УДК 004.722

Тыртышников А.И., к.т.н.,
Данилюк Д.М., Додух И.В., студенты группы 601-ТСм
Полтавский национальный технический университет
имени Юрия Кондратюка

ПРОБЛЕМЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В статье рассмотрены проблемы существующих практических классификаций коммуникационных сетей многопроцессорных компьютерных систем, приводящие к их неполноте и противоречивости. Проведен анализ проблемы поливариантности визуализации топологий коммуникационных сетей. Предлагается подход к построению классификации на основе уточненного понятия топологической размерности коммуникационной сети, устраняющий указанные недостатки существующих практических классификаций.

Ключевые слова: *топология коммуникационных сетей, классификация коммуникационных сетей, поливариантность визуализации топологических структур*.

Введение

В современных многопроцессорных компьютерных системах (МПКС) с распределенной памятью коммуникационная сеть (КС) является ключевой подсистемой с точки зрения обеспечения высокой продуктивности и отказоустойчивости системы в целом. Базовым этапом проектирования КС является топологический синтез, то есть выбор топологии (либо нескольких топологий при иерархическом построении сети) и, соответственно, оценивание ее топологических метрик и свойств [1,2].

Несмотря на значительное разнообразие топологий КС, реализованных в различных МПКС, а также очевидную тенденцию к их усложнению с увеличением числа процессоров в современных системах, в настоящее время, в доступных авторам источниках, отсутствует общепризнанная и практически значимая их классификация.

Математические классификации, в связи со стремлением их авторов к максимальной обобщенности и полноте, выглядят сложными и малообозримыми [4,5,6]. Классификационные признаки здесь, как правило, не связаны напрямую с практически значимыми метриками КС, а вопросы целесообразности практической реализации сетей того либо иного класса не рассматриваются. В лучшем случае такие классификации могут лишь подсказать инженеру-конструктору или проектировщику направление поисков, на что прямо указывают и некоторые авторы таких классификаций [4].

С другой стороны, существующие практические классификации КС (используемые, в том числе, и в учебной литературе), как будет показано далее, являются крайне упрощенными, неполными и противоречивыми [2,3,7].

В данной публикации анализируются причины такого положения дел и формулируются некоторые предложения по построению непротиворечивой и практически значимой (инженерной) классификации топологий КС.

Следует отметить, что построение классификации КС, обладающей указанными свойствами, представляет интерес не только с академической либо учебно-методической точек зрения. Такая классификация может стать основой для решения задач формализации и автоматизации топологического синтеза КС.

Противоречивость классификаций коммуникационных сетей на основе понятия размерности

Большинство практических классификаций коммуникационных сетей (КС) статических топологий основаны на использовании такого показателя, как их размерность [2,3,7]. Понятие размерности (или мерности) пространства широко используется в топологии, однако интерпретация математических результатов, полученных в данной области, может быть весьма неоднозначной – в том числе и в топологии КС. Например, в [3] размерность КС определяется как число возможных вариантов перехода от узла-источника к узлу-приемнику, то есть количеством альтернативных (непересекающихся) путей, соединяющих эти узлы. Далее предлагается считать сеть нульмерной, если существует единственный путь между любыми двумя узлами; при наличии двух вариантов перехода – одномерной. Соответственно, если имеются четыре альтернативных направления (две «оси», по каждой из которых можно перемещаться в одном из двух направлений), сеть является двумерной и т.д.

Однако столь простой и однозначный, на первый взгляд, подход, нуждается в существенных уточнениях, поскольку приводит к весьма неоднозначным результатам уже при попытке классификации по данному параметру даже наиболее простых и широко распространенных топологий КМ. Там же [3] предлагается считать нульмерными топологиями не только простые структуры типа «звезда» и «дерево» (линейная структура или «магистраль» почему-то вовсе не упоминается), в которых действительно для любых двух узлов существует только один путь, соединяющий их, но и полносвязную, хотя очевидно, что в ней между любыми двумя узлами имеются N-1 альтернативных путей – а именно один кратчайший путь единичной длины и N-2 путей длиною 2 через все прочие узлы, не являющиеся источником и приемником (N здесь – количество узлов, размер КС).

