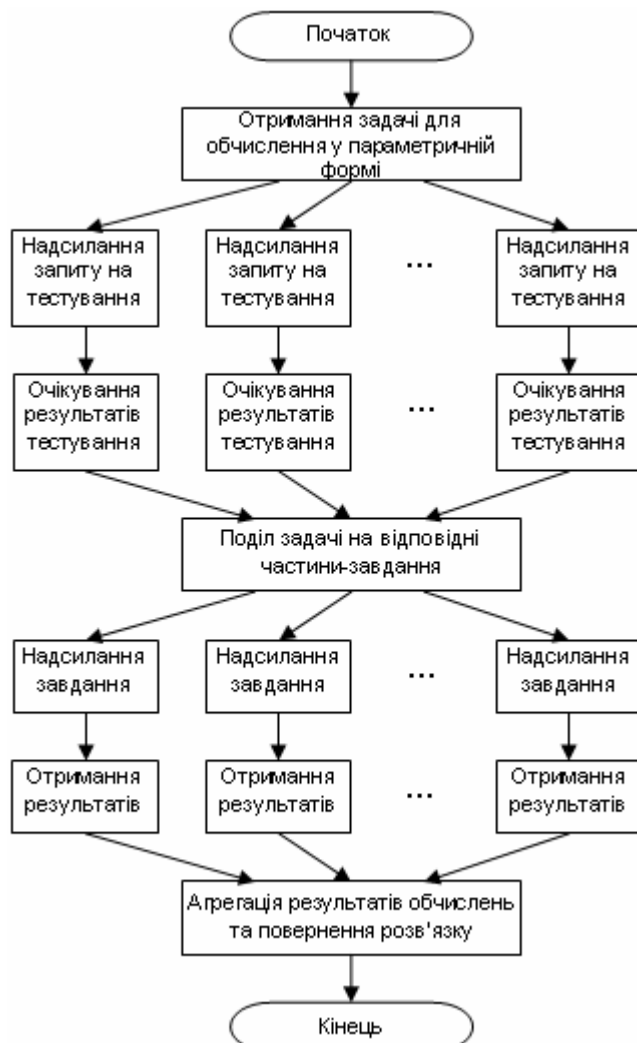


Рис. 3. Алгоритм роботи підсистеми розподілення обчислень

Після отримання завдання від Web-сервісу підсистема розподілення обчислень розпочинає роботу з об'єднання доступних ресурсів у обчислювальний кластер згідно з реалізованим алгоритмом (рис. 3), зокрема виконує таку послідовність дій:

1. Тестування швидкодії доступних вузлів-виконавців та каналів зв'язку (роздавання тестових завдань вузлам-виконавцям та отримання від них часу, затраченого на виконання цих завдань; а також засікання часу проходження пакетів заданого розміру мережею).
2. Поділ завдання на частини та формування їх у пакети, що, з урахуванням даних, отриманих внаслідок тестування, будуть виконані вузлами-виконавцями за однаковий час; передавання пакетів вузлам-виконавцям засобами забезпеченого мережевого протоколу.
3. Передавання частин завдання вузлам-виконавцям.
4. Збирання результатів обчислень від вузлів-виконавців.
5. Аналіз та агрегація результатів обчислень залежно від задачі: вибір глобального екстремуму серед множини локальних для задач оптимізації, злиття множин отриманих значень для апроксимації шуканої функції тощо.

Після цього підсистема розподілення обчислень повертає отриманий результат у бінарному форматі Web-сервісу, який, своєю чергою, пересилає результат клієнтові.

З метою забезпечення інформаційної безпеки даних у системі теплового проектування електронних пристроїв реалізовано парольну автентифікацію користувачів та створено криптографічну бібліотеку, що використовується для шифрування даних, якими обмінюються модулі системи та вузли-виконавці. Криптографічна бібліотека реалізовує симетричний алгоритм шифрування даних RC5, що передбачає обмін ключами на початку сесії та блокове кодування.

Програмна реалізація системи теплового проектування електронних пристроїв

Результати обчислень клієнт відображає користувачеві у вигляді чисел, таблиць, графіків.

Також, якщо користувач викривував для доступу до системи теплового проектування електронних пристроїв WinForms-клієнт, є можливість використати модуль візуалізації для відображення результатів обчислень у вигляді тривимірних моделей.

