

электронный журнал

МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель: ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

УДК 004.7

Локализация объектов в беспроводных сенсорных сетях

Студент,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»: В.В. Подшивалов

Научный руководитель: С.С. Баскаков,
к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
v-starlancer@mail.ru

В последнее время активное развитие получили технологии беспроводных сенсорных сетей, которые имеют множество практических применений, связанных с распределенным сбором, анализом и передачей информации. Беспроводная сенсорная сеть (БСС) представляет собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказу сеть миниатюрных электронных устройств, обменивающихся информацией по беспроводному каналу связи. Предполагается, что такие сети будут состоять из большого количества узлов, способных взаимодействовать и обмениваться информацией между собой. БСС разрабатываются, к примеру, для мониторинга ряда характеристик окружающей среды (температуры, звука, давления и других). Большинство сенсорных данных, собираемых узлами сети, могут быть полезны только при рассмотрении в контексте того, где и когда эти данные были получены. Поэтому актуальной задачей является локализация узлов сети с минимальной погрешностью.

В качестве первого аспекта локализации рассмотрим задание системы координат. Она может быть глобальной (например, если источником эталонных координат является устройство, оборудованное *GPS*) либо относительной, в случае, когда узлы используют некоторые условные координаты. Также выделяется локальная система координат (в случае привязки относительной системы к локальной области, например, к схеме здания). Второй аспект – наличие так называемых опорных узлов (*reference, beacon, anchor nodes*). Опорным узлам либо априорно заданы физические координаты, либо они оборудуются модулями глобального позиционирования *GPS*, ГЛОНАСС и т.п. Алгоритмы локализации используют опорные узлы для определения координат остальных узлов (*blindfolded, non-anchor nodes*). При этом одни алгоритмы локализуют узлы в относительной системе координат, затем используют несколько опорных узлов для преобразования относительных координат в глобальные; другие используют сигнальные узлы для непосредственного вычисления глобальных координат узлов.

Выделяют несколько основных составляющих задачи локализации: метод определения расстояния между узлами, алгоритм определения положения узлов относительно опорных, методы улучшения (повышения точности) полученных в

результате выполнения алгоритмов данных. Целью данной научной работы является изучение существующих и выбор наиболее перспективных подходов к решению проблемы локализации в БСС.

Среди методов определения расстояния между узлами выделяют три класса: методы, основанные на анализе информации об углах приема сигналов, методы, связанные с определением расстояния между объектами и методы профилирования силы сигнала.

Методы, основанные на анализе информации об углах приема сигналов (*angle of arrival, AOA*). Информацию об углах прихода сигналов обычно собирается посредством микрофонов или радио. Её также можно получить, используя оптические методы связи. В таких методах несколько разнесенных микрофонов улавливают один и тот же сигнал. Анализируя фазу или разницу прихода сигнала в разных микрофонах, можно определить угол прихода сигнала. Подобные методы дают точность порядка нескольких угловых градусов [1]. Однако оборудование, необходимое для вычисления угла сигнала, довольно сложно и дорого. Помимо этого, для осуществления пеленгации, микрофоны должны быть разнесены, что влияет на размер устройств сети.

Методы, связанные с определением расстояния между объектами. Измерения в этом классе методов можно разделить на основанные на времени распространения сигнала (*propagation time based measurements*); основанные на мощности принятого сигнала (*received signal strength based measurements*); основанные на достижимости (*connectivity measurements*).

Методы, основанные на анализе мощности сигналов (*received signal strength profiling techniques*). Часто бывает сложно выбрать подходящую модель распространения радиоволн для использования методов измерений, основанных на силе принятого сигнала. Также непросто подобрать соответствующие параметры этой модели для конкретной реализации БСС. Подобные трудности могут быть преодолены при использовании методов, основанных на анализе мощности сигнала - они оценивают положение узлов напрямую исходя из измерений *RSS (received signal strength)*. [2] Данная техника состоит в следующем: в первую очередь создается карта мощности сигналов, излучаемых опорными узлами в интересующей нас зоне. Карта может быть получена как априорными измерениями, до ввода сети в действие (*offline*), так и в процессе работы БСС (*online*) с использованием прослушивающих устройств, размещаемых в местах с заранее известными координатами. Обращаясь к данной карте, обычные узлы могут оценить свое местоположение с использованием данных о мощности принятого сигнала.

