

УДК 004.272.2(045)

¹Мартынова О.П. канд. техн. наук²Засядько А.А. доктор техн. наук³Баранов В.Л. доктор техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

¹Институт компьютерных технологий Национального авиационного университета²Черкасский институт банковского дела³Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова

Предлагается повысить информационную безопасность пользователей компьютерной сети путем многокритериальной маршрутизации. Отдельные частные критерии качества передачи информации в компьютерной сети учитывают не только характеристики качества передачи информации, но наряду с ними и критерии качества защиты передаваемой информации от несанкционированного доступа.

Постановка проблемы

Развитие компьютерных сетей и информационных технологий невозможно без комплексного решения задачи повышения эффективности передачи информации совместно с решением задачи защиты передаваемой информации.

Известные методы и средства защиты информации требуют дополнительных материальных ресурсов в виде программного, программно-аппаратного обеспечения или аппаратурных затрат [1,2].

В статье рассматривается возможность повышения информационной безопасности в действующих компьютерных сетях путем многокритериальной маршрутизации, которая учитывает критерии надежности и защиты информации от несанкционированного доступа в процессе ее передачи от источника к пользователю. Ставится также задача повышения информационной безопасности без дополнительных средств и затрат.

Анализ последних исследований и публикаций [1-3] позволяет сделать вывод, что качество управления информационной безопасностью зависит от соотношения стоимости ресурсов защиты к потерям от нарушения защиты информации. В понятие ресурсов включается программное и аппаратное обеспечение средств защиты информации. Следовательно, это направление управления информационной безопасностью связано с

дополнительными программными и аппаратными затратами на средства защиты информации.

Существует другое направление повышения информационной безопасности, которое связано с обеспечением требуемого качества обслуживания в компьютерных сетях [4,5]. Протоколы маршрутизации в компьютерной сети учитывают в этом случае несколько критериев качества, например, пропускную способность, задержку и надежность передачи информации, загрузку узлов сети и ряд других параметров [4,5]. Такое направление поддержки требуемого качества обслуживания реализовано фирмой Cisco в протоколе маршрутизации IGRP [5]. Направления и пути передачи информации в этом случае определяются на основе композитарной метрики между двумя узлами компьютерной сети

$$M = \left(K_1 B + \frac{K_2 B}{256 - L} + K_3 D \right) \frac{K_5}{R + K_4}, \quad (1)$$

где B – пропускная способность,

D – время задержки передачи данных,

R – надежность передачи данных,

L – относительная загрузка,

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – весовые коэффициенты. Недостатки композитарной метрики (1) связаны с отсутствием теоретического обоснования выбора ее структуры и параметров. С другой стороны, композитарная метрика (1) не учитывает критерии качества уровня защиты передаваемой

информации от несанкционированного доступа.

В связи с этим возникает задача многокритериальной маршрутизации, которая учитывает критерии качества передачи информации совместно с критериями качества защиты информации от несанкционированного доступа.

Цель работы – разработка многокритериальной маршрутизации для повышения информационной безопасности пользователей компьютерных сетей.

Поставленную задачу решим методом математического моделирования компьютерной сети на графе, вершины которого моделируют узлы-источники и узлы-приемники информации, а ветви графа соответствуют каналам передачи информации. Введем систему частных критериев качества, которая, с одной стороны, характеризует качество передачи информации от узла-источника к узлу-приемнику, а с другой стороны, характеризуют уровень защищенности передаваемой информации от несанкционированного доступа. Предположим, что скорость передачи данных оценивается частным критерием качества I_1^* , время задержки передачи данных задается частным критерием качества I_2^* , надежность передачи информации учитывается частным критерием качества I_3^* , риск потери информации или ее модификации оценим частным критерием качества I_4^* и т.д. В этой системе частных критериев качества I_1^* и I_2^* оценивают технические характеристики канала передачи информации. Частный критерий качества I_3^* оценивает надежность передачи информации в условиях действия внутренних и внешних помех. Уровень защищенности канала передачи данных характеризуется риском I_4^* потери информации или ее модификации в процессе передачи данных. В рассматриваемой системе частных критериев качества частные критерии качества I_1^* , I_2^* , I_4^* необходимо минимизировать, а частный критерий качества I_3^* следует максимизировать. Приведем все частные критерии

