

УДК 681.142.2

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.Н.Ваприк, В.И.Жиратков, В.Г.Кан, А.И.Михэшов

В последние годы все большее внимание привлекают распределенные универсальные вычислительные системы (УВС), предназначенные для решения массовых задач, таких как: задачи управления производственными процессами, задачи, связанные с проектно-конструкторскими работами, многие технико-экономические задачи, задачи управления народным хозяйством и т.п.

На макроструктурном уровне рассмотрения распределенных УВС будем различать три основные части системы: элементарные машины (ЭМ), коммутатор и сети связи [1]. Напомним, что под сетью связи понимается совокупность приемо-передающей аппаратуры и каналов связи, обеспечивающая передачу цифровой информации между абонентами (в нашем случае между ЭМ) с заданным временем передачи и достоверностью. Коммутатор и сети связи вместе образуют систему связи УВС.

Классификация распределенных УВС с учетом
типов сетей передачи данных

Расширим известную классификацию [1] по следующим призна-

кам: по структуре сетей связи, по способу передачи информации, по методу установления связи между ЭМ, по пропускной способности каналов связи.

По структуре сетей связи будем различать распределенные УВС с фиксированными и переменными направлениями связи между ЭМ. В первом случае ЭМ связаны между собой постоянно закрепленными (арендованными) каналами передачи данных. Каждый канал при этом используется для обмена информацией только между двумя непосредственно связанными ЭМ. Во втором - ЭМ не имеет постоянно закрепленных каналов и взаимодействует друг с другом через центры коммутации. Последние предоставляют абонентам каналы связи (либо услуги по передаче сообщений в направлении, соответствующем адресу, содержащемуся в заявке на соединение или передаче сообщений).

По способу передачи информации распределенные УВС с переменными направлениями связи между ЭМ можно подразделить на УВС с коммутацией каналов (КК) и на УВС с коммутацией сообщений (КС). В первом случае организуется сквозной канал, связывающий через узлы сети связи одну ЭМ с другой, а затем передается информация. Во втором - информация поэтапно передается и запоминается в узлах связи, причем передача к намеченному пункту осуществляется по мере освобождения каналов между узлами в данном направлении.

В свою очередь, по методу установления связи между ЭМ распределенные УВС с КК можно разделить на УВС с разовым и с многократным установлением связей между ЭМ в процессе решения задачи. В УВС первого типа все связи между ЭМ, предусмотренные программой решения задачи, устанавливаются только один раз перед началом ее решения и могут разрушаться в процессе ее решения только в том случае, если пропадет необходимость в той или иной связи до конца решения задачи. В УВС второго типа связи устанавливаются и разрушаются между ЭМ в процессе решения задачи в соответствии с программой.

По пропускной способности сетей связи будем различать распределенные УВС с низкоскоростной (50-200 бод), среднескоростной (200-4800 бод) и высо-

коскоростной (свыше 4800 бод) аппаратурой передачи данных (АПД).

В качестве каналов связи могут применяться как проводные линии связи, так и свободное пространство (например, радиоканалы). В первом случае затраты будут определяться линиями связи и прямо-передаточной аппаратурой, во втором - только приемо-передаточной аппаратурой.

Каналы связи (проводные) могут быть арендованными (некоммутируемыми) и абонированными (коммутируемыми). Очевидно, что затраты на арендованные значительно выше затрат на абонированные каналы.

Сеть связи служит для обмена информацией как между ЭМ, так и между ЭМ и внешними объектами. Обмен может осуществляться последовательными, параллельными либо параллельно-последовательными кодами. Чтобы запаздывание сигналов в каналах связи мало влияло на производительность УВС, время передачи кода не должно превышать времени выполнения операции над этим кодом в ЭМ. Отсюда легко видеть, что если распределенная УВС состоит из ЭМ с производительностью 10^4 опер/сек, то скорость передачи информации по сетям связи, связывающей ЭМ, должна быть по крайней мере равной $V = 10^4$ бод при параллельном обмене информацией и $V = m \cdot 10^4$ бод при последовательном, где m - число разрядов в коде.

Выпускаемая аппаратура передачи цифровой информации рассчитана на скорости 600 и 1200 бод, но в ближайшие годы можно ожидать более скоростную аппаратуру.