Нетрудно показать, что учет только кратчайших путей между узлами, без уточнения, о каких именно узлах идет речь, может привести к затруднениям при определении размерности КМ, не только в случае с полносвязной структурой. Например, для соединения узлов прямоугольной решетки, изображенной на рис. 1., обозначенных цифрами 2, можно предложить четыре альтернативных пути, из которых только один имеет минимальную (единичную) длину.

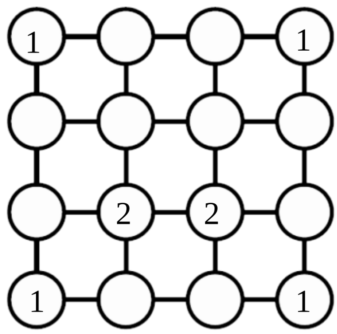

Рис. 1. Прямоугольная решетка 4х4

Кроме того, прямоугольная решетка считается двумерной (а не одномерной, как следовало ожидать в рамках предлагаемого подхода) структурой, хотя для любых двух узлов, расположенных в ее четырех углах (обозначены на рисунке цифрой 1), существуют лишь два альтернативных пути от одного к другому, причем их длина одинакова только для узлов, расположенных симметрично относительно центра решетки.

Аналогично обстоит дело и с «трехмерными» кубическими структурами, в которых всегда имеется 8 узлов-вершин, любые два из которых возможно соединить лишь тремя альтернативными путями и, следовательно, они должны считаться «1,5-размерными».

В [2] предлагается различать:

- одномерные топологии (линейный массив);
- двумерные топологии (кольцо, звезда, дерево, решетка);
- трехмерные топологии (полносвязная топология, хордальное кольцо);
- гиперкубические топологии.

Определение полносвязной топологии как трехмерной (меньшей размерности, чем гиперкубы с достаточно большим количеством узлов) является, на наш взгляд, очевидной логической ошибкой. Не вызывает сомнения тот факт, что КМ любых топологий (в том числе и гиперкубические) могут быть получены из полного графа с соответствующим количеством узлов путем удаления, по определенному правилу, «лишних» связей (ребер графа). Но удаление любого количества связей уменьшает количество альтернативных путей между, как минимум, некоторыми узлами. Следовательно, ни одна топологическая структура не может иметь размерность большую, чем полный граф с соответствующим количеством узлов.

Аналогичная классификация приведена в [7], с тем лишь отличием, что здесь гиперкубические топологии не выделены в отдельный класс, а отнесены, наряду с полносвязной и кубическими, к трехмерным.

Столь жесткое ограничение размерности топологических структур КС мерностью классического эвклидова пространства заставляет предположить, что источником рассмотренных затруднений и противоречий в практических классификациях КС является известный «аппаратный недостаток» человеческого мышления, а именно склонность к визуализации абстрактных топологических структур, которые, по сути, являются лишь возможными способами соединения узлов МПКС линиями связи. Соответственно, не вызывают сомнений, с одной стороны, субъективность такой визуализации, с другой – ограниченность ее возможностей.

Проблема поливариантности визуализации топологий коммуникационных сетей

В аналитической геометрии размерность фигуры равна числу координат, необходимому для определения положения точки, «лежащей» на этой фигуре. Так положение точки на прямой определяется одной координатой, на поверхности – двумя координатами, в трехмерном пространстве – тремя координатами. С одной стороны, имеется объективная необходимость трех измерений для однозначной характеристики «объемного» тела. С другой же трехмерность пространства является субъективным способом восприятия (визуализации) человеком объектов окружающей действительности, причем реализация этого способа может быть неоднозначной (поливариантной).

Очевидно, поливариантность визуализации топологических структур определяется, во-первых, различными способами воображаемого расположения узлов на плоскости или в трехмерном пространстве; во-вторых, различными способами представления соединений этих узлов. Существуют несколько способов изображения ребер графов [8,9], среди которых, видимо, наиболее естественными при визуализации топологических структур являются простейшие – в виде отрезков прямых линий или дуг окружностей. Разумеется, эти два способа могут использоваться совместно.

