

УДК 004.738:004.055

В.И. Саенко, Д.И. Алексеев

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРА ПУТЕЙ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Рассматривается метод формирования набора тестовых путей в компьютерной сети. Метод основан на оценивании значимости путей в топологии сети. Метод предназначен для использования в системах непрерывного мониторинга.

Ключевые слова: трафик, мониторинг, компьютерная сеть, маршрут, путь, маршрутизатор, качество сервиса, политика.

1. Описание проблемы и анализ известных результатов исследований

Использование компьютерных сетей неизменно связано с решением задач обеспечения некоторого QoS (качества сервиса). Усложнение структур сетей, переход к NGN архитектурам, повышение интеллектуальности сетей приводит к решению некоторых противоречивых задач. С одной стороны необходимо обеспечивать достаточно высокую готовность сети для передачи данных и обеспечения сервисов и, следовательно, достаточно частое тестирование существующих путей передачи данных. С другой стороны дополнительное тестирование сети создает ненужную перегрузку этих путей и транзитных узлов. Компромисс может быть найден при выборочном тестировании, но тогда возникает вопрос, как выбрать такие наборы путей для тестирования. Пути образуются маршрутизаторами. Следовательно, готовность сети обеспечивается готовностью маршрутизаторов. Тестирование заключается в передаче между узлами сети тестовых пакетов и на основании результатов передачи пакетов делается заключение о работоспособности или неработоспособности маршрутизаторов. Существует много различных подходов реализации тестирования компьютерной сети. Могут использоваться различные интеллектуальные процедуры [1] или много уровневые решения [2].

Интересным подходом, предложенным в [8], является тестирование компьютерной сети на основе разбиения ее на множества корневых и граничных маршрутизаторов, с последующим использованием сквозных тестов. Развитием этого метода является [5, 11].

Более глубокое решение возможно получить при использовании специальных показателей оценивания состояния сети. Вопросы оценивания состояния сети и маршрутов достаточно широко обсуждаются в литературе [3, 9]. Считаем, что оригинальным и удачным дополнением к имеющимся

решениям выбора таких показателей является [12].

Целью статьи является разработка метода определения такого набора путей для тестирования компьютерной сети, использование которого минимизировало бы влияние тестирующего трафика, но в то же время полученный набор путей должен охватывать все узлы сети и связи между ними.

В настоящей статье в п.2 кратко представлено описание объекта исследования, в п.3 рассмотрены методологические вопросы диагностики сети и концепция формирования предпочтительного набора путей для тестирования сети в п.4, описание метода в п.5, в п.7 представлены численные результаты испытаний метода, в выводах формализованы основные научные и практические результаты.

2. Постановка задачи и описание объекта исследования

Описание объекта. Пусть существует корпоративная компьютерная сеть, построенная по принципу дифференцирования сервисов. Требование корпоративности означает, что в сети существует единая политика, разрешающая использование специальных программ-агентов на узлах сети (маршрутизаторах, рабочих станциях) и технологий для тестирования сети.

Компонентами компьютерной сети являются *корневые маршрутизаторы*, которые образуют магистраль сети, *граничные маршрутизаторы*, к которым подключены непосредственно пользовательские сегменты сети, а также рабочие станции и серверы.

Постановка задачи сводится к разработке метода формирования такого набора путей для тестирования сети, который бы охватывал все узлы и связи в сети и при этом сокращал общий объем тестов при полном переборе.

Применение метода должно сократить трафик, создаваемый тестирующими пакетами, за счет сокращения общего количества путей для тестирования.

3. Методологические основы формирования набора путей для тестирования компьютерной сети

Пусть задана топологическая структура сети. Будем использовать понятия: *путь* (path) P_{ij} – это последовательность связей между маршрутизаторами, причем каждый маршрутизатор используется лишь однажды, а между соседними маршрутизаторами существует физическая связь. Путь между двумя граничными маршрутизаторами складывается из отрезков путей X_{ik} , например, $P_{ij} = (X_{ik}, X_{kj})$, где i, j – граничные маршрутизаторы, а k – промежуточный маршрутизатор; *связь* $X_{ik} = (i, j)$ – это соединение двух соседних маршрутизаторов. Маршрутизаторы сети будем делить на граничные и корневые, $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – множество корневых маршрутизаторов, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество граничных маршрутизаторов, $X = \{X_{12}, X_{ij}, \dots, X_{kl}\}$ – множество всех связей сети.

