

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

к.т.н. Ю.Ф. Кучеренко, Е.В. Шубин, О.Н. Гузько
(представил д.т.н. А.Б. Леонтьев)

В данной работе предложен генетический алгоритм синтеза топологии сети передачи данных, который отличается от известных тем, что для определения значения оптимальности получаемых топологий используется модель стоимости, в которой решается задача распределения информационных потоков в сети по кратчайшим путям, а также задача выбора оптимальных пропускных способностей каналов связи.

Постановка проблемы. В настоящее время мировое сообщество приближается к такой степени зависимости своего существования от функционирования телекоммуникационных систем, которая сравнима с зависимостью от систем обеспечения электроэнергией. Отказ телекоммуникационной системы может иметь последствия, превосходящие последствия аварий энергосистемы, а в случае если это системы силовых либо транспортных ведомств, последствия могут носить катастрофических характер. Поэтому проблема создания надежных и экономически эффективных телекоммуникационных систем (ТКС) носит актуальный характер.

Стоимость и надежность ТКС во многом определяется топологической структурой сети передачи данных (СПД). В связи с чем возникает задача разработки эффективных методов синтеза топологической структуры СПД, обеспечивающих оптимум одного из критериев (стоимость, надежность) и учитывающих ограничения по другим.

Анализ последних исследований и публикаций. Синтез топологической структуры распределенной сети может быть рассмотрен как поиск топологии, которая минимизирует затраты на подсистему каналов связи, учитывая ограничения по надежности и задержке. Это NP-трудная задача оптимизации [1], которая обычно решается посредством эвристических методов. Существует достаточно много источников, в которых описаны такие методы [2 – 7]. В последнее время для решения ряда сложноформализуемых, а также NP-трудных задач оптимизации успешно применяются генетические алгоритмы (ГА) [8], существует ряд работ, в которых предложены ГА для поиска оптимальных топологий СПД [9 – 11].

Цель статьи. Целью статьи является разработка ГА синтеза оптимальной топологии СПД по критерию минимальной стоимости аренды каналов связи.

Постановка задачи. Задача синтеза топологии СПД в общем виде формулируется следующим образом. Задано множество центров коммутации $X = \{x_j\}_{j=1 \dots N}$; матрица расстояний между всеми центрами коммутации $L = \|l_{ij}\|_{i,j=1 \dots N}$; матрица требований в информационном обмене между всеми центрами коммутации $H = \|h_{ij}\|_{i,j=1 \dots N}$, где h_{ij} – интенсивность потока, который необходимо передать из узла i в узел j в единицу времени; множество возможных пропускных способностей каналов связи $D = \{d_i\}_{i=1 \dots n}$, а также известна функция стоимости канала связи с пропускной способностью d и длиной l $C(d, l)$.

Необходимо: определить топологию СПД $M^0 = \{(r, s)\}$, найти пропускные способности всех каналов связи $\{d_{rs}^0\}$, а также найти распределение потоков в каналах связи $\{f_{rs}^0\}$, соответствующие матрице требований таким образом, чтобы обеспечить

$$\min \sum_{(r,s) \in M^0} C(d_i, l_i)$$

при ограничениях на:

- поток в канале $f_{rs} < d_{rs}$, $(r, s) \in M$;
- среднее время доставки $T_{cp} \leq t_3$;
- коэффициент связности $k_{cb} \geq k'_{cb}$.

Генетический алгоритм. Для решения данной задачи, синтеза топологии СПД предлагается генетический алгоритм, который основывается на алгоритме Холланда [12]. Ниже дана схема алгоритма.

1. Сгенерировать случайным образом популяцию топологий размера R .
2. Вычислить целевую функцию для каждой строки популяции.
3. Выполнить операцию селекции.
4. Выполнить операцию скрещивания.
 - 4.1. Выбрать пары для скрещивания.
 - 4.2. Для каждой выбранной пары: с заданной вероятностью выполнить скрещивание, получить двух потомков и произвести в популяции замену родителей на их потомков.

5. Выполнить операцию мутации: с заданной вероятностью инвертировать каждый бит новой популяции.

6. Если критерий останова не достигнут перейти к шагу 2, иначе завершить работу.

