

Маршрутизация в мобильных радиосетях

Стремительное развитие телекоммуникационных систем вызвало широкое распространение сетей радиосвязи, не имеющих базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации. Это потребовало создания «адаптивных» протоколов маршрутизации — BSDV, DSR и AODV.

Сегодняшние радиосети имеют фиксированную или динамичную архитектуру. Первые строятся в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания делится на ячейки (соты). В каждой ячейке находится базовая станция, обслуживающая все подвижные станции (абонентские радиотерминалы) в пределах своей ячейки. При перемещении абонента из одной ячейки в другую происходит передача его обслуживания от одной базовой станции к другой.

Однако стремительное развитие телекоммуникационных систем вызвало широкое распространение динамичной архитектуры построения сетей радиосвязи, которая не имеет базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации. Особую привлекательность данные сети получили с появлением недорогих беспроводных сетевых решений (стандарт IEEE 802.11 Wireless Ethernet, технологии HIPERLAN/2, Bluetooth), не требующих связной инфраструктуры и использующих нелицензионные полосы частот. Все узлы (хосты)¹⁾ сети мобильны (не имеют фиксированного местоположения) и обмениваются информацией непосредственно между собой (или применяют ретрансляцию передаваемых пакетов) по мере необходимости. Это сети радиосвязи, создаваемые в условиях (рис. 1) чрезвычайных ситуаций (наводнения, аварии, землетрясения и т. п.), для обмена информацией во время проведения различного уровня конференций (рис. 2), а также для организации системы обмена информацией в мобильных

подразделениях силовых и правоохранительных органов.

Они характеризуются:

- динамичной топологией — узлы сети мобильны; радиоканалы нестабильны и имеют ограниченную дальность связи и пропускную способность, зависящие от характера местности, мощности передатчика, протокола доступа к каналу, частоты, помех и т. п.;
- ограниченной энергетической возможностью некоторых узлов (вследствие использования аккумуляторных батарей);
- значительными размерами (десятки и сотни узлов).

При построении таких сетей одной из главных проблем является выбор протоколов маршрутизации для обеспечения эффективной работы сети. Алгоритмы маршрутизации в существующих сотовых сетях мобильной связи (IS-41, GSM, IS-95A), основанные на ведении центром коммутации двух баз данных: положения (HLR — Home Location Register) и перемещения (VLR — Visitor Location Register), являются централизованными и поэтому не могут быть применены в мобильных радиосетях.

В настоящее время многочисленные протоколы маршрутизации разработаны рабочей исследовательской группой IETF²⁾ (Internet

¹⁾ Под узлом сети понимается радиотерминал с функциями маршрутизатора или переносной компьютер, оснащенный маршрутизатором и приемопередатчиком.

²⁾ Целью данной рабочей группы является стандартизация протоколов маршрутизации, которые, используя традиционные IP-сервисы, обеспечивали бы эффективную маршрутизацию в мобильных радиосетях с динамичной топологией.

Engineering Task Force – www.ieff.org/html.charters/manet-charter.html) для сетей MANET (Mobile Ad Hoc Networks). В ближайшее время планируется внедрение протокола IPv6, который позволит создать в Интернет гибкую и масштабируемую структуру маршрутизации за счет иерархической адресации. Однако до конца не решенной остается проблема создания эффективных протоколов маршрутизации IP-пакетов мобильных хостов в сетях Интернет, т. к. существующие протоколы³⁾ (включая IP, Netware IPX, ISO CLNP, AppleTalk) не поддерживают мобильные хосты.

Трудности в основном связаны со сложностями выполнения основных ключевых требований к протоколам маршрутизации:

- распределенное функционирование;
- минимальная нагрузка сети служебной информацией при реакциях на изменения в сети;
- отсутствие циклических маршрутов;
- быстрая сходимость;
- построение маршрута по мере необходимости;
- обеспечение нескольких маршрутов доставки информации к адресату;

Существующие протоколы маршрутизации, предложенные для применения в мобильных радиосетях, в зависимости от способа сбора информации о состоянии сети можно разделить на два класса (таблица): *таблично-ориентированные* (DSDV – Destination-Sequenced Distance-Vector, WRP – Wireless Routing Protocol) и *зондовые* (DSR – Dynamic Source Routing, AODV – Ad Hoc On-Demand Distance Vector, TORA – Temporally Ordered Routing Algorithm, ABR – Associativity-Based Routing, SSR – Signal Stability Routing).

