

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗЕРВЫ МНОГОМЕРНЫХ ТОРОВ

В.С. Подлазов, М.Ф. Каравай

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

1. Введение

Многомерные торы широко применяются для построения системных сетей современных высокопроизводительных параллельных МВС (суперкомпьютеров) [1–3]. В каждом измерении таких торов используются, как правило, пара встречных симплексных колец – дуплексное кольцо. В этих кольцах пакеты удаляются из каналов приемниками, а не источниками, как в кольцах с передачей жезла. Как следствие, их пропускная способность w больше скорости передачи v , т.е. выражается как $w=cv$. Здесь коэффициент c называется емкостью канала, а сами кольца называются цепочечными или кратными [4, 5]. Для кольца с передачей жезла $c \approx 1$. Для симплексного кратного кольца $c=2$. Для дуплексного кратного кольца c зависит от распределения длин маршрутов по кольцу и размеров очереди пакетов для передачи в каждом узле. При передаче пакетов по кратчайшему маршруту для равномерного распределения длин маршрутов и очереди в несколько десятков пакетов достигается $c=8$ при большом числе узлов [4]. Если такой пропускной способности оказывается недостаточно, то задержка передачи T с ростом нагрузки растет гиперболически и может оказаться больше задержки распространения пакетов по кольцу.

Средняя задержка распространения пакетов по кольцу T_0 прямо пропорциональна его диаметру D : – $T_0=kD$. Для симплексного кольца $D=N$, а для дуплексного кольца $D=N/2$, где N – это число узлов в кольце. При промежуточной буферизации пакета в каждом узле $k=B/2$ для равномерного распределения длин маршрутов, где $B=b/v$ – длительность передачи пакета, а b – длина пакета.

Многомерные торы и применяются в первую очередь для сокращения задержек распространения пакетов по системной сети и повышения ее пропускной способности за счет пространственного распараллеливания. Так в [1] используется 5-мерный тор, в [2] – 4-мерный и в [3] – 3-мерный, при числе узлов тора от 1,5 миллионов до десятков и сотен тысяч. Если обозначить число узлов в кольце измерения i ($1 \leq i \leq n$) как N_i , а его диаметр как D_i , то число узлов в n -мерном торе выражается как $N = \prod_{i=1}^n N_i$, а его диаметр – как $D = \sum_{i=1}^n D_i$.

Задача сокращения задержек передачи и повышения пропускной способности системной сети является актуальной, особенно в связи с постоянным ростом числа и производительности процессоров в узлах суперкомпьютеров и растущим требованиям к характеристикам системной сети. Для многомерного тора ее можно дополнительно решать за счет сокращения диаметров колец разных измерений и повышения их пропускной способности. Последняя задача часто решается за счет увеличения числа колец в каждом измерении [3]. В данной работе обе эти задачи решаются за счет изменения топологии пар колец каждого измерения, а именно за счет использования минимальных коммутируемых мультиколец, в которых число дуплексных портов M_i , используемых для включения узлов в кольцо i -го измерения, остается таким же как в дуплексных кольцах. При наличии в i -ом измерении m_i дуплексных колец $M_i=2m_i$.

Ожидаемое сокращение диаметра и повышение пропускной способности в несколько раз могут привести к значительному сокращению времени передачи пакетов по кольцам отдельных измерений тора и суммарно по всей системной сети. При традиционном использовании дуплексных колец такой эффект может быть достигнут только за счет увеличения числа измерений тора.

2. Коммутируемые мультикольца

Мультикольцом мы называем обычное симплексное кольцо с одинаковым набором хордовых дуг разной длины, проведенных из каждого узла. Коммутируемым мультикольцом мы называем мультикольцо, в котором пакеты могут передаваться из любого узла по любой дуге. Минимальным мультикольцом мы называем мультикольцо, в котором набор хордовых дуг содержит только одну дугу.

На рис. 1 приведен пример минимального коммутируемого мультикольца с 9 узлами и с хордовой дугой длины 4. Для минимального коммутируемого мультикольца используется аббревиатура МКМ.

В остальной части работы мы будем использовать определение мультикольца как набора колец с разными шагами [4, 6]. Формально это можно выразить следующим образом.