Популяция – множество битовых строк. Каждая битовая строка представляет в закодированном виде одно из возможных решений задачи. По битовой строке может быть вычислена целевая функция, которая характеризует качество решения. В качестве начальной популяции может быть использован произвольный набор битовых строк. Основные операции алгоритма: селекция, скрещивание и мутация выполняются над элементами популяции. Результатом их выполнения является очередная популяция. Данный процесс продолжается итерационно до тех пор, пока не будет достигнут критерий останова.

Операция селекции обеспечивает формирование на очередной итерации алгоритма из битовых строк, полученных на шагах 4, 5, новой популяции.

Операция скрещивания. Пары строк случайным образом выбираются из популяции для выполнения скрещивания. В предлагаемом ГА применяется "однородный" оператор скрещивания, в котором с вероятностью P_0 переходит бит первого родителя, и с вероятностью $1 - P_0$ переходит бит второго родителя.

Операция мутации. Параметр операции – порог вероятности мутации (P_m). Операция выполняется следующим образом:

– для каждого бита генерируется случайное число P'_m ;

– если $P'_m < P_m$, то бит инвертируется.

Во всех описанных ниже операциях использовался генератор случайных чисел с равномерным законом распределения.

Кодирование. Наиболее наглядным и компактным способом задания топологий являются матрицы смежности, в которых строки и столбцы помечены вершинами графа, а на пересечении строки и столбца стоит 1 или 0 в зависимости от того, имеется ли или нет ребро, идущее из метки строки в метку столбца. В силу того, что отношение смежности в неориентированных графах симметрично, т.е. $a_{ij} = a_{ji}$, следует симметричность матрицы смежности относительно главной диагонали. Поэтому, достаточно задать верхнюю треугольную матрицу, чтобы иметь всю информацию о топологии графа. Количество элементов в такой матрице будет определяться выражением

$$1 = \frac{N \cdot (N - 1)}{2}, \quad (1)$$

где N – количество вершин в графе.

Хромосома кодирующая топологию графа состоит из генов, количество которых фиксировано и определяется выражением (1). Каждый ген кодирует наличие ребра между соответствующей парой вершин (рис. 1, в).

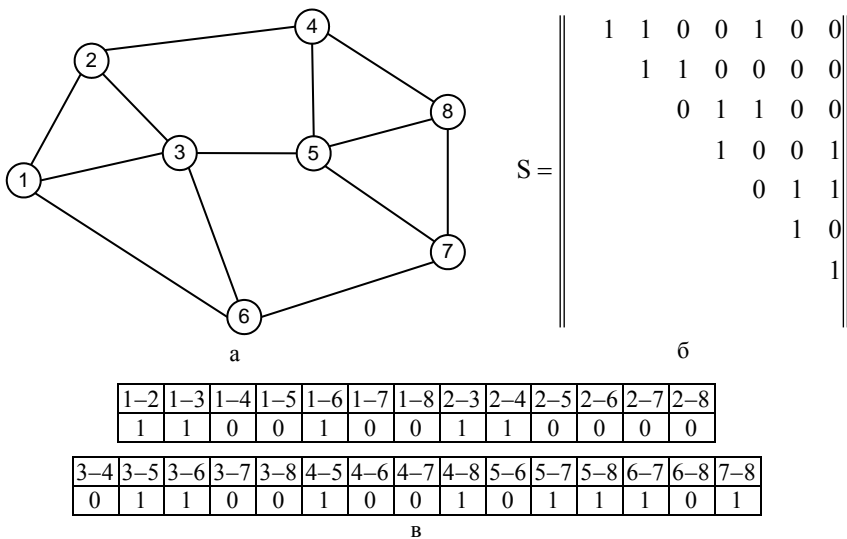


Рис. 1. Кодирование топологии графа: а – граф с $k_{CB} = 3$; б – верхняя треугольная матрица смежности; в – кодирование хромосомы

Критерий останова и целевая функция. В данном ГА признаком окончания поиска решения является отсутствие изменения средней приспособленности по популяции на протяжении 3-х поколений подряд.

В качестве целевой функции используется модель стоимости СПД [13], в которой решается задача распределения информационных потоков в сети по кратчайшим путям, а также задача выбора оптимальных пропускных способностей каналов связи.

Синтез топологии СПД. В результате экспериментов были подобраны следующие параметры генетического алгоритма: размер популяции – 300; вероятность мутации – 0,06; вероятность применения операции скрещивания – 0,80; кроссовер – однородный.

