

КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Кудр Латиф

Донецкий национальный технический университет
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: multmediakar@mail.ru

Аннотация

Кудр Латиф. Критерий оптимальности протокола маршрутизации беспроводных сенсорных сетей. В настоящее время становятся все более популярным применение беспроводных сенсорных сетей в задачах автоматизированного управления и мониторинга. Самой популярной операционной системой в этой области является TinyOS в которой используется протокол маршрутизации СТР. Несмотря на большую распространенность, этот протокол имеет некоторые недостатки, поэтому задача оптимизации протоколов маршрутизации остается актуальной.

Технологии беспроводных сенсорных сетей

Беспроводная сенсорная сеть - это распределенная сеть, состоящая из автономных, удаленных друг от друга узлов. Узлы беспроводных сенсорных сетей - это миниатюрные устройства, содержащие процессор, оперативную и флэш-память, радиомодуль, АЦП, источник питания и датчики [1]. Набор используемых датчиков зависит от функций, выполняемых беспроводной сенсорной сетью, но в основном используются следующие типы датчиков: температурные, давления, влажности, освещения и др.

Узлы такой системы транслируют сообщения друг через друга, обеспечивая значительную площадь покрытия сетью при малой мощности передатчика. Таким образом, вся информация передается по сети до тех пор, пока не достигнет шлюза. Обычно шлюзом является такой же узел беспроводной сети, но подключенный к базовой станции.

Все узлы в беспроводных сенсорных сетях находятся под управлением специальных операционных систем. Как правило, эти операционные системы значительно проще обычных – это обусловлено ограниченностью ресурсов вычислительных устройств, на которых они работают.

TinyOS - это первая операционная система, разработанная специально для технологии беспроводных сенсорных сетей. TinyOS - это операционная система с открытым кодом. Благодаря компонентной структуре она обеспечивает минимальный размер кода. В ее состав входят драйверы сенсоров, сетевые протоколы и утилиты сбора информации. При разработке TinyOS основное внимание уделялось обеспечению малого энергопотребления и возможности использования для программирования языка с высоким уровнем абстракции.

На данный момент TinyOS является фактически стандартом для беспроводных сенсорных сетей, именно поэтому эта платформа была выбрана для реализации поставленных задач [2].

Протокол СТР

СТР - это базовый протокол для большинства сенсорных сетей реализованных с использованием TinyOS. Беспроводные сенсорные сети под управление данного протокола образуют древовидную структуру, в которой шлюзы являются корнями, а сенсорные узлы - листьями [2, 3, 4].

Для генерации маршрутов узлы используют градиент маршрутизации - ETX. Корень имеет значение ETX равное 0. ETX узла рассчитывается как сумма ETX его родительского узла и

ЕТХ связи с ним. При выборе родительского узла предпочтение отдается тому, где значение ЕТХ меньше.

Несмотря на то, что СТР является базовым протоколом в технологии беспроводных сенсорных сетей, он имеет недостатки. Один из таких недостатков - это то, что протокол не учитывает загруженность узлов при ретрансляции пакетов. Таким образом, в сети возникает постоянная перегрузка некоторых узлов, что приводит к их быстрому выходу из строя, тем самым уменьшая время функционирования сети. Для определения путей оптимизации протокола ЕТХ рассмотрим детальнее принцип маршрутизации пакетов в нем.

Принцип определения кратчайшего пути в СТР

Протокол СТР работает таким образом, что каждый узел обладает информацией о качестве связи с каждым из своих соседних узлов. А каждый из соседних узлов знает длину кратчайшего пути к базовой станции.

На рисунке 1 узел 5 имеет трех соседей: 3, 4 и 6. Качество связи с этими узлами: $C_{53} = 2$, $C_{54} = 3$, $C_{56} = 6$. Стоимость кратчайшего пути определяется как сумма всех оценок качества связей между узлами в этом пути. Например, если базовым узлом сети на рис. 1 является узел № 1, то $D_1=0$, $D_2=1$. Для узла № 5 протокол СТР выбирает в качестве следующего промежуточного узла № 4, и общая стоимость передачи от узла 5 к узлу 1 равняется 5.