Будем полагать, что рассматривается сеть, находящаяся в эксплуатации и для нее задано множество поддерживаемых путей $P^F = \{P_{ij}, P_{kl}, \dots, P_{nm}\}$.

В сети имеются альтернативные пути двух типов. Первый тип – альтернативный путь в данной сети. Второй тип – альтернативный путь через другую сеть. Все доступные сети рассматриваются как единое доступное для пользователя пространство (концепция NGN).

Будем полагать, что в сети принята методология тестирования, основанная на использовании метода «граничного мониторинга» [8]. Метод «граничного мониторинга» основан на том, что проводится тестирование всех путей между парой граничных маршрутизаторов. Считается, что в этом случае внутренние узлы будут автоматически протестированы.

Будем полагать, что тестирование всех поддерживаемых путей в сети изначально избыточно. Формально, с одной стороны, если все пути и все маршрутизаторы работоспособны, то работоспособны будут и все маршруты. С другой стороны, тестирование всех путей приводит к повторному тестированию отдельных узлов и связей. Следовательно, теоретически существует некоторое множество из поддерживаемых путей, которые обеспечат тестирование всех связей и узлов.

Сформулируем базовую гипотезу, в рамках которой будет предложено основное решение.

Гипотеза 1.

В компьютерной сети существует такой набор тестируемых путей, который покрывает все узлы и связи и при этом обеспечивает оптимальные в некотором смысле условия проведения тестирования.

Введем понятие «представительности» набора тестирования.

Определение 1.

Набор путей будет *представительным* в том случае, если в этот набор войдут все пути в сети, т.е. в наборе все узлы и связи между узлами будут входить в данный набор, по крайней мере, один раз.

Для каждого рассматриваемого набора тестирования необходимо определять еще степень повторного тестирования (кратности тестирования каждого узла).

Предполагается, что, сеть правильно спроектирована и построена, а также, что при нормальном функционировании сети потоки, проходящие сквозь эту сеть не испытывают больших задержек и потерь.

Предлагается производить оценивание качества выбора тестового набора в соответствии с критериями важности и сложности [1]. Далее предлагается сформировать такой предпочтительный набор путей, в соответствии с которым можно провести тестирование всех маршрутов в компьютерной сети. Использование такого подхода снизит нагрузку, создаваемую тестирующим трафиком. В итоге определяются наборы путей, которые состоят из набора граничных маршрутизаторов, набора корневых маршрутизаторов и набора связей между ними.

4. Концепция формирования предпочтительного набора путей для тестирования

Полученный при использовании разрабатываемого метода набор предпочтительных путей должен удовлетворять следующим требованиям.

Требование А1. Среди заданного множества путей P^F необходимо определить предпочтительное подмножество P' , такое, что $P' \in P^F$, которое бы позволило провести тестирование сети с наименьшими нагрузками на сеть тестирующим трафиком $Load(test) \rightarrow \min$.

Требование А2. Полученное подмножество путей P' должно включать в себя все маршрутизаторы тестируемой сети и связи между всеми узлами

$$P' \cap ((E \cup C) \cup X) = (E \cup C) \cup X.$$

4.1. Оценка пути по критерию важности

Для определения набора предпочтительных путей предлагается для каждого пути из заданного множества, составляющих компьютерную сеть, сформировать некоторую оценку важности. Степень важности пути можно определить по важности составляющих данный путь маршрутизаторов и связей между ними. Критерий важности должен удовлетворять следующим требованиям.

Оценивание входящих в путь узлов и связей должно производиться на основании оценки опре-

деленных параметров компьютерной сети или оценок экспертов. Критерий важности может быть определен как взвешенная сумма показателей стоимости ($Z_{ij}^{(p)}$), емкости ($E_{ij}^{(p)}$) и загрузки ($L_{ij}^{(p)}$) для каждого сегмента. Рассчитываются эти показатели для каждого выбранного пути отдельно в соответствии с [12]. Если частные показатели не известны, то проводится оценка на основании экспертного анализа. Рекомендации этого оценивания подробно рассмотрены в [1].