Особый интерес специалистов в последнее время вызывают таблично-ориентированный DSDV, а также



Рис. 1. Пример создаваемой радиосети в условиях чрезвычайной ситуации

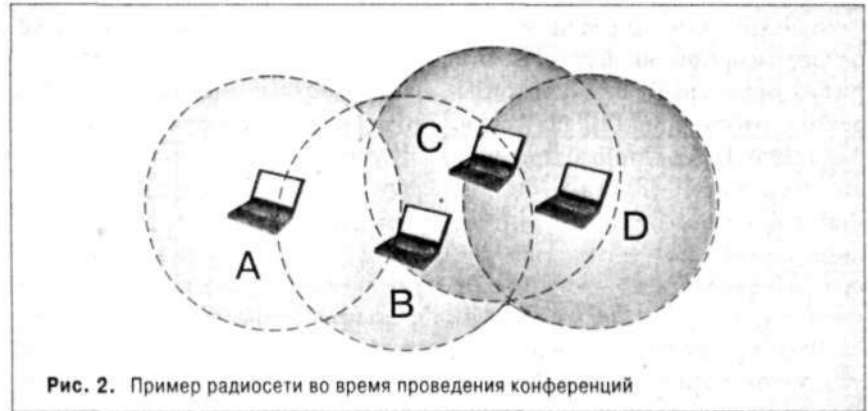


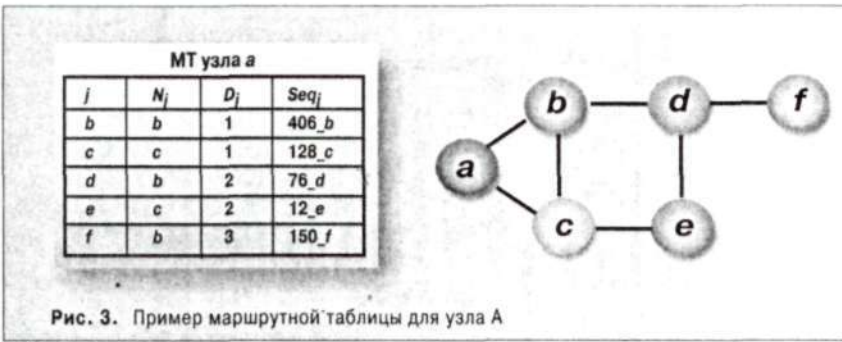
Рис. 2. Пример радиосети во время проведения конференций

Характеристика маршрутов	Сравнительная характеристика зондовых и таблично-ориентированных протоколов	
	Методы	
	Зондовые	Таблично-ориентированные
Построение маршрутов	Каждым узлом к определенным адресатам по мере необходимости	Каждым узлом ко всем адресатам сети
Возможность иерархической маршрутизации	нет	да
Периодическая корректировка маршрутов	не требуется	требуется
Объем служебной информации:		
	– высокая динамика топологии	меньше
– низкая динамика топологии	больше	меньше
Возможность обслуживать (интегральный трафик) QoS	Да, но при условии построения маршрутов с минимальным числом ретрансляций	Да, использует многопараметрическую маршрутизацию

