



Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

L. Kantorovitch, Perspectives of a big-block approach in applied mathematics, programming and hardware, *Zap. Nauchn. Sem. LOMI*, 1974, Volume 48, 5–11

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.81

March 26, 2025, 18:05:53



ПЕРСПЕКТИВЫ КРУПНОБЛОЧНОГО ПОДХОДА В ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКЕ, ПРОГРАММИРОВАНИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ^{*)}

Л.В.Канторович

Мы имеем целью поставить вопрос о направлении исследований в области технической реализации и математического формирования процесса решения больших задач, связанных с массовыми операциями. Этот вопрос относится к перспективам развития вычислительных проблем, вычислительной техники и программирования, хотя, конечно, в полном объеме их не охватывает. Наша задача — сосредоточить внимание на вопросах, связанных с характеристикой и реализацией задач, связанных с массовыми операциями.

Ввиду такой новизны и неопределенности вопроса обсуждение его носит характер предварительной дискуссии.

Развитие и применение электронных вычислительных машин в Советском Союзе является свидетельством выдающихся успехов в этой области, характеризующимся тем большим местом, которое ЭВМ заняли в науке и технике, в научно-технических расчетах, в процессе обработки экспериментов, в процессах управления и обработки информации, непосредственно в работе технологических систем.

Очень много сделано в развитии численных методов, методов программирования, машинных языков, в совокупности вопросов, которые сейчас называют математическим обеспечением. Большие успехи достигнуты в разработке вычислительной техники. Сейчас заканчивается освоение выпуска машин серии "Ряд". Конечно, хотелось бы, чтобы продвижение во всех этих областях шло еще быстрее.

За 20 лет произошел большой скачок в вычислительной технике. Но в то же время и сейчас нельзя считать это развитие законченным. Все время возникают грандиозные по масштабам задачи, новые области применений. Развивается машинная техника, непрерывно предъявляются к ней новые требования и в то же время появляются новые возможности ее развития, например, такие, как разделение времени, системы машин, машины со сложной архитектурой, новые физические средства: большие интегральные схемы, электронная оптика, голография. Поэтому сейчас, хотя у нас еще идет речь о начале широкого использования машин третьего поколения, пора уже начинать разработку машин четвертого поколения.

Совершенно своевременно поэтому лицам, занимающимся разными сторонами этого комплекса, обсудить дальнейшие возможности рабо-

^{*)} Доклад на координационном совещании "Математические основы и техническая реализация крупноблочных вычислительных процессов". Ленинград, 28-29 мая 1973 г.

ты, учитывая и имеющийся задел, и разработки, и новые задачи.

В целом этот комплекс вопросов необозрим, и вряд ли его можно было бы охватить при этом обсуждении.

Мы имели в виду рассмотреть его только в двух аспектах с тем, чтобы оценить, что делается и как-то наметить дальнейшие работы и необходимую координацию усилий.

Первое, что важно подчеркнуть — это необходимость комплексного или системного подхода. До настоящего времени в известной мере изолированно развиваются такие области, как: 1) математическое моделирование и анализ решения задач в различных сферах науки и человеческой деятельности; 2) численные методы и алгоритмы; 3) программирование; 4) разработка вычислительной техники. Каждое из этих направлений исследований развивается своим кругом людей и часть их в известной мере разобщена друг от друга.

Имеются, например, большие институты, проектирующие вычислительную технику, и там часто нет ни одного высококвалифицированного математика, и иногда эта техника делается, по существу, без глубокого понимания, для чего она нужна. Между тем известно, что для того, чтобы правильно выбрать параметры и структуру машины, нужно уметь оценить, какого характера, т.е. какого объема и с какими характеристиками, будут решаться задачи на ней. Много ли вычислений, связанных с большим объемом информации и т.п. Точно также, если требуется охарактеризовать эффективность вычислительной машины, то ее никак нельзя выразить такими техническими характеристиками, как частота срабатывания отдельных элементов, или объем памяти, или что-либо подобное, или даже быстродействие выполнения отдельных команд (быстродействие одной машины может быть больше другой по отдельным командам, а на фактических реальных задачах ее быстродействие, производительность будет меньше).