Над полученными значениями показателя важности проводим операцию нормирования/

$$V' = (B_i - B_{\min}) \setminus (B_{\max} - B_{\min}) \quad (1)$$

Требование В1. Разрабатываемый метод должен удовлетворять критерию важности

$$V' \rightarrow \max \quad (2)$$

Сформулируем еще два требования

Требование В2. Первый и последний корневого маршрутизатор, входящий в путь, должен иметь наибольшее значение важности, потому что выход из строя такого маршрутизатора полностью парализует передачу данных по этому пути.

Требование В3. Пути, имеющие наивысшую оценку по критерию важности, необходимо тестировать в первую очередь.

4.2. Оценка маршрута по критерию сложности

Для оценки пути по критерию сложности производится определение количества маршрутизаторов, составляющих оцениваемый путь и определение количества связей, составляющих данный путь. Согласно [1] имеем $D = K + M = 2M - 1$. Нормируем полученные значения сложности для каждого пути

$$D' = (D_i - D_{\min}) \setminus (D_{\max} - D_{\min}) \quad (3)$$

Так как сложность представляет собой величину, для которой, чем больше значение, тем хуже с точки зрения сети, то меняем оценку, переходя к обратной зависимости нормированного значения сложности

$$D'' = 1 - D' \quad (4)$$

Требование D1. Метод должен удовлетворять критерию сложности

$$D'' \rightarrow \max \quad (5)$$

В свою очередь критерий сложности порождает необходимость принятия следующего требования.

Требование D2. Пути, имеющие наивысшую оценку по критерию сложности, необходимо тестировать в последнюю очередь.

4.3. Формализация решения задачи выбора предпочтительного набора путей

Пусть P_{ij}^k - k-й вариант пути между граничными маршрутизаторами i и j . Пусть множество *предпочтительных* путей будет определено как

$$P' = P_{ij}^1 \cup P_{ih\dots}^1 \cup P_{nm}^k$$

Пусть $\chi(P)$, $\wp(P)$ – операторы выбора набора связей и вершин из маршрута (P) . Тогда $\chi(P^F)$, $\wp(P^F)$ - множество всех связей и вершин графа компьютерной сети. Множество всех узлов сети определяется как $P^F = E \cup C$, где E, C – множества граничных и корневых маршрутизаторов, а X - множество всех связей в сети. Если определен некоторый набор маршрутов P' , то условие полного покрытия им всех узлов сети запишется как

$$(E \cup C) \cap \wp(P') = (E \cup C) \quad (6)$$

Аналогично для всех связей имеем

$$X \cap \chi(P') = X \quad (7)$$

Введем оценку $a(P_{ij}^k)$ принадлежности связи какому-либо пути. Будем использовать правило: если связь входит в путь, то в соответствующей ячейке выставляем «1», в остальных случаях «0».

Правило 1.

$$a(P_{ij}^k) = \begin{cases} 1, \forall k \ X_{mn} \in P_{ij}^k \\ 0, \forall k \ X_{mn} \notin P_{ij}^k \end{cases} \quad (8)$$

Решение задачи выбора предпочтительного набора путей сводится к выбору подмножества P' из всех существующих путей P^F .

Оптимальность решения задачи выбора предпочтительного набора заключается в том, что предлагается в процессе формирования набора учитывать не один отдельно взятый критерий, а комплекс совместно учитываемых критериев, характеризующих пути в компьютерной сети. В данном конкретном случае предлагается использовать критерии важности и сложности путей в компьютерной сети. Если основным считать условие минимизации сложности, $D \rightarrow \min$, то важность может быть использована как ограничение $V > V^*$, где V^* - некоторый порог, например, 0.5. Требования В3 и D1 позволяют уточнить формализацию решаемой задачи устранить противоречия в многокритериальной задаче.

Выбор части путей создает условия снижения на сеть служебного трафика $Load(test) = Load(P') \rightarrow \min$. Пусть при тестировании сети по всем путям имеем нагрузку $Load(P^F) \rightarrow Load^F$, где $Load^F$ – некоторый порог нагрузки. Тогда задача выбора предпочтительного набора путей может быть представлена как

$$P' = P_{mn}^1 \cup P_{ih\dots}^1 \cup P_{ij}^k \mid (E \cup C) \cap \wp(P') = (E \cup C)$$

