

УДК 004.722

О.І. Тиртишніков, І.В. Додух

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ВЛАСТИВОСТІ СТАТИЧНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ТОРОЇДАЛЬНО-КУБІЧНИХ ТОПОЛОГІЙ

У статті розглянуті результати порівняльного аналізу властивостей можливих варіантів побудови комунікаційних мереж тороїдальних топологій на основі трьохмірних решітчастих структур (тороїдально-кубічних топологій).

Ключові слова: комунікаційна мережа, тороїдальна топологія, тороїдально-кубічна топологія, багатопроцесорна комп'ютерна система.

Вступ

У сучасних багатопроцесорних комп'ютерних системах (БПКС) із розподіленою пам'яттю комунікаційна мережа (КМ) є ключовою підсистемою з точки зору забезпечення високої продуктивності та надійності функціонування системи в цілому. Базовим етапом при проектуванні БПКС є вибір топології КМ і, відповідно, оцінювання її метрик та властивостей [1], [3].

Тороїдальні топології, що утворюються введенням додаткових кільцевих зв'язків у структури на основі різноманітних простих базових графів, є дуже розповсюдженими в сучасних БПКС, тому що в багатьох випадках не тільки забезпечують отримання бажаних значень основних метрик, але і припускають можливість їх точного аналітичного оцінювання [2], [4]. У зв'язку з цим питання порівняльного аналізу їх властивостей є досить актуальним.

Метою цієї роботи є порівняльний аналіз властивостей можливих варіантів тороїдальних топологій на основі трьохмірних решітчастих, або кубічних, структур (тороїдально-кубічних топологій). Розглядаються топології структур, отриманих введенням додаткових «глобальних» тороїдальних зв'язків, що з'єднують віддалені вузли базових топологій, на відміну від «локальних» тороїдальних зв'язків, що утворюються в результаті застосування операції «розщеплення» вузлів, тобто заміни вузлів базової топології групами циклічно з'єднаних вузлів [1].

Базові трьохмірні решітчасті топології

Трьохмірні решітчасті топології $C(k, m, l)$ розміром $N=km$ вузлів можна визначити як клас топологій, що утворюються шляхом багаторазового копіювання (наприклад, l разів) базової прямокутної решітки розміром km вузлів (за умови, що кількість

вузлів в будь-якому ребрі отриманої структури складає не менше двох) з послідовним з'єднанням відповідних вузлів всіх копій шляхами одиничної довжини.

Основні метрики базової двомірної прямокутної решітки розміром km вузлів: максимальний діаметр $D=k+m-2$; кількість зв'язків одиничної довжини $I=2km-k-m$; ширина бісекції $B=\min[k, m]$, порядок вузлів змінний: $d=2 \div 4$ [1].

Можливі варіанти побудови кубічних структур, в залежності від кількості двійкових кубів в кожному вимірі, можна умовно назвати «ланцюжок кубів», «шар кубів» та «повна» кубічна топологія (рис. 1, 2, 3 відповідно).

На основі відомих метрик базової двомірної решітки та визначення трьохмірної решітчастої топології неважко отримати вирази для метрик названих кубічних структур, що можуть розглядатися як базові для побудови тороїдально-кубічних топологій.

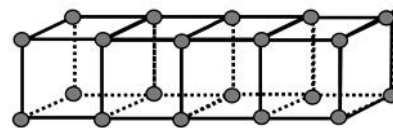


Рис. 1. Кубічна топологія $C(k>2, 2, 2)$ («ланцюжок кубів»)

Для «ланцюжка кубів» з кількістю вузлів $N=4k$: $D=k+1$; $I=4(2k-1)$; $B=4$, $d=3 \div 4$.

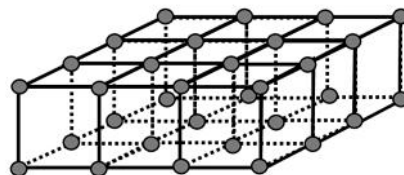


Рис. 2. Кубічна топологія $C(k>2, m>2, 2)$ («шар кубів»)

Для структури «шар кубів» з кількістю вузлів $N=2km$: $D=k+m-1$; $I=5km-2(k+m)$; $B=2\min(k,m)$;

$d=3\div5$. Для «повної» кубічної топології з кількістю вузлів $N=kml$: $D=k+m+l-3$; $I=3kml-km-lm-kl$; $B=\min(km, kl, lm)$, $d=3\div6$.