Розроблення системи теплового проектування електронних пристроїв виконувалося у середовищі Microsoft Visual Studio 2005 з використанням сучасних мов програмування та технологій (табл. 2).

Таблиця 2

Використані мови програмування та технології

Компонент	Мова	Технологія
Web-клієнт	C#	ASP .NET 2.0
WinForms-клієнт	C#	Windows Forms
Модуль візуалізації	C#	OpenGL
Web-сервіс	C#	SOAP
База даних	T-SQL	Microsoft SQL Server 2005
Підсистема розподілення обчислень	C#	Windows Sockets
Програмне забезпечення виконавців обчислень	C#	Windows Sockets

Приклади обчислень та результати

Для верифікації процедури стаціонарного температурного аналізу, реалізованої в системі, використана тестова структура багат шарової схеми з двома джерелами тепловиділення на поверхні (рис. 4).

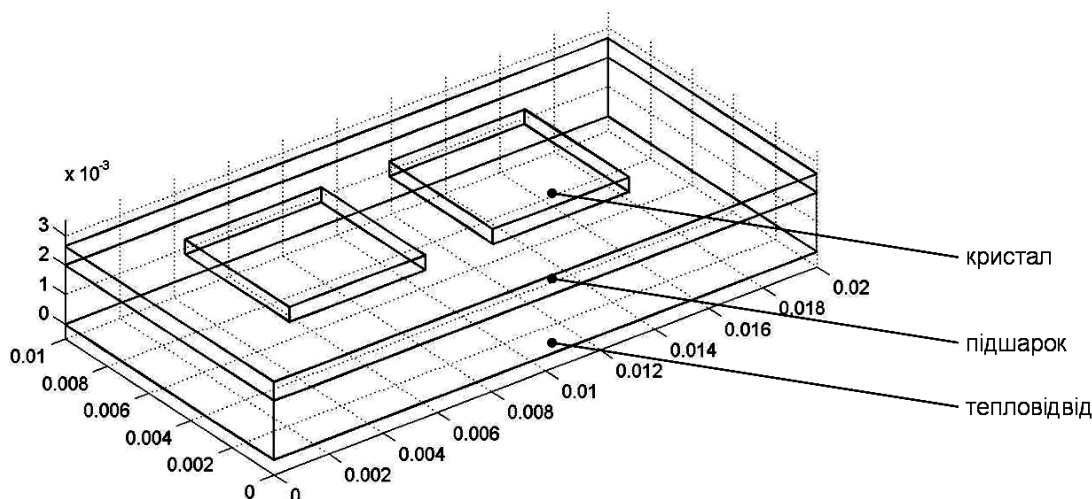


Рис. 4. Схематичне зображення тестової структури

Досліджувана конструкція являє собою тришарову структуру розміром 20×10 мм. Верхній шар товщиною 0.64 мм утворений з оксиду алюмінію Al₂O₃ з питомою теплопровідністю 15 Вт/(м·°C), а нижній шар товщиною 2 мм виготовлений з міді з питомою теплопровідністю 388 Вт/(м·°C). Встановлені кристали мають питому теплопровідність 20 Вт/(м·°C) і потужність

2 Вт. Верхні грані кристалів та підшарку перебувають у вільному конвективному теплообміні з навколишнім середовищем з температурою 20 °С і коефіцієнтом теплообміну 1 Вт/(°С·м²). Нижня грань структури перебуває у конвективному теплообміні з навколишнім середовищем з температурою 20 °С і коефіцієнтом теплообміну 1000 Вт/(°С·м²). Решта поверхонь структури вважаються теплоізовльованими.

Для оцінки впливу просторової орієнтації кристалів на їхню середню температуру була здійснена серія моделювань тестової структури за умови різного розміщення кристалів на поверхні підшарку. Результати моделювання у вигляді залежності температури кристалів тестової структури від відстані від кристала до краю підшарку (рис. 5).

