УДК 004.2 (045)

Красовська Є. В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕНОГО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Інститут комп'ютерних технологій Національного авіаційного університету

Дана робота присвячена проблемі оцінки ефективності алгоритмів синхронізації (АС) часу для розподіленого імітаційного моделювання (PIM). Розглянуто імітаційні моделі, що складаються з процесів, які взаємодіють шляхом обміну повідомленнями.

Вступ

В сучасному у світі існує велика потреба в обчислювальних системах із надвисокою продуктивністю. До найбільш перспективних відносяться методи підвищення продуктивності, які засновані на розпаралелюванні та конвеєризації. Для паралельно-конвеєрних систем велике значення має система ефективного використання ресурсів. Щоб визначити умови, при яких ресурси розподіляються ефективно, необхідно досліджувати залежність часу рішення завдань системою від різних характеристик системи, таких як кількість процесорів, кількість стадій обробки, потреби завдань у ресурсах.

Як правило математичну модель паралельно-конвеєрних систем удається побудувати лише для деяких окремих випадків, тому найбільш поширеним методом дослідження таких систем є імітаційне моделювання.

Постановка проблеми

Відмінною рисою програм імітаційного моделювання є те, що вони повинні відтворювати поведінку всіх процесів моделі в єдиному модельному часі. Через те що процеси розвиваються паралельно, модельний час різних процесів може розвиватися нерівномірно. Але семантика опису моделі припускає, що модельний час єдиний для всіх процесів. До тих пір, поки процеси розвиваються ізольовано, немає нічого поганого в тому, що вони розвиваються нерівномірно. Але коли процеси починають взаємодіяти, різниця модельних часів може привести до серйозних наслідків. Тому, крім синхронізації процесів, що обумовлюється особливостями кожної моделі і яку користувач повинен явно описати в тексті моделі, система PIM повинна забезпечувати додаткову (прозору для користувача) синхронізацію процесів моделі, щоб результати моделювання були б отримані такі, як якби система дійсно розвивалася в єдиному модельному часі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Усі АС можна розділити на чотири основних класи [2]: строго синхронні, із синхронізацією взаємодій, консервативні та оптимістичні.

Строго синхронні АС реалізують єдині глобальні годинники для всієї моделі, тобто будь-яка подія просування модельного часу підлягає синхронізації.

Консервативні АС та АС із синхронізацією взаємодій дозволяють процесам розвиватися незалежно до того часу, поки не зустрінеться подія отримання повідомлення. Обробка цієї події дозволяється тільки у випадку, якщо відомо, що процес не може отримати "відстаюче" повідомлення. (Для АС із синхронізацією взаємодій: якщо у всій моделі не можуть з'явитися повідомлення з меншим модельним часом.). Інакше процес блокується й чекає, коли можна буде обробити подію отримання повідомлення.

Оптимістичні АС (ОАС) дозволяють моделі розвиватися природно без будь-яких обмежень, але при виникненні некоректних ситуацій (отриманні "відстаючого" повідомлення) виконують відкіт назад.

Немає однозначної відповіді на питання, який з АС краще. Усі алгоритми мають свої плюси й мінуси, і їхня швидкодія залежить від властивостей імітаційних моделей.

Мета роботи – розробка методу порівняння ефективності застосування різних АС для різних імітаційних моделей.

Критерієм ефективності є час моделювання. Для даної імітаційної моделі краще той АС, час моделювання, під керуванням якого, менше.

Математична модель функціонування пари (АС, імітаційна модель). Дана математична модель є узагальненням по числу процесів математичної моделі взаємодії двох процесів під керуванням ОАС, розробленого *D.Mitra* й *I.Mitrani*. Крім того, модель, узагальнена для можливості опису інших, відмінних від оптимістичних, АС.