Данный алгоритм был применен для синтеза топологий СПД с 25 узлами, распложенных в областных центрах Украины, а также Симферополе. При коэффициенте связности $k=3$. Стоимость аренды цифровых каналов связи определялась согласно граничных тарифов утвержденных приказом Государственного комитета связи и информатизации Украины (приказ № 10 от 07.06.2002). Интенсивность потока h_{ij} между узлами для

всех пар была принята одинаковой и составила 50 бит/с. Ограничение по максимально допустимому времени задержки было принято 0,005 с.

В результате работы ГА была получена топология СПД со стоимостью аренды каналов связи 219,32 грн/час (рис. 2). Динамика сходимости ГА по поколениям приведена на рис. 3.

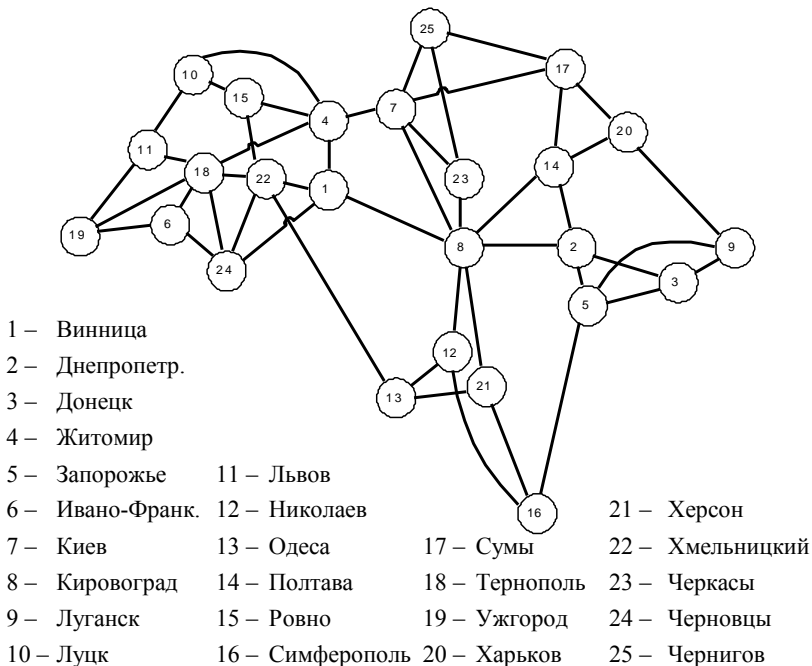


Рис. 2. Топология СПД

Выводы. Проведенные исследования показывают перспективность применения генетических алгоритмов в качестве методов синтеза оптимальных топологий СПД, которые в отличие от известных эвристических методов имеют большую вероятность нахождения глобального оптимума, что обусловлено одновременным присутствием стохастичности и градиентности в генетическом алгоритме (стохастика присутствует на этапе мутации, а градиентность отражается в правилах отбора и порождении новых особей). Это позволяет достичь высокой эффективности поиска решения, варьируя соотношение вкладов этих методов в общий алгоритм, посредством изменения вероятности мутации, определяя тем самым как много решений в среднем мутирует и насколько сильно.

Основным недостатком ГА является потребность в больших вычислительных ресурсах, как со стороны памяти, так и производительности

процессора, следствием чего является относительно большое время поиска решения (в данном случае оно составило около 76 часов для системы на процессоре Pentium 4 2400 Гц и 256 Мбайт памяти). В случае применения ГА для решения задач проектирования данный недостаток не является критическим.