зондовые DSR и AODV протоколы. Ряд научных подразделений учебных заведений и телекоммуникационных фирм уже производят тестирование предложенных методов маршрутизации: DSR – Carnegie Mellon University в рамках проекта CMU Monarch Project (<http://www.monarch.cs.cmu.edu>); AODV – фирмой Ericsson – тестирование сервера AODV ([\[ece.ucsb.edu/~eroyer/aodv.html\]\(http://ece.ucsb.edu/~eroyer/aodv.html\)\). Протоколы маршрутизации реализованы программно для третьего уровня модели OSI. В качестве сетевых адаптеров выбраны сетевые карты Lucent^{4\)} WareLan/IEEE 802.11 Lucent Ware Lan/PCMCIA, работающие на частотах 900 МГц и 2,4 ГГц под управлением Linux 2.036 и позволяющие осуществить обмен данными со скоростями 1...3 Мбит/с \(до 600 м на открытом пространстве и до 100 м в офисе\). К настоящему времени протоколы DSR и AODV исследовательской группой IETF признаны в качестве стандартов.](http://alpha.</p>
</div>
<div data-bbox=)

³⁾ Под протоколом маршрутизации будем понимать совокупность семантических и синтаксических правил, определяющих образование, поддержание маршрутов передачи между отправителем и адресатом в сетях связи и обеспечивающих эффективное использование сетевых ресурсов при заданном качестве обслуживания пользователей.

⁴⁾ Адрес беспроводных карт Lucent Technologies «warelan product specification» <http://www.warelan.com>.



Протокол DSDV

Данный протокол реализован на основе распределенной версии алгоритма Беллмана-Форда (алгоритм вектора-расстояний, Distance Vector Algorithms, DVA), который сегодня в виде версии RIP (Routing Internet Protocol) функционирует в Интернете (см. статью «Протоколы маршрутизации сети Интернет» // Сети и телекоммуникации. – 2000. – № 3).

DSDV предполагает ведение каждым узлом маршрутной таблицы, хранящей информацию о маршрутах доставки информации ко всем адресатам сети. Рассмотрим работу с маршрутной таблицей на примере сети, изображенной на рис. 3. Маршрут к каждому адресату хранится в виде отдельной строки маршрутной таблицы (MT), колонки которой содержат:

- адресат (j);
- следующий узел (N_j) в маршруте передачи к адресату;
- стоимость маршрута к адресату, выраженная числом ретрансляционных участков (D_j);
- последовательный номер маршрута (Seq_j).

Маршрутная таблица каждого узла формируется на основе приема (рассылки) от соседних (соседним) узлов(ам) маршрутных сообщений (МС), содержащих маршрутные таблицы. МС рассылаются двумя способами: периодически – через определенный интервал (несколько секунд) или по событиям – после изменения MT. Для уменьшения объема служебного трафика маршрутные сообщения бывают двух типов. Первый тип содержит всю маршрутную таблицу узла и передается редко, второй – только измененную маршрутную информацию (отдельные строки таблицы) и может включаться в пакет канального доступа.

Приняв МС, узел строит новые кратчайшие маршруты к адресатам сети (корректирует строки MT). Так, если узел a получил МС от соседних узлов c и b , то он вычисляет кратчайший маршрут к каждому адресату сети (например к f – $D(a, f)$) по формуле:

$$D(a, f) = \min_k [d(a, k) + D(k, f)] =$$

$$= \min_k \begin{bmatrix} d(a, b) + D(b, f) \\ d(a, c) + D(c, f) \end{bmatrix} = \min_k \begin{bmatrix} 1 + 2 \\ 1 + 3 \end{bmatrix} = 3$$

где $k = \{b, c\}$ – соседи узла a , $D(k, f)$ –

стоимость кратчайшего пути от узла k к адресату f , $d(a, k)$ – стоимость пути непосредственно от узла a к узлу k .

Следовательно, кратчайшее расстояние к узлу f равно трем ретрансляционным участкам и следующий ретранслятор в маршруте передачи к f – узел b .

Процесс использования маршрутных таблиц при передаче пакета от узла a к узлу f показан на рис. 4.

