

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УКРАИНЫ
"КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

На правах рукописи

САЛАХ ИМАД
(Иордания)

УДК 681.324

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАСШТАБИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С
ГИПЕРКУБИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ

Специальность 05.13.08 — "Вычислительные машины, системы и сети,
элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев — 1996

Диссертация является рукописью.
Работа выполнена в Национальном техническом университете
Украины "Киевский политехнический институт" на кафедре
вычислительной техники

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор,
Луцкий Георгий Михайлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор,
Хаджинов Владимир Витальевич,

кандидат технических наук,
доцент,
Жуков Игорь Анатольевич.

Ведущая организация: Институт проблем моделирования
в энергетике НАН Украины.

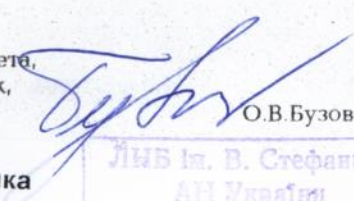
Защита состоится 18 марта 1996 г. в 14³⁰ часов на заседании
специализированного Совета Д 01.02.06 в "Национальном
техническом университете Украины "Киевский политехнический
институт" (г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 18, ауд. 306)

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просим направить по адресу:
252056, г. Киев, пр. Победы, 37, Ученому секретарю КПИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского
политехнического института.

Автореферат разослан 18 февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,
профессор


О.В.Бузовский

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00740047 (M)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

АВ - 37.057
АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является разработка и исследование способов и средств повышения эффективности взаимодействия в масштабируемых вычислительных системах, ориентированных на массовое распараллеливание, с ориентацией на транспьютерную элементную базу.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Исследование особенностей и классификация базовых топологических конфигураций с фиксированной системой связей, допускающих практически неограниченное расширение количества процессорных модулей в параллельных вычислительных системах при заранее заданных существенных ограничениях на число встроенных каналов связи модулей обработки, которое определяется спецификой элементной базы и в значительной мере влияет на стоимость крупномасштабных вычислительных систем;

2. Анализ тенденций развития топологии масштабируемых вычислительных систем с ориентацией на массовое распараллеливание и разработка новых топологических построений с минимальными значениями произведения двух важнейших показателей качества топологий: степени модулей обработки и диаметра топологий;

3. Исследование и поиск эффективных решений реализации предложенных топологий в системах со статической реконфигурацией связей;

4. Разработка способов и средств построения эффективных топологий в системах с динамической реконфигурацией связей.

Автор защищает следующие основные положения и результаты:

1. Иерархические гиперкубические топологические организации с высокими основаниями для масштабируемых вычислительных систем с фиксированной системой связей;

2. Способы и средства построения эффективных топологических организаций для масштабируемых вычислительных систем со статической реконфигурацией связей;

3. Способы построения и организация масштабируемых вычислительных систем с динамической реконфигурацией связей;

4. Конвейерные средства взаимодействия исполнительных модулей в масштабируемых вычислительных системах с динамической реконфигурацией связей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Необходимость решения все более сложных фундаментальных и прикладных задач в науке и технике

обуславливает актуальность исследований в области построения высокопроизводительных вычислительных средств с параллельной организацией вычислений. При этом в настоящее время существует целый перечень важнейших задач в технике, физике, биологии, экологии, управлении, экономике и во многих других областях человеческой деятельности, для эффективного решения которых необходимы вычислительные системы с миллиардными и триллионными показателями производительности.

Для достижения наиболее высоких показателей производительности традиционно разрабатывались компьютеры, которые принято называть суперкомпьютерами. Суперкомпьютеры отличаются высокой стоимостью и каждая новая разработка предполагает создание нового программного обеспечения. Учитывая эти обстоятельства, а так же тот момент, что в настоящее время, когда государственные учреждения и серьезные фирмы обеспечились суперкомпьютерами требуемого класса, спрос на них существенно понизился. При этом возник вопрос о целесообразности дальнейшего развития данного направления развития вычислительной техники и проблема поиска новых приемлемых решений для непрерывного повышения производительности вычислительных систем.

В качестве такого решения в настоящее время принят подход, ориентированный на массовое распараллеливание, который реализуется на основе так называемых масштабируемых вычислительных систем. К основным особенностям масштабируемых вычислительных систем следует отнести: возможность варьирования вычислительной мощностью практически в неограниченных пределах и возможность постепенного, по мере необходимости, наращивания вычислительной мощности; стандартное конструктивное исполнение и возможность настройки системы программным способом на эффективное выполнение различных задач; относительно низкая стоимость аппаратурных средств и стоимость эксплуатации.