На рис. 2 изображены четыре эквивалентные формы визуального представления топологии, которую обычно называют трехмерным булевым кубом. Нетрудно убедиться, что все графы, изображенные на рис. 2 имеют ту же самую матрицу связности (представлена таблицей 1), что и доказывает их эквивалентность. Очевидно, что количество этих эквивалентных форм можно увеличить. Например, структуры *а* и б можно изобразить соответственно в виде сферы и вложенных колец с соединениями «лестничного» типа, причем для этого нет необходимости в изменении пространственного расположения узлов.

На рис. 3 изображены эквивалентные формы визуального представления топологии, которую, в рамках различных подходов, обычно называют четырехмерным гиперкубом, трехмерным или двумерным тором либо опять же двумерным хордальным кольцом.

Однако не следует считать верным предположение о том, что количество возможных форм визуализации топологических структур существенно возрастает с увеличением количества узлов и связей между ними. Невозможность визуализации любых фигур в пространстве, имеющем мерность больше трех приводит к тому, что при попытке визуализации многомерных структур мы можем представить себе лишь некоторые их проекции в трехмерное пространство. Так, например, для полного графа достаточно большого размера можно предложить лишь две «естественных» формы визуализации – в виде полносвязного хордального кольца либо в виде сферы с равномерным расположением узлов на ее поверхности и соответствующими соединениями, причем визуализировать первую структуру значительно проще.

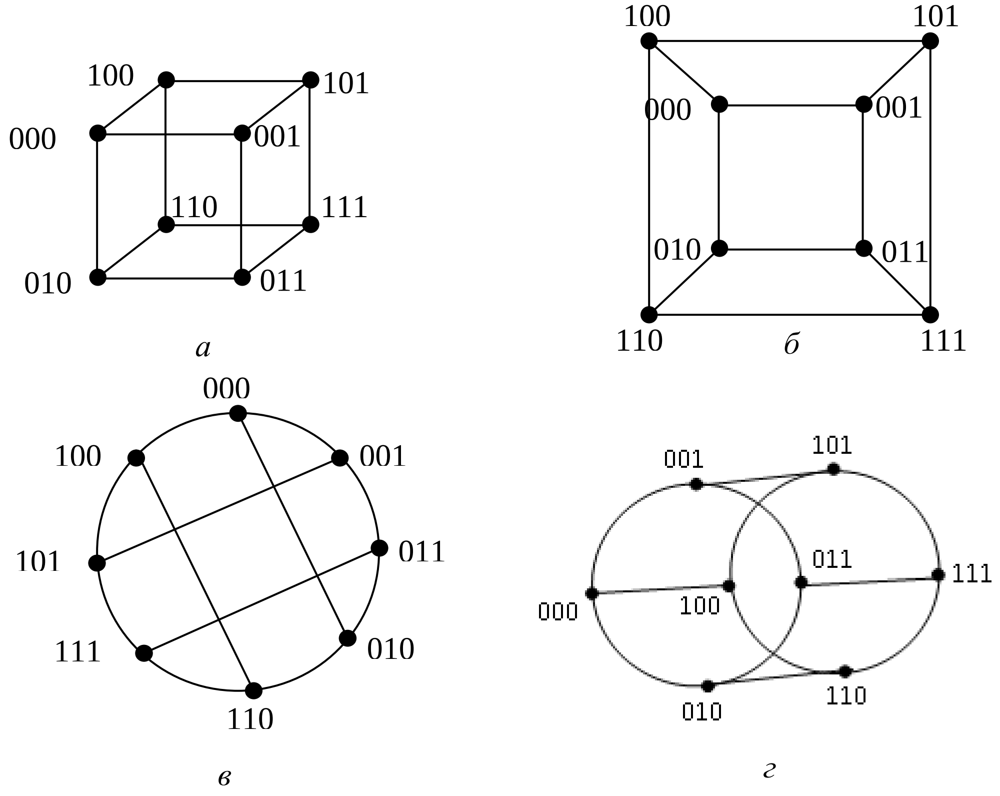

Рис. 2 Эквивалентные формы представления структуры «трехмерный куб»: а, б – варианты «кубического» изображения, в – хордальное кольцо, г – тороидальная структура (цилиндр)

