

УДК [688+681.3]

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММ ВОРОНОГО ДЛЯ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ



**Д.В. Вылегжанин**

Кандидат физико-математических наук,  
доцент БГУ, статистический аналитик HiQo-solutions

Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

СООО "ХайКво Солюшенс"

E-mail: denis.vylegzhanin@hiqo-solutions.com

**Аннотация.** Для решения задач глобального позиционирования объектов широко и эффективно используется Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS). Для позиционирования внутри помещений данный подход теряет свою актуальность. Внутри зданий в сигналы спутников вносятся помехи за счет различных препятствий и наложений. Как результат, точность определения положения серьезно ухудшается. Требуются иные подходы. Одним из путей решения этой проблемы является использование Bluetooth (BLE) технологий. Основные преимущества BLE -- низкая стоимость, легкая установка и малое потребление энергии. Индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI) это основной используемый параметр для определения положения объектов. Недостатком RSSI является его непостоянство во времени. Искажения в результатах измерений могут вноситься за счет самых незначительных препятствий на пути сигнала. В работе мы предлагаем один из возможных подходов к разрешению проблемы с применением диаграммы Вороного.

**Ключевые слова:** BLE, RSSI, позиционирование внутри помещений, диаграмма Вороного

Напомним, что диаграммой Вороного [1] конечного множества точек  $P$  (обозначим  $Vor(P)$ ) на плоскости  $E^2$  называется такое разбиение плоскости, при котором каждая область этого разбиения образует множество точек, более близких к одному из элементов множества  $P$ , чем к любому другому элементу множества  $P$ . В результате, для каждого элемента множества  $P$ , на плоскости появляется область, которая состоит из точек более близких к этому элементу чем к любому другому элементу множества  $P$ . Такая область называется ячейкой Вороного. Т.е. для некоторого элемента  $p_i \in P$  ячейка Вороного это  $Vor(p_i) = \{s \in E^2: d(p_i, s) \leq d(p, s), \forall p \in P \setminus \{p_i\}\}$ . Тогда, другими словами, диаграмма Вороного может быть определена как совокупность всех ячеек Вороного (Рисунок 1).

Одним из возможных обобщений диаграммы Вороного является диаграмма Вороного высшего порядка [1], [2]. Пусть  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  конечное множество точек. Мы можем ввести понятие ячейки Вороного для некоторого подмножества  $T$  множества  $P$ . Ячейкой Вороного для  $T \subset P$  будем называть  $Vor(T) = \{s \in E^2: \forall p_i \in T, \forall p \in P \setminus T, d(p_i, s) \leq d(p, s)\}$  Тогда диаграммой Вороного порядка  $k$ , называется совокупность всех ячеек Вороного, построенных по всем подмножествам из  $k$  элементов множества  $P$  (Рисунок 2).

