

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УКРАИНЫ
"КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

На правах рукописи

АЛЬ-КАТАУНЕХ МОХАММАД СУЛУЙМАН
ЗАМЕЛЬ
(Иордания)

УДК 681.324

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
МАСШТАБИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С
ДЕРВО-ГИПЕРКУБИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев- 1996

№ 35, 713

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 21 октября 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 НТУУ "КПИ".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального
технического университета "КПИ".

Автореферат разослан 20 сентября 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор технических наук,
профессор

О.В. Бузовский

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760078 (S)

АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является разработка и исследование способов и средств повышения эффективности организации вычислений в мультитранспьютерных системах с дерево-кубической структурной организацией.

Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Исследование архитектурных особенностей и классификация параллельных масс-процессорных вычислительных систем, обладающих повышенными характеристиками управляемости и живучести.
2. Выбор и обоснование топологии комбинированной древовидной мультитранспьютерной системы с заданными характеристиками по управлению и надежности.
3. Разработка и исследование методов организации вычислительных процессов в дерево-кубических системах, направленных на повышение надежности и живучести таких систем.
4. Оценка эффективности предлагаемых решений (подходов) при реализации в дерево-гиперкубических системах задач цифровой обработки сигналов.

Автор защищает следующие положения и результаты:

1. Структурную организацию мультитранспьютерных систем, основанную на дерево-гиперкубических топологиях с повышенными характеристиками по управлению и живучести.
2. Способы и средства повышения эффективности масштабируемых мультитранспьютерных вычислительных систем за счет иерархической дерево-гиперкубической структурной организации.
3. Способы и средства поиска оптимальных дерево-гиперкубических систем с заданными топологическими характеристиками.
4. Отказоустойчивый алгоритм маршрутизации в дерево-гиперкубических сетях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Существует ряд многих, важных с точки зрения науки и практики задач, для решения которых требуется иметь существенно более мощные вычислительные средства. К таким задачам могут быть отнесены моделирование сложных технических и биологических систем, проведение вычислительных работ в ядерной физике, аэрогидродинамике, экономике,



в системах планирования и управления оборонными мероприятиями и военными действиями и т. д. Для решения многих из этих задач требуется иметь вычислительные системы с производительностью порядка сотен миллиардов и триллионов операций в секунду. ЭВМ, обладающие такими уровнями производительности, принято называть супер-ЭВМ.

Особый класс супер-ЭВМ составляют вычислительные системы массового распараллеливания, которые в литературе часто называют масс-процессорными вычислительными системами (МВС). МВС состоят из многих сотен и тысяч относительно простых и дешевых микропроцессоров и обла- дают очень высокой пиковой производительностью, достигающей уже на настоящий момент времени производительности порядка GFLOPS, однако их реальная производительность существенно зависит от специфики классов решаемых задач, что в основном определяется причинами топологического плана. Тем не менее подход, связанный с разработкой вычислительных систем массового распараллеливания, является наиболее перспективным в настоящее время, поскольку вычислительная мощность таких систем может изменяться в чрезвычайно широких пределах в любое время по требованию потребителя. В этой связи такие вычислительные системы часто определяют как масштаби- рованные вычислительные системы. Масштабированные вычислительные системы обычно рассматривают как попытку преодолеть основную проблему параллелизма, связанную с нелинейным характером повышения произво- дительности с увеличением числа процессоров.

Разумеется, что для реализации МВС может использоваться различная элементная база, как-то: микропроцессоры фирмы Intel 80X86, RISC- процессоры, сигнальные процессоры, транспьютеры. Наибольшее распро- странение, однако, получили транспьютерные или транспьютероподобные технологии, которые базируются на процессорах с RISC-архитектурой. Транспьютерные и транспьютероподобные архитектуры предполагают эф- фективное сочетание особенностей RISC-архитектуры и мультипрограммной реализации различных операций. Все это делает транспьютер незаменимым элементом для построения вычислительных систем массового распараллели- вания.

Процессоры могут быть соединены друг с другом различными способами, образуя разнообразные архитектуры параллельной обра- ботки. Архитектуры связей различных вычислительных систем суще- ственным образом отличаются одна от другой организацией потоков данных и команд. Важнейшим компонентом крупномасштабных и (или) масштабируемых вычислительных систем является их системная топология, которая определяется архитектурой межпроцессорных связей. Создание и использование мультипроцессорных вычисли-

тельных систем связывают с необходимостью повышения производительности, надежности и живучести систем. При этом выбор сетевой топологии является одним из ключевых моментов при разработке мультитранспьютерных систем. Именно топология сетей существенным образом влияет на эффективность взаимодействия процессорных элементов и тем самым в конечном счете определяет пользовательскую производительность систем при решении тех или иных задач. Кроме того топология сетей в значительной степени влияет на стоимость мультипроцессорных и мультитранспьютерных систем.

Методы исследования базируются на использовании основных положений теории множеств, теории графов, теории построения параллельных вычислительных систем, теории организации вычислительных процессов, теории параллельного программирования.

Научная новизна работы заключается в разработке эффективных способов структурной организации масс-процессорных вычислительных систем обладающих улучшенными показателями управляемости и живучести, на основе древо-гиперкубических структур.

Достоверность полученных результатов подтверждается экспериментальной проверкой эффективности реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов в предложенных структурах.

Практическая ценность результатов диссертационной работы определяется тем, что на основе предложенных топологий вычислительных структур, алгоритмов и способов их реализаций расширяется область применения и повышается эффективность как масс-процессорных систем, так и систем параллельной обработки в целом.

Реализация результатов работы Основные результаты диссертационные 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 5 печатных работах.

Структура и объем работы Диссертационная работа состоит из введения четырех глав, заключения, изложенных на 133 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков, список литературы из 43 наименований.

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 перспективность и целесообразность разработки масс-процессорных масштабируемых вычислительных систем и сформулированы возникающие при этом проблемы, обоснован выбор транспьютерной элементной базы и представлены структурные особенности и область применения различных архитектур на базе транспьютеров.

Во второй главе рассмотрены топологические особенности структур масс-процессорных вычислительных систем, ориентированных на массовое распараллеливание, исследованы показатели эффективности и проведен сравнительный анализ базовых сетевых топологий, сочетание которых позволяет решить задачу оптимизации их параметров, исследованы вопросы эффективности различных вариантов иерархических гиперкубических структур.

В третьей главе рассмотрены проблемы организации вычислительных процессов в дерево-кубических системах, вопросы надежности и алгоритмы маршрутизации для таких систем.

