

составными частями единой национальной системы связи Украины и должны развиваться в комплексе, по общей программе.

Существующая нормативная база по спутниковым технологиям требует развития и гармонизации с международными регламентирующими документами.

Кроме того, действующие ССТ, как правило, не имеют нормативно-технической базы, что приводит к неоправданным потерям.

Литература

1. Мельник А. М. Обзор направлений развития спутниковых систем доступа абонентов // Сб. тр. НТК-Телеком-99. — Одесса. — 1999. — С. 331–334.
2. Банкет В. Л., Мельник А. М. Тенденции развития спутниковых радиотехнологий // Труды УНИИРТ. — 2000. — № 4 (24). — С. XX – VV.
3. Банкет В. Л., Мельник А. М. Модемы земных станций спутниковой связи // Труды УНИИРТ. — 2000. — № 4 (24). — С. XX – VV.
4. Кухк К. И. Спутниковая связь на пороге XXI века // Электросвязь. — 1999. — № 4. — С. 14–19.

www.aceinternational.com
www.acts.grc.nasa.gov

www.inmarsat.com
www.intelsat.int

www.afa.org
www.allafrica.com
www.analysis.com
www.apstar.com
www.arabsat.com
www.asiasat.com
www.astra.lu
www.assuresat.com
www.cdradio.com
www.chinastar.com
www.directv.com
www.dishnetwork.com
www.dogpile.com
www.ee.surrey.ac.uk
www.ellipso.com
www.esoc.esa.de
www.eutelsat.com
www.findia.net
www.ge.com
www.geamericom.com
www.globalstar.com
www.hughesglobal.com

www.intercosmos.ru
www.loral.com
www.loralskytel.com
www.lyngsat.com
www.msat.tmi.ca
www.orbcomm.com
www.panamsat.com
www.rscs.ru
www.satellitelist.com
www.satlist.dk
www.singtel.com
www.sinosat.com
www.skybridge.com
www.sysone.demon.co.uk
www.tagish.co.uk
www.TBS-satellite.com
www.tdrs.com
www.teledesic.com
www.telenor.com
www.telesazio.it
www.telesat.ca
www.thuraya.com

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

ГРУППОВАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Рассматривается динамическая архитектура построения мобильных радиосетей (МР), предполагающая отсутствие базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации (так называемые сети MANET — Mobile Ad-Hoc Networks)

Особенно привлекательными сети MANET стали тогда, когда появились недорогие беспроводные сетевые решения (стандарт IEEE 802.11 Wireless Ethernet, технологии HIPERLAN, Bluetooth), не требующие инфраструктуры связи и использующие нелицензионные полосы частот. Все узлы такой сети мобильны и обмениваются информацией непосредственно между собой или применяют ретрансляцию передаваемых пакетов. Под узлом сети понимается радиотерминал с функциями маршрутизатора или переносной компьютер, оснащенный маршрутизатором и приемопередатчиком. Примерами МР могут служить перспективная сеть оперативно-тактического звена управления [2]; сети радиосвязи, создаваемые в условиях чрезвычайных ситуаций, при проведении различных конференций, олимпиад, при обучении в виртуальных классах и т.п. Эти сети характеризуются:

- ♦ динамичной топологией — узлы сети мобильны, каналы радиосвязи нестабильны, имеют определенный предел дальности связи и пропускной способности;
- ♦ ограниченной энергетической возможностью некоторых узлов;
- ♦ значительной размерностью (сотни и тысячи узлов);
- ♦ высокой плотностью размещения узлов на местности.

Одна из основных задач оперативного управления МР — маршрутизация информационных сообщений. Все существующие методы маршрутизации можно раз-

делить на две группы: однопользовательские и групповые. Анализ методов однопользовательской маршрутизации для МР проведен в [3]. Условия функционирования МР предполагают рассылку информации определенной группе пользователей (групповые аудио/видеоконференции, совместная работа групповых приложений). Поэтому для эффективного использования сетевых ресурсов МР приходится решать задачу групповой маршрутизации (multicasting), предполагающую построение и поддержание маршрутов передачи информации по типу «один-ко-многим» или «многие-ко-многим».