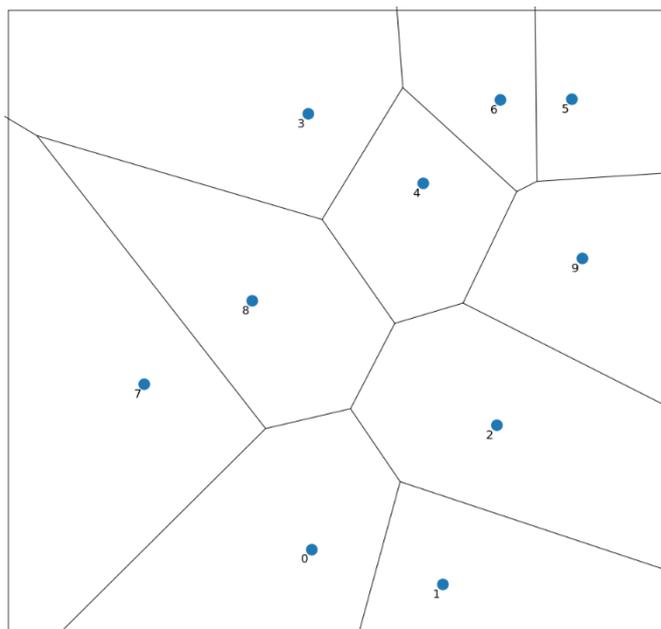


Рисунок 1. – Диаграмма Вороного как совокупность всех ячеек Вороного

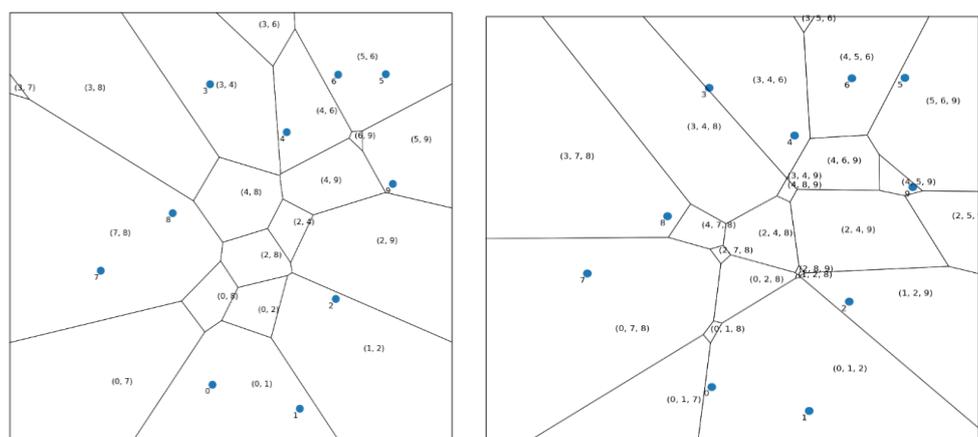


Рисунок 2. – Совокупность всех ячеек Вороного, построенных по всем подмножествам из  $k$  элементов множества  $P$

Рассмотрим подход с использованием BLE технологий [3], [4]. Для локализации объекта внутри помещения будем использовать стационарные устройства ресиверов, которые получают информацию о параметрах RSSI маяка совмещенного с объектом. Частота испускания сигналов маяка может варьироваться в зависимости от используемого устройства. Еще раз отметим, что RSSI является не устойчивым и на его величине могут сильно сказываться любые препятствия, возникающие на пути распространения сигнала и даже ориентация в пространстве. В связи с этим были рассмотрены различные способы фильтрации сигнала. Отметим, что восстановление расстояния по величине RSSI будет иметь большую погрешность. Это связано с быстрым затуханием силы сигнала, с его зависимостью от факторов среды и с экспоненциальной зависимостью расстояния от значения RSSI [5].

Таким образом, был выбран подход, использующий сравнения величин RSSI на каждом из ресиверов, а не их абсолютные значения. Из всех ресиверов мы выбираем 2-3 с самым сильным значением RSSI. Количество выбираемых (“надежных”) ресиверов зависит от используемого в модели порогового значения для RSSI и от некоторых других параметров. Определение набора “надежных” ресиверов, в идеальных условиях, означало бы, что расстояние от маяка до любого из них меньше, чем расстояние от маяка до любого из оставшихся ресиверов.

Отождествим каждый из ресиверов с точкой на плоскости. Пусть  $P$  множество всех таких точек. Теперь мы можем построить диаграмму Вороного порядка 2 или 3 (порядок зависит от количества “надежных” ресиверов). Соответственно положение объекта будет определено по его принадлежности соответствующей ячейке из диаграммы Вороного (Рисунок 3).

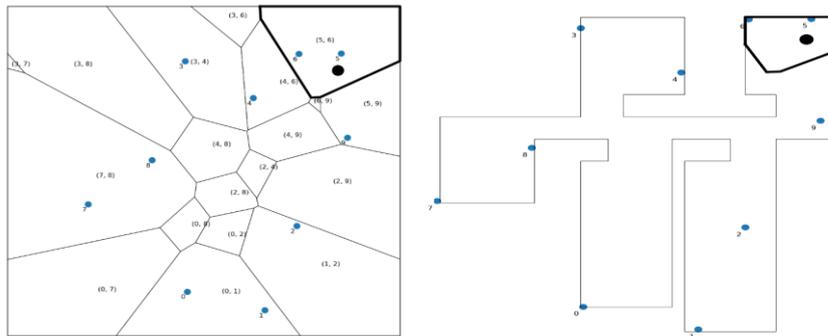


Рисунок 3. – Определение принадлежности соответствующей ячейке из диаграммы Вороного

В реальных условиях сигнал от ближайших ресиверов не всегда является сильнейшим. Как уже говорилось выше он может быть ослаблен за счет большого числа различных факторов. В связи с этим множество точек  $P$ , используемых для построения диаграммы Вороного, должно быть скорректировано. Из  $P$  должны быть удалены точки, соответствующие ресиверам с заведомо ложными показаниями RSSI и мешающие построению ячейки по выбранным ресиверам (Рисунок 4).

