

Фалл Ади

Российский Университет Дружбы Народов, Кафедра
Математический институт им. С.М. Никольского
Москва, Россия

РЕГУЛЯРНЫЕ ТОПОЛОГИИ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ ЭВМ

Аннотация:

Появление и развитие сетей ЭВМ является логической закономерностью эволюции компьютерных технологий. Наблюдается стирание границ между вычислительной и коммутационной техникой, взаимное проникновение их друг в друга. С одной стороны, сложность организации межпроцессорных связей в распределенных вычислительных системах выросла в проблему первостепенной важности, которая до недавнего времени была свойственна лишь системам связи. С другой стороны, традиционные системы телекоммуникаций, будучи по природе своей мультипроцессорными, делаются похожими на большие вычислительные системы. В этом симбиозе становятся общими проблемы и опыт разработок, накопленный в обеих областях.

Ключевые слова:

ЭВМ, набор топологий, подграфы, магистраль, представление топологий, свойства графов.

Fall Ady

*Peoples' Friendship University of Russia,
Mathematical Institute. S.M. Nikolsky, ul. Miklukho-
Maklaya, 6, Moscow, Russia, 117198*

REGULAR TOPOLOGIES IN MICROPROCESSOR SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

Annotation:

The emergence and development of computer networks is a logical pattern in the evolution of computer technology. There is an blurring of the boundaries between computing and switching equipment, their mutual penetration into each other. On the one hand, the complexity of organizing

interprocessor communications in distributed computing systems has grown into a problem of paramount importance, which until recently was inherent only in communication systems. On the other hand, traditional telecommunication systems, being multiprocessor in nature, become similar to large computing systems. In this symbiosis, the problems and development experience gained in both areas become common.

Keywords:

Computers, a set of topologies, subgraphs, backbone, presentation of topologies, graph properties.

В последние годы бурное развитие вычислительных сетей породило проблему, связанную со стремлением компаний к объединению нескольких локальных вычислительных сетей (ЛВС), которые часто расположены в разных местах. Растущая сложность коммуникаций является препятствием для развития и сетей ЭВМ, и вычислительной техники. Поэтому исследование чисто топологических вопросов построения сетей ЭВМ приобрело в настоящее время большую актуальность. В проблематике топологических задач главной является задача синтеза оптимальной топологии и определение в ней оптимальных путей для пересылки данных.

Опыт построения многопроцессорных вычислительных систем показывает, что сложность алгоритма маршрутизации может быть ограничена урегулированием топологии. Высоко регулярная структура упрощает процедуру определения путей, в то время как нерегулярная структура требует обширных теоретических и конструктивных разработок.

Внедрение в практику построения вычислительных сетей методов формализованного представления, которые до недавнего времени были свойственны лишь вычислительным системам, позволяют использовать в сетях преимущества компьютерной техники.

Топологии, в которых выполняются формализованные соотношения между управлением потоками и топологией сети, будем называть

регулярными. В противном случае топологии будем называть произвольными (нерегулярными) [5].

Многие типы произвольных структур можно рассматривать, как неполные регулярные, в которых не хватает некоторых ребер. Полно связанная структура, в которой узлы соединены по принципу «каждый с каждым», может рассматриваться как универсальная однородная (регулярная) структура, из которой путем удаления ребер могут быть получены все типы известных структур.

Исследование возможности использования регулярных топологий в сетевых структурах является целью данной работы.

Сетевые топологии на основе произвольных графов

Несмотря на довольно большое число оригинальных топологий, предложенных для построения микропроцессорных систем, набор топологий, используемых в сетях ЭВМ, ограничен. Между тем выбор топологии существенно влияет на многие характеристики сети. Например, наличие резервных связей повышает надежность сети и делает возможным балансирование загрузки отдельных каналов. Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть легко расширяемой. Экономические соображения приводят к выбору топологий, для которых характерна минимальная суммарная длина линий связи.

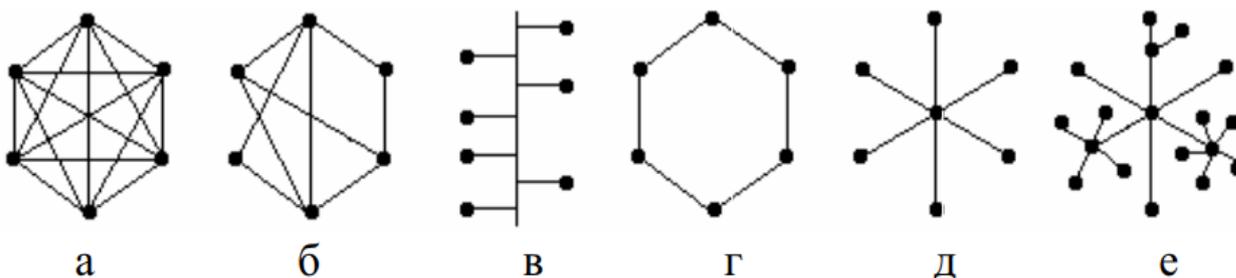


Рис. 1. Простейшие сетевые топологии: а) полносвязная; б) ячеистая; в) общая шина; г) кольцо; д) звезда; е) иерархическая звезда

