Ключові слова: *оцінювання зносу інструмента, абразивна модель, адгезійна модель, дифузійна модель, модельна невизначеність, імовірнісний розподіл, матрична гра, оптимальна стратегія дослідника.*

Отримано: 13.03.2012

УДК 681.51.09

М. Ф. Сопель, канд. техн. наук

Институт электродинамики НАН Украины, г. Киев

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА В ЭНЕРГЕТИКЕ С УЧЁТОМ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассмотрены различные виды топологических структур компьютерных сетей, ориентированные на использование в системах мониторинга в энергетике. Проводится анализ структур и выбор наиболее целесообразной из условий оптимизации сети с обеспечением возможности реализации средств защиты информации.

Ключевые слова: *топология сети, информационная безопасность, дерево-гиперкубическая сеть, кольцевая топология.*

Задачи синтеза и защиты информации компьютерных сетей систем мониторинга в энергетике. Компьютерные сети систем мониторинга в энергетике и объектов в процессе своего развития превращаются в сложные, высококритичные среды, состоящие из множества серверов различных типов, а также многочисленных рабочих групп, нуждающихся в связи друг с другом. В такой среде неоптимальность структуры топологии и отсутствие или слабость средств защиты информации (СЗИ) несут в себе угрозу снижения производительности, уменьшения надежности и ухудшения безопасности систем энергетики.

Рабочие станции систем мониторинга в энергетике взаимодействуют между собой в основном посредством локальных серверов гораздо чаще, чем с внешними серверами Web, поэтому имеет смысл оптимизировать топологию сети, в частности сегментировать сеть в соответствии с рабочими группами, в которых большая часть трафика не выходит за пределы локального сегмента. Кроме того, оптимизация и сегментирование структуры сети позволяют легко организовать гибкие СЗИ.

Оптимизация топологии сети и вопросы синтеза сети с оптимальной топологией описаны во многих источниках, так например, в работах [1, 2] эти проблемы изложены обстоятельно. В работе [3] приведен полный и обоснованный анализ вопросов построения математической модели сетей передачи данных. Подробный анализ проблемы синтеза компьютерной сети изложен в работах [4—11]. Разработка структуры абонентской коммутационной системы заключается в определении: топологии, количества, пропускной способности и размещения каналов связи, производительности и размещения абонентских концентраторов, разбиение на сегменты и определение возможных мест установления устройств защиты информации. Однако, несмотря на то, что в этих работах в той или иной мере освещены все аспекты оптимального проектирования сетей, в связи с расширением сферы использования сетей, постоянным совершенствованием сетевых технологий и повышением требований к обеспечению безопасности информации, возникает потребность в совершенствовании методов и средств синтеза компьютерных сетей.

В связи с "многопользовательским" режимом работы в компьютерной сети возникает целый набор взаимосвязанных вопросов по защите информации, хранящейся в компьютерах или серверах компьютерной сети [12—16]. Следует отметить, что сами сетевые операционные системы также представляют мощные средства защиты от несанкционированного доступа к сетевым ресурсам. Однако, нередки случаи, когда даже такая защита не срабатывает. Практика показывает, что несанкционированный пользователь, имеющий достаточный опыт в области системного и сетевого программирования, задавшийся целью подключиться к сети, даже имея ограниченный доступ к отдельным ресурсам, рано или поздно может получить доступ к некоторым защищенным ресурсам сети. Поэтому возникает необходимость в создании дополнительных аппаратных и программных средств защиты сетевых ресурсов.

К аппаратным средствам защиты относятся различные сетевые экраны, фильтры, устройства шифрования протокола и т.д. К программным средствам защиты можно отнести: программы шифрования данных, отслеживания сетевых подключений (мониторинг сети), аутентификации, идентификации и т.д. Среди всего спектра методов защиты от несанкционированного доступа особое место занимают криптографические методы. В отличие от других методов они опираются лишь на свойства самой информации и не используют свойства его материальных носителей, особенности узлов его обработки, передачи и хранения. Актуальность проблемы использования криптографических методов в информационных системах объясняется тем, что с одной стороны, расширилось использование компьютерных сетей, в частности глобальной сети Internet, по которым передаются большие объемы информации государственного, военного, коммерческого и частного характера, не допускающего возможность доступа к ней посторонних лиц. С другой стороны, появление новых мощных компьютеров, сетевых технологий и нейронных вычислений сделало возможным дискредитацию криптографических систем, еще недавно считавшихся практически не раскрываемыми.

Следовательно, для обеспечения эффективной информационной безопасности, на наш взгляд, необходимо создавать интегрированные системы защиты информации на основе топологического синтеза структуры, обеспечивающие целостность представления общей картины сети с точки зрения её безопасности. В результате топологического синтеза определяется оптимальная топология сети с точки зрения минимальности диаметра и валентности структуры сети, а также удобства ведения оперативного мониторинга сети. Кроме того, выделяются сегменты и выбираются возможные узлы установления фильтров, сетевых и межсетевых экранов.

Особое место в интегрированной системе защиты информации занимают комбинированные криптографические методы, шифрование данных в которых производится в два этапа. На первом этапе данные шифруются стандартным или модернизированным стандартным методом, а на втором этапе шифрованные данные подвергаются вторичному шифрованию по какому-либо специальному методу.

