

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 005.22: 005.8: 656.61: 681.3

Л.А. Пономаренко, М.І. Цюцюра

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ МНОЖИНИ РОБІТ ПРОЕКТУ НА СТАДІЇ ПЛАНУВАННЯ ПРОЕКТІВ

Досить часто при плануванні інвестиційного чи реінжинірингового проекту виникає задача вибору оптимального складу множини робіт проекту. Це необхідно за тих умов, коли існують роботи – претенденти на введення до ієрархічної структури робіт проекту, які складають альтернативну множину. Як правило, аналіз ефективності введення до проекту тієї чи іншої альтернативної роботи може бути виконаний шляхом розрахунків, проведених за всім ланцюгом сільової діаграми проекту.

Ключові слова: *оптимізація складу множини робіт проекту, мінімізація суми проміжних результатів з'єднань робіт проекту*

Постановка проблеми

Модернізація виробництва та створення конкурентоспроможної вітчизняної промисловості – першочергове завдання всіх ланок і рівнів економічного механізму.

Метою роботи є вирішення задачі зменшення кількості еквівалентних за структурою варіантів завдання послідовності робіт проекту, які підлягають економічному чи часовому аналізу при управлінні інноваційними проектами модернізації підприємств енергомістких галузей.

Аналіз досліджень

План проекту є офіційно затвердженим документом, який використовується для управління проектом і здійснення контролю за його виконанням. Він має різний ступінь деталізації опису кожного конкретного компонента. У деяких прикладних сферах при посиланні на цей документ використовується термін “інтегрований план проекту”.

Між планом проекту та основами контролю за його виконанням є чітка різниця. План проекту – це документ або добірка документів, котрі повинні з часом змінюватися, оскільки стає доступною все точніша інформація стосовно різних аспектів проекту. Основи ж контролю за виконанням проекту являють собою управлінський контроль, засади якого змінюються тільки періодично і тільки у відповідь на прийняту зміну змісту проекту [6-7].

Є багато способів організації та подання плану проекту [1], в числі таких є: графік проекту, опис змісту проекту, оцінки вартості, основи контролю за дотриманням календарного плану, основні ризики, допоміжні плани управління,

Планування змісту проекту – це письмовий опис змісту необхідний як для проектів, так і для

підпроектів, він формує підґрунтя угоди між командою проекту і замовником проекту з метою визначення як завдань проекту, так і основних його робіт. Якщо всі елементи опису змісту вже доступні, то цей процес може містити в собі дещо більше, ніж просто створення певного письмового документа.

Визначення змісту інноваційного проекту – це поділ основних робіт проекту (визначених під час опису змісту) на дрібніші, більш керовані з метою: удосконалення точності оцінок вартості, часу та ресурсів; визначення основи для контролю виконання; удосконалення розподілу відповідальності. Дотримання цих правил є найважливішим для успішного завершення проекту. Якщо зміст проекту визначено незадовільно, то заключна вартість проекту скоріше за все буде вищою, оскільки стануться неминучі зміни проекту, які зіб'ють його ритм, спричинять численні перероблення, подовжать час виконання, знизять продуктивність працівників.

Щоб досягти поставлену мету дослідження, необхідно формалізувати оцінку складності виконання обчислювальних операцій із великою кількістю відношень при інноваційній діяльності в рамках проектів модернізації підприємств.

Вирішення проблеми

Оптимізація складу множини робіт проекту.

Головна проблема оптимізації пов'язана з оцінкою складності виконання обчислювальних операцій із великою кількістю відношень. Як правило, на практиці найчастіше обирається стратегія найближчих оптимальних рішень. Більшість таких стратегій передбачає еквівалентні перетворення алгебраїчних виразів, на яких будуються кортежі альтернативних послідовностей робіт проекту.

Швидкість обробки таких кортежів може бути значно збільшена, якщо перед їх аналізом модифікувати план виконання алгебраїчних операцій порівняння. Мета таких модифікацій – отримання еквівалентної множини робіт, але такої, що вимагає менше часу й пам'яті для її аналізу [4;5;9].