К методам групповой маршрутизации предъявляются следующие основные требования: минимальная нагрузка сети служебной информацией, надежность построения и поддержания маршрутов (желательно наличие нескольких маршрутов доставки информации), обеспечение своевременного обновления маршрутов передачи, совместимость с однопользовательской маршрутизацией.

Методы групповой маршрутизации, ориентированные на сеть Internet [4], не могут быть применены в МР вследствие высокой динамики топологии — необходимо осуществлять частое переформирование групповых маршрутов (ГМ). Кроме того, для построения ГМ передачи необходимо владеть информацией о состоянии всей сети, что в условиях МР приведет к значительному увеличению служебного трафика.

В последнее время разработаны методы групповой маршрутизации (МГМ), предназначенные для использования в МР: AMRIS (Ad-hoc Multicast Routing Protocol) [5], MAODV (Multicast Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing) [6], AMRoute (Ad-hoc Multicast Routing) [7], ODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol) [8], CAMP (Core-Assisted Mesh Protocol) [9].

Ети МГМ можно класифіцировать по ряду признаков (рис. 1).

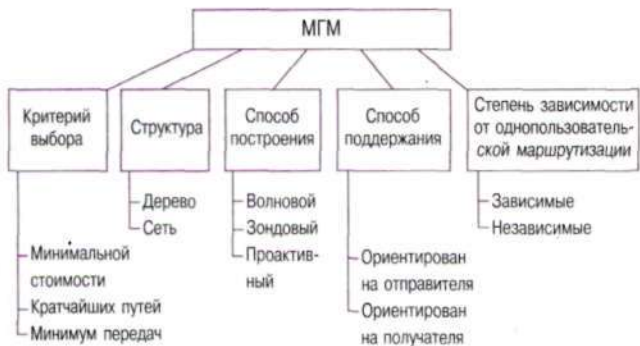


Рис.1. Классификация методов групповой маршрутизации

Постановка задачи. Сеть представляется в виде графа $G = (V, E)$, где V — множество узлов; E — множество каналов. При этом известны «стоимости» передачи информации по каналам $c(e) \rightarrow \mathbb{R}^+$, $e \in \overline{1, E}$.

Необходимо найти связный подграф $G' = (V', E')$, $V' \subseteq V, E' \subseteq E$ ($V' = \{S, R, F\}$ — множество отправителей $\{S\}$, получателей $\{R\}$ одной группы, множество узлов $\{F\}$, ответственных за распространение групповой информации; E' — множество каналов или групповых маршрутов), удовлетворяющий одному из таких условий.

1. Минимальная стоимость C , определяемая как

$$C(G') = \min_{e \in E'} \sum c(e).$$

В теории графов данная задача интерпретируется как задача нахождения дерева Штейнера [10] и относится к классу NP-полных. Эффективное ее решение до сих пор не найдено. Но если бы оно и существовало, применить его в МР для нахождения маршрутов в реальном масштабе времени было бы весьма проблематично, так как потребовалось бы знание всей информации о состоянии сети.

2. Нахождение дерева кратчайших путей, эквивалентное минимизации задержки в передаче сообщений.

Пусть $P(v_1, v_k)$ — путь от узла v_1 к узлу v_k , представляющий собой последовательность узлов v_1, v_2, \dots, v_k таких, что $(v_i, v_{i+1}) \in E'$ для $1 \leq i \leq k-1$. Тогда стоимость пути определяется суммой стоимостей каналов:

$$C(P(v_1, v_k)) = \sum_{e \in P(v_1, v_k)} c(e),$$

а дерево кратчайших путей должно удовлетворять следующему условию: $C(G') = \min_q \sum C_q(P(v_i, v_j))$, где

$i \in S, j \in R, q \in \overline{1, M}$ — множество возможных путей. Большинство МГМ при выборе маршрутов используют именно этот критерий.

3. Минимизация множества передающих узлов $\{F\}$: $C(G') = \min |F|$.

Данный критерий выбора маршрута ГМ характерен при волновой рассылке информации.

Структуру групповых маршрутов можно представить в виде дерева или сети.

Так как для определенной группы пользователей в сети может присутствовать несколько источников ин-

формации, сконструировать групповое дерево (ГД) можно двумя способами. *Первый* — каждый источник групповой информации инициирует построение оптимального ГД с каждым получателем (МГМ DVMPR, MOSPF для сети Internet), что неприемлемо для МР вследствие возможного быстрого перемещения узла-источника. Поэтому применяется *второй* способ, когда между множествами отправителей и получателей групповой информации (МГМ СВТ, PIM в Internet, AMRoute, AMRIS, MAODV в МР) генерируется единственное ГД (рис.2,а).

