ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58082— 2018 (ИСО/МЭК 24730-62: 2013)

Информационные технологии

СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ (RTLS)

Часть 62

Сверхширокополосный радиоинтерфейс с высокой частотой повторения импульсов

(ISO/IEC 24730-62:2013, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «РТЛС исследования и разработки» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 355 «Технологии автоматической идентификации и сбора данных»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 февраля 2018 г. № 104-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО/МЭК 24730-62:2013 «Информационные технологии. Системы позиционирования в реальном времени (RTLS). Часть 62. Сверхширокополосный радиоинтерфейс с высокой частотой повторения импульсов» (ISO/IEC 24730-62:2013 «Information technology — Real-time locating systems (RTLS) — Part 62: High rate pulse repetition frequency Ultra Wide Band (UWB) air interface», MOD) путем изменения ссылок, которые выделены в тексте курсивом и подчеркиванием сплошной горизонтальной линией. Подробная информация об изменении ссылок и объяснения причин изменений приведены в приложении ДБ. Дополнительные пояснения причин изменения ссылок выделены путем заключения их в рамки из тонких линий.

В приложении ДА приведены терминологические статьи из международного документа [15].

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДВ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 Некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектами патентных прав. Организации ИСО и МЭК не несут ответственности за установление подлинности каких-либо или всех таких патентных прав

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2018

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины, определения и сокращения . . . 2
3.1 Термины и определения . . . 2
3.2 Сокращения . . . 3
4 Обзор . . . 4
4.1 Компоненты . . . 4
4.2 Не подпадает под стандарт . . . 4
4.3 Система . . . 5
4.4 Структура документа . . . 5
5 Спецификации физического уровня . . . 5
5.1 Общие замечания . . . 5
5.2 Режим метки по умолчанию для сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой частотой повторения импульсов . . . 6
5.3 Формат блока PPDU . . . 6
5.4 Модуляция физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса . . . 18
5.5 Радиочастотные требования к физическому уровню сверхширокополосного радиоинтерфейса . . . 22
5.6 Метки времени и единицы измерения времени . . . 25
6 Основной формат сообщения . . . 25
6.1 Структура сообщений и правила обработки . . . 25
6.2 Последовательность проверки кадра (FCS) . . . 26
7 Однонаправленная связь — блинк-посылка . . . 27
7.1 Кодирование кадров блинк-посылок с идентификаторами меток по ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963 . . . 27
7.2 Кодирование кадров блинк-посылок с идентификатором метки по [18] . . . 30
8 Двухсторонняя связь — информационные сообщения . . . 33
8.1 Информационные сообщения . . . 33
8.2 Работа двусторонней связи . . . 35
Приложение А (справочное) Использование [19] и настоящего стандарта для приложений RTLS . . . 43
Приложение ДА (справочное) Термины и определения из международного документа [15] . . . 52
Приложение ДБ (справочное) Перечень изменений ссылок в настоящем стандарте относительно ИСО/МЭК 24730-62:2013 и объяснения причин изменений . . . 54
Приложение ДВ (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте . . . 56
Библиография . . . 57

Введение

Эта серия стандартов определяет единый протокол радиоинтерфейса для систем позиционирования, используемых в управлении активами, и имеет целью обеспечить совместимость и способствовать интероперабельности продуктов на растущем рынке RTLS.

Настоящий документ устанавливает сверхширокополосный радиоинтерфейс с высокой частотой повторения импульсов как технический стандарт для систем позиционирования в реальном времени, которые работают в международно доступных сверхширокополосных частотных диапазонах и которые предназначены для обеспечения точного позиционирования (например, в пределах нескольких десятков сантиметров) с частыми обновлениями (например, один раз в секунду).

Системы позиционирования в реальном времени являются беспроводными системами, способными определять местонахождение предмета в любом месте определенного пространства (локальные, региональные, глобальные) в текущий момент времени или близко к реальному времени. Положение определяется путем измерений физических свойств радиоканала связи.

Концептуально существуют четыре классификации RTLS:

- позиционирование актива через спутник — требует прямой видимости, точность — до 10 метров;
- позиционирование актива в контролируемой зоне, например на складе, территории предприятия, в аэропорте — интересующая территория оборудуется приборами, точность — до 3 метров;
- позиционирование активов в более ограниченной зоне — интересующая территория оборудуется приборами, точность — до десятков сантиметров;
- позиционирование актива на земной поверхности — с помощью наземных приемников, охватывающих большое пространство (например, вышек сотовой связи), точность — 200 метров.

Следует упомянуть еще два метода позиционирования объекта, которые, скорее, в действительности относятся к технологии радиочастотной идентификации (RFID), а не RTLS:

- позиционирование активов, основанное на том, что актив в определенное время прошел точку A и не прошел точку B;
- позиционирование актива благодаря подаче сигнала самонаведения, посредством которого человек с ручным устройством может найти актив.

Метод обнаружения заключается в идентификации и определении местонахождения, как правило, через мультилатерацию.

Типы:

- системы определение расстояния по времени распространения сигнала;
- амплитудная триангуляция;
- разница времени прибытия (TDOA);
- сотовая триангуляция;
- спутниковая мультилатерация;
- угол прибытия.

Настоящий стандарт определяет протокол радиоинтерфейса, необходимый для создания систем RTLS, использующих сверхширокополосный радиосигнал с высокой частотой повторения импульсов, который является механизмом сигнализации физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса (на основе *[13]*) и использует высокую частоту повторения импульсов (ВЧПИ) 16 или 64 МГц и комбинацию пакетно-позиционной модуляции (BPM) с двоичной фазовой манипуляцией (BPSK).

Дополнительные пояснения текста стандарта приведены в сносках и выделены курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ (RTLS)

Часть 62

Сверхширокополосный радиоинтерфейс с высокой частотой повторения импульсов

Information technology. Real time locating systems (RTLS). Part 62.
High rate pulse repetition frequency Ultra Wide Band (UWB) air interface

Дата введения — 2019—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет радиоинтерфейс для систем позиционирования в реальном времени (RTLS), используя механизм сигнализации физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса (основанный на *[13]*). Эта схема модуляции, используя высокую частоту повторения импульсов 16 или 64 МГц и комбинацию пакетной-позиционной модуляции (burst position modulation, BPM) с двоичной фазовой манипуляцией (binary phase-shift keying, BPSK), обеспечивает очень высокий уровень эффективности с полностью когерентным приемником.

В дополнение к определению протокола радиоинтерфейса на основе модуляции физического уровня настоящий стандарт определяет протокол радиоинтерфейса, исходя из передаваемых по радиоканалу сообщений. Этот протокол радиоинтерфейса поддерживает простую однонаправленную передачу базовой блинк-посылки, которая может быть использована для RTLS на основе однонаправленного позиционирования методом измерения разницы времени прибытия (TDOA), где мобильные метки периодически передают блинк-посылки, которые получает инфраструктура, состоящая из ряда фиксированных узлов считывания.

Этот протокол также опционально поддерживает двухстороннюю связь и двухстороннее измерение расстояния между устройствами считывания и метками RTLS. Поддержка двухстороннего измерения расстояния требует дополнительного включения сверхширокополосного приемника в метку и сверхширокополосных передатчиков в инфраструктуру считывания.

Обязательный по умолчанию рабочий режим обеспечивает взаимодействие между метками и инфраструктурой различных изготовителей, а наличие нескольких дополнительных возможностей (опций) предлагает разработчику инфраструктуры гибкость, чтобы адаптировать поведение системы в целом к конкретным потребностям применения.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963—2011 Информационные технологии. Радиочастотная идентификация для управления предметами. Уникальная идентификация радиочастотных меток

ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-1—2011 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 1. Общие термины в области АИСД

Издание официальное

ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-2—2011 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 2. Оптические носители данных (ОНД)

ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3—2011 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 3. Радиочастотная идентификация

ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4—2011 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 4. Общие понятия в области радиосвязи

Примечания

1 Ссылка на ISO/IEC/IEEE 8802-15-4 перенесена в библиографию [15], поскольку в приложении ДА настоящего стандарта приведены терминологические статьи из указанного документа, на которые содержится ссылка в разделе 2 ИСО/МЭК 24730-62.

2 ИСО/МЭК 24730-62:2013 содержит ссылку на ИСО/МЭК 19762 «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации сбора данных. Гармонизированный словарь (все части)» [ISO/IEC 19762 Information technology — Automatic identification and data capture (AIDC) techniques — Harmonized vocabulary — (all parts)]. На момент публикации ИСО/МЭК 24730-62:2013 действовал ИСО/МЭК 19762:2008, состоящий из пяти частей. На основе частей 1—4 ИСО/МЭК 19762:2008 были подготовлены идентичные национальные стандарты: ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-1—2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-2—2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3—2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4—2011. На момент принятия настоящего стандарта версия ИСО/МЭК 19762:2008 отменена и действует новая версия международного стандарта [16], которая объединяет в одном документе все ранее опубликованные части и содержит русскую версию.

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-1, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-2, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4, [15],* а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **пачка импульсов** (burst): Группа сверхширокополосных импульсов, имеющих место в последовательные периоды элемента сигнала.

3.1.2 **комплексный канал** (complex channel): Комбинация канала (на центральной радиочастоте) и троичной кодовой последовательности.

3.1.3 **кадр** (frame): Формат агрегированных битов, которые передаются вместе во времени.

3.1.4 **гибридная модуляция** (hybrid modulation): Модуляция, используемая на физическом уровне сверхширокополосного радиоинтерфейса, которая сочетает в себе двоично фазовую манипуляцию (BPSK) и пакетно-позиционную модуляцию (BPM), так что для демодуляции сигнала могут быть использованы как когерентные, так и некогерентные приемники.

3.1.5 **период молчания** (idle period): Период времени, в течение которого работа приемопередатчика не предусмотрена.

3.1.6 **внутренний синхронизирующий сигнал** (local clock): Внутренний синхронизирующий сигнал устройства.

3.1.7 **средняя частота повторения импульса (частота PRF)** [mean pulse repetition frequency (PRF)]: Полное число импульсов в символе, деленное на продолжительность символа.

3.1.8 **подлежащие передаче данные** (payload data): Информация, которая должна быть передана сообщением.

3.1.9 **максимальная частота повторения импульса (частота PRF)** [peak pulse repetition frequency (PRF)]: Максимальная частота, с которой физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса передает импульсы.

3.1.10 **кадр измерения расстояния (кадр RFRAME)** [ranging frame (RFRAME)]: Сверхширокополосный кадр, содержащий в заголовке физического уровня набор битов измерения расстояния.

3.1.11 **опорный маркер (маркер RMARKER)** [ranging marker (RMARKER)]: Первый сверхширокополосный импульс первого бита заголовка физического уровня кадра измерения расстояния.

3.1.12 **символ** (symbol): Временной отрезок и порция переданного сигнала, которые логически рассматриваются как единичное событие передачи сообщения, передающее некоторое определенное число битов данных или повторяющуюся порцию синхронизирующего сигнала.

Примечание — Подраздел 3.1 ИСО/МЭК 24730-62:2013 содержит ссылку на [15]. Термины и их определения документа [15] указаны в дополнительном приложении ДА настоящего стандарта.

