

**КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАРШРУТИЗАЦИИ В MESH-СЕТЯХ****Введение**

В последнее время беспроводные сети являются основным направлением развития сетевой индустрии. Основным достоинством создания сетей Ad Hoc (сетей произвольной структуры, сетей ПС) является возможность установления соединения между терминалами отовсюду и в любой момент времени без помощи фиксированной, а на практике часто жестко определенной и централизованной сетевой инфраструктуры.

В соответствии с наиболее распространенным представлением мобильная сеть произвольной структуры – это сеть, спонтанно или произвольно сформированная без какой-либо центральной административной системы и состоящая из мобильных узлов, использующих беспроводной интерфейс для передачи пакетных данных. Узлы в сети такого типа могут служить как маршрутизаторами, так и хост-узлами, и они могут пересылать пакеты данных для других узлов и поддерживать выполнение приложений пользователя.

Подклассом мобильной сети, использующий принцип доступа к узлам в зависимости от сложившейся ситуации (MANET), являются сети MESH. В сети MESH узлы связаны друг с другом. Организация сетей ячеистой структуры (MESH) позволяет маршрутизировать данные, голос и команды между узлами этой сети. Сеть учитывает непрерывные подключения и изменения конфигурации сети при возникновении проблем (неисправный узел или заблокированный путь), выбирая оптимальный путь («прыгая» от узла до узла, пока не будет достигнут адрес назначения).

MESH – это сетевая технология, которая позволяет недорогим узлам сети равным по статусу обеспечивать двухстороннюю связь с другими узлами в этой сети и автоматически выбирать оптимальный путь для прохождения пакетов. Такая возможность позволяет эффективно расширять существующую инфраструктуру сети, используемую для совместного доступа, с одновременным увеличением её возможностей и позволяет значительно снизить ограничения по пропускной способности связанные с увеличением числа подключенных беспроводных клиентов, которые присущи обычным беспроводным сетям.

Наиболее важным этапом развития MESH-сетей является задача обеспечения необходимого качества обслуживания, т. к. из-за подвижности узлов и ограничения ресурсов отказы в беспроводных сетях происходят чаще, чем в проводных. Кроме того, в таких сетях постоянно возрастает объем трафика реального времени, чувствительного к изменениям задержек, пропускной способности каналов связи, потере пакетов [1 – 4]. Одним из средств обеспечения качества обслуживания в MESH-сетях являются протоколы маршрутизации.

Существующие протоколы маршрутизации разработаны для проводных сетей без учета динамической топологии, ограничений энергии беспроводных адаптеров, пропускной способности каналов связи. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых адаптивных методов маршрутизации, реагирующих на изменения маршрутов между узлами, учитывающих ограничения MESH-сетей.

**Анализ существующих протоколов маршрутизации в MESH-сетях**

Протоколы маршрутизации (рис. 1), используемые в MESH-сетях, основаны на традиционных алгоритмах маршрутизации, таких как дистанционно-векторный алгоритм маршрутизации и маршрутизация с учетом состояния связей. В зависимости от сложившейся ситуации в MESH-сетях реализуются различные стратегии маршрутизации, такие как прямая маршрутизация, маршрутизация в зависимости от географического местоположения, гибридная, иерархическая и т. д.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ