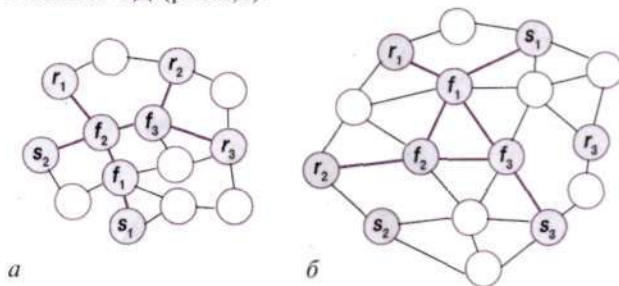


Рис. 2. Структура ГМ: а — дерево; б — сеть (○ — узел ГМ; — — радиоканалы; — — ГМ)

Групповые методы маршрутизации, генерирующие маршрутные деревья, более эффективны с точки зрения минимизации задержки в передаче сообщений. Однако отсутствие альтернативных маршрутов передачи приводит к частой перестройке деревьев в условиях высокой динамики топологии сети. Кроме того, весь групповой трафик направляется по одному и тому же пути, что может привести к перегрузке ГМ.

Методы ODMRP, CAMP основаны на построении сетевой структуры групповых маршрутов передачи, соединяющей группу пользователей. Пример ГМ в виде сети изображен на рис.2,б. Узлы $S = \{s_1, s_2, s_3\}$ являются узлами-отправителями, а узлы $R = \{r_1, r_2, r_3\}$ — получателями информации. Узлы $F = \{f_1, f_2, f_3\}$ поддерживают кратчайшие маршруты между любой парой в виде подсети. При отказе одного из групповых маршрутов нет необходимости перестраивать всю подсеть, что значительно снижает служебный трафик по сравнению с групповой маршрутизацией на основе дерева-источника. Например, при отказе канала $f_1 - f_2$ информация может доставляться по маршруту $f_1 - f_3 - f_2$.

Недостаток сетевой структуры ГМ — рост служебного трафика, вследствие чего повышается вероятность столкновений пакетов и увеличивается задержка в передаче сообщений.

По способу построения групповых маршрутов МГМ можно классифицировать как волновые, зондовые и проактивные.

Волновой способ передачи групповой информации самый простой. Он предполагает рассылку пакетов всем узлам сети. При получении группового пакета узел проверяет, принимал ли он его ранее. Если принимал, то пакет стирается. В противном случае узел рассылает пакет всем своим соседям. Волновой способ передачи приводит к значительному росту трафика в сети, поэтому для минимизации общего числа передач можно предложить два эвристических правила.

Правило 1. Узел i , передавая пакет узлу j , сообщает ему список соседних узлов $N(i)$ (предполагается, что

в результате функционирования одного из протоколов канального уровня каждый узел устанавливает радиосвязность с соседними узлами). Узел j , получив пакет, принимает решение о дальнейшей его ретрансляции. Если $F = N(j) - N(i) - j = \emptyset$, то пакет не передается. В противном случае узел j передает пакет.

Правило 2. Узел j , приняв пакет от узла i , определяет множество передающих узлов $F = \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \subseteq B(i, j)$, где $B(i, j) = N(j) - N(i)$, таких, чтобы $\bigcup_{f_i \in F} (N(f_i) \cap U) = U$, т.е. все узлы в множестве $U = N(N(j)) - N(i) - N(j)$ должны получить пакет (рис. 3). Для реализации данного правила каждый узел j должен владеть информацией о связности своих соседей — $N(N(j))$.

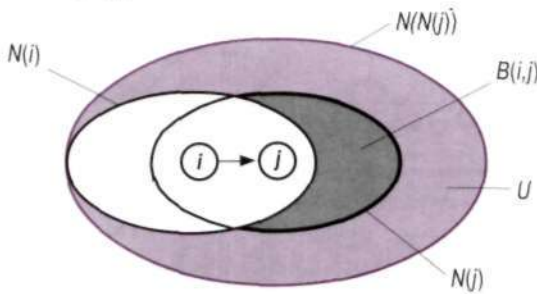


Рис. 3. Применение правила 2

Нахождение минимального множества F является NP -полной задачей. Для ее приближенного решения может быть предложен следующий алгоритм.

