

# Исследование системы передачи данных на базе технологии UWB

T V Krasnov, V F Garifullin, D S Feoktistov, V N Bondarenko and T N Baturin  
Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., 660041, Krasnoyarsk, Russia

vadimgar@mail.ru

**Abstract.** В работе проведен анализ системы передачи данных на базе технологии UWB для беспилотных надводных аппаратов. Представлены главные достоинства применения сверхширокополосных сигналов. Показано, что подобная система связи позволяет обеспечить скорость передачи в несколько десятков Мбит/с при протяженности радиотрассы не более 10 м.

## 1. Введение

В настоящее время все чаще работы, выполняемые машинами под управлением человека, стали проводиться при помощи автономных систем. Технические системы, управляемые людьми, при нынешнем уровне развития электронных и других схем в большинстве случаев обходятся дороже и выходят больше, как минимум, за счет того, что приходится затрачивать ресурсы на органы управления, места размещения экипажа, системы жизнеобеспечения и спасения.

Так применение беспилотных летательных аппаратов уже поставлено на поток, их используют повсеместно, в особенности для решения военных и мониторинговых задач. В то же время возрастает интерес и к беспилотным надводным аппаратам (БНА), с помощью которых можно решить вопрос по контролю прибрежной и надводной зон и анализа движения морских судов в рамках патрулирования. Осуществление подобного непрерывного мониторинга позволяет предупредить угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Объем данных, собираемых при таких патрулированиях, может достигать до 10-100 гигабайт. Для обеспечения автономности и повышения скорости извлечения информации с бортовых носителей БНА авторами работы предлагается применение высокоскоростной и беспроводной системы передачи данных.

В основу данной системы положена технология UWB (UltraWideBand), которая обеспечивает высокоскоростную передачу информации на расстояниях до 100 м. Такую технологию можно считать оптимальной из-за того, что сверхширокополосный сигнал имеет широкий радиочастотный диапазон от 3100 до 10600 МГц, благодаря которому может передавать по беспроводным каналам внушительные по объему данные за короткий промежуток времени [1]. В данном рабочем диапазоне спектральная плотность мощности сигнала ограничивается значением в 41,5 дБм/МГц. При этом такой сигнал практически сливается с уровнем шума, потому UWB-сигналы не нужно лицензировать. При сочетании малого энергопотребления и импульсного характера передачи данных можно получить

высокую скорость передачи данных без негативного влияния со стороны других беспроводных сетей. Технология UWB является идеальным вариантом для передачи видеоданных.

Дальность действия системы связи рассчитывается при фиксированной максимально допустимой средней мощности излучения. Для передачи цифровой информации можно использовать наиболее простой метод ее передачи посредством амплитудной манипуляции с пассивной паузой, при этом каждый информационный бит передается одним импульсом. В данном случае фиксированная средняя мощность излучения определяет число импульсов, излученных в единицу времени, т.е. скорость передачи информации. Данный вид модуляции энергетически наименее выгоден. Однако он проще в аппаратной реализации, а значит наиболее перспективен.

## 2. Исследование системы передачи данных

В соответствии с техническими параметрами оборудования, используемом при выполнении данной работы, были выбраны следующие параметры: длительность излучаемого импульса - 0,5 нс, полоса рабочей частоты: 3100...5100 МГц, допустимая спектральная плотность мощности UWB-сигнала в рабочей полосе -  $7,413 \cdot 10^{-14}$  Вт/Гц (в соответствии со стандартами электромагнитной совместимости Международного Электротехнического Комитета).

Теорема Шеннона-Хартли гласит о том, что количество информации, передаваемой в единицу времени, пропорциональна ширине полосы сигнала. В связи с этим сверхширокополосные сигналы могут обеспечивать очень большое количество каналов связи, так как для передачи коротких импульсов требуется малый промежуток времени, поэтому в эфире одновременно "без столкновений" может быть множество таких сигналов [2]. Обеспечивается независимость от замираний из-за малой длительности импульса, что особенно важно для мобильных систем. Еще одним достоинством UWB-технологии, в сравнении с близкими по скорости обмена системами на инфракрасных лучах, является возможность работы системы в условиях не прямой видимости.

Для оценки особенностей приема UWB-сигнала проводилось имитационное моделирование, параметры канала определены в соответствии с стандартизированной в IEEE модели Saleh-Valenzuela. Период одного символа сигнала - 2 нс, период выборки - 20 пс. Протяженность радиоканала была выбрана менее 5 м и от 5 до 10 м. Результаты моделирования показаны на рисунках ниже, на которых приведены импульсные характеристики канала для случаев прямой видимости (рис. 1,2) и ее отсутствии (рис. 3,4).

