

Джарел Бои (Jarle Boe)

Определение положения устройства стандарта ZigBee

Представьте себе, что вы в большом супермаркете в поисках подарка на день рождения своей второй половины. С чего вы начнете? Возможно, вы просто вытащите свой мобильный телефон или КПК и увидите на экране карту супермаркета с обозначенным вашим местоположением и возможными путями следования. В процессе вашего движения на экране будут отображаться ближайшие объекты из числа тех, что представляют для вас интерес.

Введение

При современном уровне развития беспроводных технологий такой поворот событий вполне возможен. Устройство навигации, включенное в состав микросхем TI ZigBee RF, работает аналогично системе с GPS только в пределах помещения. По сравнению с GPS, навигационная система на основе ZigBee имеет относительно низкую стоимость. Будучи встроенной в «систему на кристалле» с приемопередатчиком и микропроцессором, данная система увеличивает стоимость устройства менее чем на 10%. Дополнительная потребляемая мощность также составляет незначительную часть от общего потребления. Такое устройство может быть использовано как в помещении, так и на открытой местности, где есть покрытие сетью ZigBee.

Основные сферы применения такой навигационной системы включают в себя:

- Автоматическое управление светом в соответствии с движением объекта внутри помещения.
- Отслеживание движения грузов на соответствующих терминалах.
- Удаленный мониторинг движения, например с помощью Интернет-терминала.

Кроме того, встроенная навигационная функция может упростить саму процедуру развертывания сети путем определения местоположения нового оборудования.

Подходы к решению задачи

Большинство беспроводных сенсорных сетей используют тот или иной способ, чтобы определить положение узла сети. В процессе развертывания сети, скорее всего, потребуется

определить, какие узлы должны обмениваться информацией непосредственно, а какие должны использовать центральный узел сбора информации в качестве промежуточного.

В настоящий момент на рынке уже представлены программные методы, позволяющие рассчитать положение узла в сети. В этих системах узел принимает радиосигналы, которые несут информацию о положении в сети. Далее эта информация поступает в центральный узел, где и происходит окончательное вычисление позиции. Наконец, вычисленное положение передается обратно в пункт назначения. Такой подход требует значительных вычислительных ресурсов и обычно реализуется на платформе PC или высокопроизводительных микроконтроллеров.

По мере увеличения числа узлов в сети объем трафика, связанного с вычислением положения узлов, увеличивается экспоненциально. Как следствие, данный метод эффективен лишь в небольших сетях с ограниченным числом узлов. Значительный трафик и ограниченная эффективная пропускная способность сети препятствует применению данного метода в сетях, использующих устройства с батарейным питанием.

Для решения этой задачи в микросхеме CC2431 используется подход «распределенных вычислений». При этом положение узла сети вычисляется непосредственно в самом узле на основе данных, полученных от ближайших узлов с известным положением. Таким образом, трафик сети не распространяется далее узлов, ближайших к узлу с определяемым положением (далее такой узел с неизвестным положением мы будем называть слепым). Такой подход позволяет обслуживать большее количество слепых узлов, так как трафик в сети увеличивается прямо пропорционально количеству таких узлов.

Выводы и результаты, представленные в этой статье, основаны на использовании сети ZigBee, но могут быть распространены и на более простые сети, базирующиеся на стандарте IEEE 802.15.4.

Технология вычисления положения

Вычислитель определяет свое положение, обновляясь на мощности сигнала RSSI, получаемого от ближайших передатчиков радиосети.

К сожалению, мощность сигнала может очень сильно изменяться под влиянием внешних случайных факторов. Например, человек, пересекающий линию прямой видимости между приемопередатчиками, может уменьшить сигнал на 30 дБ. Чтобы уменьшить влияние таких случайных факторов, вычислитель использует данные от нескольких (до 16) ближайших передатчиков. В целом это приводит к усреднению результатов вычисления.

В радиосети узлы с известными координатами мы будем называть опорными узлами. С неизвестными — слепыми.

Единственное, что действительно надо передать от опорного к слепому узлу — это координаты первого. Вычислитель на приемной стороне определит координаты последнего на основе полученных координат и мощности принятого сигнала. Мощность сигнала измеряется на принимающей стороне в процессе обработки сообщения опорного узла.

Встраивание функции позиционирования в сетевой протокол

В некоторых случаях успешное использование системы позиционирования может потребовать предварительной инсталляции весьма значительного числа опорных узлов сети. В то же время, технология ZigBee позволяет осуществлять беспроводное управление в домашних, офисных и промышленных помещениях. Соответственно, предполагается, что в ближайшем будущем во многих зданиях и сооружениях будет развернута сеть ZigBee как часть самой инфраструктуры здания.

