

А. И. МИНОЧКИН, В. А. РОМАНЮК, канд. техн. наук, доцент

ПРОТОКОЛЫ МАРШРУТИЗАЦИИ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Известны две архитектуры построения мобильных радиосетей: фиксированная и динамическая. Фиксированная сеть строится согласно сотовому принципу организации связи: зона обслуживания делится на ячейки (соты), в каждой из которых находится базовая станция, обслуживающая все подвижные станции (абонентские радиотерминалы) в пределах своей ячейки. При перемещении абонента из ячейки в ячейку его обслуживание передается от одной базовой станции к другой.

Рассмотрим динамическую архитектуру построения сети радиосвязи, которая не имеет базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации. Все узлы (хосты) сети мобильны и по необходимости обмениваются информацией либо непосредственно, либо с применением ретрансляции передаваемых пакетов. Под узлом сети понимается радиотерминал с функциями маршрутизатора или переносной компьютер, оснащенный маршрутизатором и приемопередатчиком. Такую архитектуру имеют, например, сети радиосвязи, создаваемые в условиях чрезвычайных ситуаций (наводнение, авария, землетрясение и т.п.) (рис. 1), при обмене информацией во время конференций, а также для организации системы обмена информацией в тактическом звене управления.

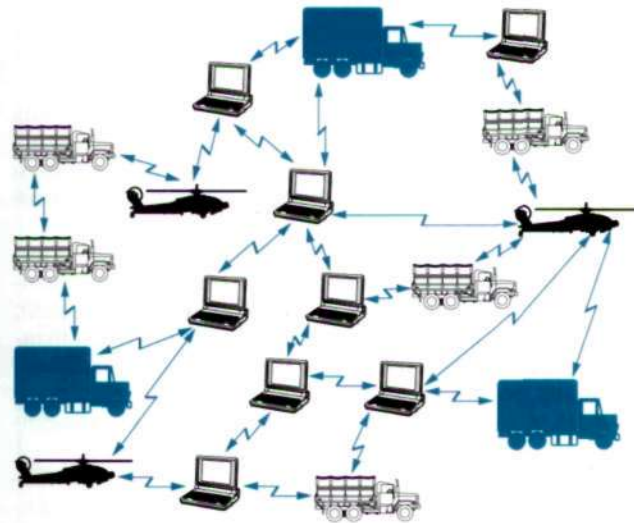


Рис. 1. Пример радиосети, создаваемой в условиях чрезвычайной ситуации

Данные сети характеризуются:

- ♦ динамической топологией — узлы сети мобильны; каналы нестабильны и имеют ограниченные дальность связи и пропускную способность;
- ♦ ограниченной энергетической возможностью некоторых узлов;
- ♦ значительной размерностью (десятки и сотни узлов).

Исследования протоколов маршрутизации в таких сетях были начаты в 70–80-е годы по проекту DAPRA PRNET (Defense Advanced Research Project Agency Packet Radio Networks) [1]. С тех пор многочисленные протоколы созданы рабочей исследовательской группой IETF (Internet Engineering Task Force) [2] для сетей MANET

(Mobile Ad Hoc Networks). Ныне эта группа разрабатывает протоколы, предусматривающие использование традиционных IP сервисов для обеспечения эффективной маршрутизации в мобильных радиосетях с динамичной топологией. В ближайшее время планируется внедрение протокола IPv6, который позволит создать в Internet гибкую и масштабируемую структуру маршрутизации за счет иерархической адресации. Однако для сетей Internet все еще не решена до конца проблема создания эффективных протоколов маршрутизации IP пакетов мобильных хостов: существующие протоколы, включая IP, Net-ware IPX, ISO CLNP, AppleTalk, их не поддерживают.

Проанализируем современное состояние протоколов маршрутизации в мобильных радиосетях (сетях MANET), определив направления дальнейших исследований.

Под протоколом маршрутизации будем понимать совокупность семантических и синтаксических правил, согласно которым образуются и поддерживаются маршруты передачи между отправителем и адресатом в сетях связи, а также обеспечивается эффективное использование сетевых ресурсов при заданном качестве обслуживания пользователей.