Распределенные УВС с многократным установлением связи

Согласно приведенной классификации, в распределенных УВС с многократным установлением связи используются коммутируемые каналы связи. Отсюда вытекают все основные особенности, присущие данному типу распределенных УВС. Рассмотрим эти особенности.

Обмен информацией между двумя любыми ЭМ распределенной УВС возможен при условии, если в момент поступления вызова между ЭМ можно составить трек из нескольких последовательно со-

единенных свободных участков. Причем увеличение загрузки каналов приводит к возрастанию вероятности отказа в обслуживании заявки на соединение, каждый вызов многократно повторяется, прежде чем попытка получить соединение оказывается удачной (в условиях СССР в среднем 2-5 мин.).

От соединения к соединению время распространения сигнала между одними и теми же ЭМ системы может меняться. Это объясняется тем, что коммутируемый канал создается из отдельных участков только на время связи и по ее окончании распадается. Поэтому при повторной связи между теми же двумя ЭМ образуемый канал может содержать уже другие составные части, причем может измениться число переоприемных пунктов и длина линии.

Между ЭМ желателен только один вид соединения: связь совершенно однотипных приемо-передающих установок, работающих на равных скоростях, через один или несколько однотипных по скорости каналов связи. ЭМ могут быть соединены между собой либо низкоскоростными, либо среднескоростными каналами связи, поскольку нет широкополосных коммутируемых каналов связи.

Рассмотрим влияние этих особенностей на производительность системы.

В общем случае время выполнения операции над кодом, находящимся в другой ЭМ, равно

$$T = t_o + \tau, \quad (1)$$

где t_o - время выполнения данной операции, когда коды находятся в самой ЭМ;

$\tau = t_1 + 2t_2 + 2t_3$ - затраты времени на обмен кодами между ЭМ;

t_1 - затраты времени на установление связи

между ЭМ;

$t_2 = \frac{\pi}{V}$ - время передачи кода;

t_3 - время распространения сигнала между ЭМ.

Считается, что время передачи запроса и запрашиваемого кода одинаковы.

Пусть теперь ЭМ n_i в процессе решения задачи выполняет некоторую последовательность операций. Обмен между ЭМ осуществляется последовательными кодами. Время выполнения этих операций в общем случае будет равно:

$$T_N = tN + (t'_1 + 2t_2 + 2t_3)N = tN + \tau_N N, \quad (2)$$

где t - среднее время выполнения операции;

t'_1 - среднее время установления связи;

t_3 - среднее время распространения сигнала между ЭМ;

τ_N - среднее время обмена кодами между ЭМ в УВС с многократным установлением связи;

N - число операций.

Предположим для простоты, что все операции имеют одинаковую длительность, равную t .

Пусть

$$\tau_N = z \cdot t, \quad (3)$$

где $z > 0$ - целое число. Тогда

$$T_N = (1 + z) \cdot t \cdot N. \quad (4)$$

Это соотношение справедливо, если запрос посылается в тот момент, когда возникает необходимость в данном коде.

Таким образом, мы пришли к выражению (4), аналогичному выражению (5.35), полученному в работе [1]. Поэтому общее время решения задачи может быть снижено методами, которые были предложены в [1, 2].

Метод работы системы по схеме с запросами, организованный по конвейерному способу [1], дает выигрыш во времени

$$\frac{T_N}{T_N^*} = \frac{z + 1}{z/N + 1}, \quad (5)$$

где T_N^* - время выполнения N операций n_i ЭМ по конвейерной схеме:

z - интервал независимости операций, пропорциональный времени обмена кодами между ЭМ.

Этот выигрыш увеличивается с ростом z и увеличением общего числа операций N .

При $z/N \ll 1$ время решения задачи у распределенных УВС будет тем же, что и у сосредоточенных.

Например, если взять сорокорезрядное машинное "слово" ($\pi = 40$ бит), скорость передачи кодов $V = 1200$ бод и расстояние между ЭМ порядка 10^4 км, то $t_2 \approx 0,033$ сек, а

$$t'_3 \approx 0,033 + 0,05^*) \text{ сек.}$$

Следовательно, $T_N = t'_1 + 2t'_2 + 2t'_3 \approx 2-5$ мин. Поскольку $t'_1 \approx 2-5$ мин, то T_N определяется в основном временем установления связи между ЭМ.

