

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНОЙ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СЕТИ

А.И. Парамонов, Э.Ф. Хундонугбо

Одной из наиболее востребованных задач, в различных областях применения беспроводных сенсорных сетей, является позиционирование (локализация) узлов сети. В данной статье представлен сравнительный анализ наиболее известных принципов позиционирования, и зависимости ошибки позиционирования от относительной ошибки измерения расстояния и числа опорных узлов.

Ключевые слова: позиционирование, беспроводные сенсорные сети, локализация, сенсорные узлы

ANALYSIS OF METHODS OF NODE POSITION IN AN AD-HOC NETWORK

Paramonov A., Houndonougbo E.

This paper presents an analysis of the main characteristics of the most popular positioning methods in WSN. The paper discusses also the dependence of position error on the relative error in distance measurements and on the number of anchors, in order to determine, in the future, an optimal positioning method based on specific conditions and requirements.

Key words: wireless sensor networks, localization, positioning, sensor nodes

С развитием и широким проникновением беспроводных сенсорных сетей (БСС) в различные области техники расширяется и круг задач, связанных с анализом расположения объектов в пространстве, выбора траекторий и направлений (далее задач позиционирования). Решение задач позиционирования необходимо, как для обеспечения функционирования самой БСС, так и задач управления теми системами, в которых они применяются [1].

В общем случае, для решения задачи требуется обеспечение следующих условий: взаимной доступности узлов БСС, возможности измерения расстояния между узлами, наличие данных о координатах некоторой доли узлов сети.

Методы позиционирования предполагают обеспечение этих условий, однако средства и возможности их обеспечения могут быть различны. Целью данной работы является анализ основных характеристик известных методов для определения, в дальнейшем, формальной процедуры выбора оптимального метода для конкретных условий и требований.

Методы позиционирования

Взаимная доступность узлов сети обеспечивается технологией измерения расстояния между узлами, выбор которой должен учитывать целевое назначение и условия использования сети (среда распространения сигнала, масштабы сети, и др.). Известные технологии, основаны на передаче и приеме некоторых

измерительных сигналов, моделей затухания этих сигналов в среде распространения, измерении скорости их распространения, их направленного излучения и приема.

Известные методы позиционирования [2, 3, 4, 5] предполагают наличие некоторых опорных элементов сети, координаты которых известны с достаточной точностью. В общем случае, задача позиционирования включает в себя две основные подзадачи:

1. Вычисление координат при известных расстояниях между узлами, при наличии минимум трех опорных узлов [1].

2. Измерение расстояний или углов между узлами [1].

Каждая из этих подзадач может решаться различными методами, в зависимости от наличия исходных данных и требований к результатам.

Методы вычисления координат

Методы вычисления координат по данным о расстояниях до опорных элементов или о дирекционных углах сводятся к геометрической задаче. Они известны как методы линейной засечки, использующие принципы трилатерации, мультитлатерации и триангуляции [6]. Критерий выбора определенного метода, с учетом особенностей БСС, должен учитывать использование ресурсов сети и требования со стороны решаемой задачи.

Для исследования зависимости точности позиционирования от точности исходных данных и числа опорных узлов сети была построена имитационная модель БСС. Модельная сеть состоит из 100 узлов, распределенных случайным образом в прямоугольной 2D зоне 200x200 м.

В зоне обслуживания случайно выбирается точка p_0 , координаты которой требуется вычислить по данным о расстояниях от этой точки до соседних узлов $d(p_i, p_0)$. При определении расстояний до соседних узлов имитируется случайная ошибка ξ_{i0} измерения.

$$d(p_i, p_0) = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} + \xi_{ic}. \quad (1)$$

Задача мультитлатерации решается минимизацией выражения

$$(x_c, y_c) = \arg \min \sum_{i=1}^K (\sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2} - d(p_i, p_c))^2, \quad (2)$$

где K – количество опорных (соседних) узлов.

В результате имитационного эксперимента вычисляются координаты искомой точки и погрешность их оценки

$$d(p_0, p_c) = \sqrt{(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2}. \quad (3)$$

На рисунке 1 (слева) приведена плотность вероятности ошибки при относительной ошибке измерения расстояния 30 %, когда опорными узлами являются все узлы, попадающие в радиус связи и его аппроксимация законом Релея. На рисунке 1 (справа) приведено аналогичное распределение при использовании трех опорных узлов.