Предположим, что узлы перенумерованы целыми числами из $[0, N-1]$, где N – число узлов. Пусть мультикольцо состоит из $m \geq 1$ колец с разными шагами. В j -ом кольце номера узлов образуют последовательность $jX_i+1=(jX_i+jS) \bmod N$, где $X_i \in [0, N-1]$ ($i=0,1, \dots$) и $jS > 0$ – шаг j -ого кольца ($1 \leq j \leq m$). Мультикольцо задается набором шагов $S_m = (1S=1, 2S, \dots, mS)$, где $1S < 2S < \dots < mS$ и обозначается как $\{N, S_m\}$.

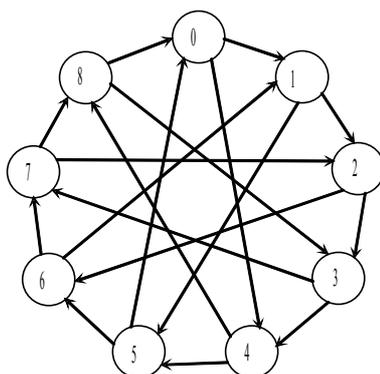


Рис. 1. Минимальное коммутируемое мультикольцо $\{9, (1, 4)\}$.

Кольцо с положительным шагом $iS > N/2$ называется встречным кольцом с отрицательным шагом $jS = (-N - iS)$. Пример мультикольца на 9 узлов из 2-х колец с набором шагов $S_2 = (1, 4)$ приводится на рис. 1. При обратном направлении хордовых дуг это было бы мультикольцо $S_2 = (1, 5) = (1, -4)$. В дальнейшем кольцо с шагом jS будем называть кольцом jS , а его дугу – дугой jS .

Будем различать два вида колец – обычные и расщепленные. Обычное кольцо имеет взаимно простые N и jS . В расщепленном кольце они имеют наибольший общий делитель d , и последовательность X_i разделяется на d непересекающихся последовательностей jX_i с периодом N/d ($0 \leq j \leq d-1$), которые в совокупности содержат все номера из $[0, N-1]$. Физически расщепленное кольцо состоит из d миниколец по N/d узлов в каждом.

3. Маршрутизация и диаметр

МКМ с N узлами является мультикольцом $\{N, (1, p)\}$, где $2 \leq p \leq \pm N/2$.

Рассмотрим маршрутизацию некоторого пакета по МКМ, считая $p = \pm N/n$. Длинной маршрута L является разница номеров (по модулю N) приемника и источника пакета. Выразим L как $L = Rp + r$, где $R = \pm L/p$ и $0 \leq R \leq n-1$, а $0 \leq r \leq p-1$. Этапом маршрута назовем переход по дуге некоторого кольца.

Пусть сначала N и p взаимно просты. Маршрут длины L состоит из R последовательных этапов по кольцу p и r последовательных этапов по кольцу 1. Маршрут может начинаться с любого кольца. Однако маршруты всех пакетов должны начинаться с одного и того же кольца, иначе возможно возникновение маршрутных тупиков из-за циклической зависимости маршрутов по дугам.

Пусть теперь N и p имеют общий делитель. В этом случае мы рассматриваем только МКМ с $N = np$, в котором кольцо p состоит из n миниколец по p узлов каждое. Здесь маршрут содержит R последовательных этапов по миникольцу, содержащему узел-источник, если маршрут начинается с кольца p , и по миникольцу, содержащему узел-приемник, если маршрут начинается с кольца 1.

При описанной маршрутизации диаметр МКМ выражается как $D = n + p - 2$, что существенно меньше чем у дуплексного кольца, в котором $D = N/2$. Несмотря на меньший диаметр МКМ является несимметричной по задержкам сеть при обменах пакетами в произвольной паре узлов. Этот недостаток можно устранить при увеличении числа портов, т.е. при увеличении числа колец.

Если число дуплексных портов в каждом измерении больше 2 возможно дальнейшее уменьшение диаметра каждого измерения. Так в [3] все измерения содержит не менее двух дуплексных колец, т.е. число дуплексных портов $m_i \geq 4$. Если $m_i = 4$, то можно использовать дуплексное МКМ, состоящее из двух направленных навстречу друг другу МКМ, и маршрутизацию в нем осуществлять по кратчайшему пути. Дуплексное МКМ (ДМКМ) является мультикольцом $\{N, (1, p, -1, -p)\}$ и является симметричной сетью.

