

Передача сообщений в mesh-сети с минимальными затратами энергии

Кавокин А. С., студент 2 курса магистратуры кафедры информатики
СПбГУ, alexanderkavokin@gmail.com

Сартасов С. Ю. ст. преп. кафедры системного программирования
СПбГУ, stanislav.sartasov@spbu.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются основные протоколы ячеистых или mesh-сетей. Предлагается модифицированный протокол, направленный на организацию сети, способную работать в автономном режиме максимально долго за счет минимизации затрат энергии и балансировки нагрузки.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили ячеистые или mesh-сети. Mesh-сеть - это сетевая топология, состоящая из беспроводных устройств, каждое из которых соединено со многими другими. Многие соединения в сети избыточны, благодаря чему достигается высокая отказоустойчивость всей системы. Устройства обмениваются информацией по радиоканалу, способны объединяться в кластеры, переопределять свою роль в сети, что позволяет говорить об “интеллектуальности” сети. Также данные можно перенаправить в случае перегрузки некоторых точек доступа. Территория покрытия ячеистой сети разделяется на кластерные зоны. В каждом кластере размещается несколько, чаще всего от 8 до 16 точек доступа. Среди них выбирается одна узловая, которая связывается с остальными узловыми точками других кластеров. За счет этого mesh-сети легко поддаются масштабированию. Все это вкупе с отсутствием требований к дорогостоящей инфраструктуре делает mesh-сети очень удобной и экономной системой в эксплуатации [3].

Существует несколько протоколов по организации ячеистых сетей, из которых наиболее часто используемыми являются следующие.

Протокол AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)

AODV является протоколом, используемым для создания топологии сети реактивным способом, что означает его свойство устанавливать маршрут до нужного хоста по требованию.

Если узлу сети А требуется передать данные узлу сети В, а соответствующий маршрут неизвестен, то узел А посылает

широковещательный запрос PREQ для поиска маршрута до узла В. Этот запрос передается соседям узла А, те пересылают его своим соседям и т.д. Когда к какому-то узлу приходит запрос PREQ, он записывает туда данные о себе и пересылает дальше, соответственно, каждый узел, получивший запрос знает маршрут, по которому запрос прошел от узла-инициатора до него. Через какое-то время этот запрос дойдет либо до узла В, либо до узла, который знает маршрут от себя до узла В. В обоих случаях узлу А отправляется ответ PREP, который идет уже не широковещательно, а целенаправленно по найденному маршруту. В результате выстраивается двунаправленный маршрут. Как только узел А получает ответ PREP, он сразу же начинает передачу данных по этому маршруту, не дожидаясь ответа по другим каналам. Если через некоторое время окажется, что существует более короткий маршрут, узел автоматически продолжит отправлять пакеты по более короткому пути.

После того, как маршрут создан, отправляются пакеты без маршрутной информации. Агенты А и В хранят информацию о связывающем их маршруте. Если эта связь долгое время не используется, то все данные о ней стираются [2] [4].

Гибридный протокол маршрутизации mesh-cemu (Hybrid Wireless Mesh Protocol)

Данный протокол основан на протоколе AODV. Согласно этому протоколу узлы сети могут искать пути двумя способами, в том числе и сочетая их:

- Реактивный способ. Подразумевает поиск пути непосредственно перед отправкой информации аналогично протоколу AODV.
- Проактивный способ. Означает, что поиск пути происходит регулярно, вне зависимости от требования передать данные в текущий момент времени. Процедуру инициирует корневой узел, в результате на сети строится граф путей с вершиной в корневом узле. Корневой узел выбирается в самом начале, то есть сеть является централизованной [1].

Динамическая маршрутизация от источника (Dynamic Source Routing)

DSR – протокол маршрутизации с топологией mesh. Схож с AODV тем, что формирует маршрут по требованию через широковещательный запрос. Однако существенное различие между этими двумя протоколами в том, что DSR постоянно обновляет маршрутизацию. То есть информация о

маршруте хранится в каждом сообщении [1].

Постановка задачи

Рассмотрим множество неподвижных приемопередатчиков для сбора информации на крупной территории. Например, передатчики разбрасываются в лесу и измеряют температуру окружающей среды с целью раннего оповещения о лесных пожарах. Радиус связи каждого передатчика не охватывает всю территорию. Требуется предложить алгоритм, позволяющий объединить все эти передатчики(далее агенты) в сеть, в которой агенты смогут связываться друг с другом и передавать информацию. Алгоритм должен удовлетворять следующим свойствам:

- Каждый агент имеет ограниченный заряд батареи.
- Система состоит из нескольких сотен агентов, равномерно распределенных по большой площади. Каждый агент имеет ограниченный радиус связи, в который попадает несколько других агентов.
- Рядом с сетью существует агрегатор с бесперебойным источником питания, который может запрашивать информацию, хранящуюся на конкретных узлах mesh-сети. Дальность действия приёмопередатчика агрегатора такова, что может взаимодействовать лишь с некоторыми наиболее близкими агентами сети.
- Сеть должна быть устойчивой к потере агентов и уметь восстанавливать маршруты в таком случае.
- Система должна гарантированно функционировать в среднем дольше, чем при использовании существующих алгоритмов. Система будет считаться вышедшей из строя, если какой-то не вышедший из строя агент теряет связь с агрегатором и не сможет ее восстановить.

Алгоритм

Было принято решение создать новый протокол на базе уже существующих и описанных выше. В качестве базового был выбран AODV. Также был выбран проактивный метод определения топологии ячеистой сети, поскольку он более эффективный с точки зрения энергозатрат.