Особенности мобильных радиосетей обуславливают ключевые требования к протоколам маршрутизации:

- распределенное функционирование;
- минимальная загрузка сети служебной информацией;
- отсутствие заикливания маршрутов доставки информации;
- быстрая сходимость;
- получение маршрута по мере необходимости;
- возможность создания нескольких маршрутов к одному адресату;
- обеспечение, если потребуется, режима «молчания»;
- поддержка однонаправленных каналов.

Все протоколы маршрутизации, предложенные для применения в мобильных радиосетях, можно классифицировать по четырем признакам (рис. 2):

- 1) способу сбора информации о состоянии сети;
- 2) организации;
- 3) количеству параметров, собираемых о состоянии сети и участвующих при принятии решения о выборе маршрута;
- 4) наличию групповых маршрутов передачи.



Рис. 2. Классификация применяемых в мобильных радиосетях протоколов маршрутизации

Рассмотрим два основных класса протоколов: таблично-ориентированные и зондовые.

Таблично-ориентированные протоколы

Данный класс протоколов основан на распределенной версии алгоритма Беллмана—Форда [3] (алгоритм вектора расстояний, Distance Vector Algorithms, DVA), который изначально был реализован в сети ARPANET, а сегодня в виде версии RIP (Routing Internet Protocol) функционирует в Internet.

Представителями этого класса в мобильных радиосетях являются DAPRA PRNET, DSDV, WRP протоколы.

Указанные протоколы предполагают ведение каждым узлом одной или нескольких таблиц, хранящих информацию о маршрутах доставки информации по всем адресатам сети. Всегда присутствует основная таблица — маршрутная. Рассмотрим ее содержание на примере протокола маршрутизации сети *DARPA PRNET* [1]. Каждый маршрут хранится в виде отдельного входа: j — адресат; K_j — следующий узел в маршруте передачи к адресату; D_j — стоимость маршрута (рис. 3).

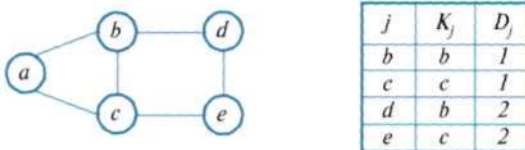


Рис. 3. Пример маршрутной таблицы для узла a (протокол DAPRA PRNET)

Стоимость маршрута складывается как сумма метрик каждого канала. В качестве метрики обычно используется число ретрансляционных участков, но иногда — задержка доставки пакетов, качество канала и другие. При одновременном использовании нескольких параметров говорят о *многopараметрической* маршрутизации.

Каждый узел периодически информирует (рассылает маршрутные сообщения, содержащие измененные входы маршрутных таблиц) своих соседей о собственных маршрутах к адресату. Приняв маршрутное сообщение, узел i корректирует свои входы маршрутных таблиц, рассылает маршрутные сообщения соседям.

Недостаток этого протокола заключается в необходимости решения так называемой проблемы «конечного счета». Алгоритм требует большего количества итераций для завершения работы (в наихудшем случае — N итераций, где N — число узлов сети), что вызывает заикливание маршрутов, а в некоторых ситуациях — генерирование множества маршрутных сообщений.

Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) Routing протокол [4] представляет пример таблично-ориентированного протокола, который основывается на классическом алгоритме Беллмана—Форда и улучшает его за счет исключения заикливания маршрутов.

Каждый мобильный узел поддерживает маршрутную таблицу ко всем возможным адресатам сети. Ее входы помечаются порядковыми номерами, определяемыми адресатом (рис. 4).

Идентификатор адресата	Следующий узел на пути к адресату	Расстояние (число переприемов)	Порядковый номер маршрута
------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------

Рис. 4. Структура маршрутной таблицы протокола DSDV

Порядковый номер маршрута позволяет узлам отличать «старый» маршрут от «нового», избегая формирования маршрутных циклов. Маршрутные таблицы периодически корректируются. Для уменьшения объема служебного трафика используются маршрутные сообщения двух типов: первый содержит полную маршрутную информацию узла и передается редко, второй — только измененную маршрутную информацию и может включаться в пакет канального доступа.