Для ЭМ производительностью 10^4 опер/сек из (3) имеем:

$$T = 12 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6,$$

Таким образом, при работе двух ЭМ с производительностью 10^4 опер/сек по конвейерной схеме время решения задачи будет таким же, что и у сосредоточенной УВС, если программа решения задачи будет состоять из последовательности операций, независимых в интервале $T = 12 \cdot 10^5 \div 3 \cdot 10^6$. По-видимому, круг таких задач ограничен.

Рассмотренный тип распространенных УВС может стать одним из перспективных, т.к. уже начали появляться электронные системы коммутации каналов. В конечном итоге они приведут к гораздо меньшему времени установления соединений между ЭМ, чем это возможно в электромеханических системах.

Заметим, что распределенные УВС такого типа могут и сейчас эффективно использоваться в режиме сбора информации.

Распределение УВС с однократным установлением связи

Распределенные УВС такого типа отличаются от ранее рассмотренных только тем, что необходимые связи между ЭМ устанавливаются перед началом, а не в процессе решения задачи, что позволяет значительно сократить время ее решения.

В этом случае

$$\begin{aligned} T_N &= tN + t'_1 + 2(t'_2 + t'_3)N = \\ &= t'_1 + tN + t_0N = t'_1 + T'_N, \end{aligned} \quad (6)$$

*) Значение t'_3 - зависит от расстояния между ЭМ, тактовой частоты передаваемых сигналов и первичных параметров каналов связи (емкости, индуктивности и др.) и будет больше времени распространения сигнала в свободном пространстве.

где t'_1 - время подготовки системы к решению задачи, совпадающее с временем установления связи между ЭМ;

T'_N - фиктивное время выполнения N операций n_i ЭМ;

t_0 - среднее время обмена кодами между ЭМ в УВС с однократным установлением связи.

Легко видеть, что распределенные УВС с разовым установлением связи позволяют, во-первых, сократить затраты времени на установление связей между ЭМ в N раз по сравнению с УВС с многократным установлением связи и, во-вторых, сократить интервал независимости операций до $T = 1320 \div 1460$, т.к. $t_0 \approx 0,132 + 0,146$ сек. Легко видеть, что круг решаемых задач на УВС такого типа значительно шире, чем на УВС с многократным установлением связи.

Распределенные УВС с фиксированными направлениями связи

В УВС такого типа ЭМ связаны постоянно закрепленными (некоммутируемыми) каналами связи, поэтому имеется ряд преимуществ перед УВС, использующими коммутируемые каналы связи:

- 1) большая достоверность передачи информации;
- 2) ЭМ могут быть соединены широкополосными каналами связи;
- 3) отсутствуют затраты времени на установление связи между ЭМ.

Подставляя в (2) или (6) $t'_1 = 0$, получим:

$$T_N = tN + t_0N, \quad (7)$$

где t_0 - среднее время обмена кодами между ЭМ в УВС с фиксированными направлениями связи.

Поскольку в ближайшее время можно ожидать появление аппаратуры передачи цифровой информации по некоммутируемым каналам со скоростями 2400, 4800, 12000, 48000 бод, величина T может быть уменьшена до $T = 340-510$ при расстоянии между ЭМ в 10000 км и до 40-60 при расстоянии в 1000 км.

Основным недостатком УВС с фиксированными направлениями связи является их высокая стоимость, основную долю которой составляет стоимость канала связи.

УВС с КС имеют следующие особенности.

1. Подлежащий передаче код выдается ЭМ в аппаратуру коммутации, где он запоминается вместе с адресом. Передача информации осуществляется путем переприемов и запоминаний ее в транзитных пунктах. В случае занятости канала на одном из участков маршрута следования сообщение (в сообщение входят адресная и информационная части) ставится на очередь и хранится в "памяти" вплоть до освобождения канала.

2. Возможность применения разнотипной совершенно несоместимой по скорости и формату сообщений приемо-передающей аппаратуры как у ЭМ, так и у центров коммутации сообщений.

3. Возможность получения приоритета для передачи более срочных сообщений.

4. Возможны любые виды многоадресных соединений.

5. Невозможность ведения двусторонних "переговоров" между ЭМ, т.е. невозможно дать немедленный ответ на переданный запрос.

