Використання методів логічного програмування з обмеженнями для розв'язку задачі балансування навантаження при розподіленому імітаційному моделюванні

Олена Корольова[1], Ірина Скриль[2]

1). Факультет інформатики, Університет інформаційних технологій та менеджменту (ПОЛЬЩА, м.Жешув) вул. Сухарського 2, E-mail: limatons@gmail.com

2). Кафедра комп'ютерних та інформаційних систем, Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського (УКРАЇНА, м.Кременчук) вул. Першотравнева 20, E-mail: irunka@sat.poltava.ua

We examined the object of load balancing in the task of city traffic flow distributed simulation. We adduce the task formulation in terms of constraint logic programming. It is discussed the questions of programming language choice for the solver realization and results of city transport network partition which are received due to the using of SWI-PROLOG.

I. Вступ

Однією з основних задач розробки паралельних алгоритмів є проблема балансування навантаження. З однієї сторони, збільшення числа процесорів, між якими розділена задача, потенційно може зменшити час її виконання, а з іншої – розподіл роботи між процесорами призводить до необхідності обміну даними між ними, що уповільнює обчислення.

Таким чином, розподіл роботи між фіксованим числом процесорів у загальному випадку повинен відповідати наступним вимогам:

- усі процесори повинні виконувати приблизно однаковий обсяг обчислень;
- обсяг даних, який передається, повинен бути мінімальним.

У загальному випадку паралельна програма може бути представлена зваженим графом, ваги вершин якого можуть розглядатись як деякі елементарні завдання, кожне з яких може бути виконане на будь-якому процесорі, ребра- зв'язки між завданнями, а ваги вершин та ребер – оцінки обсягів часу на виконання завдань та обсягів даних, що передаються. При цьому проблема балансування завантаження може бути зведена до розрізання графу на задане число підграфів таким чином, щоб сумарна вага розрізаних ребер була мінімальною, а сумарна вага вершин, які входять до різних підграфів – приблизно однаковими. Як відомо, означена проблема відноситься до класу NP-повних задач, які розв'язуються наближено. Для рішення задачі балансування розроблена велика кількість евристичних алгоритмів, які відрізняються за структурою, обсягом, критеріями оптимальності [1], [2].

При цьому розрізання графа як моделювання процесу балансування навантаження не може мати загального алгоритму внаслідок великої кількості й різноманіття задач параллельного програмування, а також складності формалізації сукупності критеріїв, що використовуються для оцінки якості отриманих результатів. З цієї причини розробка нових алгоритмів представляє великий інтерес як з теоретичної так і з практичної точок зору.

II. Постановка задачі

Розглянемо задачу балансування навантаження в розробленій авторами імітаційній моделі міських транспортних потоків [3].

Задачою, що розпаралелюється у цьому випадку є обчислення параметрів руху транспортних засобів (прискорення, швидкості, положення і т.д) на ділянках транспортної мережі, а елементарним завданням, що може виконуватись на будь-якому процесорі – обчислення для окремих ділянок магістралі, кожна з яких являє собою одну або декілька однонаправлених полос руху дороги, що з'єднує два перехрестя.

Транспортній мережі, що моделюється, відповідає деякий зважений граф G(X,V,w) порядка n, де $X=\{x1,\ldots,xn\}$ – множина вершин графа; $V \subseteq X \times X$ – множина ребер; $w:V \rightarrow R+$ - відображення, що визначає вагу кожного ребра, де R+ – множина дійсних невід'ємних чисел. Вершини X графа представляють перехрестя транспортної мережі, ребра V - ділянки магістралей, а ваги ребер w – оцінки навантаження відповідних ділянок.

Необхідно визначити розбиття множини вершин X графа G(X,V,w) на k – підмножин (X1,…,Xk) так, щоб для підграфів графа G1(X1,V1,w1),…, Gk(Xk,Vk,wk) виконувались наступні вимоги:

$Xi \cap Xj = \varnothing$, для $\forall$ $i \neq j$,

$$\bigcup_{i=1}^{k} X_i = X \text{ де } i,j=\overline{1,k}; \qquad (1)$$

$$|X1|=n1,\ldots,|Xk|=nk,\ n1+\ldots+nk=n \qquad (2)$$

Перетином розбиття C(X1,…,Xk) будемо називати сукупність ребер, які з'єднують вершини, що належать різним підграфам. В якості критерія оптимальності Q, що визначає ефективність розбиття (X1,…,Xk) будемо розглядати вагу перетину – суму ваг усіх ребер перетину:

$$\mathrm{Q}(X_1,X_2,\ldots,X_k)=\frac{1}{2}\sum_{L=1}^{k-1}\sum_{i\in V_L}\sum_{j\notin V_L} w(x_i,x_j) \rightarrow \min \qquad (3)$$