1. Пусть $F = \emptyset$, $K = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, где $P_k = N(k) \cap U$ ($1 \leq k \leq n$), $Z = \emptyset$.

2. Найти множество P_k , размер которого максимален.

3. $F = F \cup \{P_k\}$, $Z = Z \cup P_k$, $K = K - \{P_k\}$, $P_l = P_l - P_k$, $\forall P_l \in K$.

4. Если $Z = U$ — алгоритм закончить, иначе перейти к шагу 2.

Большинство МГМ реализуют зондовый способ построения ГМ (ODMRP, AMRIS, AMRoute, MAODV), который заключается в широковещательной рассылке в сети групповых зондов-запросов (ГЗЗ) и сборе групповых зондов-ответов (ГЗО) (рис. 4). Подробно рассмотрим его на примере МГМ ODMRP.

Узел-отправитель s , не имеющий сформированного ГМ, для передачи информации группе узлов $\{R\}$ широковещательно передает соседним узлам ГЗЗ тип пакета; групповой адрес; последовательный номер, позволяющий однозначно идентифицировать пакет; адрес узла-отправителя, инициировавшего процесс рассылки ГЗЗ; адрес узла, передающего пакет; предельное время жизни зонда (TTL — time to live), которое устанавливается из соображений числа узлов сети и ее возможного диаметра; а также число ретрансляций, прошедших данным зондом.

В процессе приема ГЗЗ узлом i реализуется следующий алгоритм.

1. Если данный ГЗЗ был принят ранее, он стирается. В противном случае информацию о нем узел заносит в память и корректирует входы однопользовательской маршрутной таблицы, поддерживаемой каждым

узлом. Узел хранит информацию о маршруте в таком виде: адресат; следующий узел-ретранслятор (RT) на пути к адресату; расстояние, выраженное числом ретрансляционных участков; последовательный номер маршрута и остаток времени его хранения. При приеме очередного ГЗЗ вход таблицы корректируется (происходит «обучение» узла маршрутам передачи информации). Информация заносится в поля принятого ГЗЗ.

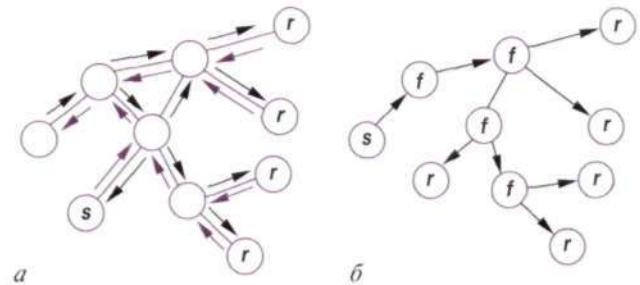


Рис. 4. Процесс формирования ГМ зондовым методом: а — зондирование сети (\rightarrow — ГЗЗ; \leftarrow — ГЗО); б — сформированные ГМ (\dashrightarrow — радиоканалы; \dashleftarrow — групповые маршруты; s — отправитель; r — получатели одной группы; f — узлы рассылки)

2. Если узел i не принадлежит множеству узлов-получателей R ($i \notin R$), он изменяет значения полей ГЗЗ: увеличивает число ретрансляций $P = P + 1$ и уменьшает время его жизни ($TTL - 1$) (продолжительность жизни пакета рассматривается как часовой механизм его самоуничтожения [4]). При $TTL \leq 0$ данный зонд стирается, в противном случае широковещательно передается далее.

3. Если узел $i \in R$, то он формирует групповую таблицу, групповой зонд-ответ и передает его соседним узлам. ГЗО состоит из следующих полей: тип пакета; групповой адрес; флаг принадлежности к группе; последовательный номер маршрута; узел передачи (RT_k) для каждого узла-источника (их всего k).

Принимая ГЗО, узел i обрабатывает его по такому алгоритму.

1. Анализирует необходимость дальнейшей рассылки ГЗО. Если адрес i не совпадает хотя бы с одним из полей RT в ГЗО, то он не совершает никаких дальнейших действий.