3.2 Сокращения

АРУ — автоматическая регулировка усиления (AGC);
API — прикладной программный интерфейс;
BPM — пакетно-позиционная модуляция;
BPSK — двоичная фазовая манипуляция;
CRC — контроль циклическим избыточным кодом;
DPS — динамический выбор преамбулы;
DSN — номер пакета данных;
FCS — контрольная последовательность кадра;
FEC — прямая коррекция ошибок;
ВЧПИ — высокая частота повторения импульсов (HRP);
РСЛОС — регистр сдвига с линейной обратной связью (LFSR);
НЧПИ — низкая частота повторения импульсов (LRP);
МЗБ — младший значащий бит (LSB);
MAC — управление доступом к среде;
MSB — старший значащий бит;
PHR — заголовок физического уровня;
PHY — физический уровень;
PPDU — блок данных протокола (protocol data unit — PDU) физического уровня;
PRBS — псевдослучайная двоичная последовательность;
ЧПИ — частота повторения импульса (PRF);
PSD — спектральная плотность мощности;
PSDU — блок служебных данных физического уровня;
RF — радиочастота;
RFID — радиочастотная идентификация;
RFRAME — кадр измерения расстояния;
RMARKER — маркер измерения расстояния;
RTLS — система позиционирования в реальном времени;
RX — прием или приемник;
SFD — разделитель начала кадра;
SHR — заголовок синхронизации, синхронизирующая преамбула;
SNR — отношение сигнал/шум;
SYNC — синхронизация;
TDOA — разница во времени прибытия (радиосигнала);
TOF — время полета (распространения радиосигнала).

4 Обзор

4.1 Компоненты

Основные составные части системы позиционирования в реальном времени (RTLS) и взаимосвязь этих компонентов показаны на рисунке 1. Как показано на этом рисунке, метки взаимодействуют с инфраструктурой. Инфраструктура предоставляет прикладной программный интерфейс (API), через который приложение может контролировать систему RTLS и получать информацию о месте нахождения и состоянии меток.

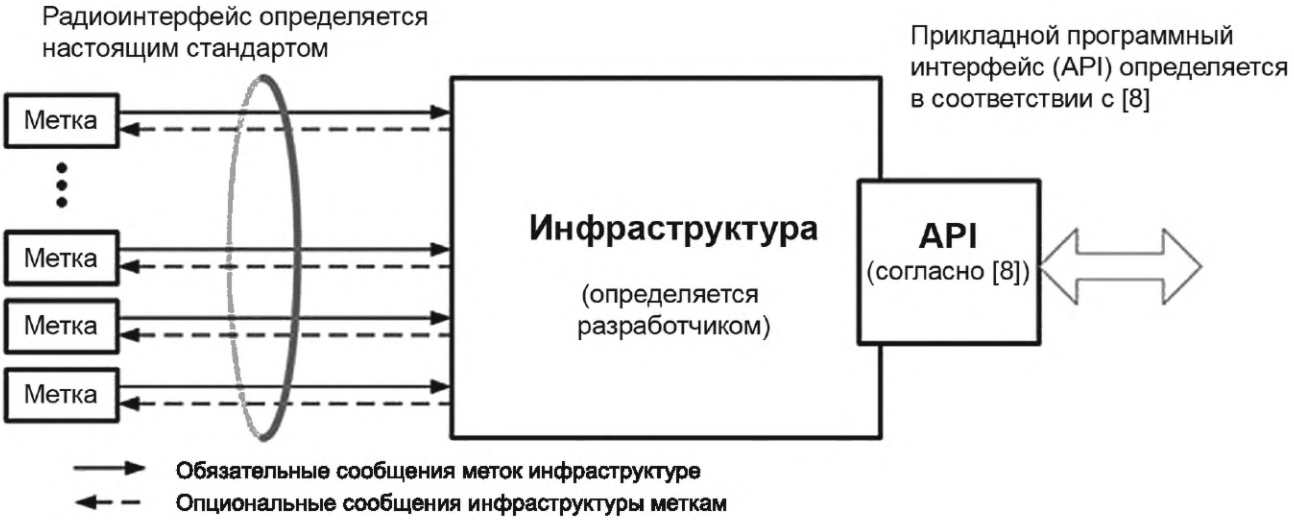


Рисунок 1 — Составные части системы RTLS

Как показано на рисунке 1, метки общаются с инфраструктурой через радиоинтерфейс. Как правило, радиоинтерфейс включает определение формы сигналов, форматов пакетов, а также команд и отчетов для обмена между метками и инфраструктурой. Это может быть представлено на уровневом подходе, как показано на рисунке 2. Подобные объяснения можно найти в других стандартах, например в *[17]*.

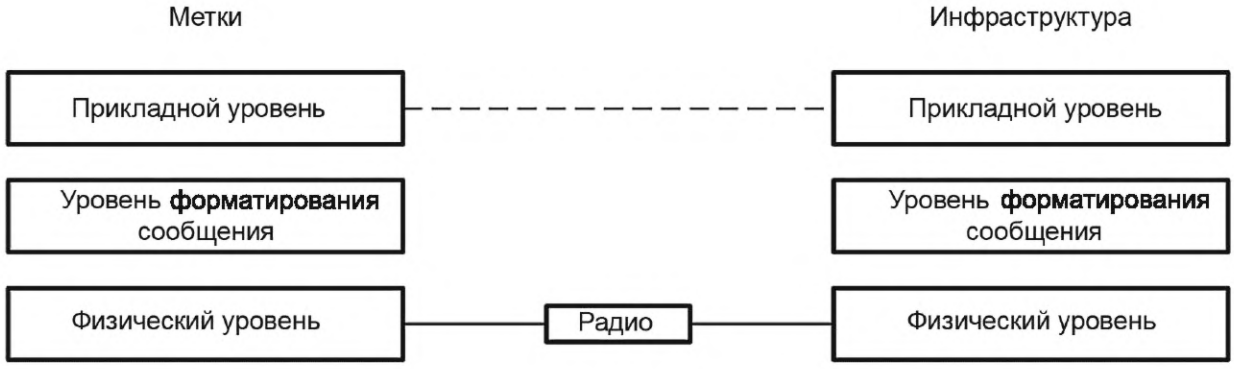


Рисунок 2 — Уровни радиоинтерфейса

4.2 Не подпадает под стандарт

Проектирование инфраструктуры полностью оставлено разработчику, например плотность узлов считывания RTLS, то, как узлы считывания управляются и общаются друг с другом, развертывание инфраструктуры и тому подобное может быть разным в различных сценариях и для систем разных поставщиков. В типичных RTLS, чтобы определить местонахождение метки, по крайней мере три RTLS узла считывания должны получить блинк-посылку от метки и измерить время ее прибытия.

4.3 Система

После включения питания метка использует профиль по умолчанию, согласно которому она периодически посылает блинк-посылки. В каждой блинк-посылке метка сообщает свой физический адрес и дополнительную информацию о том, где и когда она может получать команды от инфраструктуры.

Инфраструктура может использовать время получения блинк-посылки несколькими синхронизированными узлами считывания, чтобы рассчитать местонахождение метки, используя механизмы TDOA.

Инфраструктура может принять решение (для меток с возможностью двухсторонней связи) скомандовать метке выполнить двустороннее измерение расстояния с рядом аналогичных по способностям узлов считывания в непосредственной близости. Отправляя команды метке в момент, когда метка слушает, инфраструктура может выбрать узлы считывания, с которыми метка выполняет двустороннее измерение расстояния. Кроме того, инфраструктура может адаптировать поведение метки к фактическим условиям, таким как количество меток в радиусе действия, количество доступных инфраструктурных узлов и т. д.

Когда метка с двухсторонней связью теряет подключение к инфраструктуре, то есть не получает никаких команд в течение определенного времени, она возвращается к режиму по умолчанию — периодической отправке блинк-посылок.

4.4 Структура документа

Настоящий стандарт прежде всего определяет и устанавливает требования к модуляции физического уровня, затем определяет основной формат сообщения, после чего подробно определяет сообщения режима работы по умолчанию — с односторонней связью и сообщения факультативного режима работы — с двусторонней связью.

5 Спецификации физического уровня

5.1 Общие замечания

Сверхширокополосный физический уровень радиочастотного интерфейса с высокой частотой повторения импульсов (ВЧПИ) использует среднюю частоту повторения импульсов, которая номинально составляет 16 МГц или опционально 64 МГц. Форма сигналов сверхширокополосного физического уровня основана на схеме импульсной радиопередачи, использующей импульсы данных в ограниченной полосе частот. Сверхширокополосный физический уровень поддерживает два независимых рабочих диапазона:

- низкочастотный, который состоит из четырех каналов и занимает спектр от 3,1 до 4,8 ГГц;
- высокочастотный, состоящий из одиннадцати каналов и занимающий спектр от 6,0 до 10,6 ГГц.

В каждом канале поддерживаются как минимум два комплексных канала, которые имеют уникальные коды синхронизирующего заголовка (SHR) длиной 31 символ. Сочетание канала и кода преамбулы называется комплексным каналом.

Сочетание пакетно-позиционной модуляции (BPM) с двоичной фазовой манипуляцией — (BPSK) используется для поддержки как когерентных, так и некогерентных приемников, использующих общую схему сигнализации. Сочетание BPM-BPSK используется для модуляции символов, где каждый символ состоит из активной пачки сверхширокополосных импульсов. Различные скорости передачи поддерживаются за счет использования пачек переменной длины.

Рисунок 3 показывает последовательность этапов обработки, используемых для создания и модулирования пакета. Последовательность действий, указанных здесь для передатчика, используется в качестве основы для объяснения создания сверхширокополосного сигнала. Следует обратить внимание, что часть рисунка 3, относящаяся к приемнику, является справочной и предназначена только в качестве ориентира к основным шагам, которые любой совместимый сверхширокополосный приемник должен реализовать для успешного декодирования передаваемого сигнала.