$$X \cap \chi(P') = X,$$

$$D \rightarrow \min,$$

$$V > V^*, \quad Load(P') < Load^F.$$

Для итогового оценивания предлагается использовать выражение-функцию

$$f(D, B) = (k_1 D^n + k_2 B^m) \setminus 2, \quad (9)$$

где $k_1 + k_2 = 1$, k_1 и k_2 весовые коэффициенты, позволяющие учитывать приоритет важности и сложности. Это позволит более гибко оценивать влияние каждого показателя на выбор предпочтительного пути. Из любых сравниваемых путей $P_{ij}^k \in P'$ предпочтительным будет тот, для которого выполняется условие

$$P_{ij}^{(k)} \in P' \mid f(P_{ij}^{(k)}) = \max_k \{f(P_{ij}^{(k)})\} \quad (10)$$

В результате формируется набор путей P' , который не содержит альтернативных путей, т.е. каждый путь в наборе является уникальным.

4.4 Оценка качества полученного предпочтительного набора

При получении разных решений по набору путей можно провести их сравнительный анализ. Предлагается для этого использовать обобщенные оценки, а именно, показатель степени использования всех путей v_j , показатель сложности путей D_j , показатель числа повторного тестирования связи ξ_j .

Оценивание производится в соответствии с

$$v_j = M\{\chi(P_j')\} \setminus M\{\chi(P^F)\},$$

где $M\{\chi(P_j')\}, M\{\chi(P^F)\}$ – мощности множеств связей сети для j -го набора путей, $D_j = \sum_i D_{ji}$, где D_{ji} - оценки сложности для каждого пути i из набора j . $\xi_j = \max_i b_{ji}$, где b_{ji} - число повторного тестирования связи i из набора j .

При этом справедливы критериальные условия

$$v_j \rightarrow \min, D_j \rightarrow \min, \xi_j \rightarrow \min. \quad (11)$$

Т.е., если существуют разные решения по формированию предпочтительного набора тестируемых путей P' , то тот набор лучше, у которого показатели имеют лучшие значения в соответствии с критериальными условиями (11).

5. Метод формирования представительного набора путей для тестирования маршрутизаторов

1. Проводим анализ структуры компьютерной сети с целью определения «границ», то есть тех маршрутизаторов к которым подключены непосредственно пользовательские сегменты сети.

2. Определяем множества граничных E , корневых C маршрутизаторов, а также множество связей между маршрутизаторами X_{ij} , где i и j - соседние маршрутизаторы. Относительно каждого

граничного маршрутизатора из множества E формируем набор путей к остальным маршрутизаторам из этого же множества. Полученное множество будет полным множеством путей P^F . Формируем наборы путей $P' = \{P_{ij}^k\}$, где i и j номера граничных маршрутизаторов, а k - номер альтернативного пути.

3. На основании полученного набора путей формируем таблицу соответствия связей в пути по правилу 1(8).

4. Оцениваем показатели сложности (4) для полученного на шаге 3 набора путей P' . Заносим полученные значения в результирующую таблицу.

5. Оцениваем показатели важности (2) для полученного набора путей P' . Полученные значения критерия важности занесем в таблицу.

6. Проводим комплексную оценку всех путей (9). Эта оценка учитывает совместное влияние найденных значений критериев важности B и сложности D . Полученные значения заносим в результирующую таблицу.

7. На основании значений, занесенных в результирующую таблицу, выбираем по одному из альтернативных путей.

8. Проверяем, включает ли полученный набор путей все маршрутизаторы и связи между ними.

8.1 Если все маршрутизаторы и связи между ними содержатся в полученном наборе путей P' , т.е.

$$P' \cap C = C,$$

где $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – множество корневых маршрутизаторов,

$$P' \cap E = E,$$

где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество граничных маршрутизаторов,

$$P' \cap X = X,$$

где $X = \{x_{12}, x_{13}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{mn}\}$ – множество связей между маршрутизаторами, то набор предпочтительных путей сформирован.

8.2 Если полученный набор путей не охватывает все маршрутизаторы и связи между ними, то продолжаем формировать набор предпочтительных путей.

9. Для продолжения формирования предпочтительного набора из оставшихся путей формируем дополнительный набор $P'' = \{P_{ij}^{(k)} \mid P_{ij}^k \notin P'\}$, который уже может содержать пути, альтернативные путям из набора P' .

