

## ОПЫТ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА СИСТЕМЕ "МИНСК-222"

*Ю.Г. Косарев*  
(Новосибирск)

Разработка вычислительной системы "Минск-222" [1], выполненная в 1965-66 годах в ИМ СО АН СССР совместно с СКБ преследует следующие основные цели: проверку основных принципов и конкретной схемы построения однородных вычислительных систем с программно изменяемой структурой [2,3]; увеличение эффективности использования парка серийных однородных машин; а также обработку методики решения задач и накопление опыта математической и технической эксплуатации подобных систем.

В "Минске-222" принципы однородности машин и связей между ними, программной изменяемости конфигурации информационных и управляющих связей и распараллеливания (согласно которому процесс решения задачи представляется в виде большого числа ветвей, одновременно выполняемых машинами системы) реализуются следующим путем.

Линейное расположение машин; безадресный групповой обмен между оперативными памятьями (машины, участвующие в обмене предварительно синхронизуются и затем подключаются к общему каналу связи. Число принимающих машин при этом не ограничивается. Время на обмен одним кодом практически равно двум стандартным тактам машины); программная реализуемость двух основных схем управления; сигналы, управляющие ходом вычислений, могут вырабатываться как какой-либо одной машиной, так и заданной совокупностью машин; программное разбиение системы на произвольное число подсистем (в том числе на отдельные, работающие как обычные одиночные машины); программное выделение машин, участвующих в выработке управляющих сигналов и воспринимающих эти

сигналы; взаимодействие машин и изменение конфигурации системы осуществляется с помощью команд обмена (передача и прием) обобщенного безусловного перехода (ОБП), обобщенного условного перехода (ОУП) и настройки.

В результате первого года эксплуатации экспериментального образца системы "Минск-222" из трех машин, находящегося в ИМ АН БССР можно сделать некоторые предварительные выводы.

I. О пригодности данной схемы для построения многомашинных вычислительных систем. Для большинства задач строились универсальные программы, которые могли настраиваться как на параметры задачи, ( $n_1$ ) так и на число машин в системе ( $l$ ), и устанавливались в зависимости от  $n_1$  и  $l$  затрат времени на счет и на взаимодействие машин.

Для рассмотренных задач линейной алгебры и решений дифференциальных уравнений в частных производных эти зависимости получались весьма простыми. Например, при решении системы из  $n$  линейных уравнений методом последовательных приближений [4] время счета, если принять, что число итераций  $k \approx n/2$ , равно

$$t_{сч} = \frac{an^3}{1}, \quad (1)$$

где  $a$  - средняя длительность операции.

Относительные затраты на обмен между машинами

$$t_{об} / t_{сч} = \frac{(bn + cl)n}{2t_{сч}}, \quad (2)$$

где  $b$  - время обмена одним кодом,  $c$  - время на организацию группового обмена.

Относительные затраты на синхронизацию машин перед обменом в согласии с [5] равны

$$t_{синх} / t_{сч} = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{R^2} \sum_{k=1}^s R_k D_k}{1}}. \quad (8)$$

Для рассматриваемой задачи  $R_k = R/2, R \gg 2n^2/1, s = 2$ . С учетом этого

$$t_{синх} / t_{сч} \approx \frac{1}{2an} D, \quad (9)$$

где  $D = \sqrt{D_{сч} + D_{умн}}$ .

В данном случае  $a = 298$  мксек,  $b = 48$ ,  $c = 72$ ,  $D = 64$  мксек.

Если потребовать, чтобы  $t_{сч} \leq t_{пр}$  - предельно допустимого времени решения задачи (например 10 час) и чтобы затраты на обмен (2) и на синхронизацию (8) были на порядок меньше  $t_{сч}$ , то из (1), (2) и (8) не трудно видеть, что указанные затраты времени становятся практически ощутимыми, когда число машин достигает нескольких тысяч.

Аналогичные результаты получаются и для других задач линейной алгебры: обращения матриц, нахождение собственных значений и решении системы уравнений методом Жордана, а также при решении дифференциальных уравнений в частных производных [6].

Таким образом, для рассмотренных классов задач данная схема построения системы обеспечивает достаточную скорость обмена вплоть до величин 1, достигающих нескольких тысяч машин. Для систем с большим числом машин потребуются некоторые дополнительные меры, как то: увеличение скорости обмена или числа каналов, а также по-видимому, реализация операций сложения и умножения за фиксированное время независимо от величины операнд.

2. О возможности лучшего использования парка машин. Для каждой задачи, как правило, существует некоторое множество эквивалентных алгоритмов, из которых можно образовать последовательность  $A_1(t_1, v_1), A_2(t_2, v_2), \dots, A_n(t_n, v_n)$ , где время реализации алгоритма  $t_1 < t_{i-1}$ , объемы оперативных памяти (ОП)  $v_i > v_{i-1}$ .