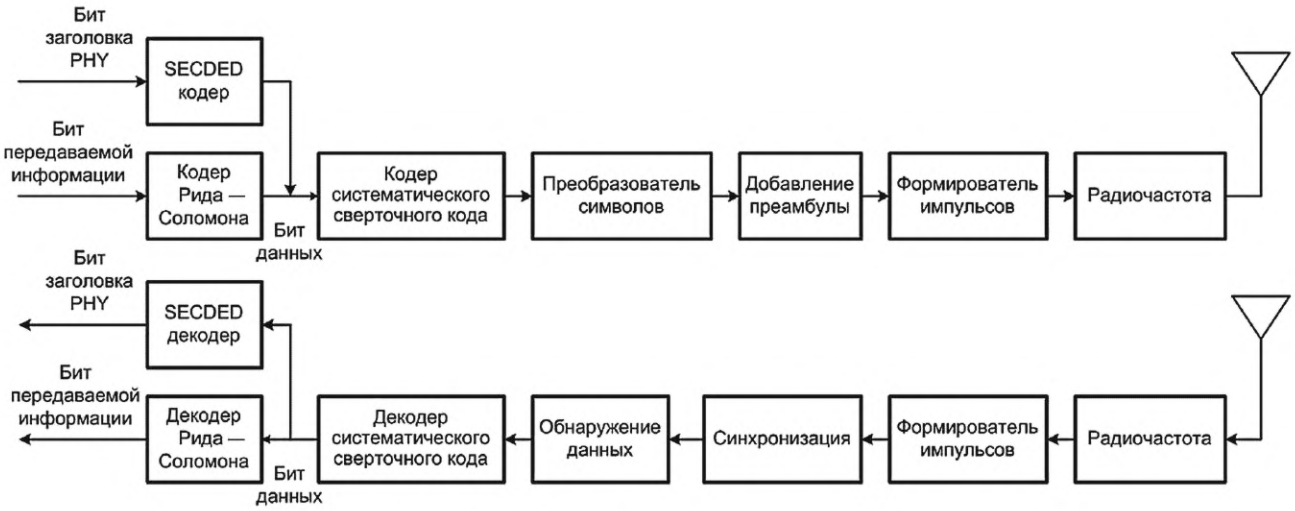


Рисунок 3 — Прохождение сигнала*

5.2 Режим метки по умолчанию для сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой частотой повторения импульсов

По умолчанию рабочие параметры для метки должны быть следующими:

- диапазоном по умолчанию, который используется меткой, должен быть канал 5. Он имеет центральную частоту 6489,6 МГц. Этот диапазон широко приемлемый и подходящий для использования во многих регионах мира;
- там, где национальные правила запрещают передачу в пределах этого диапазона по умолчанию, в качестве альтернативы может быть использован другой сверхширокополосный канал вместе со связанным с ним кодом преамбулы согласно таблице 6;
- номинальная используемая меткой ЧПИ должна быть 16 МГц;
- по умолчанию кодом преамбулы, используемым меткой для передачи блинк-посылок, должен быть код преамбулы 3;
- по умолчанию длина преамбулы должна составлять 256 символов. Если эта длина преамбулы не поддерживается меткой, в качестве альтернативы может быть использована преамбула длиной 1024 символа;
- по умолчанию скорость передачи данных должна быть 850 кб/с;
- по умолчанию периодичность отправки блинк-посылок должна составлять три секунды;
- к этому значению должны быть применены случайные колебания так, чтобы метки с близкими частотами кристаллов синхронизации не оставались длительное время заблокированными вследствие коллизии передачи.

5.3 Формат блока PPDU

Рисунок 4 показывает формат сверхширокополосного кадра, который состоит из трех основных компонентов: синхронизирующего заголовка (SHR), заголовка физического уровня (PHR) и блока сервисных данных физического уровня (PSDU). Для удобства структура пакетов блока PPDU представлена так, что крайнее левое поле, как написано в настоящем стандарте, должно быть передано или получено первым. Все многооктетные поля должны передаваться или приниматься, начиная с младшего значащего октета, а каждый октет должен передаваться или приниматься, начиная с младшего значащего бита (LSB). Тот же порядок передачи должен применяться к полям данных.

Преамбула заголовка SHR идет первой, за ней следует заголовок PHR и, наконец, блок PSDU. Преамбула заголовка SHR всегда отправляется на базовой для кода преамбулы скорости. Заголовок PHR передается с номинальной скоростью 850 кб/с для всех скоростей передачи данных выше 850 кб/с и с номинальной скоростью 110 кб/с для номинальной скорости передачи данных 110 кб/с. Блок PSDU отправляется с желаемой скоростью передачи данных информации, как определено в таблице 3 — параметры, зависящие от скорости и синхронизации.

---

* *На рисунке 3 SECDED — код с исправлением одной и обнаружением двух ошибок.*

5.3.1 Процесс кодирования блока PPDU

Процесс кодирования состоит из многих шагов, как показано на рисунке 4. Детали этих шагов полностью описаны в последующих подпунктах, как указано в следующем списке, который предназначен для облегчения понимания этих деталей:

a) выполняют кодирование Рида — Соломона данных блока PSDU, как описано в 5.4.3.1;

b) создают заголовок PHR, как описано в 5.3.6.1;

c) к заголовку PHR добавляют проверочные биты поля SECDED, как описано в 5.3.6.2, и присоединяются к блоку PSDU;

d) выполняют дальнейшее сверточное кодирование, как описано в 5.4.3.2. Следует обратить внимание, что в некоторых случаях при скорости передачи данных 27 Мб/с сверточное кодирование поля данных эффективно обходится и два бита данных кодируются BPM-BPSK символом;

e) блок PSDU модулируется и расширяется согласно методу, описанному в пунктах 5.4.1 и 5.4.2. Блок PHR модулируется с использованием модуляции BPM-BPSK на скорости 850 кб/с или на скорости 110 кб/с (при скорости передачи данных 110 кб/с), а поле данных модулируется на скорости, указанной в PHR;

f) из поля SYNC (используемого для конвергенции АРУ, выбора разнесения, получения синхронизации и грубого захвата частоты), а также из поля SFD (которое используется для указания начала кадра) создается поле SHR преамбулы. Поля SYNC и SFD описаны в 5.3.5.1 и 5.3.5.2 соответственно.

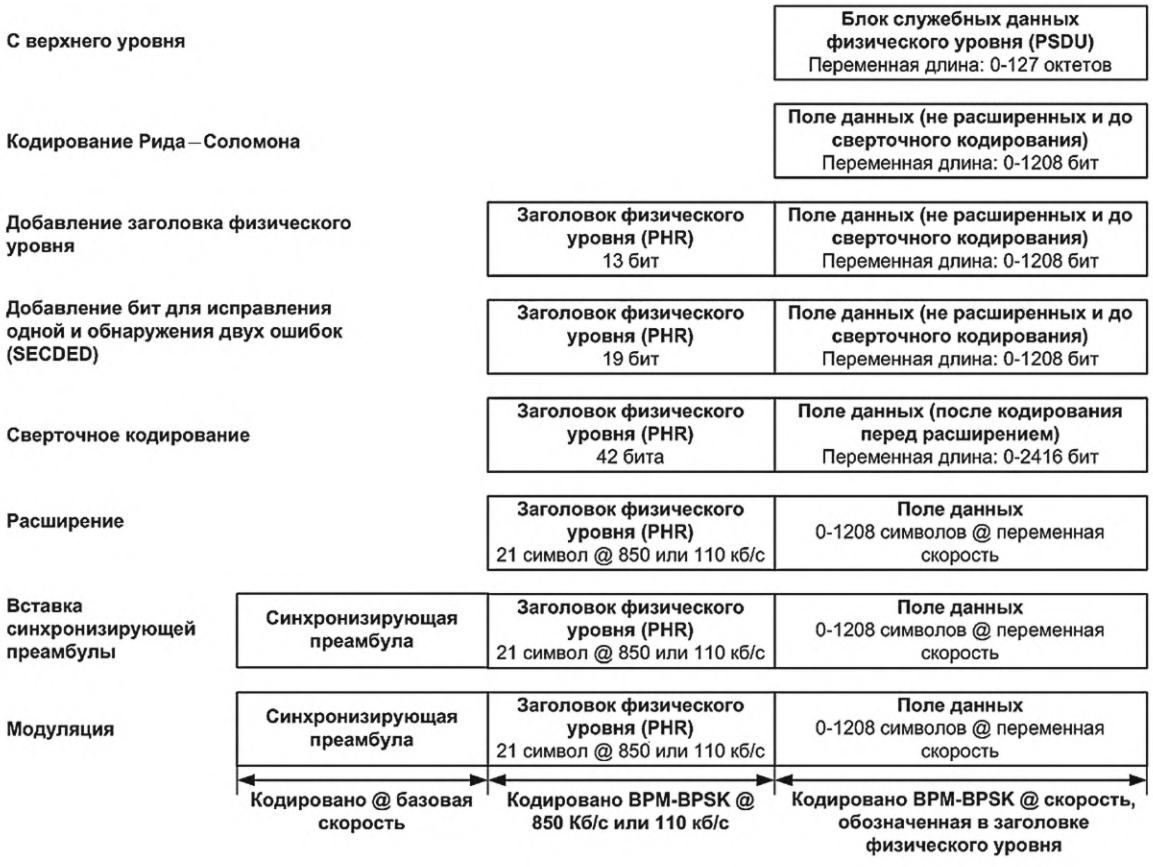


Рисунок 4 — Процесс кодирования блока PPDU

Таблицы 1 и 2, показывают, как 19 битов заголовка (H_0-H_{18}), N битов данных (D_0-D_{N-1}) и два концевых бита (T_0-T_1) отображаются символами. В этих таблицах в столбце «бит полярности» используется оператор исключающее ИЛИ ($\oplus$). Эти таблицы также показывают, когда имеет место переход от заголовка битовой скорости к скорости передачи данных. Следует обратить внимание, что линия задержки сверточного кода инициализируется в ноль. По этой причине бит позиции символа 0 всегда должен быть нулем. Это означает, что символ 0 всегда передается в первой половине первого символа заголовка.

Таблица 1 — Отображение битов заголовка, битов данных и концевых битов на символы при соотношении Витерби 0,5

Номер символа	Входные данные	Бит позиции	Бит полярности	
0	H_0	0	H_0	21 символ заголовка на скорости 850 кб/с
1	H_1	H_0	H_1	
2	H_2	H_1	$H_0 \oplus H_2$	
3	H_3	H_2	$H_1 \oplus H_3$	
…	…	…	…	
16	H_{16}	H_{15}	$H_{14} \oplus H_{16}$	
17	H_{17}	H_{16}	$H_{15} \oplus H_{17}$	
18	H_{18}	H_{17}	$H_{16} \oplus H_{18}$	
19	D_0	H_{18}	$H_{17} \oplus D_0$	
20	D_1	D_0	$H_{18} \oplus D_1$	
21	D_2	D_1	$D_0 \oplus D_2$	N символов данных на скорости передачи данных, например, 6,8 Мб/с
…	…	…	…	
N+17	D_{N-2}	D_{N-3}	$D_{N-4} \oplus D_{N-2}$	
N+18	D_{N-1}	D_{N-2}	$D_{N-3} \oplus D_{N-1}$	
N+19	T_0	D_{N-1}	$D_{N-2} \oplus T_0$	
N+20	T_1	T_0	$D_{N-1} \oplus T_1$	

5.3.2 Структура символа

В модуляции BPM-BPSK символ способен переносить два бита информации: один бит используется для определения позиции пачки импульсов, а дополнительный бит используется для модуляции фазы (полярности) этой самой пачки.

Структура и синхронизация символа иллюстрируются на рисунке 5. Каждый символ должен состоять из целого числа возможных позиций элемента сигнала N_c длительностью T_c каждая. Общая продолжительность символа, обозначенная как T_{dsym}, задается выражением $T_{dsym} = N_c T_c$. Кроме того, каждый символ делится на два BPM-интервала, каждый длительностью $T_{BPM} = T_{dsym}/2$, что делает возможной двоичную позиционную модуляцию.

Пачка импульсов формируется путем группировки N_{cpb} последовательных элементов сигнала и имеет продолжительность $T_{burst} = N_{cpb} T_c$. Расположение пачки импульсов в первой или второй половине символа обозначает один бит информации. Кроме того, фаза пачки импульсов (–1 или +1) используется для обозначения второго бита информации.

В каждом интервале символа должна передаваться единственная пачка импульсов. Тот факт, что длительность пачки импульсов, как правило, намного короче, чем длительность BPM, то есть $T_{burst} << T_{BPM}$, обеспечивает некоторое подавление помех многопользовательского доступа в форме временных скачков. Общее число продолжительностей пачек импульсов на протяжении одного символа N_{burst} составляет $N_{burst} = T_{dsym}/T_{burst}$. Чтобы ограничить значимость межсимвольной интерференции, вызванной многолучевым затуханием, пачки импульсов должны содержаться только в первой половине каждого T_{BPM} периода. Поэтому только первые $N_{hop} = N_{burst}/4$ возможных позиций пачки импульсов являются кандидатами для скачка позиции пачки импульсов в каждом BPM-интервале. Каждая позиция пачки импульсов может меняться от символа к символу в соответствии с кодом псевдослучайной перестройки, как описано в разделе 5.4.