10. Проверяем, включает ли объединение наборов $P' = P' \cup P''$ все маршрутизаторы и связи между ними (аналогично шагу 8). Если нет, то повторяем шаг 9 с формированием дополнительного набора путей. Если да, то предпочтительный набор сформирован.

Метод формирования оценки качества полученного предпочтительного набора

1. Вычисляем степень использования всех путей, вошедших в набор предпочтительных согласно п.4.4.
2. Оцениваем степень повторов тестирования связей в сформированном предпочтительном наборе j (п.4.4).
3. Проводим суммарную оценку сложности полученного предпочтительного набора путей для тестирования сети в каждом наборе j .
4. Итоговые результаты рассматриваются как общая оценка эффективности предпочтительного набора путей в виде тройки (v_j, ξ_j, D_j) .

6. Анализ использования полученных методов

Использование предпочтительного набора путей позволит сократить затраты на тестирование компьютерной сети. Уменьшение нагрузки достигается путем тестирования не всех путей в сети, а их выборки. Уменьшение общей сложности тестирования достигается минимизацией показателя сложности.

Так, если в сети существует множество маршрутов и некоторые из них содержат альтернативные пути, то последовательное тестирование таких путей (т.е. посылка по пути тестирующей последовательности пакетов) приведет к тому, что время тестирования будет неприемлемо большим, а также к увеличению служебного трафика.

Особенность метода состоит в том, что конечное решение позволяет охватить все узлы сети и связи между ними, но при этом позволяет избежать повторного тестирования при множественности альтернативных путей.

Показатели важности и сложности представляют собой экспертные оценки и в значительной степени зависят от квалификации эксперта. С одной стороны это плохо, с другой стороны это позволяет искусственно изменять их, повышая при необходимости важность определенного участка сети.

Данный метод позволяет косвенно управлять степенью загрузки служебным трафиком компьютерной сети.

Предлагаемый метод может облегчить администратору сети выбор путей для тестирования при существовании в сети альтернативных путей и позволяет ему при необходимости вмешаться в процесс диагностики сети. Но процедура может быть полностью автоматизирована и при необходимости реализована в виде специального протокола.

Метод формирования оценки качества полученного предпочтительного набора заключается в получении значений для критерия оценивания в виде

тройки параметров. Анализ полученных параметров критерия представляет собой решение многокритериальной задачи и требует дополнительного дальнейшего исследования.

7. Примеры использования разработанных методов

За основу возьмем пример, рассмотренный в [12].

1. Пусть имеется корпоративная сеть с некоторой топологией магистралей, которая соответствует структуре сети. Сеть представляется в виде графа (рис. 1). В структуре сети выделим корневые (С) и граничные (Е) маршрутизаторы.

2. Выделенные маршрутизаторы запишем в виде соответствующих множеств: множество корневых маршрутизаторов для заданной топологии, которое имеет вид $\{c_3, c_4, c_5, c_6, c_8, c_9\}$, и множество граничных маршрутизаторов для заданной топологии, которое имеет вид $\{e_1, e_2, e_7, e_{10}\}$.

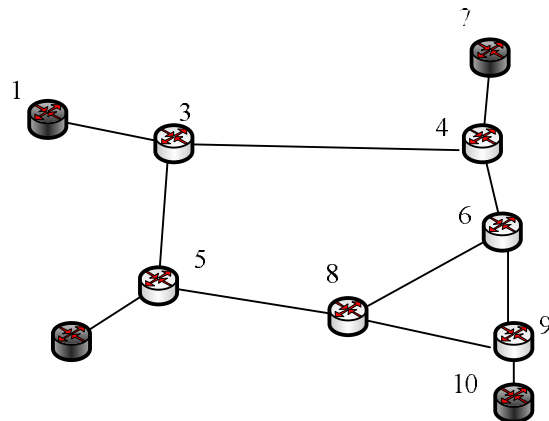


Рис. 1. Граф сети

Формируем наборы путей $\{P\}$ для каждого из граничных маршрутизаторов $\{e_i\}$. Пути обозначим через X_{ij} , где i и j , номера граничных маршрутизаторов, k – номер альтернативного пути. В результате получаем следующие наборы:

$$P_{12}^1 = (X_{13}, X_{34}, X_{42});$$

$$P_{12}^2 = (X_{13}, X_{35}, X_{58}, X_{86}, X_{64}, X_{42});$$

$$P_{12}^3 = (X_{13}, X_{35}, X_{58}, X_{89}, X_{96}, X_{64}, X_{42});$$

$$P_{10,7}^1 = (X_{10,9}, X_{9,8}, X_{8,5}, X_{5,7});$$

$$P_{10,7}^2 = (X_{10,9}, X_{9,6}, X_{6,8}, X_{8,5}, X_{5,7});$$

$$P_{10,7}^3 = (X_{10,9}, X_{9,6}, X_{6,4}, X_{4,3}, X_{3,5}, X_{5,7});$$

$$P_{10,7}^4 = (X_{10,9}, X_{9,8}, X_{8,6}, X_{6,4}, X_{4,3}, X_{3,5}, X_{5,7});$$

$$P_{2,10}^1 = (X_{2,4}, X_{4,6}, X_{6,9}, X_{9,10});$$

$$P_{2,10}^2 = (X_{2,4}, X_{4,6}, X_{6,8}, X_{8,9}, X_{9,10});$$

$$P_{2,10}^3 = (X_{2,4}, X_{4,3}, X_{3,5}, X_{5,8}, X_{8,9}, X_{9,10});$$

$$P_{2,10}^4 = (X_{2,4}, X_{4,3}, X_{3,5}, X_{5,8}, X_{8,6}, X_{6,9}, X_{9,10}) ;$$

$$P_{7,1}^1 = (X_{7,5}, X_{5,3}, X_{3,1}) ;$$

$$P_{7,1}^2 = (X_{7,5}, X_{5,8}, X_{8,6}, X_{6,4}, X_{4,3}, X_{3,1}) ;$$

$$P_{7,1}^3 = (X_{7,5}, X_{5,8}, X_{8,9}, X_{9,6}, X_{6,4}, X_{4,3}, X_{3,1}) .$$

3. После того, как определены наборы путей согласно правилу 1 составим таблицу связей, которая при наличии в пути связи содержит в ячейке 1, а в остальных случаях 0.

4. Проведем оценку путей по показателю сложности (4). Результат – в табл. 1.

Таблица 1
Значения показателя сложности пути

| Путь | D _{i,j} | D' _{ij} | D'' _{ij} | Путь | D _{i,j} | D' _{ij} | D'' _{ij} |
|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| P _{1,2} ¹ | 5 | 0 | 1 | P _{2,10} ¹ | 7 | 0 | 1 |
| P _{1,2} ² | 11 | 0,75 | 0,25 | P _{2,10} ² | 9 | 0,33 | 0,67 |
| P _{1,2} ³ | 13 | 1 | 0 | P _{2,10} ³ | 11 | 0,66 | 0,34 |
| P _{10,7} ¹ | 7 | 0 | 1 | P _{2,10} ⁴ | 13 | 1 | 0 |
| P _{10,7} ² | 9 | 0,33 | 0,67 | P _{7,1} ¹ | 5 | 0 | 1 |
| P _{10,7} ³ | 11 | 0,66 | 0,34 | P _{7,1} ² | 11 | 0,75 | 0,25 |
| P _{10,7} ⁴ | 13 | 1 | 0 | P _{7,1} ³ | 13 | 1 | 0 |

5. Проведем оценку путей по показателю важности (2). Результаты – в табл. 2.

Таблица 2
Значения показателей важности путей (экспертный анализ)

| Путь | V _{i,j} | V' _{ij} | Путь | V _{i,j} | V' _{ij} |
|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| P _{1,2} ¹ | 47 | 0 | P _{2,10} ¹ | 29 | 0,4 |
| P _{1,2} ² | 71 | 0,4 | P _{2,10} ² | 35 | 1 |
| P _{1,2} ³ | 105 | 1 | P _{2,10} ³ | 31 | 0,6 |
| P _{10,7} ¹ | 95 | 0,6 | P _{2,10} ⁴ | 25 | 0 |
| P _{10,7} ² | 72 | 0 | P _{7,1} ¹ | 76 | 0,5 |
| P _{10,7} ³ | 109 | 1 | P _{7,1} ² | 51 | 0 |
| P _{10,7} ⁴ | 72 | 0 | P _{7,1} ³ | 101 | 1 |

6. Для формирования набора предпочтительных путей для тестирования проведем их оценку с учетом полученных оценок важности и сложности $f(D,V) = (k_1 D'' + k_2 V') \setminus 2$, где k_1 и k_2 весовые коэффициенты, позволяющие учитывать влияние оценок важности и сложности. Примем $k_1 = 0,7$ и $k_2 = 0,3$. Тогда с учетом таких значений коэффициентов получим результаты вычислений, которые занесем в табл/ 3.