Рассмотрим маршрутизацию в ДМКМ при условии, что n и p являются четными и $N = np$. Здесь L выражается опять как $L = Rp + r$, однако числа этапов задаются другими ограничениями $-n/2 \leq R \leq n/2$, а $p/2 \leq r \leq p/2$ и задаются по следующему алгоритму.

Если $L < N/2$, то $R = L/p$, если $L > N/2$, то $R = (L - N)/p$, иначе $R = \pm N/2$ с равной вероятностью. Сначала случай $L \leq N/2$. Если $l = N - Rp < p/2$, то $r = 1$, иначе $r = l - p$ и $R = R + 1$. Теперь случай $L \geq N/2$. Если $l = N + Rp < p/2$, то $r = -1$, иначе $r = p - 1$ и $R = R - 1$.

Если $R > 0$, то для передачи пакетов используется кольцо p прямого МКМ, в противном случае – кольцо p встречного МКМ. Если $r > 0$, то для передачи пакетов используется кольцо 1 прямого МКМ, в противном случае – кольцо 1 встречного МКМ.

При такой маршрутизации диаметр ДМКМ выражается как $D = (n + p)/2$, что почти вдвое меньше, чем у МКМ.

4. Аналитическая модель МКМ

Оценим пропускную способность МКМ в тех же условиях, при которых для дуплексного кольца достигается $c=8$. Это случай такой перегрузки сети, при которой каждый узел имеет пакет для передачи в кольцо всякий раз когда мимо него проходит пустой сегмент. В этом случае расчет пропускной способности можно осуществлять по средним длинам маршрутов [4, 5]. Если предположить, что каждый узел генерирует один пакет для передачи за период равный длительности пакета, то такой режим реализуется при достаточно большой очереди пакетов для передачи [4].

В модели предполагается передача пакетов постоянной длины в тактовых сегментах, циркулирующих независимо по обоим кольцам МКМ. Любой пакет, маршрут которого имеет $r=0$, переносится в сегменте(ax) только кольца p , а пакет с $R=0$ – сегменту(ax) только кольца 1. Пакет с $r \neq 0$ и $R \neq 0$ переносится в сегменте(ax) одного кольца, а затем коммутируется в сегмент другого кольца. Среднее число пакетов, перенесенных в сегменте за один его проход по i -му кольцу при условии наличия пакета для передачи в каждом узле, называется его емкостью c_i . Примем для МКМ, что $i=0$ для кольца 1 и $i=1$ для кольца p .

Перенос пакет по кольцу может осуществляться прямо или с приостановкой в промежуточных узлах. В первом случае пакет переносится прямо в том сегменте, в который он был передан узлом-источником или узлом, осуществляющим коммутацию в другое кольцо. В втором случае некоторый промежуточный узел, имеющий пакет для передачи, заменяет пакет в сегменте на свой и заносит чужой пакет в свою очередь пакетов на передачу.

Известно [4, 5], что при прямом переносе пакетов $c_i = N/L_i$ где L_i – средняя длина (в этапах) части маршрута по i -му кольцу. Число пакетов, доставленных узлам-приемникам за один оборот сегмента по i -му кольцу при заданной маршрутизации пакетов, называется его эффективной емкостью \hat{c}_i . Очевидно, что $\hat{c}_i \leq c_i$, так как большинство пакетов переносится в сегментах разных колец. Эффективная емкость МКМ составляет $\hat{C} = \hat{c}_0 + \hat{c}_1$. Оценим эти емкости для равномерного распределения длин маршрутов при прямом переносе пакетов.

Нетрудно видеть, что для кольца 1 имеем $L_0 = \sum_{k=1}^{p-1} k/(p-1) = p/2$ и $c_0 = 2N/p$. Аналогично для кольца p имеем $L_1 = \sum_{k=1}^{n-1} k/(n-1) = n/2$ и $c_1 = 2N/n$.

Расчет эффективной емкости зависит от выбора первого кольца для передачи пакетов с маршрутами по двум кольцам и от соотношения n и p .

Пусть первым является кольцо 1. На передачу по нему претендует в среднем $(p-1)$ 1-кольцевых пакетов ($c, r \neq 0$ и $R=0$) и $(N-n-p+1)$ 2-кольцевых пакетов ($c, r \neq 0$ и $R \neq 0$). Их доля составляет $q_0 = (p-1)/(N-n)$ и $Q_0 = (N-n-p+1)/(N-n)$ соответственно. Первые доставляются к приемникам и их среднее число выражается как $c_0 q_0 = 2N(p-1)/[(N-n)p]$ и задает эффективную емкость кольца 1: $\hat{c}_0 = c_0 q_0$. Вторые коммутируются в кольцо p и их среднее число составляет величину $c_0 Q_0 = 2N/p + 2N(p-1)/[(N-n)p]$.

