

Анализ виртуального времени в оптимистическом алгоритме параллельного моделирования дискретных событий

Хомутов Е.В., НИУ Высшая школа экономики,
МИЭМ, Научный центр в Черноголовке,
evgen19-97@ya.ru,

Зиганурова Л.Ф., НИУ Высшая школа экономики,
Аспирантская школа по компьютерным наукам, Научный центр в Черноголовке,
ziganurova@gmail.com

Аннотация

Рассматривается модель эволюции профиля локальных времен оптимистического алгоритма параллельного моделирования дискретных событий модель изучается на топологии малого мира: регулярной топологии с малой концентрацией p дальних связей между логическими процессами (ЛП). В результате работы была определена степенная зависимость скорости роста профиля локальных виртуальных времен (ЛВВ) от вероятности возникновения ошибки q и от параметра p ; была изучена ширина профиля ЛВВ, и проведен анализ загруженности системы.

1 Введение

Параллельное моделирование дискретных событий (ПМДС) [1] — это метод моделирования систем, состояние (совокупность данных и задач на конкретный момент времени) которых изменяется дискретно, то есть в конкретные моменты времени. Особенностью метода ПМДС является отсутствие глобальной синхронизации с использованием памяти — синхронизация происходит за счет обмена сообщениями с временными метками между параллельными логическими процессами (ЛП). В роли программного элемента могут выступать отдельные физические элементы, как отдельный процессор, так и разные потоки одного процессора. Каждый ЛП имеет характеризуется своим локальным виртуальным временем. Виртуальное время отражает прогресс системы и необходимо для синхронизации ЛП [2]. Набор локальных виртуальных времен всех ЛП называется профилем ЛВВ.

Существует три класса механизмов синхронизации: консервативные и оптимистические, и FaS [7]. В консервативных алгоритмах проверка причинно-следственной связи на разных процессах происходит на каждом шаге виртуального времени, и выполняются заведомо не вызывающие ошибки причинности

задачи. В оптимистических алгоритмах параллельные процессы могут обрабатывать события без проверки причинно-следственной связи в течение некоторого временного окна; при обнаружении ошибки запускается механизм отката по времени.

Для изучения свойств оптимистического алгоритма мы строим модель эволюции профиля ЛВВ — подход, предложенный Корнисом и соавторами [3]. Данная работа является логическим продолжением исследований, проведенных в работах [3] и [6].

2 Модель

Мы рассматриваем модель оптимистического алгоритма ПМДС на топологии с малым числом дальних связей. Такую топологию описывает граф, вершинами которого являются ЛП, а ребрами — связи между ЛП (см. Рис.1). Графы такого типа относятся к сетям малого мира [3], [4].

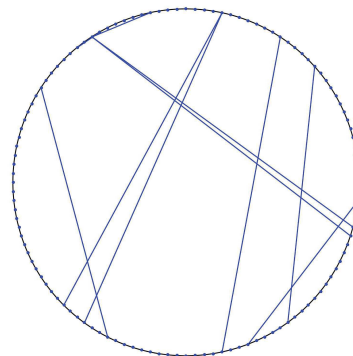


Рис. 1 Вариант топологии модели

Рассматриваемая нами модель роста профиля ЛВВ в оптимистическом алгоритме ПМДС может быть представлена следующим псевдокодом:

Инициализируем топологию системы с долей p дальних связей;

Повторяем $Number_of_steps$ раз:

Моделируем шаг системы вперед – увеличиваем значение локальных времен;

Моделируем откат локальных времен некоторых ЛП до предыдущего состояния;

Высчитываем интересующие нас средние величины;

Под откатом системы подразумевается восстановление причинно-следственной связи между каждым ЛП и его “соседями” – при обнаружении ошибки причинности ЛП откатывается по времени до безопасного значения ЛВВ.

Каждый ЛП i характеризуется своим локальным виртуальным временем (ЛВВ) $\tau_i(t)$ в момент времени t . Обозначим среднюю скорость роста профиля ЛВВ на шаге t как:

$$\langle u_i(t) \rangle = \langle \tau_i(t+1) \rangle - \langle \tau_i(t) \rangle$$

Усредняя сначала по всем ЛП, а затем по времени, получаем значение $\langle u \rangle$ – среднее значение роста профиля ЛВВ для данного набора параметров.