При отказе канала маршруту, проходящему через него, назначается бесконечная метрика и корректируется его порядковый номер.

Все маршрутные сообщения также нумеруются. Нумерация позволяет различать новую и старую информацию и гарантирует, что любое маршрутное сообщение каждый узел будет передавать своим соседям не более 1 раза.

DSDV также применяет механизм уменьшения колебаний маршрутов. Колебания маршрутов возможны из-за асинхронной передачи маршрутной информации. Например, узел может принять информацию о двух имеющих одинаковый номер маршрутах к одному адресату, причем у одного из них ниже стоимость, но он получен первым. Протокол решает эту проблему, ожидая некоторое время («время установления маршрута») маршрутных сообщений с информацией о маршрутах передачи. Задержка в принятии решения по выбору маршрута предотвращает частую корректировку маршрутных таблиц, благодаря чему число маршрутных сообщений уменьшается.

Преимущество данного протокола — он всегда обеспечивает отсутствие заикливания маршрутов.

Недостатки:

- ♦ трудность определения оптимального значения максимального «времени установления маршрута» для отдельного адресата, что может привести к колебаниям маршрута и дополнительной рассылке маршрутных сообщений;

- ♦ используются оба вида рассылки маршрутной информации: периодическая и событийная, что приводит к лишней загрузке сети служебной информацией;

- ♦ узел для корректировки входа маршрутной таблицы к определенному адресату ожидает маршрутное сообщение от этого адресата;

- ♦ не поддерживается многопользовательская маршрутизация.

Wireless Routing Protocol (WRP) [5; 6] — таблично-ориентированный протокол. Каждый узел поддерживает маршруты ко всем адресатам сети с помощью четырех таблиц: маршрутной, расстояний, стоимости к узлам и таблицы учета передач маршрутных сообщений.

Маршрутная таблица имеет такой формат (рис. 5)

Идентификатор адресата	Следующий узел на пути к адресату	Расстояние (число переприемов)	Предпоследний узел на пути к адресату
------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	---------------------------------------

Рис. 5. Структура маршрутной таблицы протокола WRP

Поддержание информации о следующем и предпоследнем узлах в маршруте позволяет обнаруживать циклы и решать проблему «конечного счета».

Таблица расстояний узла i содержит расстояния каждому адресату j через соседей k , т.е. хранит информацию о маршрутных таблицах соседних узлов.

Таблица стоимости каналов ведет подсчет времени безошибочной работы (числа передач) с соседними узлами.

Таблица учета передачи маршрутных сообщений подсчитывает число переданных маршрутных сообщений соседним узлам без получения на них квитанции.

Маршрутные сообщения посылаются периодически или при изменении маршрутной таблицы. Если за период рассылки маршрутных сообщений маршрутная таблица не изменилась, то передается пакет присутствия (hello-пакет). Приняв маршрутное сообщение, узел корректирует таблицу расстояний и формирует новый маршрут (по критерию минимального числа ретрансляций). Если такой маршрут существует, маршрутная таблица корректируется и маршрутные сообщения рассылаются соседям соответствующего узла.

Преимущества протокола — отсутствие закливания маршрутов, быстрая сходимость, возможность получения нескольких маршрутов доставки информации.

Недостатки — применение hello-пакетов, большое число маршрутных сообщений при высокой динамике сетевой топологии.