Таблица 2 — Отображение битов заголовка, битов данных и концевых битов на символы при соотношении Витерби 1

Номер символа	Входные данные	Бит позиции	Бит полярности	
0	H_0	0	H_0	21 символ заголовка на скорости 850 кб/с
1	H_1	H_0	H_1	
2	H_2	H_1	$H_0 \oplus H_2$	
3	H_3	H_2	$H_1 \oplus H_3$	
…	…	…	…	
16	H_{16}	H_{15}	$H_{14} \oplus H_{16}$	
17	H_{17}	H_{16}	$H_{15} \oplus H_{17}$	
18	H_{18}	H_{17}	$H_{16} \oplus H_{18}$	
19	T_0	H_{18}	$H_{17} \oplus T_0$	
20	T_1	T_0	$H_{18} \oplus T_1$	
21	D_0, D_1	D_0	D_1	1/2 N символов данных на скорости передачи данных, например, 6,8 Мб/с
…	D_2, D_3	D_2	D_3	
…	…	…	…	
1/2 N+19	D_{N-6}, D_{N-5}	D_{N-6}	D_{N-5}	
1/2 N+20	D_{N-4}, D_{N-3}	D_{N-4}	D_{N-3}	
1/2 N+21	D_{N-2}, D_{N-1}	D_{N-2}	D_{N-1}	

5.3.3 Временные параметры PSDU

Зависимые от скорости передачи и синхронизации параметры блока PSDU сведены в таблицу 3. В пределах каждого канала {0:15} пиковая ЧПИ должна составлять 499,2 МГц. Этот темп соответствует наибольшей частоте, с которой совместимый передатчик должен излучать импульсы. Кроме того, средняя ЧПИ определяется как общее число импульсов, излучаемых за длительность символа, деленное на длительность символа. На протяжении преамбулы заголовка SHR-части сверхширокополосного кадра пиковая и средняя ЧПИ по существу одинаковы, поскольку импульсы излучаются равномерно в течение каждого символа преамбулы. Однако на протяжении части блока PPDU, содержащей данные, пиковая и средняя ЧПИ отличаются из-за группирования импульсов в последовательные длительности элементов сигнала.

Существуют две возможные длины кода преамбулы (31 или 127) и две средние ЧПИ (15,6 или 62,4 МГц). Совместимое устройство должно осуществлять поддержку длины кода преамбулы 31 и значение ЧПИ 15,6 МГц для PSDU, как показано в таблице 3. Использование длины кода 127 является опцией; при ее реализации значение ЧПИ должно составлять 62,4 МГц.

Сверхширокополосные каналы {4, 7, 11, 15} являются дополнительными и отличаются от других сверхширокополосных каналов большей пропускной способностью передаваемых сигналов (> 500 МГц). Эти каналы перекрывают каналы с меньшей пропускной способностью. Большая пропускная способность позволяет устройствам, работающим в этих каналах, передавать большую мощность (при фиксированном ограничении спектральной плотности мощности), и таким образом они могут достичь большей дальности связи. Большая ширина полосы импульсов предлагает повышенное сопротивление многолучевому затуханию. Кроме того, большая пропускная способность ведет к более точной оценке расстояния. Допустимые скорости передачи данных, длина кода преамбулы, частоты повторения импульсов и временные параметры модуляции приведены в таблице 3. Каждый сверхширокополосный канал допускает несколько скоростей передачи данных, что достигается путем изменения количества элементов сигнала в пачке импульсов, в то время как общее количество возможных позиций пачек импульсов остается постоянным. Поэтому продолжительность символа T_{dsym} изменяется, чтобы получить заявленную скорость передачи символов и битов.

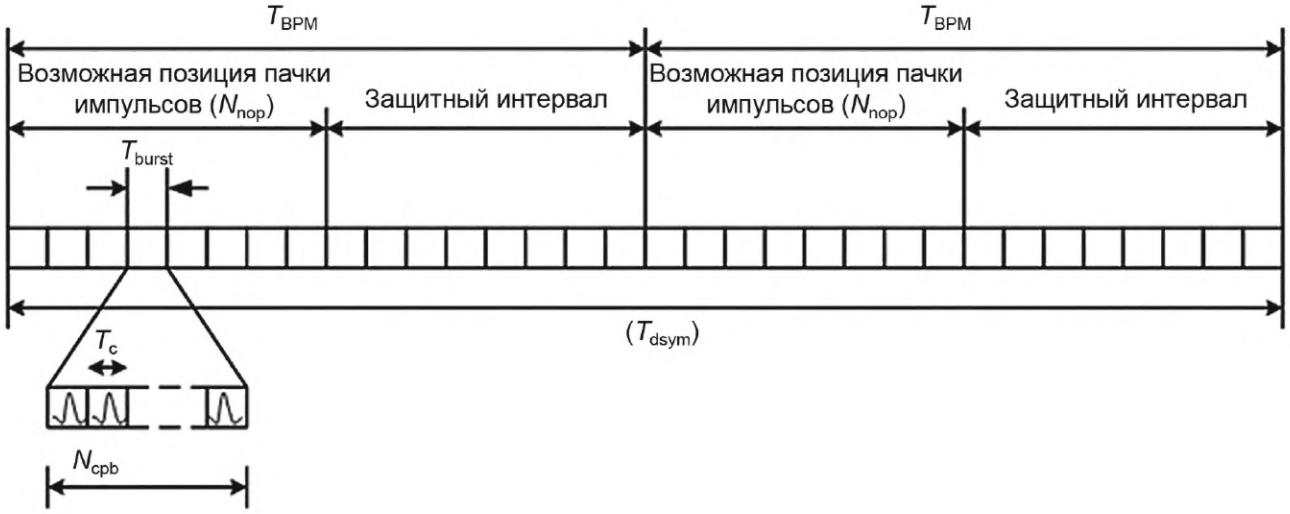


Рисунок 5 — Структура символа

Таблица 3 — Параметры, зависимые от скорости и синхронизации

Длина кода преамбулы	Модуляция и кодирование			Структура символа данных					Данные			
	Коэффициент Витерби	Коэффициент Рида — Соломона	Полный коэффициент коррекции ошибок	Число позиций пачки на символ (N_{burst})	Число возможных скачков пачки (N_{hop})	Число элементов сигнала на пачку (N_{cpb})	Число элементов сигнала на символ	Длительность пачки T_{burst} (нс)	Длительность символа T_{dsim} (нс)	Частота символов (МГц)	Скорость передачи битов (Мб/с)	Средняя частота повторения импульсов (МГц)
31	0,5	0,87	0,44	32	8	128	4096	256,41	8205,1	0,12	0,11	15,60
31	0,5	0,87	0,44	32	8	16	512	32,05	1025,6	0,98	0,85	15,60
31	0,5	0,87	0,44	32	8	2	64	4,01	128,21	7,80	6,81	15,60
31	1	0,87	0,87	32	8	1	32	2	64,10	15,60	27,24	15,60
127	0,5	0,87	0,44	8	2	512	4096	1025,6	8205,13	0,12	0,11	62,40
127	0,5	0,87	0,44	8	2	64	512	128,21	1025,64	0,98	0,85	62,40
127	0,5	0,87	0,44	8	2	8	64	16,03	128,21	7,80	6,81	62,40
127	0,5	0,87	0,44	8	2	2	32	4,01	32,05	31,20	27,24	62,40

Максимальная ЧПИ составляет 499,2 МГц. Это максимальная частота в мегагерцах, на которой совместимый передатчик должен излучать импульсы. Максимальная ЧПИ также используется, чтобы получить длительность элемента сигнала T_c по формуле T_c = 1/Макс.ЧПИ. Величина T_c составляет около 2 нс. Центральные частоты и полосы пропускания каналов приведены в таблице 11. Следует обратить внимание, что полоса пропускания необязательно обратно пропорциональна длительности элемента сигнала T_c. Форма импульса и пропускная способность определены далее в 5.5.3.1.

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса содержит несколько дополнительных скоростей передачи данных, длин кода преамбулы и ЧПИ. Таблица 3 описывает остальные временные параметры рисунка 5 для каждой разрешенной комбинации длины кода преамбулы и ЧПИ.

Параметр «длина кода преамбулы» обозначает длину кода преамбулы, которая будет использоваться в синхронизирующей части кадра данных. Этот код вместе с номером канала определяет комплексный канал. Индивидуальные коды, которые должны использоваться для каждого канала, приведены в таблице 6 (длина 31) и таблице 7 (длина 127).

Параметр «коэффициент Витерби» определяет коэффициент сверточного кода, применяемого к битам данных блока PSDU. Значение 1 указывает на то, что сверточное кодирование не применяется, в то время как значение 0,5 означает, что к битам данных блока PSDU применяется код с коэффициентом 1/2, как описано в 5.4.3.2.

Параметр «коэффициент Рида — Соломона» показывает коэффициент кода Рида — Соломона RS (63, 55), что составляет примерно 0,87. Код Рида — Соломона применяется ко всем битам данных блока PSDU, передаваемых физическим уровнем сверхширокополосного радиоинтерфейса. Кодирование Рида — Соломона описано далее в 5.4.3.1.

«Полный коэффициент прямой коррекции ошибок (FEC)» определяется произведением коэффициента Витерби и коэффициента Рида — Соломона и принимает значение 0,44 или 0,87.

Параметр «число позиций пачек импульсов на символ» (N_{burst}) — это общее число возможных позиций пачек импульсов на длительности символа данных. N_{burst} выбрано так, чтобы для каждого значения ЧПИ символ данных состоял из фиксированного числа длительностей пачек импульсов.

Параметр «число возможных скачков пачки» (N_{hop}) — это число позиций пачек импульсов, которые могут содержать активную пачку сверхширокополосных импульсов. Значение вычисляется как $N_{hop} = N_{burst}/4$.

Параметр «количество элементов сигнала в пачке» (N_{cpb}) — это количество элементов сигнала длительностью T_c в пачке импульсов длительностью T_{burst}. Каждая пачка состоит из большого числа последовательных элементов сигнала, как показано на рисунке 5. В зависимости от скорости передачи данных, которая будет использоваться при передаче блока PSDU, количество элементов сигнала в пачке импульсов изменяется, например, для низкой скорости передачи данных, пачка состоит из большего числа периодов элементов сигнала, чем для высокоскоростной передачи данных. В частности, значения N_{cpb} были выбраны так, чтобы следующее было действующей скоростью передачи данных: (2 · Полный коэффициент коррекции ошибок)/($N_{cpb} \cdot N_{burst} \cdot T_c$).

Длительность пачки импульсов вычисляется как $T_{burst} = N_{cpb} \cdot T_c$.

Длительность символа — это длительность модулированного и кодированного символа блока PSDU при радиопередаче, вычисляется следующим образом: $T_{dsym} = N_{burst} \cdot T_{burst}$.

Скорость передачи символов — величина, обратная длительности символа блока PSDU: $1/T_{dsym}$.