Поэтому названные вопросы должны рассматриваться совместно, комплексно, и это есть один из резервов повышения эффективности их решения. Я не знаю можно ли за счет этого ожидать повышения эффективности на несколько порядков, но на порядок вполне реально. Поэтому очень важен комплексный, взаимосвязанный, системный подход к созданию и использованию вычислительной техники, который может быть достигнут, с одной стороны, за счет наличия хороших рабочих контактов людей, работающих на разных уровнях, а с другой, за счет наличия некоторого числа людей гибридной квалификации, которые одновременно творчески владеют несколькими уровнями из этого многоэтажного здания. Как это показывает и опыт многих других наук, внимательное изучение таких граничных проблем, мест стыка, стирание этих стыков, является часто сильным стимулом для развития обеих областей.

Обсуждение этих связей, эффективных контактов, путей и форм согласования названных различных уровней вычислительной математи-

ки и техники — это один из предметов дискуссии, который и выдвигаю: каковы формы и средства, чтобы реализовать контакты и необходимое согласование работ, каковы организационные и научные предложения, перспективная оценка и глубокая характеристика развития проблемы.

Вторая специфическая сторона обсуждения проблемы — это крупноблочные формы построения и машинной реализации вычислительных процессов. Если сослаться на аналогию, то можно привести как пример управление в армии. Как правило, управление в армии, распоряжения, которые там даются, относятся не к отдельным военнослужащим, а к целым подразделениям. Если взять простейшие команды, например, "рота налево" или "построиться по четыре", то если бы они выдавались в таком распisanном виде: "Иванов — направо, Сидоров — направо и т.д.", то это очень усложнило бы и сделало бы управление чрезвычайно громоздким. Между тем, если мы задумаемся в организацию процесса на вычислительных машинах, то она именно так и осуществляется. В общем управление всегда доводится до подобных индивидуальных команд, хотя это и делается автоматически, в известной мере компактно, но все же приводит к большим накладным расходам. Таким образом, имеется большое усложнение за счет доведения управления до такого фиксированного уровня машинных команд, относящихся к отдельным числам. А является ли это необходимым — спорный вопрос. Тем более, что в математике, не только в вычислительных алгоритмах и при обработке информации, но и в других случаях, большинство осуществляемых операций, возникающих естественным образом, как правило, носит не индивидуальный характер, а относится к определенным образом сформированным массивам данных, и сами операции также обычно носят однородный массовый характер. И все же при проведении вычислений и обработке информации на вычислительной машине оказывается необходимым сводить все операции в конечном счете к индивидуальным операциям над числами или вообще над содержимым стандартных ячеек памяти. Это обусловлено существующими системами команд, за исключением отдельных групповых, имеющих в некоторых машинах. Это положение имеет место и при обычном программировании и при автоматическом.

Однако, поскольку преобразование всех вычислительных операций в индивидуальные команды автоматическое и достаточно компактное, многим кажется, что и никакой проблемы нет, и нет надобности в специальных массовых операциях. В конечном счете программирование универсально: все можно учесть, все можно сделать, все хорошо и все благополучно. По нашему мнению, и это также вопрос, который выдвигается для обсуждения, в действительности это не так, и эти взгляды должны быть критически пересмотрены.

Такой универсальный подход к задачам и проблемам описания алгоритмов, исходя из наиболее универсальных машин (вплоть до ма-

шины Тьюринга), приводит к тому, что мы выхолащиваем конкретный характер и особенности реальных задач и реальных алгоритмов и благодаря этому не используем их благоприятные черты и особенности. Реальные задачи в общем имеют не универсальный характер, как правило обладают некоторыми специальными чертами и особенностями. В частности, для многих задач характерно наличие массовых (параллельных) операций, которые осуществляются над крупными, произвольными, обычно специальным образом организованными массивами.

Другим характерным примером являются операции конвейерного типа, которые допускают непрерывную переработку некоторого потока индивидуальных числовых (или укрупненных) объектов, так что до окончания переработки предыдущего может быть начата переработка следующего.

Это, конечно, не исчерпывает всех родов таких массовых операций, но эти два вида операций определенно выявлены, и определены известные технические возможности их реализации. Именно за счет этого таятся значительные неиспользованные резервы.

