

# О РАНДОМИЗИРОВАННЫХ И МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ГРАНЯХ ПАРАЛЛЕЛИЗМА

Е.Н. Бендерская, О.Н. Граничин, В.И. Княев

## Введение

Параллельность – возможность выполнять одновременно определенную совокупность операций. Вопросы определения этих операций – их возможного числа, рациональные способы представления алгоритма решения задачи в параллельном виде для совмещения операций традиционно решаются на основе логического подхода к выявлению таких возможностей. При этом выделяют целый класс задач с естественным параллелизмом – задачи, допускающие матричное представление модели и задачи большой размерности с независимыми операциями по каждой из размерностей, как например, задачи с многопиксельной обработкой изображений.

Однако, многие методы решения сложных задач предполагают последовательное решение и операции одного шага зависят от результатов на других шагах вычислений. Поэтому одновременно с разработками в двух основных направлениях развития параллельных вычислений – разработка новых архитектур и разработка новых принципов взаимодействия составных элементов структуры (процессоров, как обрабатывающих органов с собственной памятью, и систем с общей памятью), ведется поиск других подходов к организации эффективных вычислений и решению сложных ресурсоемких задач [4]. Данная работа представляет новую концепцию организации параллельных вычислений, которая уже успешно применяется во многих практических задачах [1-3, 6, 10-12].

Вычисления в широком смысле – это обработка данных и информации для дальнейшего использования результатов в управлении. Понятно, что особенности обработки информации зависят от логического базиса операций, обеспечивающих вычисления, и это не обязательно классические арифметические и логические операции. Кроме того, наметилась тенденция к совместному решению задач как собственно обработки информации, так и параллельно с ней реализации управляющих воздействий. Также имеется тенденция совмещения процессов обработки и хранения информации при решении задач распознавания образов. Это связано с новыми возможностями, которые открываются при целостной обработке всего образа, подразумевая под образом не только входные изображения, но и образы как обобщенное представление всех условий решения задачи. При новом взгляде на вычисления разработка как структуры (hardware), так и логики взаимодействия (software) ведется одновременно и взаимосогласованно. Традиционно относящиеся к высокопроизводительным вычислениям – естественные (природные или натуральные) вычисления (natural computation) подразумевают естественный, природный параллелизм вычислений, связанный чаще всего с биоинспирированностью такого подхода.

## Естественность параллелизма и натуральные (природные) вычисления

Практически все природные процессы имеют параллельную организацию, начиная с развития отдельного организма, в котором клетки и процессы функционируют параллельно, и заканчивая эволюцией видов в целом, при которой параллельно существует множество вариантов организации целых организмов и отбраковываются неудачные. Таким образом обеспечивается не только проработка многих вариантов решений, но и надежность работы систем.

Научное направление вычислений по принципу («в духе») природных (nature-inspired computing) или натуральных вычислений включает в себя: клеточные вычисления, нейровычисления, мембранные вычисления, молекулярные вычисления, генетические алгоритмы и генетическое программирование, методы коллективного (или распределенного) интеллекта, использующие принципы взаимодействия множества особей – методы роя, колонии, стаи и так далее. Большое число разных направлений связано с тем, что параллельная организация процессов в природных системах имеет место на всех уровнях организации. В зависимости от степени детализации работы природной системы можно выделить и использовать принципы взаимодействия генов (ДНК-вычисления), принципы генетического отбора и эволюции (генетические алгоритмы, генетическое и эволюционное программирование), взаимодействие молекул (молекулярные и иммунные вычисления), клеток (мембранные, клеточные и нейронные вычисления, где моделируются разные особенности работы и учитывается специфичность или универсальность клеток), а также взаимодействие целых организмов – особей (пчел, термитов, муравьев, рыб).

Отдельного внимания заслуживают принципы организации мозга как системы, обеспечивающей работу всего организма в целом и решающей целый комплекс задач управления, поэтому отдельно выделяют клеточные вычисления на базе специфических электрически активных клеток – нейронов (нейровычисления), а также «мозгоподобные» вычисления (brain inspired computing). При этом необходимо отметить, что генетические алгоритмы и методы коллективного интеллекта в большей степени ориентированы на решение задач в оптимизационной постановке, когда требуется найти оптимальное или приближенное к нему решение. С другой стороны все натуральные вычисления могут быть представлены в рамках одной научной и

технологической концепции – мультиагентных систем. Понятно, что в качестве агентов будут выступать гены, молекулы, клетки, особи.