Скорость передачи битов (Bit Rate) — это скорость передачи информации пользователя с учетом прямой коррекции ошибок, вычисляется следующим образом:

Bit Rate = 2 · (*Полный коэффициент коррекции ошибок*)/T_{dsym}.

Средняя ЧПИ — это средняя ЧПИ в течение PSDU-части кадра физического уровня и вычисляется следующим образом:

Средняя ЧПИ = N_{cpb}/T_{dsym}.

5.3.4 Временные параметры преамбулы

Из-за изменчивости длины кода преамбулы и ЧПИ существует несколько допустимых значений временных параметров символов преамбулы. Эти значения сведены в таблицу 4. В этом подпункте символ преамбулы определяется как форма сигнала, состоящая из одного полного повторения модулированного кода преамбулы (длиной 31 или 127). Подробности построения символа преамбулы для различных длин кода и ЧПИ приведены в 5.3.5. Для каждой целевой ЧПИ преамбула строится из кода преамбулы C_i путем вставки некоторого числа длительностей элемента сигнала между символами кода. Количество вставляемых длительностей элемента сигнала обозначается δ_L, и его значения для каждой длины кода и ЧПИ приведены в таблице 4, а подробности вставки — в 5.3.5.1.

Таблица 4 представляет временные параметры в части заголовка SHR кадра физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса, в то время как в таблице 3 были представлены временные параметры для части блока PSDU кадра. Во-первых, следует обратить внимание, что преамбула отправляется с чуть более высоким значением ЧПИ по сравнению с приведенными в таблице 3 данными. Это обусловлено тем, что троичные коды длиной 31 или 127, которые используются в заголовке SHR, и количество элементов сигнала в заголовке SHR больше не являются степенью 2. Например, для ЧПИ 16 МГц

в каналах {0:3, 5:6, 8:10, 12:14) пиковое значение ЧПИ во время преамбулы составляет 31,2 МГц и соответствующее значение средней ЧПИ во время преамбулы — 16,10 МГц. Среднее ЧПИ во время передачи данных (блок PSDU) — 15,60 МГц. Остальные пиковые и средние значения ЧПИ для других необязательных сверхширокополосных каналов и необязательной длины кода 127 перечислены в таблице 4.

Таблица 4 — Параметры преамбулы

Длина кода C_i	Пиковая ЧПИ (МГц)	Средняя ЧПИ (МГц)	Дельта длины δ_L	Количество элементов сигнала на символ	Продолжительность символа T_{psym}(нс)	Базовая скорость млн симв./с
31	31,2	16,1	16	496	993,59	1,01
127	124,8	62,89	4	508	1017,63	0,98

Базовая скорость символов определяется как скорость, с которой передаются символы преамбулы. Базовая скорость, соответствующая значению ЧПИ по умолчанию 16,10 МГц, составляет 1 млн симв./с. Эта скорость символов соответствует длительности символов преамбулы T_{psym} 993,59 нс.

Таблица 5 — Кадр-зависимые параметры

Параметр	Описание	Значение	
Канал	Номер канала физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса	с 1 по 15	
PRF_{mean}	Средняя ЧПИ (МГц)	16,1	62,89
N_c	Количество элементов сигнала на символ преамбулы	496	508
T_{psym}	Длительность символа преамбулы (нс)	993,6	1017,6
N_{sync}	Количество символов в синхронизирующей последовательности пакета	От 64 до 4096	
T_{sync}	Длительность синхронизирующей последовательности пакета (мкс)	От 63,6 до 4069,7	От 65,1 до 4168,2
N_{sfd}	Количество символов в разделителе начала кадра	8 (или 64)	
T_{sfd}	Длительность разделителя начала кадра (мкс)	7,9 (или 63,6)	8,1 (или 65,1)
N_{pre}	Число символов в преамбуле SHR	От 72 до 4104 (или от 128 до 4160)	
T_{pre}	Длительность преамбулы SHR (мкс)	От 71,5 до 4077,7 (или от 127,2 до 4133,3)	От 73,3 до 4176,3 (или от 319,5 до 4422,6)
$N_{CCA\text{-}PHR}$	Количество мультиплексированных символов преамбулы в заголовке физического уровня	4 или 32	
$N_{CCA\text{-}data}$	Количество мультиплексированных символов преамбулы в поле данных	T_{pre} / (4 · $T_{dsym/м}$)	

Примечание — Значения в скобках применяются к скорости передачи данных 110 кб/с.

Наконец, для каждого сверхширокополосного кадра, состоящего из синхронизирующего заголовка (SHR), разделителя начала кадра (SFD), заголовка физического уровня (PHR) и поля данных существуют четыре возможные длительности заголовка SHR. Это происходит из-за четырех возможных длин поля синхронизации SYNC в заголовке SHR, как описано в разделе 5.3.5. Поле синхронизации SYNC состоит из повторения символов преамбулы. Количество повторений символов преамбулы может быть 64, 1024 или 4096 или принимать необязательные значения 128, 256, 512, 1536 или 2048. Эти различные длины поля синхронизации SYNC приводят к различной длительности сверхширокополосного кадра. Связь между длиной поля синхронизации и длительностью кадра показана в таблице 5. После вставки разделителя SFD (SFD может быть длиной 8 или 64 символа преамбулы) общая длина заголов-

ка SHR (в символах преамбулы) составляет N_{pre}, как показано в таблице 5, а это, в свою очередь, ведет к возможной длительности заголовка SHR, обозначенной как T_{pre}. После создания заголовка SHR кадр дополняется заголовком PHR, длина которого N_{hdr} составляет 16 символов, а длительность обозначается как T_{hdr}. Значения параметров длительности кадра приведены в таблице 5.

5.3.5 Синхронизирующий заголовок (SHR)

Преамбула SHR должна добавляться перед заголовком физического уровня (PHR), чтобы помочь алгоритму приемника с установкой автоматической регулировки усиления, выбором разнесения антенн, получением синхронизации, грубым и точным восстановлением частоты, синхронизацией пакета и кадра, оценкой канала и определением переднего фронта сигнала для определения расстояния.

В настоящем подпункте определяются четыре различные обязательные преамбулы: преамбула по умолчанию, короткая преамбула, средняя преамбула и длинная преамбула. Какую преамбулу использовать при передаче кадра, определяется уровнем приложения.

Рисунок 6 показывает структуру преамбулы SHR. Преамбула может быть разделена на две отдельные части: поле SYNC (синхронизация пакета, оценка канала и последовательность измерения расстояния (ranging sequence) и поле SFD (последовательность — разделитель начала кадра). Длительности этих частей приведены в таблице 5. Подпункты 5.3.5.1 и 5.3.5.2 детализируют разные части преамбулы.

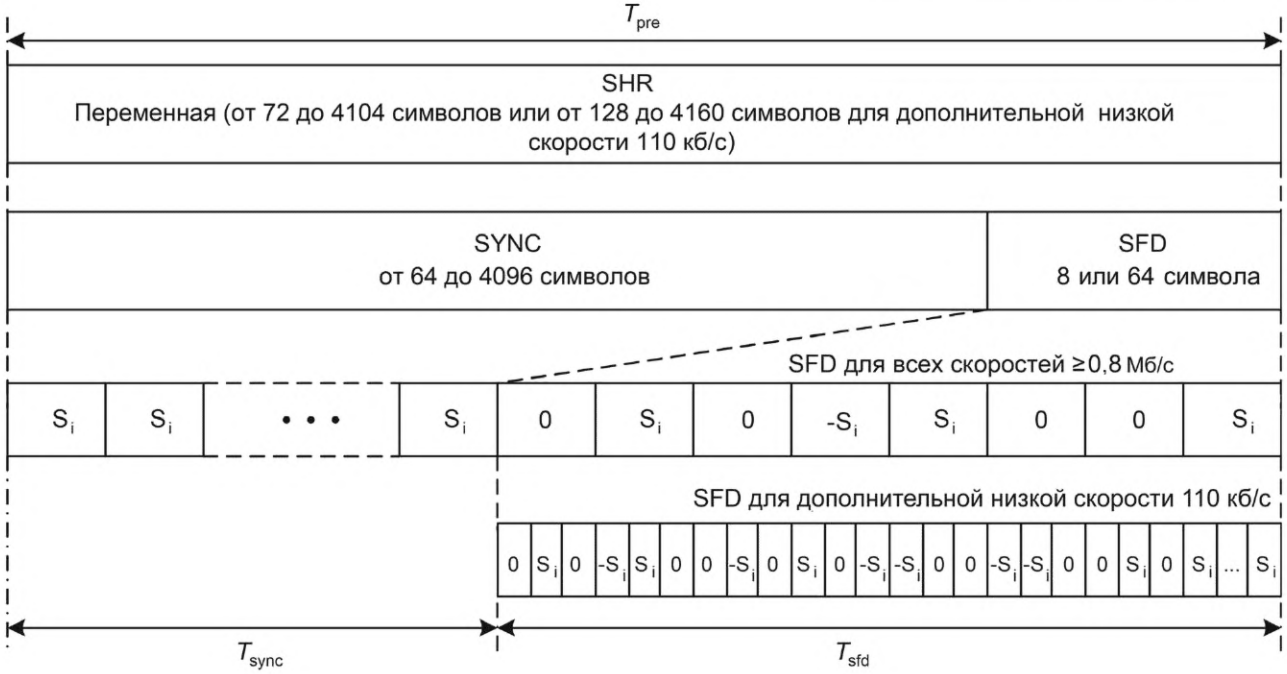


Рисунок 6 — Структура преамбулы SHR

5.3.5.1 Поле синхронизации (SYNC) заголовка синхронизации (SHR)

Каждая сеть, работающая на одном из физических каналов сверхширокополосного радиоинтерфейса {1—15}, идентифицируется также кодом преамбулы. Код преамбулы используется для построения символов, которые составляют часть SYNC преамбулы SHR, как показано на рисунке 6.

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса поддерживает две длины кода преамбулы: кодовая длина 31 и дополнительная кодовая длина 127. Каждый код преамбулы — это последовательность кодовых символов, составленных из троичного алфавита {-1,0,1} и выбранных для использования на физическом уровне сверхширокополосного радиоинтерфейса из-за своих идеальных свойств периодической автокорреляции. Кодовые последовательности длиной 31 показаны в таблице 6, а кодовые последовательности длиной 127 показаны в таблице 7, где они пронумерованы от 1 до 24 (C_i, i = 1, 2, ... 24). Первые 8 кодов (индекс 1—8) — длиной 31, а оставшиеся 16 (индекс 9—24) — длиной 127. Выбор, какие коды могут быть использованы в каждом из каналов, ограничен, и конкретное назначение кодов сделано в таблицах 6 и 7. А именно, последний столбец в каждой таблице указывает набор номеров каналов, разрешенных для использования кода. Такое ограничение кодов обеспечивает, чтобы коды с наименьшей взаимной корреляцией использовались в том же канале. Кроме того, 8 из

кодов длиной 127 зарезервированы для использования только с частными протоколами измерения расстояния и не используются при нормальной работе. Это ограничение также указано в третьем столбце таблицы 7.