Таблица 3

Результирующая таблица

| Путь | f(D,V) | Путь | f(D,V) | Путь | f(D,V) |
|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| P _{1,2} ¹ | 0,35 | P _{10,7} ³ | 0,27 | P _{2,10} ⁴ | 0 |
| P _{1,2} ² | 0,15 | P _{10,7} ⁴ | 0 | P _{7,1} ¹ | 0,43 |
| P _{1,2} ³ | 0,15 | P _{2,10} ¹ | 0,41 | P _{7,1} ² | 0,09 |
| P _{10,7} ¹ | 0,44 | P _{2,10} ² | 0,39 | P _{7,1} ³ | 0,15 |
| P _{10,7} ² | 0,24 | P _{2,10} ³ | 0,21 | | |

7. Сформируем набор предпочтительных путей в соответствии с тем, что в набор войдут пути, для которых $f(D,V)$ максимальна в каждой группе. Получим набор предпочтительных путей $P^1 = \{P_{1,2}^1, P_{10,7}^1, P_{2,10}^1, P_{7,1}^1\}$.

8. Проведем проверку набора P^1 - входят ли в него все связи, которые есть в сети (6), (7). Проверка показывает, что в этот набор все связи не входят.

9. Проведем формирование дополнительного набора $P^2 = \{P_{1,2}^2, P_{10,7}^3, P_{2,10}^2, P_{7,1}^3\}$.

10. Проведем проверку на полное покрытие набора (6), (7)

$$P' = P^1 \cup P^2 = \{P_{1,2}^1, P_{1,2}^2, P_{10,7}^1, P_{10,7}^3, P_{2,10}^1, P_{2,10}^2, P_{7,1}^1, P_{7,1}^3\}$$

т.е. на нахождение всех связей в этом наборе. Проверка показывает, что в этот набор входят все связи, присутствующие в сети. Предпочтительный набор путей для тестирования сформирован за 2 шага.

Полученный набор предпочтительных путей необходимо оценить с точки зрения его качества для понимания актуальности и необходимости его формирования. Для оценки набора воспользуемся методом формирования оценки качества полученного предпочтительного набора.

1. Определяем количество путей, вошедших в набор предпочтительных, как процент от общего количества путей. В полученный набор входит 8 путей из 14.

2. Оцениваем степень повторов связей для путей $\xi_j = \max_i b_{ji}$, где b_{ji} - число повторного тестирования связи i в сформированном предпочтительном наборе j . Предпочтительный набор один, соответственно $j=1$. Получаем $\xi_1 = 3$.

3. Проводим суммарную оценку сложности предпочтительного набора путей для тестирования сети $D_j = \sum_i D_{ji} = M \times 2 - 8 = 68$. В то время как общая оценка сложности $D_1 = 138$.

4. На основании полученных результатов можно сформировать обобщенную оценку качества полученного набора путей.

Выводы

В настоящей работе рассмотрены вопросы дальнейшего развития теории и практики оптимизации трафика компьютерной сети, вопросов обеспечения полной готовности сети для передачи данных и вопросы оперативного обнаружения отказов. Оптимизация трафика достигается за счет уменьшения нагрузки, создаваемой служебным трафиком и применением специальных процедур выбора набора путей для тестирования. Обеспечение полной готовности достигается за счет полного покрытия узлов и связей. Оперативность обнаружения отказов достигается за формирования предпочтительного набора путей для тестирования, что сокращает общее количество путей, которые надо тестировать.

Основные научные результаты можно представить в следующем виде:

- предложен метод формирования набора путей для тестирования компьютерной сети, основанный на оценивании существующих путей согласно показателям пульсовой диагностики сети.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что при использовании предложенного метода достигается уменьшение нагрузки на сеть диагностирующим трафиком за счет передачи трафика не по всем путям в сети, а только по выборочным. В целом, как следствие, ожидается повышение качества обслуживания пользователей и повышение доходности (коэффициента использования) от всей сети.