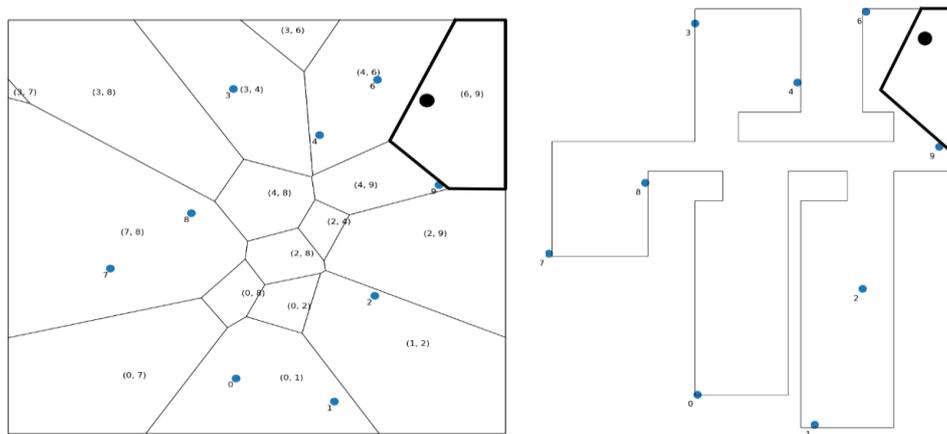


Рисунок 4. – Скорректированный вариант построения ячейки

Результат тестирования алгоритма для определения ячейки Вороного даже на достаточно малочисленной и разреженной сетке ресиверов уже показал, точность около 80%. Оценка точности положения объекта получается из диаметра соответствующей ячейки Вороного. Очевидно, что улучшение точности определения соответствующей ячейки Вороного и уменьшение размера самой ячейки может быть получено путем увеличения количества ресиверов и оптимизации их взаимного геометрического расположения.

#### ***Список литературы***

- [1.] Preparata, F.; Shamos, M. Computational Geometry - An Introduction — Springer-Verlag, 1985
- [2.] Lee D.T. On k-Nearest Neighbor Voronoi Diagrams in the Plane IEEE Transactions on Computers 31(6):478 - 487 · July 1982
- [3.] Vicente Cantón Paterna V.C., Anna Calveras Augé, Josep Paradells Aspas, María Alejandra Pérez Bullones. A Bluetooth Low Energy Indoor Positioning System with Channel Diversity, Weighted Trilateration and Kalman Filtering, Sensors 2017, 17(12), 2927
- [4.] Paolo Baronti, Paolo Barsocchi, Stefano Chessa, Fabio Mavilia, Filippo Palumbo. Indoor Bluetooth Low Energy Dataset for Localization, Tracking, Occupancy, and Social Interaction, Sensors (Basel). 2018 Dec; 18(12): 4462
- [5.] Guoquan Li, Enxu Geng, Zhouyang Ye, Yongjun Xu, Jinzhao Lin, Yu Pang. Indoor Positioning Algorithm Based on the Improved RSSI Distance Model, Sensors 2018, 18, 2820

## **APPLICATION OF VORONOI DIAGRAMS FOR INDOOR POSITIONING**

***D.V. Vylegzhanin***

*Associate professor at*

*Department of Belarusian State University,*

*Ph.D. in mathematics;*

*senior statistical analyst at HiQo Solutions Ltd.*

*Belarusian State University, Republic of Belarus*

*HiQo Solutions, Ltd, USA*

*Email: denis.vylegzhanin@hiqo-solutions.com*

**Abstract.** To solve the problems of global positioning of objects, the Global Navigation Satellite System (GNSS) is widely and efficiently used. For indoor positioning, this approach loses its relevance. Inside buildings, satellite signals are interfered by various obstacles and overlays. As a result, the accuracy is seriously impaired. One of the possible solutions is the use of Bluetooth (BLE) technologies. The main advantages of BLE are low cost, easy installation and low energy consumption. Received Signal Strength Indicator (RSSI) is the main parameter used to determine the position of objects. The disadvantage of RSSI is its variability over time. In the work, we propose one of the possible approaches for solving the problem by using the Voronoi diagram.

**Keywords:** Global Navigation Satellite System, Received Signal Strength Indicator, Bluetooth (