

ГЕОМАРШРУТИЗАЦИЯ В МОБИЛЬНЫХ РАДИОСЕТЯХ

Динамическая архитектура мобильных радиосетей (МР) предполагает отсутствие базовых станций и фиксированных маршрутов передачи информации (сети MANET — Mobile Ad-Hoc Networks) [1]. Все узлы таких сетей мобильны и обмениваются информацией непосредственно между собой или применяют ретрансляцию передаваемых пакетов. По этому принципу работают, например, перспективная МР оперативно-тактического звена управления; сети радиосвязи создаваемые в условиях чрезвычайных ситуаций, при проведении различных конференций, олимпиад, при обучении в виртуальных классах и т.п. Указанные сети характеризуются:

- динамичной топологией — узлы сети мобильны, каналы радиосвязи нестабильны обеспечиваемая ими дальность связи и пропускная их способность ограничены;

- сравнительно невысокими энергетическими возможностями узлов;

- значительной размерностью (сотни и тысячи узлов) и большой плотностью размещения узлов на местности.

Одна из основных задач оперативного управления МР — маршрутизация информационных сообщений. Вскоре данные о местоположении радиотерминалов можно будет получать с помощью приемников GPS, которыми они должны оснащаться. Располагая информацией о местоположении радиотерминала, узлы могут осуществлять географическую маршрутизацию.

Особенности МР определяют требования к методам географической маршрутизации (МГМ): распределенное функционирование; минимальная загрузка сети служебной информацией при реакциях на изменения в сети; отсутствие заикливания маршрутов; быстрая сходимость; гарантия доставки пакетов адресату. При синтезе метода маршрутизации необходимо удов-

летворить этим требованиям, обеспечив следующие функции:

- 1) сбор информации о состоянии сети (с установлением способа и частоты ее сбора);

- 2) хранение маршрутов (с указанием о том, какую информацию и где следует хранить);

- 3) вычисление маршрута передачи пакета (определение правил выбора одного или нескольких узлов-ретрансляторов).

В зависимости от того, в каком объеме требуется контроль состояния сети, сбор информации может осуществляться **глобально** (информация о состоянии всех узлов сети) или **локально** — в пределах расстояния, определяемого количеством $(1, 2, \dots, R)$ ретрансляционных участков.

Рассмотрим подробнее способы сбора информации о состоянии сети.

- ▶ **Волновой (поточковый) способ** применяется при сборе всей информации о состоянии сети и требует значительного объема служебного трафика. Приемлем в определенных ситуациях функционирования сети, например на этапе ее самоорганизации или при передаче пакета в случае очень высокой динамики изменения топологии сети.

- ▶ **Зондовый способ** заключается в нахождении маршрута **по мере необходимости** (обеспечивается «режим молчания») и предполагает волновую рассылку в сети специальных пакетов (зондов-запросов) и сбор зондовых ответов, содержащих информацию о маршрутах к адресатам [4].

- ▶ **Проактивный способ** предполагает обмен маршрутными сообщениями между соседними узлами [2]. Все узлы **периодически или по событиям** информируют каждого соседа о координатах остальных соседних узлов. Приняв маршрутное сообщение, узел модифицирует входы своих маршрутных таблиц. Период рассылки мар-

шрутных сообщений определяется каждым узлом в зависимости от его мобильности [1; 2; 5].

► **Гибридный способ** означает, что каждый узел сети собирает информацию о координатах соседних узлов на расстоянии R -ретрансляционных участков (так называемая маршрутная R -зона), а сбор координат адресатов, находящихся за пределами R -зоны, осуществляется зондовым способом [6]. Значение $R = f(v)$ варьируется в зависимости от v — динамики сетевой топологии (больше v — меньше значение R и наоборот). Процесс построения зоны базируется на знании узлом координат своих соседей. Узел устанавливает радиосвязь со своим соседним узлом, обмениваясь с ним HELLO-сообщениями с использованием одного из протоколов канального уровня. Поскольку маршрутные таблицы корректируются локально (в пределах R -зоны), объем служебного трафика внутри зоны зависит не от размерности сети, а от размера зоны, степени связности узлов и интенсивности изменения связности.