То, что обращение со стандартными массивами, массовые операции совершаются так же, как и индивидуальные операции, означает недооценку имеющихся возможностей повышения эффективности вычислительной техники. В действительности надо использовать существующие здесь возможности, свойства реального материала.

Нужно сказать, что существующее положение, характеризующее таким индивидуальным в указанном смысле выполнением вычислительных работ, продолжается и непрерывно закрепляется потому, что раз все машины имеют такие индивидуальные команды, то математические методы и программирование подстраиваются под них, раз иного и быть не может: все вычисления, все алгоритмы сводятся к действиям, реализуемым над индивидуальными числами. Иначе говоря, все математическое обеспечение строится с ориентацией на имеющийся парк машин.

Но, с другой стороны, раз методы вычислений так построены и описываются, то и новые машины опять же конструируются на тех же принципах. Видимо надо все это положение коренным образом изменить.

В настоящее же время, с одной стороны, остаются мало использованными специфичные особенности реальных операций и массивов, как правило, представляющих в больших вычислительных и информационных задачах массовые операции. С другой стороны, остаются неиспользованными потенциальные возможности аппаратного осуществления некоторых массовых операций во вновь конструируемых машинах, в особенности при использовании новых физических средств. Например, то же транспортирование данных аппаратно нередко можно произвести одним поворотом рычага, одним переключением реле управления.

Эти возможности, даже технически существующие сейчас и особенно реальные при таких новых средствах, как электронная оптика и др., не используются потому, что машине такие требования не предъявляются, она таких задач не получает. Конечно, естественная массовость, крупноблочность вычислительных процессов нашла известное отражение в системах программирования и языках, например, массивы в АЛГОЛЕ. Особенно она пропагандировалась в работах ленинградских математиков, начиная с 1954 года.

Под известным влиянием этого направления, величины и массовые операции нашли определенное применение в α -трансляторе с АЛГОЛА. Эти подходы получили в последнее время большое развитие в американских системах программирования, особенно в системе APL. Это говорит об актуальности поставленного вопроса.

В области технического осуществления массовых крупно-блочных операций некоторые предложения были сделаны нами еще в начале 60-х годов (Канторович Л.В. и Фет Я.И., Авт.свид. № Г72567, Бюлл. изобр. № 13, 1965 г.).

Имелась в виду передача массовых операций на специализированный процессор (приставку к универсальной ЭВМ), были разработаны также роторный быстродействующий сумматор и конвейерное арифметическое устройство, позволившие намного повысить эффективность приставки. Впоследствии аналогичные решения были использованы в США для реализации мощных вычислительных комплектов, например, в специализированном процессоре 2938 фирмы IBM, предназначенном для обработки массивов.

Если говорить об уровне программирования (см. нашу статью в трудах МИАН СССР, 1968, 96, 515), то за счет принятия в качестве базовых элементов системы вместо числовых операций, некоторых стандартных операций над различно организованными массивами, то посредством крупноблочных программ, путем интерпретации и компиляции может быть достигнута большая эффективность. Обычное автоматическое программирование не использующее специальных свойств и организации материала дает менее эффективные программы и не позволяет полностью использовать разрешающую способность машин (быстродействие, память, варьирование различных ее видов). Даже известные возможные приемы повышения эффективности полностью не удается реализовать, т.к. это очень осложняет и затягивает подготовку программы. Поэтому такие специально организованные системы программирования могли бы дать большой эффект. Вероятно, это бы облегчило и построение транслятора, дало возможность разделения труда.

Это позволило бы и лучше оценивать эффективность алгоритмов. Наличие крупных операций, а не отдельных команд, знание их эффективности, времени реализации, позволяет заранее оценивать время,

потребное для вычислений, и потому оценивать качество алгоритма. Выделение крупных независимых частей вычислительного плана позволяет осуществлять преобразования вычислительных планов, решать вопросы оптимизации.

