

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

## ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ GPS СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ IOS

Соколовский В.Е.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Мадвейко С.И – канд.техн.наук, доцент, заведующий кафедры ЭТТ*

**Аннотация.** Экспериментально исследовано влияние плотности городской застройки на время определения GPS сигнала с использованием мобильной системы на базе iOS. Установлено, что в условиях затенения городской застройкой время определения GPS сигнала увеличивается пропорционально плотности застройки, и может достигать значения в 4.89 сек. при плотности городской застройки 13 216 м<sup>2</sup>/га.

**Ключевые слова:** затенение, GPS сигнал, мобильное устройство на базе iOS, городская застройка

**Введение.** Каждый год наблюдается тенденция к цифровизации. Данную тенденцию можно наблюдать и в области медицинской электроники. Уже зачастую медицинское оборудование снабжается приемниками GPS-сигнала. Множество исследований, например, холтеровское мониторирование, могут снабжаться приемниками GPS-сигнала, для получения более детальной картины исследования: скорости перемещения, маршрута передвижения и целесообразности этих действий.

Местоположение приемника в системе спутниковой навигации вычисляется пересечением сфер от разных спутников. Радиусы сфер определяются неточно из-за ионосферной и тропосферной задержек, релятивистского эффекта, эффекта прием отраженного сигнала и других факторов. Без каких-либо коррекций точность определения местоположения составляет 30-50 метров [1].

Поэтому актуальной задачей является исследование влияния плотности городской застройки на время определения GPS-сигнала с использованием современных мобильных систем с операционной системой iOS.

**Основная часть.** Каждая система спутниковой навигации содержит не менее 24-х спутников. Спутники постоянно передают пакеты, в которых закодировано время отправки и координаты спутника во время отправки. Скорость передачи данных известна - с (скорость света в вакууме). После получения пакета приемник рассчитывает время прохождения сигнала:

$$\Delta t = t_r - t_s, \quad (1)$$

где  $t_r$  – время получения сигнала;

$t_s$  – время отправки сигнала.

Значит, расстояние от спутника (в момент отправки) до приемника (в момент получения) есть произведение времени на скорость:

$$d = \Delta t \times c \quad (2)$$

Следовательно, приемник может быть на любой точке сферы радиуса  $d$  с центром в точке, где находится спутник во время отправки. Если добавить информацию со второго спутника, то приемник будет находиться на пересечении двух сфер. Таким образом, добавив еще один излучатель, мы найдем точное местоположение (рисунок 1).

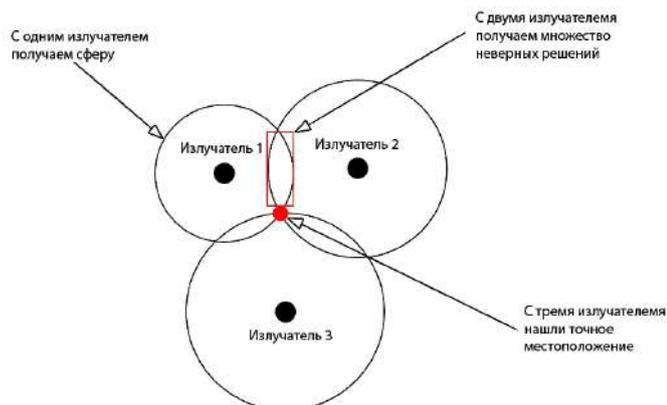


Рисунок 1 – Точное местоположение путем пересечения трех сфер

Необходимо рассмотреть в аналитическом виде часть ошибок и задержек, возникающих при измерении расстояния от спутника до приемника.

Под ошибкой будем понимать какой-либо сдвиг координат спутника или часов приемника и спутника. Задержка – это ошибка, по причине которой изменилась скорость прохождения сигнала на каком-либо участке от спутника до приемника.

Пусть у нас имеется приемник и несколько спутников. Пусть имеется общая временная шкала, т.е. время, по которому выстроены часы спутников и приемника. В качестве общей временной шкалы практически всегда берут средняя время по Гринвичу (время на нулевом меридиане). В соответствии с [2] будем называть псевдодальностью (pseudorange) величину

$$P_i = c \times [t(T_2) - t_i(T_1)], \quad (3)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;

$t(T_2)$  – время получения сигнала приемником по часам приемника;

$t_i(T_1)$  – время отправления сигнала спутником по часам спутника номер  $i$ .