#### **Преимущества концепции мультиагентности**

Мультиагентные технологии решения задач возникли как ответ на потребности решения сложных задач в условиях, максимально приближенных к тем, в которых функционируют системы. В этом случае на первый план выступает способность быстрого ответа на непредсказуемые изменения, то есть адаптивность метода решения задачи или системы, реализующей этот метод.

На практике очень часто оказывается, что классические методы решения задач либо неприменимы к реальной жизни (нетрудно представить себе, что значит попытаться решить задачу управления в непредсказуемой динамичной обстановке), либо они требуют огромных объемов расчетов (для которых не хватит мощности современных суперкомпьютеров), либо они вовсе отсутствуют. Во многих таких случаях альтернативой оказываются мультиагентные технологии, суть которых заключается в принципиально новом методе решения задач. В отличие от классического способа, при котором проводится поиск некоторого четко определенного (детерминированного) алгоритма, позволяющего найти наилучшее решение проблемы, в мультиагентных технологиях решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных программных модулей – агентов [8].

Одной из важнейших характеристик мультиагентных технологий является отказ от традиционной для информационных технологий парадигмы разделения процессов получения информации и принятия управленческих решений. В случае сложных систем, состоящих из огромного числа взаимодействующих динамических объектов, возможность получения реальной «мгновенной картины мира» можно вообразить себе только теоретически, на практике во время сбора всей необходимой информации «картина мира» может существенно измениться. При мультиагентных технологиях компоненты системы начинают взаимодействовать и реализовывать те или иные управляющие воздействия самостоятельно, не дожидаясь «команды из центра». В большинстве случаев такого центра может просто не быть, так как динамический ансамбль агентов на основе консенсуса «выбирает» агента, который исполняет роль базового управляющего модуля. По мере выполнения общей задачи роль «управленца» также на основе поиска консенсуса может передаваться другому агенту [3]. Такая ситуация характерна для живой природы, когда гибель вожака стаи в большинстве случаев не приводит к распаду самой стаи.

Оказывается, что во многих практических задачах такая парадигма позволяет эффективно управлять системами и при этом задача о сборе всей информации может оставаться так и не решенной. Это показано в [1,11] для задачи планирования загрузки автопарка грузовиков в реальном времени при динамических изменениях. В [2, 3] даны теоретические оценки оптимальности применения децентрализованной мультиагентной технологии управления загрузкой, а также иллюстративные примеры моделирования для задачи балансировки загрузки узлов динамической сети. Указанные примеры — только часть из большого множества успешно решенных практических задач с использованием предлагаемых подходов.

#### **Возможности рандомизированной концепции**

Схожей концепцией в принятии решений «на лету» является рандомизированная концепция, в которой также имеется механизм «учета» в процессе решения непредвиденных событий, появляющихся в работе систем. В этом случае можно говорить о том, что неопределенности дают и дополнительные возможности в решении проблем.

Процессы управления и накопления знаний часто являются взаимно-противоречивыми. Целью управления обычно является достижение какого-то устойчивого состояния (по возможности не изменяющегося со временем). В этом состоянии «очень мало информации», и, следовательно, невозможно выявить или установить новые связи, значения и т.п. Например, о лежащем в пыли на обочине дороги камне мало что можно узнать при поверхностном осмотре. Его неизменность дает мало информации (характеристик изменений). Камень надо перевернуть, поднять, толкнуть или расколоть для получения какой-то информации. Это приводит к тому, что при синтезе законов управления часто сталкиваются с проблемой недостаточной вариативности последовательности наблюдений. А.А. Фельдбаум сформулировал известный принцип «дуального управления»: управляющие воздействия должны быть в известной мере изучающими, но, в известной мере, и направляющими [9]. Например, если цель адаптивного управления состоит в минимизации отклонения вектора состояния системы от заданной траектории, то это часто приводит к вырожденной последовательности наблюдений, в то время как для успешного проведения идентификации неизвестных параметров системы должно быть обеспечено «разнообразие» наблюдений. Это разнообразие может быть обеспечено за счет рандомизированной концепции.

Сложившаяся к настоящему времени парадигма использования суперкомпьютеров базируется на исторически сложившемся разделении процессов обработки данных и принятия управленческих решений (после обработки). Основания этого разделения естественно прослеживаются в истории развития средств вычислительной техники. Первоначально компьютеров было мало и они, используя большие энергетические ресурсы, требовали специальных условий для эксплуатации. Формировались особые вычислительные центры для объединенного решения в одном месте множества разных задач. Встроенным устройствам традиционно отводилась роль или устройств для сбора данных, или устройств для реализации определенных управляющих

воздействий. В некоторых случаях они использовались как регуляторы в простых контурах обратной связи. Суперкомпьютеры стали брать на себя не только чисто вычислительные процессы с огромным объемом данных, но и выполнение задач, связанных с поиском и анализом (Data Mining). Однако надо четко отдавать себе отчет в границах применимости этой традиционной парадигмы. В природе и обществе информационно-управленческие связи все-таки являются основой всех явлений и процессов. Искусственно разделяя процессы обработки данных и управления, мы существенно снижаем наши потенциальные возможности использования информационно-коммуникационных технологий.