Одним із важливих властивостей, що впливають на ефективність аналізу, є послідовність обчислення з'єднань у ланцюзі операцій реляційної алгебри. З'єднання – це визначальна операція, бо час її виконання пропорційний часу виконання операції об'єднання відношень. Критерієм складності структури множини робіт можна обрати оцінку кількості проміжних операцій з'єднання і порядок виконання комутуючих і асоціативних операцій.

При докладному розгляді операції з'єднання можна зазначити важливість способу її обчислення. Вибраний спосіб може визначатися або тим, як зберігається відношення, або наявністю зв'язаних додаткових структур. При цьому процедура обчислення може проводитися різними методами, наприклад, послідовним чи індексним доступом, із урахуванням або без урахування дублікатів тощо.

Способи реалізації процедури аналізу варіантів визначення послідовності робіт проекту, які розглядаються у статті, використовують властивості операцій алгебри й теорії множин. Подальші розрахунки будуть базуватися на операціях з'єднання і правилах, що дозволяють здійснювати алгебраїчні перетворення [1;2;3;8;10]. Алгоритм перебору має вибрати оптимальний план аналізу переліку потенційних робіт проекту на основі дослідження простору пошуку. Алгоритми перебору багатьох існуючих систем розраховані на вибір лише оптимального порядку лінійних з'єднань.

На практиці бажано мати такий алгоритм перебору, який міг би легко пристосовуватися до змін простору пошуку з причини додавання нових перетворень, додавання нових фізичних операцій (наприклад, нових реалізацій з'єднань) і до змін методів оцінки вартості. Сучасні архітектури оптимізації побудовані на основі цієї парадигми і називаються оптимізаторами, що розширюються [2;7].

Побудова оптимізатора, що розширюється – складна задача, оскільки необхідна не тільки наявність покращеного алгоритму перебору, але й забезпечення інфраструктури для розвитку техніки оптимізації. Проте загальність архітектури має бути збалансованою з потребою в ефективному переборі. Таким чином, однією із важливих складових частин оптимізатора є наявність ефективного методу перебору, який визначає послідовність виконання операцій аналізу.

Мінімізація суми проміжних результатів з'єднань відношень бази робіт проекту. Одним із критеріїв підвищення ефективності виконання аналізу є зменшення кількостей кортежів у відношеннях при багатократному з'єднанні. За умови, що операція з'єднання передбачає звернення до кожного кортежу відносин, які з'єднуються, виникає задача пошуку такої послідовності, яка гарантує найменшу сумарну кількість звернень до кортежів при послідовному з'єднанні.

Нехай база робіт R містить в собі шість відношень $r(R) = \{r_1(R), r_2(R), r_3(R), r_4(R), r_5(R), r_6(R)\}$, і нехай кожне відношення налічує $r(R) = \{10, 5, 8, 3, 6, 4\}$ кортежів відповідно.

Тоді при послідовному з'єднанні, коли виконується умова

$$R = R_1 \triangleright \langle R_2 \rangle \langle R_3 \rangle \langle R_4 \rangle \langle R_5 \rangle \langle R_6,$$

сумарна кількість переглянутих кортежів буде відповідати виразу $r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6$, де $r_1 = 10$, $r_2 = 10 * 5$, $r_3 = r_2 * 8$, $r_4 = r_3 * 3$, $r_5 = r_4 * 6$, $r_6 = r_5 * 4$, тобто $r(R) = 37660$.

Використовуючи властивості асоціативності та комутативності операції з'єднання та змінюючи загальну послідовність з'єднань, можна зменшити (збільшити) значення $r(R)$. Змінимо послідовність операцій. Поміняємо місцями R_1 і R_6 . Тоді відношення R' буде подане виразом:

$$R' = R_6 \triangleright \langle R_2 \rangle \langle R_3 \rangle \langle R_4 \rangle \langle R_5 \rangle \langle R_1,$$

і відповідно, $r(R') = 32344$. Таким чином, для обчислення відношення R при такій послідовності буде потрібно на 5316 розрахункових операцій менше. Враховуючи, що кількість перестановок N елементів певної множини скінченна і дорівнює $n!$ (для даного прикладу $6!$), завжди можна одержати найменшу суму послідовного добутку.