Таблица 1: Матрица связности для графов, изображенных на рис. 2

	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	1	0	1	0	0	0	1
001	1	0	1	0	0	0	1	0
011	0	1	0	1	0	1	0	0
010	1	0	1	0	1	0	0	0
110	0	0	0	1	0	1	0	1
111	0	0	1	0	1	0	1	0
101	0	1	0	0	0	1	0	1
100	1	0	0	0	1	0	1	0

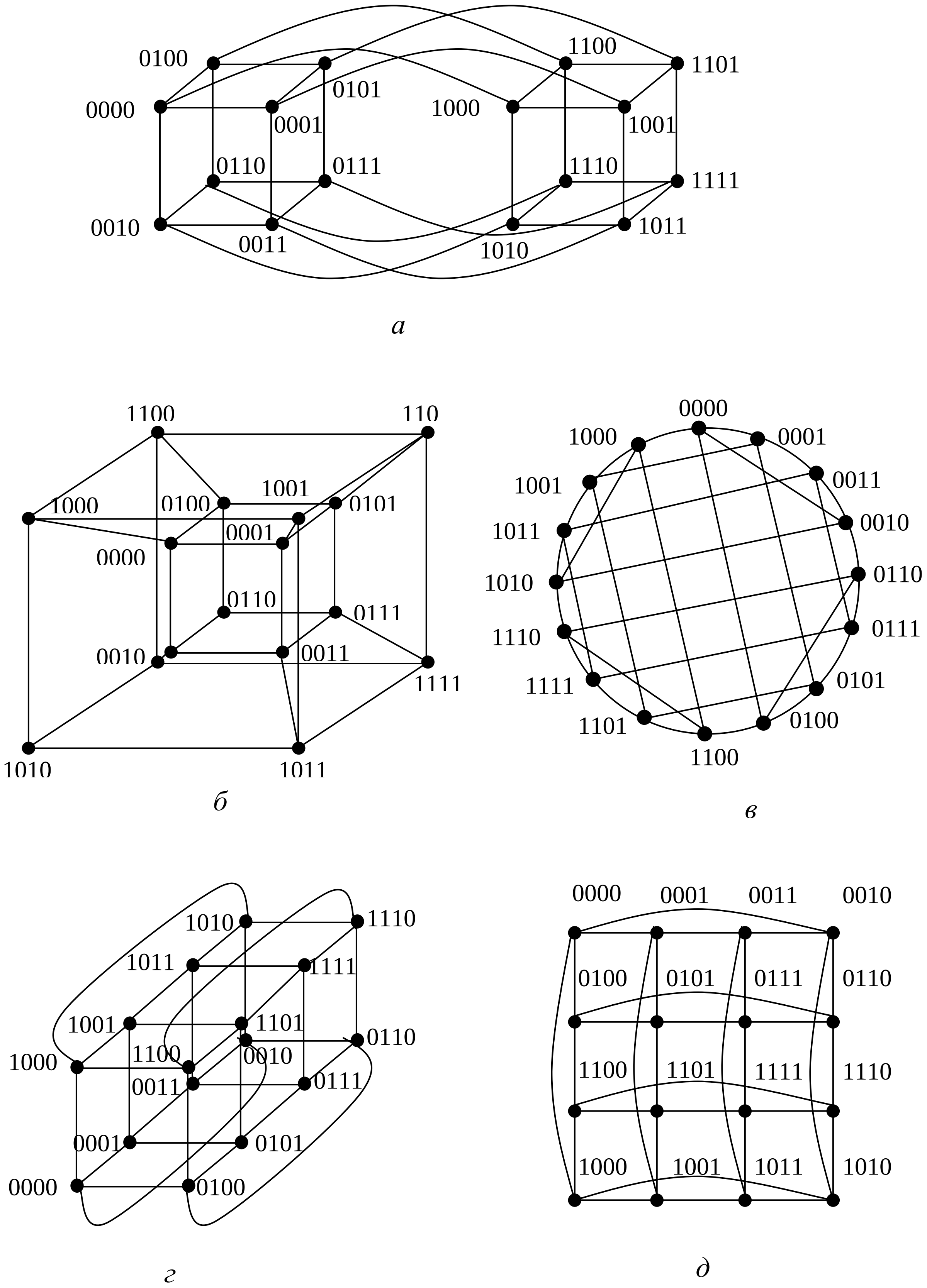

Рис. 3 Эквивалентные формы представления топологии «четырехмерный гиперкуб»: а, б – варианты «гиперкубического» изображения, в – хордальное кольцо; г, д – тороидальные структуры на основе «трехмерной» и «двумерной» прямоугольных решеток

Подход к классификации коммуникационных сетей на основе уточненного понятия размерности

Рассмотренные трудности и противоречия существующих практических классификаций КС могут быть сняты, если уточнить понятие размерности топологической структуры сети и отказаться от отождествления этого понятия с традиционным представлением о мерности пространства.

Предлагается определить размерность топологии КС R как минимальную абсолютную связность системы, то есть количество альтернативных (непересекающихся) путей любой длины между любыми узлами, имеющими минимальную для данной структуры степень d_{min} (минимальный порядок). Геометрически минимальную связность можно интерпретировать как ширину того разреза структуры, который пересекает минимальное количество связей. Очевидно, что если КС построена «правильно», то есть для нее нельзя построить разрез, имеющий меньшую ширину, чем d_{min}, то $R= d_{min}$.

При таком подходе все структуры КС можно классифицировать следующим образом:

- нульразмерная (тривиальный граф или точка);

- одноразмерные (линейная структура, дерево, звезда);

- двуразмерные (кольцо, двуразмерные реализации n - размерных топологий – например, прямоугольная решетка);

- n- размерные, то есть топологии переменной размерности, конкретные реализации которых могут иметь различную размерность $n<N$-1 (например, гиперрешетки и гиперторы на их основе, гиперкубы, сложные древовидные структуры и т.д.);