В настоящее время для прогноза развития вычислительных методов и вычислительной техники, рекомендации лучших путей целесообразно поставить задачу более систематического анализа требований к вычислительной математике и вычислительной технике, изучению структур, прежде всего структур больших задач, появления которых можно ожидать в ближайшем будущем (малые и средние задачи не представляют проблемы, проблему представляют именно большие задачи). В этом плане должны быть совместно обсуждены и рассмотрены следующие комплексы задач.

I. Классификация, типизация и характеристика используемых в настоящее время и в перспективе задач в области планирования и управления и в других областях приложений математики и ЭВМ.

Каковы сами модели, задачи управления, массивы информации, которые можно ожидать? Какую характеристику и типизацию нужно применить, чтобы этот будущий пакет задач лучше спрогнозировать и описать?

Теперь прогнозы стали не только популярным, но и утвержденным государством средством решения задач управления техническим прогрессом. Как известно осуществляются весьма сложные прогнозы развития различных областей науки и техники на большие сроки. Поэтому и в вычислительной математике и технике такие прогнозы могут и должны быть сделаны. Этот прогноз не так безнадежен еще и потому, что существует временной лаг: пока теоретическая разработка дойдет до вычислительной техники, проходит лет 10. Поэтому сейчас можно не только прогнозировать, а нередко просто узнать и описать задачи, которые через 10 лет пойдут на вычислительную технику.

II. Типизация методов и алгоритмов, широко используемых в настоящее время и в перспективе для решения соответствующего круга задач.

Если говорить о задачах управления и планирования, обработки информации, то это задачи из области теории управления, оптимального программирования, теории игр, линейной алгебры, исследования операций, статистики и информации, а также различные методы и алгоритмы их решения.

III. Анализ характерных методов и алгоритмов с точки зрения структуры исходных и промежуточных массивов, способов их организации и переработки. Анализ занимающих наибольшее время массовых, конвейерных, циклических и других операций.

Обычно, в основном, мы при анализе рассматриваем задачи по одной, или некоторый небольшой класс однородных задач (задачи ли-

нейного программирования, задачи сортировки массивов и т.п.). Между тем представляется возможным и целесообразным произвести анализ широкого класса разнообразных задач с точки зрения единства их структуры и прежде всего с точки зрения тех операций, которые являются наиболее массовыми и предъявляют наибольшие требования к памяти, быстродействию, занимают наибольшее время и место в машине.

Производя анализ, нужно прежде всего выяснить, какого характера эти массивы, как они устроены, организованы, как размещаются. Какие операции могут производиться параллельно (сложение векторов, действия над компонентами), где требуется конвейерная обработка или циклические ветвления. Каковы виды занимающих наибольшее место массовых операций в связи с последующей проблемой реализации этих операций на машине.

IV. Весьма актуальна также задача изучения технических возможностей и технических средств для эффективной реализации операций над информационными массивами, эффективных форм организации передачи и переработки этих массивов.

Таким образом, нужно описать технические возможности машин, так, чтобы можно было не только задавать технические требования к машинам, но и учитывать возможности машин, которые техника способна дать, что она может эффективно и сравнительно негромоздко сделать. Необходимо в какой-то мере при анализе алгоритмов, оценке и поиске путей возможных решений найти такую организацию алгоритмов, которая бы наилучше использовала эти реальные технические возможности.

У. Выяснение принципов построения языка высокого уровня, позволяющего удобно и эффективно описывать указанные массовые методы, ориентированного также на соответствующие технические средства, учитывающего их возможности.

Иначе говоря, актуальна проблема создания языка, который бы отражал эти особенности структуры больших задач и по возможности адекватно их описывал и в то же время эффективно помогал реализовать соответствующие возможности машинной техники.

Например, микропрограммирование, которое существовало во многих машинах, часто практически оставалось неиспользованным. Не ясно было, где и как его использовать. Система программирования и алгоритмические языки были не приспособлены для этого. Заслуживают выяснения принципы трансляции и аппаратной интерпретации описанной на таком языке задачи, с эффективным использованием укрупненных информационных единиц и операций, реализуемых доступными техническими средствами.

Вот проблемы, которые хотелось бы подвергнуть обсуждению. Выяснить, что в этом направлении сделано и какие имеются перспективы. Это позволило бы определить некоторые более эффективные пути развития вычислительной техники и методов ее использования.