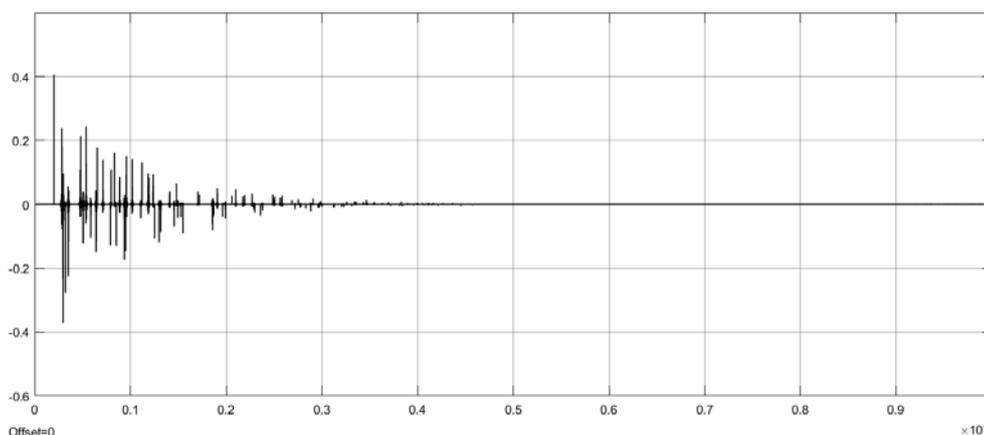


Рисунок 1 – Импульсная характеристика канала модели Saleh-Valenzuela в случае прямой видимости при дальности менее 5 м

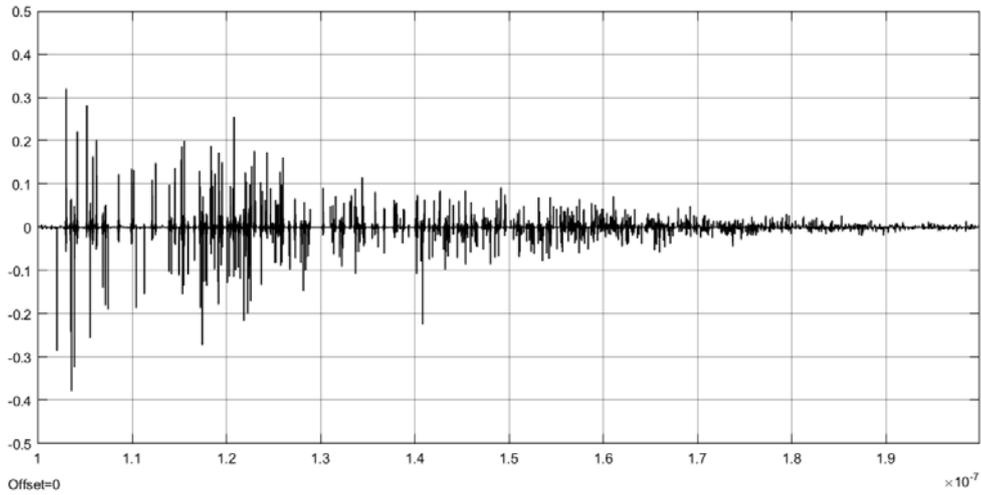


Рисунок 2 – Импульсная характеристика канала модели Saleh-Valenzuela в случае прямой видимости при дальности 5-10м

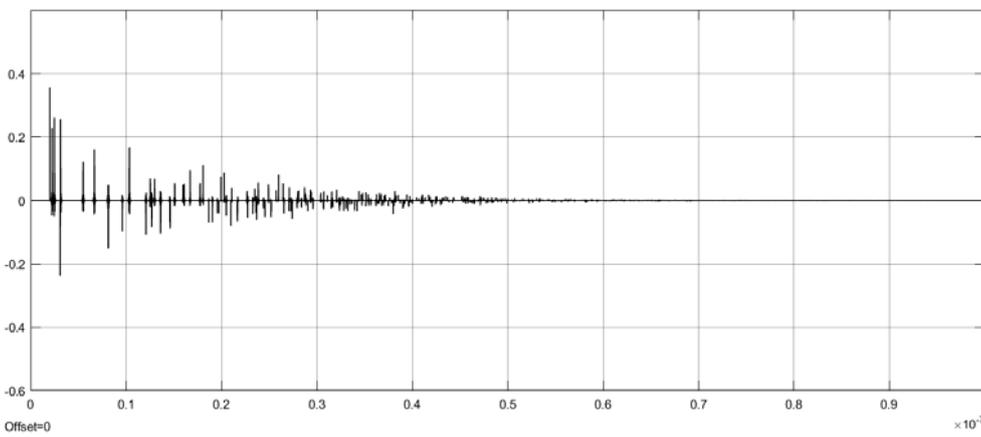


Рисунок 3 – Импульсная характеристика канала модели Saleh-Valenzuela в отсутствии прямой видимости при дальности менее 5 м