Критическими факторами при принятии решений в режиме реального времени являются скорость – надо принять и реализовать решение до наступления следующего «разрушительного» события, и уровень интеллекта (природного и/или искусственного) – надо достичь цели в условиях неопределенности. Соединение процессов обработки данных и управления позволяют получить синергетический эффект – удовлетворение сразу двух противоречивых требований, как по времени принятия решения, так и по его качеству (интеллектуальности).

Примером повышения эффективности процессов обработки данных и управления при изменении парадигмы является рандомизация управляющих воздействий при решении задач оценивания неизвестных параметров системы при наблюдениях с произвольными внешними помехами и использование замкнутых стратегий управления в условиях неопределенностей [6]. Такие стратегии оказываются практически незаменимыми в случае, если помехи не являются случайными (статистическими), например, это значения некоторой неизвестной функции.

В рамках классической парадигмы обработки данных постановка задачи об оценивании среднего значения сигнала, регистрируемого на фоне произвольных помех, кажется абсурдной, но не из-за ее практической бессмысленности (это очень важная задача), а из-за невозможности ее как-то решить. В качестве альтернативы могут использоваться рандомизированные алгоритмы, в которых выполнение одного или нескольких шагов, производимых пользователем, основано на случайном правиле (т.е. среди многих детерминированных правил одно выбирается случайно в соответствии с вероятностью  $P$ ). Итак, для, казалось бы, абсурдной задачи об оценивании параметра при произвольных внешних помехах, с которой принципиально не может справиться ни один детерминированный алгоритм, внесение рандомизации в процесс выбора входов дает возможность получить вполне осмысленные результаты, позволяя говорить о вероятностной успешности рандомизированного алгоритма с некоторым параметром (вероятностью  $P$ ).

Достижение успешных результатов с высокой степенью вероятности, в отличие от детерминированного случая, соответствует компромиссу: если полностью гарантированный результат получить невозможно, то лучше иметь какой-то результат, чем не иметь ничего. Заметим, что можно говорить об альтернативном вероятностном подходе к решению задачи оценивания. В байесовском подходе присутствующим в системе помехам априори приписывается вероятностная природа  $Q$ , поэтому его невозможно применить при произвольных внешних помехах (в худшем случае), так как все выводы имеют вероятностную основу предположений о системе. По смыслу байесовский и рандомизированный подход совершенно различны с практической точки зрения. В байесовском –  $Q$  описывает вероятность того или иного значения помехи по сравнению с другими, т. е. выбор  $Q$  является частью модели задачи. В отличие от этого вероятность  $P$  в рандомизированном подходе является тем, что мы искусственно выбрали и используем. Вероятность  $P$  существует только в нашем алгоритме, и, следовательно, нет традиционной проблемы плохой модели, как это может случиться с  $Q$  при байесовском подходе.

Рандомизированная концепция оказывается также очень эффективна при решении задач кластеризации в условиях априорно неизвестного числа кластеров. Задача поиска истинного числа кластеров может быть представлена как частный случай задачи локализации точек разрыва кусочно-непрерывной функции. Алгоритм нахождения истинного числа кластеров в этом случае базируется на рандомизации и аппроксимации индексной функции полиномами Чебышева. Необходимо отметить, что каждое вычисление индексной функции – это решение задачи кластеризации с заданным числом кластеров, что представляет собой весьма большие вычислительные затраты. Поэтому сокращение числа точек расчета индексной функции позволяет выйти на решение практических задач кластеризации в реальном времени. Кроме того, применение рандомизации, как и для задачи оценивания параметров при произвольных помехах, позволяет не только снизить объем вычислений, но и при этом обеспечить требуемую точность решения задачи [10].

