

М. Ф. Каравай, В. С. Подлазов
Mikhail Karavay, Viktor Podlazov

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ОБОБЩЕННОГО ГИПЕРКУБА
ДЛЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОГО ИНТЕРКОННЕКТА
EXPANSION OF GENERALIZED HYPERCUBE
POTENTIALITIES
FOR SUPERCOMPUTER INTERCONTECT

АННОТАЦИЯ. Рассматривается новая структура системной сети для суперкомпьютеров. Рассматривается системная сеть в виде расширенного обобщенного гиперкуба, в строках которого связи с топологией полного графа заменены на связи с топологией квазиполного графа, имеющего много меньше ребер.

ABSTRACT. New structure of system area network for supercomputers is considered. The system area network is represented as an expanded generalized hypercube form. As compare with full graph connections, containing in the each line of hypercube form, the new topology use of the quasi full graph connections and therefore holds significantly less edges than a network with the full graph topology.

Ключевые слова: высокопроизводительные многопроцессорные вычислительные системы, системные сети, прямые каналы, неблокируемые самонастраиваемые сети, идеальные сети, распределенные полные коммутаторы, обобщенные гиперкубы, сеть сервера PERCS, сеть Dragonfly.

Keywords: massive parallel multiprocessor computer, system area networks, direct channels, nonblocking self-routing networks, ideal networks, distributed full switches, generalized hypercubes, network of server PERCS, network Dragonfly.

Введение

Одно из направлений построения высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем (суперкомпьютеров) предполагает использование многопроцессорных и многоядерных (тяжелых) процессорных узлов [[1]–[4]]. Такие процессорные узлы используются в тесной связке с многопортовыми связными узлами. Множество портов в них требуется для возможно большего распараллеливания системной сети, объединяющей связные узлы. Здесь возникает задача эффективного использования заданного множества портов или даже задания этого множества. В работе [[5]] предложено

© М. Ф. Каравай, В. С. Подлазов, 2013

© Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, 2013

© [Программные системы: теория и приложения](#), 2013

одно решение этой задачи на основе использования системных сетей с прямыми каналами [[5], [6]]. Оно основывается на маршрутно-инвариантном расширении таких простейших сетей как кольца и полные коммутаторы и осуществляется посредством замены топологии связей полного графа на квазиполный (ор)граф [[7]–[10]]. Этот подход привел к построению распределенных полных коммутаторов и некоммутируемых мультиколец, пропускная способность которых пропорциональна квадрату числа портов связанных узлов сети.

В данной работе вышеупомянутый подход применяется для построения системной сети со структурой расширенного обобщенного гиперкуба. В обычном обобщенном гиперкубе узлы в каждой строке (столбце) любого измерения имеют связи с топологией полного графа. В расширенном обобщенном гиперкубе связи каждого измерения имеют топологию квазиполного (ор)графа. Полный и квазиполный графы имеют одинаковые маршрутные свойства на перестановочном трафике, но квазиполный граф содержит много меньше ребер. Это свойство позволяет многократно увеличивать пропускную способность и отказоустойчивость системной сети при сохранении числа узлов или увеличивать число узлов и отказоустойчивость при сохранении числа каналов на узел. При этом фактически сохраняется диаметр сети и задержка передачи данных по сети.

1. Обобщенный гиперкуб

Обобщенный гиперкуб [[11], [12]] является «кубическим» аналогом многокаскадной сети Клоза, так же как гиперкуб является «кубическим» аналогом многокаскадной сети Бенеша. Как сеть Бенеша является двоичной сетью Клоза, так и гиперкуб является двоичным обобщенным гиперкубом.

Обобщенный гиперкуб обычно задается как d -мерный s -ичный гиперкуб, который имеет $V=s^d$ узлов степени $d(s-1)$ каждый, размещенных в строках (столбцах) по s узлов, задающих «ребра» d -мерного простого куба. «Ребра» здесь понимаются не в графовом, а в геометрическом смысле. Наоборот в графовом смысле «ребро» есть полный граф, т.е. все s узлов одного геометрического «ребра» связаны $s(s-1)$ графовыми ребрами.