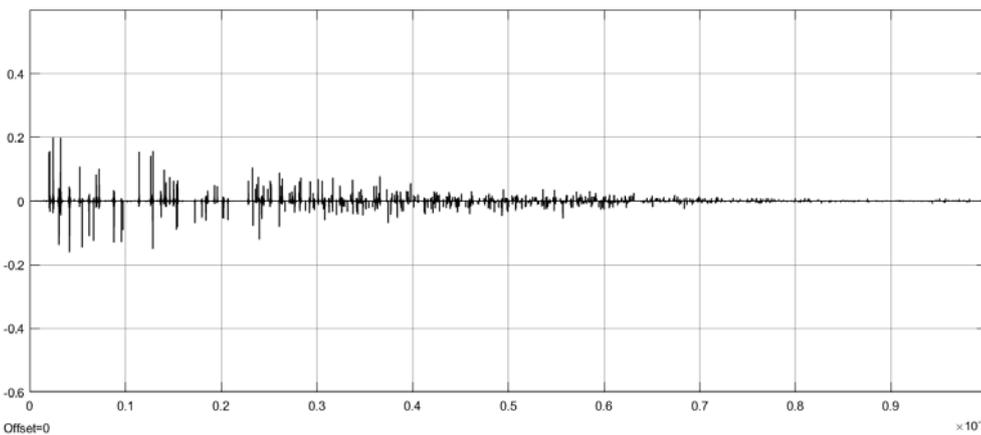


Рисунок 4 – Импульсная характеристика канала модели Saleh-Valenzuela в отсутствии прямой видимости при дальности 5-10м

При прохождении каналов с меньшей дистанцией передачи происходит концентрация в 2-3 кластера с небольшой задержкой. С увеличением расстояния кластеры становятся больше,

увеличивается задержка из-за разных скоростей приема кластеров. Коэффициент усиления в каналах с расстоянием от 4 до 10 метров снижается быстрее из-за увеличения дистанции, в сравнении с каналами, расстояние которых менее 4 метров.

Распространение сигналов над земной поверхностью на большие расстояния приводит к затуханию и искажению формы, но при этом влияние многолучевости значительно снижается.

Импульсная форма передаваемых сигналов подвергается расширению и уплощению конечного импульса при сохранении его формы. При использовании очень коротких импульсов (до 0,1 нс) искажения становятся столь значительными, что извлечение информации из временной зависимости становится невозможным.

Проанализировав полученные данные, следует, что UWB технология продуктивна лишь для передачи данных на расстоянии не более 10 метров. Однако в сравнении с другими традиционными технологиями связи, UWB позволяет обеспечить работу в общих полосах частот с другими системами. Кроме того, одно из существенных достоинств UWB – отсутствие интерференции прямо распространяющегося сигнала с его отражениями от различных объектов. В устройствах, использующих СШП технологию, сигнал попадает в коррелятор с задержкой, и будет воспринят как случайная помеха, которая никак не воздействует на основной сигнал.

Ниже приводится оценка возможного объема данных для приема-передачи в пределах 5-10 метров.

Дальность действия системы связи определяется выражением:

$$D = \frac{P_{TRpeak} G_{TR} G_{RV} (c\tau)^2}{16\pi^2 P_{RV}} \quad (1)$$

где  $P_{TRpeak}$  - пиковая мощность передатчика;  $G_{TR}$  - коэффициент усиления антенны передатчика (примем равным 1);  $G_{RV} = 1$  - коэффициент усиления антенны приемника;  $c$  - скорость света;  $\tau$  - длительность излучаемого UWB-импульса;  $P_{RV}$  - чувствительность приемника.

Пиковая мощность передатчика определяется как:

$$P_{TRpeak} = P_{TRmean} \cdot \frac{T}{\tau} = \frac{P_{TRmean}}{\tau \cdot V} \quad (2)$$

где  $V$  - скорость передачи информации, бит/с;  $P_{TRmean}$  - предельная средняя мощность, которая рассчитывается следующим образом  $P_{TRmean} = N_{UWB} \cdot \Delta f_{UWB}$ ;  $N_{UWB} = 7,41 \cdot 10^{-14}$  - допустимая спектральная плотность мощности UWB-сигнала, Вт/Гц;  $\Delta f_{UWB} = 2$  - полоса пропускания приемника, ГГц.