Однако при реализации масштабируемых вычислительных систем особое значение приобретают вопросы топологического характера, которые в значительной мере определяют эффективность таких систем при параллельной организации вычислительных процессов. Это обусловлено необходимостью взаимодействия процессов, которые располагаются в разных узлах соответствующей топологической организации, а следовательно, необходимостью прокладывания различных маршрутов передачи данных. Кроме того, в процессе выполнения разных задач возникает необходимость в загрузке в систему программной и управляющей информации и их соответствующее распространение по сети, которое осуществляется на основе одного управляющего модуля. Все это приводит к существенным издержкам времени, поскольку значительная часть модулей будет осу-

ществлять транзитные передачи, а процессы длительное время будут находиться в состоянии ожидания.

Таким образом, одной из важнейших задач построения масштабируемых вычислительных систем является задача минимизации маршрутов передачи данных при заданных ограничениях на количество встроенных каналов связи исполнительных модулей. Данная задача непосредственно связана с проблемой анализа и поиска эффективных топологических построений и с вопросами эффективной организации взаимодействий в системах с фиксированной и реконфигурируемой топологией. Этим вопросам и посвящена данная диссертационная работа.

Методы исследований базируются на использовании основных положений теории множеств, теории графов, теории построения параллельных вычислительных систем, теории организации вычислительных процессов, теории алгоритмов.

Научная новизна работы заключается в разработке эффективных способов построения масштабируемых вычислительных систем с фиксированной и реконфигурируемой (в статическом и динамическом режиме) системой связей на основе гиперкубических топологий со смешанными основаниями в условиях существенных ограничений на количество встроенных каналов связи исполнительных модулей, а также в разработке конвейерных коммутационных средств для систем с динамической реконфигурацией связей.

Практическая ценность результатов, полученных в диссертационной работе, определяется тем, что на основе предложенных топологий и способов их реализации в вычислительных системах расширяется область применения и повышается эффективность как мультитранспьютерных и мультипроцессорных систем, так и систем параллельной обработки в целом.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы использованы при выполнении научно-исследовательской работы кафедры вычислительной техники в рамках Государственной научно-технической программы 6.3.1 "Высокопроизводительные персональные ЭВМ и проблемно-ориентированные комплексы широкого назначения.

Публикации. Основное содержание работы отражено в двух печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, вклю-

чающего 38 наименований, и содержит 80 страниц основного текста, 45 рисунков и 2 таблицы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследований, сформулированы научные результаты, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрены основные подходы к построению эффективных систем параллельной обработки, обоснована целесообразность разработки масштабируемых вычислительных систем и сформулированы возникающие при этом проблемы, обоснован выбор транзьютерной элементной базы и представлены структурные особенности и область применения транзьютерных центров различного уровня.

Во второй главе рассмотрены топологические особенности структур вычислительных систем, ориентированных на массовое распараллеливание, исследованы базовые сетевые топологии, сочетание которых позволяет решить задачу оптимизации их параметров, исследованы вопросы эффективности различных вариантов иерархических сетевых топологий и определены пути их развития.

В третьей главе исследованы иерархические гиперкубические топологии с фиксированной и статически реконфигурируемой системой связей на основе гиперкубических топологий с высокими основаниями и варианты их сочетания с кольцевой, звездообразной и комбинированной системой связей.

В четвертой главе исследованы проблемы построения масштабируемых вычислительных систем с динамически реконфигурируемой системой связей, исследованы вопросы динамической реконфигурации на основе сочетания гиперкубических топологий с высокими основаниями с общей для каждой координаты шиной с помощью коаксиальных кабелей, оптоволоконных систем передачи данных и сверхвысокочастотных каналов связи, выделены проблемы их реализации и предложены эффективные конвейерные коммутационные средства передачи данных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На сегодняшний день подавляющее большинство пользователей имеет доступ к ПЭВМ класса IBM PC, которые обладают достаточно ограниченными вычислительными возможностями. В то же время для решения очень многих, важных с точки зрения науки и практики задач, требуется иметь существенно более мощные вычислительные средства. К таким задачам могут быть отнесены моделирование сложных технических, физических, биологических и экологических систем, предсказание погоды, САПР, управление в реальном масштабе времени обработка сигналов, изображений, машинная графика и т.п. Для ре-

шения многих из этих задач требуется иметь вычислительные системы с производительностью порядка миллиардов операций в секунду (GFLOPS), а для значительной их части, которые принято называть "задачами большого вызова", требуются системы с производительностью порядка триллионов операций в секунду (TFLOPS).