Увеличение объема ОП нередко позволяет для системы применять более эффективные алгоритмы, чем для одной машины.

Для задач линейной алгебры для определенного интервала величины  $n$  все данные размещаются в ОП системы. Дополнительный выигрыш из-за отсутствия обращения ко вспомогательным памяти получается 1,5 + 2,0 раза.

При решении системы дифференциальных уравнений в частных производных [6] увеличение ОП позволяет хранить в ней коэффициенты, которые на одной машине приходится либо многократно насчитывать, либо вводить с магнитной ленты. В этой задаче дополнительный выигрыш получился, примерно, в 3 раза.

При решении системы обыкновенных дифференциальных уравнений [7] увеличение объема ОП позволяет для счета правых частей применять таблицы с равномерным шагом, что дает дополнительный выигрыш в 1,9 раза.

Для задач расчета термодинамических и моделирования взаимно-

действия частиц с веществом методом Монте-Карло, параллельные программы для которых составляются в ИЯЭ АН СССР ожидается до-полнительный выигрыш от применения таблиц большого объема в несколько десятков раз.

Таким образом, объединение машин в систему позволяет не только решать задачи с большими значениями параметров, но и считать ряд типовых задач значительно быстрее, чем на том же числе изолированных машин.

3. О построении схем параллельных программ. Применение методики крупно-блочного распараллеливания [8] позволило для всех рассмотренных задач сравнительно просто составить эффективные схемы параллельных программ. Для большинства задач это сводилось к нахождению независимого цикла (или нескольких циклов), включающих в себя все или почти все операторы; (при этом каждой ветви придавалось  $r = n/1$  повторений, где  $n$  - число повторений цикла) и добавление операторов системы, обеспечивающих взаимодействие ветвей.

4. О сложности программирования. Для рассмотренных задач программы для системы отличаются от программы для одиночной машины лишь дополнительными блоками, обеспечивающими взаимодействие машин. Эти блоки составляют примерно 10-20% от общего объема программы.

Для большинства задач благодаря распараллеливанию по циклам программы для всех машин были одинаковыми.

Команды системы, как показал опыт, быстро усваиваются программистами и их употребление не вызывает больших затруднений.

Отладка программ происходит в два этапа, сначала на одной машине, а затем - на системе. Для рассмотренных задач второй этап, как правило, занимал меньше времени, чем первый.

Таким образом, можно сделать вывод, что ручное программирование для систем типа "Минск-222" не представляет больших затруднений и может широко применяться на практике.

О возможности автоматизации программирования см [9]

5. Об эксплуатации системы. Эксплуатация системы не потребовала увеличения штатов технического персонала.

Объединение машин в систему несколько увеличивает время полезной работы машин, так как при неисправности входных или выходных устройств одной машины можно использовать соответст-

вающие устройства другой машины.

В ходе эксплуатации выявились также некоторые пожелания по совершенствованию системы. В частности, вопрос об индикации состояния регистров настройки, сохранение признаков условных переходов при выполнении команд системы, закрепление признака Q только за командами ОБП, а признака  $\Omega$  - только за командами ОУП, введение 4-той модификации команды ОУП-ОУП для синхронизации машин и т.п.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Э.В. Евреинов, Г.П. Лопато. Универсальная вычислительная система "Минск-222". Сб. "Вычислительные системы", Новосибирск, Изд-во "Наука", Сиб. отделение, 1966, вып. 28, стр.13-20.
2. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. О возможности построения вычислительных систем высокой производительности. Изд-во Сиб. отд. АН СССР, Новосибирск, 1962, стр.40.
3. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Изд-во "Наука", Сиб. отд. Новосибирск, 1966, стр.308.
4. Л.В. Головянкина, Ю.Г. Косарев. Программа решения системы линейных уравнений на "Минск-222". Сб. "Вычислительные системы", Новосибирск, Изд-во "Наука", Сиб. отд. 1967, вып.24, стр.55-75.
5. Ю.Г. Косарев, С.В. Нагаев, "О потерях времени на синхронизацию в однородных вычислительных системах", Сб. "Вычислительные системы", Новосибирск, изд-во "Наука", Сиб. отд. 1967, вып.24, стр.21-40.
6. А.А. Велесью, Ю.Г. Косарев, Р.В. Юрвич. Решение кинетического уравнения в диффузном приближении методом последовательной верхней релаксации на системе "Минск-222".
7. А.И. Петрович, Ю.Г. Косарев. Моделирование колебаний автопоезда на системе "Минск-222". Данный сборник.
8. Ю.Г. Косарев. Распараллеливание по циклам. Сб. "Вычислительные системы", Новосибирск, Изд-во "Наука", Сиб. отд. 1967, вып.24, стр.3-20.
9. Ю.Г. Косарев. Об автоматизации программирования для однородных вычислительных систем.