Сравнительные характеристики таблично-ориентированных методов (протоколов) маршрутизации представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Характеристика	Протокол		
		DAPRA PRNET	DSDV	WRP
1	Временная сложность (отказ/появление канала)	$O(d)$	$O(d)$	$O(h)$
2	Связная сложность (отказ/появление канала)	$O(x=N)$	$O(x=N)$	$O(x=N)$
3	Возможность применения иерархической маршрутизации	Да	Нет	Да
4	Отсутствие закливания маршрутов	Нет	Да	Да, но не мгновенно
5	Возможность многопользовательской маршрутизации	Нет	Нет	Нет
6	Количество необходимых таблиц	3	2	4
7	Рассылка маршрутных сообщений	Периодическая и по событиям		
8	Глубина рассылки маршрутных сообщений	Только соседям		
9	Использование порядковой нумерации маршрутов	Нет	Да	Да
10	Применение hello-пакетов	Да	Нет	Да
11	Маршрутная метрика	Ретрансляционный участок, кратчайший путь		

Примечание. Используются обозначения: N — число узлов сети; d — ее диаметр; h — вес маршрутного дерева; x — число узлов, на которые воздействует изменение топологии.

Зондовые протоколы маршрутизации

Основное отличие зондовых методов маршрутизации от таблично-ориентированных заключается в том, что узлы формируют маршрут передачи информации по мере необходимости, рассылая по сети специальные пакеты (зонды-запросы) и собирая зонды-ответы, касающиеся возможных маршрутов передачи информации. Поэтому зондовая маршрутизация предполагает два основных этапа функционирования: создание маршрута и его поддержание. Рассмотрим реализацию зондовых протоколов маршрутизации на примерах DSR, AODV, TORA, ABR, SSR.

DSR (Dynamic Source Routing) предложен в [7] и предусматривает два этапа.

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

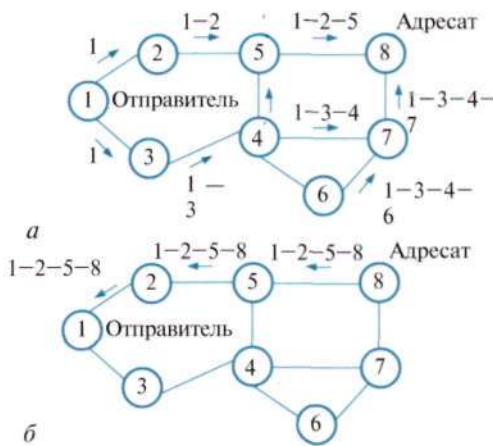


Рис.6. Этап создания маршрута протокола DSR: а — рассылка зондов-запросов; б — посылка зондов-ответов

♦ **Поддержание маршрута.** Маршрут может поддерживаться 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 пассивно контролировать наличие маршрута на расстоянии одного ретрансляционного участка.

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

Преимущества DSR — быстрая адаптация к изменению топологии сети; отсутствие периодической рассылки служебной информации.

Недостаток этого протокола заключается в том, что требуется рассылка весьма большого объема служебной информации.

Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) [8] представляет собой комбинацию протоколов DSR и DSDV. Построение и поддержание маршрутов осуществляются зондовыми методами. Для поддержания информации о «новых» маршрутах служит порядковая нумерация маршрутов. Протокол использует четыре типа сообщений: зонд-запрос, зонд-ответ, зонд-корректировка и hello-сообщение.

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

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

Рис. 7. Формат зонда-запроса протокола AODV

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

Рис. 8. Формат зонда-ответа протокола AODV

Формат hello-пакета похож на формат зонда-ответа. Содержание его полей следующее: L = 0, «число ретрансляций» имеет значение нуля, в полях «IP адресата» и «Порядковый номер адресата» записан его собственный IP адрес и номер, а также представлен список соседних узлов.

Зонд-корректировка имеет поля, аналогичные полям зонда-ответа, кроме поля «число ретрансляций», которое установлено в «бесконечность», причем значение поля «порядковый номер адресата» увеличено на единицу.

Маршрутная таблица каждого узла содержит такую информацию: IP адресата и его порядковый номер, число ретрансляций до адресата; следующий узел на пути к адресату; время функционирования маршрута; список активных соседей.

Функционирование протокола сводится к выполнению описанных далее действий. При необходимости передачи пакета узел, чтобы получить соответствующий маршрут, обращается к маршрутной таблице. Если там его нет, зонд-запрос передается всем соседним узлам. Каждый из них, приняв зонд-запрос и не имея маршрута к адресату, ретранслирует такой запрос далее.