Таким образом, диапазон требований к производительности параллельных вычислительных весьма значительный, а следовательно, для удовлетворения требований пользователя в этом плане подход, основанный на построении суперкомпьютеров, не может считаться приемлемым в настоящее время, особенно с учетом их чрезвычайно высокой стоимости и необходимости создания заново требуемого программного обеспечения. В этой связи возникло новое направление развития вычислительной техники, которое связано с построением так называемых масштабируемых вычислительных систем, в рамках которых выбор показателей производительности определяется пользователем, причем диапазон изменения производительности является практически неограниченным и может изменяться по требованию пользователей без каких-либо изменений основных топологических свойств системы и без нарушения процессов выполнения основных функций вычислительной системы.

Вычислительные системы с массовым параллелизмом могут быть реализованы на различной элементной базе: микропроцессоры фирмы Intel 80X86, RISK-процессоры, сигнальные процессоры, транспьютеры, причем все эти процессоры обладают приблизительно одинаковыми технико-экономическими характеристиками. Транспьютерные технологии получили наиболее широкое распространение в Европе и могут рассматриваться как своего рода "европейский путь" к построению высокопроизводительных вычислительных систем. Транспьютеры создавались специально для построения параллельных вычислительных систем. Они имеют по 4-6 высокоскоростных двуправленных связей, которые позволяют строить мультитранспьютерные сети различной топологии. Каждая встроенный канал связи позволяет передавать данные со скоростью 20 Мбит/с. Использование специальных коммутирующих модулей в транспьютерных станциях, а также специального программного обеспечения позволяет настраивать топологию транспьютерной среды под топологию задачи.

Одной из наиболее важных особенностей структур вычислительных систем является их топология. Топология структур вычислительных систем обычно представляется неориентированным графом, в котором вершины (узлы) графа соответствуют некоторым автономным модулям обработки информации, а ребра - каналам связи, линиям связи. При этом в дальнейшем будем рассматривать только связные графы $G(X, Y)$ со множеством вершин X , $\{X\} = N$ и множеством ребер Y , $\{Y\} = R$ такие, что в графе отсутствуют петли, между

вершинами нет кратных связей, минимальная степень ребер не меньше двух. Кроме того, часто по аналогии со многими литературными источниками, наряду с термином граф, будем использовать термин сеть или сетевая топология, подразумевая при этом графовые представления топологий с рассмотренными особенностями.

Для анализа сетевых топологий и принятия тех или иных решений необходимо определить базовый набор характеристик сетевых топологий, которые позволяют определить качество соответствующих топологий на этапе проектирования параллельных вычислительных систем. При этом к важнейшим характеристикам, очевидно, следует отнести стоимость и эффективность сетей. И поскольку в данной работе идет речь о сетевых топологиях, ориентированных на широкий класс задач, то в качестве основного критерия оптимизации будем рассматривать эффективность сетевых топологий, полагая при этом, что заданы характеристики (параметры) сети, которые необходимо получить при минимальной ее стоимости.

Стоимость и эффективность сетей определяется целым рядом их характеристик, среди которых выделим следующие: масштабируемость, диаметр D , средний диаметр \bar{D} , степень S вершин, переменность топологии, адаптируемость сетевых топологий, живучесть, связность модулей, связность равномоощных частей топологии, стоимость.

В качестве базовых (основных) сетевых топологий рассмотрим линейные, кольцевые, звездообразные, древовидные, решетчатые, торроидальные (замкнутые) решетчатые, кубические или гиперкубические, топологии с кубически — или гиперкубически — связанными кольцами, обобщенные гиперкубические топологии или топологии со смешанным основанием, топологии с полной (перекрестной) системой связей.

Большинство из рассмотренных топологий используются повсеместно и потому хорошо изучены. Так для линейных топологий $D=N-1$, $S=2$; для кольцевых — $D=\lfloor N/2 \rfloor$, $S=2$; для звездообразных — $D=2$, $S=N-1$; для древовидных — $D=2\log((N+1)/2)$, $S=3$; для решетчатых — $D=2(\sqrt{N}-1)$, $S=4$; для торроидальных решетчатых — $D=2\lfloor \sqrt{N}/2 \rfloor$, $S=4$; для гиперкубических — $D=\log N$, $S=\log N$; для полносвязанных — $D=1$, $S=N-1$. Что касается гиперкубически — связанных колец и обобщенных гиперкубических топологий, то их исследование в плане применения при построении масштабируемых вычислительных систем только начинается. В этой связи следует рассмотреть их особенности.