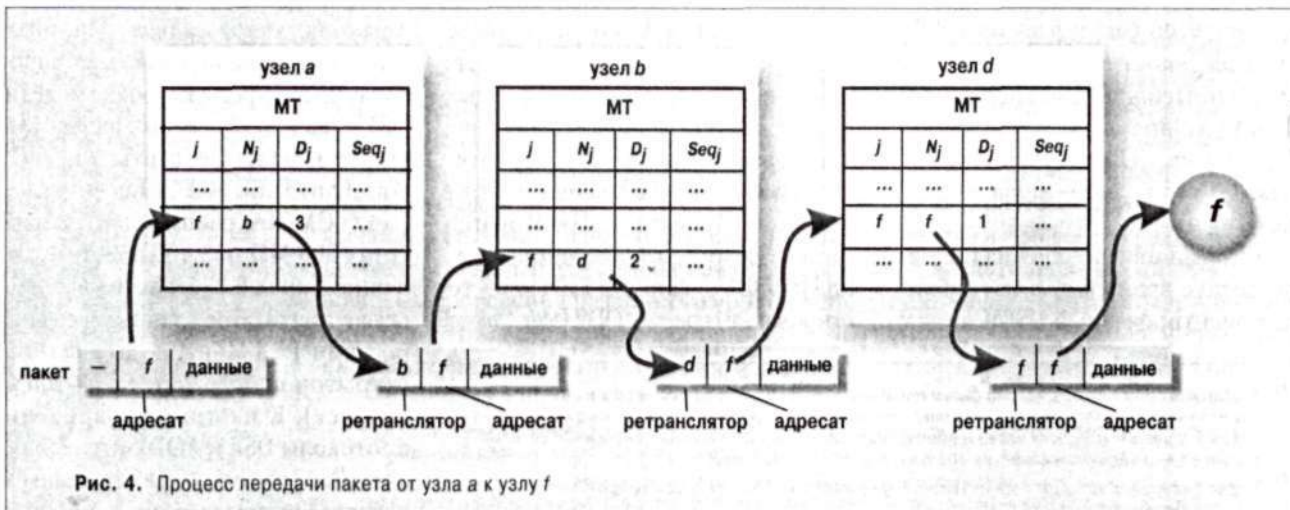
Недостатками данного класса протоколов являются: необходимость решения так называемой проблемы «конечного счета», большое количество итераций (шагов) для завершения работы (в наихудшем случае оно равно количеству узлов сети), заикливание и «колебание» маршрутов.

В протоколе RIP одним из способов решения проблемы сходимости служит механизм ограничения числа ретрансляций (если $D > 15$, то маршрут помечается как несуществующий, т. е. $D = ?$).

Для MANET данный механизм не приемлем, так как количество узлов заранее неизвестно и может быстро изменяться.

В DSDV для решения проблемы заикливания маршрутов применяется механизм их нумерации – значение Seq в MT (например 12_e). Первое значение (12) – непосредственно сам порядковый номер маршрута, а второе (e) – узел, его создавший.

При отказе канала (обнаруживается канальным протоколом) маршруту, проходящему через него, назначается бесконечная метрика, увеличивается его порядковый номер и рассылаются маршрутные сообщения.



