

# Олимпиада в Сочи и будни ГВЦ Росгидромета

Текст Владимир Анцыпович

Успешно проведенная домашняя Олимпиада «Сочи-2014», ставшая триумфальной для российской команды, частичкой своего успеха обязана и нам – Росгидромету и его Главному вычислительному центру (ГВЦ). Прогноз погоды для сочинской Олимпиады, а позже и для Паралимпийских игр был для Росгидромета серьезным испытанием, потребовав использовать практически все интеллектуальные, людские и вычислительные резервы.

Прогнозы погоды для Олимпийских игр в Сочи – это очень непростая задача. Дело не только в ответственности, но и в том, что задача резко усложнялась причудливым горным рельефом в районе Сочи. А ведь именно точный прогноз погоды в горном кластере наиболее критичен: неправильная оценка возможности появления туманов и низкой облачности, например, может перекроить весь график соревнований в горнолыжных видах спорта и не только. Основной шаг сетки, который Росгидромет применял при расчетах погоды для Олимпийских игр в Сочи, – 2.2 км. Это довольно частая сетка. Обычно для прогнозов на данном этапе нами исполь-

зуется шаг в 7 или 14 километров. Но для сочинской Олимпиады мы использовали и гораздо более мелкую сетку – 0.8 км, хотя она применялась скорее как дополнительная консультационная модель. Дело в том, что при малом шаге сетки резче проявляются паразитные явления, быстрее накапливается и проявляется ошибка, которая начинает «раскачивать» решение. Модель начинает «выдувать». В принципе, такие мелкие сетки используют при прогнозировании погодных условий, но в горах – особые условия. Представьте себе, что пропасть – это равносильно в модели делению на 0.

## Человеческий фактор и жизнь модели

В современной метеорологии человек продолжает играть важную роль, и никто ее у него пока отнимать не собирается. Интуиция синоптика помогает интерпретировать результаты, которые предоставляет вычислительный комплекс. За человеком остается последнее слово, когда все расчетные данные готовы. Но и компьютер иногда ведет себя не как бездушное существо. Точнее, не вычислительный комплекс, а сама модель. Сначала расчета в модели атмосферы еще нет, она не «рождена» ею. Есть дискретные значения параметров атмосферы в точках, в которых производятся

наблюдения. И вот эти дискретные значения модель начинает «перемалывать», и происходит рождение «живой модельной» атмосферы. И именно с этого момента прогнозная модель дает результаты, которые используются в качестве прогноза.

## В COSMO и еще дальше

Когда мы говорим о прогнозе погоды внутри определенной территории, мы всегда понимаем, что это часть более общей картины. Так как атмосферные процессы «границ не знают», то, не зная, какие процессы происходят за границами территории, мы не можем получить сколь-нибудь длительный прогноз в масштабе времени, определяемом размером выбранной области и скоростью прохождения атмосферных процессов.

Поэтому для эффективной работы обязательно должна быть доступна информация о том, что происходит с погодой за пределами расчетной области. Вычисления опираются на глобальную модель, по которой с определенным шагом считаются атмосферные процессы во всем мире. Росгидромет является членом метеорологического консорциума COSMO со штаб-квартирой в Оффенбахе, в обязательства которого входит поддержка счета глобальной модели и выдача ее результатов членам консорциума. В консорциум COSMO входят национальные метеослужбы семи стран, участвующих в разработке и использовании общей модели: метеорологические центры Германии, Швейцарии, России, Италии, Польши, Румынии, Греции.

## Машины и ансамбли

Первые вычислительные машины – отечественные – в нашем центре появились в 1961 году. По тем временам это были супермашины. У нас работала сильная группа инженеров и программистов



(существующая и сейчас), они «вылизывали» новую технику. В те времена среднее время наработки на отказ ламповых машин было 15 мин., а нам удавалось поднять это время до 3–4 часов и более, что уже позволяло считать реальные модели. Поэтому разработчики советских вычислительных машин с удовольствием ставили первые серийные комплексы к нам в центр, так как считали, что если комплекс начинает надежно работать у нас, то дальше серия уже будет надежно работать везде.

