

Локализация в помещениях с помощью сетей Wi-Fi *

Илья Левицкий, Алексей Куреев

Институт Проблем Передачи Информации РАН
levitskiy@iitp.ru, kureev@iitp.ru

Аннотация В данной работе представлены результаты экспериментального определения AoA (англ.: Angle of Arrival — угол падения) сигнала от устройства точкой доступа. Показано, что любая точка доступа, имеющая не менее трех антенн, может вычислить AoA с точностью не менее 5° . Для вычисления AoA использовалась информация о состоянии канала, содержащаяся в каждом принятом пакете от передающего устройства. Информация об AoA, полученная от нескольких точек доступа, позволяет определить местоположение устройства и может быть использована для замены GPS в крупных помещениях.

Ключевые слова: Локализация в помещениях, Беспроводные сети, OFDM

1 Введение

Определение местоположения устройства является актуальным направлением на сегодняшний день. Большинство современных систем навигации и анализа перемещения устройств используют GPS в качестве основного средства сбора данных о положении мобильного устройства. К сожалению, в помещениях, ввиду сильного затухания, использование GPS является невозможным. Достойной заменой могут являться сети Wi-Fi. На данный момент сети Wi-Fi существуют практически во всех крупных помещениях, используемых человеком и использование Wi-Fi точек доступа для определения местоположения мобильных устройств является наиболее простым и недорогим решением.

От каждого пакета, принятого точкой доступа можно получить две основные характеристики мобильного устройства: RSSI (англ.: Received Signal Strength Indicator – Показатель уровня принимаемого сигнала) – величина, показывающая мощность принятого сигнала и CSI (англ.: Channel State Information – информация о состоянии канала) – величина, характеризующая степень затухания сигнала и набег фазы при прохождении расстояния между передающим и принимающим устройствами. Использование только

* Исследование выполнено в ИППИ РАН при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 14-50-00150

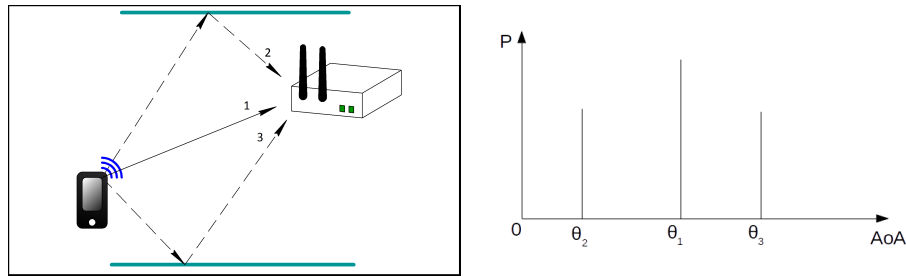


Рис. 1. Пример отражения сигнала в помещении и его MUSIC-спектра в канале без помех.

информации о мощности принятого сигнала от трех и более точек доступа не позволяет точно определить положение устройства, поскольку прямой луч между мобильным устройством и точкой доступа может иметь слабую мощность из-за прохождения через препятствия. Существующие решения [1], [2] позволяют достичь точности не более 2м. Более того, на рабочих частотах Wi-Fi сигнал претерпевает множество отражений от стен, пола, потолка и крупных перегородок, поэтому помимо сигнала прямой видимости на принимающее устройство приходит множество сигналов, отраженных от стен и препятствий.

Для точного определения положения необходимо определить AoA (англ.: Angle of Arrival — угол падения) – угла, под которым приходит сигнал прямой видимости. Для определения AoA в помещениях используется алгоритм MUSIC [3], основанный на разложении принятого сигнала на спектр по управляющим векторам, соответствующим углам, под которым пришел луч и его отражения, как показано на рис. 1. Величина P является амплитудой MUSIC-спектра.

Для применения классического алгоритма MUSIC необходимо, чтобы число антенн было не меньше чем число характерных путей, под которыми приходит сигнал и его отражения. Поскольку среднее количество лучей в помещении равно 5 [4], система для определения числа AoA должна иметь не менее 5 антенн. К сожалению, наиболее распространенные на данный момент точки доступа имеют не более трех антенн и использование классического алгоритма MUSIC не является возможным.

В работе [5] авторы предложили метод, позволяющий сократить возможное количество антенн приемника до трех при использовании сетей Wi-Fi. Идея основана на физическом устройстве сигнала стандарта IEEE 802.11n, использующего OFDM (англ.: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) при передаче данных. Согласно стандарту 802.11n, сигнал передается сразу на нескольких ортогональных поднесущих и, таким образом, в частотной полосе 40 МГц каждая антенна принимает сигнал сразу на 114 поднесущих [6].