Нехай $X = \{x_1, \dots, x_n\} \in N$, де N – множина натуральних чисел, і хай результати операцій добутку утворюють множину $P = \{p_1, \dots, p_m\}$, де $p_1 = x_1 \cdot x_2$, $p_2 = p_1 \cdot x_3, \dots, p_m = p_{m-1} \cdot x_n$.

Необхідно знайти таку послідовність p_1, p_2, \dots, p_m , за якої $\sum_{i=1}^m p_i @ \min$.

Теорема про найменшу суму проміжних результатів послідовного добутку: значення суми проміжних результатів P_i , ($i = 1, \dots, m$) послідовного добутку елементів множини $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ буде найменшим, якщо значення X_1, X_2, \dots, X_N упорядковані за зростанням, тобто $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

Доведення 1: Нехай $x_i, x_j \in X$, $i \neq j$, $i, j = 1, \dots, n$, і хай $p = x_i \cdot x_j$. Очевидно, що добуток із наступним за порядком елементом множини X має вигляд $p_i = p_{i-1} \cdot x_{i+2}$ і буде найменшим, якщо $x_{i+2} = \min_k X$, $k = 1, \dots, n - (i+1)$. З іншого боку, значення p буде

найменшим, якщо початкові значення x_i, x_j будуть найменшими, тобто $x_i, x_j = \min_k X, k = 1, \dots, n$.

Доведення 2: Упорядкуємо значення X_1, X_2, \dots, X_N за зростанням: $X_1 < X_2 < \dots < X_N$. Запишемо загальний вигляд суми проміжних результатів послідовних добутків елементів множини X при такому впорядкуванні:

$$X_1 \cdot X_2 + \dots + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_i + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_i X_{i+1} + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots \cdot X_j + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots \cdot X_j + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots \cdot X_j \cdot \dots \cdot X_N$$

та позначимо її S_1 .

Поміняємо місцями довільні елементи X_i і X_j із множини X і знайдемо суму S_2 проміжних результатів послідовних добутків при такій перестановці:

$$X_1 \cdot X_2 + \dots + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_j + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_j X_{i+1} + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_j \cdot \dots \cdot X_{j-1} + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_j \cdot \dots \cdot X_i + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots \cdot X_j \cdot \dots \cdot X_N$$

Обчислимо різницю $\Delta = S_2 - S_1$. З урахуванням комутативності операції множення одержимо:

$$\begin{aligned} \Delta &= (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_j + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_j X_{i+1} + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_j \cdot \dots \cdot X_{j-1}) - \\ &- (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_i + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} X_i X_{i+1} + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot \dots \cdot X_{j-1}) = \\ &= (X_j - X_i) (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_{i-1} + X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_i \cdot X_{i+1} + \dots + X_1 X_2 \cdot \dots \cdot X_{j-1}) > 0. \end{aligned}$$

Отже, при послідовному перемноженні деяких значень $x_1, \dots, x_n \in X$ сума проміжних результатів буде найменшою, якщо значення, які розглядаються, упорядковані за зростанням $x_1 < x_2 < \dots < x_n$.

Із теореми про найменшу суму проміжних результатів послідовного добутку випливає, що при зміні порядку перемноження сума результатів також зміниться.

Оскільки операція з'єднання є комутативною, послідовність її виконання необов'язково має бути лінійною. Зокрема, варіант аналізу послідовностей виконання сільового графіка робіт проекту для бази робіт R може бути алгебраїчно поданий як:

$$R = (R_1 \triangleright \triangleleft R_2) \triangleright \triangleleft (R_3 \triangleright \triangleleft R_4) \triangleright \triangleleft (R_5 \triangleright \triangleleft R_6).$$

При такій послідовності аналізу ланцюгів робіт значення $r(R)$ дорівнюватиме 28800, що значно менше попередніх значень, одержаних послідовним виконанням операції з'єднання. У подальшому таку послідовність будемо називати парною.

Таким чином, за скінченне число кроків, можна знайти таку послідовність пар добутків, за якої сума проміжних результатів буде мінімальною. Відмінність парного з'єднання від послідовного полягає у тому, що загальна сума проміжних результатів визначається в результаті кількох незалежних кроків. Спочатку підсумовуються добутки довільних пар, після чого результати

перемножуються парами у довільному порядку, поки не будуть перемножені всі можливі варіанти.

