

УДК 681.3.06

С.Б. НИКОЛЬСКИЙ

*Харьковский гуманитарно-педагогический институт, Украина***АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ С КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРОЙ**

Предложена математическая модель компьютерной системы с кольцевой структурой, позволяющая минимизировать суммарное время обмена данными между модулями системы. Рассматривается алгоритм оптимальной расстановки модулей в кольцевой структуре. Приведены выигрыши по производительности с различным числом модулей.

компьютерные системы кольцевые структуры временная избыточность модель**Введение. Постановка задачи**

Расширение круга решаемых задач, увеличение объема передаваемых данных в компьютерных системах, усложнение алгоритмов их функционирования ужесточает требования, предъявляемые к системам нового поколения, основными из которых являются увеличение скорости передачи и обработки данных. Следует отметить, что объем передаваемой информации удваивается каждые два года. В тоже время существующие технологии передачи данных, ориентированные на сетевые кольцевые структуры (СКС), приблизились к пределам своих возможностей [1].

Достижение высокой отказоустойчивости компьютерных систем обеспечивается путем введения избыточности и разработки специального программного обеспечения, элементных взаимосвязей и алгоритмов функционирования. Для повышения отказоустойчивости и для исключения влияния на достоверность передаваемой информации помех и сбоев в систему может вводиться аппаратная, программная, информационная или временная избыточность. В существующих кольцевых структурах, используемых в качестве межмодульных коммуникаций, имеющиеся ресурсы временной избыточности можно использовать для повышения производительности, а, следовательно, и для повышения на-

дежности. Увеличение плотности компоновки элементов создает возможность создания компьютерных систем и средств коммуникаций на основе СКС в одном кристалле. Временная избыточность в таких системах может быть обеспечена за счет оптимальной расстановки модулей с учетом объема передаваемой информации.

СКС позволяет обеспечить одновременный обмен данными более чем между двумя модулями системы, однако число абонентов, одновременно обменивающихся пакетами, уменьшается в связи с тем, что абонент, расположенный между двумя взаимодействующими модулями и осуществляющий попытку выдать данные в кольцо, не сможет оперативно обмениваться пакетами с приемником информации, до тех пор пока не будет передана информация [2]. Кроме того, число абонентов, одновременно обменивающихся информацией в СКС, не превышает двух при передаче от первого к n -му абоненту, когда пакеты последовательно будут проходить второй, третий, ..., $(n-1)$ -й блоки сопряжения с абонентами. Средние времена задержек в работе абонентов в этом случае прямо пропорциональны количеству пакетов, передаваемых между взаимодействующими модулями СКС.

Целью работы является разработка и исследование моделей СКС, которые могут быть использо-

ваны при построении компьютерных систем нового поколения. Предлагается математическая модель СКС, которая позволяет оценить возможную временную избыточность за счет объема передаваемой информации между модулями системы.

Математическая модель

В процессе разработки параллельного алгоритма и закреплении подзадач за модулями системы можно определить объем (количество слов) данных, передаваемых между модулями системы. На основании количества слов данных, передаваемых между модулями системы, строится информационная матрица $A = \|a_{ij}\|$, где a_{ij} - количество слов данных, передаваемых между i -м и j -м модулями системы, причем $i = \overline{1, h}$, h - количество модулей в системе.

СКС позволяют обеспечить одновременный обмен данными более чем между двумя модулями. Число модулей, одновременно обменивающихся информацией, ограничивается тем, что абонент, расположенный между двумя взаимодействующими модулями и осуществляющий запрос на передачу данных в СКС, не сможет обменяться данными с модулем-приемником до тех пор пока не будет передана информация между взаимодействующими модулями.

Кроме того, недостатком кольцевой структуры является то, что при передаче информации от первого к n -му модулю, данные последовательно будут проходить второй, ... $(n-1)$ -й блоки сопряжения с абонентами одновременно запрещая выдачу данных от абонентов, расположенных между первым и n -м модулями системы.