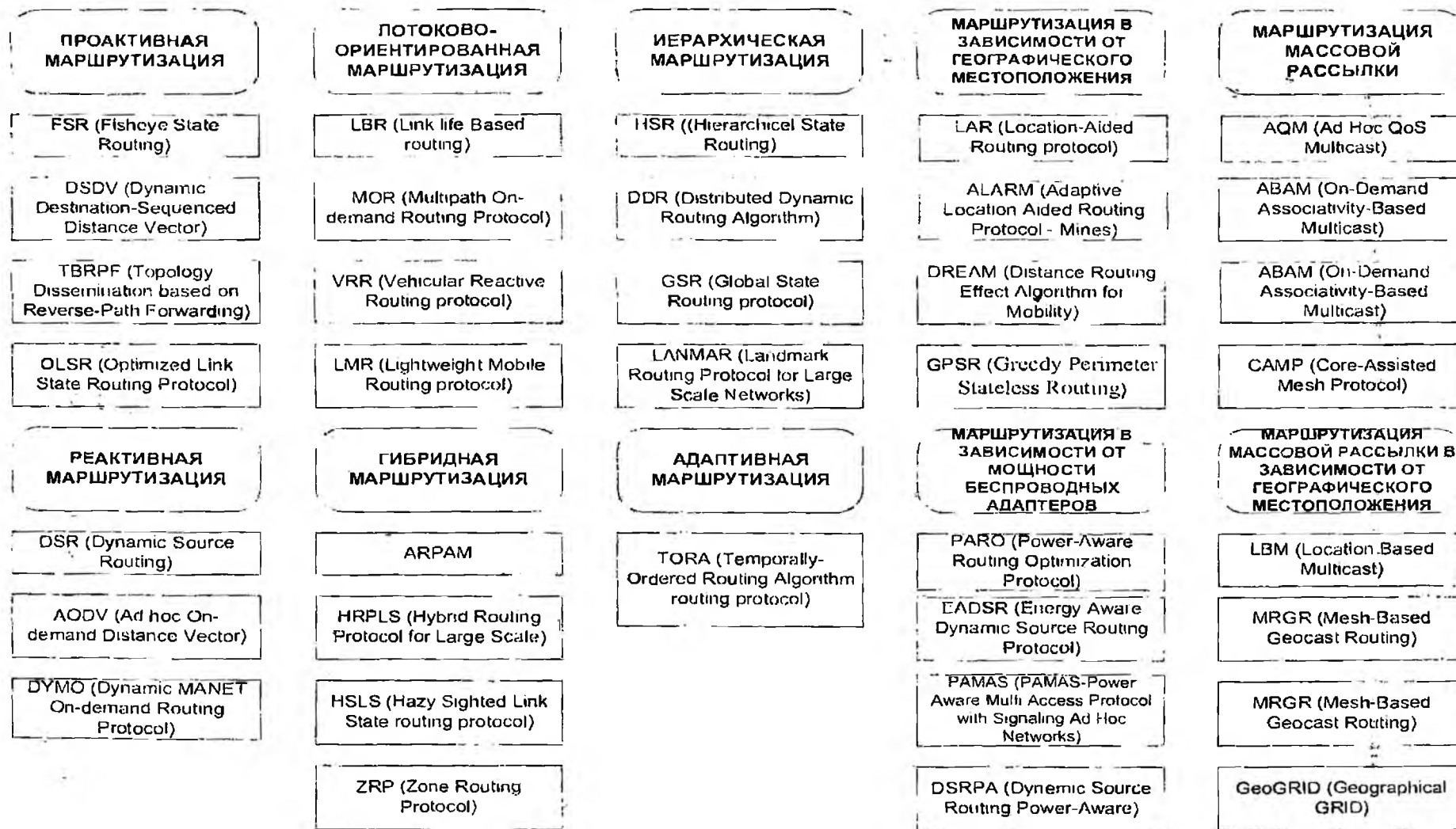


Рис. 1

## Прямая маршрутизация. Проактивные протоколы маршрутизации

Mesh-маршрутизаторы образуют беспроводную транспортную Mesh-сеть для предоставления мобильным абонентам интегрированного доступа к внешним сетям, оснащенным терминалами различного уровня (рис 2)

В основе проактивных протоколов маршрутизации лежат дистанционно-векторные алгоритмы и алгоритмы маршрутизации по состоянию канала связи (Link State, LS) Маршрутизация осуществляется на основе таблиц Для сбора и поддержки актуальной информации о маршрутах, маршрутизаторы периодически обмениваются служебной информацией, даже когда система находится в устойчивом состоянии К проактивным протоколам маршрутизации относятся известные протоколы маршрутизации, хорошо протестированные и широко используемые в современных проводных сетях: протокол RIP, основанный на дистанционно-векторном алгоритме, протокол OSPF, основанный на алгоритме по состоянию канала

Наиболее известным проактивным протоколом маршрутизации является протокол – Fisheye State Routing (FSR) FSR является простым и эффективным протоколом типа LS, который поддерживает топологию сети в каждом узле и обновляет информацию о состоянии каналов Главное различие между FSR протоколами и протоколами типа LS состоит в способе распространения маршрутной информации Во-первых, при использовании FSR происходит обмен информацией о состоянии связей только между соседними узлами, а не по всей сети Информация в таблице состояний каналов постоянно обновляется за счет информации, полученной от соседних узлов Во-вторых, обмен информацией о состояниях каналов обновляется периодически, т.к. постоянные частые обновления разрушают каналы в мобильной сети. Кроме того, периодические рассылки информации о состоянии каналов происходят на различных частотах для разных входов в зависимости от расстояния к текущему узлу

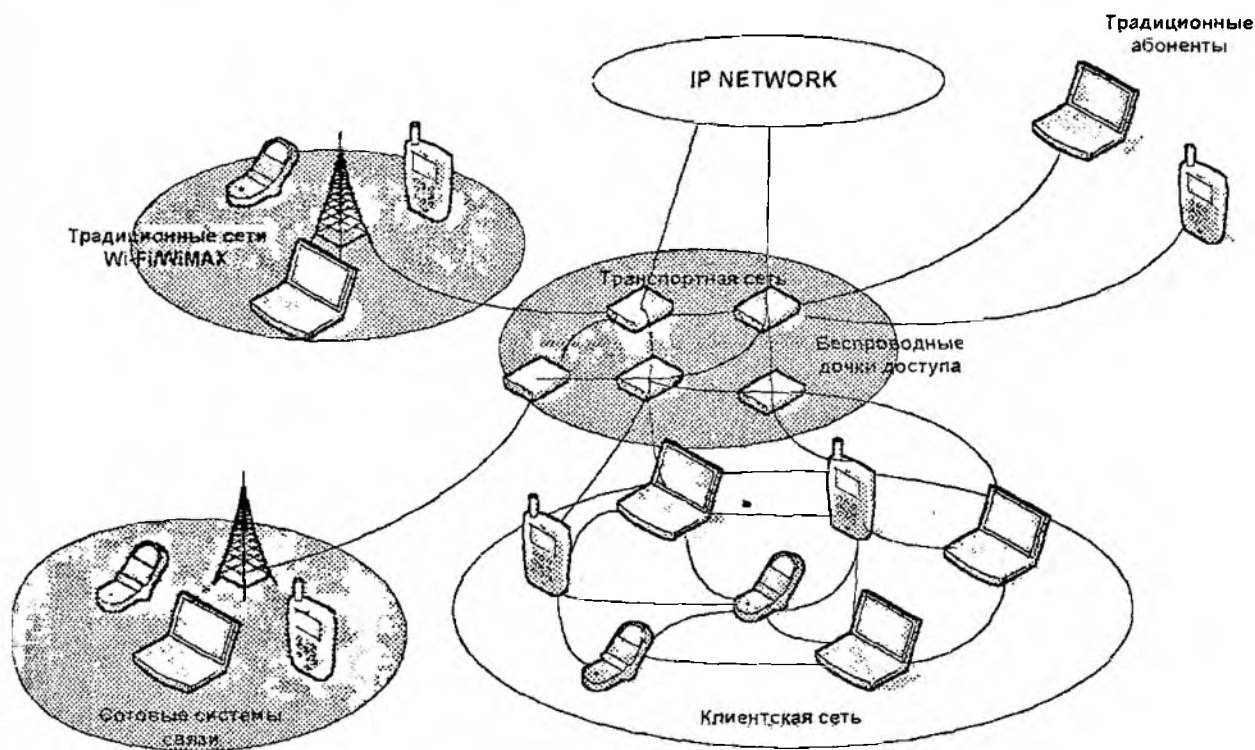


Рис. 2

Пакеты, предназначенные для наиболее удаленных узлов (вне predetermined области), передаются на более низких частотах, чем для передачи к соседним узлам При использовании FSR определяется точное расстояние и информация о маршруте к соседнему узлу и неточный кратчайший путь при соединении с дальним узлом Однако эта неточность компенсируется при приближении пакета к назначенному узлу, т.е. маршрут становится более

определенным при приближении к искомому узлу Подобный принцип используется и в Fuzzy Sighted Link State (FSLS)

С точки зрения использования проактивных протоколов маршрутизации в беспроводных сетях необходимо отметить следующие недостатки:

- в основу данных протоколов положены алгоритмы выбора единственного кратчайшего маршрута, которые не всегда эффективны с точки зрения качества сервиса;
- проактивные протоколы основаны на традиционных (классических) алгоритмах маршрутизации, разработанных для стационарных проводных сетей, без учета динамической природы мобильных сетей и особенностей беспроводной среды связи;
- периодический обмен служебными сообщениями влечет за собой резкое увеличение служебного трафика и непроизводительный расход пропускной способности и энергии мобильных терминалов;
- недостаточно быстро реагируют на изменения топологии мобильной сети, т.е. время сходимости используемых алгоритмов маршрутизации больше, чем частота изменения маршрутов.