Простейшие топологии общей шины, звезды и кольца традиционно используются в ЛВС и являются основой для построения более сложных топологий, как для сетей, так и для микропроцессорных систем. Эти топологии в основном являются неоднородными, то есть в них узлы имеют разное число инцидентных им линий связи. Следовательно, они относятся к типу произвольных (нерегулярных) структур. Однако топология кольца является однородной, и потому может быть отнесена, как и полносвязанная, к классу регулярных структур. Рассмотрим вначале особенности традиционных сетевых топологий.

Кольцевые сетевые топологии

Кольцо из B узлов является однородным графом, имеет степень 2 и диаметр $[B/2]$, где $[x]$ -наименьшее целое, не меньшее x . В сетях с кольцевой конфигурацией данные передаются от одного компьютера к другому, как правило, в одном направлении (рис. 1 г). Кольцо является очень удобной конфигурацией для организации обратной связи - данные, сделав полный оборот, возвращаются к узлу-источнику. Поэтому этот узел может контролировать процесс доставки данных адресату. Это свойство используется для тестирования сети и поиска узла, работающего некорректно. Кольцо имеет основные недостатки, аналогичные шинной топологии.

В сетях FDDI, Token Ring и Token Bus с кольцевой топологией используется маркерный метод доступа к среде передачи данных. По кольцу передается небольшой кадр специального формата (маркер), определяющий право передачи данных его владельцем (сетевым устройством) и предотвращающий возникновение конфликтов. Для передачи информации узел должен захватить маркер и добавить к нему сообщение и адресную

информацию. Технология FDDI использует двойное кольцо с циркулирующей маркеров в противоположных направлениях.

Звездообразные топологии

В топологии звезды каждый компьютер подключается отдельным кабелем к общему устройству - концентратору (hub) (рис. 1д). Звездообразная топология применяется в сосредоточенных сетях, в которых конечные точки достижимы из центрального узла. Она хорошо подходит в тех случаях, когда предполагается расширение сети. Главное преимущество этой топологии перед общей шиной - большая надежность. Катастрофа наступает лишь при отказе центрального узла. Каждый компьютер в сети взаимодействует с центральным концентратором, который передает сообщение всем компьютерам (в сети с широковещательной рассылкой) или только компьютеру-адресату (в коммутируемой сети) [4].

Концентратор может служить интеллектуальным фильтром информации, блокируя при необходимости запрещенные администратором передачи. К недостаткам звездной топологии относятся более высокая стоимость сетевого оборудования из-за необходимости приобретения концентратора. Кроме того, возможности по наращиванию количества узлов сети ограничиваются количеством портов концентратора. Звездная топология используется для обеспечения физических связей в логическом кольце и логической шине.

Древообразные топологии

Топология дерева представляет собой иерархическую звезду (гибридную звезду) и является самым распространенным типом топологий связей, как в локальных, так и в глобальных сетях (рис. 1 е). Гибридная звездообразная сеть создается путем подключения вместо одного из компьютеров еще одного концентратора и подсоединения к нему

дополнительных машин. Главным недостатком сетевых технологий на основе топологии основного дерева является то, что все их базовые функции работают при существовании только одного логического пути между двумя любыми устройствами в сети. Такое объединение ЛВС или сетевых сегментов исключает наличие альтернативных путей и характеризуется низкой структурной надежностью.

Примером сети с топологией дерева является ушедшая в прошлое локальная сеть ARCnet фирмы Datapoint. В ARCnet применялась схема с передачей маркера.

Универсальная полносвязанная топология

В полносвязной топологии (полный граф) каждый узел связан со всеми остальными (рис. 1 а), иначе говоря, полный граф из B узлов представляет собой однородную сеть, у которой каждый узел имеет степень $B-1$ и отстоит от любого другого узла на расстояние 1. Полный граф - рекордсмен по компактности и структурной надежности. Расстояние между любой парой его узлов равно 1, и чтобы изолировать хотя бы один из его N узлов, в полном графе необходимо удалить не менее $N-1$ узлов [2]. Несмотря на логическую простоту, этот вариант является громоздким и неэкономичным. Узлы с характерным для полного графа большим числом портов часто нереализуемы конструктивно и технологически. Полносвязанные топологии применяют редко, так как они не удовлетворяют требованиям к экономической эффективности. Чаще всего этот вид топологий используется в многомашинных комплексах или глобальных сетях при небольшом количестве компьютеров.