При расстановке модулей в СКС, после закрепления задач за модулями без учета объемов передаваемой информации производительность системы уменьшается за счет возникновения ситуаций, когда данные, передаваемые между модулями,

расположенными на расстоянии $(n-1)$ -го блока сопряжения, запрещают выдачу данных от абонентов, находящихся между взаимодействующими модулями. Средние времена задержек модулей в этом случае прямо пропорциональны количеству слов данных, передаваемых между абонентами компьютерной системы. Поэтому необходимо располагать модули, между которыми передается наибольшее количество данных, как можно ближе друг к другу. В связи с этим важной задачей является сокращение средних времен задержек модулей компьютерной системы, путем оптимальной расстановки модулей друг относительно друга, с учетом информационной нагрузки.

Минимальным временем для передачи одной единицы информации слова данных между двумя последовательно расположенными модулями является один машинный такт. Максимальное время передачи слова данных между первым и n -м модулем системы составит $(n-1)$ машинный такт. Время передачи данных между модулями системы учитывает структурная матрица $C = \|C_{ij}\|$.

На суммарное время обмена данными между абонентами большое влияние оказывает расположение модулей друг относительно друга в СКС. Очевидно, что для минимизации общего времени обмена данными и уменьшения средних времен задержек модулей необходимо найти такую расстановку модулей друг относительно друга, при которой чем большую величину имеет параметр a_{ij} , тем за меньшее количество машинных тактов должен происходить обмен информацией между i -тым и j -тым модулями и, наоборот, чем меньше величина параметра a_{ij} , тем за большее время может происходить обмен данными между i -ым и j -ым модулями.

Введем матрицу взаимного расположения модулей

$$B = [b_{11} \ b_{21} \ \dots \ b_{n1}]^{-1}$$

Оптимальная расстановка модулей сводится к минимизации суммарного времени обмена словами

данных между модулями системы. В этом случае математическая модель задачи имеет вид

$$T_{\Sigma} = f(B) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где T_{Σ} - суммарное время обмена данными, зависящее от расположения модулей друг относительно друга, которое целесообразно использовать в качестве целевой функции.

Целевая функция T_{Σ} для данной задачи определяется по формуле:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^h a_{ij} c_{ij}. \quad (2)$$

Минимизация целевой функции T_{Σ} проводится при следующих ограничениях:

- 1) $a_{ij} = c_{ij} = 0$ при $i = j = \overline{1, h}$;
- 2) $a_{ij} \geq 0$ при $i = \overline{1, h}$,
- 3) $1 \leq C_{ij} \leq n-1$ при $i \neq j$;
- 4) $n \geq 3$.

Эти ограничения означают следующее:

- 1) Модуль данные в СКС самому себе не передает.
- 2) i -й модуль может передавать или не передавать j -му модулю слова данных;
- 3) Слово данных от i -го модулю к j -му модулю может быть передано не менее чем за один и не более чем за $(n-1)$ -н машинные такты;
- 4) Количество модулей, для которых целесообразно решать задачу оптимальной расстановки, должно быть не менее трёх.

Решением задачи является такая матрица B_{opt} , целевая функция T_{Σ} при которой минимальна.

Особенностью данной задачи является то, что минимизация целевой функции T_{Σ} осуществляется при изменении матрицы B взаимного расположения модулей, которая влечет за собой изменение матрицы A или C . Для нахождения минимума целевой функции необходимо рассчитать суммарное время обмена данными методом полного перебора, так как учитывая особенность целевой функции, известные методы оптимизации неприемлемы. Ко-

личество перестановок N в этом случае будет равно:

$$N = (n-1)! \quad (3)$$

Для большого значения n задачу оптимальной расстановки целесообразно решать с помощью ЭВМ.

Алгоритм решения данной задачи заключается в следующем.

В начале производится ввод исходных данных и вычисление количества перестановок по формуле 3. Матрица первоначальной расстановки B модулей в СКС принимается оптимальной.

1. Осуществляется вычисление целевой функции T_{Σ} по формуле 2, которое принимается исходным.