2. Если хотя бы один из адресов RT_k совпадает с адресом узла i , он выполняет такие процедуры:

- устанавливает флаг принадлежности к ГМ (т.е. узел $i \in F$);

- формирует групповую таблицу рассылки, хранящую информацию в таком виде: групповой адрес, адрес l -го узла-получателя и узел-ретранслятор (RT_l);

- корректирует поля ГЗО (следующий узел передачи будет взят из однопользовательской маршрутной таблицы);

- передает групповой зонд-ответ своим соседям.

ГЗО распространяется до тех пор, пока не достигнет узлов-отправителей, составляющих множество $\{S\}$. В результате будет сформировано множество $\{F\}$ узлов, отвечающих за распространение информации по групповым маршрутам.

Зондовый способ построения ГМ передачи предусматривает и МГМ AMRIS. Данный метод не требует функционирования однопользовательской маршрутизации

и формирует ГД в виде весового направленного ациклического графа, назначая каждой группе пользователей идентификационные номера групповой передачи (msd-id). Корень ГД имеет наименьший номер.

Чтобы передать групповую информацию, узел передает пакет New-Session, включающий в себя msd-id и время поддержания группы. Соседние узлы, приняв пакет, по специальному алгоритму рассчитывают увеличенное значение msd-id (вес узла зависит от веса соседних узлов и расстояния до корня дерева) и передают его далее. Каждый узел сети поддерживает таблицу соседей, содержащую их msd-id, число ретрансляций от корня ГД, текущий статус (член или не член группы) и время членства, а также периодически формирует «пакеты присутствия» (beacon), куда входит информация о нем и его соседях: идентификационный номер, msd-id и статус. Пакеты присутствия позволяют узлу корректировать таблицу соседей и обнаруживать отсутствие радиосвязности.

MGM AMRoute расширяет возможности метода СВТ (Core Based Trees), разработанного для сети Интернет. При построении ГД применяется зондовый способ. Основная отличительная особенность данного метода в том, что ГД создается с помощью однопользовательского туннелирования (групповой пакет инкапсулируется в пакет индивидуальной адресации) для обеспечения связности между членами группы. Предполагается, что для каждой группы назначается главный узел, называемый ядром. Он и становится корнем ГД. Все маршрутизаторы, к которым могут быть подключены потенциальные члены группы, знают адрес ядра. В отличие от СВТ для этого метода характерно динамическое назначение ядра группы: оно используется для рассылки только зондов (а не групповой информации).

MGM MAODV является групповой версией метода маршрутизации AODV [3], когда ГМ строится зондовым способом в виде дерева, в котором выделяется главный узел. Он предназначен для поддержания групповой связности периодической рассылкой GHM (Group Hello Messages) сообщений.

Согласно **CAMP** построение ГМ осуществляется проактивно (на основе функционирования таблично-ориентированного метода маршрутизации WRP [3]). Данный способ расширяет СВТ для построения ГМ в виде сети.

Поддержание ГМ может входить в функции отправителя или получателя групповой информации. В первом случае (метод ODMRP) поддержание заключается в периодическом повторении процесса построения ГМ. При этом важную роль играет период регенерации групповых маршрутов передачи, который должен быть адаптирован к реальной ситуации на сети (типу трафика, объему входящей нагрузки, скорости и направлению перемещения узлов и др.).

Во втором случае поддержание маршрутов, ориентированное на получателя (MAODV, AMRIS, CAMP), должно реализовывать следующие ситуации:

- 1) выбор и активацию новых маршрутов при появлении новых членов группы;
- 2) «подрезание» (pruning) ветви ГД при выходе узла из состава группы;
- 3) восстановление ГД при отказе его узла.

Рассмотрим поддержание маршрутов на примере MGM MAODV (рис. 5). С целью установления группо-

вого маршрута узел *s* широкоэвещательно рассылает ГЗЗ. Узел группового дерева, получивший ГЗЗ, по обратному пути сообщает ему ГЗО. Получив несколько ГЗО, узел *s* выбирает ближайший узел ГД (по критерию минимума числа ретрансляций) и посылает ему специальный пакет МАСТ (Multicast Activation) с флагом $J = 1$ (join).