N взаємодіючих процесів виконуються на P процесорах $P=\{1,N\}$. Варіант $1<P<N$ не розглядаємо, тому що в такому випадку швидкість розвитку додатка буде залежати ще й від алгоритму розподілу процесів по процесорах. За системою ведеться спостереження в дискретні моменти фізичного часу 1,2,..., які можуть інтерпретуватися як кроки розвитку. Кроки – це інтервали роботи процесів між моментами спостережень за системою. Кожен процес має свій локальний час або в системі єдиний модельний час (у цьому випадку значення всіх локальних годин на будь-якому кроці однакові). На i-му кроці стан системи визначається значенням вектора $X_i = (x_i^1, x_i^2, \ldots, x_i^N)$ поточного модельного часу системи. (Надалі скрізь під терміном час будемо мати на увазі модельний час.) Компонентами вектора X_i є значення локальних годин процесів. Значення X_i змінюються на кожному кроці за певним законом. Цей закон описується випадковим процесом, вид якого залежить від конкретного АС, тобто X_i – випадковий процес. На будь-якому кроці процеси можуть обмінюватися повідомленнями. k-й процес на i-ому кроці посилає повідомлення l-му процесу з імовірністю $\alpha_i^{kl}\ (k,l=\overline{1,N}),\ 0 \le \alpha_i^{kl} \le 1$. Припускаємо, що повідомлення передаються миттєво. Витрати модельного часу на внутрішню роботу протягом i-го кроку характеризуються випадковими величинами $\{\xi_i^k\},\ k=\overline{1,N}, \xi_i^k > 0$.

Отже, вхідними параметрами моделі є ймовірності посилки повідомлень між процесами $\{\alpha_i^{kl}\}$ і збільшення локальних годин процесів $\{\xi_i^k\}$. Ці параметри характеризують імітаційну модель. АС характеризує закон просування модельного часу.

Вибираючи значення P і закон просування модельного часу, можна побудувати моделі функціонування як послідовних імітаційних моделей, так і розподілених із синхронними, консервативними або оптимістичними АС.

Метою побудови таких моделей є аналіз і порівняння різних АС. Критерієм ефективності при порівнянні є фізичний час моделювання, тобто краще той АС, що здатний за однакову кількість кроків (аналог фізичного часу) розвити імітаційну модель до більшого значення часу. Оскільки оптимістичні АС допускають відкоти, а інші АС – блокування процесів, то те ж саме імітаційна модель під керуванням різних АС за однакову кількість кроків досягає різних значень часу.

Введемо час системи на i-му кроці як наступну функцію:

$$T(i, M(X_i)) = \max(M(x_i^1), M(x_i^2), \ldots, M(x_i^N)) .$$

Фіксуємо деякий, досить великий номер кроку I. Не обмежуючи спільності, будемо вважати, що на цьому кроці завершується процес імітаційного моделювання. Нас цікавить час, що система може досягти за I кроків.

Нижче розглянемо модель класичного ОАС.

Класичний ОАС. $P=N$. X_i – вектор $(x_i^1, x_i^2, ..., x_i^N)$, де x_i^k – значення локальних годин k-го процесу.

Розглянемо закон просування часу. Якщо на i-му кроці k-й процес одержав відстаюче повідомлення від l-го $(x_i^l < x_i^k)$, то він робить відкіт до часу $x_i^l (x_{i+1}^k = x_i^l)$. Оскільки він може одержати кілька відстаючих повідомлень, то він робить відкіт до $\min\limits_{l \in Mstragglers_i^k} x_i^l$, де $Mstragglers_i^k$ – безліч процесів, що надіслали k-му на i-му кроці відстаючі повідомлення.

Незалежно від того, відбувся відкіт, чи ні, k-й процес просуває свої години на випадкову величину ξ^k.

Позначимо $k \to l$ подію "k-й процес послав повідомлення l-му". Позначимо I_i^B - індикатор події B.

$$I_i^B = \begin{cases} 1, \text{подія } B \text{ сталася на} \\ i - \text{му кроці} \\ 0, \text{подія } B \text{ не сталася} \\ \text{на } i - \text{ му кроці.} \end{cases}$$

Тоді $I_i^{m \to n}$ – індикатор події посилки повідомлення m-м процесом n-у на i-му кроці, а $I_i^{x_i^m < x_i^n}$ – індикатор події, що полягає в тому, що на i-му кроці значення локальних годин m-го процесу менше значення локальних годин n-го.

Розвиток моделі може бути описано наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} x_{i+1}^n = x_i^n + \xi^n - \max\limits_{m=1,N}((x_i^n - x_i^m) I_i^{m \to n} I_i^{x_i^m < x_i^n}), \\ x_0^n = 0, \\ n = \overline{1, N}. \end{cases} \quad (1)$$

Дійсно, на кожному кроці для будь-якого процесу n до попереднього значення його локальних годин додається випадкова величина ξ^n, що відбиває витрати на внутрішню роботу процесу на кроці. Крім того, якщо існують процеси (хоча б один), що надіслали відстаючі повідомлення, тобто

$$\exists m^1, \ldots, m^k ; k < N : m^1, \ldots, m^k \in$$

$$\in Mstragglers_i^k : I_i^{m^l \to n} =$$

$$= 1, \; I_i^{x_i^{m^l} < x_i^n} = 1, \; l = \overline{1, k},$$

то необхідно зробити відкіт до $\min\limits_l (x_i^{m^l})$.