Хранение информации о маршруте при МГМ заключается, как правило, в запоминании координат местоположения узлов. Например, в методе DREAM [5] каждый узел информацию о адресате хранит в следующем виде: идентификатор адресата, координаты, направление на узел (задается в виде угла γ), расстояние r и время получения данной информации.

Информация о местоположении узлов может храниться двумя способами: **автономно** или **распределенно**. Первый заключается в том, что каждый узел инициирует процесс сбора информации о состоянии сети и хранит ее в своей маршрутной таблице, второй — в назначении определенных узлов, называемых домашними агентами (Home Agent — HA), которые хранят информацию о местоположении того или иного узла. Роль домашнего агента может выполнять любой узел. Передача пакета от узла s к узлу d может осуществляться так:

♦ посылка запроса домашнему агенту о местоположении d ($s \rightarrow HA_d$), получение его координат ($HA_d \rightarrow s$), непосредственная пересылка пакета адресату ($s \rightarrow d$) (рис. 1, а);

♦ пересылка пакета домашнему агенту ($s \rightarrow HA_d$) и далее адресату ($HA_d \rightarrow d$) (рис. 1, б).

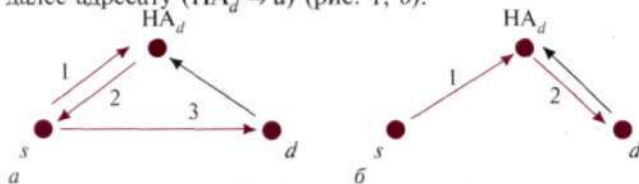


Рис. 1. Использование узлов-НА

Отметим, что HA-узлы также мобильны, и любой из них может оказаться в несвязной подсети. Поэтому каждый узел выбирает несколько HA-узлов в различных участках сети. С этой целью сеть разбивается на квадраты [7]. Каждый узел хранит информацию о своем местоположении в трех HA-узлах, которые находятся в смежных квадратах.

Выбор ретранслятора при географической маршрутизации определяется направлением поиска адресата и размерами области его предполагаемого нахождения. Правила (стратегии) выбора ретрансляторов (или одного единственного ретранслятора) [8–13] можно разбить на две группы: **случайный выбор** ретранслятора («направленная волна» или «направленное зондирование») и **фиксированный выбор**. В дальнейшем воспользуемся следующими допущениями и обозначениями:

узлы «знают» координаты соседей на расстоянии $1, \dots, R$ ретрансляционных участков, причем каждый узел может изменять мощность передачи. Узел s — отправитель, узел d — адресат, $N(s)$ — множество узлов — соседей узла s . В заголовке передаваемого пакета содержится информация о координатах узлов отправителя и адресата, а также уникальный номер, позволяющий различать пакеты.

Случайный выбор ретрансляторов.

♦ Выбор ретрансляторов, расположенных ближе к адресату [8].

Узел s передает пакет всем своим соседним узлам $N(s)$. Если существует $N(s)$, такое, что $r_{N(s)} < r_s - \delta$, где r расстояние до адресата, то пакет ретранслируется далее, в противном случае он стирается. Каждый узел на пути к адресату выполняет аналогичные действия (рис. 2).

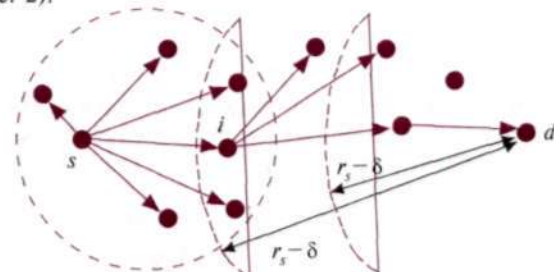


Рис. 2. Случайный выбор ретранслятора

Для сокращения числа передач предлагается следующее правило:

• введение задержки в передаче пакета в зависимости от близости к адресату — узел, «слышавший» передачу соседа, расположенного ближе к адресату, не передает пакет;

• введение параметра δ , ограничивающего число выбираемых ретрансляторов. Если значение δ определяется каждым ретранслятором, говорят о динамическом изменении размеров области поиска адресата;

♦ Выбор ретрансляторов, находящихся в направлении к адресату методом DREAM [3].