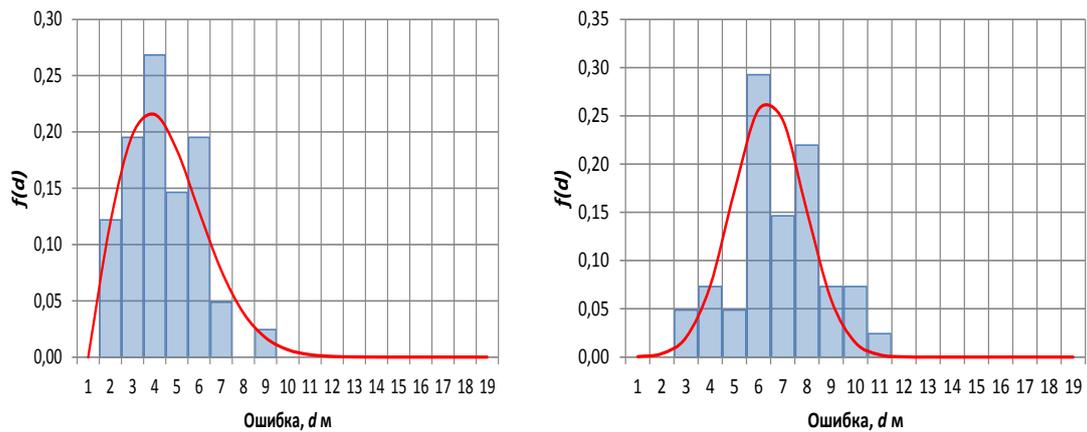


Рис. 1. Плотность распределения ошибки позиционирования

На рисунке 2 приведена зависимость ошибки локализации от числа используемых опорных узлов.

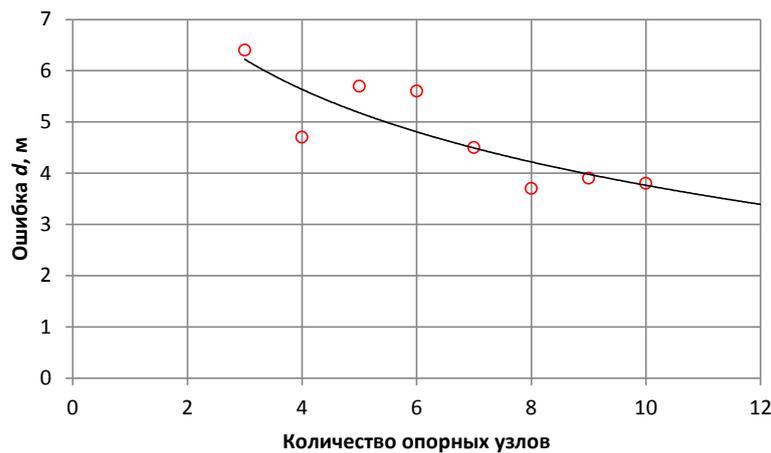


Рис. 2. Зависимость ошибки позиционирования от числа опорных узлов при относительной ошибке оценки расстояния 30 %

Полученные результаты показывают, что ошибка позиционирования уменьшается при увеличении количества опорных узлов. Распределение ошибки позиционирования близко к нормальному закону распределения при относительно малом числе опорных узлов и к распределению Рэлея при относительно большом их количестве.

На рисунке 3 показана зависимость ошибки позиционирования от относительной точности измерения расстояния. Число опорных узлов при решении задачи мультilaterации равно трем.

Таким образом, обеспечение необходимой точности может быть достигнуто как повышением точности измерения расстояния, так и увеличением количества опорных узлов. Оба способа сопряжены с определенными затратами.