- N-1 – размерная (полносвязная).

Выводы

Предлагаемый подход к построению классификации КС на основе уточненного понятия ее топологической размерности устраняет рассмотренные недостатки существующих практических классификаций и может быть основой для разработки развитой и детальной инженерной классификации, способной лечь в основу решения задач формализации и автоматизации топологического синтеза КС.

Литература:

1. *Dally W. J. Principles and practices of interconnection networks / W. J. Dally, B. Towles. – Elseiver, 2004. – 550 p.*
2. *Корнеев В. В. Параллельные вычислительные системы / Корнеев В. В. – М.: «Нолидж», 1999. – 320 с..*
3. *Таненбаум Э. Архитектура компьютера / Таненбаум Э., Остин Т., пер с англ. – [6 -е изд.] – СПб.: Питер, 2013. – 816 с.*
4. *Артамонов Г. Т. Топология регулярных вычислительных сетей и сред / Артамонов Г. Т. – М.: Радио и связь, 1985. – 192 с.*
5. *Артамонов Г. Т. Топология сетей ЭВМ и микропроцессорных систем / Артамонов Г. Т., Тюрин В. Д. – М: Радио и связь, 1991. – 248 с.*
6. *Евреинов Э. В. Однородные вычислительные системы, структуры и среды / Евреинов Э.В. – М.: Радио и связь, 1981. – 207 с.*
7. *Мельник А.О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання: [підручник} / Мельник А.О.– Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.*
8. *Харари Ф. Теория графов / Харари Френк; пер с англ. В. П. Козырева. – [2-е изд.] – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.*
9. *Дистель Р. Теория графов / Дистель Р., пер с англ. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 2002. – 336 с.*
10. *Методологія системного аналізу технічних систем: підручник для студентів ВНЗ / В.А. Краснобаєв, І.О. Фурман, В.П. Поляков та ін., за заг. ред. Д.І. Мазоренка. – Харків: Факт, 2009. – 207 с.*