

Журнал Доктора Добба, N3, 1991
Суперкомпьютеры в мире и в нашей стране
Андрей Игоревич Масалович

ЖУРНАЛ Д-ра Добба

№ 3' 1991

ISSN 0869-2343

RUSSIAN
DR. DOBB'S
JOURNAL

Русский Парадокс

Стандарт языка C

АВТОРСКОЕ ПРАВО НА ПРОГРАММЫ

СТРАННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ
АДАПТЕРА USA

СОВЕТСКИЙ
СУПЕРКОМПЬЮТЕР
ВОЗМОЖЕН ЛИ
ОН СЕГОДНЯ?

T9000
ТРАНСПЬЮТЕРЫ
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Slipper 5.0

ЗНАЕТ ЛИ КОМПЬЮТЕР
ПОЭЗИЮ?



СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ В МИРЕ И В НАШЕЙ СТРАНЕ

Советский суперкомпьютер - возможен ли он сегодня?

А. И. Масалович

...философские соображения, сколь бы важными они ни представлялись, не должны помешать нам искать пути применения новой техники. Если это удастся, то будущее наше будет лучше, чем можно себе вообразить. Если же нет, то у нас вообще может не быть будущего.

Д. Мичи, директор института им. А. Тьюринга (Глазго)

До суперкомпьютеров ли нам сегодня, в голодной отсталой стране, истерзанной многолетним экономическим экспериментированием? В стране, где увеличением объема производства может похвастаться лишь Гознак. Да и можно ли всерьез говорить о суперкомпьютерах, отстав от мирового уровня развития электроники на 6-10 лет (по другим оценкам - навсегда)? Разумеется, было бы нелепо полагать, что отечественная наука и промышленность способны своими силами создать действительно конкурентоспособную быстродействующую ЭВМ. Однако, как ни парадоксально, именно сегодня у нас есть реальный шанс включиться в европейские и мировые разработки в этой области. Основания для столь оптимистического заявления дает анализ современного состояния и тенденций развития индустрии суперкомпьютеров, составляющий предмет данной статьи. Что же касается вопроса: "Зачем это нам сегодня?", то наилучший ответ на него содержится в эпиграфе. Образно говоря, индустрия суперкомпьютеров - это локомотив прогресса, призванный доставить человечество в XXI век. И если мы уже сегодня не позаботимся о билетах, то рискуем просто остаться на перроне.

Для того чтобы определить возможное место и роль советской индустрии суперкомпьютеров относительно мировой, необходимо предварительно ответить на три вопроса: "Что собой представляют современные суперкомпьютеры? Для чего они создаются? К чему стремятся их создатели?"

К суперкомпьютерам (часто употребляется также термин суперЭВМ) принято относить наиболее производительные вычислительные машины, быстродействие которых во много раз превышает возможности так называемых "коммерческих" ЭВМ, представленных в данный момент на рынке.

Быстродействие ЭВМ (*performance*) обычно измеряют в миллионах операций в секунду (MIPS), миллионах операций с плавающей точкой в секунду (MFLOPS), а также в единицах, характеризующих скорость выполнения определенных стандартных тестов. Сегодня применяются около двух десятков таких тестов, наиболее известны тесты Whetstone, Dhrystone и так называемые "Ливерморские циклы" (*Livermore Loops*). В качестве характеристик применяют также пиковое (т.е. предельно достижимое) (*peak*) и среднее (*sustained*) быстродействие. Такое обилие используемых характеристик вызвано невозможностью однозначно ранжировать ЭВМ по быстродействию. Более быстрые при использовании одних тестов модели могут значительно проигрывать в случае использования других. Например, по оценкам Д. Кука (D. Cook) (Суперкомпьютерный центр при Иллинойском университете), из одиннадцати типов компьютеров, представленных в Центре, самым высоким пиковым быстродействием характеризуется модель Hitachi

S-820, в то время как среднее быстродействие выше у модели Cray Y-MP/832, и многие тесты выполняются на ней быстрее.

Что касается конкретных значений быстродействия суперкомпьютеров, то они, во-первых, колеблются в значительных пределах (сегодня это примерно 250 - 30000 MFLOPS), а во-вторых, в последние годы чрезвычайно быстро растут. Достаточно сказать, что еще пять лет назад Оксфордский словарь по вычислительной технике относил к суперкомпьютерам ЭВМ с производительностью свыше 10 MFLOPS. Сегодня этот рубеж перешагнули многие настольные рабочие станции, а пиковое быстродействие, например, компьютера nCUBE 2 фирмы nCUBE оценивается в 27 GFLOPS ("гигафлопс" - миллиард операций с плавающей точкой в секунду).