Ячеистые сетевые топологии

Ячеистая топология получается из полносвязной путем удаления некоторых возможных связей (рис. 1 б). В сети с ячеистой топологией

непосредственно связываются только те компьютеры, между которыми происходит интенсивный обмен данными, а для обмена данными между компьютерами, не соединенными прямыми связями, используются транзитные передачи через промежуточные узлы. Топологии ячеистого типа обеспечивают альтернативную маршрутизацию, при которой осуществляется выбор оптимального пути из множества возможных путей. Сети с топологиями ячеистого типа обладают высокой надежностью и живучестью. Ячеистая топология допускает соединение большого числа компьютеров и характерна, как правило, для глобальных сетей.

Передача данных по установленным соединениям, сформированным на основе коммутируемых каналов между устройствами, осуществляется в сетях с технологиями ATM, Frame Relay, B-ISDN.

Общая характеристика простейших сетевых топологий

Топологии произвольного типа хорошо удовлетворяют спецификациям современных ЛВС. Они обеспечивают простую, дешевую, высокоскоростную передачу данных, нетребовательны в отношении расширения сети. Однако они имеют низкую надежность и живучесть, связанную со структурными ограничениями, которые накладывает специфика моноканала. Кроме того, традиционные топологии (звезда, кольцо, шина, дерево) не в состоянии обеспечить новые тенденции к объединению отдельных ЛВС в единую корпоративную сеть. При неограниченном расширении топологии сеть становится громоздкой и неуправляемой. Наиболее практичными с точки зрения объединения ЛВС являются топологии ячеистого типа. Однако их использование ограничивается двумя факторами: оно либо слишком дорого (например, технология ATM), либо малоэффективно (например, технология X.25).

Регулярные топологии

Регулярные топологии типичны для распределенных процессорных архитектур. Топология системы определяет межпроцессорную архитектуру связи и является, как правило, однородной в отношении используемых процессоров, связей и структур коммутации. В таких распределенных системах существуют хорошо определенные соотношения между топологией системы и задержкой сообщения, алгоритмами маршрутизации, отказоустойчивостью и диагностикой отказов. Задержка сообщения может быть прямо пропорциональна межузловому расстоянию.

Рассмотренные выше топологии на основе произвольных графов задаются либо списком, либо матрицей смежностей. Оба эти представления громоздки и неудобны для использования. Графы с симметрией позволяют перейти к более короткому описанию [5].

Хотя наиболее распространенными регулярными топологиями являются топологии на основе однородных графов, класс регулярных топологий ими не ограничивается. В настоящее время предложено достаточно большое количество разнообразных однородных структур. Набор приемов формализованного описания также достаточно разнообразен. Это и аналитические методы, основанные на использовании известных математических соотношений, и алгоритмические методы построения кластерных структур, и графические методы, использующие законы и приемы теории графов. Широко используются методы комбинаторного анализа и рекурсивные процедуры. Рассмотрим некоторые из наиболее значимых подходов.

Графы кодовых множеств

Топологии на основе графов кодовых множеств (ГКМ) не являются однородными. Однако по способу формализованного представления их можно отнести к регулярным. Класс ГКМ достаточно разнообразен. К их числу относятся: графы кодовых пересечений (ГКП), графы сменно-

качественных кодов (ГСК), графы равномерных кодов, графы циклически перестановочных кодов, графы циклических кодов, графы смежных кодов, графы итеративных и каскадных кодов. Среди них выделяются ГКП, которые являются графами кодов без избыточности. Другие ГКМ являются графами избыточных кодов и могут рассматриваться как подграфы ГКП [6].

Наиболее привлекательными для практического использования на сетях являются ГКП и ГСК. Другие виды графов кодовых множеств обладают повышенной избыточностью и потому непривлекательны для практического использования на сетях.

Матрица смежности псевдографа кодовых пересечений с параметрами n, k, r ПКП(n, k, r) имеет размер $k^n \times k^n$, в каждой строке содержит k^r единиц, сдвинутых относительно единиц предыдущей строки на k позиций. Матрица смежности ГКП (n, k, r) отличается от матрицы смежности ПКП (n, k, r) отсутствием диагональных единиц. Свойства графов кодовых пересечений и их матриц смежности исследованы в работе.

Определение ГКП (n, k, r) с параметрами n - длиной кодовых комбинаций, k - основанием кода и r - числом пересекающихся символов в двух соседних кодовых комбинациях (зацеплением) можно найти в работе (Борисова, 2000). На рис. 6 изображены ориентированный и неориентированный ГКП (3,2,1).