В четвертой главе рассмотрены способы реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов в транспьютерных системах, построенных на основе дерево-гиперкубических структур, предложены эффективные способы организации параллельных вычислений при решении задач цифровой обработки сигналов.

В заключении приведены результаты работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Существует ряд многих, важных с точки зрения науки и практики задач, для решения которых требуется иметь вычислительные системы с производительностью порядка сотен миллиардов и триллионов операций в секунду. ЭВМ, обладающие такими уровнями производительности, принято называть супер-ЭВМ. Эти системы показывают сверхвысокую производительность на самом широком классе задач и обладают высокой стоимостью. Особый класс супер-ЭВМ составляют вычислительные системы массового распараллеливания, которые в литературе часто называют масс-процессорными вычислительными системами (МВС). МВС состоят из многих сотен и тысяч относительно простых и дешевых микропроцессоров и обладают очень высокой пиковой производительностью, достигающей уже на настоящий момент времени производи-

тельности порядка GFLOPS. Разработка вычислительных систем массового распараллеливания, является наиболее перспективной в настоящее время, поскольку вычислительная мощность таких систем может изменяться в чрезвычайно широких пределах в любое время по требованию потребителя. В этой связи такие вычислительные системы часто определяют как масштабируемые вычислительные системы. Для реализации МВС может использоваться различная элементная база, как-то: микропроцессоры фирмы Intel 80X86, RISK-процессоры, сигнальные процессоры, транспьютеры. Наибольшее распространение, однако, получили транспьютерные или транспьютероподобные технологии, которые базируются на процессорах с RISC-архитектурой. Транспьютерные и транспьютероподобные архитектуры предполагают эффективное сочетание особенностей RISK-архитектуры и мультипрограммной реализации различных операций. Поэтому транспьютер часто рассматривается как универсальный функционально-соединительный элемент параллельных вычислительных сред, ориентированных на реализацию массового распараллеливания.

Важнейшим компонентом крупномасштабных и (или) масштабируемых вычислительных систем является их системная топология, которая определяется архитектурой межпроцессорных связей. Системная топология во многом определяет задержки при передаче сообщений, сложность алгоритмов маршрутизации, показатели отказоустойчивости и возможности диагностики процессорных элементов. Задержки при передаче сообщений могут быть прямо пропорциональны диаметру системной топологии, а сложность алгоритмов маршрутизации зависит от регулярности топологий, причем с увеличением степени нерегулярности топологий алгоритмы маршрутизации могут стать настолько сложными, что для эффективной их реализации может потребоваться довольно значительная аппаратная поддержка. Показатели отказоустойчивости обычно непосредственно зависят от коэффициентов связности узлов (вершин). Создание и использование мультипроцессорных вычислительных систем связаны с необходимостью повышения производительности, надежности и живучести систем. При этом выбор сетевой топологии является одним из ключевых моментов при разработке мультитранспьютерных систем.

К наиболее сложным проблемам эффективного использования параллельных и особенно масс-процессорных вычислительных систем относятся вопросы первоначального распределения задач и подзадач между процессорными модулями системы и вопросы последующего управления взаимодействием элементов. Для решения задач распределения и взаимодействия необходимо выделить некоторое множество управляющих модулей, каждый из которых закрепляется за некоторым подмножеством процессорных модулей, решая по-

ставленные задачи только в рамках этого подмножества. Однако все эти управляющие модули должны быть связаны в некоторую единую управляющую структуру. Естественным вариантом их объединения является некоторая иерархия управляющих модулей, представленная деревом. Тогда с каждой вершиной дерева будет связываться некоторая k -мерная топологическая организация, а собственно дерево управления будет представлять собой $(k+1)$ -й уровень рассматриваемой организационной структуры и будет представлять собой некоторую надстройку над k -мерным рабочим полем. Таким образом, в предлагаемой структурной организации имеется два среза. Один срез горизонтальный, который обладает регулярной, однородной топологией, а другой вертикальный, который обладает иерархической структурой. Иными словами, в предлагаемой структурной организации сочетаются две топологии: древовидная и некоторая другая, которая должна быть выбрана с учетом множества параметров эффективности вычислительных систем. На основе предлагаемой структурной организации создаются предпосылки для оптимального сочетания двух противоречивых требований, одно из которых связано с быстрым обменом данными, а другое - с эффективным управлением вычислительными процессами и процессами взаимодействия. Одним из важнейших моментов исследования является выбор соответствующей топологии для реализации горизонтального среза. Для этого в диссертации выполнен анализ основных топологических характеристик различных топологий с целью получения оптимального варианта, который должен сочетаться с деревом управления. В качестве основных характеристик для сравнительного анализа обычно используются такие показатели качества систем, как диаметр топологической организации, время подготовки данных (латентное время), число коммуникационных линков, стоимость системы, время (длительность) выполнения алгоритма и характеристика ускорения параллельной реализации алгоритмов. Для построения сетей предложено множество основных сетевых топологий: одномерные, двухмерные и трехмерные топологий. Примером одномерной топологий является линейная цепь. К двухмерным топологиям следует отнести древовидные, полукольцо на базе дерева, кольцо на базе дерева, кольцевые, звездообразные. Примерами трехмерных топологий являются кубические, дерево-кубические ТН (s, d) , где $s=2$ и d - глубина дерева.

В таблице 1 приведены выражения определения квалификационных параметров различных топологий параллельных структур.

Табл.1

Топология	Диаметр	Степень	Средний диаметр	Связность графа	Связность узлов	Количество ребер	Плотность графика
Линейная	$N-1$	2	$(N+1)/3$	1	1	$N-1$	$2/3 \cdot (N+1)$
Кольцевая	$\lfloor N/2 \rfloor$	2	$(N+1)/4$	2	2	N	$(N+1)/4$
Решетчатая	$2(\sqrt{N}-1)$	4	$(2\sqrt{N})/3$	\sqrt{N}	2	$2 \cdot (N - \sqrt{N})$	$1/3 \cdot \sqrt{N}$
Решетчатая замкнутая	$2\lfloor \sqrt{N}/2 \rfloor$	4	$\sqrt{N}/2$	$2\sqrt{N}$	4	$2 \cdot N$	$1/4 \cdot \sqrt{N}$
Звездообразная	2	$N-1$	2	1	1	$N-1$	$4/(N-1)$
Древоподобная	$2\log((N+1)/2)$	3	$\log((N+1)/2)$	1	1	$N-1$	$2/3 \log((N+1)/2)$
Гиперкубическая	$\log_2 N$	$\log_2 N$	$(\log_2 N)/2$	$\log_2 N$	$N/2$	$N/2 \cdot \log_2 N$	1
Обобщенная гиперкубическая	r	$3(N^{1/r}-1)$	$r/2$	$\frac{N \cdot N^{1/r}}{4}$	$3(N^{1/r}-1)$	$\frac{3N(N^{1/r}-1)}{2}$	$\frac{r}{3(N^{1/r}-1)}$
ССС	2^{p+1}	$p+1$	2^p	$p+1$	$N/2^{p+1}$	$(N(p+1)/2)$	$\frac{2^{p+1}}{p+1}$
Полносвязная	1	$N-1$	1	$N-1$	$N^2/4$	$N(N-1)/2$	$\frac{2}{N-1}$

В работе основное внимание уделено исследованию дерево-кубических топологий

Для них справедливы доказанные в работе теоремы:

Теорема 1: Диаметр $TH(s,d)$ равен d .