На основании сказанного можно сделать вывод, что известные протоколы маршрутизации, основанные на проактивном подходе неэффективны для использования в мобильных сетях. Однако проактивный подход имеет явное достоинство, которое заключается в том, что когда узлу нужно отправить пакет, нужный маршрут уже построен в таблицах маршрутизации. Этот факт является существенным для сокращения времени формирования маршрута передачи данных, поэтому рассмотренные алгоритмы могут быть использованы в качестве базовых алгоритмов для разработки протоколов маршрутизации для сетей с динамической топологией.

### Реактивные протоколы маршрутизации

Для решения задач маршрутизации в мобильных сетях более эффективны реактивные протоколы маршрутизации (AODV, DSR, TORA), которые формируют маршрут передачи данных по требованию. Такие протоколы не требуют никаких излишних затрат при возникновении изменений в топологии мобильной сети, особенно при незначительном движении узлов. Реактивные протоколы основаны на лавинных алгоритмах маршрутизации и алгоритмах маршрутизации от источника и способны динамически реагировать на изменения топологии мобильной сети.

Одним из таких протоколов является Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV). Для каждого объекта в сети таблицы маршрутизации содержат информацию о следующем узле на пути к узлу получателю, временные метки и служебную информацию. Маршруты поддерживаются только в том случае, если они действительно используются. Во избежание циклирования и для подтверждения того, что маршрут действительно «свежий», используются порядковые номера. AODV использует следующие типы пакетов: приветственные сообщения, запрос о маршруте связи (RREQ) (рис. 3), ответ о маршруте связи (RREP), ошибка маршрута связи (RERR).

type	flags	resvd	hopcnt
broadcast_id			
dest_addr			
dest_sequence_#			
source_addr			
source_sequence_#			

Рис. 3

Если при передаче информации через узел путь до адресата не известен, инициируется широковещательная передача сообщений RREQ всем «соседям». Маршруты, по которым следовал запрос, фиксируются на промежуточных узлах. Сообщения RREQ будут размножены через сеть во всех направлениях, пока не достигнут адресата или узла с достаточно «све-

жим» маршрутом, после чего по обратному пути от получателя к отправителю высылается сообщение типа RREP (рис 4), устанавливающее на промежуточных узлах путь для последующей передачи пакетов данных

type	flags	rsvd	prsz	hopcnt
dest_addr				
dest_sequence_#				
source_addr				
lifetime				

Рис 4

Основные проблемы протокола AODV заключаются в следующем:

- разрывы в маршруте передачи данных приводят к потере пакетов данных или инициируют комплексную процедуру восстановления маршрута,
- объем контрольного трафика растет с увеличением плотности и размера сети.
- длинные маршруты слишком неустойчивы,
- не поддерживаются множественные маршруты до узла получателя.

Преимущества реактивных протоколов:

- узлы содержат только активные маршруты,
- пути рассчитываются только по необходимости,
- быстрый отклик на изменения, вызванные мобильностью узлов

Недостатки реактивных протоколов:

- возможность высокой латентности между необходимостью послать пакет и получением маршрута;
- необходимость содержания кэша маршрутов

### Маршрутизация в зависимости от географического положения

Маршрутизация в зависимости от географического положения (Geographic Addressing and Routing, GeoCast) позволяет рассылать сообщения во все узлы в определенной географической области, используя географическую информацию вместо логических адресов узла. Географический адрес выражен тремя способами: точка, круг (с точкой в центре и радиусом), и многоугольник (список точек, например,  $T(1), T(2), \dots, T(n-1), T(n), T(1)$ ). Точка представлена географическими координатами (широта и долгота). Когда сообщение будет направлено по адресу – многоугольник или круг, каждый узел в пределах географической области многоугольника/круга получит сообщение. Географический маршрутизатор (GeoRouter) вычисляет свою зону действия (определенная географическая область) (рис. 5). Эта зона действия ограничена единственным закрытым многоугольником.

GeoRouters обмениваются информацией между прилегающими зонами многоугольников для построения таблиц маршрутизации. Этот подход позволяет построить иерархическую структуру состоящую из маршрутизаторов GeoRouters. Конечные пользователи могут свободно передвигаться в сети.

Передача данных начинается от хоста, отсылающего и получающего «географические» сообщения (GeoHost). Пакеты данных посылаются в местный GeoNode (находящийся в каждой подсети), который осуществляет отправку пакетов местному маршрутизатору GeoRouter. GeoRouter сначала проверяет, пересекает ли его зона действия прилегающую область маршрутизации.

Если часть области маршрутизации не покрыта, GeoRouter посылает копию пакета к его главному маршрутизатору для дальнейшей маршрутизации вне его собственной зоны действия. Затем проверяет зону действия его «дочерних» маршрутизаторов для возможного пересечения с другими областями. Всем «дочерним» маршрутизаторам, пересекающим нужную область, посылают копию пакета. Когда зона действия маршрутизатора находится в пределах нужной области, маршрутизатор пересылает пакет к GeoNodes. Поступающие географические сообщения периодически рассылаются и хранятся в течение определенного времени.