Будем обозначать обобщенный d -мерный s -ичный гиперкуб как ОГК(V, d, s). На Рис. 1 приведен пример ОГК(16, 2, 4).

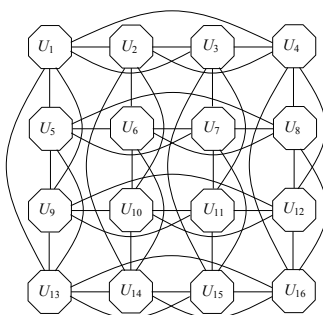


Рис. 1. Структура связей ОГК(16, 2, 4)

Диаметр $ОГК(V, d, s)$ равен $D=d$ и величина бисекции $B=V$.

Для реализации системной сети с топологией $ОГК(V, d, s)$ каждый узел должен иметь схемную реализацию, представленную в самом общем виде на Рис. 2. Узел U_i содержит абонента (процессорный узел) A_i , «коммутатор измерений» $g \times g$ ($g=d+\pi$) и d коммутаторов каналов $1 \times m$ ($m=s-1$) для реализации ребер полного графа в каждой строке (каждом столбце). Здесь π задает число каналов между процессорным и связным узлом. Для простоты в схеме на Рис. 2 не показаны входные-выходные буферные очереди между коммутатором измерений и коммутаторами каналов, которые несущественны при описании топологии системной сети. В суперкомпьютерах [[1]–[3]] коммутаторы измерений и каналов входят в состав связного узла.

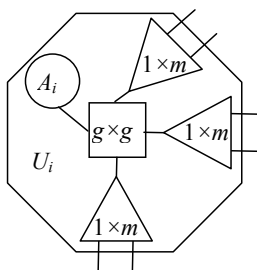


Рис. 2. Схемная реализация узла в $ОГК(V, 3, m+1)$

2. Идеальная сеть и распределенный полный коммутатор

Рассмотрим однородный двудольный граф, каждую долю которого составляют N узлов степени m . Значение m выбирается минимальным, при котором любые два узла в одной доле связаны σ путями длины 2

через разные узлы в другой доле. Такой граф мы называем минимальным квазиполным графом [[7]]. Если он существует, то его параметры связаны соотношением $N=m(m-1)/\sigma+1$.

В данной работе предполагается, что узлами одной доли являются полные коммутаторы $m \times m$, а другой доли – m -портовые абоненты (связные узлы). Каждый путь между абонентами проходит через один коммутатор, и разные пути проходят через разные коммутаторы. Пример такого графа приведен на Рис. 3 для $m=4$, $N=7$ и $\sigma=2$. На рис. 3 толстыми линиями выделены пути между абонентами, выделенными одинаковой заливкой – их два для каждой пары абонентов.

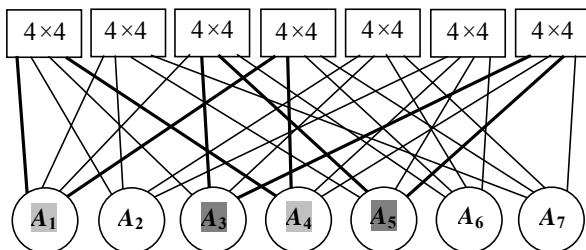


Рис. 3. Минимальный квазиполный граф с $m=4$, $N=7$ и $\sigma=2$.
Простейшая сеть ПС(7, 4, 2)

Здесь возникает вопрос о существовании минимальных квазиполных графов и об их параметрах. Он уже решен в комбинаторике. Такие графы описываются на языке неполных уравновешенных блок-схем, в частности, симметричных блок-схем [[6]–[10]].

Симметричная блок-схема $B(N, m, \sigma)$ состоит из элементов, составляющих одну долю графа, и блоков, составляющих другую долю графа. Число элементов и блоков одинаково и равно N . Параметр m задает число блоков, в которые входит каждый элемент, и число элементов, входящих в каждый блок. Вхождение некоторого элемента в некоторый блок задает ребро на двудольном графе между соответствующими вершинами разных долей. Параметр $\sigma < m$ задает число блоков, в которые входит каждая пара элементов. Указанные параметры связаны соотношением $N=m(m-1)/\sigma+1$.