Теорема 2: Степень $TH(s,d)$ равна $(s+1) + (d-1)\log_2 s$.

Теорема 3: Среднее расстояние $TH(s,d)$ равно,

$$D = 2 \frac{(d+1)4^d - d2^{d+1} - 1}{(2^{d+1} - 1)^2}, \quad \text{где } d/2 \leq \bar{D} < d + 1/2.$$

Теорема 4: Количество связи в $TH(s,d)$ равно $N-1 + \sum_{i=1}^d i2^i / 2$.

Иерархический дерево-гиперкуб будем рассматривать как некоторую структурную организацию $TH_Q(h,v)$, (Q определяет вид структуры, используемой внутри узла: L - линейная, R - кольцевая, S - звездообразная и C - гиперкубическая и т.д., h - глубина дерева; v - количество дополнительных вершин в основном узле) формируемую на основе дерево-гиперкуба с $N=2^{h+1}-1$ узлами, которые в дальнейшем будем называть основными узлами. С каждым основным узлом далее отождествляется множество из v дополнительных узлов. При $v=0$ иерархический дерево-гиперкуб $TH_Q(s,h)$ - это обычный дерево-гиперкуб $TH(s,h)$.

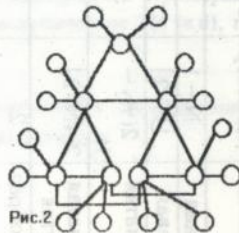
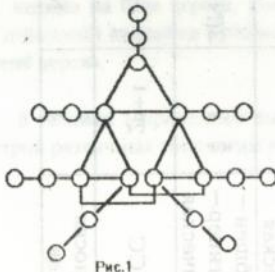
Введем следующие коэффициенты, которые будем использовать при сравнении дерево-гиперкуба $TH(s,h)$ и иерархического дерева-гиперкуба $TH_Q(h,v)$:

коэффициент изменения диаметра $K_D = D(TH_{(s,h)}) / D(TH_Q)$;

коэффициент изменения степени вершин $K_S = S(TH_{(s,h)}) / S(TH_Q)$;

коэффициент изменения количества ребер $K_R = R(TH_{(s,h)}) / R(TH_Q)$.

В работе анализируются возможные организации структуры дополнительных узлов в иерархическом дерево-гиперкубе $TH_Q(h,v)$, где $TH_L(2,3)$ - линейная топология рис. 1; $TH_S(2,4)$ - звездообразная топология рис. 2; $TH_R(2,4)$ - кольцевая топология рис. 3 и $TH_C(2,2)$ рис. 4.



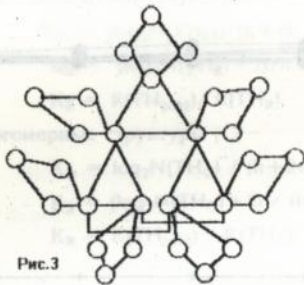


Рис.3

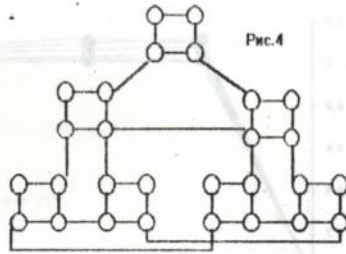
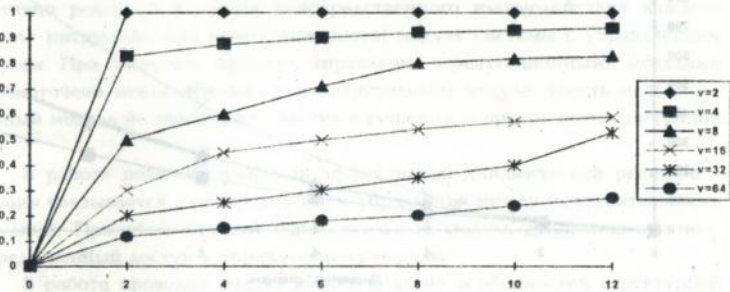
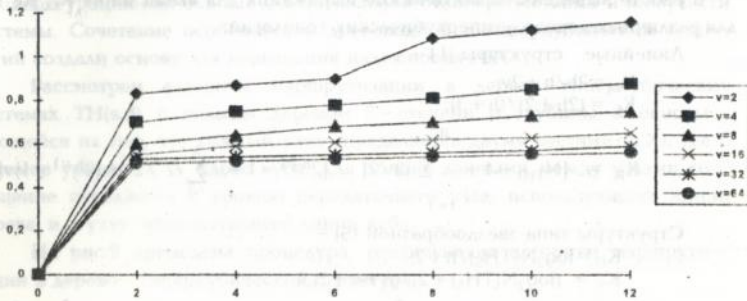


Рис.4

На рис. 5–8 приведены результаты сравнительного анализа различных топологий иерархического дерева – гиперкуба.

Рис. 5 Коэффициент изменения диаметра $TH_R(h,v)$ относ. h и v .Рис. 6 Коэффициент изменения диаметра $TH_C(h,v)$ относ. h и v .