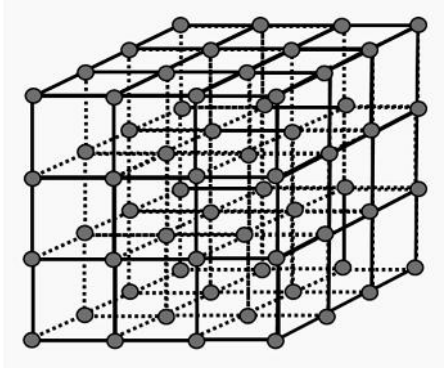


Рис. 3. «Повна» кубічна топологія $C(k>2, m>2, l>2)$

Як приклад, в табл. 1 подані значення метрик різних варіантів побудови розглянутих кубічних топологій для кількості вузлів $N=512$.

Таблиця 1

Метрики кубічних топологій при $N=512$

Топологія	I	d	B	D
$C(128,2,2)$	1020	$3\div4$	4	129
$C(16,16,2)$	1216	$3\div5$	32	31
$C(32,8,2)$	1200		16	39
$C(64,4,2)$	1144		8	67
$C(8,8,8)$	1344	$3\div6$	64	21
$C(16,8,4)$	1312		32	25
$C(32,4,4)$	1264		15	37

Тороїдально-кубічні топології

Тороїдально-кубічні топології $TC(k, m, l)$ отримуються замиканням у кільця ребер трьохмірних решіток додатковими зв'язками одиничної довжини. При цьому, як правило, пряме дублювання тороїдальними зв'язками ребер одиничної довжини, вважається недоцільним.

Принцип побудови тороїдальних топологій на основі структур «ланцюжок кубів», «шар кубів» та «повна» кубічна топологія за умови відсутності дублювання тороїдальними зв'язками ребер одиничної довжини проілюстрований рис. 4, 5, 6 відповідно.

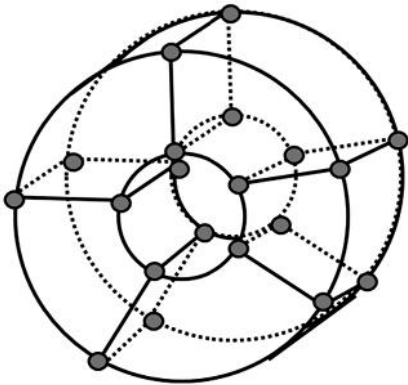


Рис. 4. Тороїдально-кубічна топологія $TC(k>2, 2, 2)$
Очевидно, що операції утворення тороїдальних зв'язків в будь-якому випадку не вимагають введення додаткових вузлів.

Тороїдальна топологія $TC(k>2, m>2, l>2)$ на основі «повної» кубічної утворюється замиканням у кільця всіх ребер структури $C(k>2, m>2, l>2)$.

Метрики тороїдально-кубічної топології $TC(k>2, 2, 2)$: $I=8k=2N$; $B=4$, $d=4$. Введення чотирьох додаткових зв'язків в структуру $C(k>2, 2, 2)$ забезпечує вирівнювання порядку всіх вузлів КМ шляхом його збільшення до максимального значення. Ширина бісекції при цьому залишається незмінною.

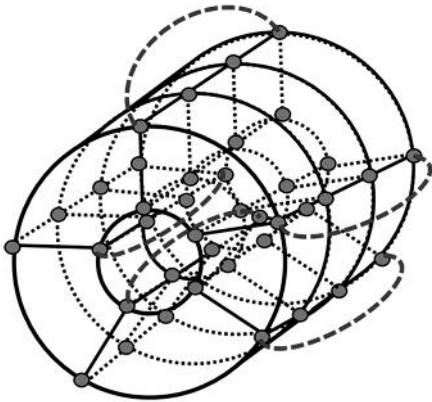


Рис. 5. Принцип побудови тороїдально-кубічної топології $TC(k>2, m>2, 2)$

Метрики тороїдально-кубічної топології $TC(k>2, m>2, 2)$: $I=5km=2,5N$; $B=\min[4k, 4m, km]$, $d=5$. Як і у попередньому випадку, введення $2(k+m)$ додаткових зв'язків в структуру $C(k>2, m>2, 2)$ забезпечує вирівнювання порядку всіх вузлів КМ шляхом його збільшення до максимального значення. Ширина бісекції при цьому також збільшується (у два рази, якщо $k\geq 4, m\geq 4$).

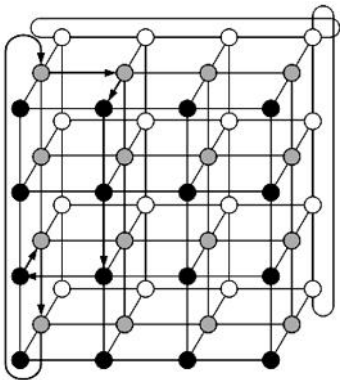


Рис. 6. Принцип побудови тороїдально-кубічної топології $TC(k>2, m>2, l>2)$

Метрики тороїдальної топології $TC(k>2, m>2, l>2)$ на основі «повної» кубічної: $I=3kml=3N$; $B=2\min[km, kl, lm]$, $d=6$. Тут також введення

додаткових зв'язків в кубічну структуру вирівнює порядок всіх вузлів КМ та у два рази збільшує ширину бісекції.