При включении каждый агент рассылает широковещательный запрос на поиск агрегатора. Запрос состоит из сообщения, в котором содержатся:

- Id агента-инициатора.
- Список уже посещенных агентов.

Принцип настройки маршрутизации схож с рассылкой сообщений PREQ в протоколе AODV.

В предполагаемом использовании запланировано примерно 300 агентов. Чтобы минимизировать энергозатраты и максимально продлить жизнь системе, мы можем видоизменить алгоритм конкретно под данную задачу. В протоколе AODV предполагается большое количество служебной информации. Объем передаваемой информации планируется не очень большим, поскольку агенты собирают информацию об окружающей среде, например температуру и влажность. Таким образом получается, что объем полезной информации сравним с объемом служебной информации. Первым шагом очевидно предположить, что стоит уменьшить объем служебной информации сообщения. Для того, чтобы хранить Id каждого агента, достаточно всего 9 бит (так как таким количеством бит мы можем закодировать до 512 чисел).

Само сообщение имеет следующий вид:

- Id агента отправителя (9 бит).
- Id агента получателя (9 бит).
- Список агентов, через которые сообщение должно пройти (по 9 бит на каждого).

Итого получается, что каждое сообщение имеет вес $(18+9N)$, где N – количество агентов, через которое проходит сообщение.

Сообщения передаются по радиоканалу. Принцип передачи радиосигнала следующий:

Информация кодируется модуляцией несущей частоты. Передатчик излучает электромагнитные волны в некотором промежутке частот. Изменениями частот в данном промежутке кодируется сигнал. Передатчик тратит энергию на генерацию электромагнитных волн, в связи с чем можем считать, что зависимость между количеством передаваемой информации и энергозатратами линейная. Помимо генерации волн передатчик тратит энергию на включение излучения, но в первом приближении этими затратами можно пренебречь.

Также требуется, чтобы вся система функционировала максимально долго. Это предполагает, что каждый агент должен существовать максимально долго.

Возможна ситуация, когда у разных агентов в начальный момент времени разные уровни заряда батарей. Также в процессе работы неизбежна несбалансированная нагрузка на агентов. Очевидно, что чем ближе агент находится к штабу, тем больше сообщений будет проходить через него. В случае использования стандартного алгоритма AODV самые загруженные агенты выйдут из строя, что может нарушить целостность системы. Чтобы этого избежать предлагается использовать пороговое значение для уровня батареи агентов, при котором сеть будет перестраивать существующие таблицы маршрутизации, чтобы по минимуму нагружать устройства с севшими аккумуляторами. Агрегатор хранит всю информацию о маршрутах в сети, в то время как агенты знают только об оптимальном пути. Каждый список маршрутов до конкретного узла отсортирован по количеству промежуточных звеньев. Если уровень заряда батареи какого-то из агентов A достиг критического минимума, агрегатор для каждого агента, использующего данный узел A , выбирает следующий по длине маршрут, не содержащий A и шлет указание соответствующим агентам использовать эти маршруты.

Помимо этого, логично, что агенты, расположенные ближе всего к агрегатору, будут загружены больше, поскольку через них идут каналы связи от более удаленных агентов. Агент может собирать сообщения, у которых одинаковый дальнейший путь до агрегатора, объединять их в одно большое сообщение и отправлять дальше. Это также позволит уменьшить суммарный объем служебной информации.

Результаты

В качестве тестирования были сгенерированы сети с равномерно распределенными агентами по квадратным областям. В ходе экспериментов изменялись следующий параметры:

- Количество агентов.
- Радиус связи агентов.
- Размеры исследуемой области.

На одинаковых множествах были проведены испытания протокола AODV и предложенного протокола с балансировкой нагрузки. В таблице приведены результаты тестирования. В качестве параметра сравнения было выбрано среднее количество сообщений, доставленное от каждого агента до агрегатора. Как только уровень заряда батареи какого-то из агентов достигал 0, передача сообщений прекращалась. Учитывались все сообщения, в том числе и служебные для организации таблиц маршрутизации. Полученные данные записаны в Таблице 1.

Количество агентов	Радиус связи	Размер поля	Среднее количество переданных сообщений (AODV)	Среднее количество переданных сообщений (балансировка)
30	15	50	2200	4600
30	50	200	2300	3900
300	15	200	1500	2100
300	50	200	1000	1300
300	100	200	2600	5400

Таблица 1: Результаты моделирования mesh-сети для различных передатчиков, размеров полей и алгоритмов

Заключение

В результате работы предложен алгоритм, позволяющий увеличить время автономной работы mesh-сети. В дальнейшем предполагается добавить учет объема сообщений при балансировке и возможность разбиения сообщения на несколько пакетов по аналогии с TCP/IP. Также планируется усовершенствовать принцип балансировки.

Литература

1. Казаков М.Ф. Построение самоорганизующейся сети мобильных устройств. <https://cyberleninka.ru/article/n/protokoly-marshrutizatsii-v-besprovodnyh-setyah> [дата просмотра: 10.04.2016]
2. Карманов М.Л. Протокол маршрутизации для Ad-Hoc сетей. <http://dspace.susu.ac.ru/bitstream/handle/0001.74/768/10.pdf?sequence=1> [дата просмотра: 10.04.2016]
3. Осипов И.Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование. http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/mesh_seti_techn_prilozh_oborud [дата просмотра: 10.04.2016]
4. RFC 3561. Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. <https://tools.ietf.org/html/rfc3561> [дата просмотра: 10.04.2016]