Под шириной профиля ЛВВ (*width*) будем понимать среднее квадратичное отклонение ЛВВ от среднего значения:

$$\langle width(t) \rangle = \frac{1}{N} \sum (\tau_i(t) - \bar{\tau}(t))^2,$$

$$\text{где } \bar{\tau}(t) = \frac{1}{N} \sum \tau_i(t)$$

Введем понятие загруженности системы от времени (*utilization(t)*) – как отношение среднего числа активных ЛП (N_{active}) к общему числу ЛП (N).

$$\langle utilization(t) \rangle = \frac{\langle N_{active}(t) \rangle}{N}$$

Усреднив полученные значения *utilization(t)* по времени, получаем *utilization(q)* – загруженность систему от параметра q .

Два параметра системы:

q – отношение числа шагов вперед на количество откатов системы;

p – процент дальних связей в топологии;

3 Результаты

Проведенные исследования показали, что профиль ЛВВ растет одинаково при различных параметрах p (см. Рис. 2). Для параметра $p = 0$ получены результаты, идентичные результатам в работе [6].

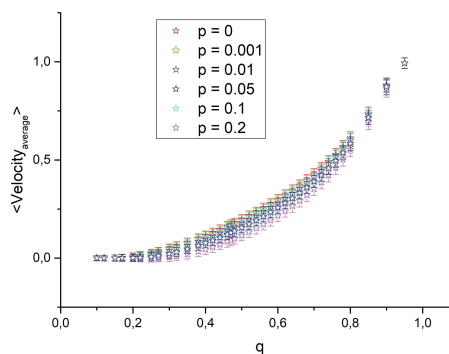


Рис. 2 Зависимость средней скорости локальных времен (Velocity) от параметра q .

До значения $q = 0.8$ графики могут быть аппроксимированы степенной функцией:

$$u = u_0(q - q_c)^v,$$

где параметры зависят от значения p и определяются из таблицы 1.

p	u_0	q_c	v
0	1.090(4)	0.143(2)	1.66(1)
0.001	1.166(6)	0.166(2)	1.70(2)
0.01	1.165(8)	0.166(2)	1.71(1)
0.05	1.27(2)	0.202(2)	1.74(2)
0.1	1.38(1)	0.224(2)	1.79(2)
0.2	1.53(2)	0.250(2)	1.86(2)

Таблица 1. Таблица зависимости параметров функции роста средних скоростей от процента случайных связей в системе.

Показатель степени v указывает на принадлежность к классу направленной перколяции [5].

Анализ ширины профиля ЛП указывает на то, что профиль ЛП выходит на константу с флуктуациями (см. Рис 3).

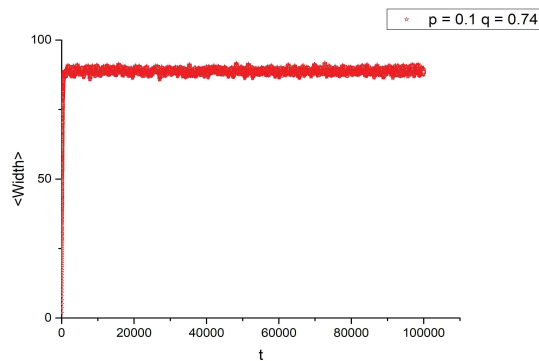


Рис 3. Профиль ЛП при параметрах системы $p = 0.1$ и $q = 0.74$

В работе [8] говорится, что в консервативном алгоритме средняя загруженность системы равна 0.25. Результаты для оптимистического алгоритма отражены в Рис. 4 и Рис. 5.