Типичное офисное помещение может содержать ZigBee-совместимое оборудование для управления температурой и вентиляцией в каждой отдельной комнате. Кроме того, в этом помещении могут быть установлены осветительные и другие приборы, использую-

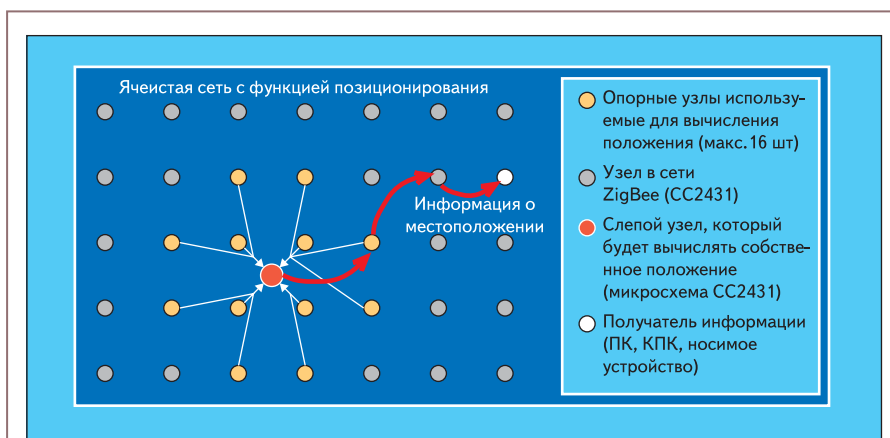


Рис. 1. Сеть ZigBee с возможностью позиционирования и обработки сообщений

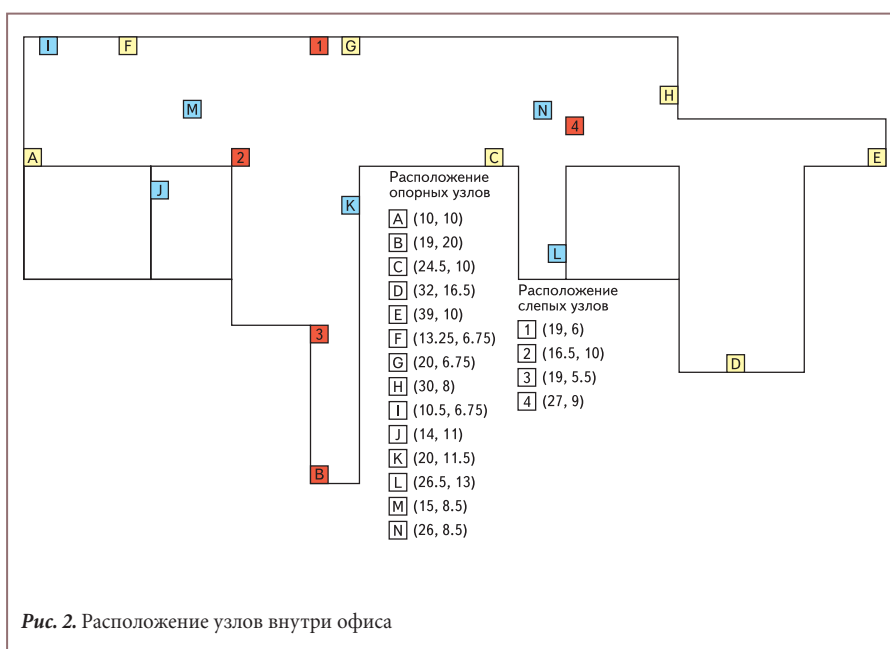


Рис. 2. Расположение узлов внутри офиса

Т а б л и ц а 1. Результаты измерений по 8-опорным точкам

| Номер узла | Фактическое положение по X | Фактическое положение по Y | Измеренное положение по X | Измеренное положение по Y | STDEV X | STDEV Y | $(X-x)^2$ | $(Y-y)^2$ | Ошибка |
|------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 19 | 6 | 17,7 | 10,5 | 0,953 | 0,475 | 1,69 | 20,25 | 4,68401537 |
| 2 | 16,5 | 10 | 20,3 | 9,5 | 0,93 | 0,5 | 14,44 | 0,25 | 3,83275358 |
| 3 | 19 | 15,5 | 20,98 | 13,5 | 0,98 | 0,85 | 3,9204 | 4,2025 | 2,85007017 |
| 4 | 27 | 9 | 22,74 | 9,26 | 2,18 | 1,88 | 18,1476 | 0,0676 | 4,2679269 |

Т а б л и ц а 2. Результаты измерений по 14-опорным точкам

| Номер узла | Фактическое положение по X | Фактическое положение по Y | Измеренное положение по X | Измеренное положение по Y | STDEV X | STDEV Y | $(X-x)^2$ | $(Y-y)^2$ | Ошибка |
|------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 19 | 6 | 18,5 | 9,28 | 0,67 | 0,4 | 0,23 | 10,76 | 3,3149359 |
| 2 | 16,5 | 10 | 18,5 | 9,08 | 0,65 | 0,35 | 3,92 | 0,846 | 2,18330025 |
| 3 | 19 | 15,5 | 18,3 | 13,7 | 0,78 | 0,27 | 0,548 | 3,386 | 1,98322969 |
| 4 | 27 | 9 | 26,4 | 9,7 | 0,61 | 0,49 | 0,336 | 0,49 | 0,90906545 |

щие этот протокол связи. Все эти ZigBee-совместимые устройства вполне могут быть использованы для построения навигационной системы. Дополнительный объем программного кода, требуемый для использования узла сети в качестве опорного, не превышает одного килобайта.