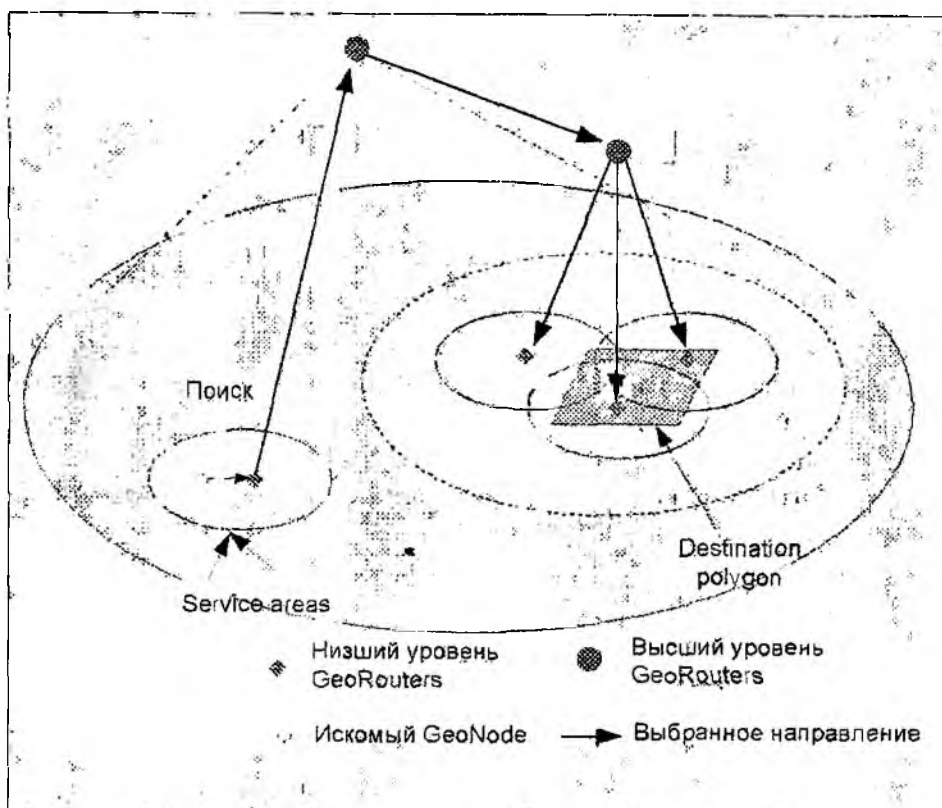


Рис. 5

Наиболее используемый протокол географической маршрутизации – The Location-Aided Routing (LAR), основанный на маршрутизации от источника. Протокол использует информацию о местоположении для минимизации области обнаружения нового маршрута, т. е. для обнаружения наименьшего маршрута к зоне запроса. Как следствие, количество сообщений о запросе искомого маршрута сокращено. Используя информацию местоположения, LAR выполняет поиск маршрута через ограниченную рассылку (посылает запросы к зоне запроса). Как только узлы в зоне запроса отправят сообщение об установлении нужного маршрута, LAR обеспечивает две схемы для определения зоны запроса.

Схема 1: Источник оценивает искомую область (ожидаемая зона), в которой будет установлено соединение за определенное время. Положение и размер области определяются на основании предыдущего местоположения. Наименьшая прямоугольная область, которая включает искомую зону и источник, является зоной запроса (рис. 6). Координаты четырех углов зоны присоединены к запросу маршрута и к источнику. Во время рассылки запроса маршрута только узлы в зоне запроса отправляют сообщение-ответ.

Схема 2: Источник вычисляет расстояние к получателю, основанному на искомом местоположении. Это расстояние, наряду с местоположением получателя, включено в сообщение запроса маршрута и разослано соседям. Когда узел получает запрос, он вычисляет свое расстояние к получателю. Узел передаст сообщение запроса дальше только в том случае, если его расстояние к узлу-получателю меньше или равно расстоянию, включенному в сообщение запроса. Например, в рис. 5, узлы *I* и *J* отправляют запросы от *S*. Прежде, чем узел передает запрос, он обновляет данные о расстоянии в сообщении с его собственным расстоянием к получателю.

Предполагается, что все узлы оснащены приемниками системы мобильного позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) и могут определить свое географическое положение. Между мобильными объектами в сети происходит постоянный обмен информацией о местоположении друг друга.

Преимущества протоколов географической маршрутизации:

- географическая маршрутизация не требует затрат на создание маршрута и его поддержку в актуальном состоянии,
- возможность обнаружить необходимый узел, зная только его положение,
- способность прокладывать маршрут, учитывая энергию узлов.

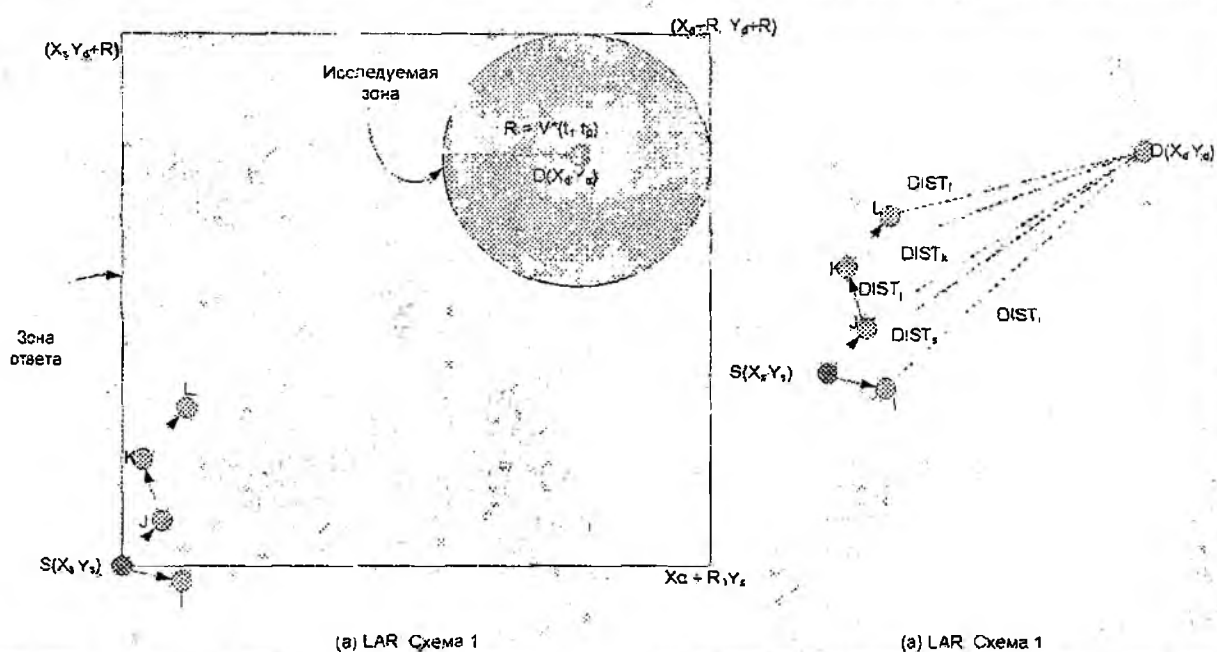


Рис 6

Недостаток протоколов географической маршрутизации состоит в неэффективности получить маршрут до узла по его идентификационному номеру