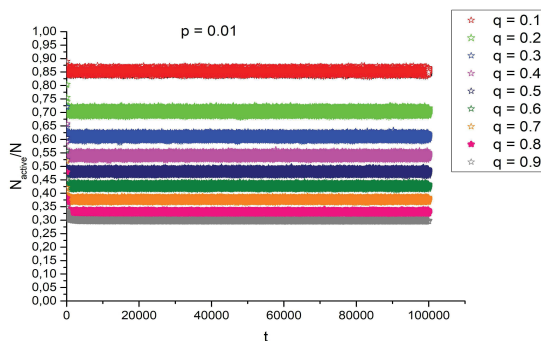


Рис. 4 Нагруженность системы при $p = 0.01$ проценте дальних связей

Важно заметить, что высокая степень загруженности системы не означает что ЛВВ движутся вперед; высокая степень загруженности может быть связана с большим числом откатов системы.

Загруженность системы может быть аппроксимирована функцией вида (см. Рис. 5):

$$\text{utilization} = U_0 + q_0 * a^q$$

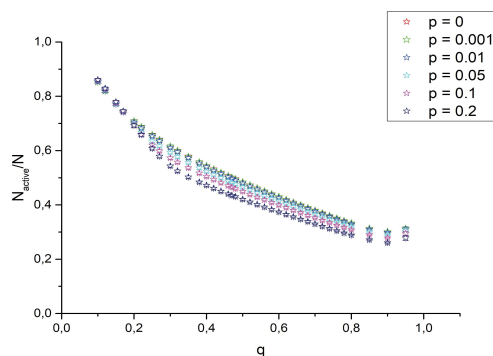


Рис. 5 Зависимость загруженности системы от параметров p и q

Параметры для функции определяются из таблицы 2.

p	U_0	q_0	a
0	0.039(8)	0.0866(5)	0.263(7)
0.001	-0.05(1)	0.940(9)	0.321(8)
0.01	0.046(9)	0.0871(6)	0.246(8)
0.05	0.07(3)	0.80(1)	0.24(3)
0.1	0.046(9)	0.871(6)	0.22(1)
0.2	0.179(7)	0.82(2)	0.082(8)

Таблица 2. Таблица зависимости параметров загруженности системы от процента случайных связей.

4 Заключение

Проведенное исследование позволяет определить скорость эволюции ЛВВ. Это дает возможность прогнозировать скорость роста профиля ЛВВ в зависимости от вариации исходных параметров модели; что в свою очередь ведет к уменьшению временных и вычислительных затрат при моделировании системы. Результаты работы могут применяться для моделирования самых различных дискретных моделей в таких областях, как физика, экономика, военное дело и другие.

Благодарности

Выражаем благодарность Льву Николаевичу Щуру за постановку задачи и за научное руководство.

Статья подготовлена в ходе/в результате проведения исследования 18-05-0024 "Моделирование коллективных явлений в системах многих частиц" в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета „Высшая школа экономики“ (НИУ ВШЭ)» в 2018 — 2019 гг. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации «5-100».

Список литературы

- [1] Fujimoto, R. M. *Parallel Discrete Event Simulation*. — Commun. ACM., 1990.
- [2] Jefferson, D. *Virtual time* // ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS). — 1985. — Vol. 7, no. 3.
- [3] *Synchronization landscapes in small-world-connected computer networks* / H. Gulcu, G. Korniss, M. Novotny et al. // Physical Review Letters. — 2000. — Vol. 84, no. 1351.

- [4] Watts, D. J. *Collective dynamics of «small-world» networks* / D. J. Watts, S.H.Strogatz // Nature. — 1998. — Vol. 393.
- [5] G Ódor - *Universality classes in nonequilibrium lattice systems* - Reviews of modern physics, 2004 - APS
- [6] L Ziganurova, M A Novotny, L N Shchur - *Model for the evolution of the time profile in optimistic parallel discrete event simulations* // International Conference on Computer Simulation in Physics and Beyond 2015
- [7] Л.Н. Щур, М.А. Новотный - *Эволюция горизонта времен при параллельном моделировании дискретных событий* // Труды Семинара по вычислительным технологиям в естественных науках. Вып. 1. Вычислительная физика / Под ред. Р. Р. Назирова. М.: Изд-во КДУ, 2009, с. 6-13
- [8] G. Korniss, Z. Toroczkai, M. A. Novotny, P. A. Rikvold - *From massively parallel algorithms and fluctuating time horizons to nonequilibrium surface growth* // Physical Review Letters. — 2000. — Vol. 84, no. 1351.