

УДК 007, 681.324

Д.М. Скуднев, А.П. Шибанов

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Предложен генетический алгоритм нахождения оптимальных балансов загрузки каналов структурированной кабельной системы (СКС), а также резервной полосы пропускания СКС для сети Ethernet. Разработана компьютерная программа реализации алгоритма. Отмечаются возможности ее применения для повышения показателей качества сети Ethernet.

Ключевые слова: компьютерные сети, структурированная кабельная система, генетический алгоритм, Ethernet, оптимизация.

Введение. В настоящее время в нашей стране не существует нормативных документов, которые определяли бы структурированную кабельную сеть Ethernet как технический объект, кроме того, отсутствуют стандарты на ее проектирование. При создании СКС Ethernet разработчики используют либо ГОСТ 34.601-90, либо иностранные нормативные документы: международный ISO/IEC 11801; американский ANSI/TIA/EIA 568A; европейский (для стран Европейского союза) EN 50173. В них определены основные технические характеристики оборудования и требования к прокладке кабеля для всех типов локальных сетей. Проектные же решения, как правило, принимаются на основе инженерного опыта и интуиции и не всегда оказываются наилучшими. Добиться более высоких качественных характеристик СКС Ethernet можно с использованием современных высокоэффективных средств автоматизированного проектирования с поэтапным выполнением проектных работ.

Для построения СКС Ethernet с возможно более высокими показателями качества необходимо иметь полное представление об информационных потоках, циркулирующих в ней, а также о воздействии на показатели качества сети коллизий, что необходимо для расчета задействованной и резервных полос пропускания СКС.

На первом этапе проектирования определяются конструкция стояков, расположение кроссовых панелей, технические особенности прокладки кабельных трасс. На втором этапе производится подбор соответствующего коммутационного оборудования. К коммутатору могут подключаться: персональный компьютер, сегмент Ethernet, к которому подсоединены компьютеры, работающие в полудуплексном режиме,

или иные источники трафика в локальной сети, но в дальнейшем мы будем пользоваться только термином компьютер. Для выбора типа оборудования нужны следующие основные сведения о проектируемой сети:

- назначение СКС Ethernet (для функционирования рабочих групп, для IP-телефонии, для передачи видео-, аудио- и телевизионной информации, для систем управления технологическим оборудованием, для систем контроля доступа, для систем видеонаблюдения и т.п.);

- направление информационных потоков, циркулирующих в сети, средние скорости передачи, величина и длительность интервалов времени пульсации трафика;

- перспективы расширения СКС.

В каждом центре коммутации СКС, как правило, имеется несколько коммутаторов, а в главном центре коммутации их может насчитываться не один десяток. В настоящее время подключение кабельных трасс к коммутаторам и подключение коммутаторов между собой основано на инженерном опыте и интуиции, а в лучшем случае – на методе экспертных оценок. При этом непросто исключить субъективизм при принятии решения, а получение результата, близкого к оптимальному, не гарантируется. Таким же образом осуществляется и выбор оборудования.

Поэтому весьма актуальной является задача разработки формальных подходов к определению структуры СКС Ethernet на основе имеющейся информации о возможных вариантах реализации конструкции СКС, стоимостных характеристиках комплектующих, а также особенностях трафика, порождаемого теми или иными приложениями пользователей. В настоящей статье для оптимизации СКС предлагается применение генетического алгоритма.

Постановка задачи. В соответствии со спецификацией IEEE 802.3 соединение коммутаторов между собой и подключение компьютеров к коммутаторам в Ethernet выполняются в виде дерева. Превышение допустимых нагрузок в том или ином участке дерева приведет как минимум к замедлению работы, а в худшем случае – к блокировке работы подключенных к коммутаторам сегментов. Подключение клиентских компьютеров к коммутаторам должно быть произведено таким образом, чтобы, с одной стороны, снизилась нагрузка на коммутаторы и каналы связи, а с другой – остался максимально возможным резерв пропускной способности каналов связи, агрегирующих множество информационных потоков пользователей, работающих одновременно. В конечном итоге, это позволяет повысить показатели качества сети.

Решение задачи. В пределах одного коммутационного пространства СКС возможно создание очень большого числа вариантов топологии сети Ethernet. Непосредственное сравнение этих вариантов практически невозможно из-за неприемлемых затрат машинного времени.

