

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

A.V. Gromovskiy

## **ROUTING ALGORITHM EXZRP IN CONVERGENT NETWORKS OF THE NEXT GENERATION**

*In the article the questions of routing in mobile networks are considered. The algorithm of the dynamical routing that oriented on the convergent networks of wireless and wire communication networks with a wire as bearer is offered. The algorithm provides data transmission on several routes using multiple transmission interfaces and paths.*

*Рассмотрены вопросы маршрутизации в мобильных сетях. Предложен алгоритм динамической маршрутизации, ориентированный на конвергентные сети беспроводной и проводной связи, с проводной в качестве опорной. Предлагаемый алгоритм обеспечивает передачу данных по нескольким маршрутам, используя одновременно несколько различных каналов передачи данных.*

© А.В. Громовский, 2007

УДК 681.324

А.В. ГРОМОВСКИЙ

## **АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦИИ EXZRP В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СЕТЯХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Введение.** Основная задача сетей — транспортировка информации от компьютера к получателю. В большинстве случаев для этого надо совершить как минимум одну пересылку, за частую по одному из нескольких маршрутов. Проблему выбора пути решают алгоритмы маршрутизации, которые должны обладать вполне определенными свойствами: надежностью, корректностью, стабильностью, простотой и оптимальностью. Последнее свойство не так однозначно, как это может показаться на первый взгляд, все зависит от того, по какому или каким параметрам производится оптимизация: минимизация или определение ожидаемой задержки доставки; минимизация количества транзитов; оптимальное использование пропускной способности сети; минимизация цены; повышение стабильности передачи.

В настоящее время в связи с повышением скорости и качества беспроводных каналов возрос интерес к мобильным компьютерным и интегрированным (конвергентным) сетям, в частности, на основе ячеистых и Ad Hoc сетей с наличием проводной инфраструктуры, для которых перечисленные критерии оптимизации имеют большое значение. Основная отличительная черта сетей данного типа — отсутствие явно выраженной структуры связей между элементами сети. В данных сетях абонентские узлы являются полностью мобильными и могут соединяться между собой динамически произвольным образом. Динамичность структуры подобных сетей, а так же их значительный рост с появлением новых недорогих технологий определяет

необходимость разработки и исследования новых подходов к решению задачи управления передачей информации, позволяющих:

- сократить время формирования маршрутов;
- сократить объем передаваемой служебной информации;
- оптимизировать использование полосы пропускания каналов связи с учетом возможности организации множества маршрутов между абонентами.

**Анализ существующих решений.** Со времен появления агентства Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) для радиосетей в ранних 1970-х [1], было создано много протоколов для мобильных (Ad Hoc) сетей. Данные протоколы в своей основе предназначались для сетей с рядом ограничений, например, ограничение мощности и энергопотребления, низкая полоса пропускания, высокий процент ошибок в передаваемых данных. Разработанные протоколы (как и протоколы для проводных сетей) могут быть разделены на три основных класса: табличные или проактивные (table-driven, proactive), от источника или реактивные (demand-driven, reactive) и гибридные (Hybrid) как показано на рис. 1.

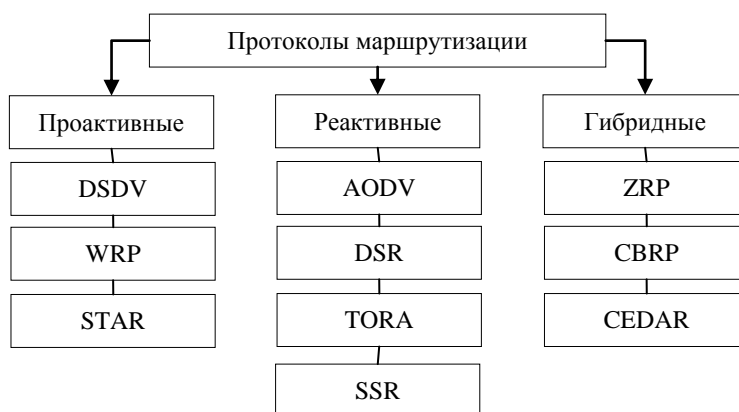


РИС. 1. Классификация протоколов маршрутизации в мобильных сетях

Традиционные протоколы маршрутизации являются превентивными (проактивными) в том смысле, что они поддерживают маршруты ко всем узлам. Эти протоколы реагируют на каждое изменение в топологии сети, и для них требуется периодический обмен управляющими сообщениями для поддержки целостности и достоверности информации о структуре сети. Протоколы данного типа предполагают, что каждый узел содержит одну или несколько таблиц с маршрутизационной информацией, и они несут ответственность за отслеживание изменений в структуре сети, распространяя информацию об ее изменении по всей сети. Частота, с которой посылаются эти управляющие сообщения, должна соответствовать динамике в сети, чтобы поддерживать маршруты в рабочем состоянии. Таким образом, по мере повышения мобильности узлов или/и их коли-