При работе УВС с КС по схеме с запросами время выполнения последовательности операций $K_1, K_2, \dots, K_N$ в n_i ЭМ будет равно

$$T_N = t_N + 2[t_1'' \ell + 2t_2(\ell + 1) + t_3'] \cdot N = t_N + T_{KC} N, \quad (8)$$

где t_1'' - среднее время запоминания сообщения в каждом из узлов КС;

ℓ - число узлов коммутации сообщений между ЭМ;

T_{KC} - среднее время обмена кодами между ЭМ в УВС с КС.

При этом для простоты считаем:

а) во всех узлах КС переприем сообщений ведется с одинаковой скоростью V ;

б) затраты времени на посылку запроса из одной ЭМ в другую на требуемый код те же, что и на его получение;

в) адресная и информационная части сообщения содержат одинаковый объем информации.

Среднее время запоминаний сообщений в узлах КС может меняться в широких пределах, т.к. оно зависит как от загрузки каналов на всех участках сети между ЭМ, так и от категории приоритета передаваемого сообщения.

В системе КС, основанной на поэтапной передаче сообщений по участкам сети, приоритет в передаче сообщений высших категорий срочности обеспечивается задержками в моменты перегрузки сообщений более низких категорий. Поэтому время запоминания сообщений в узлах КС в общем случае может быть больше времени установления соединений, чем в УВС с КС.

При наличии свободных каналов на всех участках сети между ЭМ сообщения различной категории срочности начинают передаваться немедленно как в системе с КК, так и в системе с КС. В системе с КК скорость прохождения сообщений более высокая за счет исключения времени переприемов в транзитных пунктах.

В этом случае среднее время обмена кодами между ЭМ будет равно:

$$T'_{KC} = 2[2t_2(\ell + 1) + t_3']. \quad (9)$$

Сравнивая T'_{KC} с T_N и T_{KC} с T_M , находим:

$$\frac{T'_{KC}}{T_N} = \frac{2t_2(\ell + 1) + t_3'}{t_2 + t_3'}, \quad (10)$$

$$\frac{T_{KC}}{T_M} = \frac{2t_1''\ell + 4t_2(\ell + 1) + 2t_3'}{t_1'' + 2t_2 + 2t_3'}. \quad (11)$$

Если ЭМ находятся друг от друга на расстоянии не более 1000 км и если обмен кодами осуществляется через среднескоростную АПД, то $t_2 \gg t_3'$ и выражение (10) примет вид:

$$\frac{T'_{KC}}{T_N} \approx 2(\ell + 1). \quad (12)$$

Если $t_1'' \gg t_2$, то

$$\frac{T_{KC}}{T_M} \approx 2\ell \frac{t_1''}{t_1'}. \quad (13)$$

Из (12) и (13) видно, что время обмена кодами между ЭМ в УВС с КС имеет широкий диапазон изменения: оно может быть такого же порядка, что и в УВС с фиксированными направлениями

(при небольших ℓ), и быть больше, чем в УВС с многократным установлением связи.

При работе УВС с КС по схеме без запросов информации [1] $\tau_{КС}$ будет равно

$$\tau_{КС} = t_1' \ell + 2t_2 (\ell + 1) + t_3', \quad (14)$$

т.е. в 2 раза меньше, чем при работе системы по схеме с запросами.

Если передача кодов между ЭМ осуществляется по высшим категориям срочности, то производительность УВС с КС и УВС с фиксированными направлениями связи будут одного порядка (при небольшом числе узлов КС между ЭМ и прочих равных условиях).

УВС с КС могут эффективно использоваться в режиме сбора и обработки информации, если время старения информации не играет существенной роли.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Э.В.ЕВРЕЙНОВ, Ю.Г.КОСАРЕВ. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука" СО, 1966.
2. Э.В.ЕВРЕЙНОВ. О возможности построения вычислительных систем в условиях запаздывания сигналов. Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука" СО, 1962, вып.3.
3. Е.В.БАЗИЛЕВИЧ, В.С.ГУРОВ, Н.Н.ЕГРУХИН, А.Г.ПАНКРАТОВ. Передача данных. М., Изд-во "Связь", 1969.

Поступила в редакцию
21.УЛ.1970 г.