Сейчас в наших планах по модернизации вычислительных ресурсов ГВЦ Росгидромета – приобретение комплекса производительностью порядка 1 Пфлопс. В настоящее время в нашем комплексе с общей пиковой производительностью в 76 Тфлопс самым мощным вычислителем является вычислительная система – энергоэффективный кластерный комплекс «PCK Торнадо» на базе процессоров Intel Xeon E5-2690 с жидкостным охлаждением и пиковой производительностью 35 Тфлопс, разработанный и установ-

ленный Группой компаний РСК в 2011 году. При этом система очень компактна – она занимает всего 1.28 кв. м площади в двух стандартных стойках (одна вычислительная, вторая – инфраструктура). То есть мы планируем увеличение производительности в следующей модернизации в 30 раз по сравнению с самой мощной системой, которая у нас есть сейчас. Не такой уж большой скачок. В одной из модернизаций у нас был скачок и в 20 тысяч раз – когда мы выходили из тяжелейшего кризиса с отставанием в развитии всей отрасли вычислительной техники на 15 лет от США. Да и наши модели готовы и «с терпением ждут» вычислительной базы для реального оперативного использования.

Могут задать вопрос: зачем нужен такой скачок производительности? Что это даст тем, кто ждет точных прогнозов погоды? Точность прогноза увеличивается по следующим параметрам: детализация по пространству, времени и по длительности периода прогноза. Каждый шаг по точности прогноза – это увеличение вычислений на три порядка: для того чтобы увеличить пространственное разрешение модели в 10 раз, надо затратить в 1000 раз больше вычислительной мощности. Но при этом допустимое время счета остается прежним. Другими словами, для увеличения параметров точности прогноза необходимо увеличивать мощность применяемой вычислительной техники.

Сейчас считается, что предсказуемость прогноза лежит в пределах 14 суток. Но при этом речь идет о традиционных моделях. Недавно для прогнозов стали использовать ансамблевые методы. Принцип аналогичен принципу, применяемому в радиотехнике при борьбе с шумом сигнала. Если полезный сигнал – будь то радиосигнал или информация об изменениях атмосферы – выделяется над уровнем шума, то этот сигнал несет

**В современной метеорологии человек продолжает играть важную роль, и никто ее у него пока отнимать не собирается. Интуиция синоптика помогает интерпретировать результаты, которые предоставляет вычислительный комплекс. За человеком остается последнее слово, когда все расчетные данные готовы**

информацию. Шум («белый шум») при суперпозиции от различных источников уменьшается, при этом полезный сигнал, если таковой имеется, усиливается. В метеорологии ансамблевый принцип означает суперпозицию результатов групп моделей или одной модели со специально введенными разными возмущениями: шумы (ошибки) моделей компенсируются, а «полезный прогноз», если он имеется в элементах ансамбля, усиливается. Выходит, что надо считать не одну модель, а десяток, а еще лучше – ансамбль из 50 моделей. Хорошо бы и с разной математикой, но иметь дело с 50 различными моделями – нереалистичное решение. Поэтому обычно вводят разные возмущения в одну и ту же модель. Как видно, этот подход уже способен задействовать 30-кратную производительность. Это один из примеров использования ресурсов. Кооперация национальных метеорологических служб в рамках Всемирной метеорологической организации позволяет использовать для ансамблевых методов модели метеорологических центров разных стран.

## **В ожидании петафлопса**

При выборе будущей системы приоритетными для нас будут крите-

рии энергопотребления. Сейчас 30–40% бюджета ГВЦ Росгидромета «съедает» оплата электроэнергетики. У систем с жидкостным охлаждением энергоэффективность максимальная. Комплекс «РСК Торнадо» с жидкостным охлаждением очень хорошо себя зарекомендовал. На этом оборудовании можно достичь PUE, то есть коэффициента эффективности использования электроэнергии, равного всего 1.06 – то есть только 6% всего потребляемого электричества используется на охлаждение системы. В нашей ситуации это очень важно.

Кроме того, наш опыт работы с суперкомпьютером «РСК Торнадо» показал: жидкостное охлаждение настолько эффективно, что позволяет вполне реально обеспечивать круглосуточный режим работы технологии Intel Turbo Boost, «разгоняя» тактовую частоту ядер процессоров. При заявленной пиковой производительности в 35 ТФлопс система «РСК Торнадо» на самом деле может обеспечивать до 40 ТФлопс.

Конечно, мы рассматриваем различные варианты. Технологии охлаждения горячей водой могут дать возможность охлаждения за счет внешней среды. Но мы относимся к этой технологии с осторожностью потому, что опасаемся увеличения паразитных токов. Они могут заметно снизить производительность и энергоэффективность системы.

Задачи, которые решаются в метеорологических вычислительных центрах, – не самые легкие для распараллеливания. Атмосферу невозможно разрубить на несвязанные кусочки. Есть предел параллелизуемости задачи, выше которого на данном этапе подняться нельзя. Есть, грубо говоря, два этапа: так называемые подсеточные расчеты, когда физические процессы рассчитываются внутри «счетной» ячейки атмосферы. Чем сложнее физика этих процессов, тем больше требуемых вычислений. Но ввиду

неразрывности атмосферы такой локальный счет внутри «счетной» ячейки можно производить только до определенного предела, после которого следует производить синхронизацию результатов по таким «счетным» ячейкам, что уже связано с коммуникационными операциями. Вычисления можно дробить по «счетным» ячейкам, но следует обязательно соблюдать баланс между объемом вычислений и объемом требуемых коммуникационных операций.