### Иерархическая маршрутизация в Ad Hoc сетях

Протокол иерархической маршрутизации Hierarchical State Routing (HSR) является многоуровневым объединением в кластеры. Протокол поддерживает логическую иерархическую топологию при использовании рекурсивно сгруппированной схемы. Узлы на одном логическом уровне сгруппированы в группы. Избранные узлы, так называемые – clusterheads, на более низком уровне становятся членами следующего более высокого уровня. Затем на следующем уровне образуют группы, и так далее. Цель объединения в кластеры состоит в том, чтобы уменьшить маршрутизацию (т.е., хранение таблиц маршрутизации, обработка, и передача) на каждом уровне. Пример иерархической структуры с тремя уровнями продемонстрирован в рис 7. Вообще, есть три вида узлов в группе: clusterheads (например, узлы 1, 2, 3, и 4), шлюзы (например, узлы 6, 7, 8, и 11), и внутренние узлы (например, узлы 5, 9, и 10). Clusterhead действует как местный координатор для передач информации в пределах группы.

на первом уровне происходит объединение в кластеры, где каждый узел контролирует состояние связи со своими соседями и передает служебную информацию в пределах группы. Clusterhead суммирует информацию о состоянии связи в пределах данной группы и передает ее к соседним узлам группы (через шлюз). Возможность соединения между соседними clusterheads приводит к формированию уровня 2 группы. Как показано на рис 6, записи о состоянии связи на уровне 2 узла содержат "действительные" связи в С2. "Действительная" связь между соседними узлами 1 и 2 уровня 1 формирует путь от clusterhead 1 к clusterhead 2 через шлюз 6. «Действительная» связь может быть рассмотрена как "туннель", осуществленный через более низкий уровень. Применяя вышеупомянутую процедуру рекурсивного объединения в кластеры, новые «главные» узлы группы избранные на каждом уровне, и затем становятся, более высокоуровневой группой. Если будут требоваться параметры QoS, clusterheads будет обрабатывать информацию об уровне, которому он принадлежит и переда-

ет ее на более высокий уровень. После получения информации о состоянии связи на одном уровне каждый узел рассылает ее к узлам групп низшего уровня. В результате у каждого физического узла есть "иерархическая" информация топологии через иерархический адрес каждого узла.

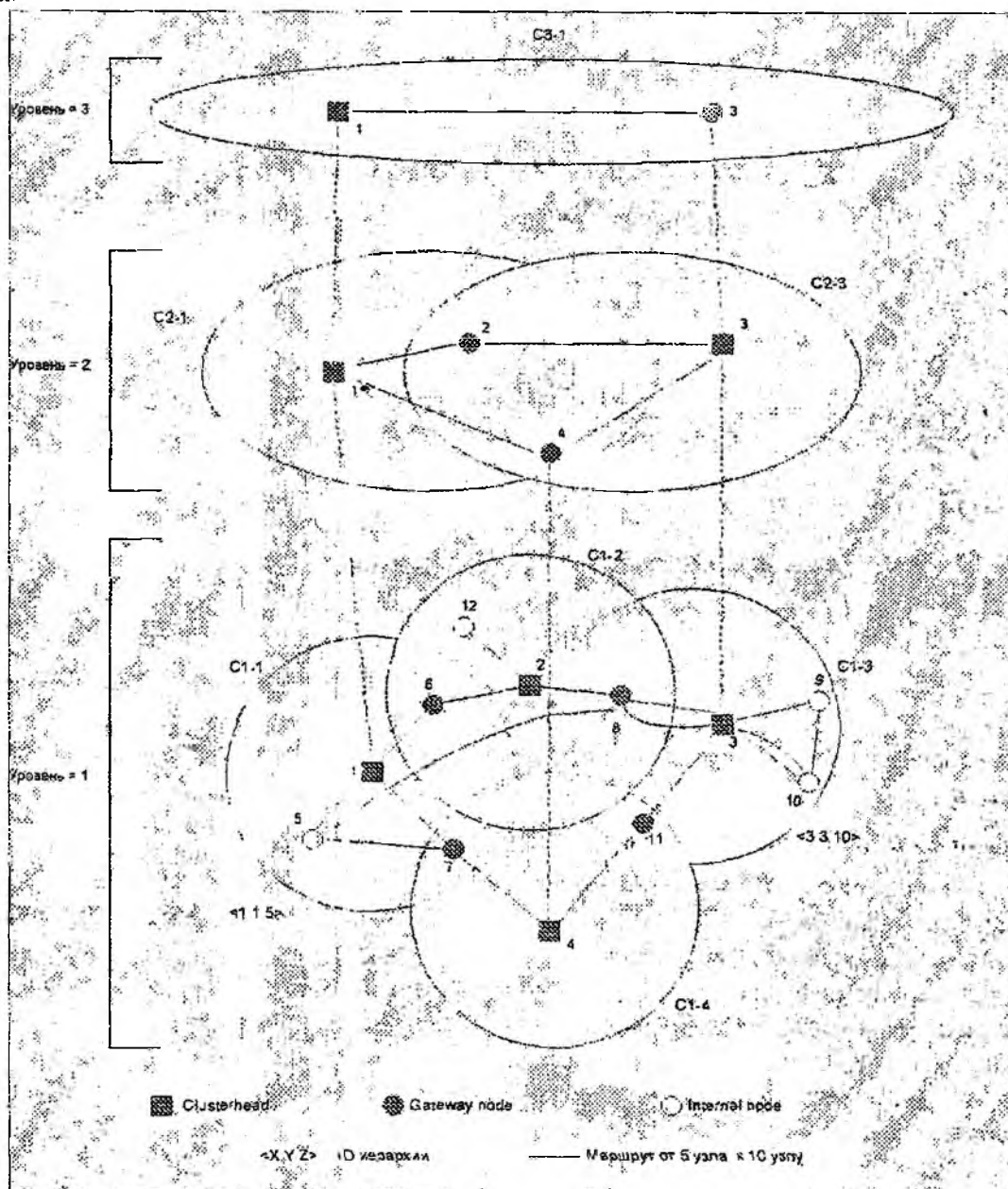


Рис. 7

### Гибридная маршрутизация

Гибридные протоколы маршрутизации имеют свойства как дистанционно-векторным протоколов маршрутизации, так и протоколов по состоянию каналов. Маршрутная информация рассылается только своим соседям и происходит это так же как и в протоколах по состоянию каналов, при внесении каких-либо изменений в топологии сети.