2. Изменяется порядок следования элементов матрицы B . На основании изменения матрицы B формируется новая матрица A путем перестановок i -х и j -х строк и столбцов матрицы A .

3. Далее производится вычисление целевой функции T_{Σ} для новой матрицы A и сравнение полученного результата с величиной T_{Σ} , вычисленной на предыдущем шаге. Если величина вычисленной целевой функций T_{Σ} больше значения величины IT , вычисленной на предыдущем шаге, то осуществляется вычисление количества проведенных перестановок, и если оно меньше величина $(n-1)!$, то формируется новая матрица A путем изменения расположения модулей. Если величина T_{Σ} оказалась меньше, то производится переписывание. Матрица ОРТ и переменная IT принимают новые значения. Таким образом осуществляется вычисление целевой функции T_{Σ} при всех возможных перестановках модулей в СКС и определение минимального времени обмена данными в компьютерной системе.

Результаты исследования

Рассмотрим решение данной задачи для системы с четырьмя модулями и следующей матрицей A частот обмена:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 6 & 5 & 7 \\ 3 & 0 & 8 & 2 \\ 4 & 1 & 0 & 5 \\ 2 & 9 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

Значения минимума целевая функция достигает при $B_{opt} = [1423]^{-1}$ и будет равна $T_{\Sigma min} = 94$. Максимального значения целевая, функция достигает при $B = [1324]^{-1}$ и равна $T_{\Sigma max} = 130$. В кольцевой системе с четырьмя модулями (информация передается по часовой стрелке) оптимальное расположение модулей по кольцу с учетом информационной нагрузки выглядит следующим образом:

$$1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3.$$

Определим относительный выигрыш по производительности компьютерной системы при B_{opt} и B по формуле:

$$\delta T = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

В нашем случае $\delta T \approx 28\%$. Оптимальная расстановка модулей позволяет дополнительно увеличить производительность системы на 28% только за счет учета информационной нагрузки.

Рассмотрим нахождение δT при $n = 5$:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 6 & 5 & 7 & 5 \\ 3 & 0 & 8 & 2 & 3 \\ 4 & 1 & 0 & 5 & 7 \\ 2 & 9 & 4 & 0 & 3 \\ 2 & 3 & 4 & 5 & 0 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 4 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 4 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}.$$

Целевая функция в этом случае принимает следующие значения: 215, 202, 238, 223, 225, 215, 222, 243, 221, 216, 198, 215, 190, 230, 224, 217, 191, 232, 191, 220, 245, 224, 226, 212.

Максимальное и минимальное значение целевой функции равны 245 и 190 соответственно при $B = [15324]^{-1}$ и $B_{opt} = [14235]^{-1}$

Относительный выигрыш по производительности равен 24%. Оптимальный кортеж модулей по

кольцу при передаче данных по часовой стрелке с учетом передаваемой информации выглядит следующим образом:

$$1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5$$

Выводы

Таким образом, оптимальное расположение модулей в компьютерной системе друг относительно друга с учетом объемов передаваемой информации позволяет сократить временные затраты по обмену данными, использовать временную избыточность для повышения производительности и отказоустойчивости. С помощью предлагаемой математической модели можно оценить относительные выигрыши по временным затратам передачи данных в компьютерных системах на одном кристалле с кольцевой структурой. Кроме того, предлагаемая математическая модель СКС можно использовать для анализа временной избыточности не только в микропроцессорных системах расположенных на одном кристалле, но в сетях LAN и WAN с повышенной пропускной способностью, обеспечивая как локальные, так и удаленные компьютеры более быстрыми коммуникациями.

Литература

1. Тесля В.Я., Бабосюк А.Л., Сикорский В.В., Рудниченко А.Е. Концептуальные подходы к технологии сетей нового поколения NGN // Зв'язок – 2004. – № 2. – С. 45-51.
2. Никольский С.Б. и др. Устройство для обмена данными // Б.И. – 1986. – № 47. – С. 53-59.

Поступила в редакцию 22.01.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет "ХАИ", Харьков.