качества к случаю их минимизации. С этой целью максимизируемый частный критерий качества I_3^* заменим на минимизируемый частный критерий качества $I_3 = I_{3m} - I_3^*$, где I_{3m} – максимально-возможное значение надежности, которое задается техническими характеристиками канала передачи данных.

В общем случае считаем, что качество обслуживания и уровень информационной безопасности пользователя оценивается n минимизируемыми критериями качества I_1, I_2, \dots, I_n . На основании технических характеристик каналов передачи информации, требований к качеству обслуживания и уровню информационной безопасности задаются предельно-допустимые значения частных критериев качества $I_{1m}, I_{2m}, \dots, I_{nm}$. Затем переходим к системе относительных частных критериев качества $I_1/I_{1m}, I_2/I_{2m}, \dots, I_n/I_{nm}$, диапазон изменения которых задаются ограничениями:

$$0 \leq \frac{I_i}{I_{im}} \leq 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Известно, что задача многокритериальной оптимизации является некорректной, так как частные критерии качества конфликтуют между собой [6]. Улучшение одного частного критерия качества ухудшает один или несколько других частных критериев качества. Регуляризацию некорректной задачи многокритериальной оптимизации обычно выполняют линейной сверткой частных критериев качества с весовыми коэффициентами:

$$I = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{I_i}{I_{im}}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, α_i – весовые коэффициенты.

Метод линейной свертки частных критериев качества (3) также как метод композитарной метрики (1) сталкивается с проблемой выбора весовых коэффициентов. Известен, метод решения задачи многокритериальной оптимизации, который не требует решения проблемы выбора весовых коэффициентов. Согласно этому методу регуляризация некоррект-

ной задачі многокритеріальної оптимізації здійснюється скалярною сверткою по нелінійній схемі компромісів [6]:

$$J = \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 - \frac{I_i}{I_{im}}}, \quad (4)$$

де I_i – i -й частиний критерій якості,

I_{im} – предельно-допустимое значение частного критерия качества I_i .

Предлагается, в отличие от комбинаторной метрики (1) и линейной свертки (3), присваивать ветвям графа вес пропорциональный скалярной величине I , которая определяется по нелінійній схемі компромісів (4).

Математическая модель компьютерной сети в виде графа, веса ветвей которого рассчитываются по выражению (4) позволяет реализовать многокритериальную оптимизацию маршрутов передачи информации от узла-источника к узлу-приемнику путем минимизации критерия качества:

$$\min_j L = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 - \frac{I_{ij}}{I_{ijm}}}, \quad (5)$$

де I_{ij} – i -й частиний критерій якості в j -й ветви графа,

I_{ijm} – предельно-допустимое значение i -го частного критерия качества в j -й ветви графа,

n – количество частных критериев качества,

r – количество ветвей графа вдоль маршрута от узла-источника к узлу-приемнику.

С учетом (4) выражение (5) можно привести к виду

$$\min_j L = \sum_{j=1}^r J_j, \quad (6)$$

$$J_j = \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 - \frac{I_{ij}}{I_{ijm}}},$$

де J_j – вес j -й ветви графа математической модели компьютерной сети.

Задача минимизации критерия качества (6) известна как задача о кратчайшем

пути между узлом-источником и узлом-приемником. Следовательно, применение для расчета весов графа математической модели компьютерной сети свертки по нелінійній схемі компромісів (4) сводит задачу многокритериальной маршрутизации к известной задаче о кратчайшем пути, которая может быть решена алгоритмом Дейкстры [7] либо параллельными средствами маршрутизации [8].