Сравнение с лучшими аналогами. Предлагаемый в работе метод является развитием методологии, предложенной в [5, 11, 12]. Предложенный подход может быть рассмотрен как логическое дополнение и расширение к стандартным решениям выбора путей, которые применяются в таких протоколах как OSPF, BGP [6, 7], не отменяя и не отрицая их. При этом у администратора появляется дополнительная возможность управления процессом контроля за состоянием логических маршрутов в сети. Очевидно, что предлагаемое решение не эффективно в простых сетях и полезно для сетей со сложной структурой, например NGN.

Если рассматривать предложенный подход в рамках реализации систем непрерывного мониторин-

га, то его можно считать дальнейшим развитием концепций построения и сопровождения «модели здоровья» для диагностики состояния сети [4].

Направление дальнейших исследований. В дальнейшем предполагается рассмотрение реализации полученного метода для интеллектуальных сетей, а также подробное исследование метода формирования оценки качества полученного предпочтительного набора путей для тестирования компьютерной сети.

Список литературы

1. Kim Khoa Nguyen, Brigitte Jaumard. *Routing Engine Architecture for Next Generation Routers: Evolutional Trends Network Protocols and Algorithms*. – 2009. – Vol. 1. – P. 62-85.
2. Лемешко А.В. Двухуровневый метод маршрутизации с поддержкой качества обслуживания в многооператорских сетях NGN / А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева, Д.В. Агеев // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – 2010. – Вип. 1(23). – С. 83-89.
3. David M. Anderson. *Design for Manufacturability, Optimizing Cost, Quality and Time-to-Market, Second ed.* – CIM Press. – 2001. – 312 p.
4. *Microsoft Management Knowledge Part I: Health Modeling*. – Microsoft Corporation Published. – 2006. – P. 4-8
5. Berenstein C.A., Gavilanez F. *Network Tomography // AMS Contemporary Math*. – 2006. – Vol. 405. – P. 11-17.
6. Moy J. *OSPF Version 2 // RFC 2328*. – IETF. – 1998.
7. H. Berkowitz *Terminology for Benchmarking BGP Device Convergence in the Control Plane/ H. Berkowitz // RFC 4098*. – IETF. – June 2005.
8. Habib A., Khan M., Bhargava B. *Edge-to-Edge measurement-based distributed network monitoring // Computer Networks Journal*. – 2004. – Vol. 44, Is. 2. – P. 211-233.
9. Mohd Nazri Ismail, Syarmila S. *Network Management System Framework and Development // Int. Conf. on Future Computer and Communication*. – 2009. – P.450-454
11. Саенко В.И. Усовершенствованный метод обнаружения отказов маршрутизаторов в компьютерной сети / В.И. Саенко, Д.И. Алексеев // *Радиоэлектроника и информатика*. – X': ХНУРЭ. 2008. – С. 40-44.
12. Саенко В.И. Формирование показателей и метода пульсовой диагностики сети. [Электронный ресурс] / В.И. Саенко, Д.И. Алексеев // *Проблеми телекомунікацій*. – 2011. – № 1 (3). – С. 39 – 51. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/1/1/111_saenko_heartbeat.pdf.

Поступила в редколлегию 22.04.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Машгалир, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТОД ФОРМУВАННЯ НАБОРУ ШЛЯХІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

В.І. Саенко, Д.І. Алексеев

Запропоновано метод формування набору шляхів серед альтернативних для тестування комп'ютерної мережі. Метод дозволяє отримати набір шляхів, що є оптимальним для тестування. При цьому тестуванню піддаються усі шляхи, що є у мережі. Запропоновано систему показників для оцінювання оптимальності набору шляхів, що отримано. Наведено приклади, що підтверджують правомірність отриманих рішень.

Ключові слова: трафік, моніторинг, комп'ютерна мережа, шлях, маршрутизатор, якість сервісу, політика.

METHOD OF FORM SES OF PATHS TO TEST THE COMPUTER NETWORK

V.I. Sayenko, D.I. Alexeyev

Method of form set of paths from alternatives to test the computer network is proposed. Proposed method allows to get a set of optimal paths for testing. Thus all paths that exist in the network are tested. For optimality assess of resulting set of paths the system of indicies is proposed. All results are supported by examples.

Keywords: traffic, monitoring, computer network, route, way, router, quality of service, policy.