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

Преимущества AODV — обеспечивается отсутствие заикливания маршрутов; решается проблема «конечного счета»; гарантируется получение новых маршрутов; способен поддерживать многопользовательскую маршрутизацию.

Недостаток протокола — применение hello-сообщений.

Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA) [9] — адаптивный распределенный алгоритм маршрутизации, основанный на построении каждым узлом (по мере необходимости) весового направленного ациклического графа с корнем в узле-отправителе и тупиковой вершиной в узле-адресате.

Функционирование алгоритма включает в себя три этапа: создание маршрута, его поддержание и уничтожение.

Для исключения заикливания маршрутов весовая метрика снабжена параметром «логическое время отказа канала», т.е. протокол предполагает временную синхронизацию узлов (например, с использованием Global Position System).

Построение маршрута начинается посылкой отправителем такого зонда-запроса на установление маршрута, который содержит вес последнего. Далее выполняется сбор зондов-ответов, сообщающих о весах в узлах сети (рис. 9).

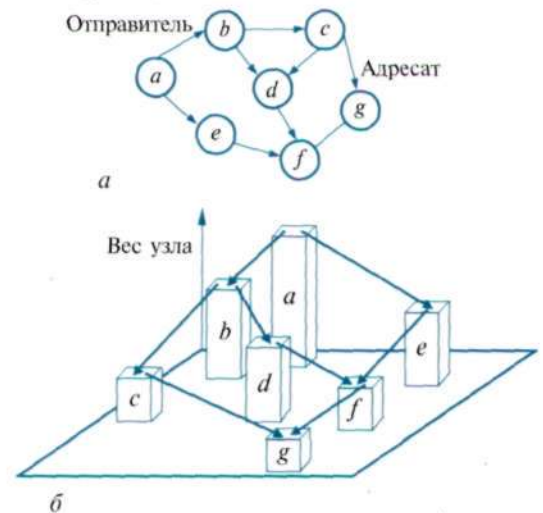


Рис. 9. Этап построения маршрута протокола TORA: а — назначение направленных каналов; б — весовой граф

Поддержание маршрута сводится к выполнению таких действий. Узел, не имеющий маршрута к адресату, выбирает новый вес, который становится глобальным максимумом, и рассылает его (с помощью зонда-корректировки) своим соседям.

Соседние узлы согласовывают свой вес с узлом отправителем, изменяют направления каналов и передают зонды-корректировки далее.

На этапе уничтожения маршрута узел посылает зонд-стирания.

Преимущества TORA — быстрая сходимость; распределенное функционирование; обеспечение нескольких маршрутов доставки информации к адресату.

Недостаток протокола — необходимость временной синхронизации узлов (возможны временные колебания маршрутов).

Associativity-Based Routing (ABR) [10]. Основное отличие от других протоколов — метрика выбора маршрутов, учитывающая время существования канала (его стабильность). Каждый узел периодически генерирует сигналы присутствия (так называемые сигналы радиомаяка — Beacon), число которых (степень стабильности) подсчитывается соседними узлами в таблице связности. Если степень стабильности в данной таблице превышает определенный порог $A_{\text{стаб}}$, это свидетельствует о незначительной мобильности узла.

Метод предполагает три основных этапа функционирования: создание маршрута, его поддержание и уничтожение.

Построение маршрута начинается с того, что узел-отправитель посылает зонд-запрос, содержащий идентификаторы отправителя, адресата и степени стабильности каналов с соседними узлами. Адресат, получив зонды-запросы, выбирает лучший маршрут (при одинаковом качестве маршрутов преимущество отдается маршруту с минимальным числом ретрансляций) и по нему посылает зонд-ответ отправителю. Промежуточные узлы (через которые передается данный зонд-ответ) помечают себе данный маршрут как действительный и записывают в таблицу. Все другие маршруты помечаются как неактивные, чем устраняется возможность получения дубликатов пакетов.

Процесс поддержания маршрута может частично включать в себя элементы построения, корректировки и стирания маршрутов в зависимости от того, какой узел движется по этому маршруту.