Теоретично не виключено варіант змішаного добутку, коли частина операцій виконується лінійно, а частина – попарно. Формулу такого добутку можна подати як послідовність

$$R = (R_1 \triangleright \triangleleft R_2) \triangleright \triangleleft (R_3 \triangleright \triangleleft R_4) \triangleright \triangleleft (R_5 \triangleright \triangleleft R_6).$$

Порівняємо результати з'єднання, отримані різними способами. Для лінійної упорядкованої за значеннями послідовності

$R = R_4 \triangleright \triangleleft R_6 \triangleright \triangleleft R_5 \triangleright \triangleleft R_2 \triangleright \triangleleft R_3 \triangleright \triangleleft R_1$ результат буде відповідати значенню $r(R) = 32055$. Для довільного парного з'єднання вигляду $R = (R_1 \triangleright \triangleleft R_4) \triangleright \triangleleft (R_2 \triangleright \triangleleft R_6) \triangleright \triangleleft (R_3 \triangleright \triangleleft R_5)$ результат буде $r(R) = 28800$. При довільному змішаному з'єднанні $R = (R_1 \triangleright \triangleleft R_2) \triangleright \triangleleft (R_3 \triangleright \triangleleft R_4) \triangleright \triangleleft (R_5 \triangleright \triangleleft R_6)$ результат буде дорівнювати $r(R) = 28800$.

Аналізуючи результати, одержані різними способами, у контексті задачі, яка розглядається, необхідно сформулювати та розв'язати задачу пошуку мінімальної суми проміжних результатів на кожному кроці вибору пари з'єднання. У загальному випадку задачу можна подати як підбір таких значень із деякої множини цілих чисел, добутки яких дає мінімальну суму проміжних результатів.

Будемо стверджувати що мінімальна сума довільних пар добутків досягається при перемноженні найменших і найбільших значень заданої множини. Для доведення цього факту розглянемо теорему.

Теорема про найменшу суму проміжних результатів парного добутку: Хай задана множина $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \in \mathbb{N}$, тоді мінімум суми парних добутків $\sum_{i,j=1}^n (x_i x_j) \rightarrow \min$ досягається при $x_i = \min \{x_1, \dots, x_n\}$ і $x_j = \max \{x_1, \dots, x_n\}$.

Доведення: Спираючись на те, що кількість можливих пар множини X є скінченною і залежить від перестановок елементів X , кількість яких дорівнює $n!$, покажемо, що завжди можна знайти такі пари елементів, які визначають найменшу суму при перемноженні.

Хай $x_i, x_j, x_k, x_l \in X$, причому $x_i < x_j < x_k < x_l$. Розглянемо добутки пар $p_1 = x_i \cdot x_k, p_2 = x_j \cdot x_l, p_3 = x_i \cdot x_l, p_4 = x_j \cdot x_k$. Покажемо, що $(p_1 + p_2) > (p_3 + p_4)$.

Подамо елементи p_1, p_2, p_3, p_4 як елементи добутку різниць $(x_j - x_i) \cdot (x_l - x_k)$. Очевидно, що $(x_j - x_i) > 0$ і $(x_l - x_k) > 0$ і, таким чином $(x_j - x_i) \cdot (x_l - x_k) > 0$. Розкривши дужки, отримаємо нерівність $x_j \cdot x_l - x_j \cdot x_k - x_i \cdot x_l + x_i \cdot x_k > 0$. Згрупувавши від'ємні й додатні пари добутків, одержимо $x_j \cdot x_l + x_i \cdot x_k > x_j \cdot x_k + x_i \cdot x_l$, тобто $(p_2 + p_1) > (p_4 + p_3)$.

Застосовуючи цю властивість для всіх елементів множини X , завжди можна одержати найменшу суму проміжних результатів, у

середньому за $2n!$ можливих перестановок. Таким чином, починаючи із будь-якої пари, за скінченне число кроків можна знайти послідовність, що відповідає мінімальній сумі добутків елементів множини X .

Із теореми про мінімальну суму парних добутків випливає, що для упорядкування послідовності елементів алгоритм складання пар добутків має вибирати крайні елементи (мінімальний і максимальний) і переміщуватися до середини множини, поки не будуть рівними індекси зсуву справа і зліва. У нашому випадку шукана сума становитиме 21600.