На передачу по кольцу p в среднем претендует $(n-1)$ 1-кольцевых пакетов ($c, r=0$ и $R \neq 0$) и скоммутированные 2-кольцевые пакеты ($c, r \neq 0$ и $R \neq 0$). Их доля составляет $q_1 = (n-1)/(N-p)$ и $Q_1 = (N-n-p+1)/(N-p)$ соответственно. Первые доставляются к приемникам и их среднее число выражается как $c_1 q_1 = 2N(n-1)/[(N-p)n]$, но составляет только часть эффективной емкости кольца p . Вторые могут быть доставлены к приемникам и их среднее число выражается как $c_1 Q_1 = 2N/n + 2N(n-1)/[(N-p)n]$.

Если общее число пакетов, претендующих на передачу по кольцу p превышает c_1 , то оно всех их пропустить не может, и в этом случае $\hat{c}_1 = c_1$, $\hat{c}_0 = c_0 q_0$ и $\hat{C} = \hat{c}_0 + \hat{c}_1 = 2N/n + 2N(p-1)/[(N-n)p]$. Эти формулы выполняются при $c_0 Q_0 + c_1 q_1 \geq c_1$ или $[1/p - (p-1)](N-p)/p \geq [1/n - (n-1)](N-n)/n$. Формально при $N=np$ они упрощаются до $\hat{c}_0 = 2$, $\hat{c}_1 = 2p$, $\hat{C} = 2+2p$ и $n \geq p$ соответственно.

В противном случае кольцо p работает с недогрузкой, т.е. нарушаются условия расчета по средним длинам маршрутов. В этом случае можно указать только нижнюю границу \hat{c}_1 . Она складывается из числа $c_1 q_1$ пакетов, доставленных прямо по кольцу p , и числа пакетов $c_0 Q_0$, доставленных после коммутации из кольца 1. Поэтому $\hat{c}_1 > c_1 q_1 + c_0 Q_0$, а нижняя граница $\hat{C} > \hat{c}_0 + c_1 q_1 + c_0 Q_0 = 2N/p + 2N(n-1)/[(N-p)n]$. Формально при $N=np$ это неравенство упрощается до $\hat{C} > 2n+2$.

Таким образом при $N=np$ имеем:

$$(1) \quad \hat{C} = 2p+2 \text{ при } n \geq p,$$

$$(2) \quad \hat{C} > 2n+2 \text{ при } n < p.$$

Пусть теперь первым является кольцо p . Аналогичные рассуждения приводят к формулам:

$$(3) \quad \hat{C} = 2n+2 \text{ при } n \leq p,$$

$$(4) \quad \hat{C} > 2p+2 \text{ при } n > p.$$

5. Имитационная модель МКМ

Для исследования свойств МКМ в различных режимах функционирования была создана его имитационная модель. Эта модель в исходном виде имитирует прямой (без приостановок) перенос пакетов постоянной длины в сегментах той же длины при взаимно простых N и p . Сначала сегмент обходит все узлы по одному кольцу (делает полный оборот по кольцу), затем другой сегмент обходит все узлы по другому кольцу. Это повторяется многократно ($K = 10^4$ раз) без очистки сегментов после каждого обхода. В процессе каждого

обхода подсчитывается суммарное число доставленных приемникам пакетов по каждому кольцу и по обем кольцам. После K обходов эти числа усредняются по K и задают эффективные емкости колец и МКМ в целом.

До начала обхода колец каждый узел генерирует 1 пакет с равномерным распределением длин маршрутов. Аналогично каждый узел генерирует 1 пакет и после обхода обоих колец. В каждом узле они поступают в конец очередей пакетов для передачи в соответствующие кольца. После обхода первого кольца скомутированные в другое кольцо пакеты поступают в конец очереди к этому кольцу в том узле, где произошла коммутация. Для выполнения условий работоспособности аналитической модели размер очереди в имитационной модели берется равным числу тактов моделирования K .