В связи с тем, что аппаратная реализация комбинированного метода приводит к увеличению аппаратных затрат, а его программная реализация существенно влияет на время шифрования и дешифрования данных, целесообразным является аппаратно-программная реализация, т.е. один из этапов комбинированного метода необходимо реализовать аппаратно, а другой — программно.

Таким образом, разработка интегрированных систем защиты должна начинаться с первых же этапов синтеза компьютерных сетей и постоянно совершенствоваться путём введения в состав системы новых специальных методов и аппаратно-программных средств защиты информации.

Выбор эффективной структуры сети управляющих компьютеров. Для эффективного управления и организации взаимодействия компонентов компьютерной сети необходимо выделить некоторое множество управляющих компьютеров, каждый из которых закрепляется за некоторым сегментом компьютеров, решая поставленные задачи только в рамках этого сегмента. Однако, управляющие компьютеры должны быть связаны в единую управляющую структуру. Естественным вариантом их объединения является некоторая иерархия управляющих компьютеров, представленная дерево-гиперкубической структурой. Дерево-гиперкубическая $TH(b, d)$ сеть построена с использованием полного дерева степени «b» и глубины «d» (рис. 1). Уровни и ветви дерева нумеруются от 0 до d. Каждый уровень имеет B^i узлов, которые представляют собой компьютеры с номерами от 0 до $B^i - 1$ в двоичной системе счисления и представлены в виде гиперкубов. Эти узлы на уровне и образуют (i log B) — куб. Каждый узел в TH (b, d) определяется двойкой (L, X), где L-номер уровня, а X-адрес куба. Общее количество узлов в TH (b, d) определяется по следующей формуле:

$$N = \sum_{i=0}^{d} b^i = \left(b^{d+1} - 1\right) / (b-1).$$

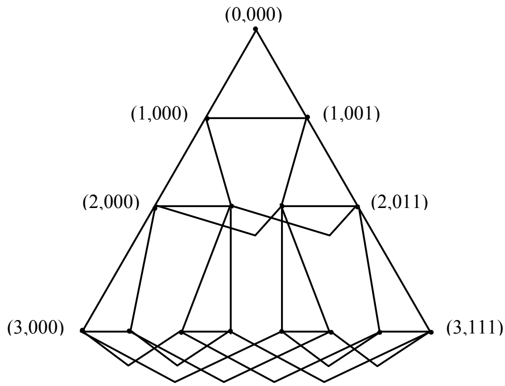

Рис. 1.

Степень дерево-гиперкубической сети TH (b, d) равна $d + 2$. Определим её диаметр. Пусть он равен d. Тогда диаметр поддерева TH (b, $d - 1$) дерево-гиперкубической топологии TH (b, d) должен быть равен $d - 1$, а расстояние между любыми узлами x и $y \in TH$ (b, $d - 1$) будет определяться соотношением dist (x, y) $\Leftrightarrow$ ($d - 1$). Если x и y — концевые вершины TH (b, d), тогда в рамках d-го уровня расстояние между ними не будет превышать значения диаметра гиперкуба на этом уровне, который равен $\log_2 2^d = d$. Если $x \in TH$ (b, $d - 1$), а y — концевая вершина TH (b, d), тогда dist(x, y) $\Leftrightarrow$ dist(x, y') + dist(y', y) $\Leftrightarrow$ $(d - 1)\log_2 b + 1 \Leftrightarrow d \log_2 b$, где y' — концевая вершина TH (b, $d - 1$), которая непосредственно связана с y. Во всех случаях расстояние между x и y не будет превышать значения $d * \log_2 b = d$, что и требовалось определить.

Покажем, что степень TH (b, d) равна $B = (b + 1\_ + (d - 1) \log_2 b$. Степень TH (b, d) с одним узлом равна 0, степень корневого узла TH (b, d) при $d > 0$, равна $b = 2$, а степень TH (b, d) равна сумме деревьев ($b + 1$) и степени гиперкуба на предпоследнем уровне $d - 1((d - 1) \log_2 b)$, т.е. степень дерева-гиперкубической топологии TH (b, d) будет равна $B = (b + 1) + (d - 1) \log_2 b$.

Покажем также, что среднее расстояние TH (b, d) равно

$$D = 2\frac{(d+1)4^d - d2^{d-1}}{(2^{d+1}-1)^2}, \text{ где } d / 2 \Leftrightarrow \bar{D} < d + 1/2.$$

Для этого предположим что $b = 2$. Пусть B — сумма всех расстояний в TH (b, d). Среднее расстояние TH (b, d) равно $\overline{D} = b / N^2$. Тогда

$$b_d = b^2 b_{d-1} + \frac{b^{2d+2}\log b}{2(b-1)^2} + \frac{2b + 2db^{d+1}}{(b-1)^2} - \frac{2b^{d+1} + b^{d+2}\log b}{(b-1)^2} + \frac{b^2 \log b}{2(b-1)^2}.$$

Пусть L представляет собой множество узлов в TH (b, d), T — множество всех узлов TH (b, d), за исключением корневого узла t, x и y — два произвольных узла, а d (x, y) — расстояние между x и y. Тогда

$$b_d = \sum (x, y) \in L \times L^{d(x,y)} = \sum x \in T^{d(t,x)} + \sum x \in T^{d(x,t)} +$$

$$+\sum_{(x,y) \in T \times T}{}^{d(x,y)} = 2\sum (x, y) \in T \times T^{d(t,y)} + \sum (x, y) \in T \times T^{d(x,y)}.$$

