

В. А. РОМАНЮК

АСИММЕТРИЧНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ MANET

Мобильные сети MANET характеризуются значительным количеством узлов, высокой динамикой топологии, низкой (по сравнению со стационарными сетями) пропускной способностью радиоканалов, неоднородностью и ограниченностью ресурсов мощности и производительности части узлов, высокой плотностью их размещения на местности. Ключевой проблемой управления мобильной радиосетью является маршрутизация информационных сообщений [1; 4]. Метод маршрутизации (ММ) должен соответствовать условиям функционирования мобильной радиосети (МР) и удовлетворять следующим основным техническим требованиям к ней (TR_q), где $q = 1, \dots, Q$: распределенное функционирование; минимальная загрузка сети служебной информацией; быстрая сходимость, отсутствие заклинивания маршрутов; получение маршрута по мере необходимости; обеспечение нескольких маршрутов доставки информации к адресату; поддержка асимметричных каналов [4]. **Единого ММ, удовлетворяющего всем перечисленным требованиям, не существует. Поэтому для эффективного управления сетью каждый узел сети должен реализовывать множество ММ, осуществляя так называемую активную маршрутизацию. Выбор конкретного ММ определяется типом передаваемой информации и условиями функционирования сети [5].**

В настоящее время для сетей с динамичной топологией предложен ряд ММ [4], которые предусматривают функционирование только по двунаправленным каналам. Однако МР неоднородна, ее узлы обладают различной потенциальной мощностью передачи, поэтому в МР будет существовать определенное количество однонаправленных (асимметричных) каналов. Решением задачи маршрутизации в таких условиях может стать отказ от однонаправленных каналов и использование только двунаправленных каналов. При этом решении возможны следующие ситуации.

- ♦ Значительное увеличение длины h маршрута. Например, для сети, представленной на рис. 1, а, длина пути от узла i к узлу j выражается числом ретрансляционных участков при использовании только симметричных каналов $h = 7$ и $h = 1$ при асимметричной маршрутизации.

- ♦ Отсутствие маршрута в случае наличия множества однонаправленных каналов (рис. 1, б).

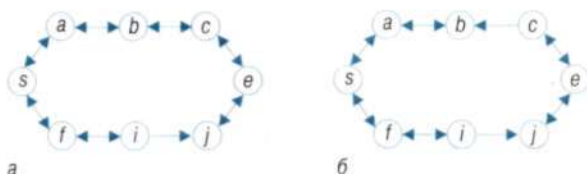


Рис. 1. Пример сети с асимметричными каналами

Постановка задачи. Для МР разработать метод асимметричной маршрутизации (ММ), удовлетворяющий множеству требований TR_q ($q = 1, \dots, Q$).

Модель сети. Сеть представлена графом $G = (V, E)$, где $|V|$ — множество узлов; $|E|$ — множество одно- и двунаправленных каналов. Каждый узел имеет идентификационный номер.

Решение данной задачи предполагает следующие этапы:

- ♦ обнаружение узлом однонаправленных каналов;
- ♦ построение альтернативного маршрута, позволяющего замкнуть цикл между узлами в однонаправленном канале;
- ♦ туннелирование квитанции и маршрутной информации.

Обнаружение однонаправленных каналов

Однонаправленные каналы можно находить на сетевом уровне (в соответствии с эталонной моделью взаимодействия открытых систем). Каждый узел периодически широковещательно передает HELLO-сообщения своим соседям. Данное сообщение содержит список соседних узлов и статус каналов с ними (изначально HELLO-сообщение содержит только идентификатор узла). Если узел j принимает HELLO-сообщение от узла i , не содержащего j , он делает вывод, что канал $i-j$ асимметричен и направлен от узла i к узлу j . Процесс обмена и обработки HELLO-сообщений позволяет каждому узлу сформировать таблицу соседей с информацией о статусе каналов (дву- или однонаправленный). Однако о существовании канала $i-j$ не знает узел i . Для информирования его об этом к нему необходимо найти альтернативный маршрут. В простейшем случае обмен HELLO-сообщениями позволяет построить (при его наличии) альтернативный маршрут длиной в два ретрансляционных участка.

Построение альтернативного маршрута

В общем случае построение альтернативного пути зависит от принятого способа построения маршрута: *таблично-ориентированного, зондового или гибридного* [4; 6]. Рассмотрим возможные решения данной задачи для каждого из способов.