Відкоту відповідає вирахування величини $\max\limits_l (x_i^n - x_i^{m^l})$.

Метод оцінки ефективності різних пар (ОАС, імітаційна модель). За допомогою запропонованої моделі можна оцінити час, до якого здатна дійти пара (АС, імітаційна модель) за будь-яке фіксоване число кроків. Це дозволяє оцінювати ефективність різних АС для різних імітаційних моделей. Для цього необхідно:

1. Вибрати моделі АС, які інтересують.
2. Задати параметри імітаційних моделей.
3. Оцінити значення $T(I, M(X_I))$ для всіх пар. Чим більше $T(I, M(X_I))$,

тим ефективніше даний АС для даної імітаційної моделі.

4. Вибрати найбільш ефективний для даного типу імітаційних моделей АС.

Виділимо основні параметри імітаційних моделей, які суттєві для нашої моделі:

a. Розкид значень збільшень локальних годин:

$$M(\Delta T) = \max_{n=1,N} M(\xi^n) - \min_{n=1,N} M(\xi^n).$$

b. Інтенсивність обміну повідомленнями.

Вона може характеризуватися математичним очікуванням числа посланих повідомлень у системі за 1 крок: Нехай K_i – число посланих повідомлень у системі за i-й крок.

$$M(K_i) = \sum_{k=1}^{N} \sum_{l=1}^{N} \alpha_i^{kl} \le N^2,$$

або якоюсь умовою типу $\alpha_i^{kl} \to 0 \ \forall i,k,l$.

c. Топологія моделі.

Для деяких класів імітаційних моделей можна виділити типову топологію. Якщо цього зробити не можна, то розглядається загальний випадок, коли всі процеси пов'язані з усіма.

d. Закон розподілу збільшень локальних годин.

Якщо він не відомий, то розглядається рівномірний і показовий. Рівномірний розподіл відповідає випадку, коли відомий діапазон значень випадкової величини, але відсутні будь-які знання про закономірності її зміни. Показовий розподіл має властивість відсутності післядії. Аналогічно й у системі (1), значення x_i^k залежать тільки від x_{i-1}^k і не залежать від попередніх кроків.

Обираючи для кожного параметра деякий клас значень, одержуємо деякий тип імітаційної моделі.

Оцінити значення $T(I, M(X_I))$ можна за допомогою методу статистичних випробувань. У такому випадку, додатково можна знайти інші характеристики АС. Наприклад, середнє число відкотів для ОАС. Для імітаційних моделей з регулярними взаємодіями були підібрані швидкі для підрахунку оцінки. Під класом імітаційних моделей з регулярними взаємодіями розуміємо імітаційні моделі, що володіють наступними властивостями:

1. Імовірності посилки повідомлень однакові для кожного i-го кроку $i \in \{1,2,,3,\ldots\}$.

2. Дисперсії збільшень локальних годин досить малі.

Висновки

Таким чином, побудована математична модель функціонування пари (АС, імітаційна модель). На її основі досліджені властивості різних АС, дана класифікація імітаційних моделей і запропонований метод порівняння ефективності застосування різних АС для різних імітаційних моделей.

Список літератури

1. *Аникеев М. В., Чефранов А. Г.* Анализ эффективности адаптивного управления ресурсами параллельно-конвейерных вычислительных систем //Синергетика и теория самоорганизации. – Таганрог: ТРТУ, 1998.

2. *Ю. П. Козаків, Р. Л. Смелянский.* Про організації розподіленого імітаційного моделювання. // Програмування №2, 1994. – С. 45-63.

3. *Саак А. Э.* Анализ функционирования параллельно-конвейерных систем в условиях неопределенности: Дисс. канд. техн. наук. – Таганрог, 1993. – 323 с.

4. *A. Bakhmurov, A. Kapitonova, R. Smelinasky.* DYANA: An Evironment for Embedded System Design and Analysis, in Proc. of 32-nd Annual Simulation Symposium, San Diego, California, USA, April 11-15, 1999.