

Реализация распределенного алгоритма балансировки трафика в сенсорной сети для увеличения времени жизни

И.В. Воронин, М.Д. Хоменко

Институт проблем лазерных информационных технологий РАН

140700, МО, г. Шатура, Святоозерская д.1

Аннотация

Сенсорные сети все больше занимают свое место в приложениях мониторинга различных мест и событий. Особенностью таких сетей является необходимость экономить ограниченный заряд батареи. Один из способов экономии – это эффективная маршрутизация. Работа посвящена распределенному алгоритму маршрутизации для балансировки трафика в сенсорной сети. Он позволяет продлить время жизни сенсорной сети мониторинга, где важна информация каждого узла.

Введение

В связи с развитием электроники и беспроводной связи в двадцать первом веке появилась возможность развития беспроводных распределенных сенсорных сетей (РСС). РСС отличаются от обычных сетей ограниченным энергоресурсом, низкой вычислительной мощностью, необходимостью более плотного расположения, и низкой ценой одного узла. Эти особенности от других сетей (например, сотовых) определяют новые цели и задачи применения РСС. Беспроводные сенсорные сети получили широкое применение во многих сферах деятельности человека, и поэтому к ним сейчас уделяется огромное внимание, как со стороны научного сообщества, так и промышленности. Опубликовано и проводится множество научных работ по исследованию проблем установки и работы РСС.

Распределенная сенсорная сеть состоит из множества дешевых, автономных, многофункциональных узлов (мотов), которые находятся в зоне мониторинга. Каждый узел состоит из набора блоков, таких как: сенсор, используемый для получения данных от окружающей среды, блок приема-передачи данных, микроконтроллер для обработки и управления сигналами и источник энергии. Процессор питается от автономной батареи с конечным энергоресурсом, что приводит к значительным ограничениям в энергопотреблении. Обслуживание сенсорных узлов, замена батарей питания требуют значительных затрат в особенности, когда узлы расположены в труднодоступных местах, так что большинство сенсорных сетей является необслуживаемыми и работают до истощения батареи. Это свойство сенсорных сетей является очень важным при разработке алгоритмов маршрутизации в РСС.

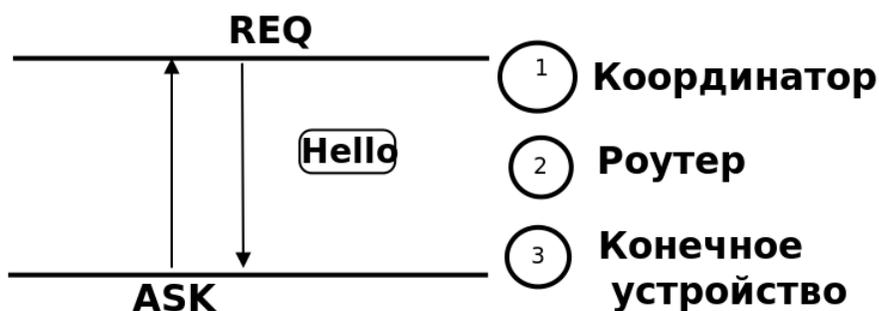


Рисунок 1: Построение сети, путем опроса

Стандартный алгоритм позволяет строить маршрут на основании запросов и ответов. Координатор сети (1, рис 1)— отправляет широковещательный запрос HELLO и принимает ответы от Роутеров (2) Каждый роутер, также отправляет широковещательный запрос и получает ответы от соседних устройств, это могут быть другие роутеры или конечные устройства (3). На основе принятых ответов (силе сигнала, времени ответа) выстраивается координатором таблица маршрутизации на каждом роутере. Далее выбор маршрута осуществляется в стандартном алгоритме — путем определения весового графа с минимальным суммарным значением.

Как правило, сенсорные узлы оборудуются однотипными устройствами с определенным набором функций. После установки в процессе эксплуатации сенсорные узлы должны сами организоваться в коммуникационную сеть, где каждый узел использует только те функции, которые необходимы для решения поставленной задачи. Маршрутизация так же происходит в автоматическом режиме. Помимо первичной маршрутизации требуется еще регулярное перестроение сети, потому что устройства часто могут выходить из строя по причинам связанным с внешними или внутренними факторами.