## Возможны варианты. Не все

Последнее время все чаще говорят, что эра стандартных кластеров универсального назначения, рассчитанных в основном на работу под MPI, подходит к концу: им на смену должны прийти специализированные системы, которые дают лучшую эффективную производительность. Однако если посмотреть на рейтинг TOP500, то можно увидеть, что установленные в ведущих метеоцентрах мира суперкомпьютеры – это рабочие лошадки, а не «амбициозные проекты» с накачанными флоссами.

Вычислительные комплексы метеослужб – «середнячки» по TOP500, поднышавшие максимум до 3-го десятка, чаще – до середины списка. Одним из главных и ключевых критериев выбора той или иной вычислительной архитектуры для метеорологических вычислений является не пиковая производительность комплекса, а эффективное использование системы и получение реальной производительности. При этом немаловажными являются такие вопросы, как программируемость вычислительного комплекса, качество и удобство инструментов разработки и оптимизации ПО, а также получаемая точность расчетов.

Я слышал такого рода вопросы: алгоритмы расчета погоды не так уж быстро меняются, поэтому по-

чему бы не «зашить» самые важные части алгоритмов в ПЛИС или даже в заказные микросхемы? Дело в том, что консервативность наших моделей сильно преувеличена. Мы вносим изменения в расчетные модели иногда по 2–3 раза в неделю. Вносить изменения раз в месяц – это наша мечта, не более. На время Олимпиады «Сочи-2014» было рекомендовано не вносить изменения вообще, но даже в этом случае пару раз все-таки пришлось это сделать.

Атмосфера преподносит сюрпризы, обнаруживаются явления, их комбинации, которые не были предусмотрены в модели, развивается наука, надо реагировать на ошибки системы наблюдения. Есть огромное число примеров, когда метеоцентры закупали какую-то прогностическую модель, а через некоторое время модель «умирала» только потому, что не поспевала за новыми результатами других моделей.

Но дело еще и в том, что прогностические модели – это не вся метеорология. Модели можно купить. Но не менее важный этап – усвоение метеорологических данных. Систему усвоения данных вы никогда не купите. Она очень сложна, и каждый считает ее своим ноу-хау. Даже если бы вы купили ее, то система усвоения данных, разработанная в одном центре, наверняка не будет работать «гладко» с прогностической моделью, разработанной в другом месте. Ошибки сделают работу такой комбинации бессмысленной. Сопроцессоры, графические ускорители – направление очень для нас интересное. Но хотя и есть прорывы, появились высокоуровневые языки, в целом средства написания эффективного кода, такого, который бы использовал их новые возможности для наших задач, эти средства пока недостаточно развитые. Есть и другая проблема. У графических ускорителей маленькая память на одно ядро. По этим причинам не такую уж большую часть кода мож-

но перенести на графические ускорители. Если и получится 20–30% производительности нарастить за счет графических ускорителей, то эти изменения не столь грандиозны на фоне всех сложностей перехода на другую архитектуру.

Поэтому эксперименты мы ведем, у нас будет, возможно, «песочница» для таких экспериментов и в будущем проекте, но пока, на данном этапе, это для нас не основное направление развития.

## Возвращаясь к Олимпиаде

Метеорологическое обеспечение сочинской Олимпиады было очень удачным. В Сочи работала целая группа синоптиков со всей России во главе с заместителем директора Гидрометцентра России по вопросам гидрометеорологического обеспечения Олимпиады Валерием Лукьяновым. Они работали очень интенсивно – работа ежедневно начиналась в половину шестого утра и заканчивалась поздно ночью. Кроме этой «сборной» работали и местные, очень опытные синоптики из нашего подразделения в Сочи – СЦГМС по Черному и Азовскому морям. Они, конечно, великолепно знают все местные особенности климата и текущие атмосферные процессы.

Успешность расчета прогностических моделей была обеспечена круглосуточно работающими комплексами SGI Atix ICE-x, «РСК Торнадо», SGI Altix 4700. Все наши прогнозы были удачными. И они помогли. Когда судьи откладывали гонки из-за тумана, они руководствовались нашими данными. Да и погода на период Олимпиады выдалась очень неплохая. Прогнозировать такую теплую погоду для зимней Олимпиады – одно удовольствие. А то напряжение, с которым приходилось это делать, было с лихвой компенсировано результатами Олимпиады. ■