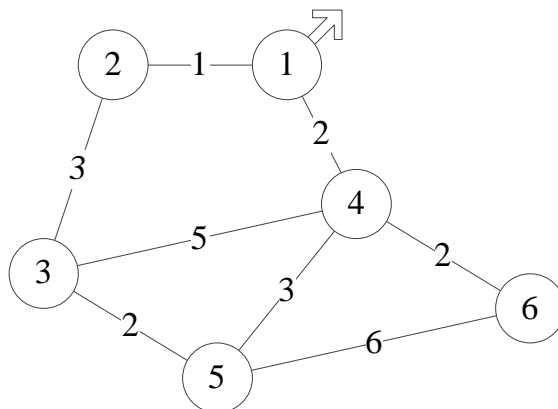


Рисунок 1 Пример структуры сети

$$D_5 = \min \{C_{53}+D_3, C_{54}+D_4, C_{56}+D_6\} = \min \{2+4, 3+2, 6+4\} = 5.$$

Рассмотрим принципы выбора ретранслирующего узла:

- каждый узел независимо определяет минимальную суммарную стоимость передачи;
- каждый узел периодически рассылает рассчитанную им минимальную суммарную стоимость своим соседним узлам;
- получая минимальную общую стоимость от соседних узлов, узел обновляет информацию о своей минимальной стоимости, если обнаруживается лучший путь и рассылает это новое значение соседям.

На этапе инициализации каждый узел устанавливает значение «неопределенная» для своей суммарной стоимости передачи к базовому узлу. Базовый узел устанавливает свою стоимость в 0. Когда соседи получают сообщение от базового узла, они обновляют свои стоимости передачи. Узлы, обновившие свое значение распространяют эту информацию дальше по сети. Шаг за шагом каждый узел определяет минимальное расстояние к базовому узлу. На рисунке 2 изображен конечный вид дерева маршрутизации.

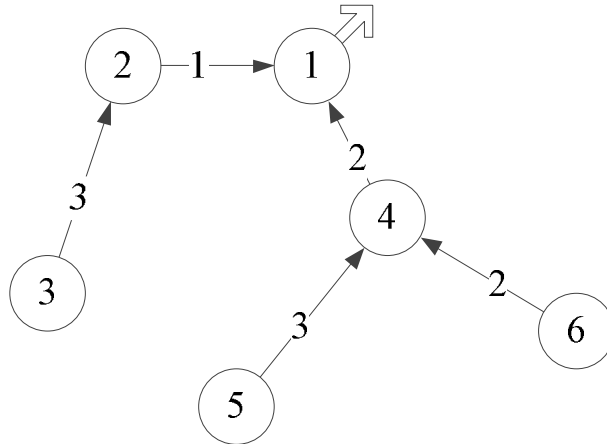


Рисунок 2 Конечный вид дерева маршрутизации

Каждый узел в СТР содержит таблицу соседей, в которой хранится ID узла и его стоимость передачи. В качестве метрики для стоимости передачи используется значение ETX (Expected Transmissions – ожидаемое количество передач).

Критерий оптимальности протокола маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях должен учитывать следующие факторы. Во-первых – это среднее количество ретрансляций пакетов. Очевидно, что чем меньше количество ретрансляций, тем меньше расход энергии в целом по сети. Однако среднее не учитывает то, насколько сильно значения индивидуальных узлов могут отличаться от среднего значения для этих узлов. Поэтому критерий должен учитывать разброс, мерой которого может выступить, например дисперсия. В противном случае может оказаться так, что нагрузка на какой-нибудь отдельный узел может оказаться непредсказуемо высокой и этот узел откажет гораздо раньше, чем остальные узлы. Это может привести к потере связности сети и таким образом часть сети может оказаться неработоспособной. Поэтому мы предлагаем использовать наряду со средним значением, еще и меру разброса.