Работа каждого сенсорного узла направлена на измерение различных параметров среды, например температуры, давления, освещенности и других. Такое разнообразие параметров влечет за собой различные сферы применения, начиная мониторингом окружающей среды, заканчивая военными применениями. Сенсорные сети выполняют различные задачи, которые можно грубо разделить на две категории. Первая категория задач связана с детекцией событий, которые происходят очень редко, но требуют немедленного оповещения и/или обнаружения местонахождения. Во вторую категорию (мониторинг) входят задачи непрерывного измерения, какой либо величины в течение длительного промежутка времени. Здесь время задержки может быть равно характерному времени изменения измеряемого параметра. Мониторинг может проводиться точно, либо по какой-либо площади. При точечном измерении основная часть узлов играют роль передатчиков, и лишь незначительная часть узлов непосредственно осуществляет мониторинг.



Рисунок 2: Классификация способов сохранения энергии

Существует множество способов экономии электроэнергии узлов. В обзоре [1] приведена их классификация, представленная на рисунке 1. Все способы сохранения можно разделить на три большие группы – это сохранение энергии при помощи циклов работы, основанные на количестве передаваемой информации и на мобильности. К циклам работы относят контроль топологии и управление энергопотреблением. Контроль топологии направлен на использование или уменьшение избыточных связей в сети в целях экономии ресурса. Управлять потреблением можно применяя различные энергосберегающие MAC протоколы и режимы работы устройств. Второй класс способов сохранения энергоресурса основан на количестве передаваемой информации, а так же на получение этой информации экономичными способами. Энергия потраченная на обработку информации не сравнимо меньше - требующейся для ее передачи, поэтому используется внутри-сетевая обработка данных, сжатие или предсказание данных. Так же используются мобильные стоки или ретрансляторы для экономии электроэнергии узлов сенсорных сетей.

В данной работе рассматривается разработка экономных алгоритмов маршрутизации систем мониторинга, проверке разработанных алгоритмов в применение на предприятии. В первой секции описываются известные алгоритмы маршрутизации. Вторая описывает разработанный алгоритм маршрутизации, показан способ продления времени работы при помощи этого алгоритма, оценено реальное время работы сенсорной сети без обслуживания. Эта оценка экспериментально проверена на реальной сенсорной сети и позволяет судить о затратах связанных с обслуживанием распределенной сенсорной сети.

1. Существующие методы маршрутизации в РСС

Существующие методы маршрутизации можно разделить на несколько категорий [2] прямая, иерархическая и маршрутизация в зависимости от географического положения. Прямая маршрутизация подразумевает передачу сообщений от узла к узлу в сети где, каждый узел выполняет одинаковую функцию передачи и/или ретрансляции, в отличие от иерархической, где выделяется узел сбора и обработки информации. Минус прямой маршрутизации в том, что сети собирающие информацию с какой-то области будут посылать множество избыточной информации, особенно при значительной плотности сенсорной сети. Для того что бы избежать избыточности информации используют специальные алгоритмы, направленные на получение информации не от узлов, а от определенной области сети. Например, в работе [3] описан алгоритм SPIN¹, где базовая станция посылает запрос к определенному региону сенсорной сети. Получив запрос, узлы области выполняют требование запроса, локально обмениваются данными и посылают обратно обобщенный ответ.

При иерархической же маршрутизации для сбора и обработки требуется использовать узлы с большим запасом энергии, что хотя и позволяет экономить на передачи уже обработанных данных значительно меньшего объема зачастую не приемлемо ввиду однородности используемых приборов или других трудностей. Для что бы не использовать специализированные узлы существуют несколько технологий. Например, в работе [4] описана технология LEACH², когда функцию сбора принимает поочередно несколько узлов сенсорной сети выбираемых по определенному алгоритму, тем самым распределяя нагрузку узла сбора.

Маршрутизация в зависимости от географического положения так же еще называется геометрическая маршрутизация, потому что для нахождения маршрута используется геометрическое направление на базовую станцию. При такой маршрутизации каждый узел передает сообщение своему соседу, у которого географическое положение ближе к стоку. Помимо маршрутизации в географических координатах существует маршрутизация по виртуальным координатам [5], которые выстраиваются не только в зависимости от реального положения узла, а так же и учитывают естественные неровности поверхности, препятствия, уровень канала передачи и др.

¹

SPIN - Sensor Protocols for Information via Negotiation

²

LEACH - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

Так же существует много потоковая маршрутизация, где доставка сообщения от одного узла возможна по нескольким путям. В последнее время появляется большое количество работ по маршрутизации обзор, которых можно посмотреть в работах [2,5] по запросу у базовой станции. Первые работы (например [6,7]) по маршрутизации были направлены на нахождение кратчайшего пути, поддержание его с учетом плохого канала и выхода из строя узлов. Однако узлы расположенные на кратчайшем расстоянии часто быстро истощаются что приводит к обрывам связи и уменьшению времени жизни сети, которое часто понимается, как время жизни первого вышедшего из строя узла. Поэтому в последних работах [8-11] формулируется задача максимизации времени жизни сенсорной сети, которая решается тем или иным методом линейного программирования.