### **Заключение**

Новые грани параллелизма – рандомизация и мультиагентность, появились в связи с дальнейшим развитием понятия «вычисления» и связанных с этим новых концепций и структур. Схожесть и сильные стороны рандомизированности и мультиагентности заключается в возможности начать действовать, не зная всей последовательности действий, в возможности моделировать и формировать решения «на лету», «по ходу дела» и, с другой стороны, в обеспечении целостности восприятия задачи и условий ее решения. Переход к новой парадигме вычислений приведет, наверное, к тому, что архитектура вычислительных устройств «сдвинется» в сторону «набора одновременно работающих асинхронных моделей взаимодействующих динамических систем (функциональных элементов)» [7]. Среди новых характерных черт будущей парадигмы все более отчетливо проступают следующие: стохастичность, гибридность, асинхронность, кластерность

(отсутствие жесткой централизации и динамическая кластеризация на классы связанных моделей), мультиагентность [5].

Соединение мультиагентного подхода и рандомизированных алгоритмов является новой областью в задачах управления в режиме реального времени в условиях неопределенности. Практическое применение такого подхода обеспечивает эффективное управление динамическими системами, объекты которых решают распределенные задачи (например, управление безопасностью движения автомобилей, судов, самолетов, робототехнических систем и т.д.) [12].

Удовлетворение новых потребностей в решении все более сложных задач может быть обеспечено за счет более широкого рассмотрения особенностей параллелизма как общей концепции и включения результатов активно развиваемых параллельных направлений с привлечением технологий мультиагентности и рандомизации. Включение концепций рандомизированных и мультиагентных вычислений в множество подходов к разработке высокопроизводительных параллельных вычислителей позволяет решать ранее недоступные для решения задачи с одной стороны, и приводит к новым возможностям в решении уже известных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-07-00250-а), а также при финансовой поддержке Лаборатории системного программирования и информационных технологий, функционирующей при поддержке российского отделения корпорации Intel (СПРИНТ, СпбГУ — Intel).

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.О. Амелина, А.Н. Лада, И.В. Майоров, П.О. Скобелев, А.В. Царев Исследование моделей организации грузовых перевозок с применением мультиагентной системы адаптивного планирования грузовиков в реальном времени // Проблемы управления. 2011. № 6, с.31-37.
2. Н.О. Амелина, А.Л. Фрадков Приближенный консенсус в стохастической динамической сети с неполной информацией и задержками в измерениях // Автоматика и Телемеханика, 2012, № 11, с. 6-30.
3. К.С. Амелин, Н.О. Амелина, О.Н. Граничин, А.В. Корякко Применение алгоритма локального голосования для достижения консенсуса в децентрализованной сети интеллектуальных агентов // Нейрокомпьютеры: Разработка, Применение, 2012, № 11, с. 39-47.
4. Е.Н. Бендерская, О.Н. Граничин, В.И. Кияев Параллельные вычисления на базе нелинейных динамических элементов: проблемы и перспективы // В сб.: Труды Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений», г. Новороссийск, 17-22 сентября 2012 г., М: Изд-во Моск. ун-та. С. 325-329.
5. О.Н. Граничин Характеристики перспективных принципиально новых компьютерных устройств и систем // Механика, управление и информатика. 2011. № 5, с. 147-161.
6. О.Н. Граничин Обратные связи, усреднение и рандомизация в управлении и извлечении знаний // Стохастическая оптимизация в информатике. 2012. Том 8. Вып. 2, с. 3-48.
7. А.С. Нариньяни Модель или алгоритм: новая парадигма информационных технологий. Российский НИИ ИИ. 2004.
8. В.Б. Тарасов От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. — Москва : УРСС, 2002 .
9. А.А. Фельдбаум О проблемах дуального управления // В кн.: Методы оптимизации автоматических систем. — М.: Наука. 1972.
10. R. Avros, O. Granichin, D. Shalymov, Z. Volkovich, G.-W. Weber Randomized algorithm of finding the true number of clusters based on Chebychev polynomial approximation (Chapter 6) // Data Mining: Found. & Intell. Paradigms, D.E. Holmes, L.C. Jain (Eds.), Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, ISRL 23, vol. 1, 2012, pp. 131–155.
11. O. Granichin, P. Skobelev, A. Lada, I. Mayorov, A. Tsarev Comparing adaptive and non-adaptive models of cargo transportation in multi-agent system for real time truck scheduling // In: Proc. of the 4th International Conference on Computational Intelligence, pp. 282-285 (Evolutionary Computation Theory and Applications, ECTA'2012, October 5-7, 2012, Barcelona, Spain).
12. В.И. Кияев, Р.В. Герасимов Интеллектуальный CRM на базе мультиагентного подхода //В сб.: Стохастическая оптимизация в информатике. – СПб.: изд-во С.Петербург. ун-та, т. 8, вып. 1, 2012, с. 50-94.