Перемещение узла-отправителя влечет за собой новый процесс построения маршрута. Узел, предшествующий перемещаемому адресату (или промежуточному узлу) в маршруте к нему, пытается локализовать процесс восстановления маршрута, посылая зонд-запрос и принимая зонды-ответы.

Преимущества ABR — выбор маршрутов с наибольшим временем существования каналов обеспечивает уменьшение числа реконструкций маршрутов, а также отсутствие дубликатов зондов.

Недостатки протокола — выбранные пути не являются кратчайшими; необходимо передавать сигнал присутствия.

Signal Stability Routing [SSR] [11]. Выбирается маршрут с использованием временного и энергетического параметров: продолжительности существования канала и мощности сигнала. Каждый узел содержит две таблицы — сигнальную и маршрутную. В сигнальной хранится информация о качестве каналов с соседними узлами, в маршрутной — следующий узел на пути к адресату (рис. 10).

Построение маршрута такое же, как по протоколу DSR. Когда необходим маршрут, узел-отправитель посылает зонд-запрос, формат которого содержит поле, определяющее желаемое качество маршрута (только высокостабильный, предпочтительно высокостабильный, любой). Предполагается, что требование высокостабильного маршрута возможно только при первой попытке получения маршрута. Принимающий узел распространяет зонд-запрос (если он не был отправлен ранее) только в случае его приема по высокостабильному каналу.

Идентификатор адресата	Мощность сигнала	Время приема последнего сигнала	Число принятых сигналов	Стабильность
c	Сильная	10:23	7	Высокая
g	Слабая	10:26	5	Низкая

Идентификатор адресата	Следующий узел в маршруте к адресату
g	m

Рис. 10. Форматы сигнальной и маршрутной таблиц протокола SSR

Распространение зонда-запроса прекращается, когда он достигает адресата. Заметим, что зонд-ответ будет посылаться отправителю на первый принятый зонд-запрос, поскольку вероятней всего соответствующий маршрут будет кратчайшим и наименее загруженным. Промежуточные узлы (при прохождении зонда-ответа) добавляют маршруты в свои маршрутные таблицы.

Если отправитель в течение определенного времени ожидания не получил зонда-ответа, то он повторно посылает зонд-запрос, но с более низкими требованиями к качеству маршрута. Узел, обнаруживший отказ канала, посылает отправителю зонд-корректировку, который начнет затем этап стирания маршрута.

Преимущества SSR — выбираются более стабильные маршруты.

Недостатки протокола — промежуточные узлы не могут сообщить отправителю о имеющемся маршруте к адресату, что приводит к значительной задержке при построении маршрута; выбираются не всегда кратчайшие маршруты.

Основные сравнительные характеристики зондовых протоколов [12] представлены в табл. 2.

Общее сравнение зондовых и таблично-ориентированных протоколов приведено в табл. 3.

* * *

В настоящее время предложено достаточно много протоколов маршрутизации для мобильных радиосетей с динамичной топологией. Каждый из них имеет преимущества и недостатки, расходует различное количество временных, связных и вычислительных ресурсов на построение маршрута. *Сделать однозначный вывод о предпочтительности того или иного протокола без рассмотрения конкретной сети невозможно.*

Выбор конкретного протокола маршрутизации будет определяться такими условиями:

▲ выполнением требований, предъявляемых к данному протоколу (например, нельзя использовать «сигналы присутствия» узла);

▲ учетом характеристик конкретной сети (число узлов, пропускная способность каналов, мощность передатчика и др.) и условий ее функционирования (динамика изменения топологии и нагрузки, интенсивность отказов элементов сети и т.д.);

▲ обеспечением эффективного использования сетевых ресурсов при заданном качестве обслуживания пользователей.