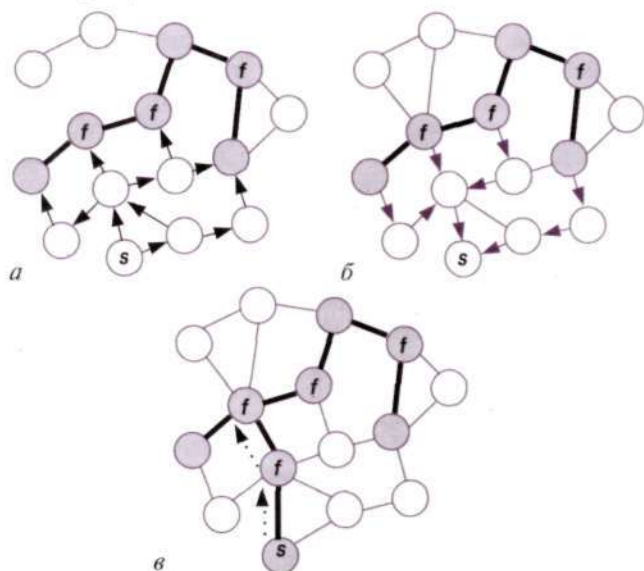


Рис. 5. Процесс формирования групповых маршрутов зондовым методом: *a* – рассылка ГЗЗ (→); *b* – передача ГЗО (←); *v* – передача МАСТ (· · →) с $J = 1$ (— — радиоканал; — ГМ; *s* – отправитель; *f* – узлы рассылки; ● – узел ГД)

Выход узла *a* из состава группы («подрезание» ветви ГД) осуществляется посылкой пакета МАСТ (рис. 6) с флагом $P = 1$ (prune) главному узлу ГД, который с помощью пакета GHM информирует об этом всех членов группы.

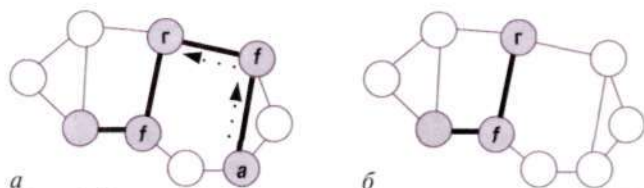


Рис. 6. Выход узла из состава группы: *a* – посылка МАСТ (· · →) с $P = 1$; *b* – новое ГД (● – главный узел ГД)

Восстановление ГД (рис. 7) осуществляется локальным зондированием (процессы рассылки и сбора зондов с ограниченным значением TTL).

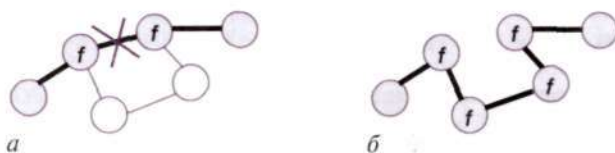


Рис. 7. Восстановление ГД: *a* – отказ канала ГД; *b* – восстановление связности ГД

Остановимся на основных преимуществах и недостатках рассмотренных MGM.

Волновая рассылка групповой информации. Преимущество – простота реализации, надежность в достав-

ке, независимость от маршрутных таблиц и протоколов. Недостатки метода — значительная загрузка сети (маршрутизатор узла должен хранить в памяти все «недавно» полученные от каждого источника групповые пакеты для каждой группы, находить в этом списке и получать каждый пакет). При интенсивном групповом трафике это потребует больших затрат памяти и мощности процессора.

AMRoute. Преимущества — применение виртуальных каналов для построения ГД (нет необходимости поддерживать ГД в условиях его изменения), эффективное использование пропускной способности сети (не требуется периодическая передача пакетов с групповыми адресами), независимость от конкретного метода однопользовательской маршрутизации. Недостатки — возможное временное заикливание маршрутов, неоптимальное ГД и, как следствие, — увеличение задержки в передаче сообщений.

AMRIS. Преимущество — быстрота перестроения ГД, недостаток — наличие пакетов присутствия.

MAODV. Преимущество — кратчайшие маршруты в ГД, недостатки — зависимость от протокола AODV, дополнительный служебный трафик главных узлов.