Первую сумму обозначим через A, а вторую через P. Для вычисления A, будем считать, что расстояние между b^i узлами на уровне i и корневым узлом равно i. Тогда $A = \sum_{i=1}^{d} i \cdot 2^i$, т.е.

$$\frac{b}{(b-1)^2}\left[db^{d+1} - (d+1)b^{d+1}\right].$$

Вычисление P требует построения TH (b, d) путем древовидного объединения подмножеств TH (b, $\underline{1}$), начиная с корневого узла, причем совокупность узлов на каждом уровне должна формироваться в гиперкуб вида [i log b]. Так, если G_1 и G_2 — два графа, состоящие соответственно из n_1 и n_2 узлов, то $G_1 \cup G_2$ будут представлять собой объединенный граф, а $b(G_1 \cup G_2) = n_2^2$, $b(G_1) + n_1^2$, $b(G_2)$, где b представляет собой сумму всех расстояний в объединенном графе. Пусть G_1 – TH (b, d – 1), который состоит из ((b^d – 1) / (b – 1) узлов и G_2 — гиперкуб с b узлами. Тогда $b(G_1 \cup G_2) = b^2$, $b(TH(b, d-1) + [(b^d - 1) / (b-1)]^2 * *b(\mathrm{CUBE}(b))$, где $b(\mathrm{CUBE}(b))$ — это сумма всех расстояний гиперкуба с b узлами, которая равна $(b^2 \log b) / 2$. Поэтому $P = b \cdot 2b_{d-1} + \left[\frac{b^d - 1}{b-1}\right]^2 \frac{b^2 \log b}{2}$.

При подстановке величин A и P в выражение $b_d = 2A + P$ получим:

$$b_d = 2\,\frac{b}{(b-1)^2}\left[db^{d+1} - (d+1)b^d + 1\right] + b^2 b_{d-1} + \left[\frac{b^d - 1}{b-1}\right]^2 \frac{b^2 \log b}{2}.$$

Тогда среднее расстояние в данной топологии будет равно

$$\overline{D} = 2\frac{(d+1)4^d - d2^{d+1} - 1}{(2^{d+1} - 1)^2}.$$

Определим количество ребер в TH (b, d). Количество ребер в TH (b, d) с одним узлом равно 0, количество связей, выходящих из узла в TH (b, d) при $d > 0$, равна 2, т.е. b. Видно, что количество ребер в TH (b, d) равно сумме ребер дерева, т.е. равно (N – 1), а количество ребер гиперкуба на каждом уровне равно ($i2^i$ / 2). Общее количество ребер на всех уровнях TH (b, d) равно $\sum_{i=1}^{d} i2^i / 2$. Тогда общее число ребер в TH (b, d) равно

$$N - 1 + \sum_{i=1}^{d} i2^i / 2 .$$

Рассмотрим вопросы построения иерархических дерево-гиперкубических систем с различной структурной организацией с целью их сравнительного анализа, определения количественных топологических характеристик каждой из рассмотренных структур, а также поиска структур с заданными параметрами.

Иерархический дерево-гиперкуб будем рассматривать как некоторую структурную организацию $TH_Q(h, v)$, где Q — вид структуры, используемой внутри узла (L — линейная, R — кольцевая, S — звездообразная и C — гиперкубическая и т.д.); h — глубина дерева; v — количество дополнительных вершин в основном узле.

Введем следующие коэффициенты, которые используются при сравнении дерево-гиперкуба $TH(b, d)$ и иерархического дерево-гиперкуба $TH_Q(b, d)$:

- коэффициент изменения диаметра $K_D = D(TH(b, d)) / D(TH_Q)$;
- коэффициент изменения степени вершин $K_S = S(TH(b, d)) / S(TH_Q)$;
- коэффициент изменения количества ребер $K_R = R(TH(b, d)) / R(TH_Q)$.

Иерархический дерево-гипрекуб $TH_Q(h, v)$ рассматривается как структура, формируемая на основе дерево-гиперкуба с $N = 2^{h+1} - 1$ узлами, которые в дальнейшем будем называть основными. С каждым основным узлом далее отождествляется множества из V дополнительных узлов. При $V = 0$ иерархический дерево-гиперкуб $TH_Q(h, v)$ — обычный дерево-гиперкуб $TH(b, d)$. При $V = 1, 2, \ldots, N$ структурная организация дополнительных узлов может быть весьма разнообразной и выбираться в зависимости от заданных параметров системы в целом.

На рис. 2-5. представлены возможные варианты организации структуры дополнительных узлов в иерархическом дерево-гиперкубе $TH_Q(h, v)$.

Здесь каждый узел, кроме двух конечных, соединен с двумя соседними. Такая система требует всего двух встроенных каналов передачи в каждом узле, т.е. степень узлов $b = 2$, однако максимальная длина передачи данных при решении задач взаимодействия, т.е. диаметр системы $D = N - 1$, где N — число узлов в системе. Разумеется, что при таком взаимоотношении числа узлов и диаметра возможности наращивания узлов в системе весьма ограничены. Среднее расстояние между узлами сети, т.е. средний диаметр такой топологии равен $D_L = (N-1) / 3$.

Рассмотрим и оценим возможности использования различных структур для построения иерархических дерево-гиперкубов.