Простейшим примером гиперкубически — связанных колец (cube connected cycle (CCC)) являются 3 — кубически — связанные кольца. По сравнению с 3 — кубом в данных топологиях при тех же значениях степени ($S=3$) количество вершин увеличено в три раза. Однако такое увеличение количества вершин сопряжено с двойным увели-

чением диаметра ($D=6$). Тем не менее с помощью данных топологий в определенной степени решается задача уменьшения степени элементов масштабируемых вычислительных систем. Это решение базируется на сочетании топологий различного вида с противоположными показателями значений диаметра и степени модулей обработки.

Расширением ССС-топологий являются обобщенные ССС-топологии, в которых каждая вершина гиперкуба может отождествляться не с трехвершинными кольцами, а с многовершинными или с гиперкубическими топологиями второго уровня. При этом расширение кольца на одну вершину позволяет увеличить количество N вершин в два раза при тех же значениях степени.

Пусть $N_1 = 2^r$ — число вершин в гиперкубе первого уровня, а $r = 2^p$ — число вершин в гиперкубе второго уровня. Тогда общее число вершин в обобщенной ССС-топологии будет равно

$$N = 2^{\uparrow}(2^p + p),$$

степень узлов будет равна

$$S = p + 1,$$

а диаметр топологии будет равен

$$D = 2^{p+1}.$$

Таким образом, обобщенные ССС-топологии позволяют в значительной степени понизить темп роста степени вершин при увеличении количества вершин, однако значения диаметра при этом существенно увеличиваются. В этой связи значительный интерес представляют топологии, близкие по показателю диаметра к тем значениям, которыми характеризуются топологии с полной (перекрестной) системой связей. При этом следует отметить, что обобщенные ССС-топологии базируются на гиперкубической системе связей, основным недостатком которой является большая размерность k -кубов, возрастающая в логарифмической зависимости от числа элементов. Поэтому вопросы понижения диаметра связаны с вопросами уменьшения размерности топологий.

С этой целью, наряду с гиперкубическими топологиями с двоичным основанием, рассмотрим гиперкубические топологии со смешанным основанием.

Пусть N — это количество вершин в графе системы, причем

$$N = \prod_{i=1}^r m_i,$$

где m_i — основание системы счисления для i -го разряда.

Таким образом, число P , где $0 \leq P \leq (N-1)$, может быть представлено кортежем $(p_r, p_{r-1}, \dots, p_1)$, где $0 \leq p_i \leq (m_i - 1)$, т.е.

$$P = \sum_{i=1}^r p_i \prod_{j=1}^{i-1} m_j$$

$$i=1 \quad j=0$$

для всех $i, 0 \leq i \leq r$.

Топологии данного типа в дальнейшем будем называть обобщенными гиперкубическими сетевыми топологиями (ОГКСТ) или гиперкубическими топологиями со смешанными основаниями. Отсюда следует, что в отличие от обычного двоичного гиперкуба, где $m_i=2$, в обобщенных гиперкубических топологиях m_i может принимать любые значения. Это означает, что в рамках небольших значений размерности гиперкубов количество узловых элементов в таких топологиях может принимать большие значения.

В дальнейшем преимущественно будем рассматривать ОГКСТ с одними и теми же, но высокими основаниями. При этом диаметр не зависит от числа N вершин, а зависит только от мерности r топологии. Степень вершин в ОГКСТ равна

$$S = \sum_{i=1}^r (m_i - 1).$$

На основе анализа различных характеристик сетевых топологий таких, как степень, диаметр, связность узлов, зеркальная связность, стоимость, делается вывод, что в конечном счете качество топологий определяется первыми двумя показателями, а все остальные показатели являются производными от данных характеристик. Поэтому при поиске приемлемых топологических решений необходимо учитывать соотношение степени и диаметра. С этой целью в работе исследуются зависимости значений произведения степени и диаметра от числа элементов для различных топологических организаций. Очевидно, что значение этого произведения подлежит минимизации или, иными словами, с уменьшением значения этого произведения качество топологии возрастает.

В работе показано, что значение произведения $D \cdot S$ для гиперкубических топологий с высокими основаниями для $r=3$ в диапазоне $0 < N \leq 2^{12}$ меньше, чем для двоичных гиперкубических и обобщенных ССС-топологий. С увеличением r этот диапазон существенно расширяется и тем самым расширяются возможности использования данных сетей для построения масштабируемых вычислительных систем. Однако существенное увеличение показателя степени, которое имеет место в данных топологиях, недопустимо. В этой связи необходимо исследовать возможность сочетания данных топологий с другими вспомогательными топологиями, которые позволили бы при относительно небольших изменениях диаметра в сторону увеличения в значительной степени понизить их степень.