Любая блок-схема описывается таблицей, в которой строчки задают блоки, а ячейки – вхождения элементов. Блоки и элементы задаются своими номерами. Теперь проинтерпретируем блок как коммутатор $m \times m$ с дуплексными портами, элемент – как абонент с m дуплексными портами, а вхождение элемента в блок – как подсоединение абонента к

коммутатору дуплексным каналом через один из своих портов. Тогда σ интерпретируется как число коммутаторов, через которые любые два абонента соединены разными каналами. При этом все абоненты связаны между собой прямыми каналами (через коммутаторы), как в полном графе. В отличие от полного графа рассматриваемый граф может иметь σ независимых путей между любой парой вершин, не являясь при этом *мультиграфом*, поскольку эти пути не параллельны. Вся блок-схема интерпретируется как минимальный квазиполный граф, одна доля которого состоит из абонентов, а другая – из коммутаторов. Он описывает «простейшую» системную сеть с σ -кратным резервированием каналов. Задающая блок-схему таблица описывает схему межсоединений абонентов и коммутаторов. На Рис. 3 приводится пример ПС(7, 4, 2), в Таблица 1 – описание $B(7, 4, 2)$ и ПС(7, 4, 2).

Таблица 1. Схема межсоединений в ПС(7, 4, 2)

Блоки 4×4	$B(7, 4, 2)$ ПС(7, 4, 2)			
	0	0	1	2
1	0	1	4	6
2	0	2	4	5
3	0	3	5	6
4	1	2	5	6
5	1	3	4	5
6	2	3	4	6

ПС(N, m, σ) является «идеальной» сетью, которая имеет возможность использования прямых каналов (без промежуточной буферизации пакетов) для бесконфликтной реализации произвольной перестановки пакетов данных между узлами [[9], [10]].

По построению ПС(N, m, σ) является неблокируемой самомаршрутизируемой сетью с N абонентами как и коммутатор $m \times m$. Это означает, что произвольная перестановка пакетов данных между абонентами может осуществляться в нем бесконфликтно по прямым (без промежуточной буферизации пакетов) каналам. Каждый абонент прокладывает свой канал самостоятельно – независимо от других абонентов. Обычно предполагается, что прокладка канала осуществляется динамически посредством однократной червячной маршрутизации.

С формальной точки зрения диаметр ПС(N, m, σ) равен 2 ($D=2$). Однако диаметр можно выразить и в числе «скачков» D^* (передач по

прямым каналам без промежуточной буферизации пакетов). Такой диаметр $D^*=1$.

ПС($N, m, 1$) имеет топологию квазиполного графа и содержит $w=Nm$ дуплексных каналов «точка-точка» между коммутаторами и абонентами. Сеть с топологией полного графа, содержащая N узлов, имеет $W=N(N-1)$ дуплексных каналов «точка-точка» между абонентами. Легко проверить, что $W/w > (N-1)^{1/2}-1$, т.е. имеет место сокращение числа каналов в $\sim N^{1/2}$ число раз.

Квазиполный граф существует не при любых значениях параметров m и σ . Эта проблема может быть разрешена двояко. При $\sigma=1$ можно использовать квазиполный орграф, который существует при любых значениях m и имеет $N=m^2$ [[6]]. Дополнительным ограничением для его использования в качестве ПС($N, m, 1$) служит невозможность использования дуплексных портов. При $\sigma > 1$ можно использовать 1-расширенные квазиполные графы, которые удалось построить для всех экспериментально проверенных значений m и σ [[10]]. В них число узлов N^* каждой доли задается выражением $N^*=N-\delta$, где $\delta < m$. В 1-расширенном квазиполном графе часть узлов одной доли связаны $\sigma+1$ путями длины 2, а остальные – σ путями длины 2. В матрице смежности такого графа номера узлов, связанных $\sigma+1$ путями, размещаются на 2δ диагоналях. Системная сеть с топологией 1-расширенного квазиполного графа обозначается как ПС($N^*, m, \sigma|\sigma+1$). Дополнительно в ней за счет выбора значения δ можно задавать четность N^* .