Во втором варианте в кольце p используется p разных сегментов, из которых i -ый сегмент ($0 \leq i \leq p-1$) используется начиная с i -го узла до тех пор пока номер очередного узла не превысит i . После завершения полного оборота содержимое i -го сегмента переносится в $(i+1) \bmod p$ сегмент. Этот вариант является промежуточным для перехода к основному варианту с $N = pn$.

В основном (третьем) варианте кольцо p расщепляется на p миниколец с n узлами каждое, в которых используется p независимых сегментов. При этом суммарное число доставленных приемникам пакетов (за K обходов узлов) считается для кольца 1 и каждого миникольца и для всей их совокупности в целом. Усредненное суммарное значение и задает эффективную емкость кольца p .

Рассмотрение этих вариантов потребовалось для проверки правильности имитационной модели в основном варианте. Критерием ее правильности является совпадение значений эффективной емкости МКМ, полученных расчетом по аналитической модели и посредством эксперимента на имитационной модели во всех ее вариантах. Рассмотрим полученные результаты.

Пусть начальным кольцом для 2-кольцевых маршрутов, является кольцо 1 и $N = np+1$. В табл. 1 представлены результаты экспериментов с первым вариантом имитационной модели при четном n . Подчеркнутые значения задают нижнюю границу в области $n < p$. Отметим совпадение значений с точностью до нескольких процентов результатов аналитической и имитационной модели в области $n \geq p$ за исключением случая $p=2$ где точность составила 15 процентов.

Таблица 1. Эффективная емкость МКМ в первом варианте модели. Начальная передача в кольцо 1.

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48	64	128
17	Имитация	6,4	9,8		5,1						
	Аналитика	<u>6,1</u>	10,5		6,1						
25	Имитация	6,3	12,5	9,9	8	5					
	Аналитика	<u>6,1</u>	<u>10,3</u>	10,3	8,2	6,1					
33	Имитация	6,2	12,3		9,9		5				
	Аналитика	<u>6,1</u>	<u>10,2</u>		10,2		6,1				
49	Имитация	6,1	12,2	17,3	13,7	9,9	8				
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,2</u>	<u>14,2</u>	14,2	10,2	8,1				
65	Имитация	6,1	12,2		17,6		10	5			
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,1</u>		18,2		10,1	6			
97	Имитация	6,1	12,1	18,2	24,2	17,7	13,9	8	5		
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,1</u>	<u>14,1</u>	<u>18,2</u>	18,2	14,1	8,1	6		
129	Имитация	6,1	12,1		24,2		17,8	10		5	
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10,1</u>		<u>18,1</u>		18,1	10,1		6	
257	Имитация	6	12		24,1		33,4	17,9		10	5
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>		<u>18,1</u>		34,1	18,1		10	6

Во втором (промежуточном) варианте результаты эксперимент практически не изменяются.

Результаты экспериментов с основным (третьим) вариантом имитационной модели представлены в табл. 2 для случая, когда начальным для передачи является кольцо 1. Отметим хорошее совпадение результатов аналитической и имитационных моделей в областях точных оценок первой.

Приведенные в табл. 1 и 2 результаты позволяют сделать вывод о достаточной точности имитационной модели, что делает ее основным инструментом дальнейшего исследования свойств МКМ и ДМКМ (следующий раздел).

Таблица 2. Эффективная емкость МКМ в основном варианте модели. Начальная передача в кольцо 1.

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48	64	128
16	Имитация	5,1	10		5,1						
	Аналитика	<u>6</u>	10		6						

24	Имитация	5	11,1	10	8	5					
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	10	8	6					
32	Имитация	5	11,1		9,9		5				
	Аналитика	6	10		10		6				
48	Имитация	5	11,1	17,1	14	10	8				
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	14	10	8				
64	Имитация	5	11		18		10	5			
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>		18		10	6			
96	Имитация	5	11	17,1	23	18	14	8	5		
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	<u>14</u>	<u>18</u>	18	14	8	6		
128	Имитация	5	11		23		18	10		5	
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>	-	<u>18</u>		18	10		6	
256	Имитация	5	11		23		34	18		10	5
	Аналитика	<u>6</u>	<u>10</u>		<u>18</u>		34	18		10	6

6. Экспериментальные свойства дуплексного МКМ

Имитационная модель создавалась сразу для ДМКМ, а все предшествующие исследования проводились на ее односторонней половине. Такая нацеленность объясняется ожиданием [4], что эффективная емкость увеличится более чем в 2 раза при совместном использовании встречных МКМ. В табл. 3 представлены результаты экспериментов в основном варианте имитационной модели для ДМКМ. Максимальные значения эффективной емкости в них выделены жирным шрифтом.