Прежде всего, в качестве вспомогательной топологии рассмотрим кольцо для случая, когда основание m_1 базовой топологии равно 4, а количество модулей в кольце равно p . Две степени каждого модуля кольца используется на организацию самого кольца, а следовательно, в каждом модуле остается неиспользованным только две степени. По-

этому для такой сетевой организации со значением степени $S=6$ требуется $n=3$, при $S=9$ $n=5$, а в общем случае для любого S $n = \lceil S \rceil / 2$. Диаметр данной топологии для различных значений мерности топологической сети будет равен

$$D_c = r \cdot (r + 1) - 1.$$

Таким образом, получаемая в результате расширения исходной гиперкубической сети с $m_1=4$ кольцевыми организациями комбинационная сеть будет характеризоваться диаметром, который при $S=4$ в $(r+1)$ раз будет превышать диаметр исходной сети, однако здесь следует учитывать, что значение r для данного случая вдвое меньше значения r для двоичных гиперкубических топологий.

В рассматриваемом контексте значительный интерес представляют звездообразные конфигурации сетей, которые характеризуются весьма малыми значениями диаметра ($D=2$) и минимальными значениями степени ($S=1$) для $n-1$ вершин, а следовательно, и максимальным числом свободных вершин для организации требуемого взаимодействия. При этом вопросы низкого показателя отказоустойчивости могут в определенной мере компенсироваться значительными показателями связности базовой топологии. При использовании в качестве вспомогательной звездообразной топологии переход от одного измерения в другое требует 3 шага, а следовательно, для $m_1=4$ диаметр $D_z=3r$, т.е. диаметр данной комбинационной топологии будет в 3 раза превышать диаметр исходной базовой топологии. Таким образом для сетевой топологии с $N=80$ диаметр $D=6$, а для ранее рассмотренной гиперкубической топологии с двумя уровнями для случая, когда $N=64$, диаметр $D=8$, что обусловлено тем, что в данном случае количество r измерений вдвое меньше, чем в двухуровневой гиперкубической топологии.

В работе показано, что рассмотренные иерархические топологии с основанием 4 с заданными ограничениями на степень, равную $S=4$, являются более предпочтительными по сравнению с наиболее популярным вариантом гиперкубических топологий с двумя уровнями.

Однако для последнего варианта наиболее эффективное его использование, при котором естественным образом учитываются ограничения транспьютеров, связываются с областью изменения N от 4 до 1280 модулей. Для дальнейшего расширения числа модулей требуется увеличение количества вспомогательных элементов и, соответственно, решение вопросов увеличения степени центрального элемента

Таким образом, гиперкубические топологии со смешанным основанием обладают вполне определенными преимуществами по сравнению с ранее рассмотренными топологиями, в основе которых лежит двумерный куб. Предложенные топологические варианты следует рассматривать, как некоторые подходы к построению топологии данного типа и этом плане может быть предложено множество более эффективных решений. Но основная задача данной работы заклю-

чается в поиске более приемлемых решений, в основу которых положены данные исследования. И эти решения связываются с реконфигурируемыми топологиями.

Реконфигурация сетевой топологии связывается с изменением системы связей между модулями сети, которое решается с помощью различного рода коммутирующих элементов. При этом различают статическую и динамическую реконфигурацию. Первый вариант реконфигурации решается до этапа выполнения соответствующей прикладной задачи и полученный вариант реконфигурации остается неизменным на протяжении всего периода выполнения задачи. При динамической реконфигурации перестройка связей осуществляется в процессе решения задачи в те моменты, когда в этом появляется необходимость. Часто выделяют некоторый промежуточный вариант реконфигурации, так называемый поэтапный вариант, при котором в алгоритме выделяется ряд точек, разбивающих алгоритм на соответствующее число этапов. После полного завершения каждого этапа осуществляется требуемая перестройка связей. Таким образом создаются предпосылки для более полного согласования топологии со структурой задачи, а вопросы реконфигурации при этом решаются теми же способами и средствами, которые имели место при статической реконфигурации.