Ведення тороїдальних зв'язків в базові кубічні топології може розглядатися як замикання ребер кубічних структур в кільця, тому узагальнений вираз для діаметру розглянутих тороїдально-кубічних TC(k, m, l) топологій має вигляд:

$$D = \min[k / 2] + \min[m / 2] + \min[l / 2]. \quad (1)$$

Відповідно, для TC(k>2, m>2, 2):

$$D = \min[k / 2] + \min[m / 2] + 1. \quad (2)$$

Для TC(k>2, 2, 2):

$$D = \min[k / 2] + 2. \quad (3)$$

Як приклад, в таблиці 2 подані значення метрик різних варіантів побудови тородаально-кубічних топологій для кількості вузлів N=512.

Таблиця 2
Метрики тороїдально-кубічних топологій при N=512

Топологія	I	d	B	D
TC(128,2,2)	1024	4	4	66
TC(16,16,2)	1280	5	64	17
TC(32,8,2)			32	21
TC(64,4,2)			16	35
TC(8,8,8)	1536	6	128	12
TC(16,8,4)			64	14
TC(32,4,4)			32	20

Висновки

Введення тороїдальних зв'язків в кубічні топології суттєво покращує їх властивості: порядок всіх вузлів збільшується до максимального та становиться однаковим (несиметричні структури перетворюються на симетричні); максимальний діаметр зменшується майже удвічі; ширина бісекції збільшується удвічі (за винятком TC(k>2, 2, 2), для якої ця метрика залишається незмінною порівняно з базовою структурою типу «ланцюжок кубів»). При цьому для розглянутого прикладу вартість (кількість зв'язків) КМ збільшується не більше чим на 21 %.

Очевидно, що з точки зору мінімізації максимального діаметру КМ, оптимальними, в межах своїх класів є варіанти побудови кубічних та кубічно-тороїдальних топологій C(k>2, m>2, 2), TC(k>2, m>2, 2) при k=m та C(k>2, m>2, l>2), TC(k>2, m>2, l>2) при k=m=l, найкращою серед всіх розглянутих – TC(k>2, m>2, l>2) при k=m=l (рівносторонній 3D-тор).

Цікавою особливістю тороїдально-кубічних топологій є не тільки однаковий діаметр вузлів, але й однакова кількість зв'язків для топології визначеного типу, незалежно від варіантів її побудови. При цьому кількість зв'язків пропорційна кількості вузлів із коефіцієнтом n, який можна розглядати як мірність топології. Відповідно, порядок вузлів можна

визначити як 2n.

Також цікаво, що мірність тороїдально-кубічних топології може виражатися не тільки цілими числами, але й дійсними, що більше за одиницю та кратні 0,5.

Список літератури

- Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем: Учебник для вузов.– СПб.: Питер, 2011. – 688 с.
- Пинчук В.П. Базовые графы для построения топологии многопроцессорных систем // Искусственный интеллект – 2004 – № 4 – С. 46-58.
- Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання. – Луцьк: Волинська обл. друкарня, 2008. – 470 с.
- Артамонов Г.Т. «Топология регулярных вычислительных сетей и сред» М.: Радио и связь, 1985. - 192 с.
- Артамонов Г.Т., Тюрин В.Д. Топология сетей ЭВМ и микропроцессорных систем. М.: Радио и связь, 1991. - 248 с.
- Dally W. J. Principles and practices of interconnection networks / W. J. Dally, B. Towles. – Elseiver, 2004. – 550 p.

Надійшла до редколегії 16.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

СВОЙСТВА СТАТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ТОРОИДАЛЬНО-КУБИЧЕСКИХ ТОПОЛОГИЙ

А.И. Тыртышников, И.В. Додух

В статье рассмотрены результаты сравнительного анализа свойств возможных вариантов построения коммуникационных сетей тороидальных топологий на основе трехмерных решетчатых структур (тороидально-кубических топологий).

Ключевые слова: коммуникационная сеть, тороидальная топология, тороидально-кубическая топология, многопроцессорная компьютерная система.

THE PROPERTIES OF STATIC COMMUNICATION NETWORK OF TORUS-CUBE TOPOLOGIES

O.I. Tyrtysnikov, I.V. Dodukh

The article deals with the comparative analysis results of different communication networks properties. The authors analyze a number of possible construction variants based on three-dimensional latticed structures (torus-cube topologies).

Keywords: communication network, torus topology, torus-cube topology, multiprocessor computer system.