- ♦ **При таблично-ориентированном методе маршрутизации** каждый узел хранит полную или частичную информацию о состоянии сети. В [7; 8] для построения альтернативного маршрута предлагаются ММ с полной информацией о состоянии сети (расширение протокола OSPF, используемого в сети Internet, для работы по однонаправленным каналам). При данных методах каждый узел хранит граф сети, т. е. размерность маршрутной таблицы $O(N \times N)$, где N — число узлов сети. Соответственно, верхняя граница размеров маршрутных сообщений также не превышает $O(N \times N)$. Обмен содержимым маршрутных таблиц позволяет каждому узлу построить маршруты ко всем остальным узлам сети на основе алгоритма Дейкстры, т. е. вычислить кратчайший альтернативный путь. Отличие в протоколах заключается в способе рассылки маршрутной информации. Недостаток данного подхода — необходимость распространения состояния каждого канала каждому узлу сети (что изначально предполагает бесконечную длину альтернативного пути). Это приводит к волновой (поточковой) рассылке маршрутной информации. В случае увеличения размерности сети и высокой динамики топологии такие методы приводят к значительному росту служебного трафика, что неприемлемо для сети с ограниченной пропускной способностью каналов. Кроме этого, альтернативный путь ограничен предельным значением, что может привести к отсутствию маршрута. Таким образом, данные методы асимметричной маршрутизации не приемлемы для МР с динамичной топологией.

- ♦ **Функционирование зондовых ММ включает в себя два этапа: построение и поддержание маршрута.** Например, метод DSR (Dynamic Source Routing) строит маршрут следующим образом [4]. Отправитель, не имея маршрута к адресату и желая передать ему пакет, передает соседним узлам зонд-запрос (ЗЗ), содержащий идентификатор адресата. Узел, принявший ЗЗ, поступает так: если он не знает маршрута к адресату, то добавляет свой идентификатор в ЗЗ и передает его далее своим соседям, иначе — отправителю посылается зонд-ответ (ЗО) с указанием имеющегося маршрута (последовательности узлов). При получении адресатом первого ЗЗ он посылает отправителю полученный маршрут (критерий выбора маршрута — минимальное время доставки). Будем называть данный маршрут пер-

вичним. При отказе канала в первичном маршруте узел, обнаруживший отказ, посылает сообщение об отказе узлу-отправителю. После этого процесс построения маршрута повторяется вновь.

К преимуществам зондовых ММ относятся: построение маршрута по мере необходимости (реализация режима скрытности); отсутствие периодической рассылки маршрутных сообщений (значительное уменьшение объема служебного трафика по сравнению с таблично-ориентированными ММ при незначительной входной нагрузке); возможность обучения (построение маршрутов на основе информации, имеющейся у проходящих через узел зондов и пакетов); отсутствие заклинивания маршрутов; возможность построения нескольких маршрутов передачи информации (многопутевая маршрутизация) и потенциальная возможность использования маршрутов с однопользовательскими каналами. Недостатками зондовых ММ являются неопределенность времени ожидания маршрута в случае отсутствия связи с адресатом; увеличение служебного трафика с возрастанием числа пар отправитель-адресат; возможная неоптимальность полученных маршрутов (из-за столкновений ЗЗ и их неравномерности прохождения по сети); увеличение заголовка и служебного трафика с возрастанием размерности сети.

Для минимизации количества ЗЗ на этапе поддержания маршрута целесообразно осуществлять локальное зондирование, предполагающее рассылку зондов с ограниченным числом ретрансляций (TTL, Time-To-Live). Тогда в зависимости от длины первичного маршрута локальное зондирование может осуществляться:

- узлом, обнаружившим отказ в первичном маршруте, если он расположен ближе к адресату. Глубина рассылки зондов составляет при этом несколько ретрансляций ($TTL = 2, 3$);
- отправителем, если отказавший канал ближе к нему. При этом предельное число ретрансляций зонда $\max TTL = h + c(N, v)$, где h — длина ранее отказавшего первичного маршрута плюс константа c , определяемая размерностью сети и мобильностью узлов.

Для функционирования зондового ММ необходимо внести изменения в алгоритм пересылки и обработки зондов. При передаче ЗЗ по однопользовательскому каналу данный факт отмечается в зонде единичным значением выделенного бита. Отметим, что по однопользовательским каналам зонды распространяются быстрее, так как они образуют узлы с большей мощностью передачи. Поэтому для предотвращения генерации многих маршрутов с однопользовательскими каналами узел, принявший зонд по однопользовательскому каналу, осуществляет большую задержку до его ретрансляции по сравнению с узлом, получившим зонд по двупользовательскому каналу. Адресат, приняв часть ЗЗ (фактически маршрутов) с информацией о наличии однопользовательских каналов, поступает следующим образом.