чества для управления траффиком все чаще будут использоваться дефицитные ресурсы, такие как энергоресурс и полоса пропускания канала, приводя к загрузке сети непродуктивной информацией. К протоколам данного типа относятся DSDV [2], WRP [3], CGSR [4], STAR [5].

Альтернативный подход заключается в организации "повторно активных" или реактивных (reactive) маршрутов, т. е. маршруты между узлами определяются только в том случае, когда в этом есть необходимость. Это избавляет узлы от необходимости поддерживать в рабочем состоянии все возможные маршруты в сети; вместо этого передача может идти или по уже установленным маршрутам, или по маршрутам, которые находятся в стадии установления. Одним из существенных недостатков протокола данного типа являются значительные задержки на установку первичного маршрута, особенно в динамичных сетях с большим количеством подвижных абонентов. К протоколам данного типа относятся SSR [6], DSR [7], TORA [8], AODV [9].

Гибридные протоколы сочетают в себе подходы проактивных и реактивных протоколов, но на разных уровнях иерархии, определяя помимо метода поиска маршрута и метод разбиения сети на иерархические структуры или домены. Данные протоколы хоть и являются более сложными в реализации, но показывают более высокие результаты, так как предлагают более гибкий вариант маршрутизации в зависимости от структуры сети. Один из существенных недостатков протоколов данного типа – процесс разбиения на иерархические структуры или домены, результаты которого сильно сказываются на оптимальности маршрутизации сети. К протоколам данного типа относятся ZRP [10], CEDAR [11].

Отдельно стоит упомянуть широковещательные методы адресации (flooding), где каждый проходящий пакет посылается по всем имеющимся исходящим каналам, за исключением того, по которому он получен (MAODV, DVMRP, PIM [12]). Широковещательные методы не относятся к широко применимым, но они используются там, где нужна предельно возможная надежность, например в военных приложениях, когда весьма вероятно повреждение тех или иных каналов.

**Постановка задачи.** При использовании перечисленных алгоритмов маршрутизации в мобильных и конвергентных сетях острее возникают проблемы роста количества реконфигураций сети и неспособность существующих алгоритмов работать в разнородных сетях с разными параметрами каналов передачи данных. В мобильных сетях проблема маршрутизации пакетов между какой-либо парой узлов становится сложной задачей, поскольку узлы в сети могут перемещаться произвольным образом. Маршрут, который является оптимальным в данный момент времени, может перестать быть таковым чуть позже. Более того, случайный характер возникновения беспроводных каналов (из-за перемещения абонентов) привносит неопределенность и в качество маршрута. С ростом беспроводных сетей количество реконфигураций из-за перемещения абонентов становится настолько огромным, что большая часть пропускной способности сети используется для системного траффика. Как уже было сказано, есть ряд решений для маршрутизации в беспроводных сетях (DSDV, WRP, CGSR и т. д.) но и

они с ростом сетей не справляются со своими задачами. Так же, в связи с интеграционными процессами при построении сети с использованием нескольких методов передачи данных, как разными устройствами, так и одним устройством сети (точки доступа и терминалы, поддерживающие несколько стандартов GSM, 802.11, WiMax), особое внимание необходимо уделить переходам между разными сетями, архитектура, скорости и задержки в которых могут сильно различаться. Одним из перспективных решений данной проблемы можно принять использование специализированных протоколов гибридной маршрутизации. В которых дополнительно предусматривается маршрутизация в нескольких средах передачи и наличие развитой проводной инфраструктуры, которая может использоваться как опорная. Можно сформулировать ряд требований, выполнение которых в проколе маршрутизации позволит реализовать оптимальную маршрутизацию по ряду параметров в конвергентной сети с высокой динамикой и наличием нескольких интерфейсов передачи данных:

- разбиение сети на зоны или другие иерархические структуры, как единственного метода маршрутизации в динамичных, сильно связанных мобильных сетях с большим количеством абонентов;
- поддержка нескольких маршрутов передачи данных;
- поддержка использования нескольких сред передачи в зависимости от загрузки сети и требований, выставляемых самим трафиком;
- ориентация на сильную связанность сети и высокую мобильность абонента как в пределах одного, так и нескольких доменов.