У цьому випадку оптимальним k-розбиттям є розв'язок (X1*,…,Xk*) екстремальної задачі (3) з мінімальною вагою перетину C(X1*,…,Xk*) за умови виконання системи обмежень (1) та (2), яка визначає область D пошуку рішень. У наведеній постановці задача відноститься до задач переборного типу, число допустимих рішень якої визначається як

$$|D|=\frac{n!}{n_1!\cdot n_2!\cdot\ldots\cdot n_k!\cdot k!}.$$

Для розв'язку розглянутої задачі запропоновано використати методи логічного програмування з обмеженнями (Constraint Logic Programming - CLP) [4].

Сформулюємо задачу в термінах програмування з обмеженнями.

Визначимо множину $P = 1,2,3\ldots K$, елементами якої є номера підграфів, на які розрізається вихідний граф G, k – кількість підграфів. Нехай x_i - номер підграфа, якому належить вузол $i,\ i = 1,2,\ldots,n;\ x_i \in P$.

Обмеження (1) можуть бути записані, як

$$x_1 \vee x_2 \vee \ldots \vee x_n = j\ , = 1,\ldots k \quad (4)$$

Вважатимемо заданими також матрицю інцидентності $V(v_{i,i'}),$ де $v_{i,i'}$ - булева змінна

$$v_{i,i'} = \begin{cases} 1,\ якщо\, вузли\ i\ \ та\ i'\ \ зв'язані, \\ 0,\ якщо\, вузли\ i\ \ та\ i'\ \ не\, зв'язані \end{cases}$$

$$1 \le i \le n,\ 1 \le i' \le n,\ i \ne i'$$

та матрицю ваг ребер $W(w_{i,i'})$, де

$$w_{i,i'} \ne 0, для\ v_{i,i'} = 1,\ \ 1 \le i \le n, 1 \le i' \le n,\ i \ne i' \quad (5)$$

за умови виконання наступних обмежень

$$v_{i,i'} = 1,\ \ 1 \le i \le n, 1 \le i' \le n,\ i \ne i', \quad (6)$$

$$x_1 \vee x_2 \vee \ldots \vee x_n = j\ , = 1,\ldots k \quad (7)$$

Результатом розв'язання задачі буде множина значень кожної змінної x_i, які не суперечать обмеженням а оптимальне рішення визначається за критерієм $\sum_{i=1}^{n}\sum_{i'=1}^{n} w_{i,i'} \to \min$ з обмеженнями (3).

Основною перевагою методу є суттєве зменшення простору пошуку, яке досягається не за шляхом оцінки кожного варіанту розрізу графу, а за рахунок того, що система сама виключає з розгляду ті шляхи, що ведуть в тупик.

В доповіді розглянуті також питання вибору мови програмування для реалізації солверу для даного класу задач та обговорюються результати розв'язку задачі, отримані за допомогою солверу, реалізованого в пакеті SWI-Prolog, що розроблений в університеті м. Амстердам.

Висновок

Показано, що розв'язок задачі балансування навантаження для розподілено імітаційної моделі транспортних потоків, яка є суттєво впливає на час моделювання та ефективність використання обчислювальних ресурсів може бути отриманий методами логічного програмування з обмеженнями.

При цьому суттєво скорочується час обчислень за рахунок автоматичного виключення з розгляду варіантів рішення, що не задовольняють обмеженням.

References

[1] Baumgartner, J. P. and Cook, D. J. 1994. A genetic-based solution to load balancing in parallel computers. In Proceedings of the 22nd Annual ACM Computer Science Conference on Scaling Up : Meeting the Challenge of Complexity in Real-World Computing Applications: Meeting the Challenge of Complexity in Real-World Computing Applications (Phoenix, Arizona, United States, March 08 - 10, 1994). CSC '94. ACM, New York, NY, 157-164.

[2] Baumgartner, J. and Cook, D. J. 1994. A genetic algorithm for load balancing in parallel computers. In Proceedings of the 7th international Conference on industrial and Engineering Applications of Artificial intelligence and Expert Systems (Austin, Texas, United States, May 31 - June 03, 1994). F. D. Anger, R. V. Rodriguez, and M. Ali, Eds. International conference on Industrial and engineering applications of artificial intelligence and expert systems. Gordon and Breach Science Publishers, Newark, NJ, 619-627.

[3] Сисюк Г.Ю. Скриль І.К. Імітаційна модель транспортного потоку на перехресті – Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського № 1 (54). 2009 р.

[4] Montanari U. Networks of Constraints: Fundamental Properties and Applications to Picture Processing // *Inform. Sci.* –V.7, 1974. – P. 95 – 132.