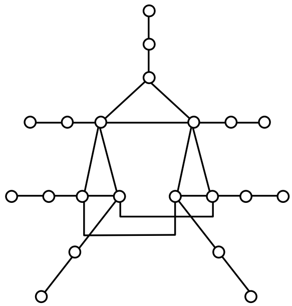

Рис. 2.

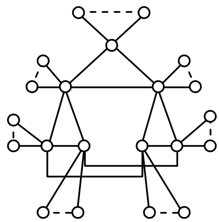

Рис. 3.

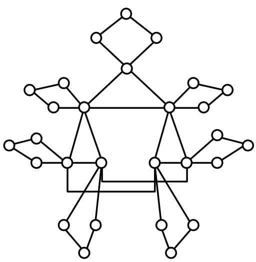

Рис. 4.

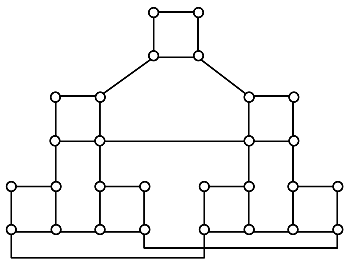

Рис. 5.

Линейные структуры. Иерархический дерево-гиперкуб с линейной топологией вершин $TH_L(h, v)$, где $L = 3$, $V = 4$ и $TH_L(3, 4)$ имеет следующие характеристики: $N(TH_L) = 75$, $D(TH_L) = 11$, $S(TH_L) = 6$, $R(TH_L) = 123$. По количеству вершин он эквивалентен обычному дерево-гиберкубу $TH(2, h)$, где $h = \log N(TH_L)$, т.е. $h = 6$, $N(TH_{(b,\ h)}) = 75$, $D(TH_{(b,\,h)}) = 6$, $S(TH_{(b,\,h)}) = 8$, $R(TH_{(b,\,h)}) = 203$. Сравнение $TH_L(3, 4)$ и $TH_L(2, 6)$ показывает, что обычный дерево-гиперкуб имеет меньший диаметр, но большую степень вершин и количество ребер.

В общем случае иерархический дерево-гиперкуб $TH_L(h, v)$ имеет следующие характеристики:

$$N(TH_L) = (2^{h+1} - 1)(v + 1);$$

$$D(TH_L) = h + 2v;$$

$$S(TH_L) = h + 3;$$

$$R(TH_L) \ = \ 2^{h+1} - 2 + \sum_{i=1}^{h} i2^i / 2 \ .$$

Графики зависимости диаметра линейных структур от количества элементов для различных вариантов дерево-гиперкубических топологий при $S(TH_L) = 6$ и $S(TH_L) = 8$ приведены на рис. 6—7 соответственно.

Топология дерево-гиперкуба $TH_L(h, v)$ характеризуется независимостью степени вершин от h, а также линейной зависимостью N и R от v, что позволяет увеличивать число дополнительных вершин без изменения степени вершин.

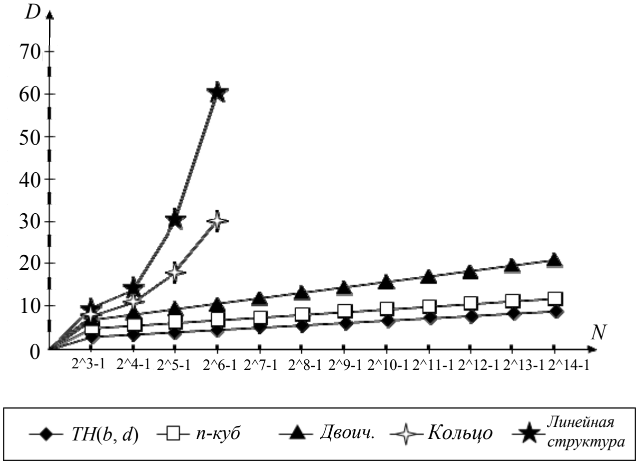

Рис. 6.

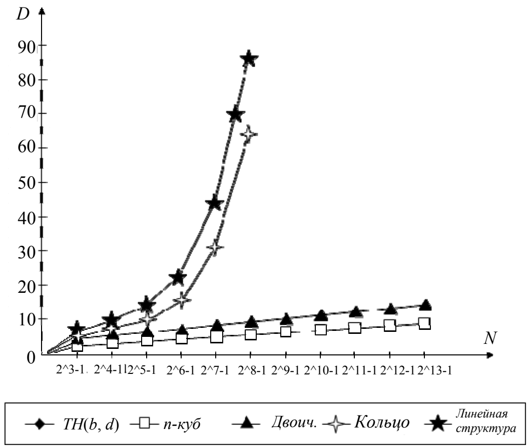

Рис. 7.

Определим коэффициенты изменения диаметра, степени и количество ребер при $N(TH_{(b,\,v)}) = N(TH_L(h, v))$. Тогда для $TH(b, h)$ и $TH_L(h, v)$ имеем:

$$N = 2^{h+1} - 1 = (2^{h+1} - 1)(v + 1);$$
$$K_D = 2 + 2v;$$
$$K_S = 2(h + 1)/(h + 3);$$
$$K_R = \left[N_{TH_L} - 1 + \sum_{i=1}^{2h} i2^i / 2 \right] / \left[2^{h+1} - 1 + \sum_{i=1}^{h} i2^i / 2 + \left(2^{h+1} - 1\right) v \right]$$

Графики зависимости коэффициентов K_D и K_S от глубины иерархии представлены на рис. 8 и 9 соответственно.