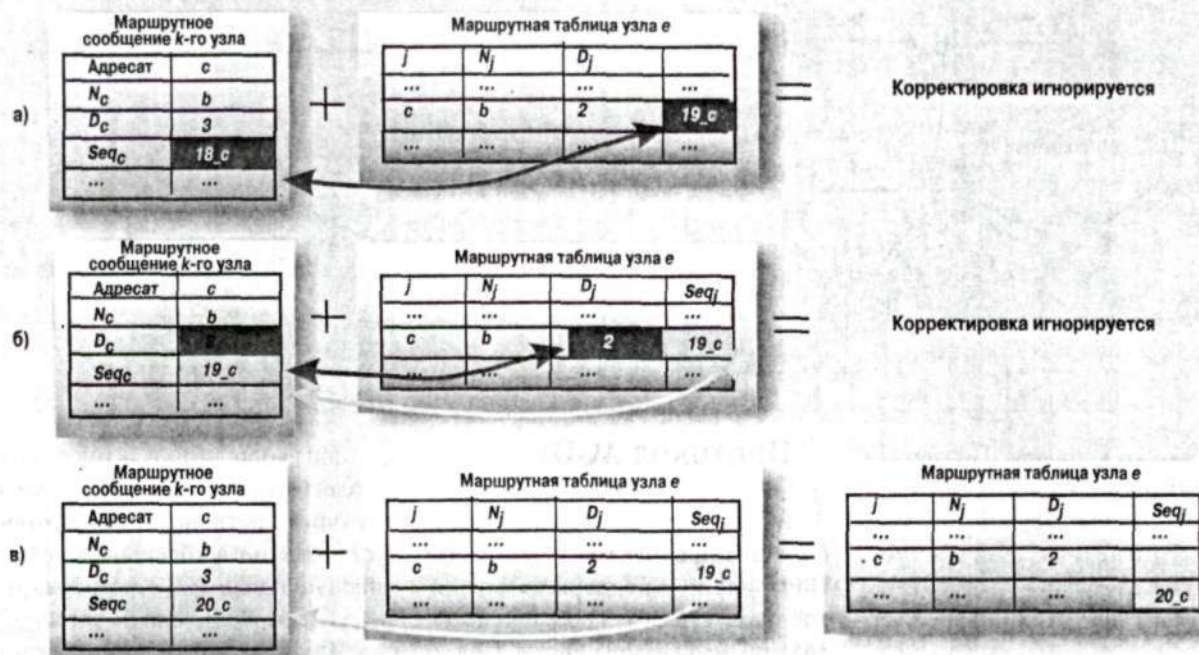


Рис. 5. Пример корректировки маршрутной таблицы

Нумерация позволяет различать новую и старую информацию о маршруте. Пример для узла e , принимающего МС от своих k -х соседей, показан на рис. 5. МС, содержащее информацию об изменении маршрута к узлу c , будет игнорировано в случаях:

- 1) $Seq_c^k > Seq_c^e$, т. е. номер маршрута $18 < 19$ (в МС более «старая» информация о маршруте, чем в узле e (рис. 5. а);
- 2) $Seq_c^k = Seq_c^e$ и $D_c^k > D_c^e$, т. к. номера маршрутов одинаковы (19), но новое расстояние больше ($3 > 2$) (рис. 5. б).

В DSDV реализован механизм уменьшения «колебаний» маршрутов⁵⁾, которые возможны вследствие асинхронной передачи маршрутной информации. Например, узел может принять информацию о двух маршрутах к одному адресату с одинаковым номером, однако, у одного из них хуже стоимость, но он получен первым. Протокол решает эту проблему, ожидая некоторое определенное время («время установления маршрута») маршрутных сообщений с информацией о маршрутах передачи. Задержка в принятии решения по выбору маршрута предотвращает частую корректировку маршрутных таблиц и поэтому число маршрутных сообщений уменьшается.

Положительный момент данного протокола заключается в том, что он всегда обеспечивает отсутствие закливания маршрутов и самоорганизацию сети, эффективен для сетей размерностью до 100 узлов. Но недостаток его – трудность определения оптимального значения максимального «времени установки маршрута» для отдельного адресата, что может привести к колебаниям маршрута и дополнительной рассылке маршрутных сообщений.

Протокол DSR

Основное отличие зондовых методов маршрутизации (в зарубежной литературе они называются «реактивными» или «по требованию») от таблично-ориентированных в том, что узлы формируют маршрут передачи информации по мере необходимости рассылкой по сети специальных пакетов (зондов-запросов) и сбора зондов-ответов, содержащих информацию о возможных маршрутах передачи информации. Поэтому зондовая маршрутизация предполагает два основных этапа функционирования: создание маршрута и его поддержка в активном состоянии.

Рассмотрим реализацию зондовых протоколов маршрутизации на примере протокола DSR.

DSR предусматривает два этапа функционирования: создание и поддержка маршрута.