Таблиця 2

№ п/п	Характеристика	Протокол				
		AODV	DSR	TORA	ASR	SSR
1	Временная сложность (инициализация/отказ)	$O(2d)$	$O(2d)$	$O(2d)$	$O(d+z)/O(l+z)$	$O(d+z)/O(l+z)$
2	Связная сложность (инициализация/отказ)	$O(2N)$	$O(2N)$	$O(2N)/O(2z)$	$O(N+y)/O(x+y)$	$O(N+y)/O(x+y)$
3	Возможность иерархической маршрутизации	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
4	Отсутствие зашкливания маршрутов	Да	Да	Да	Да	Да
5	Возможность групповой передачи	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
6	Необходимость «пакетов присутствия»	Нет	Нет	Нет	Да	Да
7	Возможность многопользовательской маршрутизации	Нет	Да	Да	Нет	Нет
8	Сохранение маршрутов	Таблица, кэш	Кэш	Таблица	Таблицы	Таблицы
9	Методология реконфигурирования маршрутов	Стирание маршрута, извещение отправителя	Стирание маршрута, извещение отправителя	Изменение направленный каналов	Локализация передаваемых зондов-запросов	Стирание маршрута, извещение отправителя
10	Маршрутная метрика	Кратчайший и «новый» маршрут	Кратчайший маршрут	Кратчайший маршрут	Стабильный и кратчайший маршрут	Стабильный и качественный маршрут

Примечание. Используются обозначения: l — диаметр фрагмента сети, участвующего в построении маршрута; y — общее число узлов в направленном пути при передаче зонда-запроса; z — диаметр такого пути.

Таблиця 3

Характеристика	Класс протоколов	
	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 — динамика топологии: высокая низкая	Меньше Больше	Больше Меньше
Возможность обслуживать интегральный трафик (QoS) (многопараметрическая маршрутизация)	Да, но при условии построения маршрутов с минимальным числом ретрансляций	Да, основной параметр — минимальное число ретрансляций

К перспективным направлениям совершенствования протоколов маршрутизации относятся:

▼ обеспечение интегрированного качества обслуживания (QoS) для различных видов информации (речь, данные, видеoinформация);

▼ многопользовательская маршрутизация (т.е. проблема построения и поддержания одного маршрута доставки информации к нескольким адресатам);

▼ многопараметрическая маршрутизация (использование как параметров в метрике выбора маршрута географического положения узла, мощности передатчика, степени связности и др.).

* * *

В дальнейшем необходимо исследовать поведение протоколов маршрутизации при различных сетевых условиях (изменение входящей нагрузки, динамика сетевой топологии и др.).

Литература

1. Джубин Дж., Торноу Дж. Протоколы пакетной радиосети DARPA // ТИИ-ЭР. 1987.— Т. 75, № 1.— С. 26–41.

2. Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad Hoc Networks (Manet) Working Group Charter. <http://www.ietf.org/html/charters/manet-charter.html>.

3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных: Пер. с англ.— М.: Мир, 1989.— 544 с.

4. Perkins C.E. and Bhagwat p. High Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile

Computers // Comp. Commun. Rev.— Oct. 1994.— P. 234–244.

5. Романюк В.А. Управление построением маршрутов для сети с динамичной топологией // Управляющие системы и машины, 1993.— № 2.— С. 81–86.

6. Murthy S. and Garcia-Luna-Aceves J.J. An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks // ACM Mobile Networks.— 1996.— P. 183–197.

7. Johnson D.B. and Maltz D.A. Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks // Mobile Computing, 1996.— P. 153–181.

8. Perkins C.E. and Royer E.M. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing // Proc. of IEEE WMCSA'99.— Feb. 1999.— P. 90–100.

9. Corson M.S. and Ephremides A. A distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks // ACM Baltzer Wireless Networks.— 1995.— Vol. 1.— P. 61–81.

10. Toh C.-K. A Novel Distributed Routing Protocol To Support Ad-Hoc Mobile Computing // Proc. IEEE Annual Int'l. Phoenix Conf. Comp. and Commun.— Mar. 1996.— P. 480–486.

11. Dube R. Signal Stability Based Adaptive Routing (SSA) for Ad-Hoc Mobile Networks // IEEE Pers. Commun.— Feb. 1997.— P. 36–45.

12. Royer E.M. and Toh C.— K. A Review of Current Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks // IEEE Personal Communications.— 1999.— Vol. 6, N 2.— P. 46–55.

