

УДК 004.021

## ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СОВМЕЩЕННОЙ СЕТИ LTE/Wi-Fi

О.Г. Духовницкий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, соискатель

**Рассмотрена целесообразность использования гибридного алгоритма позиционирования в совмещенных LTE/Wi-Fi-сетях. Для анализа выбраны популярные технологии. Показаны возможности увеличения точности позиционирования.**

**Ключевые слова:** позиционирование внутри помещений, гибридное позиционирование, навигационный алгоритм, оценка местоположения, моделирование.

**Введение.** Гибридные системы позиционирования для определения местоположения мобильного устройства используют различные технологии позиционирования. Чаще всего такие системы находят применение в коммерческом сегменте — для определения местоположения абонента с рекламными целями, причем, чтобы быть востребованными, они должны хорошо работать в городских районах.

Спрос на услуги определения местоположения пока не особенно высок, однако его наличие обусловлено необходимостью целевого распространения рекламной информации, поскольку оповещение больших масс населения часто вызывает негативную реакцию и связано с существенными финансовыми затратами. Широкий спектр коммерческих приложений, таких как карты и сервисы локации внутри помещений, также требуют быстрого и точного определения местоположения абонента.

Стандарты LTE на данный момент поддерживают две технологии позиционирования: оценка разницы во времени приема сигналов (OTDoA) и улучшенный метод сотовой идентификации Cell ID (Enhanced CID). Ожидается, что использование этих методов позиционирования обеспечит приемлемое качество позиционирования в LTE, хотя и потребует повышенного объема вычислений [1].

Необходимость рассмотрения альтернативы глобальным системам спутниковой навигации обусловлена невозможностью их использования в помещениях из-за значительного ослабления уровня сигнала вследствие его поглощения стенами и перекрытиями зданий.

Для обеспечения позиционирования в таких условиях обычно приходится комбинировать несколько методов позиционирования. Наиболее эффективным является метод, объединяющий несколько (две) беспроводных сетей связи, спутниковую навигационную сеть и беспроводную сеть связи. Объединение беспроводных сетей связи, систем спутниковой навигации и различных микромеханических систем при определенных условиях позволяет повысить точность позиционирования. Кроме улучшения качества навигационной информации, наличие в рассматриваемом методе беспроводной сети связи обеспечивает дополнительный канал передачи данных.

С этой целью может быть использовано все многообразие телекоммуникационных систем, реализующих услуги

определения местоположения абонента. К таким системам относятся сети стандарта LTE и Wi-Fi.

Данные, поступающие от сотовых операторов и различных интернет-ресурсов, свидетельствуют, что объем мобильного трафика через сети сотовой связи неуклонно растет. Одним из способов уменьшения нагрузки на сотовые сети является организация дополнительных малых сот, построенных, например, по технологии Wi-Fi, требующей значительно меньших затрат (стоимость за бит передаваемой информации) на развертывание сети. Таким образом, мы имеем необходимую инфраструктуру гибридных сетей для функционирования соответствующих алгоритмов определения местоположения мобильных абонентов.

Логичным решением вопроса определения местоположения пользователей является совмещение для реализации этой услуги нескольких технологий и обеспечение ее достаточной точности. Системы определения местоположения, использующие совмещенные технологии позиционирования, находят применение в основном в условиях города ввиду достаточно большой численности населения и наличия необходимой инфраструктуры.

**Технологии позиционирования и модели каналов.** Технологии LTE и Wi-Fi значительно различаются по своей структуре и функциональному назначению, поэтому для решения навигационной задачи в этих двух сегментах используются различные методы позиционирования.

Метод OTDoA применяется, если имеются измерения разности времен распространения сигналов до базовых станций (NodeB — eNB). Элемент сети LTE, Enhanced Serving Mobile Location Centre (E-SMLC), предоставляет пользовательскому оборудованию (User Equipment, UE) перечень соседних базовых станций. Пользовательское оборудование проводит измерения времен распространения сигнала и передает результат на сервер OTDoA. Эти измерения преобразуются в разности расстояний  $\Delta r_{ij}$  до точек eNB с известными координатами.