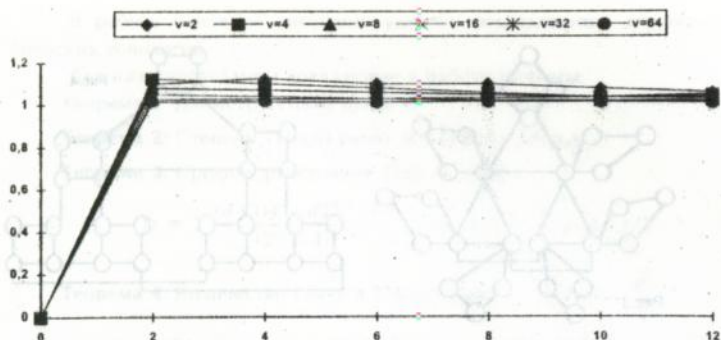
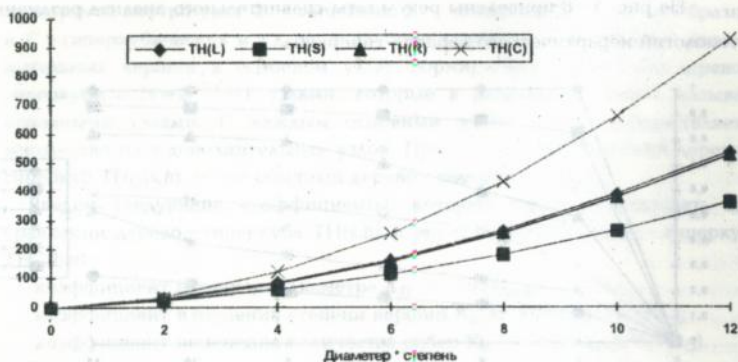
Рис. 7 Коэффициент изменения степени $TH_C(h, v)$ относ. h и v .

Рис.8

В работе выведены аналитические выражения для вычисления K_D , K_S , K_R для различных дерево – гиперкубических топологий:

Линейные структуры (L) –

$$K_D = 2h/h + 2v;$$

$$K_S = (2h + 2)/(h + 3);$$

$$K_R = [N_{THL} - 1 + \sum_{i=1}^{2h} i^{2^i/2}] / [2^{h+1} - 1 + \sum_{i=1}^h i^{2^i/2} + (2^{h+1} - 1)v];$$

Структуры типа звездообразной (S) –

$$K_D = \log_2 N(TH_S)/h + 2;$$

$$K_S = (\log_2 N(TH_S) + 2)/(h + v + 2);$$

$$K_R = [N(TH_S) - 1 + \sum_{i=1}^h i^{2^i/2}] / [N(TH_S) - 1 + N(TH_S)v + \sum_{i=1}^h i^{2^i/2}];$$

Кольцевые структуры (R) –

$$K_D = (\log_2 N(\text{TH}_R)) / (h + v);$$

$$K_S = (\log_2 N(\text{TH}_R) + 2) / h + 2;$$

$$K_R = R(\text{TH}_{(s,h)}) / R(\text{TH}_R);$$

Многомерные структуры (C) –

$$K_D = \log_2 N(\text{TH}_C) / (h + 2v);$$

$$K_S = (\log_2 N(\text{TH}_C) + 2) / (h + v + 2);$$

$$K_R = K(\text{TH}_{(s,h)}) / K(\text{TH}_C);$$

Вопросы надежности являются одними из основных при проектировании ПВС. В работе рассмотрены проблемы повышения надежности систем с дерево – гиперкубической топологией, реализуемой через динамическую реконфигурацию системы. Вопросы реконфигурации, как и многие другие, связанные с организацией вычислительных процессов в ПВС, могут эффективно решаться в случае непосредственного взаимодействия каждого (исполнительного или коммутационного) модуля системы с управляющим модулем. При этом, как правило, управление коммутационными модулями сосредоточено исключительно в исполнительном модуле, то есть исполнительный модуль не принимает участия в решении вопросов реконфигурации сети.

В работе решение вопросов эффективной динамической реконфигурации связывается с распределением управления между исполнительными модулями. При этом каждый исполнительный модуль должен иметь непосредственный доступ к управляющему модулю.

В работе проведен анализ и исследование особенностей структурной организации дерево – гиперкубических систем по реализации динамической реконфигурации как основы для повышения отказоустойчивых и живучести системы. Сочетание особенностей древовидной и гиперкубической топологий создало основу для повышения надежности ЛВС.

Рассмотрен алгоритм маршрутизации в дерево – гиперкубических системах $\text{TH}(s,d)$ с полным деревом S – степени и глубины d основы – вающейся на том, что каждый узел определяется двумя частями (L, X) , где L – номер уровня, X – адрес куба. Для обмена данными между узлами сообщение передается к уровню передаточного узла, использующего линии дерева, и к узлу, использующего линии куба.

На рис.9 приведена процедура, реализующая алгоритм маршрутизации в дерево – гиперкубической структуре.

Procedure ROUTE_TH(X,Y);

{Current node X	address ($L_s, X_{(d \log s) - 1} \dots X_0$) }
{Destination node Y	address ($L_d, Y_{(d \log s) - 1} \dots Y_0$) }

Рис.9

$i := \lfloor L_d - L_s \rfloor \cdot \log s - 1$; {used when $L_s < L_d$ to find the position of digit(s) of Y to concatenate to X }
 case:

- 1: ($L_s = L_d$) (both on same level)
 Route in hypercube;
 ($L_s < L_d$) (send down to one of the children)
 SEND TO ($L_s + 1, X_{(d \log s) - 1} \dots X_0 Y_i$);
- 2: ($L_s > L_d$) (send up to parent, i.e., shift x right $\log s$ bits)
 SEND TO ($L_s - 1, X_{(d \log s) - 1} \dots X_1$);

end case;

end ROUTE_TH.

В работе предложен также отказоустойчивый алгоритм маршрутизации для дерева – гиперкубических ВС. Регулярные дерево – гиперкубические топологии обладают полной системой заранее определенной узлов и связей, в топологиях с дефектами и часть узлов или связей исключены из общей топологии в связи с их выходом из строя.

В регулярных топологиях каждый промежуточный узел может определить очередной такт передачи данных на основе анализа адреса узла назначения и выбора того узла, который наиболее близок к узлу назначения. В топологиях с дефектами такой подход не приемлем, так как маршрут передачи может пролегать через дефектные узлы или связи. Поэтому отказоустойчивый алгоритм маршрутизации должен допускать возможность прокладывания путей передачи данных на основе информации о состоянии только собственных линий связи. В качестве ограничений рассматривалось значение глубины d дерева TH(s, d).

На Рис.10 приведен алгоритм отказоустойчивой маршрутизации для дерева – кубической структуры.