**Предлагаемое решение.** Для преодоления упомянутых недостатков существующих протоколов маршрутизации в мобильных сетях и повышения качества их интеграции с проводными сетями предлагается использование интегрированных сетей на базе беспроводных ячеистых или ad hoc сетей и опорной проводной магистрали в совокупности со специализированным гибридным протоколом. Это решение имеет такие достоинства:

- разгрузка беспроводной сети за счет высокоскоростного канала;
- повышение надежности путем реализации не автономных, а соединенных общей сетью маршрутизаторов;
- ячеистые сети в своей основе являются масштабируемыми, надежными, самоконфигурируемыми, они более приспособленные для передачи мультимедийной информации, особенно широковещательного характера.

С другой стороны к алгоритмам маршрутизации в таких сетях ставятся намного более жесткие требования в плане обработки большого количества возможных разнородных маршрутов (высокая связность сети) и построении пути не только по принципу наименьшего количества переходов, но и требуемых параметров доставки данных. Сети ячеистой топологии (также называемые многоузловыми (multi-hop) сетями) представляют собой гибкое решение для эффективного обмена данными между абонентами. Чтобы понять преимущества сетей ячеистой топологии, стоит сравнить их с одноузловыми (single-hop) сетями. В традиционной беспроводной сети несколько клиентов подключаются к сети по прямому беспроводному соединению с точкой доступа (Access Point). Такие сети

называются одноузловыми. В многоузловой беспроводной сети любое устройство связи может выступать и в качестве маршрутизатора, и в качестве точки доступа. Если ближайшая точка доступа перегружена, данные перенаправляются к ближайшему незагруженному узлу. За счет возрастания количества промежуточных узлов, при обычном подходе будут увеличиваться задержки, но при использовании специальных средств оптимизации, например, gh-оптимизации [13] и вследствие разгрузки сети, ее производительность будет лучше при соблюдении требуемых параметров связи. Сети ячеистой топологии имеют ряд важных преимуществ по сравнению со своими одноузловыми аналогами, это надежность, более высокая пропускная способность и пространственное разделение.

За основу протокола маршрутизации в данных сетях был выбран ZRP как один из наиболее полно отвечающих поставленным требованиям. В отличие от упомянутых протоколов маршрутизации в беспроводных сетях, ZRP представляет гибридный подход, по сути на основе других протоколов. При этом он использует лучшую функциональность ниже лежащих протоколов в зависимости от ситуации и требований. Так же ZRP более приспособлен для работы в больших сетях, благодаря использованию преимуществ как реактивных, так и проактивных протоколов, что благодаря разделению на зоны, по сути, представляет иерархический подход [14]. Основными отличиями предложенного алгоритма EXZRP (Extended Zone Routing Protocol) маршрутизации является измененный алгоритм разбиения на зоны, определения оптимального пути в зависимости от требований предоставляемых трафиком и поддержка множественности интерфейсов и путей передачи данных, как на абонентском узле, так и на точке доступа. Процесс разбиения на зоны состоит из двух этапов: поиск головы зоны и определения ее радиуса. Зоны могут быть пересекающимися, в отличие от классического ZRP.

При поиске головы зоны учитываются несколько основных факторов:

- наличие проводной инфраструктуры, использование проводной точки доступа как головы зоны повышает стабильность ее структуры;
- стабильность каналов связи с соседями и связность.