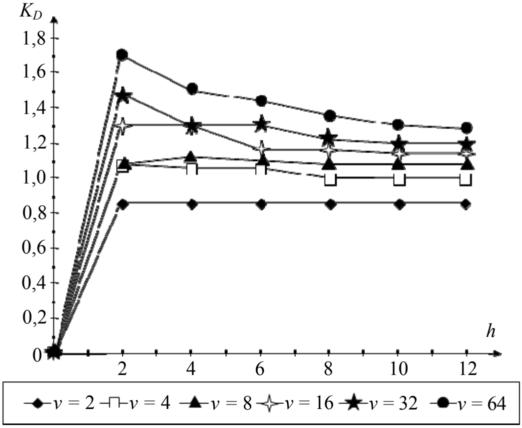

Рис. 8.

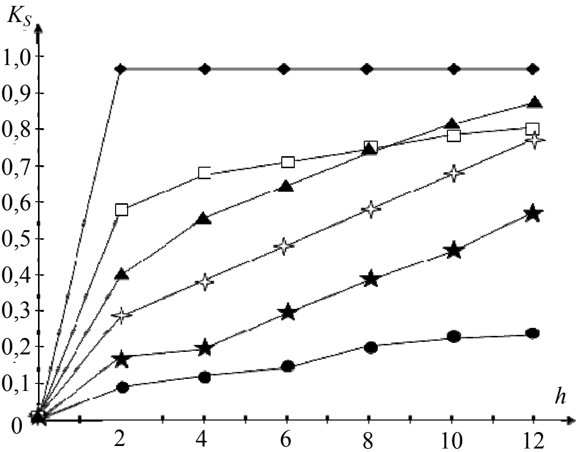

Рис. 9.

Звездообразные структуры. Иерархический дерево-гиперкуб со звездообразной топологией вершин $TH_S(h, v)$, где $h = 2$, $v = 5$ и $TH_S(2, 5)$, имеет следующие характеристики: $N(TH_S) = 42$, $D(TH_S) = 4$, $S(TH_S) = 9$,

$R(TH_S) = 46$. По типу вершин он эквивалентен дерево-гиберкубу $TH(2, 6)$: $N(TH_{(b, h)}) = 42$, $D(TH_{(b, h)}) = 5$, $S(TH_{(b, h)}) = 7$, $R(TH_{(b, h)}) = 114$.

Структура имеет диаметр меньше, чем для обычных дерево-гиперкубов, однако здесь степень вершин больше. В общем случае $TH_S(h, v)$ имеет следующие характеристики:

$$N(TH_S) = (2^{h+1} - 1)(v + 1);$$

$$D(TH_S) = h + 2;$$

$$S(TH_S) = h + v + 2;$$

$$R(TH_S) = N\left(TH_{(b,h)}\right) - 1 + \sum_{i=1}^{h} i2^i / 2 + (N(TH_{(b,h)} - 1)v.$$

Графики зависимости количества звездообразных структур от количества элемента для различных вариантов дерево-гиперкубических топологий при $S(TH_L) = 9$ и $S(TH_L) = 7$ приведены на рис. 10—11 соответственно.

Графики изменения коэффициентов K_D и K_S от глубины иерархии для звездообразных структур, встроенных в узлы основного дерево-гиперкуба, представлены на рис. 12 и 13 соответственно.

Кольцевые структуры. Кольцевые структуры следует рассматривать как развитие линейных, в которых последний элемент цепи замыкается с ее первым элементом. При этом диаметр таких сетей определяется по формуле $D_R = N / 2$.

Значение отношения $\bar{D} / D$ для кольцевой цепи выше, чем для линейной цепи и приблизительно равно.

$$\bar{D}_R / D_R \approx 1/2 .$$

Таким образом, если диаметр кольцевой цепи вдвое ниже, чем в линейной, то средний диаметр

$$\bar{D}_R = 3/4 D_L .$$

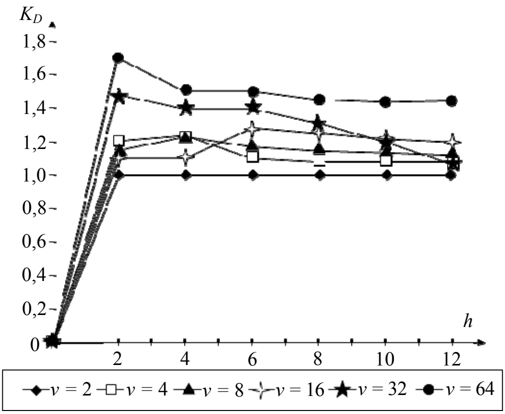

Рис. 10.

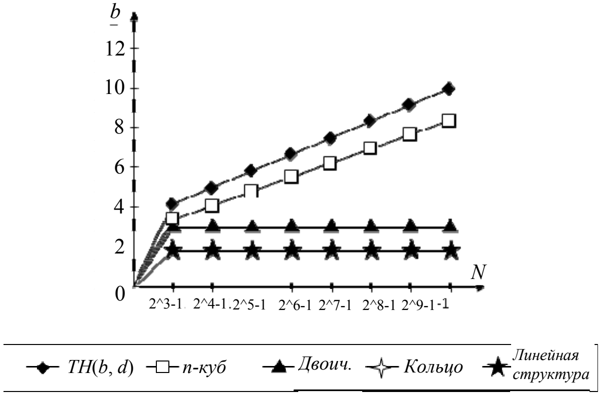

Рис. 11.