У багатьох системах послідовність операцій з'єднання синтаксично обмежена. Як було показано вище, парна послідовність з'єднань вимагає менше обчислювальних затрат на створення проміжних відношень. Хоча така послідовність приводить до більш ефективного плану виконання аналізу, вона значно збільшує обчислювальні затрати на перебір простору пошуку. З іншого боку, найбільш суттєвою є не вартість генерації синтаксичних порядків з'єднань, а процедура вибору фізичних операцій та оцінка кожного можливого плану. Важливо розрізнити властивості виконання відбору послідовностей робіт і обчислювальні витрати, пов'язані з побудовою реального WBS проекту [5;7;10].

Висновки

Модернізація виробництва та створення конкурентоспроможної вітчизняної промисловості – першочергове завдання всіх ланок і рівнів економічного механізму. Повсюдно має укріпитися розуміння того, що будь-яке підприємство не зможе ефективно працювати без нових розробок, реалізації ефективних інноваційних проектів.

Доведено теореми: про найменшу суму проміжних результатів послідовного добутку та про найменшу суму проміжних результатів парного добутку, в результаті чого зроблено висновок, що парна послідовність з'єднань вимагає менше обчислювальних затрат на створення проміжних відношень.

Отримано результати, які дозволяють формалізувати алгоритм виконання операцій з'єднання відношень при побудові множини послідовностей робіт проекту і при цьому мінімізувати кількість кортежів на проміжних ітераціях. Загальна задача побудови плану виконання аналізу множини альтернативних робіт проекту зводиться до оцінки обчислювальних витрат за заданими критеріями. Розроблені перетворення кортежів варіантів дозволяють значною мірою збільшити швидкість обробки множини альтернативних робіт шляхом модифікації плану виконання певних алгебраїчних операцій.

Розглянуто принципи побудови мінімальної за обсягом множини робіт сітьового графіку проекту і способи їх реалізації. Як основна операція, що впливає на ефективність побудови графіка, виділена операція з'єднання. Запропоновані варіанти послідовності з'єднання відношень, які мінімізують суму кортежів у проміжних результатах. Доведена оптимальність таких послідовностей.

Список літератури

1. Пономаренко Л.А. Комп'ютерні технології управління інноваційними проектами: підручник/ Л.А. Пономаренко. – К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2001. – 423 с.
2. Чаудхари С. Методи оптимізації запитів в реляційних системах // Системи управління базами даних/ С. Чаудхари. – № 3, 1998. – С. 22 – 27.
3. Керівництво з питань проектного менеджменту. – Довідник. Українська асоціація управління проектами. – К.: ВІПОЛ, 1999. – 198 с.
4. Подготовка и управление инновационными проектами: Учебные материалы / Сост.: С.Д. Бушуев, А.А. Колпаков, А.В. Лаврентьев, В.В. Морозов. – К.: УкрИНТЭИ, 1998. – 136 с.
5. Пономаренко Л.А., Моделі ситуаційної диспетчеризації при виконанні робіт проекту // Проблеми системного підходу в економіці / Л.А. Пономаренко, С.В. Цюцюра. - Зб. нац. праць. – К.: НАУ, 2006. – Вип.. 19. – С. 238 – 249.
6. Цюцюра С.В. Управління інноваційними проектами модернізації підприємств енергоємних галузей // Монографія К.: Науковий світ, 2007 – 225 с.
7. Пономаренко Л.А. Принципи побудови мінімальної множини робіт графіків виконання проектів модернізації // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. праць/Л.А. Пономаренко, С.В. Цюцюра. – Луганськ: Східноукраїнський нац. ун-т ім. В.Даля, 2006. – № 3 (19). – С. 90 – 104
8. Том Норберт. Управление изменениями // Проблемы теории и практики управления/Том Норберт. – № 1. – 1998.
9. Ойхман Е.Г. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии / Е.Г. Ойхман, С.В. Попов. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 336 с.
10. Зиндер Е. Реинжиниринг бизнес-процессов и автоматизация офиса //Е.Зиндер. - www.citfoRum.Ru.

Стаття надійшла до редколегії: 11.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Д. Бушуєв, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