Перечисленные выше свойства показывают, что на перестановочном трафике системная сеть с топологией квазиполного графа по пропускной способности и задержкам практически не уступает сети с топологией полного графа, имея много меньшую канальную сложность.

3. Расширенный обобщенный гиперкуб

Как упоминалось в начале (рис. 1), обобщенный гиперкуб имеет по строкам и столбцам топологию связей полного графа. Расширение обобщенного гиперкуба можно осуществить за счет замены этой топологии связей на топологию квазиполного графа.

Пусть имеется ОГК(V, d, s). Добавим к каждому узлу d коммутаторов $m \times m$ ($m=s-1$). Для объединения узлов в каждой строке (столбце) будем использовать ПС(N, m, σ), построенную за счет использования одного коммутатора $m \times m$ при каждом узле. ПС(N, m, σ) позволяет объединить в строке (столбце) N узлов, где $N=m(m-1)/\sigma+1$. Увеличим число узлов в строке (столбце) каждого измерения до этой величины и объединим их посредством ПС(N, m, σ). Тем самым удаётся

“расширить” ОГК с s -ичности до N -ичности. В результате получим расширенный обобщенный гиперкуб с $R=N^d$ узлами, в котором узлы каждого измерения связаны σ прямыми каналами. Такой гиперкуб будем называть расширенным обобщенным d -мерным N -ичным гиперкубом и обозначать РОГК(R, d, N, m, σ). На Рис. 4 для примера показан РОГК($49, 2, 7, 3, 1$).

В описанном построении ПС(N, m, σ) может быть заменена на 1-расширенную ПС($N^*, m, \sigma|\sigma+1$) (см. раздел 3), и тогда расширенный гиперкуб обозначается как РОГК($R, d, N^*, m, \sigma|\sigma+1$). Напомним, что 1-расширенная простейшая сеть ПС($N^*, m, \sigma|\sigma+1$) порождается при уменьшении числа узлов сети до значения $N^*=N-\delta$, где $\delta < m$. При этом появляются узлы одной доли, связанные $\sigma+1$ путями длины 2, а остальные – σ путями длины 2. ПС($N^*, m, \sigma|\sigma+1$) удастся построить для всех проверенных значений m и σ .

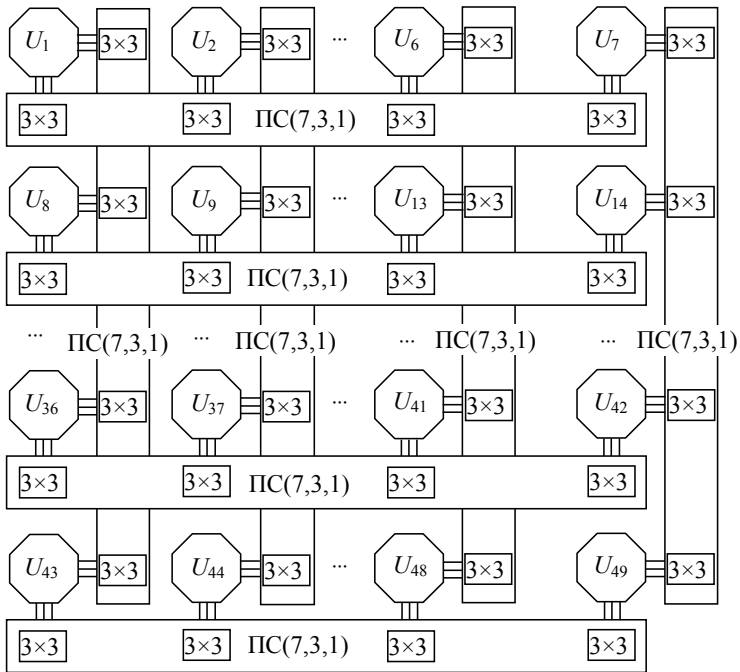


Рис. 4. Структура связей РОГК($49, 2, 7, 3, 1$)

Эти дополнительные пути потребуются в разделе 6 для формирования отказоустойчивой конфигурации РОГК по связным узлам. Далее, всюду где упоминается РОГК($R, d, N^*, m, \sigma|\sigma+1$) имеется ввиду он или РОГК(R, d, N, m, σ), если последний существует для заданных m и σ .