Гибридные протоколы, такие как ZRP и HSLs, используют смешанный подход, когда для маршрутизации до определенного множества узлов «ближней зоны» используется проактивный протокол, а до узлов «дальней зоны» – реактивный протокол (например для ZRP это протоколы IARP и IERP). У каждого из подходов есть свои достоинства и недостатки. Так, например, проактивные протоколы обеспечивают самую высокую скорость маршрутизации, но генерируют при этом значительный объем служебных пакетов. Реактивные прото-

колы, хотя и оказывают минимальное влияние на пропускную способность сети, предоставляют маршрутную информацию со значительной задержкой. Гибридные протоколы, сочетающие в себе достоинства проактивных и реактивных протоколов в целом являются более эффективными.

Следует отметить, что для обеспечения QoS большинство протоколов неприемлемы и необходима их адаптация или разработка новых динамических алгоритмов для обеспечения необходимого уровня качества сервиса. В связи с этим, к протоколам маршрутизации в MESH – сетях выдвигаются специальные требования (рис 8).

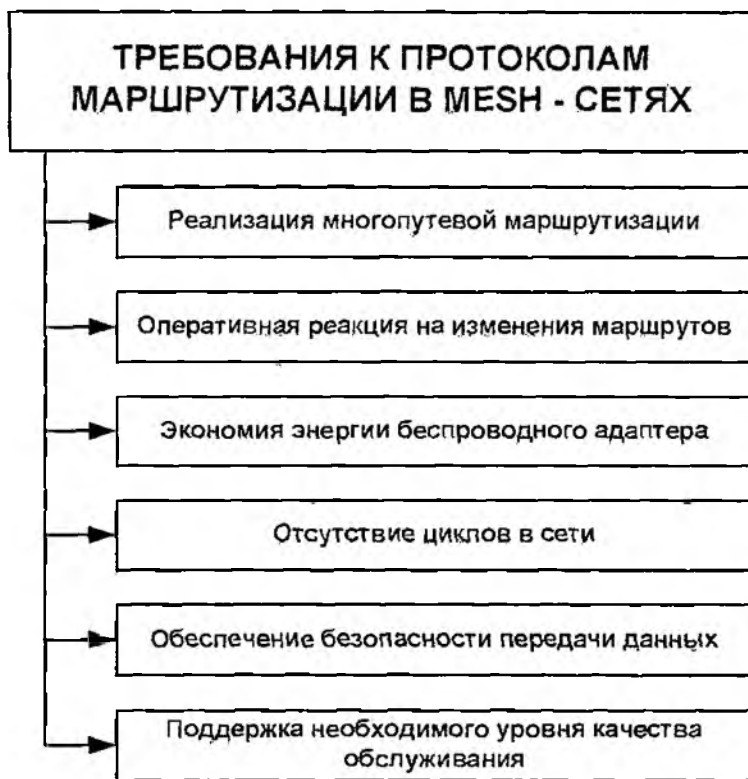


Рис. 8

В настоящее время существует множество моделей QoS [7–9], которые используются в проводных сетях. В объединенных сетях задачу обеспечения QoS рассматривают на макроуровне, то есть на уровне взаимодействия составляющих локальных сетей. Сетевая структура на макроуровне изменяется относительно редко, что так же позволяет использовать известные методы. Однако в беспроводных сетях маршрутизация и обеспечение требуемого QoS, основываются на динамической природе этих сетей [10–12], что предопределяет использование динамических алгоритмов обеспечения QoS. Существующие модели QoS неприемлемы для использования в мобильных сетях Ad Hoc и необходима их адаптация для использования в таких сетях.

### Потоковая модель маршрутизации в MESH-сетях

Основу практически любой потоково-ориентированной модели маршрутизации составляет условие сохранения потока в сетевых узлах и в сети в целом. От содержания данного условия во многом зависит реализуемая стратегия маршрутизации – одно- или многопутевая. С точки зрения управления буферным ресурсом выполнение данного условия также гарантирует предотвращение перегрузки очередей и, в конечном итоге, отсутствие потерь пакетов на сетевых узлах. Другими словами, интенсивность трафика на входе в сеть и на выходе из сети должна оставаться прежней. Это же касается входа и выхода каждого транзитного сетевого узла.

В основу предложенной потоково-ориентированной модели [13–15] положено следующее условие сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j \in (i,j)} x_{i,j}^k - \sum_{j \in (i,i)} x_{j,i}^k = 1 & \text{для узла-отправителя,} \\ \sum_{j \in (i,j)} x_{i,j}^k - \sum_{j \in (i,i)} x_{j,i}^k = 0 & \text{для транзитного узла,} \\ \sum_{j \in (i,j)} x_{i,j}^k - \sum_{j \in (i,i)} x_{j,i}^k = -1 & \text{для узла-получателя,} \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_{i,j}^k$  – доля  $k$ -го трафика, передаваемого от  $i$ -го узла к  $j$ -му узлу, а  $i, j = \overline{1, m}$  – количество адаптеров сетевых узлов

С учетом ограниченности энергетического ресурса сетевых узлов в структуре предлагаемой модели необходимо ввести условие

$$\sum_j P_{i,j} \leq P_i \quad (i, j = \overline{1, m}; i \neq j), \quad (2)$$

где  $P_i$  – мощность передатчика беспроводного адаптера  $i$ -го узла,  $P_{i,j}$  – мощность излучения от  $i$ -го узла к  $j$ -му узлу.