В целях повышения надежности сети в каждом домене может присутствовать несколько голов. Одна из них является основной, остальные – резервными. Для определения резервных голов (TempHead) после определения головы зоны из списка ее соседей выбираются полносвязанные пары или тройки узлов, которые и принимаются как резервные головы. Такой подход позволяет при изменении положения головы зоны или выходе ее из обслуживаемой ею зоны продолжать выполнять внутризонную маршрутизацию с помощью временных голов. При процедуре смены головы зоны поиск новой головы ведется только из списка резервных голов. Одним из дополнительных преимуществ такого подхода является некая стационарность расположения голов зон после первичного разбиения сети на зоны. Радиус сети выбирается исходя из радиуса действия его голов и связности сети. Упрощенно алгоритм разбиения на зоны можно представить так:

```

if Stationary then // проверим узел на стационарность (опорная магистраль)
begin
  neighbour = SearchNeighbour // поиск ближайших соседей
  SetAsHead //установим узел как голову зоны
  SendMessage(neighbour,ST_HEAD,rMAX-radius) // разошлем соседям сообщение
end else
begin
  neighbour = SearchNeighbour // поиск ближайших соседей
  if neighbour == nil then SetAsTempHead else // если соседей нет то запустим процедуру
  begin
    if HasMainHead(neighbour)==false then // если нет главной головы среди соседей
    begin
      if HasTempHead(neighbour)==false // если нет временной головы
      begin
        SetAsTempHead // установить узел как временную голову
        SendMessage(GetTempHeads(neighbour),TEMP_HEAD,rMAX-radius)
        //послать сообщение
      end else
      begin
        if Metrik(neighbour,self)
        begin
          SetAsTempHead // установить узел как временную голову
          SendMessage(GetTempHeads(neighbour),TEMP_HEAD,rMAX-radius)
        end else
        begin // установить узел как временную голову
          if radius<rMAX then SetupTempHead(GetTempHead(neighbour))
          end
        end
      end else
      begin
        SetupHead(GetMainHead(neighbour)) // установим узел как голову зоны
        SendMessage(GetMainHead(neighbour),ADD_NODE,rMAX-radius)
      end
    end
  end
end
end
end

```

Вторым существенным отличием протокола EXZRP является поддержка множественных путей передачи данных, как с помощью разных интерфейсов передачи, так и через различные транзитные узлы. Перед началом передачи в зависимости от доступных интерфейсов и требований трафика к параметрам связи выбирается приоритетный интерфейс передачи и формируются требуемые параметры пути передачи. После чего запрос отправляется активной голове зоны (если конечно в таблице маршрутизации нет сформированного пути в пределах зоны или к шлюзу зоны). При получении головой зоны сообщения от узла происходит проверка адресата пути на принадлежность данной зоны, если она соблюдается то пакет отправляется адресату, а отправителю отправляется оптимальный путь до адресата в пределах зоны. Если адресат выходит за пределы домена, то пакет отправляется на ближайший шлюз, а отправителю пересылается адрес этого шлюза, для упрощения последующих обменов. В процессе про-

хождения маршрута, при наличии в текущем узле маршрутизации нескольких путей к адресату с различными метриками выбирается узел с наилучшей, если таких несколько, то проводится оценка загрузки каналов и пакет может быть отправлен по нескольким маршрутам, причем только несколько пакетов могут быть помечены как обязательными к доставке, другая часть пакетов помечается как желательная к доставке. Упрощенно алгоритм маршрутизации в пределах зоны и между зонами можно представить как на рис. 2.