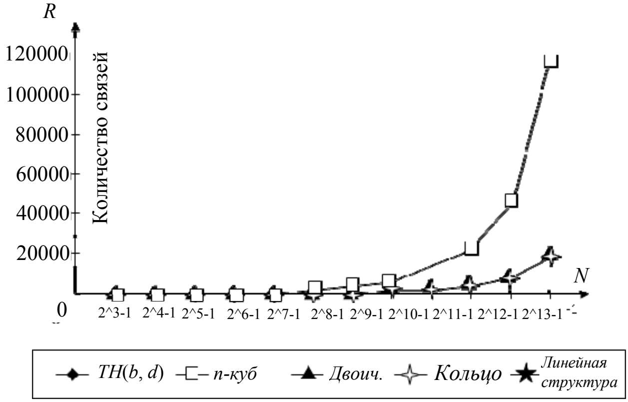

Рис. 12.

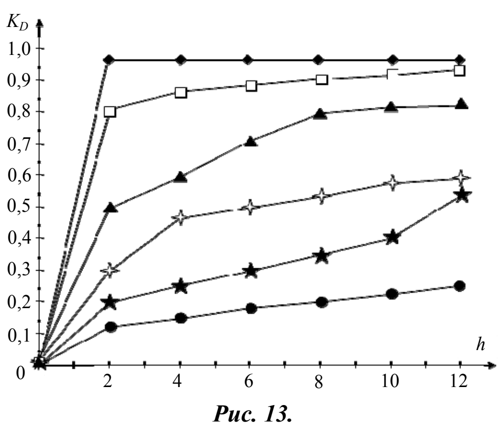

Рис. 13.

Рассмотрим использование кольцевых топологий для построения иерархического дерево-гиперкуба. Для $TH_R(2, 3)$: $N(TH_R) = 28$, $D(TH_R) = 5$, $S(TH_R) = 6$, $R(TH_R) = 39$.

Такое же количество вершин имеет дерево-гиперкуб $TH(2, 5)$: $N(TH_{(b,\,h)}) = 39$, $D(TH_{(b,\,h)}) = 5$, $S(TH_{(b,\,h)}) = 7$, $R(TH_{(b,\,h)}) = 99$.

В общем случае для $TH_R(h, v)$ имеем:

$$N(TH_R) = 2^{h+1} - 1(V + 1);$$

$$D(TH_R) = h + V;$$

$$S(TH_R) = h + 4;$$

$$R(TH_R) = N(TH_R) - 1 + (V + 1)N(TH_R) + \sum_{i=1}^{h} i2^i / 2\,.$$

Графики зависимости валентности кольцевой структуры от количества элементов для различных вариантов дерево-гиперкубических топологий при $S(TH_L) = 7$ и $S(TH_L) = \mathrm{h} + 4$ приведены на рис. 14—15, соответственно.

Определим коэффициент $\underline{K_D}$, K_S и K_R:

$$K_D = (\log N(TH_R)) / (h + v);$$

$$K_S = (\log N(TH_R) + 2) / h + 2;$$

$$K_R = R(TH_{(b,\,h)}) / R(TH_R).$$

Многомерные структуры. Иерархические дерево-гиперкубы, с вершинами которых отождествляются многомерные структуры ($TH_c(2.2)$), имеют следующие характеристики: $N(TH_c) = 28$, $S(TH_c) = 6$, $D(TH_c) = 6$, $R(TH_c) = 39$. По количеству вершин иерархический дерево-гиперкуб $TH_c(2.2)$ сравним с обычным дерево-гиперкубом $TH(b, h)$, где $h = \log N(TH_c)$, $N(TH_{(b,\,h)}) = 28$, $S(TH_{(b,\,h)}) = 6$, $D(TH_{(b,\,h)}) = 4$, $R(TH_{(b,\,h)}) = 71$.

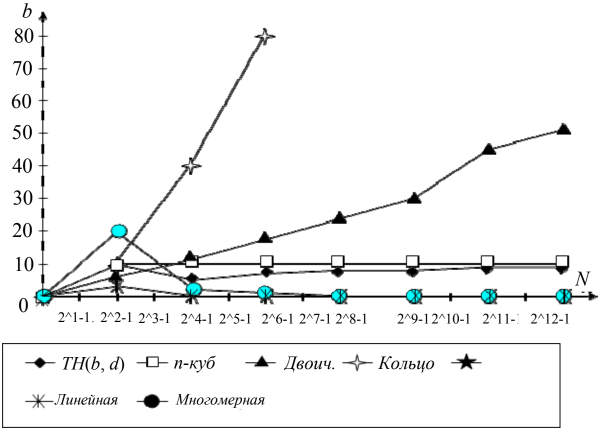

Рис. 14.

В общем случае для $TH_c(n, v)$, где $n = V$ (n-размерность куба) и $V = 1,2, \ldots, n$, имеем следующие отношения:

$$N(TH_c) = 2^{h+1} + 2^V;$$

$$D(TH_c) = h + 2V;$$

$$S(TH_c) = h + V + 2;$$

$$R(TH_c) = N(TH_c) + \sum_{i=1}^{h} i2^i / 2 + N_{THc\text{ - }1}(V2^V / 2).$$

Графики зависимости количества связи многомерной структуры от количества элементов для различных вариантов дерево-гиперкубических топологий при $S(TH_L) = h + v + 2$ приведены на рис. 16.