Сравним некоторые характеристики обобщенных трёхмерных гиперкубов ОГК($V, 3, s$) и РОГК($R, 3, N^*, m, \sigma|\sigma+1$). Сначала оценим фактор R/V увеличения числа узлов при одинаковых параметрах узла, который приводится в Таблица 2 при малых m и σ .

Таблица 2. Фактор R/V при $m=s-1$

$\sigma \backslash m$	4	6	8	10	12
1	17,6	96	254	566	1071
2	2,7	9,8	27,0	56	114
3	1,0	3,9	9,4	18,3	36,2
4	–	1,5	4,6	8,0	16,4

Таблица 2 показывает, что за счёт увеличения “-ичности” РОГК($R, 3, N^*, m, \sigma|\sigma+1$) по сравнению с ОГК($V, 3, s$) может иметь во много раз большее число узлов и/или в σ раз большую пропускную способность каждого измерения.

В Таблица 3 показана степень узла s по каждому измерению в ОГК(V, d, s) при $V=R$ из РОГК($R, d, N^*, m, \sigma|\sigma+1$). Таблица 3 показывает, что РОГК($R, d, N^*, m, \sigma|\sigma+1$) по сравнению с ОГК(V, d, s) может иметь во много раз меньшее число портов в каждом узле и/или в несколько раз большую пропускную способность каждого измерения.

Таблица 3. Значение s при $R=V$ ($s=N^*$)

$\sigma \backslash m$	4	6	8	10	12
1	13	32	57	91	133
2	7	15	27	42	63
3	5	11	19	29	43
4	–	8	15	22	33

4. Системная сеть на основе расширенного обобщенного гиперкуба

В данном разделе рассматривается возможность использования расширенного обобщенного гиперкуба в системных сетях суперкомпьютера *PERCS (IBM)* [[2], [5]] и *CrayXC30* [[3]].

Эти суперкомпьютеры построены на основе тесно связанной пары узлов: процессорный узел – связной узел. В них связной узел каждой

пары содержит многопортовый коммутатор-маршрутизатор, к которому подсоединяются местный процессорный узел и связные узлы других пар. Системная сеть, объединяющая связные узлы, использует прямые каналы «каждый с каждым», т.е. использует топологию полного графа. Каждый канал подсоединяется к своему порту маршрутизатора, а его порты разбиты на группы: для ближних связей (внутри шасси), для средних связей (между шасси и между ближними шкафами) и для дальних связей (между дальними шкафами). Ближние связи осуществляются электрическим кабелем, средние связи – электрическим [[3]] или оптическим [[2]] кабелем и дальние связи – только оптическим кабелем. В [[2]] эти группы содержат 7, 24 и 16 дуплексных портов, а в [[3]] эти группы содержат 15, 5 и 10 дуплексных портов. В этих системных сетях любой маршрут занимает не более 3-х скачков (передач по прямым каналам с промежуточной маршрутизацией). В [[3]] минимизируется число оптических кабелей, которые являются более дорогими, и только один скачок осуществляется по оптическому кабелю.

Наличие свойств неблокируемости и самомаршрутизируемости у полного и квазиполного графов позволяет заменять первого на второго без изменения связных узлов и практически без увеличения задержек передачи при значительном увеличении числа узлов и независимых каналов в системной сети. Такая замена может осуществляться с сохранением структуры сети или с ее изменением, а также с использованием дополнительных коммутаторов и без них.

Системная сеть в [[2]] имеет структуру двухуровневого полного графа, а системная сеть Dragonfly в [[3]] – 3-мерного обобщенного гиперкуба. В [[5]] была рассмотрена возможность использования в сети [[2]] топологии квазиполного графа без изменения структуры сети и с использованием дополнительных коммутаторов. В [[14]] была рассмотрена возможность использования в сети [[2]] структуры сети в виде расширенного обобщенного гиперкуба с использованием дополнительных коммутаторов.