Собственно алгоритмы локализации можно разделить на две большие группы: те, которые используют информацию о расстоянии между объектами (*measurement-based, range-based*) и те, которые используют информацию лишь о достижимости объектов (*connectivity-based, range-free*)

Еще одна классификация алгоритмов основана на их вычислительной организации. Централизованные алгоритмы разрабатываются для выполнения на центральной машине с большим потенциалом вычислительной мощности. Узлы собирают информацию о физических параметрах объекта и передают ее на базовые станции для последующей обработки, после чего вычисленные координаты для каждого узла возвращаются в сеть. Централизованные алгоритмы обходят проблему ограниченности вычислительных ресурсов, однако в ущерб затратам на передачу данных на базовую станцию и от нее. Это принципиальное ограничение проявляется сильнее при росте сети, при этом основная нагрузка ложится на узлы, ближайшие к базовым станциям. Частично проблема может быть решена установкой нескольких базовых станций.

Диаметральный подход — распределенные алгоритмы. Разрабатываются для работы в сети, используют массовый параллелизм и межузловые взаимодействия для компенсации дефицита вычислительных ресурсов. Часто распределенные алгоритмы используют подмножество данных для определения позиций каждого из узлов в

отдельности, то есть облегченную аппроксимацию соответствующего централизованного алгоритма, в котором учитываются и используются все данные для единого вычисления координат. Распределенные алгоритмы достигают надежности за счет итеративного распространения информации по сети с помощью элементарных переходов.

В [3] предлагается деление алгоритмов локализации на использующие геометрические ограничения (*geometrical confinement*) и использующие итеративное усовершенствование (*iterative refinement*). Первые оценивают положение цели путем анализа геометрии соединений (оценок дистанций) и узлов (оценок позиций). Вторые определяют положение, уменьшая ошибку с использованием градиентного поиска. В [4] методы локализации разделяются на геометрические методы (например, мультилатерация, триангуляция и т.д.) и методы отпечатков (*fingerprinting methods*). Геометрические методы локализуют устройства на основе оценки свойств определенных излучаемых элементами сети сигналов. Методы отпечатков представляют собой двухэтапный подход. Во время первой фазы алгоритма (*offline phase*) формируется база данных на основе параметров сигналов. Эта база данных используется во время второй фазы для определения местоположения узлов.

Опишем основные существующие на данный момент методы решения проблемы локализации. Начнем с метода «DV-distance». Принцип его действия [5] заключается в следующем. Вначале все опорные узлы рассылают широковещательные сообщения о себе другим узлам сети. Сообщения пересылаются другими узлами сети шаг за шагом, при этом в сообщении содержится информация об измеренных в процессе переходов расстояниях между узлами. Каждый узел содержит таблицу с информацией об опорных узлах и определяет минимальное расстояние до каждого такого узла. Таким образом, обычный узел сможет использовать, например, трилатерацию для оценки своего положения при наличии расстояний до трех опорных узлов в случае размещения узлов на плоскости.

Идея алгоритма *Approximate Point-in-Triangulation (APIT)* состоит в разделении зоны локализации на треугольники, определяемые опорными узлами (рис.1). Присутствие узлов внутри этих треугольников уменьшает возможную область их местонахождения. Процесс продолжается пока не исчерпаются все возможные наборы опорных узлов либо пока не будет достигнута желаемая точность.

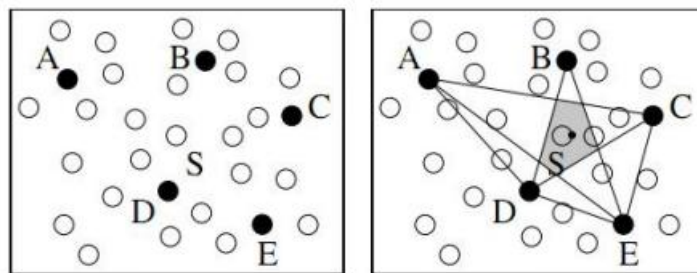


Рис.1. Работа APIT алгоритма: разбиение зоны локализации на треугольники

Если узлу известны расстояния до соседей-опорных узлов, можно использовать трилатерацию для оценки его местоположения. Как показано на рисунке 2, в двумерном случае трех опорных узлов достаточно для локализации обычного. Каждое измеренное расстояние до соседа определяет круг вокруг него (с радиусом, равным этому расстоянию), на котором должен лежать искомый узел. Пересечение трех таких кругов однозначно определяет его местоположение. Однако, с учетом обычных для БСС погрешностей, чаще оказывается необходимым использовать более чем три опорных узлов.