Чувствительность приемника описывается выражением:

$$P_{RV} = N_{RV} \cdot q \quad (3)$$

где  $N_{RV}$  - уровень шума, действующий в рабочей полосе UWB-приемника;  $q$  - отношение сигнал/шум на входе приемника, требуемое для обеспечения заданной вероятности ошибки на бит.

Уровень шума  $N_{RV}$  определяется следующим образом:

$$N_{RV} = k \cdot T_K \cdot \Delta f_{UWB} \cdot N \quad (4)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  - постоянная Больцмана, Дж/К;  $T_K = 293$  - абсолютная температура, К;  $N = 10$  - коэффициент шума приемника.

Для достижения вероятностей ошибки на бит  $BER=10^{-3}$  величина отношения сигнал/шум  $q=30$  и для  $BER=10^{-6}$  величина отношения сигнал/шум  $q=70$ .

Исходя из вышеизложенного, зависимость дальности действия системы от скорости передачи данных будет определять следующим выражением:

$$D = \frac{N_{UWB} \cdot c^2 \cdot \tau}{16\pi^2 k \cdot T_K \cdot N \cdot q} \cdot \frac{1}{V} \quad (5)$$

В соответствии с выражением (5) был построен график (рис. 5) зависимости дальности действия системы связи от скорости передачи данных.

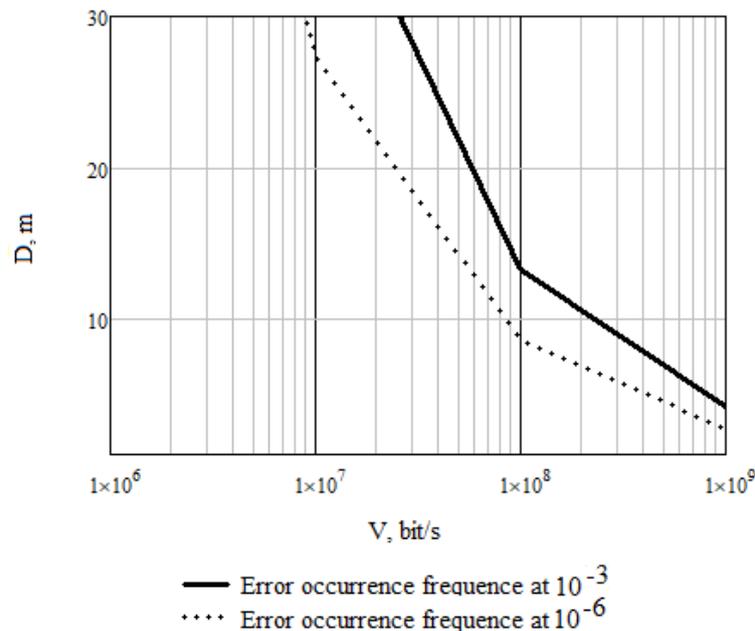


Рисунок 5 – Зависимость дальности действия системы связи от скорости передачи данных

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что UWB технология продуктивна лишь для передачи данных на расстоянии менее 10 м. При этом в отличие от других традиционных технологий связи, UWB позволяет обеспечить работу в общих полосах частот с другими системами, т.е. достигается высокая степень скрытности и защищенности. Это определяется низкой спектральной плотностью мощности UWB-сигнала, который воспринимается на входе приемников обычных радиосистем как шум.

## Литература

- [1] *Иммореев И., Судаков А.* Сверхширокополосные и узкополосные системы связи. Совместная работа в общей полосе частот // *Электроника: НТБ.* 2003 № 2
- [2] *Gholami M R, Strom E G, Rydstrom M* 2009 Indoor sensor node positioning using UWB range measurements // *17th European Signal Processing Conference 1943–1947*
- [3] *Дмитриев Ю.А., Клецов А.В.* Применение радиопередатчиков на основе сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов для решения задачи позиционирования, *Труды МФТИ*, 4(2), 2012 С.30-39.
- [4] *Immoriev I Y* 2010 Practical applications of UWB technology // *IEEE Aerospace and Electronic System Magazine* 25(2) 36-42
- [5] *Rahayu Yusnita, Rahman Tharek Abd., Ngah Razali, Nail P S* 2008 Ultra wideband technology and its applications// *5<sup>th</sup> IFIP International Conference on WOCN*
- [6] *Chehri A, Fortier P and Tardif P-M* 2018 Time delay estimation for UWB non coherent receiver

in indoor environment, from theory to practice // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 4 264–276

- [7] Gisl T, Preishuber-Pfluegl J, Arnitz D and Witrisal K 2009 Experimental characterization of ranging in IEEE802.15.4a using a coherent reference receiver // 20th International Symposium in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 92–96

#### **Благодарности**

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Красноярского края в рамках научного проекта № 19-47-240005.