Таблица 6 — Троичные коды длиной 31

Номер кода	Кодовая последовательность	Номер канала[a)]
1	-0000+0-0+++0+-000+-+++00-+0-00	1, 8, 12
2	0+0+-0+0+000-++0-+---00+00++000	1, 8, 12
3	-+0++000-+-++00++0+00-0000-0+0-	2, 5, 9, 13
4	0000+-00-00-++++0+-+000+++00-0-	2, 5, 9, 13
5	-0+-00+++-+000-+0+++0-0+0000-00	3, 6, 10, 14
6	++00+00---+-0++-000+0+0-+0+0000	3, 6, 10, 14
7	+0000+-0+0+00+000+0++---0-+00-+	4, 7, 11, 15
8	0+00-0-0++0000--+00-+0++-++0+00	4, 7, 11, 15
[a)] Коды с номерами от 1 до 6 могут также быть использованы для каналов 4, 7, 11 и 15 (то есть каналов с полосой пропускания шире, чем 500 МГц), если желательны межканальные связи.		

Таблица 7 — Троичные коды длиной 127

Номер кода	Кодовая последовательность	Номер канала[a)]
9	9 +00+000-0--00--+0+0+00-+-++0+0000++-000+00-00--0-+0+0--0-+++0++000+-0+00-0++-0+++00-+00+0+0-0++-+--+000000+00000-+0000-0- 000--+	1—3, 5, 6, 8—10, 12— 14
10	00 +++0-+00+00+000000-000-00--000-0+-+0-0+-0-+00000+-00++0-0+00--+00++-+0+-0+0000-0-0-0-++-+0+00+0+000-+0+++000----+++0000+++0--	1—3, 5, 6, 8—10, 12—14
11	-+-0000+00--00000-0+0+0+-0+00+00+0-00-+++00+000-+0+0-0000+++++-+0+--0+-0++--0-000+0-+00+0+----000-000000-+00+-0++000++-00++-0-0	1—3, 5, 6, 8—10, 12—14
12	-+0++000000-0+0-+0---+-++00-+0++0+0+0+000-00-00-+00+-++000-+-0-++0-0++++0-00-0++00+0+00++-00+000+-000-0--+0000-0000--0+00000+--	1—3, 5, 6, 8—10, 12—14
13	+000--0000--++0-0-0++++++0+0-00-+0++00++-0++0+-+0-00+00-0--000-+-00+0000-0++-00000+-0-000000-00-+-++-+000-0+0+0+++-00--00+0+000	1—15; только DPS
14	+000++0-0+0-00+-0-+0-00+0+0000+0+-0000++00+0+++++-+0-0+-0--+0++-- 000---0+000+0+0-+-000000+-+-0--00++000-00+00++-00--++-00-00000	1—15; только DPS
15	0+-00+0-000-++0000---++000+0+-0-+00-+000--0-00--0--+++-+0-++00+-++0+00000+0-0+++-00+00+000-0000+00--+0++0+0+0-00-0-+-0+0++00000	1—15; только DPS
16	++0000+000+00+--0+-++0-000--00+-0+00++000+++00+0+0-0-+-0-0+00+00+0++----+00++--+0+-0--+000000-0-0000-+0--00+00000+-++000-0-+0+0	1—15; только DPS
17	+--000-0-0000+-00000+000000+--+-++0-0+0+00+-00+++0-++0-00+0-+000++0+++-0--0+0+-0--00-00+000-++0000+0++-+-00+0+0+--00--0-000+00+	4, 7, 11, 15
18	--0+++0000+++----000+++0+-000+0+00+0+-++-0-0-0-0000+0-+0+-++00+--00+0-0 00++-+00000+-0-+0-0+-+0-000--00-000-000000+00+00+-0+00++	4, 7, 11, 15
19	-0-++00-000++++0-+00+-000000-000----+0+00+-0+000-0--++0-+0--+0+-+++++0000-0+0+-000+00+++-00-0+00+00+0-+0+0+0-00000--00+0000-+-0	4, 7, 11, 15

Окончание таблицы 7

Номер кода	Кодовая последовательность	Номер канала[a)]
20	--+00000+0--0000-0000+--0-000-+000+00-00+++0+00++0-00-0 0-0++++++ - 0-+-000++-+00+-00-00-000+0+0+0++0+-00++-+---0+-0+0-000000++0+-	4, 7, 11, 15
21	+0+00--00-+++0+0+0-000+-++-+-00-000000-0-+00000-++0-0000+00-+-000- -0-00+00-0+-+0++0-00++++0+-00-0+0++0-0++++-0++--0000--000+000	1—15; только DPS
22	0-00-++--00-++00+00-000 00--++0-+-+000000-+-0+0+000+0---000--++0+-- 0- +0-0+-+++++0+00++0000-+0+0000+0+00-0+-0-+00-0+0-0++000+0000	1—15; только DPS
23	000++0+0-+-0-00-0+0+0++0+--00+0000-000+00+00-+++0-0+00000+0++- +00++-0+-+++--0--00-0--000+-00+-0-+0+000++---0000++-000-0+00-+000	1—15; только DPS
24	+0+-0-000++-+00000+00--0+-0000-0-000000+0---+0+--++00+---- ++0+00+00+0-0-+-0-0+0+00 000+++++00+0-+00--000-0++-+0-- +00+000+0000++0	1—15; только DPS
[a)] Коды с номерами с 9 по 13 могут также быть использованы для каналов 4, 7, 11 и 15 (то есть каналов с полосой пропускания шире, чем 500 МГц), если желательны межканальные связи.		

Следует обратить внимание, что присвоение кодов преамбулы каналам было сделано так, чтобы разрешить межканальные связи. Другими словами, имеется возможность, чтобы прибор, работающий на широкополосном канале {4, 7, 11 или 15}, мог общаться с устройством по каналу, с которым его рабочий канал пересекается.

При использовании i-го троичного кода поле SYNC должно состоять из N_{sync} повторений символа S_i, где S_i — это код C_i, расширенный по дельта-функции δ_L длиной L, указанной в таблице 4. Операция расширения, где код C_i расширяется до длительности символа преамбулы, приведенной в таблице 4, описывается математически выражением

$$S_i = C_i \otimes \delta_L(n)$$

$$\delta_L(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & n = 1, 2 \ldots L-1, \end{cases}$$

где оператор «$\oplus$» обозначает произведение Кронекера. После выполнения операции Кронекера символ преамбулы формируется, как показано на рисунке 7, где L – 1 нулей вставлены между каждым троичным элементом C_i.

Коэффициент расширения L, количество элементов сообщения на символ, длительность символа преамбулы T_{psym} и базовая скорость передачи символов для разных каналов приведены в таблице 4.

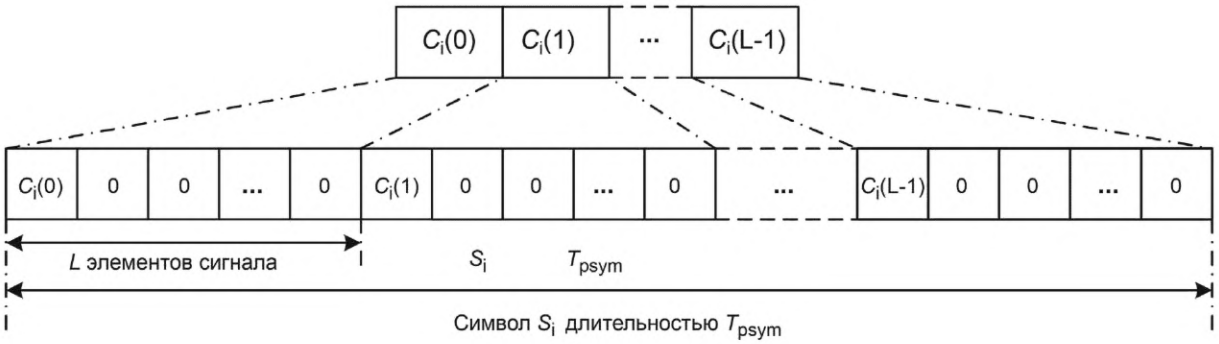


Рисунок 7 — Построение символа S_i из кода C_i

5.3.5.2 Разделитель начала кадра (SFD) заголовка синхронизации (SHR)

Чтобы установить синхронизацию кадра, должен быть добавлен разделитель начала кадра (SFD). Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса использует короткий разделитель для

«обязательной» (по умолчанию) и средней скоростей передачи данных и длинный разделитель для дополнительной низкой скорости передачи данных 110 кб/с, как показано на рисунке 6. Короткий разделитель SFD должен быть троичным кодом [0 +1 0 –1 +1 0 0 –1], расширенным с помощью дельта-функции $\delta_L(n)$ аналогично символам преамбулы S_i, где самый левый бит должен передаваться первым. Дополнительный длинный разделитель должен быть получен в результате аналогичного расширения последовательности [0 +1 0 –1 +1 0 0 –1 0 +1 0 –1 +1 0 0 –1 –1 0 0 +1 0 –1 0 +1 0 +1 0 0 0 –1 0 –1 0 –1 0 0 +1 0 –1 –1 0 –1 +1 0 0 0 0 +1 +1 0 0 –1 –1 –1 +1 –1 +1 +1 0 0 0 0 +1 +1]. Следует обратить внимание, что длинный разделитель SFD в восемь раз длиннее, чем короткий, и состоит из 64 символов преамбулы, только 32 из которых активны, а другие 32 — нули. Структура заголовка SHR и двух возможных разделителей начала кадра показаны на рисунке 6.

5.3.6 Заголовок физического уровня (PHR)

Заголовок физического уровня, показанный на рисунке 8, должен быть добавлен после синхронизирующей преамбулы. Заголовок состоит из 19 битов и передает получателю информацию, необходимую для успешного декодирования пакета. Заголовок содержит информацию о скорости передачи данных, используемой для передачи блока PSDU, длительность преамбулы текущего кадра и длину подлежащих передаче данных. Кроме того, шесть битов контроля четности используются для дополнительной защиты заголовка PHR против ошибок канала.

Бит 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
R1	R0	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0	RNG	EXT	P1	P0	C5	C4	C3	C2	C1	C0
Скорость передачи данных		Длина кадра							Ранжирующий пакет	Расширение заголовка	Длительность преамбулы		Биты контроля четности (исправления одной и обнаружения двух ошибок)					

Рисунок 8 — Назначение битов заголовка PHR

Заголовок PHR должен передаваться с использованием модуляции BPM-BPSK, описанной в 5.4. Заголовок PHR должен передаваться с номинальной скоростью 850 кб/с для всех скоростей передачи данных 850 кб/с и выше и с номинальной скоростью 110 кб/с при низкой номинальной скорости передачи данных 110 кб/с.

5.3.6.1 Поля заголовка PHR «скорость передачи», «длина», «пакет измерения расстояния», «расширение», «длительность преамбулы»

Поле «скорость передачи данных» должно состоять из двух битов (R1, R0), которые указывают на скорость передачи данных полученного блока PSDU. Биты R1-R0 устанавливаются согласно таблице 9. По умолчанию биты R1-R0 должны быть установлены в значение 01, поскольку это единственная обязательная скорость передачи данных, которая поддерживается в совместимой реализации физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса. Поддержка других скоростей передачи данных, указанных в таблице 9, является опциональной.

Поле «длина кадра», L6-L0, должно быть беззнаковым 7-битовым целым числом, указывающим число октетов в блоке PSDU, передачу которого подуровень MAC в настоящее время запрашивает у физического уровня.

Бит «пакет измерения расстояния» (Ranging Packet bit, RNG), если имеет значение 1, указывает на то, что текущий кадр является кадром измерения расстояния. В противном случае он устанавливается в 0.