2. Алгоритм маршрутизации с балансировкой трафика

Представим сеть как граф $G(N,M)$ с N узлами и M гранями, который представляет набор существующих узлов и возможные связи между ними. Каждый i -й узел изначально имеет запас энергии E_i . Каждая грань ij имеет вес/цену e_{ij} , которая соответствует энергии для передачи одного пакета данных от узла i к j . (рис. 3) Считается, что есть K маршрутов, а информация генерируется со скоростью Q_c и передается по каналу связи C со скоростью q_c .

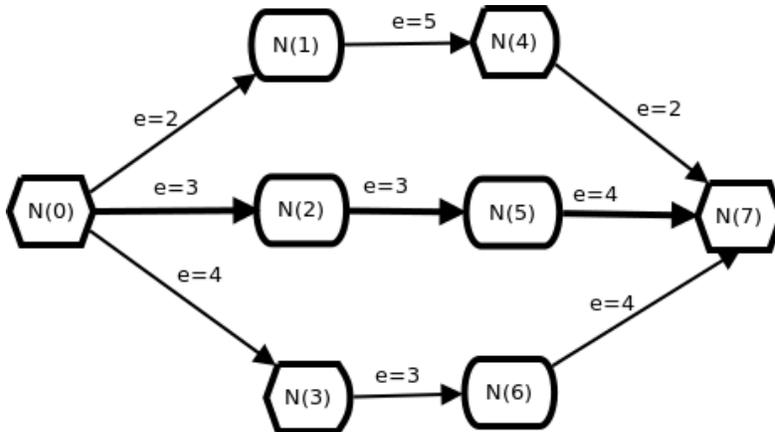


Рисунок 3: Сеть как граф $G(N,M)$

Время жизни каждого узла будет равняться в такой системе

$$T_i = \frac{E_i}{\sum_{j \in M} q_c \sum_{j,c} e_{ij}^c}$$

Согласно стандартному алгоритму выстраивается таблица маршрутизации координатором на каждом узле. Выстраивается

вектор передачи сообщения. Далее проводится анализ возможных вариантов маршрутов согласно наиболее оптимальным суммарным векторам, которые рассчитываются по таблице маршрутизации. То есть целью является экономия суммарно затраченной энергии во всей сети на передачу одного пакета. Это эффективно для сетей передачи данных, когда время жизни сети определяется временем, которое сеть способна передавать сообщения.

В сетях, где каждый узел осуществляет одновременно две функции: измерение какой-то величины и передачу сообщений, то есть сенсорная сеть выполняет функцию мониторинга физических величин в заданной области, то для полноты картины важно значение каждого узла. Тогда время жизни всей системы определим как:

$$T_{sys} = \min_{i \in N} T_i(q_c)$$

Задача максимизации времени жизни будет выглядеть:

$$\text{Maximize } T_{sys}$$

Для достижения максимального времени жизни всей системы необходимо распределять маршруты для передаваемой информации.

Суть состоит в том, что выбор маршрута трафика в сети основан на использовании наименее затратных передач на каждом узле, которые могут быть задействованы при передаче данных. Иначе говоря, из возможных вариантов маршрута движения пакета данных исключаются наиболее затратные прыжки-хопы.

Тем самым экономится энергия на каждом узле и снижается вероятность выхода узла из строя, что исключает крах всей сети измерений, из-за того, что один узел уже перестал выполнять актуальные замеры.

Маршрут	Сумма веса/ цены																
<table border="1"> <tr> <td>Номер узла</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>4</td> <td>-</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>вес/цена</td> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td>5</td> <td></td> <td>2</td> </tr> </table>	Номер узла	0	-	1	-	4	-	7	вес/цена			2		5		2	9
Номер узла	0	-	1	-	4	-	7										
вес/цена			2		5		2										
<table border="1"> <tr> <td>Номер узла</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>2</td> <td>-</td> <td>5</td> <td>-</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>вес/цена</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>4</td> </tr> </table>	Номер узла	0	-	2	-	5	-	7	вес/цена			3		3		4	10
Номер узла	0	-	2	-	5	-	7										
вес/цена			3		3		4										
<table border="1"> <tr> <td>Номер узла</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>6</td> <td>-</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>вес/цена</td> <td></td> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>4</td> </tr> </table>	Номер узла	0	-	3	-	6	-	7	вес/цена			4		3		4	11
Номер узла	0	-	3	-	6	-	7										
вес/цена			4		3		4										