Алгоритм Karak:

{ Source node X address ($L_s, X, [t_1, \dots, t_m], [c_1, \dots, c_{L_s}]$);

{ Destination node Y address ($L_d, Y, [t_1, \dots, t_m], [c_1, \dots, c_{L_d}]$);

$X = \{X_{(d \log s) - 1} \dots X_0\}$; $Y = \{Y_{(d \log s) - 1} \dots Y_0\}$;

case 1: IF ($L_s = L_d$) and ($X = Y$) Then

{the destination is reached}

end_if

case 2: upward

If (t_{up} link is not faulty) Then {

Send to ($L_s - 1$, shift X right one bit, $[t_1, \dots, t_m], [c_1, \dots, c_n]$);

else { (use cube links only for one hop)

$i = L_s - L_d$;

if (C_i not faulty) then {

send to (L_s, X, c_i); }

Рис.10

```

else { remove  $c_i$ ;
For (  $j=1$  ) to  $L_s$  DO
  If (  $c_j$  is not faulty ) Then {
    remove  $c_j$  from the coordinate sequence  $[c_1 \dots c_n]$ ;
    Send to  $(L_s, Xc_j, [t_1 \dots t_m], [c_1, \dots, c_j \dots c_n])$ ;
    stop; }
end_Do )

```

case 3: downward move

```

 $i = \lfloor L_q - L_s \rfloor \cdot \log s - 1$ ;
check for the position  $i$  of dest. add. if  $i=0$  then
used left tree link else use right tree link
If (  $t_{\text{left}}$  link is not faulty ) Then {
  Send to  $(L_s + 1, \text{shift left } X \text{ one bit}, [t_1 \dots t_m], [c_1 \dots c_n])$ ;
  else { if (  $t_{\text{right}}$  link is not faulty ) then
Send to  $(L_s + 1, \text{shift left } X \text{ one bit} + 1), [t_1 \dots t_m], [c_1 \dots c_{L_s+1}])$ ;
  else { ( if both tree links are faulty )
    use  $n$ -cube only for one link;

```

```

For (  $j=1$  ) to  $L_s$  DO
  If (  $c_j$  is not faulty ) Then

```

```

  {remove  $c_j$  from the coordinate sequence;
  Send to  $(L_s, Xc_j, [t_1 \dots t_m], [c_1, \dots, c_j \dots c_n])$ ;
  stop; }
end_do )

```

```

else { use case 1; }

```

case 4: n -cube move. ($L_s = L_q$);

tag = src \oplus dest;

starting with the most significant bit of tag

let p number of first 1 in tag

If (c_p is not faulty) Then { (remove c_p);

Send to $(L_s, Xc_p, [t_1 \dots t_m], [c_1, \dots, c_p \dots c_{L_s-1}])$

else { remove c_p ;

For ($j=1$) to $L_s - 1$ DO

IF (c_j is not faulty) THEN

begin

remove c_j

```

Send to  $(L_s, Xc_j, [t_1, \dots, t_m], [c_{1j}, \dots, c_{mj}]);$ 
end_begin.
stop algorithm;
end_do }
else { case 2; } else { case 3; }

```

case 5: Каждый узел с адресом (L_s, X) на уровне L_s , где $X = X_{(d \log s) - 1} \dots X_0$, делает попытку использовать дополнительную связь с целью отправить сообщение к узлу назначения с адресом (L_d, Y) , где $Y = Y_{(d \log s) - 1} \dots Y_0$, а $L_d > L_s$ or $L_d < L_s$; $L_s < \alpha < L_d$, if $L_d > L_s$; $L_s < \alpha < L_d$, if $L_d < L_s$.

Предложенный алгоритм позволяет A_5 для $TH(s, d)$ в наилучшем случае выполнить $N(x, y) + 2(n-1)$ шагов для передачи сообщения от источника с адресом X к приемнику с адресом Y , где $N(x, y)$ — хэ-минусово расстояние между двумя узлами.

На примере реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов рассматриваются возможности организации параллельных вычислений в системе с дерево-кубической топологией. К основным алгоритмам цифровой обработки сигналов относятся алгоритмы цифровой фильтрации, алгоритм быстрого преобразования Фурье, алгоритмы обработки спектра сигналов, алгоритм свертки, корреляции и др.

Алгоритм цифровой фильтрации (ЦФ) имеет вид $Y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(n-k) a(k)$, где N — длина импульсной характеристики фильтра, $X(n-k) = \{X(n), X(n-1), \dots, X(n-N+1)\}$ — вектора входных данных, $Y(n)$ — выходные результаты. Из нескольких вариантов реализации алгоритма ЦФ, рассмотренных в работе, наилучшими временными характеристиками и простотой структурной организацией обладает алгоритм, граф которого представляет собой последовательную цепочку узлов. В каждом узле графа выполняется одна операция умножения и одна операция суммирования, для каждого из узлов требуется две однонаправленных линии связи, по которым последовательно выполняется передача операндов. $Y(n)$ вычисляется в конвейерном режиме и время его вычисления определяется временем выполнения операции суммирования и умножения в одном процессорном элементе (ПЭ). Требуемое количество ПЭ с одной стороны зависит от длины импульсной характеристики N и времени поступления входных отсчетов $T_{вх}$, с другой — зависит от времени выполнения операций в ПЭ

$T_{опер}$. Если $T_{вх} > T_{опер}$, то количество ПЭ может быть уменьшено в $T_{вх} / T_{опер}$ число раз. Дерево-кубическая структура связей позволяет организовать последовательную цепочку узлов необходимых для ЦФ как на любом уровне, так и между уровнями.

Алгоритм БПФ является базовым алгоритмом поскольку от времени его реализации во многом зависит время выполнения цифровой обработки сигналов в целом. Дерево-кубическая структура не позволяет в полной

мере использовать естественный параллелизм заложенный в алгоритме БПФ. Полная загруженность ПЭ может быть достигнута только с использованием горизонтального уровня структуры, связи между элементами которого позволяют параллельно вычислять все базовые операции одной итерации и последовательно - итерации. Выбор уровня древо-кубической структуры зависит от размерности алгоритма БПФ и времени, которое требуется для его реализации. Для эффективной загрузки оставшихся $N - 1$ ПЭ древо-кубической структуры предлагается в этих узлах последовательно вычислять алгоритмы обработки спектральных составляющих такие как: вычисление модуля и фазы спектра, спектр мощности, перемножение элементов двух массивов, нахождение максимального, минимального, нулевого значений спектральных составляющих. Показано, что время для их вычисления в конвейерном режиме ограничено временем выполнения алгоритма БПФ.