Для придания согласованности решений задач маршрутизации и управления каналным ресурсом предлагаемая модель маршрутизации содержит также дополнительные условия отсутствия перегрузки беспроводных каналов связи:

$$\sum_k \lambda_k \cdot x_{i,j}^k \leq C_{i,j}(P_{i,j}, R_{i,j}) \quad (i, j = \overline{1, m}; i \neq j), \quad (3)$$

где  $\lambda_k$  – интенсивность  $k$ -го трафика на входе сети ( $1/c$ );  $C_{i,j}(P_{i,j}, R_{i,j})$  – пропускная способность радиоканала, образованного между  $i$ -м и  $j$ -м узлами,  $R_{i,j}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м узлами. Отсутствие в структуре графовых моделей маршрутизации подобных ограничений на практике зачастую приводило к перегрузке беспроводных каналов связи, образующих т.н. «кратчайший путь» в выбранной метрике

В рамках рассматриваемой модели величины  $x_{i,j}^k$  и  $P_{i,j}$  являются управляемыми переменными, а  $\lambda_k$  и  $R_{i,j}$  – исходными данными. При этом, как видно из выражения (3) пропускная способность радиоканала является функцией от расстояния между узлами MESH-сети и мощности беспроводного адаптера, выделенной для создания данного радиоканала. Для расчета удельной пропускной способности радиоканала, как правило, используют формулу Шеннона, которая имеет вид

$$C = \Delta F \cdot \log_2(1 + SNR), \quad (4)$$

где  $\Delta F$  – полоса частот передаваемого сигнала,  $SNR = \frac{P_s(d)}{P_n}$  (Signal to Noise Ratio) – отношение мощности сигнала на входе приемника к мощности шума.

В качестве критерия оптимальности выбора того или иного пути (мультипути) в сети целесообразно выбрать минимум линейной функции

$$E(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{i,j} x_{i,j}, \quad (5)$$

характеризующей стоимость создания радиоканалов и реализации многопутевой маршрутизации в MESH-сети, при этом  $f_{i,j}$  – удельная стоимость создания и использования радиоканала между  $i$ -м и  $j$ -м узлами,  $m$  – количество адаптеров сетевых узлов. Причем, удельная стоимость радиоканала может зависеть от географического расположения беспроводных адаптеров и его характеристик (мощность, заряд батареи и т.д.)

Также, в рамках предложенной модели в MESH-сетях, во время функционирования адаптер сетевого узла периодически должен оценивать обстановку в пределах его досягаемости - обнаруживать «соседние» узлы – те узлы, к которым возможна передача трафика по беспроводному каналу связи

### Пример решения задачи маршрутизации в MESH-сети

При решении задачи в рамках предложенной модели предполагались известными количество узлов в сети  $m = 4$ , расстояния между узлами  $R_{ij}$  (м), а также мощности  $P_i$  (мВт), излучаемые сетевыми адаптерами (рис. 9).

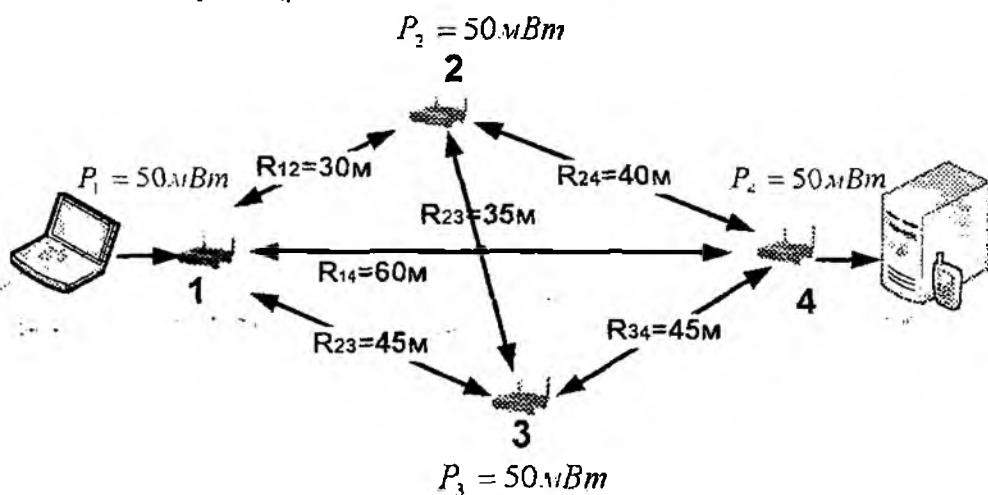


Рис 9

Решение поставленной задачи сводится к решению оптимизационной задачи нелинейного программирования. Посредством математического моделирования в среде MatLab v.7, изменяя максимально возможный поток  $\lambda_{\text{max}}$  от 0 до 34 Мбит/с, протекающий через сеть с данными характеристиками узлов и расстояниями между ними, получены следующие результаты (рис. 9 а, б, в, г) соответственно.

Исходя из результатов моделирования, следует отметить, что при изменении потока  $\lambda = 0 + 2$  Мбит/с задействован прямой маршрут из Узла 1 в Узел 4. Это напрямую связано с затратами мощности адаптера сетевого узла; при  $\lambda = 2 + 4$  Мбит/с,  $\lambda = 5 + 21$  Мбит/с и  $\lambda = 22 + 34$  Мбит/с используются два, три и четыре пути соответственно (рис 9 а, б, в, г)

Таким образом, в результате исследования были получены следующие результаты

При увеличении интенсивности трафика увеличивается количество маршрутов от узла-отправителя к узлу-получателю.

Мощность, затраченная для передачи данных от узла к узлу увеличивается по мере увеличения интенсивности трафика и является причиной его ограничения в моделируемой MESH – сети

Результаты моделирования могут быть дополнены основными показателями качества обслуживания для многопродуктового случая, что определяет направление дальнейшего развития данной модели многопутевой маршрутизации в MESH-сетях