1. Если $\min h_d < \min h_o$ или $\min h_d - \min h_o < \Delta h$, то используются двупользовательские маршруты, где h_d (h_o) — длина маршрута с двупользовательскими (однопользовательскими) каналами. Значение $\Delta h = f(N, \min h, \xi)$ зависит от размерности сети, длины кратчайшего маршрута и вида передаваемой информации. Оно может определяться на этапе проектирования сети или в процессе «обучения» при ее функционировании [5]. Адресату отправляется ЗО с информацией о кратчайшем двупользовательском маршруте.

2. Если $\min h_d - \min h_o \geq \Delta h$, то принимается решение об использовании однопользовательского маршрута. Кратчайший из маршрутов с двупользовательскими каналами выбирается в качестве альтернативного, и по нему отправителю сообщается первичный однопользовательский маршрут. Для сокращения длины альтернативного маршрута узлы в первичном пути, имеющие однопользовательские входящие каналы, должны использовать локальное зондирование.

3. Если все полученные маршруты содержат однопользовательские каналы, то осуществляется зондирование сети адресатом (адресат генерирует рассылку ответных ЗО, т. е. пытается найти маршруты с однопользовательскими каналами по отношению к отправителю). ЗО содержит информацию о кратчайшем однопользовательском маршруте (или маршрутах) к адресату и передается аналогично ЗЗ.

♦ Гибридный ММ предусматривает разделение сети на множество пересекающихся маршрутных зон [6]. Каждый узел независимо от других узлов сети создает и поддерживает маршрутную зону R_{M3} , состоящую из соседних узлов, расстояние до которых не более R -ретрансляций. Внутри маршрутной зоны используется таблично-ориентированный ММ, за ее пределами — зондовый ММ. Для сокращения числа передаваемых зондов внутри R_{M3} каждый узел выделяет свои периферийные узлы зоны. Периферийный узел расположен на расстоянии R от узла, организующего зону, и связан с узлами, находящимися за пределами зоны. Распространение зондов за границы зоны осуществляется не широкопередателно, а селективно (по направлению узел — выбранные периферийные узлы). Основным преимуществом гибридного ММ является минимизация служебного трафика за счет адаптации размера (значение R определяется уровнем динамики топологии) и формы зоны (в зависимости от наличия активных маршрутов) в сетях средней размерности (сотни узлов), недостатком — сложность определения оптимального размера зоны R^* [5].

Для реализации асимметричной маршрутизации гибридным ММ необходимо рассмотреть варианты построения альтернативных маршрутов. Если однопользовательские каналы образуют цикл внутри зоны или альтернативный маршрут находится внутри зоны, то его обнаружение возможно применяемым таблично-ориентированным ММ (рис. 2, а). При другой ситуации альтернативный маршрут может находиться за пределами R -зоны. Например, узел i не может быть в зоне узла j (рис. 2, б), поскольку он не достижим за R ретрансляций. Хотя узел j может знать о существовании узла i и узлах его зоны — p, g, q . Тогда при необходимости передачи информации от узла j к узлу i узел j посылает через периферийный узел b расширенный ЗЗ. Формат расширенного ЗЗ кроме узла j содержит адресаты p, g, q . Это позволяет учесть особенности зондовой организации и быстрее найти альтернативный маршрут.