Рисунок 4: Варианты маршрутов

Выбор варианта маршрута (Рис.4) при формировании и обновлении таблицы маршрутизации стандартным алгоритмом

производиться в соответствии с комбинациями таких критериев, как:

- Длина маршрута, измеренная количеством маршрутизаторов, через которое необходимо пройти до пункта назначения;
- Пропускная способность канала связи;
- Прогнозируемое суммарное время пересылки;
- Стоимость канала связи;
- Количество остаточной энергии на узле;

После построения таблицы маршрутизации функцию передачи пакетов по оптимальным путям алгоритм реализует тем, что при отправке пакета через маршрутизатор каждый узел локальной сети помещает в заголовок пакета на MAC уровне адрес следующего получателя. Таким образом в приведенном примере на рис.3, исходя из минимума суммарных затрат (веса/цены) на узлах рис.4 будет выбран маршрут 1, с суммой затрат веса/цены — 9, как самой минимальной величины. Тем самым прохождение трафика по узлам маршрута 1 приведет в скорейшем времени к полному энергетическому истощению узла-4. Что выведет из строя эти узлы и исключит возможность сбора параметров в нужных точках исследования.

Однако, при использовании распределенного алгоритма балансировки трафика, на основе весовых коэффициентов- будет выбран маршрут 2, что позволит сети существовать на порядок дольше. Такое возможно, за счет того что нагрузка на все узлы, в случае предложенного алгоритма, распределяется более равномерно по все узлам сети.

Вывод

Сенсорные сети предъявляют специфические требования на маршрутизацию пакетов данных. Стандартное решение минимизации суммарных затрат на передачу одного пакета не всегда подходит для задач маршрутизации сети. В тех случаях, когда важна информация от каждого узла, требуется минимизировать не суммарную энергию на передачу по сети, а энергию передачи на каждом узле. Предложенный в статье алгоритм позволяет существенно продлить время жизни сенсорных сетей для мониторинга.

Список литературы

- [1] Giuseppe Anastasi, Marco Conti, Mario Di Francesco, Andrea Passarella, «*Energy conservation in wireless sensor networks: A survey*», Ad Hoc Networks 7 (2009) pp. 537–568
- [1] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal «*Routing techniques in wireless sensor networks: a survey*» Wireless Communications, vol. 11 №6, (2004) pp. 6 – 28
- [2] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, “*Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks*,” Wireless Networks, vol. 8, (2002), pp. 169–85
- [3] Heinzelman W., Chandrakasan A., Balakrishnan H. «*Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks*» // Proceedings of the 33rd Hawaii international conference on system sciences. Maui (USA), 2000.P. 8020–8029.
- [4] Баскаков С.С. «*Маршрутизация по виртуальным координатам*», диссертация кандидата наук (2011) 218 стр.
- [5] A. Michail and A. Ephremides, «*A distributed routing algorithm for supporting connection-oriented service in wireless networks with time-varying connectivity*». In Proceedings Third IEEE Symposium on Computers and Communications, ISCC'98, pages 587-591, Athens, Greece, June 1998.
- [6] K. Arisha, M. Youssef, M. Younis, «*Energy-aware TDMA-based MAC for sensor networks*», in: Proc. IEEE Workshop on Integrated Management of Power Aware Communications, Computing and Networking (IMPACCT 2002), New York City, USA, May 2002.
- [7] Chang, J. and Tassiulas, L., «*Fast approximate algorithms for maximum lifetime routing in wireless ad-hoc networks*». In: IFIP-TC6 Networking 2000, LNCS, Vol. 1815. Springer.
- [8] Arvind Sankar and Zhen Liu «*Maximum Lifetime Routing in Wireless Ad-hoc Networks*» INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, vol.2, pp.1089 - 1097
- [9] Ritesh Madan and Sanjay Lall «*Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks*» Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM '04. IEEE Vol.2 pp. 748 - 753 29 Nov.-3 Dec. 2004
- [10] Park J., Sahni S. «*An online heuristic for maximum lifetime routing in wireless sensor networks*» // IEEE transactions on computers. 2006. Vol. 55, no. 4. P. 1048–1056.