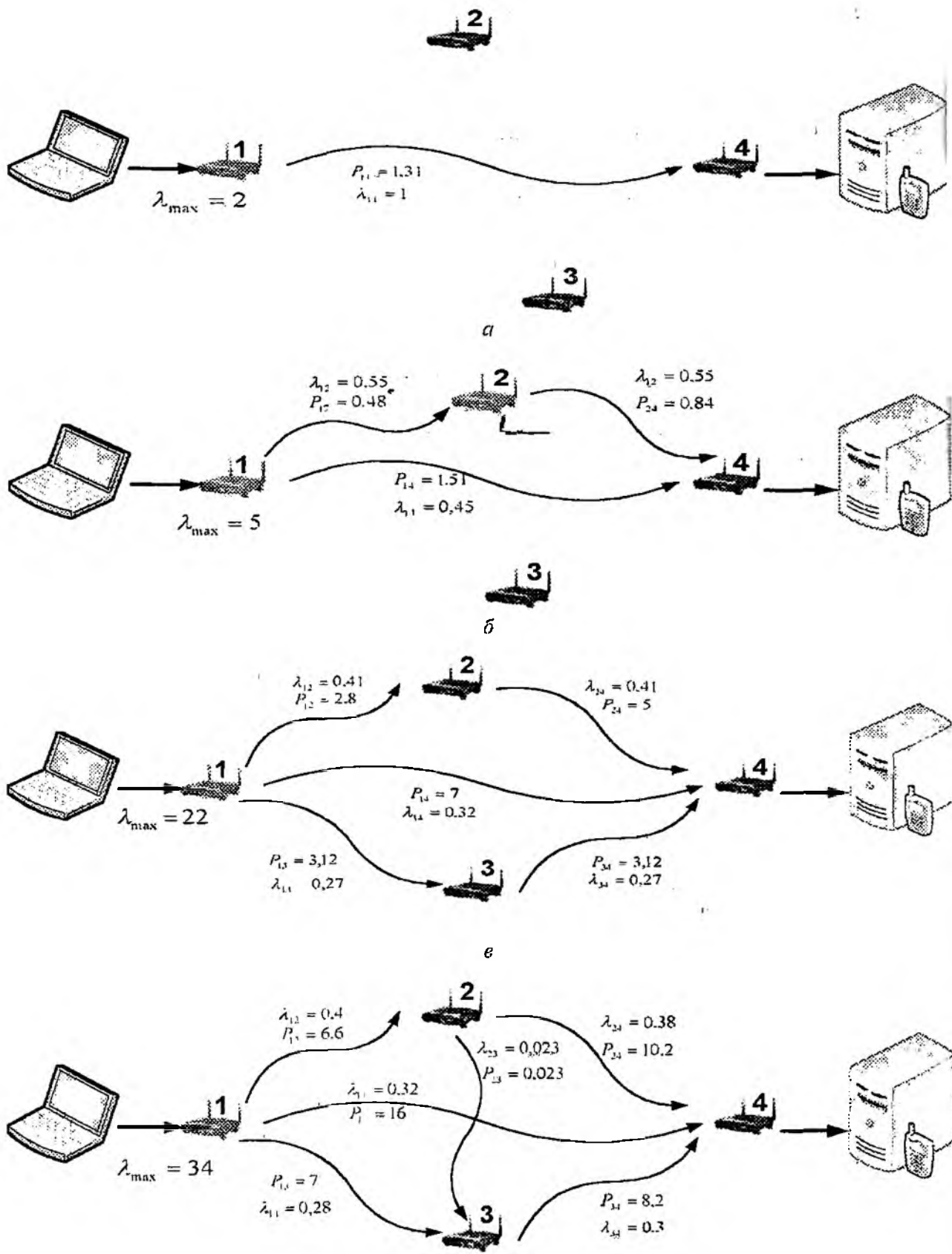


Рис. 9

## Выводы

На данном этапе развития беспроводных сетей существует достаточно обширная классификация стратегий маршрутизации, но, несмотря на разнообразие протоколов маршрутизации в Mesh-сетях, ни один из существующих методов маршрутизации не обеспечивает эффективной передачи данных с предоставлением необходимых параметров качества обслуживания. В связи с этим возникает задача разработки и исследования новых подходов решения задачи маршрутизации в мобильных компьютерных сетях, повышающих эффективность передачи данных с обеспечением требуемого различными приложениями уровня качества обслуживания.

Предложенная потоковая модель многопутевой маршрутизации может быть использована при разработке перспективных потоково-ориентированных протоколов маршрутизации в MESH-сетях. Ее развитие видится в учете мобильности сетевых узлов, а также уменьшении во времени мощности сетевых адаптеров, связанное с разрядкой батарей. Это предполагает дальнейшее усложнение математического описания сети, вероятнее всего сопряженное с переходом от статических к динамическим моделям, позволяющих описать процесс маршрутизации во времени.

Список литературы: 1. *Chen S. and K. Nahrstedt*. "Distributed quality-of-service routing in Ad Hoc networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol 17, no. 8, 1999 2. *D. D. Perkins and H. D. Hughes*. "A survey on quality-of-service support for mobile Ad Hoc networks". Wireless Communications and Mobile Computing, 2002 3. *Chakrabarti S. and Mishra A*. "QoS issues in Ad Hoc Wireless". IEEE Communications Magazine, Februar 2001. 4. *Perkins C. and Belding-Royer E.*. "Quality of service for Ad Hoc on-demand distance vector routing". [http://www.ietf.org/html\\_charters/manet-charter.html](http://www.ietf.org/html_charters/manet-charter.html). October 2003. 5. *Кутьгин М.* Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. СПб: Питер, 2000. 704 с. 6. *Столлингс В.* Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб: Питер, 2003. -783 с. 7. *Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z. and Weiss W.*. "An architecture for differentiated services". IETF RFC 2475, 1998 8. *Wu K. and Harms J.*. "QoS support in mobile Ad Hoc networks", 2001 9. *Левченко А. В., Гоголева М. А.* Потоково-ориентированная модель многопутевой маршрутизации в телекоммуникационной сети // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. 2008 Том 6 (2) С. 162-170. 10. *Клименко И. А.* Способ динамической маршрутизации с поддержкой требуемого уровня качества обслуживания в мобильных сетях без фиксированной инфраструктуры. Проблеми інформатизації та управління. Зб наук пр. НАУ, 2005. Вип. 15. С. 102-112. 11. *Клименко И. А.* Способ адаптивной маршрутизации с учетом параметров качества обслуживания в мобильных сетях Ad Hoc // Пр. Наук.-практичної конф. молодих вчених та аспірантів "Інтегровані інформаційні технології та системи" (ІПТС-2005). Київ: НАУ, 2005. С. 78-80. 12. *Жуков И. А., Клименко И. А.* Адаптивная маршрутизация в объединенных компьютерных сетях управления энергетическими процессами // Пр. Міжнародної конф. "Інформаційні технології управління енергетичними системами" (ІТУЕС-2005). Київ: ІТУЕС, 2005. С. 44-45. 13. *Wu K., Harms J.* QoS support in mobile Ad Hoc networks // Crossing Boundaries the GSA Journal of University of Alberta. 2001. Vol 1. №1. P. 92-106. 14. *Royer E.M., Toh S.K.* A review of current routing protocols for Ad Hoc mobile wireless networks // IEEE Personal Communications. 1999. Vol 6. №2. p. 46-55.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редакцию 17.11.2008