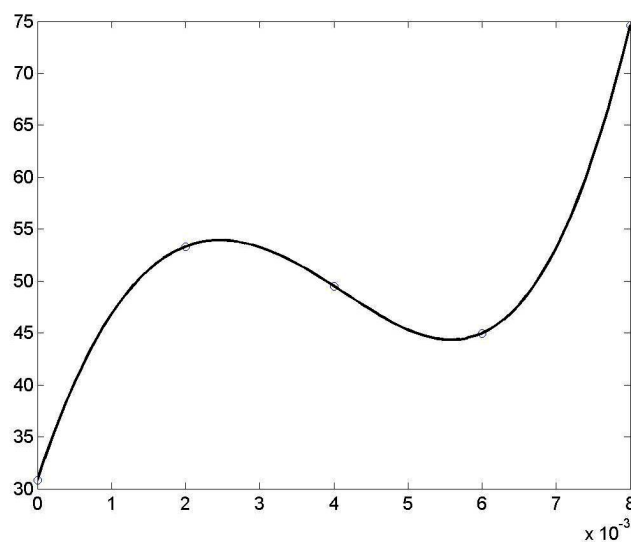


Рис. 5. Залежність середньої температури кристалів тестової структури від відстані від кристала до краю підшарку

Отриманий стаціонарний розподіл температури зображений на рис. 6.

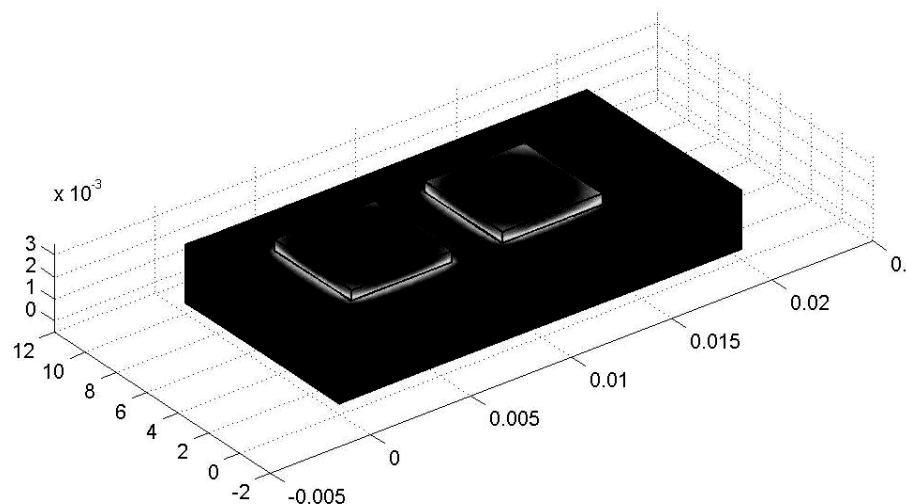


Рис. 6. Стаціонарний тепловий розподіл у тестовій структурі

Параметрами обчислення стаціонарного теплового розподілу у тестовій структурі було вибрано значення теплоємностей і теплопровідностей тепловідведення, підшарку та джерел тепловідведення, а також геометричне розміщення кристалів на підшарку.

Для дослідження швидкодії підсистеми розподілення обчислень було виконано серію дослідів. Експерименти здійснювались в локальній мережі швидкістю 100 Mbps, що складалася з шести комп'ютерів з процесорами класу Pentium IV та 512–1024 МВ оперативної пам'яті.

Для описаної вище моделі тестової структури багат шарової схеми обчислювалась залежність середньої температури кристалів тестової структури від відстані від кристала до краю підшарку, при цьому змінювалась густина розділення (кількість вузлів на кожен з параметрів становила 10, 15, 18 і 20).

Кожен тест виконувався при трьох різних конфігураціях системи, а саме:

1. Систему сконфігуровано для виконання всього поставленого завдання на одному комп'ютері локально, без залучення підлеглих віддалених вузлів-виконавців.
2. Систему сконфігуровано для однорівневого розподілення всього поставленого завдання між рештою виконавців порівну, без урахування коефіцієнтів їхньої швидкодії.
3. Систему сконфігуровано для виконання частини поставленого завдання локально та ієрархічного адаптивного розподілення решти між виконавцями із урахуванням коефіцієнтів швидкодії кожного комп'ютера.

Для кожної конфігурації системи ідентичні обчислення виконувались чотири рази. Вимірювання часу, витраченого на виконання обчислень, здійснювалось з точністю до секунд та усереднювалось для кожної комбінації густини розбиття та конфігурації системи. Це дало змогу мінімізувати вплив похибок вимірювання витраченого часу, які могли б бути пов'язані, наприклад, з кешуванням даних процесорами або з іншими причинами.

Результати виконання описаної серії дослідів подано у вигляді діаграми (рис. 7). Кожен зі стовпців відповідає одній з досліджуваних конфігурацій обчислювальної мережі.