Фитнес-функция (функция полезности) генетического алгоритма должна быть реализована так, чтобы при “прокладке” новых логических каналов в физических каналах соблюдался принцип “нанесения трафику наименьшего ущерба”. Необходимо сбалансировать нагрузку таким образом, чтобы по возможности уменьшить трафик в наиболее загруженных каналах. Это приведет к увеличению трафика в других магистралях системы. Кроме того, нужно стремиться к тому, чтобы во всех каналах оставался достаточный свободный резерв производительности в относительных единицах. Оптимизация структуры СКС Ethernet производится в соответствии с выражением $\min[\max(\sum \lambda_{i,j})]$, где $\lambda_{i,j}$ – трафик между произвольными узлами i, j . Для каждого из каналов древообразной структуры СКС определяется:

- задействованная полоса пропускания, соответствующая средней скорости передачи;
- объем резервной полосы пропускания на случай возникновения кратковременных пульсаций трафика (существенного увеличения на заданном интервале времени средней скорости передачи);

- стоимость арендуемой у провайдера (организации – поставщика сетевых услуг) основной и резервной полос пропускания каналов (стоимость аренды технических средств).

Фитнес-функция вычисляется с использованием программы имитации основных функций

протокола канального уровня сети Ethernet, сегменты которой соединяются коммутаторами. В режиме оценки фитнес-функции в программе отключается выдача на экран компьютера графической информации. Это позволяет обеспечить высокое быстродействие программы, так как фитнес-функция вычисляется многократно.

Структура генетического алгоритма представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура генетического алгоритма

Размер хромосом зависит от количества компьютеров в сети и от количества используемых коммутаторов. Соединения между ними задаются в виде таблицы сопряжения элементов.

Задача получения оптимальной структуры СКС Ethernet разделяется на две подзадачи: 1) нахождение наилучших подключений компьютеров к коммутаторам, 2) реализация оптимальных связей между коммутаторами.

Подключение компьютеров к коммутаторам отражается в структуре хромосомы. Каждый из последовательности генов представляет собой закодированный в десятичном виде номер коммутатора. Компьютер может быть подключен только к одному коммутатору. К коммутатору не может быть подключено компьютеров больше,

чем число портов коммутатора. Связь между коммутатором и компьютером задает десятичное число – указатель на номер коммутатора.

В качестве примера в таблице приведены наборы жизнеспособных хромосом для сети, в которой содержится 50 рабочих станций и 7 коммутаторов. Например, первая хромосома указывает, что компьютер 1 подключен к коммутатору 4, компьютер 2 – к коммутатору 1, ..., компьютер 50 – к коммутатору 3. Нумерация коммутаторов в хромосоме начинается с 0.

Набор из 10 хромосом

№ п/п	Структура жизнеспособных хромосом в десятичном виде
1	4124134224023060326010116 2564405264634340613101023
2	0430503135343331146061665 3046263665662541114002510
3	2421104342426453056454441 5260033052510335350560544
4	3530402300614512215513120 3541504206600305643564442
5	4220201555504443312551022 1056040033506412032454432
6	1266204444645616525200146 2252561640101665220535445
7	0240142255030321066345635 2105456516205026332542100
8	3352651212142233415516112 3062601220460501102354113
9	1015052543364266344346612 5343041321105454103644064
10	0146313414001253605126566 5041666366144246622064134

Кроссовер, иногда называемый кроссинговером, реализует функцию передачи участков генов от родителей к потомкам. Для этого используется оператор скрещивания хромосом. При скрещивании задается точка разрыва хромосом или точка кроссирования. В данной работе используется одноточечная операция скрещивания. При этом хромосомы родителей разрываются в некоторой случайно выбранной позиции, одинаковой для обоих родителей. Для создания хромосом потомков используются комбинации сегментов хромосом родителей.

На первом этапе скрещивания выбираются пары хромосом из родительской популяции, которые создают временную популяцию хромосом. Над этой популяцией выполняются операции скрещивания, в результате выполнения которых формируется новая популяция потомков. Родительские хромосомы объединяются в пары случайным образом. Вероятность скрещивания больше у тех пар, у которых лучше значение фитнес-функции. Далее для каждой пары хромосом случайным образом определяется точка раз-

рыва или точка скрещивания. Если хромосома каждого из родителей состоит из L генов, то точка скрещивания k выбирается равномерно из отрезка $[1, L - 1]$.

В результате скрещивания пары родительских хромосом А и В образуется пара потомков С и D. Хромосома потомка С состоит из генов родителя А, находящихся с позиции 1 до позиции k включительно, и генов родителя В, находящихся на позициях с $k + 1$ до L включительно.

Хромосома потомка D состоит из генов родителя В, находящихся с позиции 1 до позиции k включительно, и генов родителя А, находящихся на позициях с $k + 1$ до L включительно.