В простейшем случае величину разброса значений загруженности индивидуальных узлов можно оценивать по дисперсии. Однако дисперсия не дает представление о перегруженных узлах. Отклонения в обе стороны от среднего значения трактуются одинаково. Однако в нашем случае необходимо стремиться к тому, что в сети не будет узлов, нагрузка на которые превышает среднее значение. Незагруженные узлы не должны учитываться критерием. Поэтому мы предлагаем в качестве критерия использовать верхний квантиль, например квантиль порядка 0,95. Численное значение этого критерия равно значению нагрузки на узлы, которое не превышает только 5% самых загруженных из них. При этом нагрузка на узлы выражается в количестве пакетов ретранслируемых узлом за единицу времени.

Квантиль – это одна из числовых характеристик случайных величин, применяемая в математической статистике. Это такое число x_q что значения q -й части совокупности меньше или равны x_q . Например, квантиль 0,95 переменной - это такое значение (x_q), что 95% значений переменной ниже этого значения.

Если функция распределения случайной величины X непрерывна, то квантилем порядка p называется такое значение случайной величины, при котором функция ее распределения принимает значение, равное p , т.е.

$$F(x_p) = P(X < x_p) = p \quad (1)$$

Для дискретной случайной величины распределение задано следующим образом:

Значения x случайной величины X x_1, x_2, \dots, x_k
 Вероятности $P(X = x)$ p_1, p_2, \dots, p_k
 Для перечисленных k значений вероятности p решение x_p уравнения (1) неединственно, а именно,

$$F(x) = p_1 + p_2 + \dots + p_m$$

для всех x таких, что $x_m < x < x_{m+1}$. Т.е. x_p – любое число из интервала $(x_m; x_{m+1}]$. Для всех остальных p из промежутка $(0;1)$ имеет место «скачок» со значения меньше p до значения больше p . А именно, если

$$p_1 + p_2 + \dots + p_m < p < p_1 + p_2 + \dots + p_m + p_{m+1},$$

то $x_p = x_{m+1}$.

Этот подход можно использовать для оценки оптимальности протокола маршрутизации, когда признаком предпочтительности является отсутствие узлов, нагрузка на которые по ретрансляции пакетов сильно превышает среднее значение.

Несмотря на то, что вопросам оптимизации протоколов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях посвящается множество работ зарубежных авторов [3, 4], задача является актуальной. Наш подход имеет преимущества, так как в нем при выборе узла ретрансляции учитывается загруженность узлов.

Выводы

В работе предложен новый критерий оптимизации беспроводных сенсорных сетей – минимизация среднего количества ретранслируемых пакетов для наиболее загруженных узлов. Целевой функцией оптимизационной задачи является квантиль порядка 0,95 количества ретранслируемых пакетов каждым из узлов сети. Этот подход в отличие от использования математического ожидания и дисперсии имеет следующее преимущество: при оценке разброса значения количества ретранслируемых пакетов он учитывает только перегруженный узлы, в то время как дисперсия учитывает как перегруженные узлы, так и узлы с низкой загрузкой.

Литература

1. Интеллектуальные системы на базе сенсорных сетей. // Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН, 2009. http://www-ipmce.ru/img/release/is_sensor.pdf
2. Gnawali O., Fonseca R. et al. Collection tree protocol. Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys '09, 1.
3. Vilajosana X., Morell A., J. Lopez Vicario et al. "Generalizing CTP: Does Probabilistic Routing in WSN Make Sense?" International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2010, Article ID 542419, 8 pages, 2010.
4. Zheng, J. Simulate the routing path selection of mobile motes in CTP protocol. sensiv.org. Retrieved January 18, 2011, from http://www.sensiv.org/twiki/pub/SensIV/-IntroductionToTossim/Simulate_the_routing_path_selection_of_mobile_motes_in_-CTP_protocol.pdf.