

УДК 004.7

## ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Гигатадзе Я.А.

*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, e-mail: yaroslavnagigatadze@yandex.ru*

В работе обсуждаются возможности разработки подходов, связанных с определением характеристик качества работы беспроводных сетей, касающихся энергопотребления, надежностью доставки сообщений. Рассмотрено построение маршрута в беспроводной сети на примере графа. Создание маршрута соответствует выбору весовых метрик для формирования направленной последовательности связей, ведущих к месту назначения в ранее неориентированной сети или части сети. Выбор протокола маршрутизации для построения мобильной адаптивной сети с ячеистой топологией является задачей многокритериального выбора. Поддержание маршрутов относится к адаптации маршрутизации структуры в ответ на топологические изменения сети. В качестве частных критериев выбора протокола маршрутизации можно использовать следующие: объем потерянной информации, задержку, загрузку сети, отношение числа ретранслированных пакетов к отправленным, интенсивность входного потока.

**Ключевые слова:** протокол, маршрутизация, адаптация, беспроводная сеть

## THE POSSIBILITY OF INCREASING THE EFFICIENCY OF MODERN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Gigatagze Ya.A.

*Voronezh institute of high technologies, Voronezh, e-mail: yaroslavnagigatadze@yandex.ru*

The paper discusses the possibility of developing techniques related to the characterization of the quality of work of wireless networks related to energy use, reliability of message delivery. We consider the construction of the route in a wireless network on the example graph. The route corresponds to the choice of weighting metric for forming a directed sequence of links leading to the destination in a previously undirected network or portion of network. The choice of routing protocol for building adaptive mobile network with mesh topology is a problem of multicriteria choice. Maintaining routes refers to the adapting the routing structure in response to topological changes in the network. As private criteria for the selection of routing protocol you can use the following: the amount of lost data, delay, network load, the ratio of the number of retransmitted packets to sent, the intensity of the input stream.

**Keywords:** protocol, routing, adaptation, wireless network

В современных беспроводных технологиях возможно создание принципиально новых устройств и систем, а при замене существующих проводных технологий – повышение гибкость и снижение стоимости жизненного цикла изделий. В качестве примеров таких устройств и систем, касающихся областей промышленной электроники для систем жизнеобеспечения зданий, которые включают в себя проявление управления вопросами электро-, тепло- и газоснабжения, вентиляции и кондиционирования, освещения, охранно-пожарной сигнализацией, проведением контроля доступа. Проведение анализа соответствующих трудов показывает, что достаточно большой потенциал по снижению энергопотребления имеют беспроводные сети IEEE 802.15.4, имеющие кластерную топологию, они работают с высокой скоростью интервала активной работы узлов, следует отметить, что потребляемая мощность заметным образом зависит от того, какие параметры и топологическая структура сети [2, 4]. Технологии на базе IEEE 802.15.4 имеют относительно малые скорости передачи данных, если

сравнивать с другими технологиями, но при этом большинство объектов промышленной электроники характеризуются небольшими значениями интенсивности обмена информацией, которая значительно меньше, чем их предельная пропускная способность.

Вторая составляющая выступает на передний план при особых применениях, в которых если сообщение не доставлено или доставлено несвоевременно сообщение может дать нарушение работоспособности устройств или систем либо к тому, что будет некачественное их функционирование. Указанный фактор определяет совокупность трудностей, ведущих к тому, что надежность доставки сообщений для беспроводных сетей сложно определить или оценить на основе простых расчетных соотношений, что потом усложняет принятие решений проектировщиками о том применять ли беспроводную технологию вместо обычной проводной [5, 6].

Приведенные в трудах исследования связаны с тем, что определяются такие характеристики качества работы беспроводных сетей, как энергопотребление, на-

дежность, время доставки сообщений. Их можно применять в большинстве случаев лишь к известным и развитым технологиям Wi-Fi и ZigBee. Но при этом особенности сетей IEEE 802.15.4, имеющих кластерную топологию, работающих с высокой скважностью, достаточно на настоящий момент не изучены. Проведение анализа работ ученых показало, что надежность, так же как и параметры энергопотребления, в большой мере зависят от того, какая топологическая структура сети и сетевые параметры узлов.

Вследствие того, что выделяемый частотный диапазон ограничен, то при этом одной из основных проблем, которую необходимо решать при проектировании, является обеспечение требуемой электромагнитной совместимости для сегментов, находящихся в одной сети или для разных сетей, что позволяет решать задачи минимизации по внутрисистемным и взаимным помехам.

Таким образом, проведение разработки методов, связанных с определением характеристик качества работы беспроводных сетей, связанных с энергопотреблением, надежностью доставки сообщений, и которые определяют развитие способов повышения эффективности работы беспроводных сетей IEEE 802.15.4, имеющих кластерную топологию представляется актуальной научной и практической задачей.

TORA – адаптивный алгоритм маршрутизации, основными свойствами которого являются: распределенное исполнение, исключение закливания, многопутевая маршрутизация, реактивное или активное создание и поддержание маршрута, быстрая реакция на топологические изменения.