Важнейшим моментом транспьютерного набора модулей является наличие в нем специального коммутатора связей размерность 32×32 , который в полной мере согласован со всеми особенностями транспьютера и может применяться без каких-либо согласующих звеньев путем непосредственно подключения к транспьютерным линкам. Тем самым созданы предпосылки для эффективной реализации реконфигурируемых сетевых топологий. Скорость передачи данных через коммутатор согласована с темпом линкового обмена и равна 10 или 20 Мбит/с., в зависимости от того, какой обмен реализуется — в одном направлении или одновременно в обоих направлениях.

Если в варианте топологии, сочетающей гиперкубическую конфигурацию с кольцевой, с каждым кольцом связать коммутатор, то без ущерба для значения диаметра топологии кольцевую организацию можно расширить до 32 модулей. В такой сети один канал связи используется для связи с коммутационным модулем, два — для организации кольца и только один может использоваться для расширения сети. Таким образом, для расширения сети в такой топологии имеется 32 линка. Это означает, что для $m_1 = 4$ при $S = 4$ с помощью данного вспомогательного элемента можно сформировать сеть с $N = 3 \cdot 4^{10} = 3 \cdot 2^{20}$ модулей, что приемлемо для любых прикладных задач. При этом диаметр такой топологии будет равен $D = 2^r$, где $r = \log_4 (N/32)$. Таким образом, для $N = 2^{20}$ $D = 20$, т.е. эта величина соответствует показателю для двоичной гиперкубической структуры, однако при степени 4, а не 20.

Если повысить основание топологии данного типа до величины $m_1 = 8$, то мерность топологии приобретет значение $r = \log_8(N/32)$, а следовательно, диаметр уменьшится соответствующим образом. Так, количество элементов данной топологии при $m_1 = 8$ может достигать величины $N = 6 \cdot 8^4 = 6 \cdot 2^{12}$. Это достаточно большая величина, при которой значение диаметра будет равно $D = 8$. Таким образом, по сравнению с двоичной гиперкубической структурой в данном варианте при $m_1 = 8$ и $S = 4$ диаметр в 1.5 раза меньше.

Дальнейшее увеличение мерности сетевой топологии ограничит количество допустимых для данной конфигурации модулей до величины $N = 3 \cdot 16^2$, что представляет собой относительно небольшую величину и поэтому этот вариант не представляет интереса для масштабируемых топологий. Таким образом, максимальное значение m_1 для данной топологии равно 8. Однако и при этих значениях параметры сети существенно улучшены и являются вполне приемлемыми для любых применений.

Для дальнейшего увеличения мерности гиперкубических топологий со смешанным основанием следует рассмотреть второй вариант топологии, который представляет собой сочетание гиперкубической топологии со звездобразной конфигурацией. Здесь с каждой вершиной гиперкуба со смешанным основанием отождествляется полностью связанная конфигурация с 32 вершинами. Поскольку в данном случае представлена однократно-связанная реконфигурируемая сеть, то каждый узел такой сети будет обладать тремя степенями, которые могут использоваться для расширения сети. Таким образом, с каждым коммутационным элементом будет связываться множество модулей с 96 каналами связи для расширения сети. Отсюда следует, что возможности повышения мерности данной топологии здесь существенно выше, чем в предыдущей. Так, при $m_1 = 16$ количество модулей может достигать величины $N = 7 \cdot 16^6 = 7 \cdot 2^{24}$. При этом диаметр топологии для $N = 2^{20}$ будет равен $D = 10$ при всех прочих равных условиях. При $m_1 = 32$ количество модулей в сети может достигать величины $N = 32^3 = 2^{15}$. При этом диаметр топологии для данной величины будет равен 6.

Таким образом, как первая, так и вторая конфигурация сетей обладают высокими показателями качества и могут быть рекомендованы для широкого использования при проектировании масштабируемых вычислительных систем.

При рассмотрении топологий со статически-реконфигурируемой системой связей был получен значительный эффект по сравнению с топологиями с фиксированной системой связей в плане существенного улучшения топологических характеристик масштабируемых вычислительных систем. Однако в них вопросы перестройки связей решаются исключительно по инициативе корневого (управляющего, ведущего, host, root) транспьютера. Это означает, что на основе одного управляющего элемента должны решаться

все вопросы загрузки, назначения, управления, реконфигурации связей и т.п. Для крупномасштабных топологических сетей такой объем работы вряд ли разрешим. Кроме того статическое планирование всех вопросов прохождения задач в вычислительной системе также не может решаться эффективно в условиях массового распараллеливания. В этой связи проблема построения динамически — реконфигурируемых вычислительных систем является одной из наиболее актуальных задач построения масштабируемых вычислительных систем.