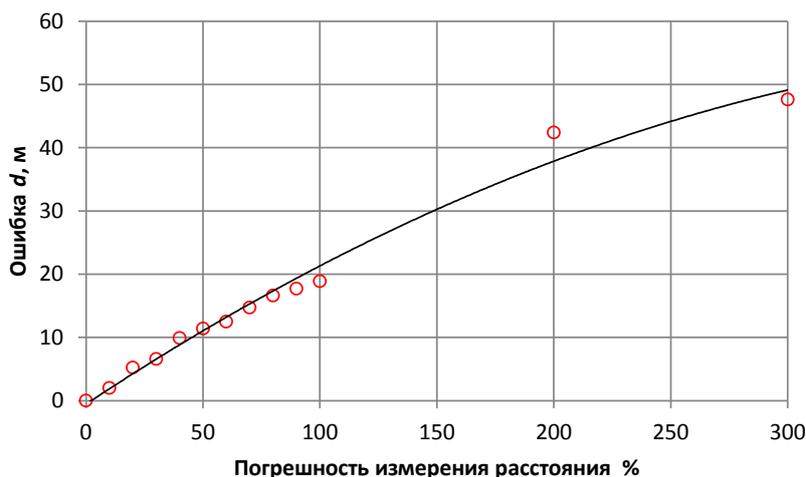


Рис. 3. Зависимость ошибки позиционирования от относительной ошибки измерения расстояния

Методы измерения расстояния

Методы измерения расстояния, используемые в БСС, основаны на измерении уровня радиосигнала или времени его распространения [7]. Привлекательность методов измерения уровня сигнала состоит в том, что они не требуют применения дополнительных технических средств. К их недостаткам следует отнести относительно малую точность. Методы измерения времени распространения сигнала ToA (*Time of Arrival*) и TDoA (*Time Difference of Arrival*) [8] требуют применения дополнительных технических средств и их синхронизации. В ряде случаев возможно использование акустических и оптических сигналов, что также требует применения дополнительных технических средств.

Методы измерения угла

Метод измерения угла принимаемого сигнала (AoA – *Angle of Arrival*). Система должна измерять угол и используя простые геометрические вычисления оценивать относительное расположение приемника и передатчика [7]. Для реализации AoA требуется использование направленных смарт-антенн. Его недостатками являются высокая стоимость и низкая точность при большом числе узлов сети. Точность этого метода ограничена возможными замираниями сигнала, а также многолучевыми отражениями.

Выбор метода определяется условиями применения, требованиями к точности результатов, энергопотреблением и стоимостью реализации.

Выводы

Таким образом, рассмотренные методы позиционирования дают представление о разнообразии и специфике способов определения местонахождения объектов БСС.

Использование той или иной стратегии выбора метода позиционирования обусловлено в первую очередь выполняемыми задачами, структурой и органи-

зацией сети, в некоторых случаях существующие алгоритмы могут быть модифицированы с учетом конкретных требований. Следует отметить, что единого универсального подхода к выбору метода позиционирования в БСС не существует, в каждом случае метод должен выбираться в зависимости от прикладных задач. Выбор метода должен производиться решением задачи оптимизации на основании требований к точности, данных об имеющихся ресурсах и ограничениях.

Список используемых источников

1. Pyas M., Mahgoub I. Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems, 2005. 776 с.
2. Восков Л. С., Курпатов Р. О. Энергоэффективный комбинированный метод локализации в БСС // Sensors & Systems. 2011. N 4. С. 42–45.
3. Восков Л. С., Комаров М. М. Позиционирование датчиков БСС как способ энергосбережения // Датчики и Системы. 2012. N 1. С. 34–38.
4. Hereman W., Murphy Jr W. S. Determination of a Position in Three Dimensions Using Trilateration and Approximate Distances // Decision Sciences. 1995. 22 с.
5. Подшивалов В. В., Баскаков С. С. Локализация объектов в беспроводных сенсорных сетях [Электронный ресурс] // Московский Государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Электронный журнал, Молодежный научно-технический вестник. 2012. N 6. 6 с.
6. Manolakis D. E. Efficient Solution and Performance Analysis of 3-D Position Estimation by Trilateration // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1996. Vol. 32. Is. 4. PP. 1239–1248.
7. Дарибаева Ж. М. Позиционирование объектов в беспроводных сенсорных сетях: магистерская диссертация: 6М071900 / Дарибаева Жанна Маратовна. Алма-Ата, 2013. 50 с.
8. Восков Л. С., Курпатов Р. О. Сравнительный анализ методов локализации в беспроводных сенсорных сетях // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 3. С. 35–40.