Основные результаты работы

1. Исследованы архитектурные особенности параллельных масс-процессорных вычислительных систем, основанных на древо-гиперкубических топологиях с повышенными характеристиками по управлению и живучести.
2. Обоснован и исследован выбор топологии комбинированной древо-видной мультитранспертерной системы с заданными характеристиками по управлению и живучести.
3. Выполнен сравнительный анализ масштабируемых древо-гиперкубических структур.
4. Предложены способы организации алгоритмов цифровой обработки сигналов в древо-гиперкубических системах, подтвердивших эффективность полученных структурных решений.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Аль-Катаунех М.С. Иерархические Древо-Гиперкубические вычислительные системы. Киев, 1996.-15 с.Деп. в ГНТБ Украины. N. 650-УК. 96.
2. Аль-Катаунех М.С. Алгоритмы сортировки в Древо-Гиперкубических вычислительных системах: Киев, 1996.-9 с.Деп. в ГНТБ Украины. N. 919 -УК 96.
3. Аль-Катаунех М.С. Отказоустойчивый алгоритм для древо-гиперкубических вычислительных систем: Киев, 1996. - 9с. Деп. в ГНТБ Украины. N. 920-УК 96.
4. Lytsky G.M., Al-Katawneh M.C. Fault-Tolerant Routing in Tree-Hypercubes Multicomputer. India, Bangalore fourth Int. Conf. on Advanced computing -96.
5. Al-Qatawneh M.S.Z. Sorting algorithm in tree-hypercubes multicomputer systems. Jordan, Mu'tat - Buhooth Wa Al-Dirasat, №8 [4]-1996 p. 61-68.

Аль-Катаунех М.С.

Способы и средства повышения эффективности масштабируемых вычислительных систем с дерево-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. г. Киев, 1994 г.

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

Al-Qatawneh Mohammed

Methodes and means of efficiency improvment of large scal computing systems with tree-hypercube 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 the thesis is to working and research methods and means interaction efficiency improvments in scaled computing systems, oriented on mass parallelism with orientation on tranpcuter element basis.

Ключеві слова: мультитрансп'ютерні системи, масовий паралелізм, дерево-гіперкубічна топологія, ієрархія, діаметр, ступінь, граф.

Підп. до друку 19.09.84. Формат 60×84¹/₁₆.
Папір друк. № 1. Спосіб друку офсетний. Умови друк. арк. 0,93.
Умови фарбо-відб. 1,04. Обл.-вид. арк. 1,0.
Тираж 100. Зам. № 6-3358.