Здесь мы рассмотрим возможность использования расширенного обобщенного гиперкуба в сетях [[2]] и [[3]] без привлечения дополнительных коммутаторов. Это требует сокращения вдвое числа портов, используемых для построения связей каждого измерения. В качестве портов абонентов (рис. 3) выступают одна половина портов данного измерения, а в качестве портов коммутаторов – другая их половина. В результате число узлов уменьшается в ~ 4 раза в каждом измерении по сравнению со случаем использования дополнительных коммутаторов.

Портами 1-го измерения в [[2]] являются 7 высокоскоростных портов связанного узла. Используя 3 порта как порты абонента и 3 порта как порты коммутатора 3×3 можно построить сеть с топологией квазиполного графа с 16 узлами со структурой 2-мерного 4-ичного коммутируемого мультикольца [[5]]. Портами 2-го измерения в [[2]] являются 24 низкоскоростных портов связанного узла. Используя 12 портов как порты абонента и 12 портов как порты коммутатора 12×12 можно построить сеть $ПС(63, 12, 2)$ с топологией квазиполного графа с 63 узлами в данном измерении и 2 независимыми каналами между каждой парой узлов. Портами 3-го измерения в [[2]] являются 16 среднескоростных портов связанного узла. Используя 8 портов как порты абонента и 8 портов как порты коммутатора 8×8 можно построить сеть $ПС(27, 8, 2)$ с топологией квазиполного графа с 27 узлами в данном измерении и 2 независимыми каналами между каждой парой узлов. Число независимых каналов выбиралось из условия обеспечения канальной отказоустойчивости. В результате число связанных узлов увеличилось с 16416 до 27216, при сохранении максимальной длины пути в 3 скачка и с обеспечением канальной отказоустойчивости сети.

В сети *Dragonfly* [[3]] портами 1-го измерения являются 15 портов для связи в шасси, а портами 2-го измерения – 5 портов для связи между шасси. Эти порты являются электрическими и односкоростными, поэтому их можно перераспределять между измерениями.

Чтобы не менять состав шасси оставим для 1-го измерения 6 портов, для 2-го – 14 портов. В 1-ом измерении останется 16 узлов, объединенных квазиполным графом со структурой 2-мерного 4-ичного обобщенного гиперкуба или мультикольца [[5]]. Из связанных узлов 2-го измерения строятся $ПС(N, 7, \sigma)$, которые объединяют одноименные связные узлы в разных шасси. При $\sigma=1$ получаем $N=39$ шасси. Их вряд ли удастся покрыть электрическими кабелями. Поэтому можно уменьшить число шасси за счет использования внутренней параллельности $ПС(N, 7, \sigma)$ при $\sigma > 1$. При $\sigma=2$ получаем $N=21$ шасси, при $\sigma=3$ – $N=15$ шасси и при $\sigma=4$ – $N=11$ шасси, в которых каждая пара связанных узла связана 2, 3 и 4 независимыми прямыми каналами соответственно. Эти каналы удобно использовать для обеспечения отказоустойчивости системной сети и для распараллеливания трафика. В третьем измерении строятся $ПС(N, 5, \sigma)$, в которых $N=21$ при $\sigma=1$ и $N=11$ при $\sigma=2$.

Отметим, что в последнем примере остались неизменными: пара процессорный–системный блоки, их число в шасси, число кабелей при каждом связанном узле и максимальное число скачков в системной сети.

При этом число узлов в сети увеличилось в $2\div 4$ раза и соответственно выросла пропускная способность и отказоустойчивость системной сети.

Заключение

Рассмотрено построение расширенного обобщенного гиперкуба как системной сети для суперкомпьютеров с многопортовыми связными узлами. Его использование позволяет при сохранении числа портов узлов и диаметра сети повысить: число узлов и число независимых каналов между любой парой узлов, что обеспечивает хорошую масштабируемость сети и ее высокую отказоустойчивость.

