

УДК 621.391

Гоголева М. А., аспірант, Харківський нац. унів-т радіоелектроніки

ПОТОКОВО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПУТЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В MESH-СЕТЯХ

Гоголева М.О. Потокково-орієнтована модель багатопляхової маршрутизації в MESH-мережах. В роботі запропонована потокова модель багатопляхової маршрутизації для MESH-мереж. Модель забезпечує розрахунок необхідної кількості шляхів між заданою парою вузлів в мережі в залежності від величини інтенсивності трафіку користувачів.

Гоголева М. А. Потокково-ориентированная модель многопутевой маршрутизации в MESH-сетях. В работе предложена потоковая модель многопутевой маршрутизации для MESH-сетей. Модель обеспечивает расчет необходимого количества путей между заданной парой узлов в сети в зависимости от величины интенсивности трафика пользователей.

Hoholyeva M.O. Flow-oriented model of multipath routing in MESH-networks. In this article the flow-based model of multipath routing for MESH-networks is proposed. Model provides the calculation of required set of ways between the given pair of nodes in the network depending on the size of user traffic intensity.

Введение. На данном этапе в телекоммуникационной индустрии наблюдается стремительный рост – разрабатывается и внедряется новое оборудование, расширяется номенклатура предлагаемых услуг связи. Благодаря данной тенденции, все большее значение приобретает беспроводная связь, развивающаяся как технологически, так и по уровню распространенности и использования. Одной из открывающихся в связи с этим возможностей является создание Ad-Hoc сетей, которые характеризуются отсутствием фиксированной топологии, универсальностью функций сетевых узлов

(маршрутизаторов/хостов) и преимущественно децентрализацией осуществляемого в подобных сетях управления. Одним из наиболее распространенных подклассом Ad-Нос сетей являются MESH-сети. Преимуществом данных сетей является возможность самовосстановления, т.е. в случае неисправности узла или потери подключения сеть будет функционировать. В результате такой организации сети получается достаточно надежная сетевая инфраструктура [1].

Высокие заявленные потенциальные возможности MESH-сетей обеспечиваются, с одной стороны, результативными решениями физического и канального уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем, представленными технологиями IEEE 802.11/15/16/20 [1], а с другой стороны, выдвигают жесткие требования к эффективности средств управления ресурсами сети и, в частности, к протоколам управления трафиком и маршрутизации. В сетях беспроводной связи проблема маршрутизации пакетов между произвольной парой узлов стоит намного сложнее, чем в сетях проводной связи. Причиной тому является то, что наряду с общими требованиями, касающихся поддержки качества обслуживания и балансировки нагрузки, в протоколах маршрутизации MESH-сетей необходимо учитывать ограниченный энергетический потенциал сетевых узлов (адаптеров), а также связанный с этим случайный характер топологии динамически создаваемых радиоканалов. В этой связи, актуальной представляется задача, сопряженная с разработкой математических моделей и методов маршрутизации, которые могли бы быть положены в основу перспективных протоколов маршрутизации в MESH-сетях.

Анализ известных решений. Необходимо отметить, что, несмотря на то, что концепции по созданию Ad-Нос и MESH-сетей предложены сравнительно недавно, наукой и практикой предложен достаточно широкий спектр протоколов (рис. 1).