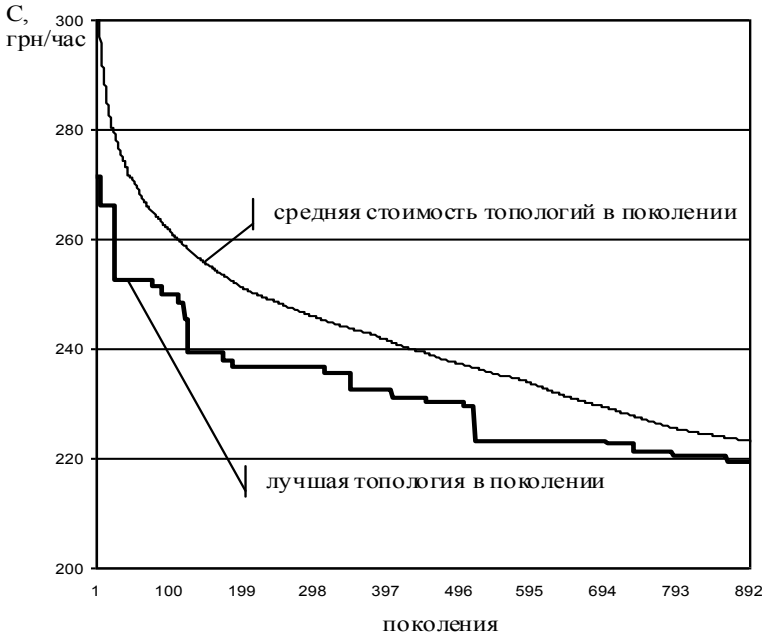


Рис. 3. Динамика работы генетического алгоритма

Одними из вариантов увеличения быстродействия ГА видится применение:

- специальных методов формирования начальной популяции топологий, учитывающих априорную информацию о проектируемой сети;
- проблемно-ориентированного оператора скрещивания, обеспечивающего формирование топологий с учетом их допустимости. Следует ожидать, что реализация данных предложений позволит уменьшить размеры популяции, а также снизить количество формируемых поколений в процессе поиска решения, следствием чего будет уменьшение времени поиска решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касьянов В.Н., Евстегнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
2. Satoyenko S.I. Application of heuristic problem-solving methods in computer communication networks // *Mach. Intell.* – 1985. – Vol. 3, no. 4. – P. 197–210.
3. Kershenbaum A., Kermani P., Grover G.A. MENTOR: An algorithm for mesh network topological optimization and routing // *IEEE Trans. Commun.* – 1991. – Vol. 39, no. 4. – P. 503–513.
4. Rose C. Low mean internodal distance network topologies and simulated annealing // *IEEE Trans. Commun.* – 1992. – Vol. 40, no. 8. – P. 1319–1326.
5. Dutta A., Mitra S. Integrating heuristic knowledge and optimization models for communication network design // *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* – 1993. – Vol. 5, no. 6. – P. 999–1017.
6. Pierre S. A learning-by-example method for improving performance of network topologies // *Eng. Applicat. Artif. Intell.* – 1994. – Vol. 7, no. 3. – P. 279–288.
7. Dengiz B., Alabas C. A simulated annealing algorithm for design of computer communication networks // *In Proceedings of World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics.* – SCI 2001. – Vol. 5. – P. 34–39.
8. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – X.: Основа, 1997. – 112 с.
9. Pierre S., Legault G. A Genetic Algorithm for Designing Distributed Computer Network Topologies // *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics–part b: Cybernetics.* – 1998. – Vol. 28, № 2. – P. 249–258.
10. Topology Reconfiguration of an IP Network Embedded over an ATM Network, 2001. *IEICE TRANS. COMMUN., Vol. E84-B, № 11.*
11. Reichelt D., Rothlauf F., Gmilkowsky P. Designing reliable communication networks with a genetic algorithm using a repair heuristic // *In Proceedings 4th European Conference.* – EvoCOP 2004. – Vol. 3004 of LNCS. – P. 177–187.
12. Holland J.N. *Adaptation in Natural and Artificial Systems.* – Ann Arbor, Michigan: Univ. Michigan Press, 1975. – 320 p.
13. Шубін Є.В. Задача розподілу інформаційного потоку та визначення перепускних здатностей каналів зв'язку для моделі вартості СОД // *Радиоелектроника и информатика.* – 2001. – № 4. – С. 47–48.

Поступила 15.10.2004

КУЧЕРЕНКО Юрий Федорович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, начальник отдела – заместитель начальника управления Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. В 1984 году окончил Харьковское высшее военное авиационное училище радиоэлектроники. Область научных интересов – проектирование и функционирование телекоммуникационных систем.

ШУБИН Евгений Викторович, научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. В 1995 году окончил Харьковский институт летчиков. Область научных интересов – применение эволюционных методов оптимизации в телекоммуникационных системах. E-mail webres@mail.ru.

ГУЗЬКО Ольга Николаевна, научный сотрудник Объединенного научно-исследовательского института Вооруженных Сил. Область научных интересов – проектирование систем связи.