Вообще же самыми быстрыми однопроцессорными компьютерами считаются SX-X фирмы NEC (5.5 GFLOPS) и VP-2600 фирмы Fujitsu (4 GFLOPS). На роль абсолютного лидера по быстродействию претендуют модели примерно десятка фирм, среди которых Cray Computers, Cray Research, Thinking Machines, BBN, SSI, а также вышеупомянутые nCUBE, NEC и Fujitsu и даже всем известная фирма Intel. Выделить среди них "самую быструю ЭВМ" не представляется возможным по приведенным выше причинам.

Разработка суперкомпьютеров, несомненно, является весьма дорогостоящим делом. Достаточно сказать, что первые десять экземпляров знаменитого суперкомпьютера Cray-2 в четырехпроцессорном исполнении были проданы по 20 млн. дол. каждый. Кто платит эти миллионы? И для чего вообще создаются все новые и новые модели сверхбыстродействующих машин?

Можно назвать четыре основные причины. Прежде всего, во все времена были и будут задачи, для решения которых мощности существующих ЭВМ недостаточны. Около десяти лет назад нобелевский лауреат Кеннет Уилсон (K. Wilson) составил список наиболее трудных научных проблем, занимающих умы современных ученых. В ряду этих проблем - прогнозирование глобальных климатических изменений, картографирование человеческого генома и другие. Для решения большинства из них нужны новые суперкомпьютеры. Проиллюстрируем это на примере. В одном из исследовательских центров Лос-Аламоса сейчас

Андрей Игоревич Масалович известен читателям журналов "Интеркомпьютер", "Мир ПК" и "Вопросы радиоэлектроники". Области его научных интересов - САПР СВИС, объектно-ориентированное программирование, интеллектуальный интерфейс систем проектирования, архитектура многопроцессорных систем.



проводятся работы по моделированию климатических изменений [В мире науки, март 1991, №3, с.75]. Используемая модель планетарного слоя атмосферы содержит более полумиллиона четырехгранников - это близко к предельным возможностям используемого компьютера фирмы Thinking Machines. Однако можно подсчитать, что длина стороны каждого четырехугольника может доходить до 30 км, при этом вычисления требуемых параметров выполняются только в вершинах четырехугольников. Естественно, ученые мечтают о более высокой точности вычислений и, соответственно, о более быстрой ЭВМ. Кстати, в первых рядах заказчиков новых суперкомпьютеров для прикладных нужд традиционно стоят военные. Их аргументы более чем убедительны: например, компьютер, обслуживающий тренажер летчика-истребителя, должен просчитывать все изменения в модели воздушного боя за 1/50 с (и при этом формировать реалистичную картину на экране и приборной доске!). При обработке радиолокационных данных информация обновляется каждые 0,001 с. Понятно поэтому, что при общем сокращении расходов на оборону военные не скупятся на оплату новейших разработок. В США для этих целей даже создано специальное Агентство перспективных разработок в области обороны Defence Advanced Research Projects Agency - (DARPA) с многомиллионным бюджетом.

Вторая причина лежит в области политики. Помимо конкретной практической пользы, которую приносит суперкомпьютеры той или иной стране, само их существование дает определенные очки в мировой политической игре, как, скажем, наличие ядерной энергетики или золотого запаса. Сегодня термин "вычислительная мощность государства" используется в одном ряду с другими показателями экономического состояния страны.

Третья причина - философская. Какие-то, не изученные еще до конца мотивы двигают человечеством, заставляя вкладывать огромные деньги в полеты на Луну или создание растрового микроскопа, основанного на использовании туннельного эффекта. Усилия, связанные с разработкой новых Суперкомпьютеров, примыкают к проектам подобного рода, проектам, которые зачастую не дают немедленной отдачи, но тем не менее считаются полезными, поскольку раздвигают границы наших знаний о мире и демонстрируют могущество человека. Кстати, вынесенные в эпиграф слова были сказаны в обоснование одного крупного и дорогостоящего проекта суперкомпьютера для задач искусственного интеллекта.