Наложим на объект позиционирования декартовы координаты. Координаты  $i$ -й eNB  $x_{ci}, y_{ci}$  будем считать известными. Координаты UE  $x, y$  могут быть определены при решении системы нелинейных уравнений с использованием разностно-дальномерного метода по оценке OTDoA [2]:

$$\Delta r_{ij} = \sqrt{(x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2} - \sqrt{(x_{cj} - x)^2 + (y_{cj} - y)^2}. \quad (1)$$

Решение может быть записано в виде

$$x = \frac{\begin{bmatrix} c_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} c_2 \\ d_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} d_2 \\ b_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} b_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} c_2 \\ d_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} d_2 \\ b_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} b_2 \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} d_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} d_2 \\ b_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} d_2 \\ b_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} b_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} c_2 \\ d_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} d_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} d_2 \\ b_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} b_2 \end{bmatrix}}$$

$$y = \begin{bmatrix} \left[ c_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} c_2 \right] \left[ b_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} b_2 \right] - \left[ b_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} b_2 \right] \left[ c_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} c_2 \right] \\ \left[ d_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} d_2 \right] \left[ b_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} b_2 \right] - \left[ b_3 - \frac{\Delta r_3}{\Delta r_2} b_2 \right] \left[ d_4 - \frac{\Delta r_4}{\Delta r_2} d_2 \right] \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} b_i &= x_{ci} - x_{c1}; \\ d_i &= y_{ci} - y_{c1}; \\ \rho_{ci} &= x_{ci}^2 - y_{ci}^2; \\ c_i &= \frac{1}{2}[\rho_{ci} - \rho_{c1} - \Delta r_i^2]. \end{aligned} \quad (3)$$

Дальномерный метод по оценке RSS может быть использован для определения местоположения абонентского устройства Wi-Fi (STA), если известны дальности до трех точек доступа (Access Point, AP). В большинстве реализаций решение навигационной задачи осуществляется на специально выделенном сервере. Координаты STA  $x, y$  могут быть определены путем решения системы нелинейных уравнений для дальномерного метода [2]:

$$r_i^2 = (x_{ci} - x)^2 + (y_{ci} - y)^2. \quad (4)$$

Решение данной системы приведено в [3].

Для RSS-метода необходимо знание модели канала, чтобы определить дальности от STA до  $P$ . При моделировании будем использовать логарифмическую модель (7) из работы [3].

В обоих случаях флуктуации OTDoA и RSS возникают ввиду эффекта многолучевого распространения. Строго говоря, эти две величины являются случайными, постоянные составляющие которых необходимо оценить, и это можно сделать посредством фильтра Калмана [3]. Обратим внимание, что оба случайных процесса носят нормальный характер.

**Структурная схема модели вычислений.** Для оценки эффективности совмещенного алгоритма позиционирования разработаем модель, в которой можно задать местоположение пользователя, определить параметры многолучевого

канала, оценить его местоположение и посчитать ошибку позиционирования.

Рассмотрение разнообразных моделей беспроводных каналов для сетей LTE и Wi-Fi не входит в задачи данной статьи; описание модели, используемой в данной работе, приведено в [2]. В условиях высотной городской застройки в сетях LTE имеет место многолучевой канал, моделируемый с учетом наличия прямого луча распространения. Для частотного диапазона 2,5–15,75 ГГц на расстояниях от 50 до 400 м флуктуации задержки распространения подчиняются нормальному закону распределения, с математическим ожиданием

$$a_s = C_a d^{\gamma_a} \text{ [нс]}$$

и среднеквадратическим отклонением

$$\sigma_s = C_\sigma d^{\gamma_\sigma} \text{ [нс]},$$

где коэффициенты  $C_a = 55; \gamma_a = 0,27; C_\sigma = 12; \gamma_\sigma = 0,32$ .

Для Wi-Fi-сегмента модели будем использовать логарифмическую модель мощность–расстояние с нормальным законом распределения мощности (рис. 1).

В ходе эксперимента проведем оценку точности позиционирования для каждой из ветвей модели и, если это будет целесообразно, совместную оценку точности позиционирования при использовании гибридного алгоритма позиционирования.

Объединение технологий LTE и Wi-Fi осуществляется в сотах небольшого размера (диаметром 0,5–3 км) [5]. В процессе моделирования будем определять местоположение неподвижного объекта на территории соты с тремя, четырьмя и шестью базовыми станциями (eNB). На рис. 2 расположение eNB обозначено кружками, а AP сети Wi-Fi размещаются в выделенном секторе на расстоянии 100 м.