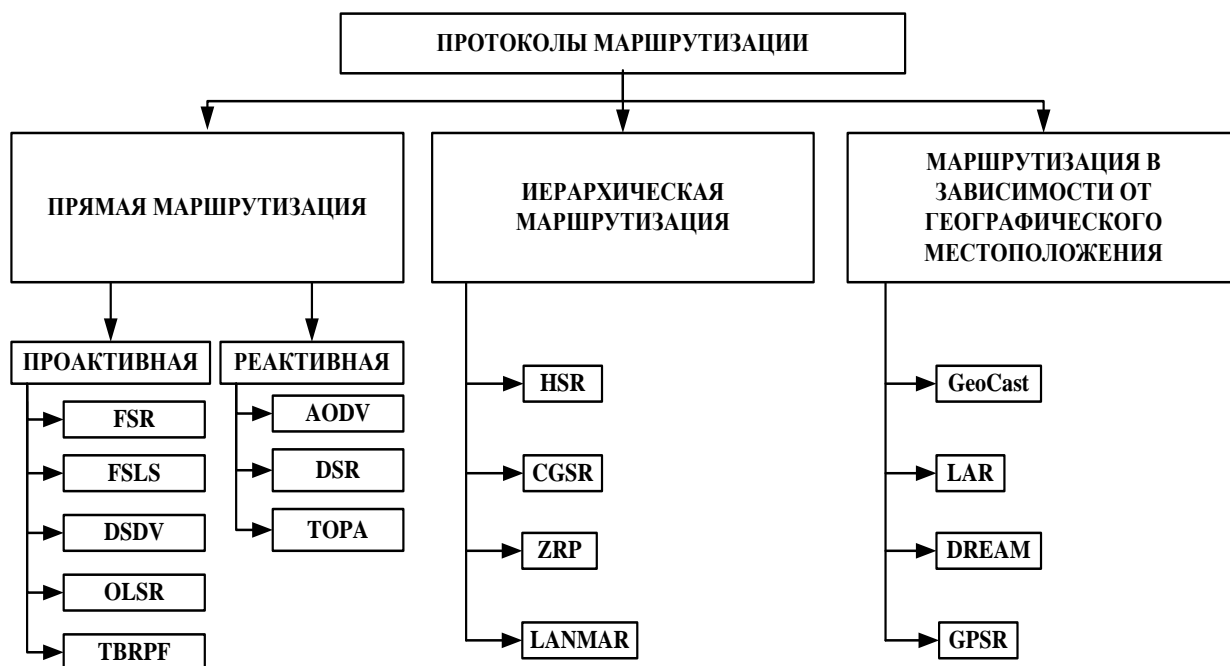


Рис.1. Классификация протоколов маршрутизации в сетях Ad Нос

Результаты сравнительного анализа показывают, что наиболее эффективными для использования в MESH-сетях являются реактивные протоколы, которые инициируют запрос о формировании (расчета) маршрута по требованию. Такие протоколы сохраняют пропускную способность беспроводной среды и экономят запас энергии батарей мобильных терминалов. С другой стороны в русле обеспечения качества обслуживания заслуживает внимания подход, основанный на реализации принципов многопутевой (multipath routing) и потоково-ориентированной маршрутизации (flow-based routing).

Следует отметить, что алгоритмы и методы маршрутизации, используемые в MESH-сетях (FSR, OLSR, AODV и др.) [2] основаны преимущественно на моделях поиска кратчайшего пути на графовом представлении сети. Эти модели, как правило, не учитывают возможность перегрузки радиоканала, доступность полосы пропускания, ограниченность энергетического ресурса сетевого узла. Несмотря на широкое распространение графовых моделей маршрутизации, положенных в основу большинства существующих маршрутизирующих протоколов, на практике все более востребованы именно потоковые модели маршрутизации, которые, с одной стороны, учитывают потоковый характер современного, преимущественно мультимедийного трафика (видео, речь и др.), а с другой стороны, более адаптированы под решение задач балансировки нагрузки и обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях.

В связи с этим при разработке математической модели маршрутизации в MESH-сетях необходимо отталкиваться от следующих требований системного характера, на выполнение которых должны быть сориентированы маршрутизирующие протоколы:

- *требование 1* – обеспечение комплексного характера решений задач маршрутизации и распределения сетевых (энергетических, канальных, буферных и информационных) ресурсов для организации их эффективного использования и предотвращения перегрузки;
- *требование 2* – реализация многопутевой стратегии маршрутизации (MultiPath Routing);
- *требование 3* – повышение масштабируемости решений маршрутных задач, что связано с необходимостью получения приемлемых решений в условиях роста количества сетевых узлов, числа и типов трафиков пользователей, а также увеличения количества поддерживаемых показателей качества обслуживания.

Исходя из этого, необходимо отметить, что будущее математического описания маршрутных задач видится за потоковыми моделями – flow-based model, структура и содержание которых должна отражать в том или ином виде степень удовлетворения сформулированных выше требований 1÷3. Также в рамках предлагаемой модели сетевой узел должен периодически оценивать обстановку в пределах его досягаемости – обнаруживать “соседние” узлы – те узлы, к которым возможна передача трафика по беспроводному каналу связи.

Потоково-ориентированная модель многопутевой маршрутизации в MESH-сетях. В структуре математической модели маршрутизации традиционно должны присутствовать условия сохранения потока в сетевых узлах и в сети в целом (условия отсутствия потерь пакетов), условия отсутствия перегрузки каналов связи, условия реализации одно- или многопутевой маршрутизации, а также при возможности (необходимости) – условия обеспечения качества обслуживания [3,4].