Рассмотрим положительные качества маршрутизации согласно выражению (5), которое можно интерпретировать как многокритериальную оптимизацию $r \times n$ частных критериев качества по нелінійній схемі компромісів [6]. Маршруты передачи информации, выбранные согласно выражению (5), обладают свойством оптимальности по Парето, так как оптимизация свертки по нелінійній схемі компромісів дает оптимальное по Парето решение [6]. Поэтому попытка улучшить маршрутизацию по одним частным критериям неизбежно приведет к ухудшению оценок по другим частным критериям качества. Кроме того, нелінійній схемі компромісів (5) обладает свойством адаптации к изменению значений частных критериев качества I_{ij} . Если один из частных критериев I_{ij} приближается к своему предельно-допустимому значению I_{ijm} , то согласно выражению (5) вес j -й ветви графа стремится к бесконечности. Следовательно, в процессе маршрутизации путем решения задачи о кратчайшем пути эта ветвь графа и соответствующий ей канал передачи данных исключается из кратчайших маршрутов до тех пор пока значение частного критерия качества I_{ij} будет находиться вблизи предельно-допустимого значения I_{ijm} . Когда ситуация в компьютерной сети изменится, что приведет к удалению частного критерия качества I_{ij} от своего предельно-допустимого значения I_{ijm} , то значение веса этой ветви графа станет соразмерным с весами других ветвей графа и данная ветвь вновь будет участвовать в процессе маршрутизации совместно с другими ветвями графа.

Свойство адаптации нелинейной схемы компромиссов (5) к изменению ситуации в компьютерной сети позволяет повысить информационную безопасность средствами маршрутизации следующим образом. Предположим риск I_{4j} потери информации или ее модификации в j -й ветви графа или в соответствующем канале передачи информации увеличивается и приближается к своему предельно-допустимому значению I_{4jm} . Это значит, что сторона, противодействующая пользователям компьютерной сети, направляет определенные ресурсы несанкционированного доступа в направлении передачи информации, которая моделируется j -й ветвью графа. В этом случае вес j -й ветви начинает резко возрастать (теоретически стремится к бесконечности), что приведет к исключению j -й ветви в процессе маршрутизации из кратчайших маршрутов, по которым передается информация в компьютерной сети. Таким образом, многокритериальная маршрутизация учитывает риск потери информации или ее модификации и повышает информационную безопасность пользователей компьютерной сети. Следует отметить, что исключение j -й ветви графа из маршрутизации на время несанкционированного доступа не приводит к отключению пользователя от источника информации, так как поступление информации продолжается по другим каналам передачи информации, которые характеризуются меньшими рисками несанкционированного доступа.

Рассмотрим режим работы компьютерной сети в случае отсутствия рисков несанкционированного доступа $I_{4j} = 0$, $j = \overline{1, r}$. В этом случае составляющие весов ветвей графа

$$\frac{1}{1 - \frac{I_{4j}}{I_{4jm}}} = 1, \quad j = \overline{1, r} \quad (7)$$

дают постоянную величину, равную единице.

Как известно добавление постоянной величины (7) к оптимизируемому критерию (5) не изменяет результат оптимизации. Следовательно, оптимизация маршрутов в этом случае осуществляется по другим частным критериям качества, которые характеризуют скорость переда-

чи информации, задержку передачи сообщений и надежность работы каналов передачи информации. Тогда многокритериальная маршрутизация по остальным частным критериям обеспечивает требуемое качество обслуживания пользователей в пределах ограничений (2) и выбирает маршруты передачи информации, которые характеризуются наименьшими значениями остальных частных критериев качества согласно оптимальности по Парето [6].