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

439948

AB 35.713

17 11 1944
18 12 1944
19 1 1945
20 2 1945
21 3 1945
22 4 1945
23 5 1945
24 6 1945
25 7 1945
26 8 1945
27 9 1945
28 10 1945
29 11 1945
30 12 1945
31 1 1946
32 2 1946
33 3 1946
34 4 1946
35 5 1946
36 6 1946
37 7 1946
38 8 1946
39 9 1946
40 10 1946
41 11 1946
42 12 1946
43 1 1947
44 2 1947
45 3 1947
46 4 1947
47 5 1947
48 6 1947
49 7 1947
50 8 1947
51 9 1947
52 10 1947
53 11 1947
54 12 1947
55 1 1948
56 2 1948
57 3 1948
58 4 1948
59 5 1948
60 6 1948
61 7 1948
62 8 1948
63 9 1948
64 10 1948
65 11 1948
66 12 1948
67 1 1949
68 2 1949
69 3 1949
70 4 1949
71 5 1949
72 6 1949
73 7 1949
74 8 1949
75 9 1949
76 10 1949
77 11 1949
78 12 1949
79 1 1950
80 2 1950
81 3 1950
82 4 1950
83 5 1950
84 6 1950
85 7 1950
86 8 1950
87 9 1950
88 10 1950
89 11 1950
90 12 1950
91 1 1951
92 2 1951
93 3 1951
94 4 1951
95 5 1951
96 6 1951
97 7 1951
98 8 1951
99 9 1951
100 10 1951
101 11 1951
102 12 1951
103 1 1952
104 2 1952
105 3 1952
106 4 1952
107 5 1952
108 6 1952
109 7 1952
110 8 1952
111 9 1952
112 10 1952
113 11 1952
114 12 1952
115 1 1953
116 2 1953
117 3 1953
118 4 1953
119 5 1953
120 6 1953
121 7 1953
122 8 1953
123 9 1953
124 10 1953
125 11 1953
126 12 1953
127 1 1954
128 2 1954
129 3 1954
130 4 1954
131 5 1954
132 6 1954
133 7 1954
134 8 1954
135 9 1954
136 10 1954
137 11 1954
138 12 1954
139 1 1955
140 2 1955
141 3 1955
142 4 1955
143 5 1955
144 6 1955
145 7 1955
146 8 1955
147 9 1955
148 10 1955
149 11 1955
150 12 1955
151 1 1956
152 2 1956
153 3 1956
154 4 1956
155 5 1956
156 6 1956
157 7 1956
158 8 1956
159 9 1956
160 10 1956
161 11 1956
162 12 1956
163 1 1957
164 2 1957
165 3 1957
166 4 1957
167 5 1957
168 6 1957
169 7 1957
170 8 1957
171 9 1957
172 10 1957
173 11 1957
174 12 1957
175 1 1958
176 2 1958
177 3 1958
178 4 1958
179 5 1958
180 6 1958
181 7 1958
182 8 1958
183 9 1958
184 10 1958
185 11 1958
186 12 1958
187 1 1959
188 2 1959
189 3 1959
190 4 1959
191 5 1959
192 6 1959
193 7 1959
194 8 1959
195 9 1959
196 10 1959
197 11 1959
198 12 1959
199 1 1960
200 2 1960
201 3 1960
202 4 1960
203 5 1960
204 6 1960
205 7 1960
206 8 1960
207 9 1960
208 10 1960
209 11 1960
210 12 1960
211 1 1961
212 2 1961
213 3 1961
214 4 1961
215 5 1961
216 6 1961
217 7 1961
218 8 1961
219 9 1961
220 10 1961
221 11 1961
222 12 1961
223 1 1962
224 2 1962
225 3 1962
226 4 1962
227 5 1962
228 6 1962
229 7 1962
230 8 1962
231 9 1962
232 10 1962
233 11 1962
234 12 1962
235 1 1963
236 2 1963
237 3 1963
238 4 1963
239 5 1963
240 6 1963
241 7 1963
242 8 1963
243 9 1963
244 10 1963
245 11 1963
246 12 1963
247 1 1964
248 2 1964
249 3 1964
250 4 1964
251 5 1964
252 6 1964
253 7 1964
254 8 1964
255 9 1964
256 10 1964
257 11 1964
258 12 1964
259 1 1965
260 2 1965
261 3 1965
262 4 1965
263 5 1965
264 6 1965
265 7 1965
266 8 1965
267 9 1965
268 10 1965
269 11 1965
270 12 1965
271 1 1966
272 2 1966
273 3 1966
274 4 1966
275 5 1966
276 6 1966
277 7 1966
278 8 1966
279 9 1966
280 10 1966
281 11 1966
282 12 1966
283 1 1967
284 2 1967
285 3 1967
286 4 1967
287 5 1967
288 6 1967
289 7 1967
290 8 1967
291 9 1967
292 10 1967
293 11 1967
294 12 1967
295 1 1968
296 2 1968
297 3 1968
298 4 1968
299 5 1968
300 6 1968
301 7 1968
302 8 1968
303 9 1968
304 10 1968
305 11 1968
306 12 1968
307 1 1969
308 2 1969
309 3 1969
310 4 1969
311 5 1969
312 6 1969
313 7 1969
314 8 1969
315 9 1969
316 10 1969
317 11 1969
318 12 1969
319 1 1970
320 2 1970
321 3 1970
322 4 1970
323 5 1970
324 6 1970
325 7 1970
326 8 1970
327 9 1970
328 10 1970
329 11 1970
330 12 1970
331 1 1971
332 2 1971
333 3 1971
334 4 1971
335 5 1971
336 6 1971
337 7 1971
338 8 1971
339 9 1971
340 10 1971
341 11 1971
342 12 1971
343 1 1972
344 2 1972
345 3 1972
346 4 1972
347 5 1972
348 6 1972
349 7 1972
350 8 1972
351 9 1972
352 10 1972
353 11 1972
354 12 1972
355 1 1973
356 2 1973
357 3 1973
358 4 1973
359 5 1973
360 6 1973
361 7 1973
362 8 1973
363 9 1973
364 10 1973
365 11 1973
366 12 1973
367 1 1974
368 2 1974
369 3 1974
370 4 1974
371 5 1974
372 6 1974
373 7 1974
374 8 1974
375 9 1974
376 10 1974
377 11 1974
378 12 1974
379 1 1975
380 2 1975
381 3 1975
382 4 1975
383 5 1975
384 6 1975
385 7 1975
386 8 1975
387 9 1975
388 10 1975
389 11 1975
390 12 1975
391 1 1976
392 2 1976
393 3 1976
394 4 1976
395 5 1976
396 6 1976
397 7 1976
398 8 1976
399 9 1976
400 10 1976
401 11 1976
402 12 1976
403 1 1977
404 2 1977
405 3 1977
406 4 1977
407 5 1977
408 6 1977
409 7 1977
410 8 1977
411 9 1977
412 10 1977
413 11 1977
414 12 1977
415 1 1978
416 2 1978
417 3 1978
418 4 1978
419 5 1978
420 6 1978
421 7 1978
422 8 1978
423 9 1978
424 10 1978
425 11 1978
426 12 1978
427 1 1979
428 2 1979
429 3 1979
430 4 1979
431 5 1979
432 6 1979
433 7 1979
434 8 1979
435 9 1979
436 10 1979
437 11 1979
438 12 1979
439 1 1980
440 2 1980
441 3 1980
442 4 1980
443 5 1980
444 6 1980
445 7 1980
446 8 1980
447 9 1980
448 10 1980
449 11 1980
450 12 1980
451 1 1981
452 2 1981
453 3 1981
454 4 1981
455 5 1981
456 6 1981
457 7 1981
458 8 1981
459 9 1981
460 10 1981
461 11 1981
462 12 1981
463 1 1982
464 2 1982
465 3 1982
466 4 1982
467 5 1982
468 6 1982
469 7 1982
470 8 1982
471 9 1982
472 10 1982
473 11 1982
474 12 1982
475 1 1983
476 2 1983
477 3 1983
478 4 1983
479 5 1983
480 6 1983
481 7 1983
482 8 1983
483 9 1983
484 10 1983
485 11 1983
486 12 1983
487 1 1984
488 2 1984
489 3 1984
490 4 1984
491 5 1984
492 6 1984
493 7 1984
494 8 1984
495 9 1984
496 10 1984
497 11 1984
498 12 1984
499 1 1985
500 2 1985
501 3 1985
502 4 1985
503 5 1985
504 6 1985
505 7 1985
506 8 1985
507 9 1985
508 10 1985
509 11 1985
510 12 1985
511 1 1986
512 2 1986
513 3 1986
514 4 1986
515 5 1986
516 6 1986
517 7 1986
518 8 1986
519 9 1986
520 10 1986
521 11 1986
522 12 1986