ODMPR. Преимущество — малый объем групповых таблиц, получение кратчайших маршрутов, сетевая структура ГМ, быстрая реакция на изменение топологии сети, совместимость с однопользовательской маршрутизацией. Недостаток — сложность в расчете времени регенерации ГМ. Значение периода регенерации лежит в пределах его верхней и нижней границ. Нижняя граница определяет необходимость перехода к волновым методам маршрутизации (ее малое значение может привести к перегрузке сети служебной информацией), верхняя — необходимость подключения новых членов группы (большое значение верхней границы приводит к старению маршрутной информации).

CAMP. Преимущество — не требует зондовой рассылки, сетевая структура ГМ, критерий выбора ГМ — кратчайшие маршруты. Недостатки — зависимость от протокола WRP [3], инерционность в обновлении маршрутов.

Общая характеристика методов групповой маршрутизации представлена в таблице, где использованы такие обозначения: З, Т — процесс построения (поддержания) ГМ осуществляется зондированием или таблично-ориентированными методами; Г — наличие главного узла в ГД; П, О — поддержание маршрута ориентировано на получателя или отправителя.

Характеристика	AMRoute	ODMPR	AMRIS	CAMP	MAODV	Волновой
Структура ГМ	Дерево	Сеть	Дерево	Сеть	Дерево	Сеть
Заикливание ГМ	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Зависимость от однопользовательской маршрутизации	Да	Нет	Нет	Да	Да	Нет
Построение ГМ	З	З	З	Т	З	Волна
Поддержание ГМ	Т, Г, П	З, О	З, Г, О	Т, Г, П	З, Г, П	—

Моделирование МГМ [11] проведено на базе системы имитационного моделирования GloMoSim [12], построенной на языке PARSEC [13]. Исходные данные

для моделирования: число узлов — 50; расположение узлов — случайное на площади 1 км^2 ($1 \times 1 \text{ км}$); дальность радиосвязи — 250 м; наличие модели радиоканала (затухание обратно пропорционально квадрату расстояния между узлами; пропускная способность канала — 2 Мбит/с; средняя степень связности — 6,82; входящая нагрузка — 5 пакетов в секунду; размер пакета — 512 байт; направление перемещения узлов — случайное со скоростью от 0 до 80 км/ч; протокол доступа к каналу — IEEE 802.11; число узлов-получателей — от 1 до 20).

Сравнение существующих МГМ проводилось по следующим характеристикам [14]:

► X_1 — пропускной способности сети, определяемой как отношение числа (объема) доставленных адресатам (с заданным качеством) информационных сообщений к общему числу (объему) переданных информационных сообщений;

► X_2 — отношению числа (объема) информационных сообщений, переданных в сети (подсчитывается при каждой ретрансляции), к числу (объему) сообщений, доставленных адресату (заметим, что при однопользовательской маршрутизации это число больше или равно единице, а при групповой его значение может быть меньше единицы);

► X_3 — отношение объема переданной служебной информации к объему полученной полезной информации. Данная характеристика показывает эффективность использования служебных пакетов. Заметим, что к служебной информации относятся не только служебные пакеты (маршрутные сообщения, зонды, квитанции, пакеты присутствия и т.д.), но и информация в заголовках пакетов.

Исследовались зависимости X_1 , X_2 , X_3 от скорости перемещения узлов, а также зависимости данных характеристик от изменения размеров группы и входного трафика. Наименьшее значение пропускной способности сети из-за неоптимальности ГМ в условиях

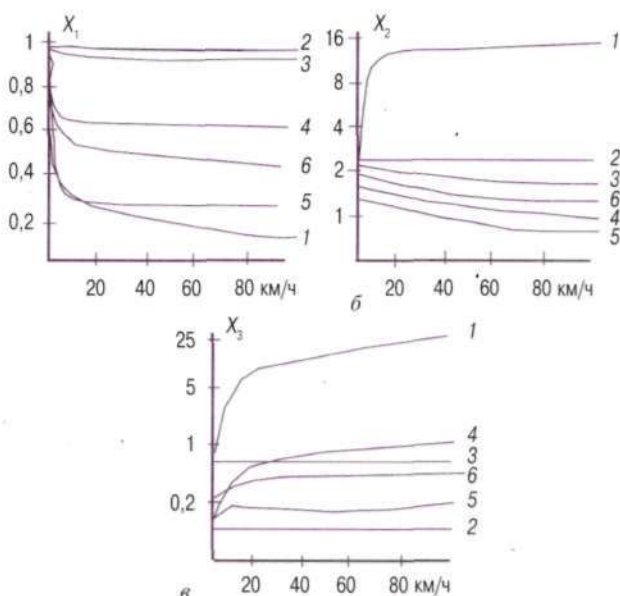


Рис. 8. Зависимость характеристик МГМ X_1 (а); X_2 (б) и X_3 (в) от скорости перемещения узлов: 1 — AMRoute; 2 — волновой; 3 — ODMRP; 4 — CAMP; 5 — AMRIS; 6 — MAODV