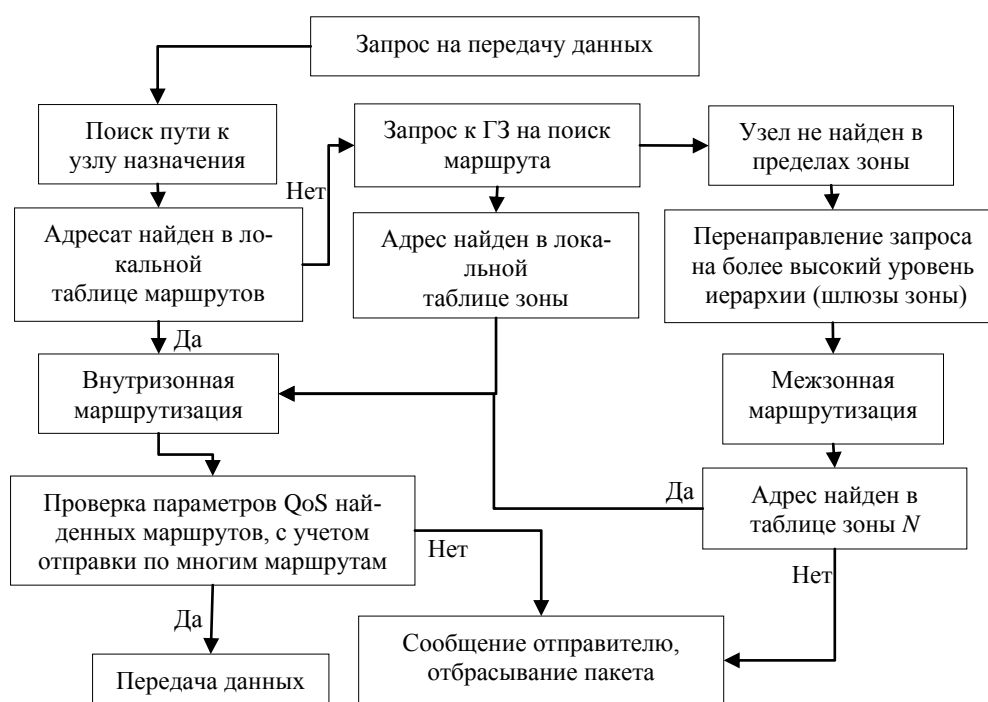


РИС. 2. Алгоритм маршрутизации

Подобный подход позволяет оптимальным образом использовать пропускную возможность сети, организуя передачу информации по нескольким маршрутам. Причем при многомаршрутной передаче необязательно дублировать данные, можно передавать по разным каналам разные части данных, повышая тем самым скорость передачи, при некотором увеличении задержек. Так как голова зоны в процессе перестройки сети может стать недоступной, то запросы перенаправляются к ближайшей резервной голове зоны, которая по алгоритму разбиения на зоны будет не дальше двух переходов от старой головы зоны. Так как временные зоны хранят копии таблиц маршрутизации головы зоны, то наличие хотя бы одной известной резервной головы поддерживает стабильность маршрутизации в пределах зоны. Это позволяет избежать ситуаций, когда необ-

ходимо перестраивать информацию о маршрутах в зоне при смене головы. Подобный алгоритм применяется и для поддержания информации о шлюзах зон.

**Выводы.** Сети ячеистой топологии предлагают наиболее экономически выгодное и гибкое решение беспроводной связи. Хотя технология пока находится в стадии развития, она уже демонстрирует значительный потенциал в области создания эффективных беспроводных вычислительных сред, отвечающих требованиям бизнеса, обладающих возможностью использования в домашних условиях, в промышленности и среди поставщиков услуг широкополосной связи. Использование адаптированных реализаций уже существующих протоколов проводной и беспроводной связи, в частности предложенного модифицированного протокола ZRP позволяет решить проблемы маршрутизации и роуминга в высокодинамичных конвергентных сетях нового поколения. Использование специальных методик оптимизации маршрутизации, *gh*-оптимизация и передача по нескольким путям без дублирования и с дублированием, позволяет не только разгрузить сеть или сделать нагрузку равномерной, но и повысить ее скоростные показатели.

1. *Jubin J.* The DARPA Packet Radio Network Protocols // IEEE. — 1987. — N. 75. — P. 21 — 32.
2. *Perkins C.E.* Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers // ACM SIGCOMM '94. — London.: 1994. — P. 234 — 244.
3. *Murthy S., Garcia-Luna-Aceves J.J.* A Routing Protocol for Packet Radio Networks ACM International Conference on Mobile Computing and Networking // MOBICOM'95. — Berkeley; California.: November 1995. — P. 86 — 95.
4. *Chiang Ching-Chuan* Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel // IEEE International Conference on Networks. — Singapore, 1997. — P. 197 — 211.
5. *Garcia-Luna-Aceves J.J., Spohn M* Source-Tree Routing in Wireless Networks // IEEE ICNP 99. — Toronto; Canada.: October 1999. — P. 273 — 282.
6. *Chen G.G.* Self-selective Routing for Wireless Ad hoc Networks // Internet. — [http://www.cs.rpi.edu/~brancj/SSR\\_WiMob\\_2005.pdf](http://www.cs.rpi.edu/~brancj/SSR_WiMob_2005.pdf).
7. *Johnson B.D., Maltz A.D.* Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks // Kluwer Academic Publishers. — 1996. — N. 353. — P. 153 — 181.
8. *Park D.V., Corson S.M.* A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks // INFOCOM'97. — Kobe; Japan.: April 7— 11, 1997. — P. 1405 — 1413.
9. *Perkins E.C., Belding-Royer M.E.* Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol // IETF Internet Draft. — <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-aodv-13.txt>.
10. *Haas J.Z.* A New Routing Protocol For The Reconfigurable Wireless Networks // IEEE ICUPC'97. — San Diego; California.: October 12-16, 1997. — P. 562 — 566.
11. *Sinha P., Sivakumar R.* Materials of conference // INFOCOM '99, New York.: 1999. — P. 202 — 209.
12. *Meyer D.* Multicast General Introduction // Internet. — <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/multicast.html>.
13. *Алишов Н.И.* Оптимизация коммутации пакетов в распределенных системах // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. — 2004. — № 3. — С. 87 — 94.
14. *Drakos N., Moore R.* Mobile Ad-Hoc Networks Analysis of the Zone Routing Protocol // IETF Internet Draft. — <http://www.netmeister.org/misc/zrp/zrp.html>.

Получено 30.01.2007