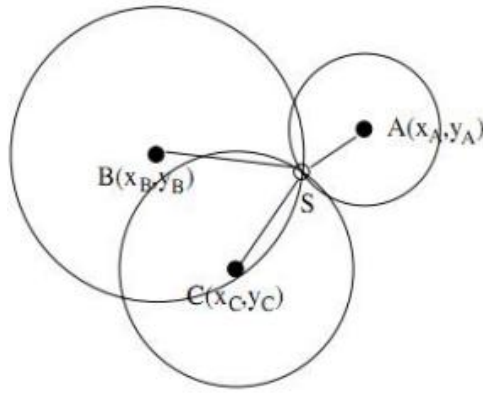


Рис.2. Трилатерация: локализация неопорного узла S тремя опорными A, B, C

Следующий метод – мультилатерации – рассмотрим на примере одной из его разновидностей, элементарной мультилатерации (*atomic multilateration*). Суть данного алгоритма заключается в минимизации погрешностей измерений расстояний с опорными узлами (рис. 3) Пусть в R^2 A – узел, координаты которого следует определить. Обозначим координаты узла A через (x_0, y_0) . B_i – опорные узлы с координатами (x_i, y_i) , $i = 1..m$. Пусть δ_{i0} – измеренное расстояние между узлами A и B_i . Каждому опорному узлу можно сопоставить функцию ошибки измеренного расстояния. Таким образом, имеем m уравнений вида:

$$f_i(x_0, y_0) = \delta_{i0} - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, i = 1..m. \quad (1)$$

Координаты неизвестного узла A можно определить, минимизируя методом наименьших квадратов или другими градиентными методами следующий функционал:

$$F(x_0, y_0) = \sum_i f_i^2(x_0, y_0) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Алгоритм элементарной мультилатерации позволяет найти положение узла при условии его достижимости до трех опорных узлов (в R^2). Однако, БСС обычно разворачиваются с достаточно ограниченным количеством опорных узлов и данное условие далеко не всегда выполняется. Для преодоления этой проблемы используются различные усовершенствования алгоритма (итеративная мультилатерация, совместная мультилатерация).

Метод позиционирования на основе виртуальных координат характеризуется тем, что на первом этапе алгоритма всем мобильным объектам сети присваиваются так называемые виртуальные координаты относительно некоторого количества сигнальных узлов. Далее многомерная система виртуальных координат преобразуется в двумерную систему, которая отражает относительное расположение объектов на плоскости (топологию сети), но не привязана к какой-либо глобальной системе позиционирования, поэтому является полностью автономной. Если затем для части объектов сети (опорные объекты) будут заданы географические координаты с абсолютной привязкой к местности, то на основе этой информации вычисляются абсолютные координаты и для всех остальных объектов группы.

На рисунке 3 показан пример сети, в котором обозначены обычные (с неизвестными координатами), опорные (с известными координатами) и сигнальные (координаты неизвестны, но используются для вычисления виртуальных координат) узлы.