Наконец, четвертая причина, побуждающая разработчиков браться за новые проекты суперкомпьютеров, - это стремление "проверить на прочность" свежие идеи и технологические новинки. Многие ведущие фирмы, разрабатывающие суперкомпьютеры, были когда-то основаны талантливыми людьми, стремившимися наиболее полно реализовать свои новые идеи (не имея, как правило, конкретных заказчиков). Так было с Сеймуром Краем (S. Cray), основателем фирмы Cray Research; со Стивом Ченом (S. Chen), ушедшим от Края и основавшим фирму Supersputer Systems Inc. (SSI); с Дэни Хиллисом (D. Hillis), самым колоритным разработчиком самого быстрого из высокопараллельных компьютеров (фирма Thinking Machines). Кстати, взгляд на суперкомпьютеры, как на полигон новых научно-технических решений, объясняет "мирное сосуществование" моделей, различающихся по быстродействию более чем в сто раз.

Какие цели ставят сегодня перед собой разработчики суперкомпьютеров? Удивительно, но в последнее десятилетие XX века наблюдается редкое единодушие в формулировке перспективных планов (вспомним разную точку зрения пять лет назад, после обнародования японского проекта ЭВМ пятого поколения). Разработчики говорят: "К концу века должен быть создан компьютер (условно обозначаемый 3Т) с быстродействием 10^{12} операций с плавающей точкой в секунду, памятью 10^{12} байт и скоростью передачи данных в 10^{12} байт в секунду". Для измерения быстродействия этой гипотетической машины уже придумана единица 1 TFLOPS ("терафлопс" - триллион операций с плавающей точкой в секунду), а Хиллис уже осваивает первые миллионы долларов, вложенные в проект "терафлопной" машины SM-3 фирмы Thinking Machines.

"Триллион операций в секунду - это то, что нам надо", - восторг разработчикам специалисты-прикладники. - "Этого достаточно для достоверного решения таких задач, как расчет обтекания фюзеляжа сверхзвукового самолета, моделирование торнадо, а также для большинства других известных задач."

"Это то, к чему стоит стремиться", - добавляют пессимисты, поскольку создание такого компьютера позволит в десять раз превзойти физически достижимые предельные характеристики традиционной

вычислительной техники. Достигнув нового рубежа, человечество будет вынуждено совершить переход к принципиально новым вычислительным системам. Возможно, они будут основаны на биомолекулярной технологии, или будут выполнены на оптических переключателях, а может быть, в них будут заложены неведомые еще физические принципы. В любом случае это будет уже другая страница истории науки.

Цель достижения "трех Т" замечательна, но как она соотносится с сегодняшним состоянием электроники в нашей стране? Самые быстрые из советских компьютеров с гипотетической максимальной конфигурацией могут достичь пикового быстродействия 10 GFLOPS. И это предел, причем как в чисто техническом плане, так и в научном. С чем можем мы выйти в мир, где мыслят "терафлопсами" и "гигабайтами"? Чтобы ответить на этот вопрос, бросим беглый взгляд на советскую индустрию суперкомпьютеров.

А был ли советский суперкомпьютер?

В сентябре 1991 года в Новосибирском Академгородке под руководством профессора Миренкова проходила Международная конференция "Технологии параллельных вычислений". Судя по всему, иностранные гости остались довольны как организацией, так и научным уровнем конференции. Однако в последний день, после всех докладов, прогулки на теплоходе и экскурсии в Вычислительный центр СОАН СССР один профессор из Великобритании заметил: "То, что вы рассказываете о советских компьютерах, очень интересно. Хотелось бы знать, какие из них существуют на самом деле?"

Вопрос, как говорится, не праздный. Действительно, десятилетиями существовали две точки зрения. Согласно одной из них, в СССР уже давно имеются потрясающе быстрые компьютеры, только они страшно засекречены, поскольку работают на оборону и освоение космоса. Согласно другой, все это миф, и единственный секрет всех наших "звездочек" - уровень отставания от Запада. Интересно, что оба высказывания недалеки от истины.

Поясним это на примере специализированного процессора ЕС-2720. Если бы сообщение о его возможностях появилось в прессе в начале 80-х годов (когда процессор прошел госиспытания), оно произвело бы эффект разорвавшейся бомбы. Еще бы, кому могло прийти в голову, что СССР обладает процессором, который по быстродействию не уступает знаменитой суперЭВМ STARAN, "любимой игрушке" не одного поколения американских военных. Понятно, что появление такой информации в те годы было совершенно невозможно.

