

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СОБЫТИЙ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Л.Н. Щур

Научный Центр РАН в Черноголовке

Методы и алгоритмы параллельного моделирования дискретных событий (ПМДС) интенсивно развиваются для применения в различных областях науки, практики и управления [1]. Их эффективность доказана примерами успешного внедрения в промышленности и управлении. В настоящей работе мы даем обзор современного состояния исследований.

Параллельное моделирование играет все более важную роль как в фундаментальной науке, так и в экономике. Используемые сегодня реализации параллельных вычислений в основном многошаговые. К настоящему времени уже осознано, что реалистические модели масштабируемого аппаратного обеспечения и программного обеспечения являются в существенной мере динамическими, асинхронными и сильно неоднородными по времени для применяемой сегодня методики синхронизации. Перспективным подходом является декомпозиция процесса моделирования на логические процессы, выполнение которых может синхронизоваться консервативным или оптимистическим подходами, а также их комбинацией, как это делается при параллельном моделировании дискретных событий. Параллельное моделирование дискретных событий (ПМДС) — выполнение на параллельном компьютере или на кластере компьютеров одной программы для моделирования дискретных событий. В последнее время ведутся интенсивные исследования методов и алгоритмов ПМДС для выяснения вопроса об их возможном применении в архитектуре компьютеров экзафлопсного уровня. Поэтому исследование свойств ПМДС имеет большое значение для развития параллельных методов в целом.

Основу исследования алгоритма ПМДС положила статья американского ученого Фуджимото [1], в которой было предложено разбить задачу на логические процессы и ассоциировать их с процессорными элементами. Логические процессы выполняются параллельно, каждый логический процесс имеет свое локальное виртуальное время [2] в единицах глобального времени моделирования. Логические процессы могут зависеть друг от друга, для чего необходим обмен информацией. Вторая идея Фуджимото состоит в отказе от доступа к общей памяти для обмена информацией. Каждый логический процесс имеет некоторый набор переменных, которые характеризуют его состояние. Если логический процесс меняет свое состояние, то он посылает сообщение об изменении состояния и отмечает его штампом с локальным моментом времени, в который произошла изменение состояния. Изменение состояния процесса и называется событием. Это изменение происходит в дискретные точки глобального времени, хотя эволюция процессов непрерывна. Таким образом, над процессорными элементами формируется профиль локальных виртуальных времен событий. Этот профиль эволюционирует в глобальном времени моделирования системы.

Другие логические процессы обрабатывают полученное сообщение о событии. Обработка может состоять из одного или нескольких шагов. Если логический процесс не зависит от того процесса, который изменил состояние, то сообщение игнорируется. Если процесс зависит от него, то он сравнивает свое локальное время с тем, которое он получил в сообщении. Именно в этом месте появляется необходимость анализа возможных алгоритмов реализации ПМДС по Фуджимото. Им было предложено два алгоритма — консервативный и оптимистический. При реализации консервативного алгоритма логический процесс не эволюционирует во времени до тех пор пока он не получит сообщение об изменении состояния зависимого процесса. Например, не будет моделироваться скрепление двух деталей с отверстиями болтом до тех пор, пока на нужное место не поступит соответствующая гайка. Очевидно, что при использовании такого алгоритма будут наблюдаться простои процессорных элементов в режиме ожидания. В оптимистическом алгоритме каждому процессорному элементу дается возможность эволюционировать в течении некоторого времени (Time Window) в надежде, что все зависимые процессы выполнены. В случае получения сообщения о выполнении процесса со штампом времени меньше локального, процессорный элемент вынужден производить откат назад во времени. Если на этом отрезке времени он изменил свое состояние и, соответственно, посылал сообщение об изменении своего состояния, то при откате назад по времени необходимо послать анти-сообщение, аннулирующее ранее посланное сообщение. Понятно, что при этом может быть инициализирован обвал анти-сообщений, генерируемых другими процессорными элементами.

Анализ эффективности того или иного алгоритма необходим при разработке пактов по моделированию конкретных процессов. Необходимо также вести исследования по общим свойствам таких алгоритмов. Например, в работе [3] была выяснена аналогия между эволюцией горизонта времен в локальном оптимистическом алгоритме и эволюцией профиля поверхности при молекулярной эпитахии. Известно, что рост поверхности при молекулярной эпитахии дифференциальными уравнениями Кардара-Паризи-Жанга

КПЖ) [4]. В работе [5] этот факт был использован для классификации возможных алгоритмов ПМДС. Другой идеей работы [4] было расширение концепции локальных времен с процессорных элементов на нити и ядра (threads и cores). В результате было выяснено, что классификация граничных условий уравнения КПЖ, периодические, свободные и фиксированные, приводит к классификации алгоритмов ПМДС, соответственно, консервативный, оптимистический и ранее неизвестный алгоритм, получивший название FaS (Fix-and-Shift).

В работе [6] были анонсированы предварительные результаты исследования поведения горизонта времен при оптимистическом моделировании. Была предложена модель оптимистического алгоритма и исследованы ее свойства. Выяснилось, что средняя скорость эволюции горизонта времен обращается в ноль при некотором соотношении параметров. Обращение в ноль зависит от этого параметра степенным образом. Интересно, что эта степень совпадает с большой точностью со степенью в задаче направленного протекания. Таким образом, для анализа скорости эволюции горизонта времен можно применить знания, накопленные ранее для задачи направленного протекания.

Нами также проанализировано поведение моделей оптимистического, консервативного и FaS алгоритмов на нерегулярных сетях — сетях малого мира, бесмасштабных сетях и др. Эти результаты более реалистичны и могут быть применены в информатике. Мы обсуждаем возможные такие применения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. R.M. Fujimoto, Commun. ACM 33, 31 (1990).
2. D.R. Jefferson, Assoc. Comput. Mach. Trans. Programming Languages and Systems 7, 404 (1985).
3. Korniss, G., Toroczka, Z., Novotny, M.A., Rikvold, P.A., From Massively Parallel Algorithms and Fluctuating Time Horizons to Nonequilibrium Surface Growth // Physical Review Letters. 84. 2000. 1351-1354.
4. Kardar, M., Parisi, G., Zhang, Y.-C., Dynamic Scaling of Growing Interfaces // Physical Review Letters. 56. 1986. 889-892.
5. Shchur, L.N., Novotny, M.A., Evolution of time horizons in parallel and grid simulations // Physical Review E. 70. 2004. 026703-1-026703-9.
6. Л.Н. Щур, М. А. Новотный, Эволюция горизонта времен при параллельном моделировании дискретных событий, Конференция «Научный сервис в сети Интернет», Абрау-Дюрсо, 2007.