**Результаты моделирования.** В качестве показателя точности позиционирования используем функцию плотности вероятности, которая одновременно будет показывать достигнутое значение точности в определенном количестве точек позиционирования. Для конечного пользователя интерес представляют не максимальные и минимальные пока-

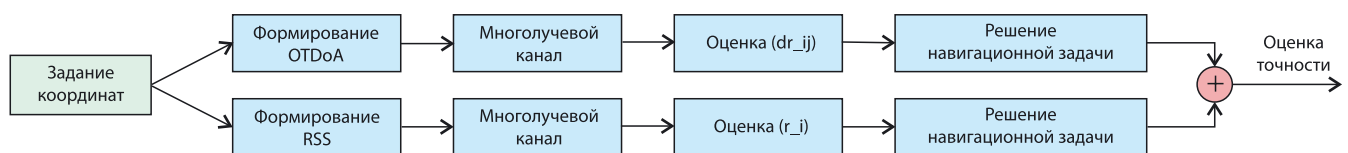


Рис. 1. Структурная схема модели вычислений

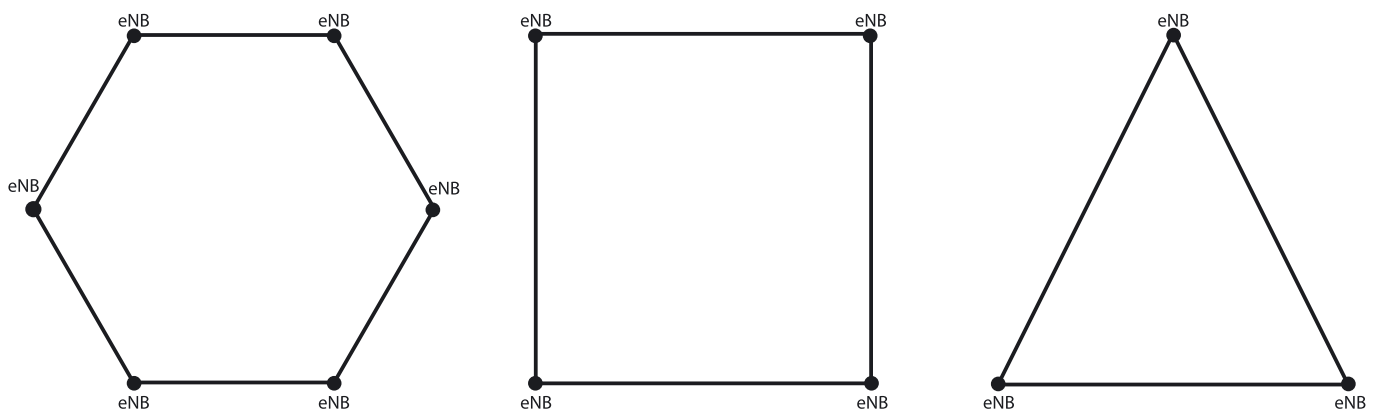


Рис. 2. Зоны позиционирования

затели точности позиционирования, а точность, например, в 90 или 95% случаев.

На первом этапе необходимо оценить точность позиционирования UE по измерению OTDoA для соты с тремя, четырьмя и шестью базовыми станциями. Также проведем оценку точности позиционирования на основе дальнего метода по измерению RSS (рис. 3).

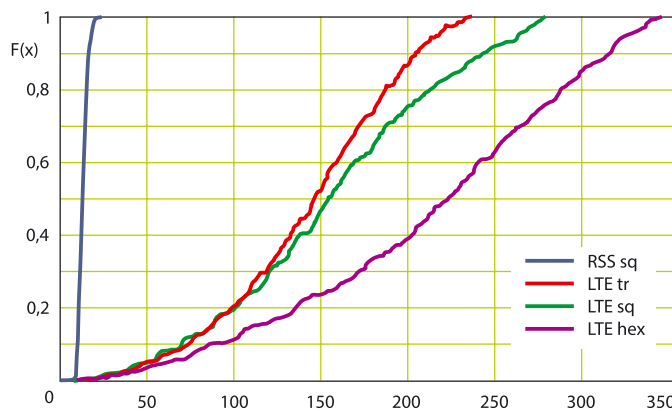


Рис. 3. Оценка точности позиционирования по методу OTDoA и RSS

Анализ результатов моделирования показывает, что точность позиционирования при измерении OTDoA довольно сильно меняется в зависимости от местоположения в шестиугольнике, поэтому точность позиционирования с использованием совмещенного алгоритма в некоторых точках может повысить точность позиционирования, а в некоторых — понизить.

