

наук.-техн. конф. «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні». 24 – 26 квітня 2000. – К., 2000. – С. 275 – 281. 3. Черкаський М., Складність апаратно-програмних комп'ютерних засобів // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. “Сучасні проблеми в комп'ютерних науках в Україні” (CCU'2000). – Славське, 2000. – С. 58 – 67. 4. Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу. – Львів, 1996. – 53 С. 5. ГОСТ 28147-89. Система обработки информации. Защита криптографическая. Алгоритм криптографического преобразования. 6. Weeks B., Bean M., Rozyłowicz T., Ficke C. Hardware performance simulations of Round 2 Advanced Encryption Standard algorithms. // *Proceedings of 3rd AES conference*. – New York, Apr. 2000. P. 286 – 304. 7. Dandalis A., Prasanna V. K., P. Rolim J. D., A Comparative Study of Performance of AES Final Candidates Using FPGAs, in *Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES '00* (C. Koc and C. Paar, eds.), (Worcester, Massachusetts, USA), Springer-Verlag, – Aug 2000. 8. Bassham L., Efficiency Testing of ANSI C Implementations of Round1 Candidate Algorithms For The Advanced Encryption Standard, NIST AES report.

УДК 681.317

В.Т. Кремін

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕОМ

КВАЗИПАРАЛЕЛЬНИЙ АЛГОРИТМ МІНІМІЗАЦІЇ БАГАТОЕКСТРЕМАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ

© Кремін В.Т., 2001

Розроблено квазіпаралельний алгоритм оптимізації багатоекстремальних функцій із застосуванням паралельної оптимізації функції за допомогою кількох методів. Наведено результати порівняльного тестування розробленого алгоритму із існуючими.

New quasi-parallel optimization method for minimization multiextremum functions is proposed. The method is suitable for model parameter estimation using experimentally measured data. The test examples show better probability of convergence and possibility to obtain lower cost function values in comparison with other existing methods.

Вступ

Розв'язання багатьох технічних задач часто вимагає оптимізації функцій багатьох змінних. Можна навести ряд прикладів таких задач: вибір параметрів систем автоматичного керування, визначення параметрів моделей об'єктів різних типів за певними вимірними характеристиками цих моделей, синтез частотних фільтрів із заданими характеристиками тощо. Типовий приклад застосування методів оптимізації – визначення параметрів моделей компонентів електронних схем для підсистем автоматизованого проектування, наприклад SPICE. На основі певних вимірних характеристик компонентів необхідно визначити параметри моделі компонента.

Для цього необхідно сформулювати функцію мети (ФМ) (наприклад, за допомогою методу найменших квадратів, методів робастної статистики) і виконати її мінімізацію. Знайдені із мінімізації цієї функції числові значення параметрів вважаються знайденими параметрами моделі елементу. Для вищезгаданих задач функції мети часто виявляються багатоекстремальними та яровими і виникає ряд істотних труднощів при застосуванні методів оптимізації.

Традиційні градієнтні методи оптимізації практично непридатні для мінімізації таких функцій, в той ж час статистичні методи оптимізації вимагають значної кількості обчислень функції мети і характеризуються поганою збіжністю [1]. Тому в літературі [1-4] запропоновано ряд комбінованих методів, в яких намагаються поєднати переваги методів оптимізації різних типів.

Пропонується новий підхід до застосування методів багатоекстремальної оптимізації функцій: замість оптимізації певної функції за допомогою якогось вибраного методу оптимізації оптимізуємо функцію паралельно за допомогою кількох методів, використовуючи сучасні багатозначні операційні системи. В процесі оптимізації аналізуємо ефективність кожного із методів і, якщо певний метод мінімізує функцію найефективніше, то відповідно збільшуємо кількість квантів процесорного часу, які надаються для роботи цим методом.

У випадку, якщо певний метод оптимізації не може помітно покращити значення функції мети, то в цьому випадку його пріоритет знижується, і відповідно, такий метод отримує меншу кількість квантів часу процесора. Якщо певний метод істотно зменшив значення ФМ і досягнув умови своєї збіжності, повторно намагаємося ініціювати оптимізації із початковим значенням, яке було найменшим серед усіх використаних методів оптимізації. Але в цьому випадку спочатку кванти часу процесора розподіляємо рівномірно між кількома процесорами, які відповідають цим методам, а далі розподіл ресурсів процесора змінюємо відповідно до швидкості мінімізації функції тим чи іншим методом. Якщо жоден із методів не може істотно зменшити значення функції мети, то оптимізацію вважаємо завершеною.