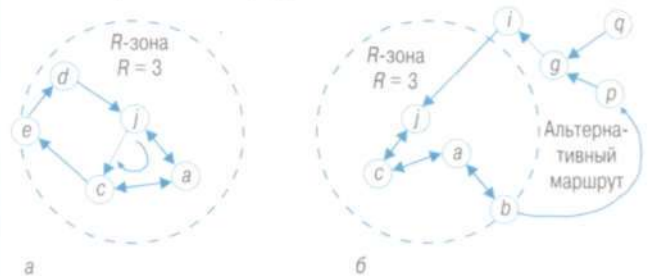


Рис. 2. Построение альтернативного маршрута при гибридной маршрутизации

Туннелирование квитанции и маршрутной информации

Обнаружение однопользовательских каналов и их использование предполагает совместную работу протоколов канального и сетевого уровня. Существующие протоколы канального доступа (например, протокол IEEE 802.11) предусматривают механизм квитирования, что в условиях асимметричного канала не представляется возможным. В случае сильно связанной сети существует высокая вероятность наличия альтернативного маршрута. По нему узлу i необходимо сообщить о наличии связности с узлом j (рис. 3). Для этой цели предлагается использовать туннелирование пакетов [9]. Туннелирование — это процесс инкапсуляции пакетов протокола канального уровня в протокол сетевого уровня. Для уменьшения служебного трафика предлагается туннелировать не все пакеты от адресата к отправителю, а только квитанцию и маршрутные сообщения. На рис. 3 узел i посылает пакет узлу j по однопользовательскому каналу. Затем узел j строит альтернативный маршрут одним из описанных ранее способов. Квитанция и маршрутная информация туннелируются в пакет, передаваемый по альтернативному маршруту от узла j к узлу i . Узел i , приняв пакет (квитанцию), снова передает информацию.

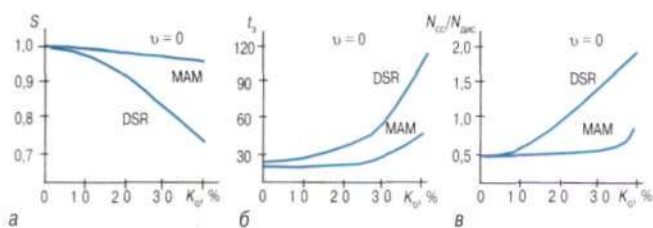
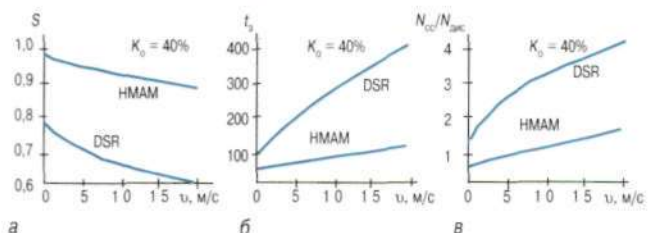


Рис. 3. Процесс туннелирования пакетов

При туннелировании важное значение для управления потоком сообщений играет время ожидания квитанции (размер «окна» передачи). В данной ситуации процесс туннелирования похож на передачу протокола транспортного уровня (например, TCP). Начальный размер окна устанавливается равным $W = (1 + d)t v_k / l$, где d — диаметр сети; t — время распространения и обработки пакета при одной ретрансляции; v_k — скорость передачи в канале; l — длина пакета. Затем значение W адаптируется с помощью выражения $W = \alpha W + (1 - \alpha)W_n$, где $\alpha < 1$; W_n — размер последнего принятого окна, α — константа, определяемая историей оценки W .

Проведем оценку эффективности предложенного метода маршрутизации с методом DSR при наличии в сети однонаправленных каналов. Исходные данные для моделирования: $N = 50$; маршруты строятся между wybranymi случайным образом 10 парами узлов с фиксированной нагрузкой, равной $\lambda = 4$ пакета/с; размер пакета 512 байт; канальный протокол IEEE 802.11. Перемещение узлов — случайное со скоростью $v = 0...20$ м/с. Процентное соотношение однонаправленных каналов K_0 к их общему количеству в сети определяется задаваемой мощностью передач узлов.

Зависимости относительной пропускной способности S сети, средней задержки t_3 передачи сообщений, соотношения числа маршрутных и доставленных информационных сообщений $N_{cc}/N_{диск}$ от количества однонаправленных каналов K_0 в условиях статичной сети представлены на рис. 4, а, при перемещении узлов — на рис. 5.

Рис. 4. Зависимость S (а), t_3 (б) и $N_{cc}/N_{диск}$ (в) от количества однонаправленных каналов в сетиРис. 5. Зависимость S (а), t_3 (б) и $N_{cc}/N_{диск}$ (в) от скорости перемещения узлов сети

Результаты моделирования демонстрируют значительное преимущество использования методов асимметричной маршрутизации по сравнению с методами, базирующимися только на двунаправленных каналах. Причем данный выигрыш возрастает как с увеличением количества однонаправленных каналов в сети, так и с ростом мобильности узлов.

Результаты исследований показали, что использование асимметричной маршрутизации позволяет в среднем на 10–15% повысить пропускную способность сети и уменьшить задержку в передаче сообщений. Кроме этого, применение методов асимметричной маршрутизации при некоторых топологиях сети является единственно возможным решением для получения маршрута передачи информации.