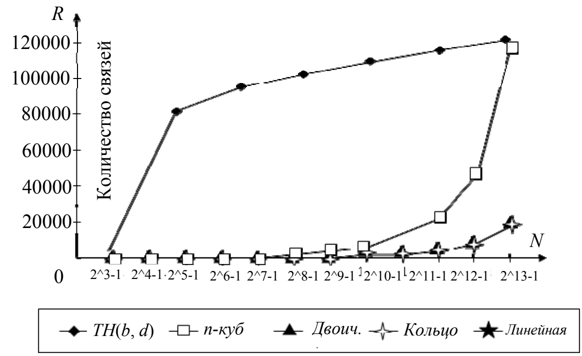

Рис. 15.

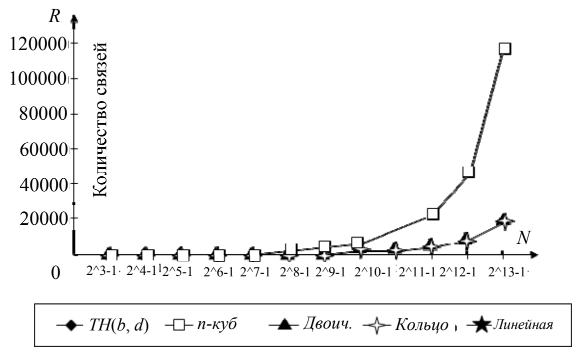

Рис. 16.

На рис. 17 и 18 представлены графики изменения коэффициентов K_D и K_S для многомерных структур, встроенных в узлы основного дерево-гиперкуба, соответственно.

На рис. 19 приведен график зависимости произведения диаметра на степени от глубины иерархии для различных дерево-гиперкубических топологий.

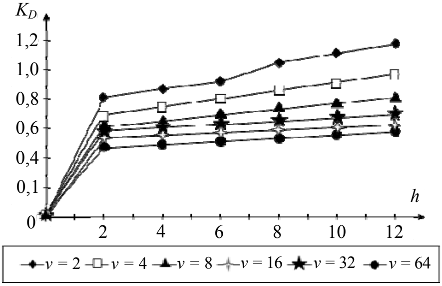

Рис. 17.

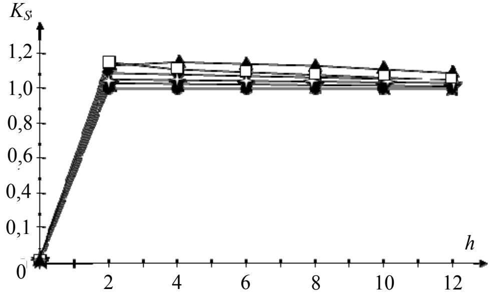

Рис. 18.

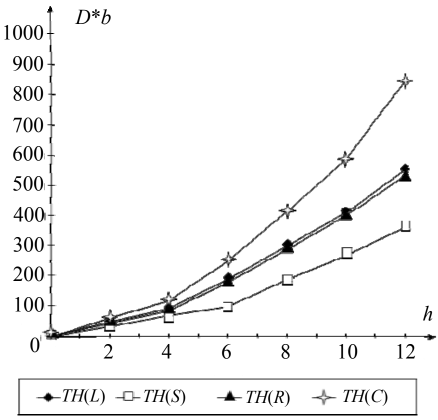

Рис. 19.

Коэффициенты сравнения для $TH(b, h)$ и $TH_c(h, v)$:

$$K_D = \log N(TH_c)) / (h + 2v);$$

$$K_S = (\log N(TH_c) + 2) / h + v + 2;$$

$$K_R = K(TH_{(b,\, h)}) / K(TH_c).$$

В таблицу 1 сведены значения метрических характеристик для различных базовых иерархических дерево-гиперкубических структур.

Таблица 1

Вид топологии	**Диаметр**	**Степень**	**Средний диаметр**	**Связанный**	**Связанность**	**Стоимость**	**Плотность трафика**
Шинная (Линейная)	$N-1$	2	$(N+1)/3$	1	1	$N-1$	$2/3*(N+1)$
Кольцо	$[N/2]$	2	$(N+1)/4$	2	2	N	$(N+1)/4$
Петля	$2(\sqrt{N-1})$	4	$(2\sqrt{N})/3$	$\sqrt{N}$	2	$2(N-\sqrt{N})$	$1/3*\sqrt{N}$
Завернутая петля	$2[\sqrt{N/2}]$	4	$\sqrt{N/2}$	$2\sqrt{N}$	4	$2*N$	$1/4*\sqrt{N}$
Звезда	2	$N-1$	2	1	1	$N-1$	$4/(N-1)$
Дерево	$2\log((N+1)/2)$	3	$2\log((N+1)/2)$	1	1	$N-1$	$2/3$ $\log((N+1)/2)$
Гиперкуб	$\log_2 N$	$\log_2 N$	$(\log_2 N)/2$	$\log_2 N$	$N/2$	$N/2\log_2 N$	1
Гиперкуб с большим радиусом	R	$3(N^{1/r}-1)$	$r/2$	$N*N^{1/r}$ 4	$3(N^{1/r}-1)$	$3N(N^{1/r}-1)$ 2	R $3(N^{1/r}-1)$
Комплекс-ный граф	1	$N-1$	1	$N-1$		$N(\underline{N}-1)/2$	$2/(N-1)$

На основе анализа графиков (рис. 9—19) и табл. 1 можно сделать вывод, что дерево-гиперкубическая топология является наиболее эффективным вариантом структурной организации топологии компьютерной сети систем мониторинга в энергетике корпоративного и локального типа, где сочетаются оптимальные значения диаметра и трафика.