Таблица 3. Эффективная емкость ДМКМ в основном варианте модели. Начальная передача в кольцо 1.

N	n	2	4	6	8	12	16	32	48	64	128
16	Имитация	15	16		13,3						
24	Имитация	15,7	24	24	19,7	14,2					
32	Имитация	16	31		29,3		14,5				
48	Имитация	16,4	32,3	47	45,3	30,9	21,7				
64	Имитация	16,5	33		60,9		31,6	15,3			
96	Имитация	16,7	33,7	50	65,8	64,1	48,6	22,8	15,5		
128	Имитация	16,8	34,1		67		65,6	32,8		15,7	
256	Имитация	16,9	34,6		69		126,4	67,7		33,4	15,8

7. Практические ограничения

Для оценки практически достижимых эффективных емкостей МКМ и ДМКМ необходимо ограничить размеры очередей пакетов Q в каждом узле. Имитационное моделирование было проведено для $Q=10^q$, при $q=0, 1/2, 1, 2, 3, 4$. Полученные при таком моделировании эффективные емкости обозначим \hat{C}_q . В предыдущем разделе фактически рассматривались значения \hat{C}_4 , полученные в различных вариантах функционирования модели.

Рассмотрим величину отношения $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для условий табл. 2 и табл. 3 и тех N в них, при которых \hat{C}_4 достигает максимальных значений. В табл. 4 приводятся значений ρ_q при разных N для МКМ, а в табл. 5 – для дуплексного МКМ. Видно, что при $Q=3$ ($q=1/2$) имеет место приемлемое для практики уменьшение значений эффективных емкостей.

Таблица 4. Значения отношений емкостей $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для МКМ

N	16	24	32	48	64	96	128	256
$q=2$	0,99	0,83	0,8	0,79	0,99	0,75	0,74	0,99
$q=1$	0,93	0,83	0,79	0,78	0,96	0,75	0,74	0,97
$q=0,5$	0,86	0,83	0,8	0,78	0,9	0,75	0,73	0,94
$q=0$	0,73	0,76	0,77	0,78	0,82	0,73	0,73	0,89

Таблица 5. Значения отношений емкостей $\rho_q = \hat{C}_q / \hat{C}_4$ для ДМКМ

N	16	24	32	48	64	96	128	256
-----	----	----	----	----	----	----	-----	-----

$q=2$	1	1	0,99	1	0,99	0,96	0,95	0,98
$q=1$	1	1	0,94	0,93	0,87	0,92	0,92	0,9
$q=0,5$	0,96	0,92	0,82	0,77	0,72	0,82	0,9	0,80
$q=0$	0,74	0,68	0,62	0,57	0,54	0,64	0,7	0,65

8. Сравнительные характеристики

Сравним полученные характеристики для МКМ и дуплексного кольца (ДК), а также дуплексного МКМ (ДМКМ) и пары дуплексных колец (ПДК).

Сначала сравним их диаметры $D_{МКМ}$, $D_{ДМКМ}$ и $D_{ДК}$. На рис. 3 приводятся значения отношений $\alpha = D_{ДК}/D_{МКМ}$ и $\beta = D_{ДК}/D_{ДМКМ}$ с учетом того $D_{ДК} = D_{ПДК}$. Видно, что в практически важном диапазоне $16 \leq N \leq 64$ имеет место уменьшение диаметра МКМ в 1,3–2,3 раза и диаметра ДМКМ – в 2–4 раза.

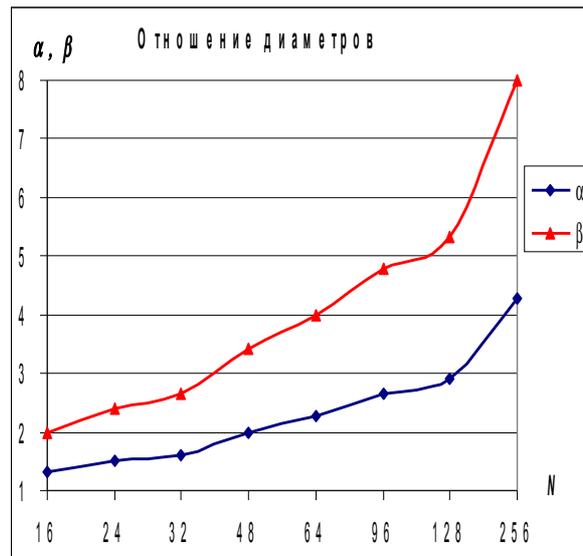


Рис. 3. Отношения диаметров $a = D_{ДК}/D_{МКМ}$ и $b = D_{ДК}/D_{ДМКМ}$.