Если, например, хромосомы родителей А и В закодированы как 01100100121102012021 и 10122010101201012101 (20 компьютеров подключаются к 3 коммутаторам) и разрываются они посередине, то хромосомы потомков С и D представляются как 01100100121201012101 и 10122010101102012021.

Из двух полученных потомков выбирается один с вероятностью 0,5. Далее все выбранные потомки помещаются в общую популяцию, к которой применяется оператор селекции.

К хромосомам полученной временной популяции применяется оператор мутации. Случайным образом выбирается ген хромосомы. В данном случае он определяет номер коммутатора. Значение (аллель) этого гена изменяется также случайным образом, и если значение фитнес-функции при этом не ухудшается, то новая хромосома включается во временную популяцию. Размер временной популяции определяется по пороговому значению фитнес-функции.

Оценивая фитнес-функции хромосом последовательно порождаемых популяций, получаем решение, близкое к оптимальному. Останов алгоритма производится либо по выполнению заданного числа операций скрещивания, либо в тот момент, когда значение фитнес-функции перестает улучшаться.

Второй решаемой задачей является нахождение оптимальной структуры соединения между собой коммутаторов в СКС. При этом необходимо учесть, что при соединении коммутаторов не должно образовываться петель. Число всевозможных соединений n коммутаторов, образующих дерево, равно $n!$. При небольших значениях n нахождение остова с наименьшей суммарной стоимостью связей можно реализовать с использованием алгоритма Прима-Краскала. Однако в современных локальных сетях, например в вузах, число коммутаторов измеряется десятками. Поэтому для нахождения

оптимальных связей между коммутаторами в СКС Ethernet также используется генетический алгоритм.

Топология сети задается матрицей связности коммуникационных устройств, которая симметрична относительно главной диагонали, соответственно все связи, расположенные ниже главной диагонали, можно не учитывать. Сформируем хромосому, последовательно соединяя строки матрицы связности, не включая элементы, расположенные на главной диагонали и ниже нее (рисунок 2).

В данном примере получим следующую хромосому: 100110110000001000000.

Начальная популяция формируется следующим образом. Случайно выбирается одна вершина первого уровня. После этого также случайным образом определяются число вершин второго уровня и их номера, а также связи между вершиной первого уровня и вершинами второго уровня. Аналогичным образом строятся и следующие уровни иерархии дерева.

Длина хромосомы будет равна количеству элементов матрицы выше главной диагонали и составит $l = [n_{sw}(n_{sw} - 1)] / 2$, где n_{sw} – количество коммутаторов в СКС Ethernet.

После формирования начальной популяции работа генетического алгоритма оптимизации соединений коммутаторов СКС между собой принципиально не отличается от функционирования генетического алгоритма оптимизации связей компьютеров с коммутаторами.

Заключение. Результаты исследования легли в основу созданных программ с использованием среды программирования Delphi и языка C++. Графические интерфейсы программ позволяют вводить следующие данные: число компьютеров в сети, число коммутаторов, спецификации СКС Ethernet и генетического алгоритма.

Из анализа результатов моделирования можно сделать вывод об эффективности применения на практике генетических алгоритмов для нахождения оптимальных характеристик СКС Ethernet. Пользуясь программой, системный администратор может лучше сбалансировать нагрузку и определить резерв полосы пропускания каналов СКС Ethernet для множества информа-

ционных потоков. Применение программ позволило увеличить на 5–7% резервную полосу пропускания по каждой кабельной “связке” СКС Ethernet от коммутатора к сегментам Ethernet по сравнению с вариантами структуры, использовавшимися в локальной сети Липецкого государственного университета. Это дало возможность более эффективно обрабатывать “всплески” трафика в каналах СКС, уменьшить очереди в буферах коммутаторов и снизить задержки при передаче пакетов.

	SW 1	SW 2	SW 3	SW 4	SW 5	SW 6	SW 7
SW1	0	1	0	0	1	1	0
SW2	1	0	1	1	0	0	0
SW3	0	1	0	0	0	0	0
SW4	0	1	0	0	0	0	0
SW5	1	0	0	0	0	0	0
SW6	1	0	0	0	0	0	0
SW7	0	0	1	0	0	0	0

Матрица связей

1	0	0	1	1	0
	1	1	0	0	0
		0	0	0	1
			0	0	0
				0	0
					0

Используемая часть матрицы для формирования хромосомы

Рисунок 2 – Формирование хромосомы для алгоритма соединения коммутаторов

Работа поддержана Российским Фондом фундаментальных исследований, грант 07-07-00146-а.