Распределенность TORA заключается в том, что маршрутизаторы хранят информацию только о прилегающих узлах, в то же время, как и в дистанционно-векторных протоколах (основанные на Distance Vector Algorithm (DVA)) сохраняются маршруты для каждого направления [9]. Однако в данном протоколе кратчайшие пути обновляются не постоянно, а для оценки оптимальности маршрута используются весовые метрики узлов, созданные при установлении маршрута.

Ориентированный характер маршрутизации TORA поддерживает смесь реактивной и активной маршрутизации для каждого направления. Реактивность протокола заключается в том, что источники инициируют создание маршрутов для данного направления по требованию. Данный режим работы выгодно использовать в динамично изменяющихся сетях с относительно ред-

ким трафиком, так как при нем нет необходимости сохранять маршруты между всеми парами источник/приемник постоянно. В то же время, по отдельным маршрутам могут совершаться действия, напоминающие проактивные протоколы маршрутизации, что позволяет сохранять маршруты по постоянно или часто требующимся направлениям (например, для серверов и шлюзов).

Протокол TORA предназначен для сведения к минимуму действий, связанных с адаптацией сети к топологическим изменениям, так же минимизирован объем служебных сообщений, который, как правило, локализован вокруг очень небольшого набора узлов вблизи топологических преобразований. Вторичный механизм, используемый независимо от динамики топологии сети, заключается в проверке и оптимизации существующих маршрутов.

Конструкция и гибкость TORA обеспечивает ее функционирование при высокой динамике сети при сохранении высокой пропускной способности – что потенциально хорошо подходит для использования в динамических беспроводных сетях.

Протокол TORA предоставляет следующие услуги для соседних маршрутизаторов:

- связь статуса зондирования и ближнего окружения узла;
- информация о надежности доставки пакетов окружающими узлами;
- связь сетевых адресов с картой существующих маршрутов;
- безопасность аутентификации.

Такие события, как получение управляющих сообщений и изменения в качестве соединения с соседними маршрутизаторами запускают алгоритмическую реакцию протокола. Также процесс построения маршрута запускается для каждого направления по требованию, при этом отправляется зонд-запрос на установление маршрута соседним маршрутизаторам, при этом вес узла-отправителя принимается глобальным максимумом [3, 7]. Соседние узлы согласуют свой вес, назначают направление пересылки («вверх» или «вниз») для каждого соседнего маршрутизатора и передают зонд-запрос далее. В последствии маршрут передачи выбирается по направлению «вниз» в соответствии с принятыми направлениями пересылки. Маршрутизаторы без весовой метрики или с неопределенным направлением считаются неориентированными и не могут быть использованы для пересылки.

Рассмотрим построение маршрута на примере графа, представленного на рис. 1.

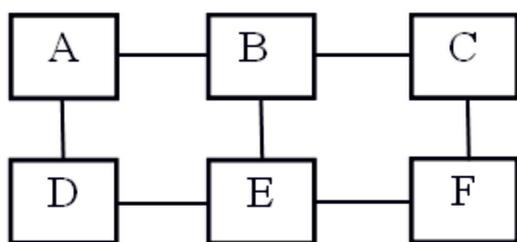


Рис. 1. Пример графа сети для построения маршрута

Обозначим вес узла  $N$  и, приняв следующие весовые метрики узлов:

- $H(C) > H(B) > H(E) > H(F)$ , при построении маршрута  $C - F$ ;
- $H(D) > H(A) > H(B) > H(E) > H(F)$  при построении маршрута  $D - F$ ; получим весовой направленный ациклический граф (рис. 2).

В данном примере узел  $C$  расположен ближе к узлу  $F$  с точки зрения количества переходов, но весовая метрика  $B$  выше чем  $F$ , поэтому передача будет происходить по маршруту  $C - B - E - F$ . Также маршрут  $D - F$  будет выглядеть следующим образом  $D-A-B-E-F$ .

Работу протокола TORA можно разделить на три основных этапа:

- создание маршрутов;
- поддержание маршрутов;
- удаление маршрутов;

а также дополнительный этап – оптимизация маршрутов.

Создание маршрута соответствует выбору весовых метрик для формирования направленной последовательности связей (рис. 2), ведущих к месту назначения в ранее неориентированной сети или части сети.

Поддержание маршрутов относится к адаптации маршрутизации структуры в ответ на топологические изменения сети. Например, после потери некоторых маршрутизаторов при пересылке пакетов по направлению «вниз» часть путей может не приводить к месту назначения. Это событие вызывает последовательность направленных ссылок на откат и как результат – повторное назначение весовых метрик маршрутизаторов, что в свою очередь переориентирует структуру маршрутизации таким образом, чтобы все направленные пути снова приводили к месту назначения [1, 8]. В тех случаях, когда сеть оказывается разделенной, ссылки в другие части сети, которые оказались отделены от узла назначения, должны быть помечены как неориентированные.