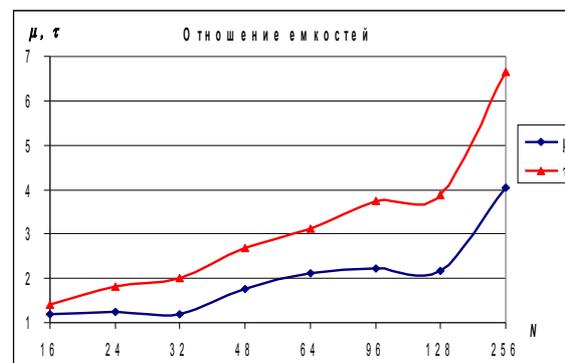


Рис. 4. Отношения эффективных емкостей $\mu = \hat{C}_{МКМ}/\hat{C}_{ДК}$ и $\tau = \hat{C}_{ДМКМ}/\hat{C}_{ПДК}$ при $Q=3$.

Теперь сравним их пропускные способности, заданные максимальными эффективными емкостями. На рис. 4 приводятся значения отношений $\mu = \hat{C}_{МКМ}/\hat{C}_{ДК}$ (табл. 3), и $\tau = \hat{C}_{ДМКМ}/\hat{C}_{ПДК}$ (табл. 4) для $Q=3$ ($q=1/2$). При этом значения $\hat{C}_{ДК}$ и $\hat{C}_{ПДК}$ получены в так же в имитационной модели при $q=1/2$. Видно, что в практически важном диапазоне $16 \leq N \leq 64$ имеет место увеличение пропускной способности МКМ в 1,2–2,1 раза и пропускной способности ДМКМ – в 1,4–3,1 раза.

9. Заключение

В работе рассмотрен способ сокращения диаметра и повышения пропускной способности пары встречных цепочечных колец и двух пар таких колец. Результат получен за счет изменения топологии пары колец – за счет превращения их в пару коммутируемых колец с разными шагами в каждом кольце. Более чем

двукратное уменьшение диаметра и многократное повышение пропускной способности ведет к значительному сокращению задержек доставки пакетов по системной сети в виде многомерного тора, состоящего из таких пар колец.

Способ предназначен для повышения характеристик системных сетей в виде многомерных торов. особенно эффективен он для тех торов, в которых каждое измерение состоит из нескольких пар встречных колец [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Александр Позднеев. Blue Gene/Q: как обуздать массивный параллелизм // URL: <http://www.nscf.ru/Presentations/IBM/AlexanderPozdneev-HowToHarnessMassiveParallelism.pdf>.
2. Михеев В.А., Изгалин С.П., Слуцкий А.И., Симонов А.С., Леонова А.Е., Куштанов Е.Р., Жабин И.А., Щербак А.Н., Мошкин Д.В., Хахаев А.В., Подшивалов В.В., Макагон Д.В., Сыромятников Е.Л., Семенов А.С., Фролов А.С. Реализация высокоскоростной сети для суперкомпьютерных систем: проблемы, результаты, развитие // URL: http://www.nscf.ru/TesisAll/Section%201/12_2761_SimonovAS_S1.pdf.
3. Alverson R., Roweth D. and Kaplan L. Cray Inc. The Gemini System Interconnect // 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects. 2009. P. 83–87.
4. Алленов А.В., Подлазов В.С., Стецюра Г.Г. Пропускная способность набора кольцевых каналов I. Класс наборов колец. Наборы с простыми узлами // АиТ. 1996. № 3. С. 135–144.
5. Алленов А.В., Подлазов В.С. Пропускная способность набора кольцевых каналов II. Кольцевые коммутаторы // АиТ. 1996. № 4. С. 162–172.
6. Андреев Л.В. Однонаправленные кольцевые сети связи с коммутацией пакетов // Проблемы передачи информации. 1982. Т. 18. Вып. 4. С. 85–103.