Навигационный вычислитель может использовать данные от разного числа опорных узлов. В общем случае могут быть использованы от 3 до 16 опорных сигналов. Если их число более 16, то используются 16 наиболее мощных сигналов.

Расширение покрытия

Вычислитель места положения слепого узла имеет максимальную территорию покрытия 64×64 м. Большинство конкретных задач требуют большей зоны покрытия. Есть два способа увеличить ее.

- Увеличить мощность передатчиков опорных узлов при одновременном снижении точности и разрешающей способности вычислителя местоположения.
- Распределить опорные узлы по большей территории и осуществлять вычисление местоположения относительно узла с наибольшим уровнем сигнала.

Второй подход кажется более предпочтительным, так как позволяет увеличить зону покрытия без снижения точности. Для его реализации слепой узел посылает широкоэшелонный пакет и собирает данные со всех соседних узлов, находящихся в зоне радиовидимости. Из числа полученных ответов выбирают сигнал с наибольшей мощностью, и координаты соответствующего опорного узла принимают за начальные или нулевые для данного расчета. Далее, исходя из новых начальных координат, пересчитывают координаты всех ближайших опорных узлов. Полученные значения обрабатываются в вычислителе местоположения обычным образом без выхода за пределы зоны 64×64 м. В результате получают координаты слепого узла относительно опорного узла с наибольшим сигналом. Чтобы получить истинные координаты в большой сети, осталось добавить к полученным значениям собственные координаты опорного узла, принятого за начало отсчета (рис. 1).

Для достижения наибольшей зоны покрытия особое внимание следует уделить расположению опорных узлов относительно потолочного и напольного покрытия как внутри помещения, так и на открытых площадях. В идеальном случае следовало бы разместить все опорные узлы на одной высоте вдали от пола, потолка или стен. При развертывании реальной сети это оказывается сложно или невозможно. Тем не менее, следует постараться разместить опорные узлы сети вблизи потолка с антеннами, развернутыми вниз. Это позволит радиосигналу относительно беспрепятственно распространяться вниз и в стороны. При этом предполагается, что слепые узлы, носимые персоналом или прикрепленные к оборудованию, расположены на высоте между поясом и головой человека. Такое расположение призвано минимизиро-

вать влияние поглощения полом и потолком, а также персоналом, который, скорее всего, будет находиться в зоне развертывания сети.

Точность вычислителя положения

Для определения качества работы системы в помещении, она была развернута на территории офиса и состояла из восьми опорных узлов. Опорные узлы были расположены по возможности в углах помещения на доступных поверхностях, таких как мебель и офисное оборудование. Высота расположения — от пояса до плеч человека. Восемь опорных узлов сети обозначены буквами А – Н на рис. 2. Здесь желтым цветом обозначены изначальные опорные точки. Голубым — 6 дополнительных опорных узлов (для эксперимента с 14 опорными точками). И красным — слепые узлы, положение которых определялось в ходе эксперимента.

Результаты эксперимента приведены в таблице 1. Они получены после усреднения 20 измерений в каждом положении. Все цифры даны в метрах. Выделенные значения находятся в пределах развернутой сети.

После того как данные о положении были получены, в сеть были добавлены еще шесть опорных узлов. Аналогичное измерение при новых условиях должно было показать, как влияет на точность измерения увеличение числа опорных точек. Результаты измерения представлены в таблице 2. Все цифры даны в метрах. Выделенные значения находятся в пределах развернутой сети.

Отметим, что точность определения местоположения значительно улучшается, если узел расположен в пределах периметра сети. Также точность улучшается с увеличением количества опорных узлов. Инсталляция шести дополнительных опорных узлов привела к улучшению точности позиционирования для всех слепых узлов. Это, очевидно, означает снижение среднеквадратичного отклонения измеренных координат.

Улучшение точности измерения

Вычислитель местоположения использует оценку мощности (RSSI) радиосигнала, принятого от ближайших опорных точек. RSSI в значительной степени зависит от конструкции антенны, окружающего пространства, других источников излучения и прочих факторов. Вычислитель усредняет информацию о положении, полученную от различных источников сигнала. Увеличение числа опорных точек ведет к снижению ошибки измерения в каждом конкретном случае и увеличивает точность измерения в целом.

В любом случае размещение опорных узлов влияет на точность измерения, прежде всего, за счет поглощения излучения полом, потолком и другими элементами помещения. Использование анизотропной антенны с равномерной диаграммой направленности важно для такого применения.

Заключение

Вычислитель местоположения позволяет достичь точности «в пределах комнаты», при использовании ZigBee-сети. Это требует минимальных энергетических и вычислительных ресурсов. ■