Строки, которые вы читаете, - это, вероятно, второе упоминание о ЕС-2720 в открытой печати. И появилось оно благодаря тому, что мне попалось на глаза первое - на английском языке, в книге, изданной в Сингапуре [Parallel Computing Technologies/Ed. by N.N. Mirenkov. - Singapore: World Scientific, 1991. - P. 317]. Что же тут удивляться слухам и разнобою мнений!

Тем не менее время для увлекательного разговора о специализированной вычислительной технике еще не пришло. Поэтому вернемся к компьютеру общего назначения. (Чтобы закончить с ЕС-2720, скажу, что сейчас он мирно доживает свой век в компьютерном центре "Сибирь" СОАН СССР, приводя в восторг сибирских ученых эффективным решением геофизических и иных задач.)

Когда-то давно, на заре компьютерной эры, уровень советской вычислительной техники несколько не уступал мировому. СССР обладал мощнейшей по тем временам вычислительной системой БЭСМ-6, быстродействие которой достигало 1 MIPS. Эту "рабочую лошадку" до сих пор вспоминают в институтах и лабораториях Академии наук. Операционная система "Дубна" также не уступала другим ОС того периода. Язык программирования РЕФАЛ, разработанный советскими учеными, уже третий десяток лет применяется во всем мире при решении задач искусственного интеллекта.

Однако, начиная с 60-х годов, постепенно наметилось отставание советской компьютерной индустрии от мирового уровня. Различия в быстродействии отечественных и зарубежных процессоров, качество периферийных устройств, степени интеграции элементной базы становились все заметнее и привели в конечном итоге к утрате конкурентоспособности советских изделий на мировом рынке.

Что послужило причиной отставания? Можно перечислить целый ряд объективных и субъективных факторов, однако наиболее существенными из них представляются два: низкий уровень технологии изготовления основных компонентов компьютеров и ориентация на воспроизведение прототипов. Трудно сказать, какой из этих факторов

наука, к которой примыкают университеты и вузы. Разберем с каждым участником его партию.

Прежде всего, всем заказчикам, и в первую очередь военным, необходимо провести короткие научно-исследовательские разработки с целью определения оптимальной по критерию производительность/стоимость конфигурации вычислительных средств для решения их задач. Такие НИР (стоимостью не более 200 тыс. каждая) позволят локализовать и объединить области, где применение суперкомпьютеров действительно необходимо, и тем самым сэкономить миллионы рублей. Опыт показывает, что большинство из тех, кто выступает за создание новых суперсистем, в действительности может обойтись существующими мини-суперЭВМ, расширенными одной-двумя специализированными платами.

Во-вторых, предлагается на время вывести из игры в суперкомпьютеры нашу электронную промышленность. "Если Вам по весне захотелось обзавестись возлюбленной, не стоит брать амебу и ждать, пока она эволюционизирует", - говорил когда-то доктор У.Маккалох. Для создания современных суперкомпьютеров необходимы БИС со степенью интеграции свыше 800 тыс. транзисторов на кристалле. Наша промышленность потратила последние пять лет на то, чтобы освоить в восемь раз меньшую плотность упаковки. Необходимо время для коренного переоснащения отрасли.

Тем временем отраслевая наука может создать современный и вполне конкурентоспособный мини-суперкомпьютер (Да-да!). Представим себе процессорное поле, состоящее из нескольких (от 1 до 16) транспьютеров, например, типа T805. Пусть каждый из транспьютеров имеет собственную локальную память емкостью до 16 Мбайт и делит ее с быстродействующим математическим сопроцессором (например, типа i860). Управляется процессорное поле локальной сетью 32-разрядных рабочих станций (типа Sun SPARC, RS/6000 и т.д.). Большинство используемой аппаратуры стандартно, свои только системы питания, охлаждения и коммутации. (По такому пути идут сейчас многие мировые фирмы, в том числе широко известная Meiko). Уже разработано несколько советских проектов подобного типа, в их числе "Квант", "Интеркуб", "Парвек" и другие. Такой проект может быть реализован за 1,5-2 года и потребует примерно 3 млн. долларов и 20 млн. рублей, что по европейским меркам немного и вполне по силам любому нашему ведомству. Большая часть усилий при этом будет по-

трачена на адаптацию стандартного и разработку нового программного обеспечения.