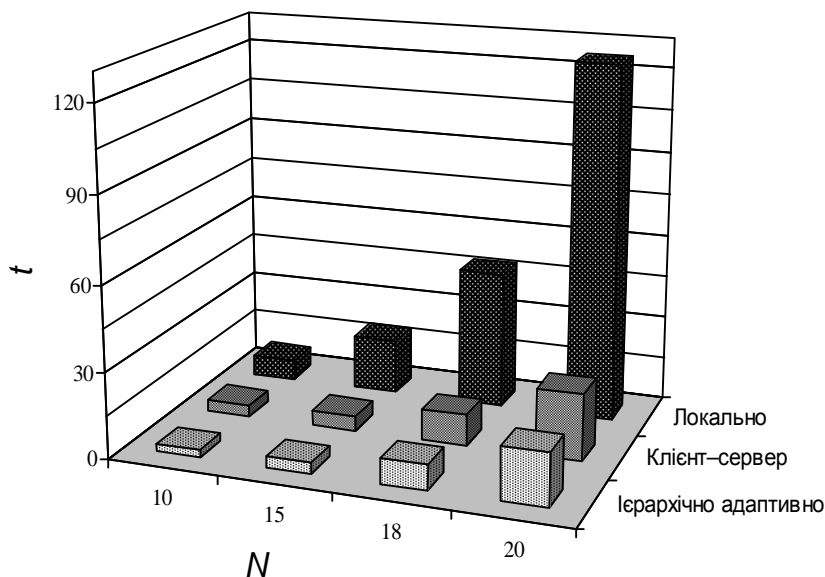


Рис. 7. Результати серії експериментів у секундах

З поданої діаграми (див. рис. 7) зрозуміло, що час виконання тестового завдання при ієрархічній адаптивній конфігурації системи розподілення обчислень є стабільно мінімальним.

Після виконання очевидних розрахунків отримуємо середнє значення приросту продуктивності підсистеми розподілення обчислень внаслідок переходу від простої однорівневої (клієнт-серверної) організації до багаторівневої ієрархічної адаптивної на рівні 25,39 %.

Висновки

У роботі запропоновано комплексну архітектуру системи теплового проектування електронних пристроїв. Пропонована архітектура містить підсистему розподілення обчислень, що має унікальну багаторівневу ієрархічну структуру та властивості адаптивності.

На основі запропонованого методу розв'язування параметричних задач теплового проектування, який надає можливість отримувати розв'язок систем лінійних диференціальних рівнянь в параметричному вигляді, реалізовано розподілення обчислень під час розв'язування оптимізаційних чи обернених задач проектування.

Середнє значення приросту продуктивності підсистеми розподілення обчислень внаслідок переходу від простої однорівневої (клієнт-серверної) організації до багаторівневої ієрархічної адаптивної на рівні 25,39 %.

1. Semchyshyn Y. , Fedasyuk D. *Analysis of Computational Complexity and Time Losses of the Distributed Computing Systems // Proceedings of the IXth International Conference CADSM–2007. – 2007. – P. 415–417.* 2. Эндрюс Г.Р. *Основы многопоточного, параллельного и распределённого программирования: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 512 с.* 3. Petrov D., Fedasyuk D. *WebTAFС – Web-based Thermal Simulator for Flip-Chip Structures // Proceedings of the VIth International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics” CADSM’2001. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – 2001. – P. 157–159.* 4. Скоцир О., Шолох А. *Підсистема виконання завдань розподіленої системи паралельних обчислень // Матеріали 1-ї Міжнар. конф. молодих науковців CSE–2006. – 2006. – С. 70–71.* 5. Вишневецький Ю.О., Пожуєв В.І. *Застосування розподілених обчислень для розв'язання задач математичної фізики // Вісн. Запорізьк. держ. ун-ту. – № 2: Запорізька державна інженерна академія. – 2002. – С. 101–108.* 6. Спенесер П. *XML. Проектирование и реализация: Пер с англ. – М.: Лори, 2001. – 510 с.* 7. Семчишин Ю.Б., Федасюк Д.В. *Сучасні методи та засоби розпаралелення і розподілення обчислень // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 598: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – С. 154–160.* 8. Ткач Ю., Скоцир О. *Розподілена система паралельних обчислень для розв'язку задач великої розмірності // Матеріали 1-ї Міжнар. конф. молодих науковців CSE–2006. – 2006. – С. 80–81.*