Литература

1. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
2. Шиллер И. Мобильные коммуникации.: Пер. с англ.— М.: Изд. дом «Вильямс», 2002.— 384 с.
3. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи // Зв'язок.— 2001.— № 3.— С. 63–65.
4. Минович А. И., Романюк В. А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок.— 2001.— № 1.— С. 31–36.
5. Романюк В. А. Активная маршрутизация в мобильных радиосетях // Зв'язок.— 2002.— № 3.— С. 21–25.
6. Романюк В. А. R-зональный метод маршрутизации в автоматизированных сетях радиозв'язку // Зб. наук. праць КВІУЗ.— 2001.— № 3.— С. 182–186.
7. Bao L., Garcia-Luna-Aceves J.J. Link-State Routing with Unidirectional Links // In Proceedings International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN).— 1999.— P. 358–363.
8. Prakash R. A Routing Algorithm for Wireless Ad Hoc Networks with Unidirectional Links // ACM/Kluwer Wireless Networks.— 2001.— 7(6).— P. 617–625.
9. Nsargi S., Prakash R. A Tunneling Approach to Routing with Unidirectional Links in Mobile Ad-Hoc Networks // In Proceedings International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN).— 2000.— P. 522–527.
10. Marina M. K., Das S. R. Routing Performance in the Presence of Unidirectional Links in Multihop Wireless Networks // In Proceedings of MOBIHOC'02, 2002.

«ПРОМПОЛИПЛАСТ»

г. Донецк, 83015, пр. Мира, 8.
Тел./факс (062) 345-28-48, тел. (062) 345-28-47;
(062) 345-35-28, E-mail: prom@skif.net

(Директор — Деревянкин Владислав Владимирович)

Материалы для строительства и ремонта линейно-кабельных сооружений связи с ДОСТАВКОЙ (автотранспортом, ж/д багажом, почтовыми отправлениями, спецсвязью и другими удобными для Вас видами транспорта) на объекты по Украине.

Дополнительная оплата за доставку любым видом транспорта не взимается!

◆ Стеклопруток — корд стеклопластиковый в полимерной оболочке — для заготовки кабеля в канализацию: бухты по 150 м (возможна комплектация тележкой); наружный диаметр стеклопрукта — 10 или 12 мм.

Цена — от 1635,00 грн. за комплект.

◆ Термоусаживаемые трубки (в таблице приведены диаметры существующих типов трубок до (nom)/ после (min) усадки), мм.

1,6/0,8	6,4/3,2	15,8/6,4	38/19
2,4/1,2	8,0/2,0	19,0/9,5	51/25,4
3,2/1,6	9,5/4,8	25,4/12,7	76,0/38,0
4,8/2,4	12,7/6,4	31,8/12,7	102,0/51,0

◆ Ленты специального назначения — стеклолента для спаечных работ, сигнальная лента с надписью «Ниже кабель зв'язку ВАТ «Укртелеком!» Не колоти!», ленты киперная и тафтяная, изоляторы ПВХ, ХБ, лента ФУМ и пр.

◆ Повски-стяжки с застёжкой — для монтажа и подвязки жгутов провода, крепежа бирок и пр.; приведенные типоразмеры — длина и ширина, мм: 100 × 2,5; 120 × 2,5; 150 × 2,5; 180 × 3,6; 200 × 2,5; 200 × 4,8; 250 × 3,6; 250 × 7,6; 300 × 3,6; 300 × 4,8; 350 × 4,8; 380 × 4,8; 400 × 4,8; 450 × 7,6; 500 × 4,8.

◆ Трубы полиэтиленовые — технические и питьевого водоснабжения. Возможность изготовления и поставки труб для кабельной канализации В БУХТАХ при наружных диаметрах от 10 до 90 мм включительно!

◆ Трубы полиэтиленовые диаметром 110; 160; 225 мм в прямых отрезках длиной по 6; 9; 12 м и более. (Имеются соединительные и разветвительные фитинги и переходники).

◆ Трубка ПВХ гофрированная, стойкая к возгоранию диаметром 16; 20; 25; 32; 40 и 50 мм.

◆ Изделия производства ОАО «НЕФТЕПРОММАШ» — коробки КРТМ-10, УК-Р, УК-П, шкафы ШР(П/М), боксы БКТ и БММ, устройства УКС.

Цены ЗАВОДА — от дилера.

◆ Люки кабельных колодцев телефонной канализации (типы «Т» или «Л»). Комплектация: горловина, верхняя и нижняя крышки, а также запорное устройство.

◆ Широкий спектр электроизоляционных материалов: текстолит, гетинакс, стеклотекстолит и многое другое.