В MESH-сетях, как и для моделей маршрутизации в проводных сетях, условие сохранения потока имеет вид:

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

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

С точки зрения управления буферным ресурсом выполнение данного условия (1) 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 неизменной. Это же касается входа и выхода каждого транзитного сетевого узла.

С учетом ограниченности энергетического ресурса сетевых узлов в структуре предлагаемой модели необходимо ввести следующее 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 -ого 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 λ_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 в 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 управляющими переменными, а λ_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 следующий вид:

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

где ΔF - полоса частот передаваемого сигнала;

$$SNR = \frac{P_j(d)}{P_\phi} \text{ (Signal to Noise Ratio) – отношение мощности сигнала на входе приемника к}$$

мощности шума.

При расчете принятой мощности сигнала следует учитывать территориальное распространение радиоволн. Так, для примера, при распространении радиоволн в пригородной зоне возможно использование следующей формулы [5]:

$$P_i(d) = \frac{P_j \cdot G_i \cdot G_j \cdot h_i^2 \cdot h_j^2}{R_{i,j}^4}, \quad (5)$$

где P_i – мощность передатчика;

G_i и G_j – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$R_{i,j}$ – расстояние между приемником и передатчиком;

h_j и h_i – высоты антенн приемника и передатчика.

Как правило, данная формула не используется при малых расстояниях между узлами и видоизменяется для той или иной беспроводной технологии. Так, при идеальных условиях распространения сигнала в свободном пространстве по единственному пути от передатчика к приемнику формула принимает следующий вид:

$$P_i(d) = G_j \cdot G_i \cdot \left(\frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot R_{i,j}} \right)^2 \cdot P_j, \quad (6)$$

где $\lambda = \frac{c}{\Delta F}$ – длина волны, $c = 3 \cdot 10^8$ (м/с) - скорость света.

Для стандартов 802.11g и 802.11b/b+, предусмотрено применением частотного диапазона от 2,4 до 2,4835 ГГц, который предназначен для безлицензионного использования в промышленности, науке и медицине (Industry, Science and Medicine, ISM). Однако, несмотря на возможность безлицензионного применения данного частотного диапазона, существует жесткое ограничение максимальной мощности передатчика. Опираясь на физические характеристики беспроводных адаптеров, таких как Dray Tek Vigor 600, Dray Tek Vigor 610 и D-Link DWL-G520+, мощность передатчика, например, может составлять 50мВт.

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

$$\dot{A}(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{i,j} x_{i,j}, \quad (7)$$

характеризующей стоимость создания радиоканалов и реализации многопутевой маршрутизации в MESH-сети, при этом $a_{i,j}$ - удельная стоимость создания и использования радиоканала между i -м и j -м узлами.

Выводы. Оптимизационная задача (7) в рамках предложенной модели (1)-(6) по своему содержанию является задачей структурного и функционального синтеза, связанной с определением оптимальной топологии MESH-сети, расчета необходимой пропускной способности создаваемых радиоканалов и распределения мощности сетевых адаптеров с учетом ряда ограничений на используемый информационный и энергетический ресурс. Для расширения области применения, предложенной модели в MESH-сетях необходимо ее дальнейшее совершенствование, которое заключается в необходимости учета параметров движения и конечности энергетического запаса узлов. Результаты моделирования могут быть дополнены основными показателями качества обслуживания для многопродуктового случая, что также определяет направление дальнейшего развития данной модели многопутевой маршрутизации в MESH-сетях. Предложенная потоковая модель многопутевой маршрутизации может быть использована при разработке перспективных потоково-ориентированных протоколов маршрутизации в MESH-сетях.

Литература

1. Йоганн. Ш. Мобильные коммуникации. // Пер. с англ. Издательский дом Вильямс. – 2002. – С. 384.
2. Das S. R., Perkins C. E., and Royer E. Performance comparison of two on-demand routing protocols for Ad Hoc networks. // IEEE Conference on Computer Communications. – 2000. – P.3-12 .
3. Поповский В.В., Лемешко А.В., Мельникова Л.И., Андрушко Д.В. Обзор и сравнительный анализ основных моделей и алгоритмов многопутевой маршрутизации в мультисервисных телекоммуникационных сетях // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. –Том.4. Вып. №4. – С. 372-38.
4. Лемешко А.В., Гоголева М.А. Потоково-ориентированная модель многопутевой маршрутизации в телекоммуникационной сети // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2008. – Том 6 (2). – С. 162-170.2.
5. Perkins C. E. Ad Hoc Networks // Addison-Wesley, 2001. – P. 384.