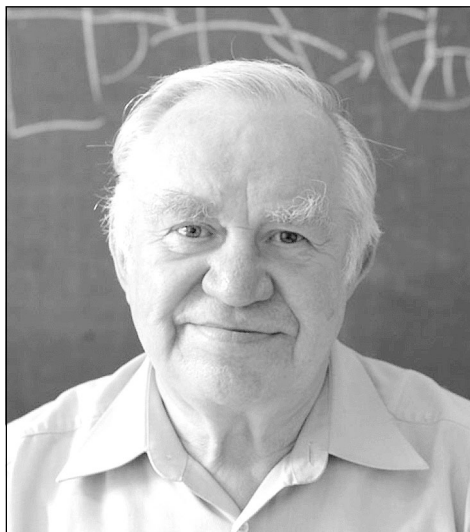


ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Вычислительная математика и информатика: мировые вызовы и российская «дорожная карта»

Развитие информационных и вычислительных технологий — один из важнейших объектов прогнозно-плановой деятельности государства. Как отмечает главный научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, д.ф.-м.н. **Валерий Павлович Ильин**, в этой области сейчас открывается целый ряд многообещающих перспектив



Математика — служанка Золушка или царица наук?

Судя по реальным внешним показателям, Россия в последние годы переживает период бурной суперкомпьютеризации. В различных регионах страны появляются все новые многопроцессорные вычислительные системы. С каждым годом увеличивается число научных конференций, школ и форумов по суперкомпьютерным технологиям.

В декабре 2013 года были приняты два важных документа. Первый из них — План мероприятий («дорожная карта») «Развитие отрасли информационных технологий», утвержденный Правительством РФ. Этот документ охватывает период до 2018 года и разработан в целях реализации Стратегии развития отрасли ИТ до 2025 года. Однако в нем практически отсутствует фундаментальная составляющая супервычислительной и математического моделирования, не видно научно-организующей или хотя бы экспертной роли Академии наук в СКТ и ИТ-отрасли, создании новых суперкомпьютеров.

В другом документе — «Прогнозе научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», опубликованном на сайте Минобрнауки, не содержится конкретных мероприятий и сроков. Удивление вызывает и скромность ожидаемых результатов, и то, что в документе «забыта» математика — одновременно слуга и царица всех наук. В любой научно-технологической области прогресс тесно связан с уровнем ее математизации. Теоретическая и вычислительная математика, программная реализация алгоритмов и их использование в численном эксперименте для моделирования реальных процессов и явлений — это четыре неразрывные ипостаси целостной математической культуры. Развивать ее сторону в ущерб другой — неправильно.

Академик В.И. Арнольд много писал о том, что теоретическая математика и теоретическая физика, по сути, представляют собой одну науку, а разрыв между ними, который может образоваться при кризисе методологии наук и образования, — это трагедия для всего общества. Данный тезис верен, на мой взгляд, и в отношении различных вычислительных наук. Сегодня понятия «суперкомпьютерные технологии» и «информационные технологии» во многом отождествляются, а такие суперпроекты, как САПР (Система автоматизированного проектирования), ГЛОНАСС, «умный дом», «электронное правительство», в которых информационные процессы превалируют над вычислительными, успешно пропагандируются. Однако хранение или передача

данных и выполнение арифметических действий — это две разные составляющие ресурсоемкости или производительности компьютера, которая характеризуется быстродействием выполнения операций и объемом памяти. Цель и содержание наукоемких супервычислений — моделирование реальных процессов и явлений, и именно оно является конечным этапом математических исследований, когда их результаты воплощаются в продукты, позволяющие удовлетворять насущные потребности общества.

В связи с этим необходимо ввести понятие «вычислительно-информационные технологии» (ВИТ), в определенном смысле дополняющее содержание термина «суперкомпьютерные технологии». ВИТ представляют собой обособленную группу исследований и разработок, не связанных с техническими вопросами разработки ЭВМ и телекоммуникаций, со специальными проблемами обработки и хранения больших объемов данных (big data), и входят в состав более широкой совокупности специальных видов научно-технической деятельности, получившей название «информационные технологии».

Общемировые тенденции развития супервычислений

В течение последних 50 лет рост вычислительных мощностей шел в соответствии с экспоненциальным законом Мура: переходы от гигафлопсных компьютеров к терафлопсным и от терафлопсных к петафлопсным осуществлялись за одинаковые периоды в 11 лет. Исходя из предположения, что и в последующие годы темпы не будут снижаться, можно сделать вывод: в 2019 г. появится эксафлопсный суперкомпьютер с числом процессоров и ядер порядка нескольких сотен миллионов. Ресурсы будут концентрироваться в больших Вычислительных центрах коллективного пользования (ВЦКП или Data Center) с удаленным доступом пользователей к «вычислительным облакам» (Cloud Computing) и при активном интегрировании компьютерных мощностей на основе сетевых (Grid) технологий. Такая инфраструктура, с одной стороны, освободит отраслевые предприятия от необходимости значительного наращивания своих вычислительных мощностей, с другой — обострит вопрос о создании серьезной суперкомпьютерной индустрии, поскольку уже сейчас петафлопсный ВЦКП потребляет до 5 МВт электроэнергии, а в ближайшем будущем сверхзадачей конструкторов станет снижение энергопотребления «эксафлопсника» от пессимистических 100 МВт до 20 МВт.