Определяя расстояние от  $i$ -го спутника до приемника, псевдодальность содержит также следующие ошибки: ошибку синхронизации часов спутника и приемника, задержку сигнала в атмосфере (тропосфера и ионосфера), релятивистский эффект, инструментальные задержки, помехи типа «повторных изображений» (*multipath*), интерференции и другое (рисунок 2).



Рисунок 2 – Ошибки и их порядки

Учитывая выше написанное, перепишем уравнение (3) в виде [2]:

$$P_i = p_i + c \times (dt - dt_i) + rel_i + T_i + \alpha \times I_i + K_i + M_i + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где  $p_i$  – геометрическое расстояние от спутника номер  $i$  до приемника, т.е.

$$p_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (5)$$

$dt$  – изменение часов приемника от общей временной шкалы;

$dt_i$  – изменение часов  $i$ -го спутника от общей временной шкалы;

$T_i$  – тропосферная задержка;

$I_i$  – характеризует ионосферную задержку,  $\alpha$  – множитель, который выражается через частоту сигнала  $f$ :  $\alpha = 40.3/f^2$ ;

$rel_i$  – релятивистский эффект;

$K_i$  – инструментальная задержка, вызванная помехами спутника, не зависит от частоты;

$M_i$  – эффект приема отраженного сигнала, зависит от частоты;

$\varepsilon_i$  – неучтенные здесь ошибка [1].

Подробное описание каждой из этих ошибок и задержек можно найти, например, в [2]. Большинство решения для коррекции ошибок реализованы в открытой библиотеке *GPSTk*.

Опираясь на вышеизложенное, был проведен эксперимент, по определению влияния затенения городской застройки на время определения *GPS*-сигнала. Методика эксперимента заключалась в помещении мобильного устройства на базе *iOS* в экранированную емкость. После пропадания сигнала, устройство извлекалось и производился замер времени до определения устройства спутниковыми системами. Экран мобильного устройства на базе *iOS* проецировался на ноутбук. Производилась запись экрана, а затем раскадровка полученного материала для увеличения точности полученных результатов. Результаты эксперимента подчиняются нормальному закону распределения. Наблюдается корреляция между увеличением времени определения устройства и увеличением плотности городской застройки. Полученные результаты приведены в таблице 1. Полученные результаты были распределены на временные отрезки (рисунок 3).

Таблица 1 – Значения времени определения GPS сигнала в условиях затенения

Номер измерения	Время измерения, сек	Номер измерения	Время измерения, сек	Номер измерения	Время измерения, сек
1.	2,94	21.	2,19	41.	4,32
2.	2,5	22.	2,35	42.	3,61
3.	2,49	23.	2,49	43.	3,4
4.	2,62	24.	9,79	44.	2,15
5.	3,48	25.	2,56	45.	2,57
6.	3,15	26.	2,49	46.	2,42
7.	2,41	27.	2,37	47.	2,03
8.	2,47	28.	2,47	48.	3,05
9.	3,15	29.	2,62	49.	2,67
10.	2,46	30.	2,75	50.	2,75
11.	2,41	31.	2,62	51.	2,52
12.	2,49	32.	2,49	52.	3,17
13.	2,53	33.	2,17	53.	2,41
14.	2,57	34.	2,99	54.	2,35
15.	3,01	35.	4,47	55.	2,96
16.	3,03	36.	3,15	56.	3,17
17.	2,47	37.	2,37	57.	2,29
18.	4,89	38.	2,75	58.	2,42
19.	1,99	39.	2,48	59.	2,63
20.	2,09	40.	2,35	60.	2,32



Рисунок 3 – Распределение результатов по временным промежуткам

Для наглядности, построен график с зависимостью времени определения от плотности городской застройки (рисунок 4).

