

УДК 53.083.7, 537.86

**ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЮ ОБЪЕКТОВ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ
ПРИ ПОМОЩИ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ
ХАОТИЧЕСКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ**

Ицков В.В., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В.

*ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН»
Москва, Российская Федерация*

Аннотация. Рассматривается задача беспроводного позиционирования объектов на основании измерения мощности СШП хаотических радиопульсов. Описываются радиомодули, позволяющих проводить экспериментальные исследования по измерению расстояния и позиционированию при помощи хаотических радиопульсов. Приводятся результаты беспроводного измерения расстояния между излучателем СШП хаотического сигнала и приемником и позиционирования излучателя на плоскости относительно системы приемников.

Ключевые слова: позиционирование внутри помещений, сверхширокополосные хаотические радиопульсы.

**EXPERIMENT ON INDOOR OBJECTS POSITIONING BY MEASURING THE POWER
OF ULTRAWIDEBAND CHAOTIC RADIO PULSES**

Itskov V.V., Efremova E.V., Kuzmin L.V.

*Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics
Moscow, Russian Federation*

Abstract. The problem of wireless positioning of objects based on measuring the power of UWB chaotic radio pulses is considered. Radio modules that allow experimental studies on distance measurement and positioning using chaotic radio pulses are described. The results of wireless measurement of the distance between the UWB chaotic signal emitter and the receiver and the positioning of the emitter on a plane relative to the receiver system are presented.

Key words: indoor positioning, ultra-wideband chaotic radio pulses.

Адрес для переписки: Ицков В.В., Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, ул. Моховая, 11/7, 129005, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vadim.itskov@phystech.edu

Точное позиционирование внутри помещений, где недоступны глобальные системы позиционирования (GNSS), играет важную роль в развитии современных систем Интернета Вещей, промышленной автоматизации и предоставлении пользовательских сервисов.

Технические характеристики различных радиотехнологий, таких как WiFi, Bluetooth, UWB, mmWave, их достоинства и недостатки широко обсуждаются в научной периодике [1; 2].

Приведенные в упомянутых работах данные показывают, что характерные точности позиционирования варьируются для: Wi-Fi в пределах ~1–3 м; Bluetooth в пределах ~2–5 м; RFID в пределах ~2 м; ZigBee в пределах ~3–5 м; UWB в пределах ~0,1–0,5 м. На сегодняшний день технологии на основе UWB – единственный класс радиосистем стабильно демонстрирующий в реальном беспроводном канале возможность получения сантиметровой точности, что достигается за счет расширения полосы радиосигнала.

В данной работе для решения задачи измерения расстояния и позиционирования используется радиосистема, в которой применяются приемопередатчики микроволнового диапазона на

основе сверхширокополосных (СШП) хаотических радиопульсов [3].

Приемопередатчики выполнены в виде СШП модемов (рисунок 1). Конструкция СШП модема разрабатывалась для использования в паре с макетными платами разработчиков, имеющими разъем ST Morpho Connector. Модем предназначен для работы в паре с платами разработчиков на базе FPGA или STM32. Модем является RF-front-end устройством, состоящим из передающей и приемной части и включает в себя генератор хаотического сигнала, усилитель мощности, ключ, антенну, малошумящий усилитель, логарифмический детектор, компаратор.

Хаотические сигналы имеют шумоподобный характер колебаний, широкий спектр мощности, узкую автокорреляционную функцию. В средах с многолучевым распространением такие сигналы не подвержены многолучевым замираниям, а накопление сигнала позволяет отстроиться от вариаций мощности сигнала в пределах СШП хаотического радиопульса.

Полоса частот хаотического сигнала определяется свойствами нелинейной динамической системы генератора хаоса, а не длительностью

импульса как в системах на основе ультракоротких импульсов [4]. Это позволяет варьировать длительность хаотического радиоимпульса в широких пределах без изменения спектральных характеристик сигнала. и может меняться в широких пределах. В многолучевых условиях распространения длительность импульса может быть намного больше многолучевого отклика канала, поэтому мощность сигнала в импульсе можно надежно оценить по огибающей радиоимпульса даже при относительно низкой частоте оцифровки сигнала.

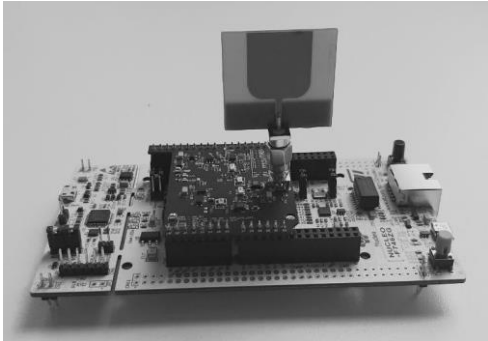


Рисунок 1 – Фото приемника хаотических радиоимпульсов (якоря) на базе платы разработчика STM32 Nucleo-F746ZG

Измерение расстояния между излучателем и приемником происходит по следующей схеме. Передающее устройство (излучатель, координаты которого подлежат определению) формирует и излучает в эфир поток хаотических радиоимпульсов. Приемное устройство, чьи координаты известны, детектирует поступающие радиоимпульсы, и измеряет амплитуду их огибающей A , однозначно связанную с мощностью P . Измерение амплитуды огибающей происходит путем сравнения ее с пороговым значением напряжения в приемнике.

На основании измеренной мощности сигнала P расстояние между излучателем и приемником может быть найдено по известному закону затухания сигнала в беспроводном канале связи:

$$P_d = P_0 + 10n \log(d/d_0), \quad (1)$$

где P_0 – мощность сигнала на референсном расстоянии d_0 между излучателем и приемником сигнала, P_d – мощность сигнала на расстоянии d между приемником и излучателем, а n – показатель затухания в реальном беспроводном канале.

Эксперимент по измерению расстояния между излучателем и приемником (1D) и по определению местоположения (2D) излучателя относительно нескольких приемников проводился в офисном помещении $6 \times 6,5$ м.

Среднеквадратичная ошибка измерения расстояния составила 39 см, среднеквадратичная ошибка измерения координат излучателя – 42 см.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00883, <https://rscf.ru/project/23-29-00883/>.

Литература

1. A Survey of Indoor Location Technologies, Techniques and Applications in Industry / S.J. Hayward [et al.] // Internet of Things. – 2022. – V. 20, 100608.
2. Sesyuk, A. Survey of 3D Indoor Localization Systems and Technologies / A. Sesyuk, S. Ioannou, M. Raspopoulos // Sensors. – 2022. – V. 22, 9380.
3. Qualitative Theory Of Dynamical Systems, Chaos And Contemporary Wireless Communications / Yu.V. Andreyev [et al.] // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2005. – V. 15, № 11. – P. 3639.
4. Zhang, J. Role of pulses in ultra wideband systems / J. Zhang, T.D. Abhayapala, R.A Kennedy // In Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, Zurich, Switzerland, 5–8 September 2005. – 2005. – P. 565–570.