523 1 1987
524 2 1987
525 3 1987
526 4 1987
527 5 1987
528 6 1987
529 7 1987
530 8 1987
531 9 1987
532 10 1987
533 11 1987
534 12 1987
535 1 1988
536 2 1988
537 3 1988
538 4 1988
539 5 1988
540 6 1988
541 7 1988
542 8 1988
543 9 1988
544 10 1988
545 11 1988
546 12 1988
547 1 1989
548 2 1989
549 3 1989
550 4 1989
551 5 1989
552 6 1989
553 7 1989
554 8 1989
555 9 1989
556 10 1989
557 11 1989
558 12 1989
559 1 1990
560 2 1990
561 3 1990
562 4 1990
563 5 1990
564 6 1990
565 7 1990
566 8 1990
567 9 1990
568 10 1990
569 11 1990
570 12 1990
571 1 1991
572 2 1991
573 3 1991
574 4 1991
575 5 1991
576 6 1991
577 7 1991
578 8 1991
579 9 1991
580 10 1991
581 11 1991
582 12 1991
583 1 1992
584 2 1992
585 3 1992
586 4 1992
587 5 1992
588 6 1992
589 7 1992
590 8 1992
591 9 1992
592 10 1992
593 11 1992
594 12 1992
595 1 1993
596 2 1993
597 3 1993
598 4 1993
599 5 1993
600 6 1993
601 7 1993
602 8 1993
603 9 1993
604 10 1993
605 11 1993
606 12 1993
607 1 1994
608 2 1994
609 3 1994
610 4 1994
611 5 1994
612 6 1994
613 7 1994
614 8 1994
615 9 1994
616 10 1994
617 11 1994
618 12 1994
619 1 1995
620 2 1995
621 3 1995
622 4 1995
623 5 1995
624 6 1995
625 7 1995
626 8 1995
627 9 1995
628 10 1995
629 11 1995
630 12 1995
631 1 1996
632 2 1996
633 3 1996
634 4 1996
635 5 1996
636 6 1996
637 7 1996
638 8 1996
639 9 1996
640 10 1996
641 11 1996
642 12 1996
643 1 1997
644 2 1997
645 3 1997
646 4 1997
647 5 1997
648 6 1997
649 7 1997
650 8 1997
651 9 1997
652 10 1997
653 11 1997
654 12 1997
655 1 1998
656 2 1998
657 3 1998
658 4 1998
659 5 1998
660 6 1998
661 7 1998
662 8 1998
663 9 1998
664 10 1998
665 11 1998
666 12 1998
667 1 1999
668 2 1999
669 3 1999
670 4 1999
671 5 1999
672 6 1999
673 7 1999
674 8 1999
675 9 1999
676 10 1999
677 11 1999
678 12 1999
679 1 2000
680 2 2000
681 3 2000
682 4 2000
683 5 2000
684 6 2000
685 7 2000
686 8 2000
687 9 2000
688 10 2000
689 11 2000
690 12 2000
691 1 2001
692 2 2001
693 3 2001
694 4 2001
695 5 2001
696 6 2001
697 7 2001
698 8 2001
699 9 2001
700 10 2001
701 11 2001
702 12 2001
703 1 2002
704 2 2002
705 3 2002
706 4 2002
707 5 2002
708 6 2002
709 7 2002
710 8 2002
711 9 2002
712 10 2002
713 11 2002
714 12 2002
715 1 2003
716 2 2003
717 3 2003
718 4 2003
719 5 2003
720 6 2003
721 7 2003
722 8 2003
723 9 2003
724 10 2003
725 11 2003
726 12 2003
727 1 2004
728 2 2004
729 3 2004
730 4 2004
731 5 2004
732 6 2004
733 7 2004
734 8 2004
735 9 2004
736 10 2004
737 11 2004
738 12 2004
739 1 2005
740 2 2005
741 3 2005
742 4 2005
743 5 2005
744 6 2005
745 7 2005
746 8 2005
747 9 2005
748 10 2005
749 11 2005
750 12 2005
751 1 2006
752 2 2006
753 3 2006
754 4 2006
755 5 2006
756 6 2006
757 7 2006
758 8 2006
759 9 2006
760 10 2006
761 11 2006
762 12 2006
763 1 2007
764 2 2007
765 3 2007
766 4 2007
767 5 2007
768 6 2007
769 7 2007
770 8 2007
771 9 2007
772 10 2007
773 11 2007
774 12 2007
775 1 2008
776 2 2008
777 3 2008
778 4 2008
779 5 2008
780 6 2008
781 7 2008
782 8 2008
783 9 2008
784 10 2008
785 11 2008
786 12 2008
787 1 2009
788 2 2009
789 3 2009
790 4 2009
791 5 2009
792 6 2009
793 7 2009
794 8 2009
795 9 2009
796 10 2009
797 11 2009
798 12 2009
799 1 2010
800 2 2010
801 3 2010
802 4 2010
803 5 2010
804 6 2010
805 7 2010
806 8 2010
807 9 2010
808 10 2010
809 11 2010
810 12 2010
811 1 2011
812 2 2011
813 3 2011
814 4 2011
815 5 2011
816 6 2011
817 7 2011
818 8 2011
819 9 2011
820 10 2011
821 11 2011
822 12 2011
823 1 2012
824 2 2012
825 3 2012
826 4 2012
827 5 2012
828 6 2012
829 7 2012
830 8 2012
831 9 2012
832 10 2012
833 11 2012
834 12 2012
835 1 2013
836 2 2013
837 3 2013
838 4 2013
839 5 2013
840 6 2013
841 7 2013
842 8 2013
843 9 2013
844 10 2013
845 11 2013
846 12 2013
847 1 2014
848 2 2014
849 3 2014
850 4 2014
851 5 2014
852 6 2014
853 7 2014
854 8 2014
855 9 2014
856 10 2014
857 11 2014
858 12 2014
859 1 2015
860 2 2015
861 3 2015
862 4 2015
863 5 2015
864 6 2015
865 7 2015
866 8 2015
867 9 2015
868 10 2015
869 11 2015
870 12 2015
871 1 2016
872 2 2016
873 3 2016
874 4 2016
875 5 2016
876 6 2016
877 7 2016
878 8 2016
879 9 2016
880 10 2016
881 11 2016
882 12 2016
883 1 2017
884 2 2017
885 3 2017
886 4 2017
887 5 2017
888 6 2017
889 7 2017
890 8 2017
891 9 2017
892 10 2017
893 11 2017
894 12 2017
895 1 2018
896 2 2018
897 3 2018
898 4 2018
899 5 2018
900 6 2018
901 7 2018
902 8 2018
903 9 2018
904 10 2018
905 11 2018
906 12 2018
907 1 2019
908 2 2019
909 3 2019
910 4 2019
911 5 2019
912 6 2019
913 7 2019
914 8 2019
915 9 2019
916 10 2019
917 11 2019
918 12 2019
919 1 2020
920 2 2020
921 3 2020
922 4 2020
923 5 2020
924 6 2020
925 7 2020
926 8 2020
927 9 2020
928 10 2020
929 11 2020
930 12 2020
931 1 2021
932 2 2021
933 3 2021
934 4 2021
935 5 2021
936 6 2021
937 7 2021
938 8 2021
939 9 2021
940 10 2021
941 11 2021
942 12 2021
943 1 2022
944 2 2022
945 3 2022
946 4 2022
947 5 2022
948 6 2022
949 7 2022
950 8 2022
951 9 2022
952 10 2022
953 11 2022
954 12 2022
955 1 2023
956 2 2023
957 3 2023
958 4 2023
959 5 2023
960 6 2023
961 7 2023
962 8 2023
963 9 2023
964 10 2023
965 11 2023
966 12 2023
967 1 2024
968 2 2024
969 3 2024
970 4 2024
971 5 2024
972 6 2024
973 7 2024
974 8 2024
975 9 2024
976 10 2024
977 11 2024
978 12 2024
979 1 2025
980 2 2025
981 3 2025
982 4 2025
983 5 2025
984 6 2025
985 7 2025
986 8 2025
987 9 2025
988 10 2025
989 11 2025
990 12 2025
991 1 2026
992 2 2026
993 3 2026
994 4 2026
995 5 2026
996 6 2026
997 7 2026
998 8 2026
999 9 2026
1000 10 2026
1001 11 2026
1002 12 2026
1003 1 2027
1004 2 2027
1005 3 2027
1006 4 2027
1007 5 2027
1008 6 2027
1009 7 2027
1010 8 2027
1011 9 2027
1012 10 2027
1013 11 2027
1014 12 2027
1015 1 2028
1016 2 2028
1017 3 2028
1018 4 2028
1019 5 2028
1020 6 2028
1021 7 2028
1022 8 2028
1023 9 2028
1024 10 2028
1025 11 2028
1026 12