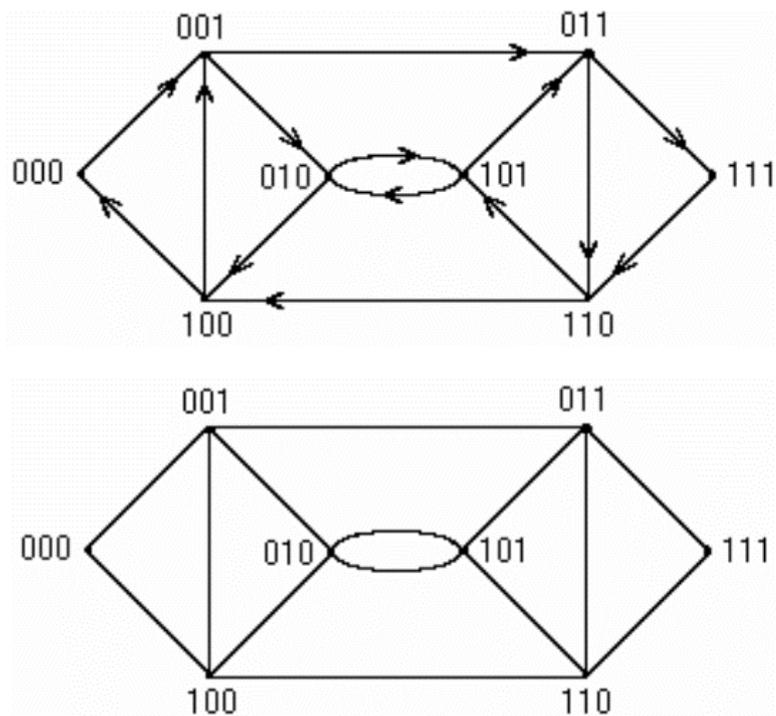


Рис. 6. ГКП(3,2,1)

Главной особенностью ГКП является зависимость их структур от параметров (n , k и r). Это позволяет на базе формализованного представления упростить решение многих задач, связанных с разработкой и эксплуатацией вычислительных систем и сетей ЭВМ. Так, кратчайший с точки зрения числа переключений путь в ГКП определяется с помощью простых арифметических операций над кодовыми номерами их вершин {Борисова, 2000}. При этом возможна сокращенная кодовая запись полного пути, которая может быть использована для автотестирования сети. Это упрощает решение задач контроля, диагностики состояния сетей связи и повышения их надежности [4].

Заключение

Рассмотренные методы описания регулярных топологий микропроцессорных систем и сетей ЭВМ демонстрируют, что такое формализованное описание является экономичным методом задания структуры сети и эффективным способом решения на этой основе

разнообразных задач в области вычислительных систем и сетей связи ЭВМ, в том числе задачи оптимального объединения различных сетей в единую ассоциацию. Формализованное представление топологий делает сеть более управляемой, а развитие ее более предсказуемым. В регулярной структуре существенно упрощаются процедуры определения путей.

Предложенный метод матричного представления гиперграфов полезен для использования в компьютерных системах. Он позволяет компактно и экономично хранить информацию о топологии сети, достаточно прост по аналитическому описанию и удобен для построения рекурсивных топологических конструкций.

Список литературы

1. Кудрявцева Е.Л. // Мат. заметки. 2012. Т. 92. № 2. С. 241-261.
2. Кудрявцева Е.А. // Мат. сб. 2013. Т. 204. № 1. С. 79— 118.
3. Кудрявцева Е.А. // Вест. МГУ. Сер. 1. Математика. Механика. 2012. № 4. С. 14—20. arXiv: 1106.3116.
4. Грииес В.З., Починка О. В. Введение в топологическую классификацию каскадов на многообразиях размерности два и три. Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2016.
5. Грииес В. З., Починка О. В. Каскады Морса - Смейла на 3-многообразиях // Успехи мат. наук. 2013. Т. 68, вып. 1. С. 129-188. (Англ, перевод: Grines V.Z., Pochinka O. V. Morse-Smale cascades on 3-manifolds // Russ. Math. Surv. 2013. V. 68, No 1. P. 117-173.)
6. Grines V., Levchenko Yu., Medvedev V., Pochinka O. The topological classification of structurally stable 3-diffeomorphisms with two-dimensional basic sets // Nonlinearity. 2015. V. 28, No 11. P. 4081—4102.

7. Grines V., Medvedev T., Pochinka O. Dynamical systems on 2- and 3-
mani-folds (Developments in Mathematics, V. 46). Cham (Switzerland): Springer,
2016.