Направление (сектор) передачи определяется так (рис. 3). Узел s , зная расстояние до адресата и максимальную скорость его перемещения, способен вычислить возможную область его нахождения. Направление поиска задается углом $\alpha = \arcsin(v(t_1 - t_0)/r)$, где v — максимальная скорость узла; t_1, t_0 — время передачи соответственно пакета и последней корректировки маршрутной информации; r — расстояние до адресата. Если $z = v(t_1 - t_0) > r$, то узел может находиться в любом направлении и $\alpha = \pi$. По известной функции плотности распределения скорости перемещения узла можно вычислить заданную вероятность P_3 нахождения d в направлении $[\gamma - \alpha, \gamma + \alpha]$:

$$P_3 \leq P(z \leq v(t_1 - t_0)) = P(r \sin \alpha \leq v(t_1 - t_0)) = \\ = P(v \geq r \sin \alpha / (t_1 - t_0)) = \int_{r \sin \alpha / (t_1 - t_0)}^{\infty} f(v) dv.$$

В передаваемом пакете кроме координат источника и адресата содержится предполагаемое направление нахождения последнего. Если узел s намеревается передать пакет узлу d , то в качестве ретрансляторов он выбирает соседние узлы $N(s)$, находящиеся в направлении d . Если существует $N(s)$, принадлежащее сектору $[\gamma - \alpha, \gamma + \alpha]$, то пакет ретранслируется далее, в про-

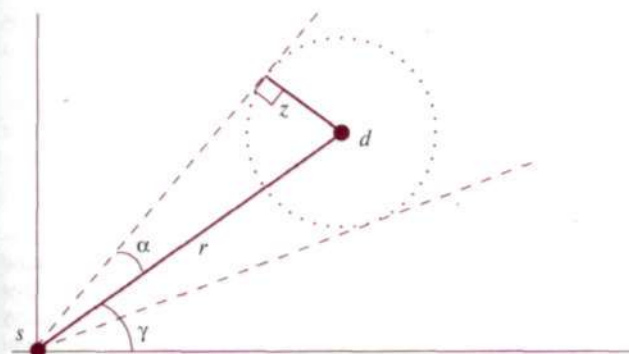


Рис. 3. Ретранслятор выбирается в секторе $[\gamma - \alpha, \gamma + \alpha]$ (метод DREAM)

тивном случае он стирается. Каждый узел на пути к адресату определяет новое направление его нахождения и выполняет аналогичные действия.

♦ Выбор ретрансляторов в области, определенной отправителем, методом LAR [4].

В передаваемом пакете задается фиксированная область поиска адресата в виде прямоугольника $sabc$ (рис. 4, а) при расположении s за пределами предполагаемого места d или $abcf$ (рис. 4, б), когда s находится внутри данной области.

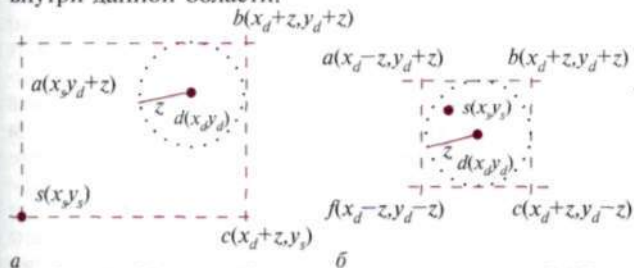


Рис. 4. Область выбора ретранслятора методом LAR

Выбор фиксированного ретранслятора — RT.

Возможны случаи:

♦ ближайшего к адресату ретранслятора (GEDIR — GEOgraphical Distance Routing) [9];

♦ в направлении к адресату с наибольшим продвижением к нему (MFR — Most Forward within Radius) [10];

♦ ближайшего к передающему узлу с продвижением к одному (NFR — Nearest Forward within Radius) [11];

♦ с минимальным углом в направлении к адресату (compass) [12];

♦ выбор двух ретрансляторов, расположенных по внешней стороне направленного сектора (по аналогии с DREAM) и ближайших к адресату (V-GEDIR) [9].

В зависимости от объема информации о состоянии сети правила выбора ретранслятора будут аналогичны для узлов, находящихся на расстоянии двух, трех и более ретрансляционных участков.

Однако возможны такие структуры сети, для которых по приведенным правилам нельзя выбрать ретранслятор для дальнейшей передачи пакета. На рис. 5 узел s ближе к адресату — узлу d , чем узлы a и f , хотя существуют два маршрута передачи $s-a-b-d$ и $s-f-e-d$. Такая ситуация характерна при наличии географических объектов — препятствий.