Таким образом, одной из основных особенностей динамически — реконфигурируемых топологий является возможность инициирования пересылок между любыми элементами топологической организации на уровне каждого исполнительного модуля системы. Данные вопросы, как и множество других будут решаться эффективно в случае непосредственного взаимодействия каждого модуля с управляющим модулем вычислительной системы. Решение этой задачи осложняется тем, что вопросы управления коммутационными модулями сосредоточены исключительно в управляющем модуле. Именно поэтому никакой исполнительный модуль не принимает никакого участия при решении вопросов реконфигурации сети. Таким образом, для решения вопросов динамической реконфигурации связей необходимо распределить вопросы управления данного типа между исполнительными модулями. При этом каждый исполнительный модуль должен иметь непосредственный доступ к управляющему модулю.

Один из наиболее известных вариантов решения данной задачи базируется на использовании шинного варианта организации взаимодействия модулей в многопроцессорных вычислительных системах. Разумеется использование единственной шины для организации взаимодействия в крупномасштабных параллельных вычислительных системах не представляется возможным, однако использование таких шин в рамках гиперкубических сетевых топологий с высокими основаниями, когда с каждым измерением такого гиперкуба связывается своя индивидуальная шина, может в определенном диапазоне изменения количества модулей дать достаточно неплохой эффект, особенно с учетом возможности естественным образом выполнять широкополосный режим передачи данных.

К существенным недостаткам такой топологии следует отнести, с одной стороны, последовательный характер организации взаимодействия в рамках одной строки или столбца каждого измерения, а с другой стороны, вопросы разрешения конфликтных ситуаций, которые должны решаться на уровне управляющих модулей.

Один из подходов к преодолению данных проблем базируется на известном способе частотного уплотнения, согласно которому ответная каналу связи полоса частот делится на логические каналы для одновременной передачи ряда сообщений. Спектр каждого сигнала содержит все допустимые для данного канала частоты, однако все

сигналы накладываются на различные несущие частоты и поэтому в частотной области не перекрываются.

Широко известны работы данного плана на основе коаксиальных кабелей, волоконно-оптических каналов связи, СВЧ-каналов связи и др. Однако их использование сопряжено с разработкой и использованием ряда вспомогательных модулей согласующего плана, типа контроллеров, с различными вопросами технического и технологического характера. В частности, все эти каналы передачи данных подвержены влиянию шума, т.е. в них могут возникать ошибки.

Учитывая сказанное, на наш взгляд, ориентироваться в настоящее время на каналы рассмотренного типа для реализации поставленных в диссертации задач преждевременно. Однако идея частотного уплотнения и реализации многоканальной связи может быть интерпретирована соответствующим образом с помощью с помощью цифровых логических устройств, на основе которых значительная часть вышеприведенных проблем может быть исключена.

Пропускная способность транспьютерных модулей по каждому линковому каналу связи равна 10 Мбит/с., причем это значение является стандартным для транспьютеров различного поколения и, вообще, данный темп передачи характерен для многих элементов рассматриваемого типа в пересчете на один бит. Таким образом, частота побитовой передачи информации равна 100 нс. Если рассмотреть конвейерные средства передачи информации, даже без учета системных подходов к их реализации, то темп их функционирования может исчисляться единицами наносекунд. Отсюда следует возможность эффективного использования конвейерных методов обработки информации для решения задач передачи информации между модулями крупномасштабных вычислительных систем, реализующих массовое распараллеливание вычислительных процессов.

Разумеется, как и в случае статической реконфигурации, так и в случае использования рассмотренных средств многоканальной передачи информации в динамически-реконфигурируемых системах, при конвейерной организации передачи не представляется возможным использование одного конвейера для всех модулей. Поэтому в дальнейшем будем ориентироваться на те же гиперкубические конфигурации с высокими основаниями, где с каждым измерением связывается своя система конвейеров.

Пусть макротакт (период прохождения информации через все слои конвейера) работы одномерного 1-слоистого конвейера равен $T=1/\tau$, где τ — темп ввода и вывода данных в конвейер, т.е. тактовая частота работы конвейера, определяемая периодом обработки данных на одном слое. Тогда значение T должно быть согласовано с периодом побитовой передачи данных с помощью одного линка транспьютера в одном направлении, а это означает, что $T=100$ нс. Далее необходимо определить требуемое значение m_1 , на основе которого при мини-

мальных значениях мерности структуры можно было бы изменять значения величины N в широких пределах. В данной работе, как уже отмечалось ранее, в качестве вполне приемлемого диапазона значений выбраны величины N , которые могут изменяться от значения 2^5 до значения 2^{20} . Отсюда следует, что при $l=32$ и $m_1=4$, с учетом возможности использования смешанного основания, можно формировать топологии с различными значениями N из этого диапазона, которые кратны значению 32. При этом тактовая частота конвейера должна быть равна $\tau=T/32 \approx 34$ нс. Реализация конвейера с данной тактовой частотой на сегодняшний день не представляет трудностей технологического характера. Задержка такого конвейерного коммутатора связей при передаче информации будет равна 1 бит.