Удаление недействительных маршрутов. В ходе этого процесса стираются маршруты, весовая метрика маршрутизаторов приравнивается к нулю, и их прилегающие ссылки становятся неориентированными.

И, наконец, протокол TORA включает в себя вторичные механизмы для оптимизации маршрутов, при которых маршрутизаторы могут повторно установить весовую метрику, для того чтобы улучшить структуру маршрутизации.

Перечисленные выше этапы выполняются при помощи четырех различных служебных пакетов: запрос (QRY), обновление (UPD), удаление (CLR), а также оптимизация (OPT).

Создание маршрутов может быть начато по требованию источника или изначально в проактивном режиме. В любом случае, маршрутизаторы устанавливают весовые метрики и назначают направления связей в соответствии с расположением адресата.

В активном режиме, создание маршрутов осуществляется с помощью запросов и ответов на них, используя механизм QRY и UPD-пакетов. Источник инициирует процесс, направив QRY пакет своим соседям, которые определяют направление, для которого запрашивается маршрут. QRY пакеты распространяются от источника до тех пор, пока им не будет получен от одного или нескольких маршрутизаторов маршрут к месту назначения. Маршрутизатор установивший маршрут выставляет флаг и отказывается от каких-либо последующих QRY пакетов, направленных к тому же пункту назначения, что уменьшает количество дальнейших запросов. Узлы, находящиеся на пути к месту назначения, отправляют UPD пакет своим соседям чтобы определить соответствующие им направления и весовые метрики.

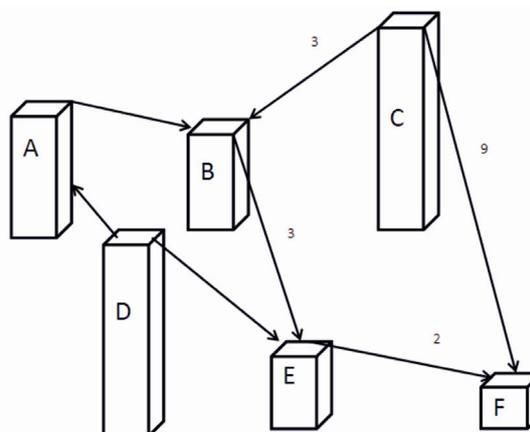


Рис. 2. Весовой направленный ациклический граф

В проактивном режиме инициирует процесс создания маршрутов на основе ОРТ пакетов, которые обрабатываются и передаются соседними маршрутизаторами. В ОРТ пакетах указаны ID-пункта назначения, режим работы для пункта назначения и весовые метрики маршрутизатора отправившего ОРТ пакет. ОРТ пакет также содержит последовательность чисел, которая используется для однозначной идентификации пакета.

Все имеющиеся протоколы характеризуются рядом показателей, они разным способом оказывают влияние на характеристики сети. Степень влияния этих показателей также различна. Выбор протокола маршрутизации для построения мобильной адаптивной сети с ячеистой топологией является задачей многокритериального выбора.

Структуру принимаемого решения можно представить иерархией, включающей цель, критерии и подкритерии, абонентов, на которых влияет рассматриваемое решение, и альтернативные варианты решения.

В качестве частных критериев выбора протокола маршрутизации можно использовать следующие:

- Объем потерянной информации ( $K_1$ ),
- Задержка ( $K_2$ ),
- Загрузка сети ( $K_3$ ),

– Отношение числа ретранслированных пакетов к отправленным ( $K_4$ ),

– Интенсивность входного потока ( $K_5$ ).

#### Список литературы

1. Алимбеков А.Р. Интеграция ГИС и САПР в беспроводных системах связи / А.Р. Алимбеков, Е.А. Авдеенко, В.В. Шевелев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2017. № 1(16). С. 12.
2. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи / О.В. Милошенко // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 60-62.
3. Попенко Е.Ю. О проблемах создания сетевых инфраструктур / Е.Ю. Попенко // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 232.
4. Преображенский А.П. Особенности помехоустойчивого кодирования в каналах связи / А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 3 (18). С. 75-77.
5. Преображенский А.П. Возможности улучшения условий распространения электромагнитных волн внутри помещений / А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2015. № 15. С. 84-86.
6. Преображенский А.П. Оптимизация характеристик дифракционной антенны на основе генетического алгоритма / А.П. Преображенский, О.Н. Чопоров // В мире научных открытий. 2016. № 11 (83). С. 142-146.
7. Тамбовцев Г.А. О возможности применения сетевых технологий / Г.А. Тамбовцев // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3-2. С. 235.
8. Толстых С.М. Проблемы маршрутизации в компьютерных сетях / С.М. Толстых, Е.А. Авдеенко, А.А. Адоньев // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1 (20). С. 70-72.
9. Cisco Systems. Руководство Cisco по междоменной многоадресной маршрутизации. Interdomain Multicast Solutions Guide. – М.: «Вильямс», 2004. – С. 320.