Поэтому в [13] предлагается при выборе маршрута использовать правило обхода области без ретрансляторов по ее периметру: при отсутствии ретранслятора, сокращающего расстояние до адресата, следует выбрать узел f (а), находящийся справа (слева) по часовой стрелке (против часовой стрелки) на расстоянии большем, чем

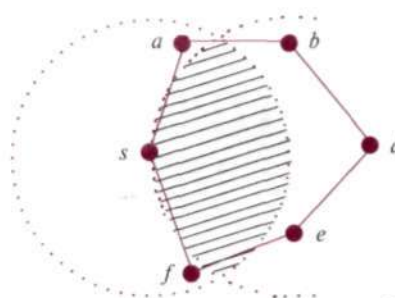


Рис. 5. Вариант структуры, приводящий к ошибке в выборе маршрута (пустая область заштрихована)

отправитель. Отметить в передаваемом пакете данный режим передачи (передача по периметру с установкой флага $P = 1$) и передать узлу f (а) пакет.

Согласно этому правилу узел s передает пакет узлу f , который установит флаг $P = 0$ и передаст пакет далее по рассмотренным ранее правилам выбора ретранслятора.

Целесообразность той или иной стратегии выбора ретранслятора будет определяться целевой функцией управления данного узла (минимизация времени доставки пакета — и минимизация мощности передач узлов. Рассмотренные правила ориентированы на оптимизацию передачи пакета по отдельному направлению связи (оптимизация для пользователя) и не предполагают координировать взаимодействие узлов, чтобы оптимизировать характеристики сети. Некоторые правила, оптимизирующие сетевые характеристики, предложены в [14].

* * *

Поиск решения задачи географической маршрутизации лишь находит и предоставляет перспективное направление развития мобильных радиосетей [15].

Литература

1. <http://www.ietf.org/html/charters/manet-charters.html>
2. Минович А.И., Романюк В.А. Протоколы маршрутизации в мобильных радиосетях // Зв'язок. — 2001. — № 1. — С. 31–36.
3. <http://www.cnde.iastate.edu/gps.html>.
4. Ko Y.-B., Vaidya N.H. Located-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad-Hoc Networks // In Proc. ACM/IEEE Mobicom '98, 1998. — P. 66–75.
5. Basagni S., Chlamtac I., Syroitiuk V.R. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM) // In Proc. ACM/IEEE Mobicom '98, 1998. — P. 76–84.
6. Романюк В.А. R-зональный метод маршрутизації для автоматизованих мереж радіоз'язку // Зб. наук. праць. — К.: КВІУЗ, — 2001. — № 3. — С. 182–186.
7. Li J., Joaonotti J., De Conto D., Karger D., Morris R. A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing // In Proc. ACM/IEEE Mobicom '2000, 2000. — P. 120–130.
8. Ni S.-Y., Tseng Y.-C., Chen Y.-S., Sheu J.-P. The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network // In Proc. ACM/IEEE Mobicom '99, 1999. — P. 151–162.
9. Stojmenovich I., Lin Y. GEDIR: Loop-free location based routing in wireless networks // IASTED: Int. Conf. On Parallel and Distributed Computing and Systems, 1999. — P. 1025–1028.
10. Клейнрок Л. Методы многократного использования пространства в многопролетных пакетных радиосетях // ТИИЭР. — 1987. — Т. 75, №1. — С. 187–200.
11. Hou T., Li O.-K. Transmission Range Control in Multihop Packet Radio Networks // IEEE Transaction on Communication. — 1986. — Vol. com-34, №1/— P. 38–44.
12. Kranakis E., Singh H., Urrutia J. Compass Routing on geometric networks // In Proc. 11th Canadian Conference on Computational Geometry, 1999.
13. Karp B., Kung H.T. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks // In Proc. ACM/IEEE Mobicom'2000, 2000. — P. 243–254.
14. Романюк В.А. Применение базы знаний для управления структурой автоматизированной сети радиосвязи // Зб. наук. праць. — К.: КВІУЗ, 1999. — № 1. — С. 46–49.
15. <http://www.terminodes.org>.