Вторым принципиальным фактором развития вычислительных наук является

смена парадигмы программирования, к качественным изменениям которой неизбежно ведет драматический рост количества вычислительных процессов. Сейчас вычислительные методы и технологии претерпевают коренную ломку основных понятийных подходов и не могут рассматриваться без масштабируемого распараллеливания и отображения алгоритмов на архитектуры многопроцессорных вычислительных систем с разнообразными арифметическими устройствами и иерархической организацией памяти. Изменение масштабов распараллеливания на три и более порядка означает переход количества в качество, что требует обновления множества программных продуктов и самих технологических принципов. Очевидно, что предстоящие работы выполняемы только в условиях реализации концепции открытых инноваций и открытых систем (Open Source), то есть требуется глобальная интеграция и координация усилий мирового суперкомпьютерного сообщества.

Третий фактор — сложившийся к настоящему времени кризис программирования, выражающийся в том числе в недостаточном уровне производительности труда программистов. Повысить ее возможно, усилив автоматизацию и интеллектуализацию построения алгоритмов, активно конструируя и используя проблемно ориентированные языки. Необходима разработка моделей и методов принятия решений на основе онтологии профессиональной деятельности.

Не стоит забывать и о том, что в эпоху всеобщей компьютеризации происходит не менее значимый рост результатов в теоретической математике. Приложения этих результатов в различных областях (теория групп, гамильтонова механика, дифференциальная геометрия и т.п.) становятся основой для формирования новой вычислительной математики. Данный процесс, безусловно, будет носить перманентный характер, в силу чего проектируемое прикладное программное обеспечение должно быть рассчитано на длительный жизненный цикл, чтобы удовлетворять требования не только адаптивности к новым архитектурам ЭВМ, но и естественного интенсивного расширения состава реализуемых моделей и алгоритмов.

Мировое развитие нано-, био- и прочих прорывных технологий, активное развитие которых анонсируется футурологами, делает математическое моделирование главным орудием получения новых фундаментальных знаний и кардинального повышения эффективности промышленных производств.

За последние десятилетия человечество пережило два технологических потрясения, резко изменивших традиционный образ жизни. Первое связано с появлением Интернета, второе — мобильного телефона. Можно задать вопрос: что будет третьим в этом ряду резонирующих нововведений? Мой ответ: глобальное моделирование. С его внедрением в повседневную жизнь человек, принимающий какое-либо решение, сможет, используя смартфон, узнать о последствиях (результатах) тех или иных своих действий. Задача, которая может быть вычислительно очень сложной, будет передаваться через Интернет на суперкомпьютерное «облако», быстро решаться, после чего пользователь получит наглядный ответ. Более того, взаимодействие «человек — компьютер» естественно организовать в игровом ключе, только не с целью развлечения, а для решения насущных проблем.

Концепция интегрированных программных окружений

Чтобы массовое использование моделирования стало реальностью, профессиональному сообществу математиков и программистов предстоит проделать огромную работу по созданию инфраструктуры «облачных» расчетов. На этом этапе развития спектр суперкомпьютерных услуг уже не будет ограничиваться предоставлением машинных ресурсов, включив интегрированную инструментальную среду, обеспечивающую технологическую поддержку всех этапов крупномасштабного вычислительного эксперимента, закрывая от конечного пользователя «внутреннюю кухню» и предоставляя ему удобный профессионально-ориентированный интерфейс. Фактически речь идет о смене концепции процесса разработки и эксплуатации прикладного программного обеспечения.

Дальнейшее развитие этой концепции заложено в проекте Базовой системы моделирования (БСМ), в течение ряда лет разрабатываемой в Институте вычислительной математики и математической геофизики СО РАН. Система ориентирована на поддержку всех основных проблем математического моделирования, включая прямые и обратные междисциплинарные задачи наукоемкого характера из самых разных предметных областей. Ввиду такой широкой функциональной направленности ядро БСМ включает многофункциональный набор блоков, каждый из которых представляет собой автономно развиваемую и естественным образом расширяемую подсистему, взаимодействующую с другими через гибкие, согласованные, допускающие множественные представления со взаимной конвертацией структуры данных (в соответствии с классическим лозунгом Н. Вирта: «Программа = алгоритмы + структура данных»).

Этот суперпроект подтверждает известную истину, что «новое — это хорошо забытое старое». Дискуссии о необходимости перехода практики прикладного программирования от «кустарного» подхода к индустриальному велись еще лет 40 назад. Однако нынешняя ситуация с драматическим усложнением математических методов, а также компьютерных, программных и вычислительных технологий делает невозможным ситуацию, когда один человек — «и швец, и жнец, и на дуде игрец». Можно предположить, что чем уже специализация профессионала, тем выше будет качество его труда. Но когда сильно возрастает число узких специалистов, участвующих в одной общей разработке, возникает проблема эффективного согласования действий исполнителей, и здесь требуется какое-то гениальное изобретение — нечто вроде конвейера, революционного нововведения Форда в автомобилестроении в начале XX века.

Проблемы индустриализации математического моделирования

Согласно «дорожной карте», темпы роста отечественной ИТ-отрасли должны не менее чем в три раза превышать среднюю скорость увеличения ВВП, а число высокотехнологичных рабочих мест должно к 2018 году удвоиться и достичь 600 000. При этом производство российской ИТ-продукции должно вырасти с 270 до 450 млрд рублей.

Относительно контингента «супервычислителей» или «модельеров», для определения специализации которых пока не существует сложившегося термина,