В работе рассматриваются различные варианты организации динамической реконфигурации на основе линейных и замкнутых конвейеров, на основе которых при принятых ограничениях на степень модулей диаметр топологии без учета задержек при передаче данных через конвейер, равной 1 бит, $D=g$. Значение этого диаметра определяется тем, что переход с одного измерения на другой решается с помощью соответствующего транспьютера. В этой связи в работе рассматривается возможность дальнейшего повышения эффективности взаимодействия на основе использования многомерных конвейерных организаций для решения вопросов коммутации. При этом передача данных между транспьютерными модулями будет решаться без использования самих модулей. При этом понятие диаметра исключается как таковое и в этом случае речь может идти только о задержке на конвейере.

Работа завершается описанием структуры конвейерного устройства передачи информации.

Основные результаты работы.

1. Выделены основные характеристики базовых топологий, определена их зависимость от количества модулей в системе и на основе анализа этих зависимостей показана необходимость и варианты сочетания различных базовых топологий для построения эффективных масштабируемых вычислительных систем.

2. Исследованы гиперкубические топологии с различными основаниями и показано, что для вычислительных систем с фиксированной системой связей наилучшими показателями обладает гиперкубическая топология с основанием 4, на основе которой предложены и исследованы иерархические гиперкубические топологии в сочетании с кольцевой, звездообразной и комбинированной топологией.

3. На основе иерархических гиперкубических топологий предложены способы построения эффективных масштабируемых вычислительных систем со статически реконфигурируемой системой

связей и практически неограниченным диапазоном изменения количества элементов в системе при существенных ограничениях на количество встроенных каналов связи исполнительных модулей.

4. Исследованы вопросы динамической реконфигурации связей на основе способа частотного уплотнения и предложена конвейерная организация многоканальной связи в крупномасштабных вычислительных системах.

5. Разработана структура конвейерного устройства многоканальной связи для построения эффективных масштабируемых вычислительных систем.

Основные результаты работы опубликованы в следующих работах:

1. Салех Имад. Масштабированные вычислительные системы с иерархической гиперкубической топологией с высокими основаниями. — 14 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.02.96, № 534 — Ук 96.

2. Салех Имад. Масштабируемые вычислительные системы с динамической реконфигурацией связей. — 10 с. Деп. в ГНТБ Украины 15.02.96, № 535 — Ук 96.

Салах Имад, Иордания.

Способы и средства повышения эффективности масштабируемых вычислительных систем с гиперкубической топологией.

Работой является рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08 — "Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления".

Защита состоится 18 марта 1996 г. в 14³⁰ часов на заседании специализированного совета Д 01.02.06 в Национальном техническом университете Украины "Киевский политехнический институт" г. Киев, пр. Победы, 37, корп.18, ауд. 306.

г. Киев, 1996 г.

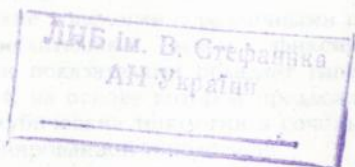
Целью диссертационной работы является разработка и исследование способов и средств повышения эффективности взаимодействующих в масштабируемых вычислительных системах, ориентированных на массовое распараллеливание с ориентацией на транспьютерную элементную базу.

Salah Imad

Methods and means of efficiency improvement of large scale computing systems with hyper cube topology.

This scientific work is a manuscript to submit one's thesis for candidate's science in speciality 05.13.08 — Computers, systems and networks, elements and unites of computer technique and control systems.

The aim of thesis is to work and reserch methods and means interaction effucieny improvments in scaled computing systems, oriented on mass parallelism with orientation on transputer elemant basis.



Ключевые слова: мультитранспьютерные системы, параллельные вычисления, массовый параллелизм топология, степень

Salah Imad

Підл. до друку 16.02.96. Формат 60×84^{1/16}. Папір
друк. № 3. Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 40
Умовн. фарбо-відб. 10. Облік-вид. арк. 10
Тираж 100. Зам. № 6-628.

Фірма «ВІПОЛ»
252151, Київ, вул. Волинська, 60.

AB 34.084