Точность позиционирования в сети Wi-Fi по оценке уровня мощности лежит в пределах 10–50 м при расстоянии

между STA порядка 100 м, что является более высоким показателем по отношению к сетям LTE в наилучшем случае.

Предельное значение точности определения местоположения абонентов в сети LTE средствами сети составляет 150–200 м. Повысить его при определенных условиях позволяет использование алгоритма определения местоположения абонентов в совмещенной сети LTE/Wi-Fi. Следует учитывать, что значения точности определения местоположения абонентов носят вероятностный характер и зависят от множества различных факторов.

**Заключение.** По результатам моделирования можно сделать вывод, что в областях покрытия сети LTE (по методу OTDoA), в которых точность определения местоположения абонента более чем в 10 раз хуже точности позиционирования в сети Wi-Fi (по методу RSS), использование совмещенного алгоритма нецелесообразно и необходимо пользоваться «простым» методом позиционирования по оценке RSS.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. An overview of LTE Positioning White Paper // Spirent, 2012. — Онлайновый ресурс [www.spirent.com](http://www.spirent.com).
2. **Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В.** и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. — М.: Радио и связь, 1993. — 408 с.
3. **Sukhov V., Sivers M., Makarov S.** Modeling the positioning algorithms based on RSS characteristics in IEEE802.11g networks // NEW2AN/ruSMART 2012, LNCS7469, p. 453–461.
4. Рекомендация МСЭ-R P. 1411–3. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем ближней радиосвязи и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц.
5. Integrating Wi-Fi RANs into the Mobile Packet Core, //White Paper Ruckus Wireless, 2012. — Онлайновый ресурс [www.ruckuswireless.com](http://www.ruckuswireless.com).

Получено 22.04.15

## ИНФОРМАЦИЯ

### НИИ РАДИО ИНВЕСТИРУЕТ В КАДРЫ

Сегодня отток высококвалифицированных специалистов за рубеж, по словам заместителя Председателя Правительства Российской Федерации **О. Голодец**, становится опасным трендом. Как создать привлекательные условия для молодых ученых? Сталкиваясь с низкими зарплатами, не находя применения своим знаниям и амбициям, наиболее квалифицированные молодые люди задумываются о возможности работы за границей.

На этом фоне знаковым событием стало предоставление молодым специалистам института жилья в малоквартирном доме на территории полигона 12 ФГУП НИИР в Балашихе.

Сложная экономическая ситуация, недостаточное финансирование, административные и прочие трудности не помешали реализации проекта: уже не новое здание бывшего общежития отремонтировали и переделали под новые задачи, с учетом запросов молодых специалистов института и их



**Красную ленточку на входе в дом перерезал генеральный директор ФГУП НИИР В. Бутенко.**

семей. 27 мая 2015 г. был утвержден первый список молодых сотрудников НИИР, ставших новоселами.

Всего в общежитии 34 квартиры. В соответствии с Положением о предоставлении жилья первыми получили ключи от квартир начальник лаборатории НТЦ КС **А. Лосев**, инженер 2-й категории НТЦ КС **О. Монахова**, ведущий инженер-программист НТЦ Анализа ЭМС **А. Смоляков**, начальник сектора НТЦ Анализа ЭМС **А. Березгов** и инженер-конструктор 2-й категории НТЦ НСКСС **Е. Шипилов**.

НИИР, недавно отметивший свое 65-летие и вырастивший целую плеяду замечательных ученых, влившихся в элиту отечественной науки, делает все возможное для поддержки молодых сотрудников. А их задача — укреплять научный потенциал института.

Если же говорить о перспективах, то программа максимум — построить здесь же, в административной зоне многоквартирный дом для нуждающихся в жилье специалистов, причем не только молодых. «Это укрепит кадровый потенциал института», — подчеркнул В. Бутенко.