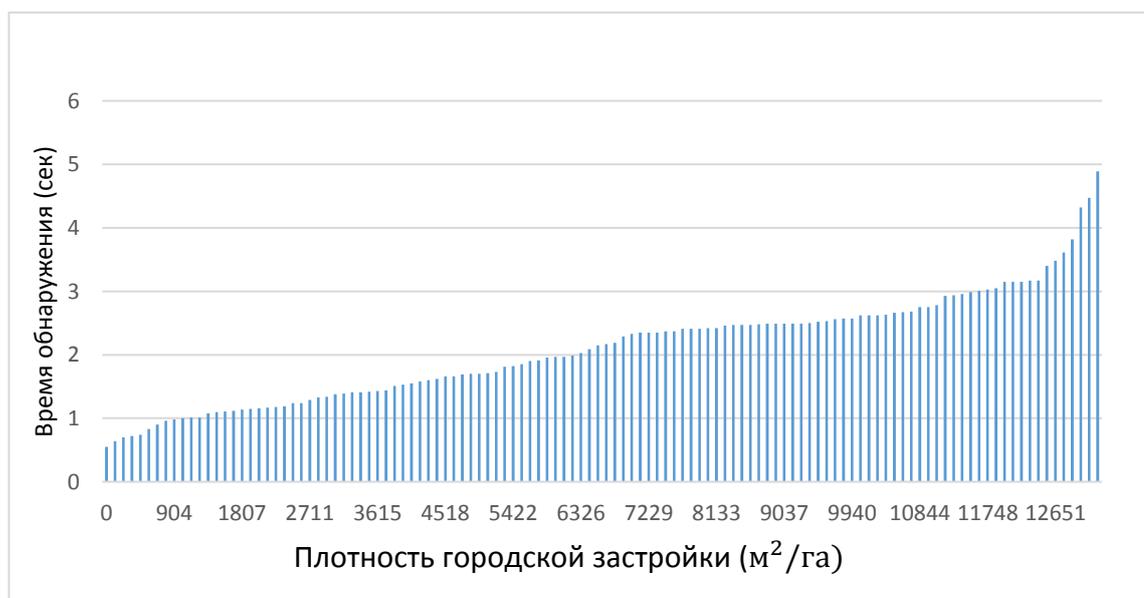


Рисунок 4 – Зависимость времени обнаружения от плотности городской застройки

При анализе таблицы 1 и рисунков 3,4 выявлено, что пиковые значения времени обнаружения мобильного устройства на базе *iOS* в условиях затенения городской застройкой достигают пиковых значений в 4.89 секунд при максимальной плотности городской застройки 13 216 м<sup>2</sup>/га. Так же видно, что большая часть значений лежит во временном интервале от 2.4 – 2.6 секунд.

**Заключение.** Выполнен эксперимент по определению времени обнаружения *GPS* сигнала в условиях затенения городской застройкой. Экспериментально установлено, что в условиях затенения посредством городской застройки время обнаружения *GPS* сигнала в среднем выше на 2 секунду относительно идентичных условий без затенения. Определено, что время обнаружения *GPS* сигнала прямо пропорционально возрастает с увеличением плотности городской застройки.

**Список литературы**

1. High-precision positioning for single-frequency satellite navigation receivers using inertial sensors / D. Pershin, A. Scherbakov / *Institute of Informatics Systems SB RAS – Novosibirsk*, 2017 – 5 p.
2. *Astronomy and Geomatics Research Group, GPS data processing: code and phase Algorithms, Techniques and Recipes – Barcelona, Spain, 2001*
3. High accuracy positioning for single-frequency satellite navigation receivers using inertial sensors / A. Shcherbakov, D. Pershin // *Novosibirsk State University – Novosibirsk, 2011 – 7 p. – MNSK-2011*
4. Control of transport routes with cell phones / I.V. Neznanov, D.E. Namiot // *International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 3, no. 8, 2015*

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

**INFLUENCE OF SHADING BY CITYSCAPE ON GPS SIGNAL DETECTION TIME USING AN IOS-BASED MOBILE SYSTEM**

*Sakalouski U.E.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Madveika S.I. – PhD, associate professor, head of the department of ETT*

**Annotation.** The influence of urban density on the GPS signal detection time using a mobile system based on iOS has been presented. It was found that under the conditions of urban shading the time of GPS signal detection increases in proportion to the density of buildings, and can reach a value of 4.89 seconds at a density of urban building of  $13\ 216\ m^2/ha$

**Keywords:** shading, GPS signal, iOS mobile device, urban development