Бит «расширение заголовка» (Header Extension bit, EXT) зарезервирован для будущего расширения PHR. Этот бит должен быть равен 0.

Поле «длительность преамбулы», P1-P0 представляет собой длину (в символах преамбулы) части SYNC заголовка синхронизации (SHR). P1-P0 устанавливаются согласно таблице 8. По умолчанию параметр «длительность преамбулы» устанавливается 01, что соответствует длине поля синхронизации 64 символов преамбулы.

Таблица 8 — Значения поля «длительность преамбулы»

P1-P0	Длина поля синхронизации SYNC в символах (S_i)
1	64
10	1024
11	4096

Поле «длительность преамбулы» предназначено для использования во время операций измерения расстояния и используется приемником кадра физического уровня, чтобы помочь определить, на котором символе преамбулы физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса получил и начал отслеживать преамбулу. Приемник может использовать поле «длительность преамбулы», чтобы установить значение длительности собственной преамбулы на основании полученного значения при передаче пакета измерения расстояния ACK. Факультативные значения 128, 256, 512, 1536 и 2048 не могут быть закодированы в заголовке физического уровня PHR, но могут быть выяснены в приемнике путем подсчета количества символов полученной преамбулы. Если используется одно из этих дополнительных значений, кодирование заголовка PHR должно быть ближайшим меньшим значением длины.

Таблица 9 — Номинальные скорости передачи данных

R1-R0	Скорость передачи данных (мб/с)
00	0,11
01	0,85
10	6,81
11	27,24

5.3.6.2 Контрольные биты SECDED заголовка PHR

Поле SECDED (битов четности для исправления единичной и обнаружения двойной ошибки), C5-C0, является набором из шести битов контроля четности, которые используются для защиты заголовка PHR от ошибок, вызванных шумами и нарушениями канала. Биты поля SECDED — это простой блочный код Хэмминга, который позволяет исправлять одну ошибку и обнаруживать две ошибки на приемнике. Значения битов поля SECDED зависят от битов 0—12 заголовка PHR и рассчитываются следующим образом:

C0 = *XOR* (R0, R1, L0, L2, L4, L5, EXT, P1)*

C1 = *XOR* (R1, L2, L3, L5, L6, RNG, EXT, P0)

C2 = *XOR* (R0, L0, L1, L5, L6, RNG, EXT)

C3 = *XOR* (L0, L1, L2, L3, L4, RNG, EXT)

C4 = *XOR* (P0, P1)

C5 = *XOR* (R1, R0, L6, L5, L4, L3, L2, L1, L0, RNG, EXT, P1, P0, C4, C3, C2, C1, C0)

5.3.7 Поле данных

Поле данных является последним компонентом блока PPDU и кодируется, как показано на рисунке 9.

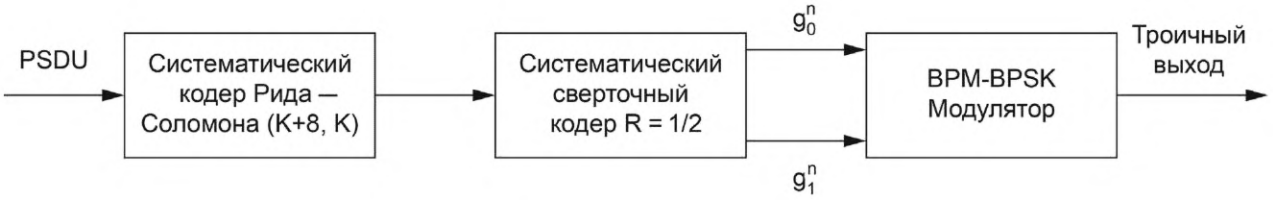


Рисунок 9 — Процесс кодирования поля данных

* *XOR — исключающее ИЛИ.*

Поле данных должно формироваться следующим образом:

- блок PSDU кодируется с помощью систематического блочного кода Рида — Соломона, который добавляет 48 битов четности, как описано в 5.4.3.1;
- выходные данные блочного кода Рида — Соломона, кодируются с помощью систематического сверточного кодера, как описано в 5.4.3.2, за исключением случаев, когда соотношение Витерби в таблице 3 составляет 1,0. В этих случаях сверточный кодер обходится;
- кодированный блок расширяется и модулируется с помощью модуляции BPM-BPSK, как описано в разделе 5.4.

5.4 Модуляция физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса

5.4.1 Математические основы модуляции

Форма передаваемого сигнала на протяжении интервала k-го символа может быть выражена как:

$$x^{(k)}(t) = \left[1 - 2g_1^{(k)}\right] \sum_{n=1}^{N_{cpb}} \left[1 - 2s_{n+kN_{cpb}}\right] \cdot \left(t - g_0^{(k)} T_{BPM} - h^{(k)} T_{burst} - nT_c\right).$$

Это уравнение* описывает псевдослучайную перестройку со скремблированием полярности, которая улучшает возможности подавления помех физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса. *K-й* интервал символа несет в себе два информационных бита $g_0^{(k)}$ и $g_1^{(k)} \in \{0,1\}$. Бит $g_1^{(k)}$ кодируется в позицию пачки, а бит $g_0^{(k)}$ кодируется в полярность пачки.

Последовательность $s_{n+kN_{cpb}} \in \{0,1\}, n = 0,1, \ldots, N_{cpb} - 1$ — код скремблирования, используемый на протяжении интервала *k*-го символа;

$h^{(k)} \in \{0,1 - N_{hop} - 1\}$ — k-я позиция пачки;

$p(t)$ — форма передаваемого импульса на входе антенны.

Псевдослучайная перестройка $h^{(k)}$ обеспечивает подавление многопользовательских помех. Последовательность скремблирования элементов сигнала $s_{n + kN_{cpb}}$ обеспечивает дополнительное подавление помех при использовании когерентных приемников, а также спектральное сглаживание передаваемого сигнала. Следует обратить внимание, что уравнение определяет передаваемый сигнал в действующем интервале пачки импульсов; на всех других возможных позициях пачки сигнал не передается.

Опорный модулятор, иллюстрирующий модуляцию BPM-BPSK, приведен на рисунке 10.

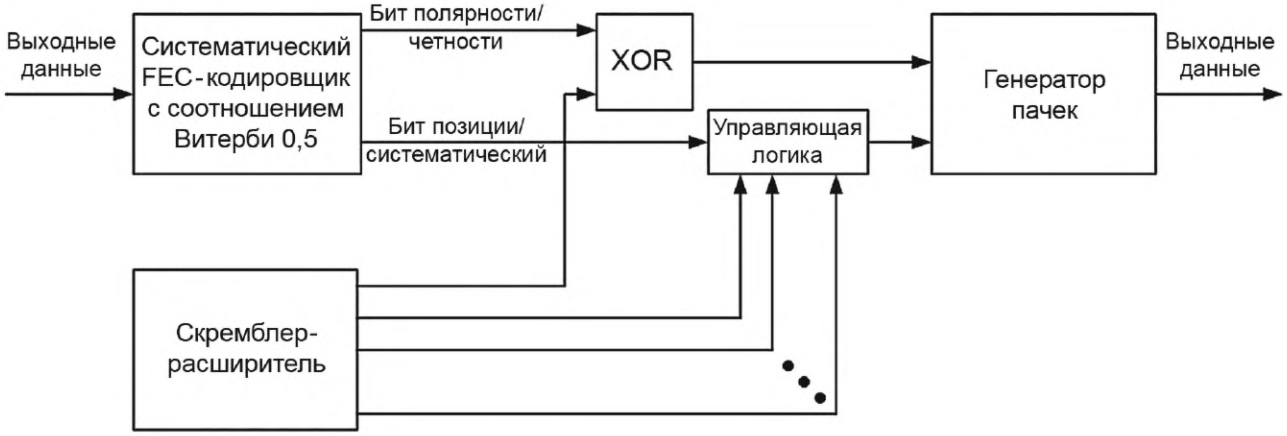


Рисунок 10 — Опорный модулятор символов**

* *Параметры T_{BPM}, T_{burst}, T_c описаны в 5.3.2.*

** *На рисунке 10 обозначение FEC — прямая коррекция ошибок.*

Здесь следует отметить, что кодер FEC не используется, если коэффициент модуляции Витерби составляет 1, как описано в 5.3.7. В этом случае кодер FEC заменяется мультиплексором, который должен направлять четные биты на вход позиции, а нечетные биты — на вход полярности.

5.4.2 Расширение

Изменяющаяся во времени расширяющая последовательность $s_{n + kN_{cpb}}$ и изменяющаяся во времени последовательность псевдослучайной перестройки $h^{(k)}$ должны формироваться из общего скремблера PRBS*.

Для скремблирования должен использоваться порождающий многочлен $g(D) = 1 + D^{14} + D^{15}$, где D — это элемент задержки с длительностью, равной длительности элемента сигнала T_c. Этот многочлен не только формирует последовательность максимальной длины, он также является основным (непроизводным) многочленом. Посредством данного многочлена генерируется соответствующий выход скремблера:

$$s_n = s_{n-14} \oplus s_{n-15} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots$$

где $\oplus$ обозначает сложение по модулю 2.

Реализация скремблера в виде регистра сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС) показана на рисунке 11. РСЛОС должен быть инициализирован на момент передачи бита 0 заголовка PHR. Следует обратить внимание, что N_{cpb} может меняться в зависимости от скорости передачи данных и частоты передачи импульсов, используемых на протяжении PSDU. РСЛОС не должен сбрасываться после передачи заголовка PHR.

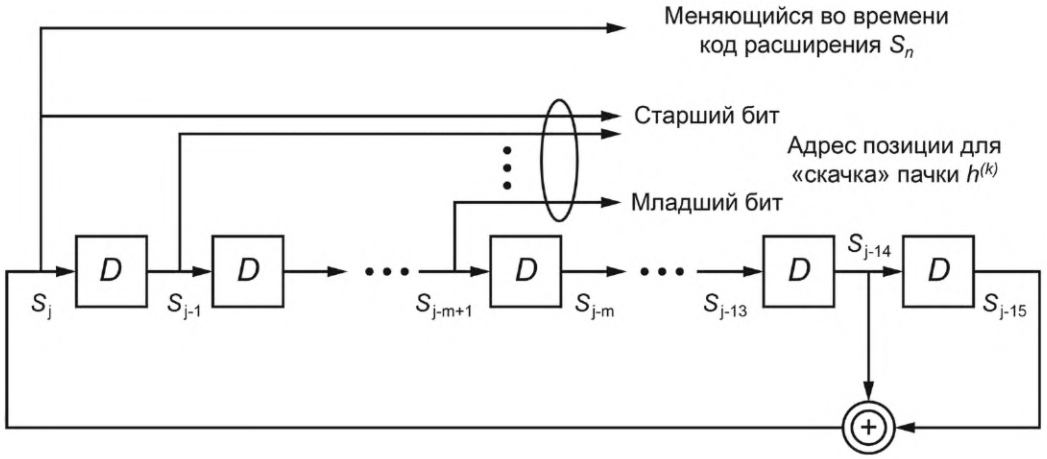


Рисунок 11 — Реализация скремблера в виде РСЛОС

Начальное состояние РСЛОС должно определяться из кода преамбулы посредством сначала удаления всех нулевых символов s в троичном коде, а затем замены всех отрицательных единиц ($-1s$) нулями. Первые 15 битов результирующей двоичной структуры должны быть загружены в РСЛОС. Таблица 10 показывает пример вышеописанной процедуры для кода преамбулы C_6 (код преамбулы номер 6, длина 31, см. таблицу 6). Таблица 10 показывает начальное состояние, а также первые 16 выходных битов скремблера.