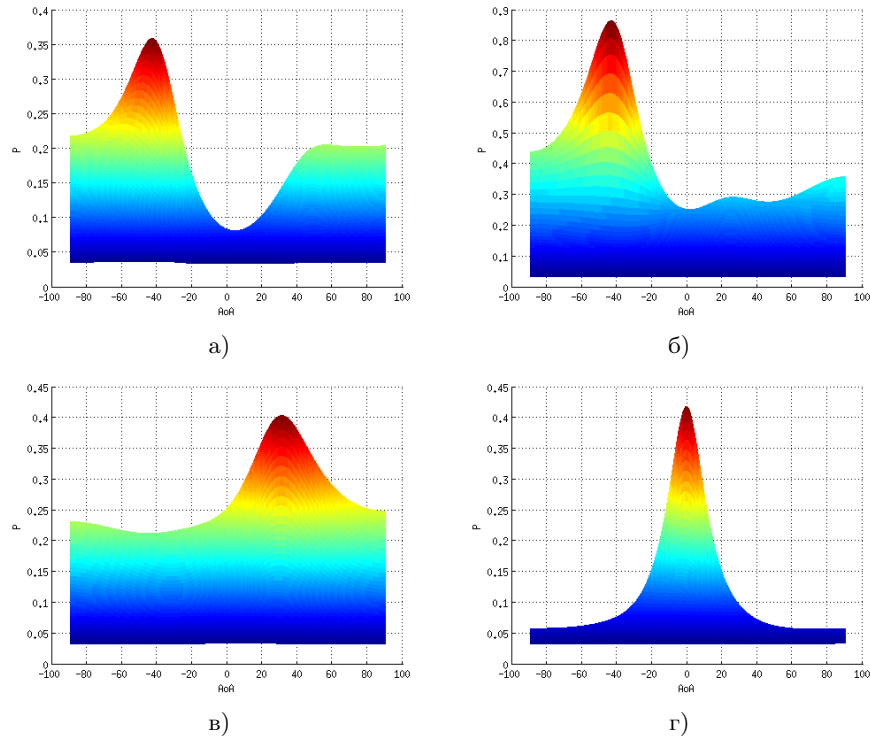


Рис. 2. MUSIC-спектр для мобильного устройства, находящегося под углом а) -40° , б) -45° , в) 30° , г) 0° к массиву антенн точки доступа.

В данной работе реализуется метод, представленный в работе [5]. Исследуется точность и область применимости расширенного алгоритма MUSIC для OFDM сигналов.

2 Экспериментальные результаты

В проводимых экспериментах в качестве точки доступа использовалась сетевая карта Intel Wi-Fi Wireless Link 5300, для которой существует драйвер, позволяющий получать CSI и RSSI для каждого принятого пакета [7]. Мобильное устройство пересылало данные в режиме насыщения точке доступа. От каждого принятого пакета точка доступа получала матрицу CSI размером 3×30 для 3 антенн и 30 поднесущих и применяла расширенный алгоритм MUSIC, описанный в работе [5].

Расстояние между точкой доступа и мобильным устройством варьировалось от 1 до 4 метров и угол изменялся от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$. Примеры проекции MUSIC-спектра на плоскость $P - AoA$ представлены на рис. 2.

В каждом положении мобильное устройство передавало 1000 пакетов, для каждого пакета находились максимумы MUSIC-спектра и производилась кластеризация максимумов для каждой группы из 10 пакетов методом k -средних. Центром масс каждого кластера является среднее значение угла под которым приходит луч. Для определения AoA луча прямой видимости необходимо определить функцию правдоподобия l_k , учитывающую время полета сигнала τ , дисперсию каждого кластера k по AoA σ_{θ_k} , по времени полета сигнала σ_{τ_k} и количество точек в каждом кластере C_k

$$l_k = \exp(w_C C_k - w_\theta \sigma_{\theta_k} - w_\tau \sigma_{\tau_k} - w_s \tau_k),$$

где w – веса параметров.

Полученные результаты показывают, что с помощью карты Intel Wi-Fi Wireless Link 5300 и алгоритма, разработанного в [5] можно определять AoA луча прямой видимости с точностью не менее 5° в диапазоне от 1 м до 3 м. При дальнейшем приближении мобильного устройства к приемнику становится невозможно определить MUSIC-спектр принятого сигнала ввиду того, что предположение о том, что на приемник падает плоская волна, становится неверным. При отдалении мобильного устройства более чем на 3 м также невозможно определить верное положение сигнала, поскольку мощность его становится мала.

3 Заключение

В данной работе представлены результаты экспериментального определения AoA сигнала от устройства точкой доступа с помощью расширенного алгоритма по нахождению MUSIC-спектра принятого сигнала. Используя характер передачи данных в сетях Wi-Fi, удалось с помощью точки доступа, имеющей 3 антенны достичь точности определения направления в 5° . В следующих работах планируется расширение алгоритма MUSIC на случай использования двухканального приемника и сетей нового поколения, работающих по стандартам 802.11ac и 802.11ax.

Список литературы

1. K. Chintalapudi, A. Padmanabha Iyer, and V. N. Padmanabhan, "Indoor localization without the pain," in *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 173–184, ACM, 2010.
2. P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "Radar: An in-building rf-based user location and tracking system," in *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, vol. 2, pp. 775–784, Ieee, 2000.
3. R. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276–280, 1986.
4. J. Xiong and K. Jamieson, "Arraytrack: A fine-grained indoor location system," Usenix, 2013.

5. M. Kotaru, K. Joshi, D. Bharadia, and S. Katti, "Spotfi: Decimeter level localization using wifi," in *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 45, pp. 269–282, ACM, 2015.
6. "IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput," *IEEE Std 802.11n-2009 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, and IEEE Std 802.11w-2009)*, pp. 1–565, Oct 2009.
7. D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, and D. Wetherall, "Tool release: Gathering 802.11 n traces with channel state information," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 41, no. 1, pp. 53–53, 2011.