1. Опис запропонованого алгоритму

Розглянемо вищеописаний алгоритм детальніше.

Для цього введемо такі позначення: $f(\mathbf{X})$ – функція мети вектора параметрів \mathbf{X} , V_i^k – середня швидкість оптимізації функції мети для деякого k методу оптимізації:

$$V_i^k = \frac{1}{N_i^k} \left[1 - \frac{f(\mathbf{X}_i^{\min})}{f(\mathbf{X}_i^0)} \right], \quad (1)$$

де $f(\mathbf{X}_i^0)$ – значення функції мети перед початком оптимізації, $f(\mathbf{X}_i^{\min})$ – значення ФМ, знайдене за допомогою k методу оптимізації за загальних N квантів часу процесора, відданих даному методу під час i запуску методу. Розглянутий алгоритм використання методів оптимізації може бути записаний у вигляді такої послідовності кроків:

- Вибір методів оптимізації, які будуть використовуватись для мінімізації ФМ та визначення їх початкових параметрів (крок, кількість ітерацій, критерій досягнення збіжності методу тощо).

- Запуск паралельної оптимізації ФМ за допомогою цих методів.

- Обчислення середньої швидкості оптимізації V_i^k після N_i^k квантів часу, використаних k методом.

- Перерозподіл пріоритетів процесів відповідно до знайдених значень V_i^k .

- При досягненні умов збіжності певного методу виділяємо до M_k квантів часу процесора іншим процесам. Якщо за цей час не було досягнуто кращого значення функції мети, то проводимо реініціалізацію всіх методів, зокрема і того, який досягнув найменшого значення ФМ. Перед реініціалізацією перераховуємо вектор початкових значень із урахуванням досягнутого у попередньому етапі значення вектора параметрів. Перерахунок призначений, головним чином, для зменшення діапазону значень компонент вектора параметрів \mathbf{X} . Для перерахунку можна використати перехід до безрозмірного вектора параметрів \mathbf{X}' за таким співвідношенням:

$$\mathbf{X}' = \frac{\mathbf{X}}{\max(\mathbf{X}_i^{\min}, \mathbf{E})}, \quad (2)$$

де \mathbf{E} – деякий наперед заданий вектор.

- Обчислюємо умову припинення оптимізації ФМ. Як таку умову можна використати значення відносної зміни значеннями ФМ після двох послідовних серій використання методів оптимізації:

$$\frac{|f(\mathbf{X}_i^{\min}) - f(\mathbf{X}_{i-1}^{\min})|}{f(\mathbf{X}_i^{\min})} < \varepsilon, \quad (3)$$

де $f(\mathbf{X}_i^{\min})$ і $f(\mathbf{X}_{i-1}^{\min})$ – досягнуте значення ФМ для двох послідовних ітерацій методів оптимізації.

Якщо умова (3) не виконується, то переходимо на п.1 і за поточними і попередніми результатами оптимізації заново обчислюємо параметри кожного із використаних методів оптимізації.

2. Результати тестування алгоритму і порівняння з відомими алгоритмами

Тестування вищерозглянутого алгоритму здійснювалося на прикладі визначення параметрів моделі TriQuint TOM2 чи LEVEL=5 за класифікацією SPICE [5] арсенід-галієвого польового транзистора на основі експериментально вимірних характеристик транзистора. Для визначення параметрів моделі необхідно виконати ряд вимірювань:

- Залежність струму затвору від напруги затвор-стік транзистора.
- Залежність струму стоку від напруг затвор-витік, витік-стік.
- S-параметри транзистора в робочому діапазоні частот.

Серед параметрів моделі найбільш складно обчислити параметри, які визначають статичні вольт-амперні характеристики транзистора із експериментально вимірних залежностей, оскільки функція мети є багатоекстремальною та яровою:

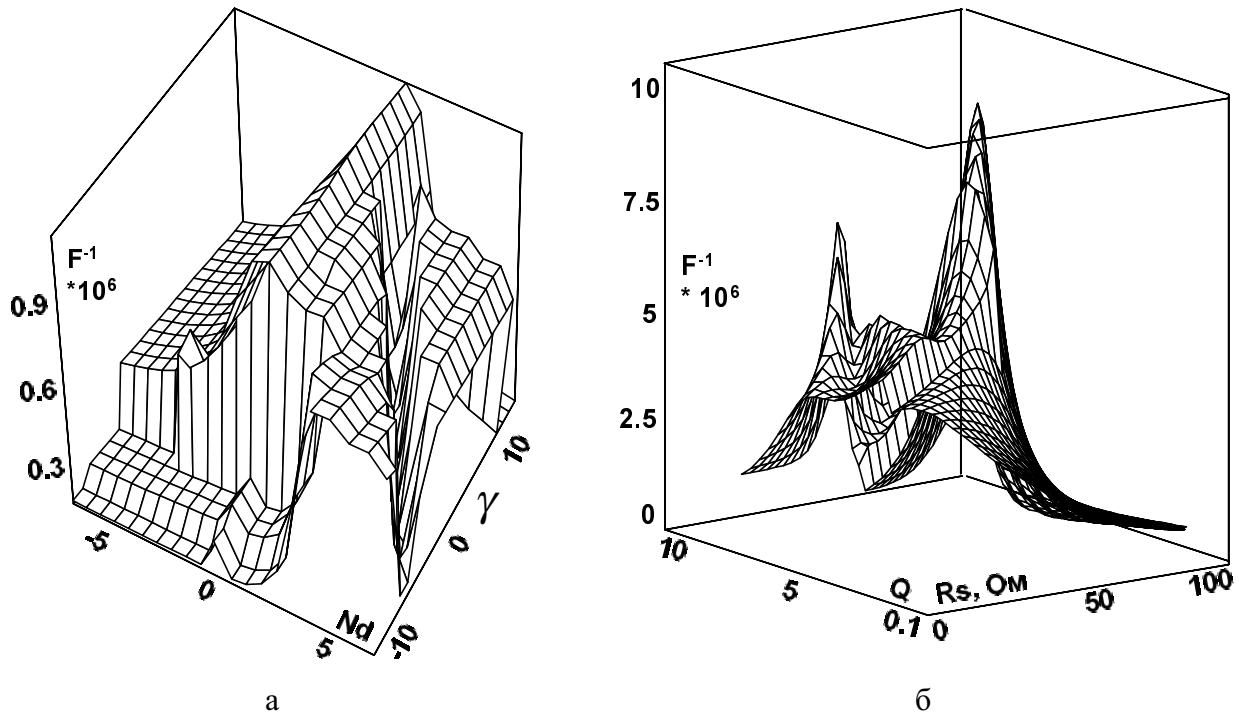


Рис.1. Залежність функції мети F від числових значень параметрів моделі TriQuint TOM-2 ND і GAMMA (а) та Q і RS (б) арсенід-галієвого польового транзистора. Тип транзистора – 3P326A

У даному випадку функція мети обчислювалась як сума різниць розрахункових $I_{\text{drain}}^{\text{розр}}$ та експериментально $I_{\text{drain } i}^{\text{експ}}$ вимірених значень струмів стоку транзистора від напруг витік-стік U_{dsi} і затвор-витік U_{gsi} транзистора із ваговими коефіцієнтами W_i :

$$F(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^N W_i \left(I_{\text{drain } i}^{\text{експ}} - I_{\text{drain}}^{\text{розр}}(U_{\text{gsi}}, U_{\text{dsi}}) \right)^2 \quad (4)$$

Вагові коефіцієнти W_i обчислювались обернено пропорційно до максимального значення струму стоку для визначеної напруги затвор-витік із такою умовою нормування:

$$\sum_{i=1}^N W_i^2 = 1 \quad (5)$$

У таблиці наведено порівняння запропонованого комбінованого методу із відомими, причому комбінований метод викликав нижченаведені методи під час оптимізації.

Кожен метод застосовувався близько 100 разів, за результатами тестувань знаходились середні значення даних, які наведені в таблиці. Імовірність збіжності обчислювалась як відношення кількості спроб, при яких розрахункові вхідні характеристики транзистора повторювали експериментальні з точністю принаймні 20%. Метод POSM виявився непридатним для мінімізації багатоекстремальних функцій, зате забезпечує швидку збіжність в околі локального мінімуму.

Порівняльна характеристика різних методів оптимізації.