Список использованной литературы:

1. Архитектура крупномасштабных вычислительных сетей; результаты, направления, методы. — М. : Экспресс-информация. ГосИНТИ, 1978. — №39. — С. 19–32.
2. Янбых Г. Ф. Методы анализа и синтеза сетей ЭВМ / Г. Ф. Янбых, Б. Я. Эттингер. — Л. : Энергия, 1980. — 104 с.
3. Зайченко Ю. П. Алгоритмы распределения трафиков в магистральной сети связи / Ю. П. Зайченко, Н. Г. Зинченко, А. В. Швецов // Техническая кибернетика. — 1978. — № 2. — С. 17–19.
4. Анализ и синтез сетей с использованием ЭВМ: Алгоритмы и программы. — М. : Наука, 1974. — С. 210–300.
5. Выбор оптимальной структуры межцентровой связи сети ЭВМ. — М. : Финансы и статистика, 1982. — 256 с.
6. Столяров Б. А. Топологическая оптимизация иерархической сети мини-машин / Б. А. Столяров, Г. Ф. Янбых // «Автоматика и вычислительная техника». — 1980. — № 3. — С. 3–12.
7. Ершов А. П. Вычислительные центры коллективного пользования / А. П. Ершов // «Вопросы кибернетики». — 1977. — Вып. 21. — С. 146–155.
8. Зайченко Ю. П. Проектирование абонентских сетей передачи данных с концентраторами для сетей ВЦКП / Ю. П. Зайченко, Л. П. Кондратова // «Управляющие системы и машины». — 1981. — № 4. — С. 128–131.
9. Зайченко Ю.П. Алгоритмы топологической оптимизации сетей передачи данных и ЭВМ / Ю. П. Зайченко // «Управляющие системы и машины». — 1977. — №4. — С. 14–19.
10. Лазарев В. Г. Топологический синтез сетей связи ЭВМ / В. Г. Лазарев, Н. Я. Паршенков // Вычислительные сети коммутации пакетов : тезисный доклад всесоюзной конференции. — Рига, 1979. — С. 240–252.
11. Зайченко Ю. П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю. П. Зайченко, Ю. В. Гонта. — К. : Технжа, 1986. — С. 168.
12. Стенг Д. Секреты безопасности сетей / Д. Стенг, С. Мун. — К. : Диалектика, 1996. — 496 с.
13. Расторгуев С. П. Программные методы защиты информации в компьютерах и сетях / С. П. Расторгуев. — М. : Изд-во «Яхтсмен», 1993. — 188 с.
14. Гроувер А. Защита программного обеспечения / А. Гроувер. — М. : Мир, 1992. — 312 с.
15. Защита информации в персональных ЭВМ / А. В. Спесивцев, В. А. Вегнер и др. — М. : Радио и связь, 1992. — 248 с.
16. Барсуков В. С. Интегральная безопасность информационно — вычислительных и телекоммуникационных сетей / В. С. Барсуков, В. В. Водолазский // Сб. «Технологии электронных коммуникаций». — М., 1993. — Т. 34. — 148 с.

The article deals with various kinds of topological structures of computer networks, focused on use in the energetics monitoring systems. The analysis of structures and selecting the most appropriate conditions regarding the optimization of the network to enable the implementation of information security means are conducted.

Key words: *network topology, information security, tree-hypercube network, ring topology.*

Отримано: 09.02.2012

УДК 004.421:519.64

В. А. Тихоход, канд. техн. наук

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ КВАДРАТУРНЫХ ФОРМУЛ ОТКРЫТОГО ТИПА

Рассмотрены вопросы исследования интегральных динамических моделей путем применения квадратурных формул открытого типа. Описаны алгоритмы решения линейных и нелинейных интегральных уравнений типа Вольтерра и их систем.

Ключевые слова: *интегральные модели динамических систем, метод квадратур, алгоритмы решения интегральных уравнений.*

Введение. Как известно, интегральные уравнения Вольтерра содержат интегральный оператор с переменным верхним пределом. При их численном решении распространенным подходом является аппроксимация интегрального оператора квадратурными суммами. При этом часто для решения скалярных интегральных уравнений применяют квадратурные формулы трапеций и прямоугольников, которые учитывают значения функций на концах отрезка интегрирования. Такие формулы называются формулами закрытого типа. При решении системы интегральных уравнений при помощи формул закрытого типа на каждом дискретном шаге возникает необходимость в дополнительном решении системы алгебраических уравнений относительно n неизвестных, где n — количество искомых функций. Избежать решения дополнительных уравнений позволяет применение квадратурных формул открытого типа, которые не учитывают в расчетах значения функции на концах отрезка интегрирования. Это позволяет уменьшить сложность алгоритмов и сократить объемы вычислений.

Квадратурные формулы Ньютона — Котеса. Метод квадратурных формул состоит [1] в замене интегрального уравнения аппроксимирующей системой алгебраических (конечных) уравнений относительно дискретных