мобильности узлов обеспечивает AMRoute. AMRIS эффективен при малом входном трафике, но чувствителен к его росту и увеличению мобильности узлов. Характеристики MAODV резко ухудшаются при значительном групповом трафике и увеличении размеров группы. CAMP выигрывает на фоне MGM, ориентированных на построение ГД (особенно при увеличении размеров группы), однако при высокой мобильности узлов существенно возрастает служебный трафик. ODMRP показал наивысшую пропускную способность при очень высокой мобильности узлов, но с возрастанием размерности группы значительно увеличивается служебный трафик. В этих условиях функционирования сети целесообразен волновой метод.

* * *

В мобильных радиосетях групповая маршрутизация является более сложной проблемой, чем в сетях общего пользования, и окончательно решить ее пока не удалось. В условиях мобильности узлов лучшими характеристиками обладают MGM, основанные на сетевом построении ГМ, однако сделать однозначный вывод о преимуществе того или иного ГММ невозможно без рассмотрения характеристик конкретной сети и требований к передаче групповой информации. **Дальнейшим направлением исследований можно считать разработку новых эффективных ГММ, учитывающих особенности функционирования сети (динамику топологии, интегральный трафик, число членов в группе и т.п.) или оснащение узлов сети дополнительным оборудованием.** Например, узлы сети могут содержать GPS-приемники, и тогда возникает задача групповой геомаршрутизации [15].

Литература

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

2. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи // *Зв'язок*.— 2001.— № 3.— С. 63–65.
3. Миночкин А. И., Романюк В. А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // *Зв'язок*.— 2001.— № 1.— С. 31–36.
4. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия.— СПб.: Питер, 2000.— 704 с.
5. Лекции по теории графов / В. А. Емьянов, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич.— М.: Наука, 1990.— 384 с.
6. Wu C.M., Tay Y.C. AMRIS: A Multicast Protocol for Ad-hoc Wireless Networks // *In Proceeding of IEEE MILCOM'99*.— 1999.— P. 01.06.01–01.06.05.
7. Bommaiah E., Liu M., McAuley A., Talpade R. AMRoute: Ad-hoc Multicast Routing Protocol // *Internet-Draft, draft-talpade-manet-amroute-00.txt*, 1998.
8. Rouer E. M., Perkins C. E. Multicast Operation of the On-Demand Distance Vector Routing Protocol // *In Proceeding of ACM/IEEE MOBICOM'99*.— 1999.— P. 207–218.
9. Madruga E. L., Garcia-Luna-Aceves J. J. Multicast Routing Protocol for Ad-Hoc Networks // *In Proceeding of IEEE INFOCOM'99*.— 1999.— P. 784–792.
10. Lee S.-J., Gerla M., Chiang C.-C. On-Demand Multicast Routing Protocol // *In Proceedings of IEEE WCNC'99*.— 1999.— P. 1298–1304.
11. Lee S.-J., Su W., Gerla M., Bagrodia R. A Performance Comparison Study of Ad-Hoc Wireless Multicast Protocols // *In Proceedings of IEEE INFOCOM'2000*.— 2000.— P. 565–574.
12. GloMoSim: A Scalable simulation Environment for Wireless and Wired Network Systems, <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/domains/glomosim.html>.
13. Bagrodia R., Meyer R., Takai M., Chen Y. PARSEC: A Parallel Simulation Environment for Complex Systems // *IEEE Computer*.— 1998.— V. 31, no. 10.— P. 77–85.
14. Corson M. S., Macker J. Mobile Ad-Hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Consideration // *RFC 2501, IETF*, 1999.
15. Романюк В. А. Геомаршрутизация в мобильных радиосетях // *Зв'язок*.— 2001.— № 5.— С. 37–40.