Возникает резонный вопрос: "А как же быть с правилами Комитета по контролю над экспортом в страны Восточной Европы - пресловутого СОСОМ?" Ведь закупка современных микропроцессоров и любой мало-мальски мощной рабочей станции попадает под запреты этой хмурой организации. Будем реалистами. Запреты СОСОМ в их сегодняшнем виде не лишают нас компьютеров. Они скорее лишают прибылей их создателей. Сотня-другая рабочих станций (чего в принципе будет достаточно для оснащения суперкомпьютерами описанного выше типа всех заинтересованных академий, ведомств и штабов) способна "просочиться" через любые барьеры.

Специалисты по теоретическим аспектам параллельных вычислений имеют сегодня реальный шанс поучаствовать в самых передовых мировых программах разработки суперкомпьютеров. Это связано не только с тем, что достаточно полной теории автоматического распараллеливания вычислений не существует, а потребность в ней огромна. Сегодня мы становимся свидетелями рождения целого "созвездия" новых научных дисциплин, связанных с нейрокомпьютерами, оптоэлектроникой, компьютерами, управляемыми потоком данных (*dataflow machine*). Сосредоточив усилия на этих направлениях, можно реально приблизить рождение суперкомпьютеров новых типов.

Наконец, для приобщения вузов и университетов к работам над суперкомпьютерами необходимо создавать широкодоступные суперкомпьютерные центры, подобно тому, как это было сделано в США в начале 80-х годов. Когда Национальный научный фонд США принял решение субсидировать пять университетских центров для этих целей, что ознаменовало новую эпоху в разработке и освоении суперкомпьютеров. Тысячи научных работников и аспирантов получили доступ к невиданным доселе вычислительным мощностям. Из числа этих аспирантов вышли Чен, Хиллис, Дэвенпорт (Chen, Hillis, Davenport) - все те, кто задают тон в разработке новейших машин. Если мы хотим, чтобы наших аспирантов ждала такая же судьба, необходимо уже сегодня предоставить им доступ к "Эльбрусу-3", "Электронике ССБИС" - и что там у нас есть еще? И как знать, может быть, к 2000-му году исчезнет с повестки дня вопрос: "На сколько же лет мы отстали?".

СЛОВАРЬ

benchmarking - оценка производительности вычислительной системы с помощью эталонной тестовой задачи.

concurrency (параллелизм) - параллельное выполнение нескольких процессов. Термин применяется при описании общих принципов организации одновременного выполнения процессов в вычислительной системе.

dataflow machine (компьютер, управляемый потоком данных). Сегодня является предметом интенсивных исследований, поскольку основан на новых принципах управления, отличных от классической фон-Неймановской концепции последовательного потока управляющих команд.

Flynn classification (классификация Флинна) - один из наиболее распространенных способов классификации вычислительных систем. Согласно классификации Флинна, вычислительные системы делятся на четыре категории:

- **SISD (Single Instruction, Single Data)** - система с одним потоком команд и одним потоком данных;
- **SIMD (Single Instruction, Multiple Data)** - система с одним потоком команд и несколькими потоками данных;
- **MISD (Multiple Instruction, Single Data)** - система с несколькими потоками команд и одним потоком данных;

• **MIMD (Multiple Instruction, Multiple Data)** - система с несколькими потоками команд и несколькими потоками данных.

Практически все сегодняшние суперкомпьютеры относятся к категориям SIMD и MIMD, причем в каждой из категорий представлен широкий диапазон архитектур.

MFLOPS (Million Floating-Point Operations Per Second) (миллион команд с плавающей точкой в секунду) - одна из основных единиц измерения производительности вычислительных систем.

MIPS (Million Instructions Per Second) (миллион команд в секунду) - одна из единиц измерения производительности вычислительных систем.

multicomputer (многомашинная система) - этим термином обозначают слабосвязанные многопроцессорные системы с распределенными локальными запоминающими устройствами.

neural network (нейронная сеть) - архитектура вычислительной системы, в той или степени моделирующая процесс обработки информации нейронами мозга.

VLSI (Very Large-Scale Integration) (сверхвысокий уровень интеграции) - технология изготовления интегральных микросхем, позволяющая объединять в одном кристалле более 1 млн. транзисторов. Технология VLSI является основой изготовления элементной базы практически всех современных суперкомпьютеров.