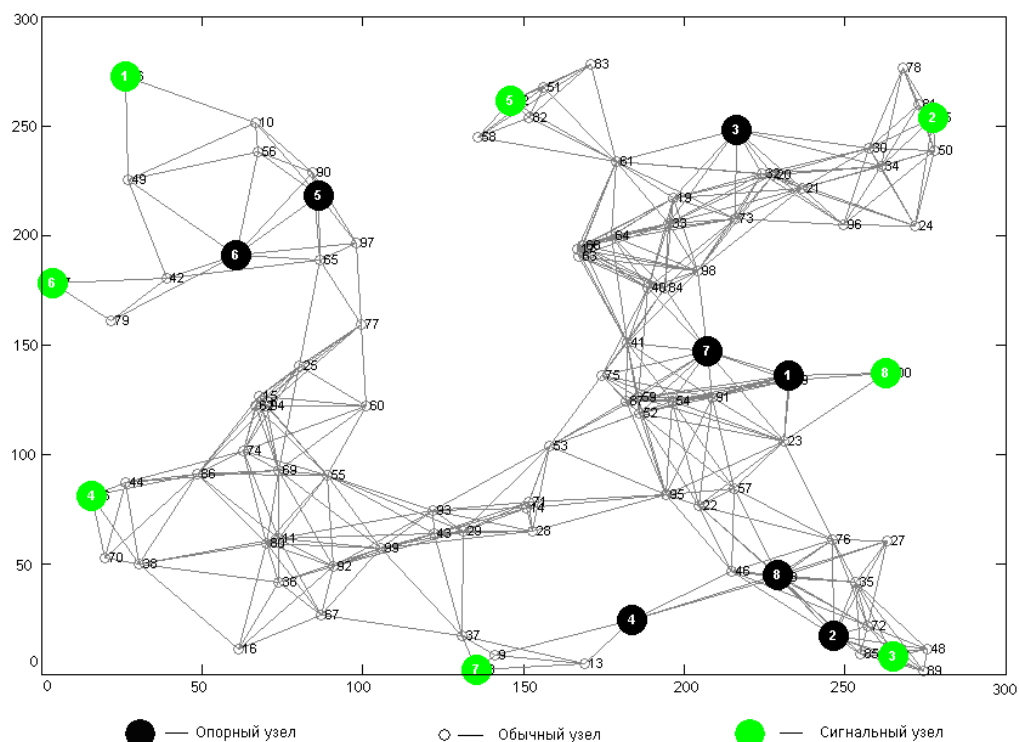


Рис.3. Метод позиционирования на основе виртуальных координат:
пример топологии сети

При развертывании БСС с помощью специального алгоритма автоматически выбирается некоторое заданное число n_B сигнальных узлов, которые должны быть распределены по топологии сети равномерно или по периметру. После того, как сигнальные узлы выбраны, все узлы сети вычисляют свои виртуальные координаты относительно них. На последнем этапе с помощью опорных узлов сети осуществляется перевод виртуальных координат в абсолютные.

При выборе наиболее перспективного метода локализации, интересного для дальнейшего изучения, учитывался ряд критериев. Во-первых, был определен метод определения расстояния между узлами, который необходим для большинства алгоритмов собственно локализации. Методы, основанные на определении расстояний между узлами по задержке распространения радиосигнала, становятся все более актуальными, поскольку стали доступными маломощные интегральные приемопередатчики с аппаратной функцией высокоточного измерения временных интервалов (например, *nanoLOC TRX* от *Nanotron* и *JN5148* от *Jennic*). Во-вторых, был сделан акцент на универсальность определения координат. Метод должен в первую очередь вычислять относительные координаты узлов (составлять топологию сети), а затем, в случае необходимости, сопоставлять топологию с абсолютными координатами. В-третьих, алгоритм должен удовлетворять условиям надежности (работать в случае выхода из строя каких-либо узлов сети), то есть быть распределенным. В-четвертых, алгоритму следует быть максимально независимым от инфраструктуры и относиться к группе методов активной кооперативно-целевой локализации (детектирование узлами сигналов только друг от друга и распределенное формирование топологии на основе полученных данных).

Наиболее полно обозначенным требованиям соответствует сочетание алгоритма позиционирования на основе виртуальных координат с методом определения расстояния между узлами по задержке распространения радиосигнала. Одним из главных недостатков метода является его относительная вычислительная сложность, что является существенным препятствием для его реализации в обычно малопроизводительных

сенсорах сети. Дальнейшая работа может быть направлена на оптимизацию вычислительных алгоритмов данного метода.

Литература

1. Priyantha N., Miu A., Balakrishnan H., Teller S. The cricket compass for contextaware mobile applications. In Proceedings of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom). Rome, Italy: 2001. P. 1–14.
2. Ray S., Lai W., Paschalidis I. Deployment optimization of sensor net-based stochastic location-detection systems. IEEE INFOCOM 2005. 2005. P. 2279–2289.
3. Lee D. Localization using Multidimensional Scaling (LMDS): Ph.D. thesis / University Of California, Berkeley. 2005.
4. Mao G., Fidan B. Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks. New York: Hershey, 2009.
5. Niculescu D., Nath B. Ad-hoc positioning system. In IEEE, Proc. of Global Telecommunications Conference (Globecom). San Antonio, TX: 2001. P. 2926–2931.