Создание маршрута. Отправитель (узел 1), не имея маршрута и желая передать пакет адресату (узлу 8), передает соседним узлам зонд-запрос, содержащий идентификатор адресата (рис. 6). Узел, принявший зонд-запрос, может поступить следующим образом. Если он не знает маршрута к адресату, то добавляет свой идентификатор в зонд-запрос и передает его далее своим соседям (это позволит получить обратный путь передачи и избежать закливания маршрута). В противном случае (или при достижении зондом-запросом адресата) отправителю посылаются зонд-ответ с указанием маршрута. Узел отправитель, получив зонд-ответ, помещает маршрут в свой кеш. Промежуточные узлы, передающие зонды-ответы, также сохраняют полученные маршруты к адресату и отправителю.

⁵⁾ «Колебания» или неустойчивость маршрутов – выбор различных маршрутов в условиях неодновременности получения маршрутной информации из-за неравномерности ее распространения по сети.



Рис. 6. Этап создания маршрута

Поддержка маршрута. Поддержка маршрута может осуществляться двумя способами: активным и пассивным. В первом случае, если промежуточный узел k обнаружил отказ канала (который является составной частью маршрута для i -го узла), то узел k посылает зонд-отказ узлу i . Во втором случае, любой узел может прослушивать наличие ретрансляций соседа и осуществлять пассивный контроль наличия маршрута на расстоянии одного ретрансляционного участка.

При получении узлом зонда-отказа он инициирует процесс создания нового маршрута.

Достоинством протокола DSR является возможность быстрой адаптации к изменению топологии сети; отсутствие периодической посылки служебной информации (что характерно для табличных методов). Однако он требует рассылки достаточно большого объема служебной информации при высокой динамике топологии сети.

Протокол AODV

AODV представляет собой комбинацию протоколов DSR и DSDV. Построение и поддержка маршрутов осуществляется зондовыми методами, хранение маршрутов – в соответствии с таблично-ориентированными методами. Для поддержки информации о «новых» маршрутах используется порядковая нумерация маршрутов. Протокол использует четыре типа сообщений: зонд-запрос, зонд-ответ, зонд-корректировка и hello-сообщение.

Формат зондов представлен на рис. 7 и 8 (в квадратных скобках показано число отведенных бит).

Формат hello-пакета похож на формат зонда-ответа. Содержание его полей следующее: $L=0$, «число ретрансляций» имеет значение ноль, в полях «IP-адресата и его номер» записан IP-адрес отправителя и его номер и, кроме этого, содержится список соседних узлов.

Зонд-корректировка имеет поля, аналогичные зонду-ответу, кроме поля «число ретрансляций», которое установлено в «бесконечность» и значение поля «порядковый номер адресата», увеличено на единицу.

Маршрутная таблица каждого узла содержит следующую информацию: IP-адресата, число ретрансляций до адресата, следующий узел в пути к адресату, порядковый номер маршрута, время функционирования маршрута, список активных соседних узлов.

Функционирование протокола происходит следующим образом. При необходимости передачи пакета узел обращается к маршрутной таблице за информацией о маршруте. В случае ее отсутствия передается зонд-запрос всем соседним узлам. Промежуточные узлы, приняв зонд-запрос и не имея маршрута к адресату, ретранслируют его далее.

Адресат, получивший зонд-запрос, формирует зонд-ответ и посылает его отправителю. Отправитель, получив зонд-ответ, корректирует свою маршрутную таблицу.

В качестве основных достоинств метода надо отметить, что он обеспечивает отсутствие закливания маршрутов, решает проблему «конечного счета», гарантирует получение «новых» маршрутов и может поддерживать многопользовательскую маршрутизацию.

Валерий РОМАНЮК,
канд. техн. наук, доцент,

Анатолий МИНОЧКИН,
канд. техн. наук.

Тип сообщения [8]	Резервное поле [11]	Число ретрансляций
Идентификатор широковещательной передачи [32]		
IP-адрес абонента [32]		
Порядковый номер абонента [32]		
IP-адрес отправителя [32]		
Порядковый номер отправителя [32]		

Рис. 7. Формат зонда-запроса

Тип сообщения [8]	$L=1$	Резервное поле [11]	Число ретрансляций
IP-адрес абонента [32]			
Порядковый номер абонента [32]			
Время принятия зонда-запроса [32]			

Рис. 8. Формат зонда-ответа