Метод оптимізації	Значення функції мети	Кількість обчислень функції мети	Час оптимізації	Імовірність збіжності
Імітації затвердіння	$1.8 \cdot 10^{-8}$	198526	8 хв. 17 с	0.62
Швидкій імітації дифузії	$4.3 \cdot 10^{-9}$	14838	38 с	0.85
Posm	$3.4 \cdot 10^{-5}$	3877	2 хв 15 с	-
SaPosm	$2.6 \cdot 10^{-9}$	7579	44.2 с	0.69
Модифікований метод Растрігіна	$5.9 \cdot 10^{-9}$	9702	25.3 с	0.94
Пропонований	$3.9 \cdot 10^{-9}$	7295	17.8 с	0.98

Тестування проводилось на ЕОМ із одним процесором Intel Pentium II 400 під керуванням Windows NT4. Для практичної реалізації запропонованого алгоритму доцільно використовувати багатопроцесорні розподілені системи під керуванням OS Unix, які ідеально підходять для виконання розподілених обчислень.

Аналіз процесів перемикання між різними методами показав таку картину: при неоптимальному виборі початкових умов спершу достатньо ефективним виявлявся швидкий метод імітації дифузії, оскільки він є найменше чутливий до вибору початкових умов. З наближенням до глобального мінімуму функції його ефективність зменшується. Далі розроблений алгоритм передає керування модифікованому методу Растрігіна із автоматичним перенормуванням змінних, який у парі із POSM завершує оптимізацію. В розробленому алгоритмі оптимізації запропонована процедура циклічного перенормування змінних через знайдені за попередніми значеннями дозволяє зменшити діапазон значень вектора параметрів, які передаються методу і більш ефективно використовувати механізми динамічної адаптації пошуку того чи іншого методу.

У розробленому алгоритмі можливе використання інших методів локальної оптимізації, зокрема ефективно був застосований метод псевдооб'єктної функції [6] для уточнення локального мінімуму функції мети. Вибраний метод повинен потребувати обчислення значень тільки самої функції, без її похідних, оскільки деякі робастні правила формування функції мети не забезпечують існування похідних в точці екстремуму.

3. Висновки

Розроблений алгоритм показав сумарну меншу кількість обчислень функції мети і більш високу імовірність збіжності, що зумовлено, на думку автора, трьома причинами:

- Автоматичним перемиканням методу оптимізації в той момент, коли швидкість оптимізації падає і подальші виклики функції мети виявляються малоефективними для знаходження нових значень вектора невідомих параметрів моделі **X**.

▪ Використанням процедури циклічного перенормування вектора \mathbf{X} через знайдені за результатами попереднього методу значення параметрів, що призводить до ущільнення діапазону значень параметрів моделі і підвищує ефективність процедур динамічної адаптації, які реалізовані у використаних методах оптимізації.

▪ Динамічною зміною параметрів оптимізації вибраних методів. Зокрема, для модифікованого методу Растрігіна [7] спочатку значення параметра припинення ітерацій встановлюється достатньо великим і зменшується в геометричній прогресії при наступних запусках методу.

Звичайно, вибраний алгоритм потребує подальшого вдосконалення. Поряд із удосконаленням методів, використаних для здійснення багатоекстемальної оптимізації головну увагу слід приділити розробці більш ефективних алгоритмів динамічної адаптації параметрів оптимізації і розробці ефективних алгоритмів перемикання між різними методами оптимізації залежно від отриманих результатів оптимізації і динаміки їх зміни.

1. Hu Y.H., Pan S. SaPOSM: // *An Optimization Method to Parameter Extraction of MOSFET Models*. – 1993. – Vol.12. – № 10. – P.1481-1487. 2. Трухачев В.В. Адаптація алгоритма оптимізації многоэкстремальных целевых функций Растрігіна-Букашкіна // *Електроніка і зв'язь: В 2-х ч.* – 1997. – 4.2. – С.474-475. 3. Wilson J. A Simulated Annealing Algorithm for Optimizing RF Power Efficiency in Coupled-Cavity Traveling-Wave Tubes // *IEEE Transactions of Electron Devices*. – 1997. – Vol.44. – № 12. – P.2295-2299. 4. Сенкене Э. Об оптимізації смеси чисто детерминированного и Монте-Карло алгоритмов // *Проблемы управления и информатики*. – 1998. - № 4. – С. 66-71. 5. Cadence Orcad SPICE 9.2 Reference Guide. Electronic Version. – 2000. – 374 p. 6. Tan G.L., Pan S.W., Ku W.H., Shey A.J. ADIC-2.C: A General-Purpose Optimization Program Suitable for Integrated Circuit Design Applications Using the Pseudo Objective Function Substitution Method (POSM) // *IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. – 1988. – Vol. 7. – № 11. – P. 1150–1163. 7. Джала В.Р. Алгоритм статистической оптимізації с адаптацией шага поиска // *Проблемы управления и информатики*. – 1997. – № 2. – С.94–99.