Список литературы

- [1] *Alverson R., Roweth D. and Kaplan L.* The Gemini System Interconnect // 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects. 2009. p. 3–87.
- [2] *Arimili B., Arimili R., Chung V. et al.* The PERCS High-Performance Interconnect // 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects. 2009. p. 75–82.
- [3] *Alverson R., Roweth D., Kaplan L. and Roweth D.* Cray XC[®] Series Network // URL: <http://www.cray.com/Assets/PDF/products/xc/CrayXC30Networking.pdf>.
- [4] *Kim J., Dally W. J., Scott S. and Abts D.* Technology-driven, highly-scalable dragonfly topology // Proceedings of the 35th annual international symposium on computer architecture (Proceeding ISCA'2008). p. 77–88.
URL: <http://users.ece.gatech.edu/~sudha/academic/class/Networks/Lectures/4%20-%20Topologies/papers/dragonfly.pdf>
- [5] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Топологические резервы суперкомпьютерного интерконнекта // Управление большими системами. 2013. вып. 41. М.: ИПУ РАН. с. 395–423.
URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS4114.pdf>
- [6] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Распределенный полный коммутатор как «идеальная» системная сеть для многопроцессорных вычислительных систем // Управление большими системами. 2011. вып. 34. М.: ИПУ РАН. с. 92–116.
URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS3405.pdf>
- [7] *Каравай М.Ф., Пархоменко П.П., Подлазов В.С.* Комбинаторные методы построения двудольных однородных минимальных

- квазиполных графов (симметричных блок-схем) // *АиТ*. 2009. № 2. с. 153–170.
- [8] *Холл М.* Комбинаторика // Главы 10-12. М.: Мир. 1970. 424 с.
- [9] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С., Соколов В.В.* Метод расширения полных коммутаторов в фиксированном схемном базисе // Труды 5-й международной конференции «Параллельные вычисления и задачи управления» (РАСО'2010) М. ИПУ РАН. Окт. 2010. с. 295-305.
- [10] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Расширенные блок-схемы для идеальных системных сетей // Проблемы управления. № 4. 2012. с. 45–51.
- [11] *Bhuyan L.N. and Agrawal D.P.* Generalized Hypercube and Hyperbus Structures for a Computer Network // *IEEE Transaction on Computers*. Vol C-33, No 4. April 1984. p. 23–333.
- [12] *Ziavras S.G. and Krishnamurthy S.* Evaluating the communications capabilities of the generalized hypercube interconnection network // *Concurrency: Practice and Experience*. Vol 11. No 6. 1999. p. 81–300.
- [13] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Сетецентрический подход к обеспечению отказоустойчивости многопроцессорных систем реального времени // Четвертая всероссийская мультимедийная конференция по проблемам управления (МКПУ-2011). Окт. 2011. Дивноморское. Т. 1. с. 305–308.
- [14] *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Расширенный обобщенный гиперкуб как отказоустойчивая системная сеть для многопроцессорных систем // Управление большими системами. 2013. вып. 45. М.: ИПУ РАН. с. 344–371.
URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS4515.pdf>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Каравай Михаил Федорович – зав. лабораторией технической диагностики и отказоустойчивости, учреждение Российской академии наук

Институт проблем управления (ИПУ) РАН.

Московский авиационный институт (МАИ) – 1963 г.

Д.т.н., доцент.

104 печатная работа и 3 монографии.

Диагностика, отказоустойчивость, многопроцессорность, системные сети

mkaravay@ipu.ru, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-90-00.

Mikhail Karavay, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, assistant professor, Profsoyuznaya st., 65, (495)334-90-00.

Подлазов Виктор Сергеевич – г.н.с., учреждение Российской академии наук

Институт проблем управления (ИПУ) РАН.

Московский физико-технический институт (МФТИ) – 1968 г.

Д.т.н., доцент.

101 печатная работа и 2 монографии.

Локальные и системные сети связи, сетцентрическое обеспечение отказоустойчивости многопроцессорных вычислительных систем.

podlazov@ipu.ru, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, тел. (495) 334-78-31.

Viktor Podlazov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, assistant professor, Profsoyuznaya st., 65, (495)334-78-31.