Сравним предложенный метод многокритериальной маршрутизации (5) в компьютерных сетях с маршрутизацией по композитарной метрике (1) и по линейной свертке частных критериев качества с фиксированными весовыми коэффициентами (3). Недостатки маршрутизации по композитарной метрике (1) связаны с проблемой выбора весовых коэффициентов, а также с отсутствием учета несанкционированного доступа к каналам передачи информации. Эти недостатки в предложенной многокритериальной маршрутизации (5) отсутствуют, так как в выражении (5) нет весовых коэффициентов, а проблема учета несанкционированного доступа к каналам передачи информации была рассмотрена выше. Маршрутизация по линейной свертке частных критериев качества (3) также сталкивается с проблемой выбора весовых коэффициентов, но, кроме этого, теряет свою эффективность при значительном количестве частных критериев качества. Последний недостаток фактически не позволяет существенно повысить информационную безопасность пользователей компьютерной сети из-за незначительного влияния частного критерия качества, который характеризует риски потери информации или ее модификации, на скалярную величину линейной свертки (3). Ранее было показано, что предложенный метод многокритериальной маршрутизации на основе нелинейной схемы компромиссов (5) обладает высокой чувствительностью к приближению частного критерия риска I_{4j} потери информации или ее модификации к предельно-допустимому значению I_{4jm} . В заключение отметим, что предложенный метод многокритериальной маршрутизации не только повышает информационную безо-

пасность пользователей компьютерной сети, но также не требует привлечения дополнительных алгоритмических, программных или аппаратных средств. Последнее качество предложенного метода многокритериальной маршрутизации обеспечивается известными средствами маршрутизации путем решения задачи о кратчайшем пути в компьютерной сети. Действительно, маршрутизация на основе решения задачи о кратчайшем пути широко применяется в компьютерных сетях [7] и для ее реализации имеется широкий набор алгоритмических, программных и программно-аппаратных средств [7,8]. В заключение отметим возможность применения предложенного метода многокритериальной маршрутизации для реализации многопутевой маршрутизации в компьютерной сети [7]. Обычно многопутевая маршрутизация используется для увеличения допустимой нагрузки в компьютерной сети. Реализация многокритериальной маршрутизации совместно с поиском нескольких независимых альтернативных маршрутов помимо увеличения допустимой нагрузки в сети увеличивает надежность передачи данных и снижает риски потери информации или ее модификации. Снижение рисков потери информации или ее модификации связано с необходимостью распределять ресурсы несанкционированного доступа по нескольким каналам передачи данных в случае многопутевой маршрутизации.

Выводы

Применение предложенного метода многокритериальной маршрутизации в компьютерных сетях на основе нелинейной схемы компромиссов снимает проблему выбора весовых коэффициентов, позволяет учесть требования к качеству обслуживания и повышает информационную безопасность пользователей компьютерной сети без привлечения дополнительных программных и аппаратных средств защиты информации.

Список литературы

1. *Технічний захист інформації на об'єктах інформаційної діяльності* / М.М. Браіловський, С.М. Головань, В.В. Домарев та ін. / За ред. В.О. Хорошка. – К.: ДУІКТ, 2007. – 178 с.
2. *Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации.* – К.: Юниор, 2003. – 501 с.

3. *Игнатов В.А., Гузий Н.Н. Оптимальное управление информационной безопасностью* // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 3(14). – С. 71-74.

4. *Жуков И.А., Клименко И.А. Обеспечение заданного уровня качества обслуживания в объединенных сетях* // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 13. – С. 5-14.

5. *Low S.H., Varaiya P. Stability of uclass of dynamic routing protocols (IGRP)* // Proc. 12 th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE INFOCOM 1993). – San Francisco, CA (USA), 1993. – Vol.2. – P. 610-616.

6. *Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем.* – К.: Наук. думка, 1992. – 160 с.

7. *Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей.* – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

8. *Баранов В.Л., Мартынова О.П., Алексеева Л.А. Адаптивная маршрутизация на параллельных вычислительных структурах* // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 1(19). – С. 15-19.