Таблица 10 — Пример начального состояния РСЛОС для кода преамбулы 6

Исходное состояние (s_{-15}, s_{-14}, ..., s_{-1})	Выход РСЛОС: первые 16 бит s_0, s_1, ..., s_{15} (s_0 первый по времени)
111000101101101	0010011101101110

Следует обратить внимание, что даже если каждое устройство в сети использует одни и те же начальные установки РСЛОС, связь является асинхронной, так что псевдослучайная перестройка и скремблирование обеспечивают подавление помех.

* *PRBS — псевдослучайная двоичная последовательность.*

РСЛОС должен работать с тактовой частотой, равной максимальной ЧПИ, составляющей 499,2 МГц, как указано в таблице 3. В течение *k-го* интервала символа РСЛОС должен сдвинуться на N_{cpb} тактов, и на выходе скремблера должен быть *k-й* элемент скремблирующего кода:

$$S_{n + kN_{cpb}},\ n = 0, 1, \ldots, N_{cpb} - 1.$$

Более того, *k*-я позиция псевдослучайной перестройки должна быть рассчитана следующим образом:

$$h^{(k)} = 2^0 s_{kN_{cpb}} + 2^1 s_{1 + kN_{cpb}} + \ldots + 2^{m-1} s_{m-1+kN_{cpb}},$$

где $m = \log_2(N_{hop})$.

Как показано в таблице 3, количество возможных изменений позиции пачки импульсов N_{hop} всегда степень двойки, а следовательно, *m* — всегда целое число. Следует обратить внимание, что для $N_{cpb} < m$ РСЛОС синхронизируется N_{cpb} раз, не *m* раз.

Для обязательного режима со средней ЧПИ передачи данных 15,60 МГц количество возможных изменений позиции пачки импульсов — 8, как показано в таблице 3, следовательно, *m* принимает значение 3 и соответствующая псевдослучайная последовательность изменений позиции пачки импульсов следующая:

$$h^{(k)} = s_{kN_{cpb}} + 2s_{1 + kN_{cpb}} + 4s_{2 + kN_{cpb}}.$$

5.4.3 Прямая коррекция ошибок (FEC)

Используемая физическим уровнем сверхширокополосного радиоинтерфейса прямая коррекция ошибок (Forward error correction, FEC) является каскадным кодом, состоящим из наружного систематического блочного кода Рида — Соломона и внутреннего систематического сверточного кода половинной скорости (с соотношением Витерби 1/2). Внутренний сверточный код необязательно включен на всех скоростях передачи данных; строки из таблицы 3, где соотношение Витерби — 1, указывают, что внутренний сверточный код отключен для части кадра PSDU.

Кодирование с прямой коррекцией ошибок блока из *M* битов ($b_0, b_1, \ldots, b_{M-1}$) показано на рисунке 12. Кодер Рида — Соломона должен присоединить к исходному блоку 48 битов четности, $p_0, p_1, \ldots, p_{47}$. В результате получается закодированный блок Рида — Соломона длиной *M* + 48 бит. Если соотношение Витерби составляет 0,5, систематический сверточный кодер половинной скорости должен закодировать полученный с выхода кодера Рида — Соломона блок в систематический закодированный блок длиной 2*M* + 96 битов. Сверточные систематические биты должны использоваться для кодирования изменения позиций пачек импульсов, в то время как сверточные биты четности должны использоваться для кодирования полярности импульсов в пачках. Если соотношение Витерби = 1, четные биты с выхода кодера Рида — Соломона ($b_0, b_2, \ldots, b_{M-2}, p_0, p_2, \ldots, p_{46}$) должны использоваться для кодирования позиций пачек импульсов, а нечетные ($b_1, b_3, \ldots, b_{M-1}, p_1, p_3, \ldots, p_{47}$) — для кодирования полярности импульсов. Здесь следует отметить, что *M* — это всегда четное число.

Некогерентный приемник не может «видеть» сверточные биты четности (биты полярности), следовательно, некогерентный приемник может использовать только декодер Рида — Соломона, чтобы улучшить свою эффективность. Когерентный приемник может использовать один либо оба алгоритма декодирования. Здесь следует отметить, что поскольку оба кода, как Рида — Соломона, так и сверточный, являются систематическими, приемник (будь он когерентным или некогерентным) может быть реализован без декодера с прямой коррекцией ошибок. В этом случае информационные биты просто восстанавливаются путем демодуляции позиций пачек импульсов. Там будут дополнительные биты контроля четности — результат кодирования Рида — Соломона, но они могут быть просто проигнорированы.

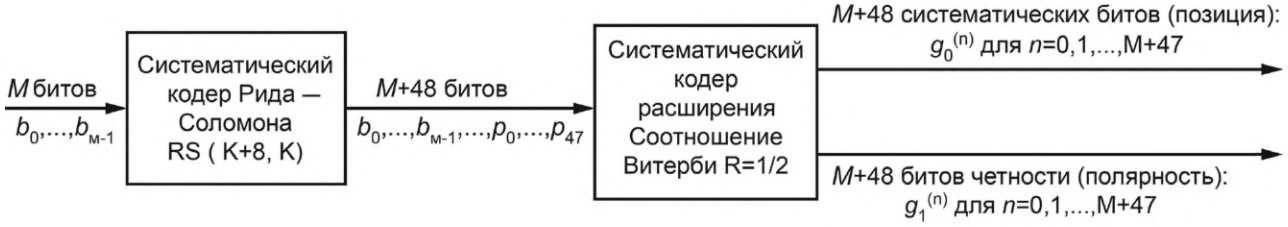


Рисунок 12 — Процесс кодирования FEC

5.4.3.1 Кодирование Рида — Соломона

Систематическое кодирование Рида — Соломона происходит над полем Галуа GF(2^6), которое построено как расширение поля GF(2). Систематический код Рида — Соломона должен использовать порождающий многочлен:

$$g(x) = \prod_{k=1}^{8}(x + \alpha^k) = x^8 + 55x^7 + 61x^6 + 37x^5 + 48x^4 + 47x^3 + 20x^2 + 6x + 22,$$

где α = 010000 корень простого двоичного многочлена $1 + x + x^6$ в поле Галуа GF(2^6).

При кодировании Рида — Соломона $RS_6(K+8, K)$, блок I бит (при $K = [I/6]$) кодируется в кодовое слово I + 48 бит. Процедура кодирования Рида — Соломона осуществляется в следующие пять шагов:

a) *Добавление фиктивных битов.* Блок I бит информации расширяется до 330 бит добавлением (330 – I) фиктивных (нулевых) битов в начале блока. Расширенный блок обозначается как $\{d_0, d_1, ..., d_{329}\}$, где d_0 идет первым по времени.

b) *Преобразование битов в символы.* 330 битов $\{d_0, d_1, ..., d_{329}\}$ преобразуются в 55 символов Рида — Соломона $\{D_0, D_1, ..., D_{54}\}$, имея следующее полиномиальное представление:

$$D_k = \alpha^5 d_{6k+5} + \alpha^4 d_{6k+4} + \alpha^3 d_{6k+3} + \alpha^2 d_{6k+2} + \alpha d_{6k+1} + d_{6k}.$$

Результирующие 6-битовые символы представлены в виде $D_k = \{d_{6k+5}, d_{6k+4}, d_{6k+3}, d_{6k+2}, d_{6k+1}, d_{6k}\}$, где d_{6k+5} — старший значащий бит, а d_{6k} — младший значащий бит.

c) *Кодирование.* Информационные символы $\{D_0, D_1, ..., D_{54}\}$ кодируются посредством систематического кода $RS_6(63,55)$ в выходные символы $\{U_0, U_1, ..., U_{62}\}$, упорядоченные следующим образом:

$$U_k = \begin{cases} D_k\ (k = 0,1, ..., 54) \\ P_k\ (k = 55,56, ..., 62), \end{cases}$$

где P_k — символы четности, добавляемые кодером $RS_6(63,55)$.

Информационный многочлен, связанный с информационными символами $\{D_0, D_1, ..., D_{54}\}$, обозначается как

$$D(x) = x^{54}D_0 + x^{53}D_1 + ... + xD_{53} + D_{54}.$$

Многочлен проверки четности, связанный с символами проверки четности, обозначается как

$$P(x) = x^7P_{55} + x^6P_{56} + ... xP_{61} + P_{62}.$$

Символы проверки четности вычисляются как:

$$P(x) = \text{remainder}[x^8D(x)/g(x)]$$

$$U(x) = x^8D(x) + P(x).$$

d) *Преобразование символов в биты.* Выходные символы $\{U_0, U_1, ..., U_{62}\}$ преобразуются в двоичную форму с идущим первым младшим значащим битом, составляя в результате блок из 378 бит $\{u_0, u_1, ..., u_{377}\}$.

e) *Удаление фиктивных битов.* (330 – I) фиктивных битов, добавленные на первом этапе, удаляются. Передаются только последние (I + 48) бит, то есть $\{u_{330-I}, u_{331-I}, ..., u_{377}\}$, причем u_{330-I} передается первым.

5.4.3.2 Систематическое сверточное кодирование

Внутренний сверточный кодер должен использовать кодовое соотношение R = 1/2 с порождающими многочленами $g_0 = [010]_2$ и $g_1 = [101]_2$, как показано на рисунке 4. Перед передачей каждого кодер блока PPDU должен быть инициализирован в полностью нулевое состояние. Кроме того, кодер должен быть возвращен в полностью нулевое состояние путем присоединения к блоку PPDU двух нулевых битов. Следует обратить внимание, что поскольку порождающие многочлены имеют систематический характер, они являются некатастрофическими.

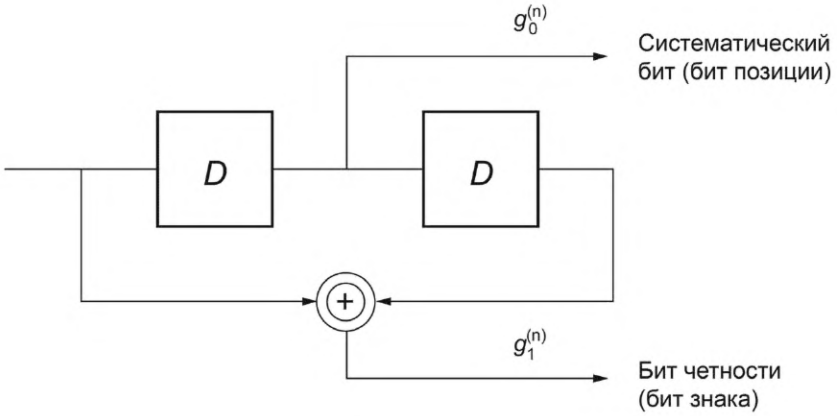


Рисунок 13 — Систематический сверточный кодер

5.5 Радиочастотные требования к физическому уровню сверхширокополосного радиоинтерфейса

5.5.1 Рабочие полосы частот

Набор рабочих полос частот определен в таблице 11. Каналом по умолчанию является канал 5.

5.5.2 Назначения каналов

Для каждой из 15 рабочих полос частот, определенных в таблице 11, при номинальной частоте повторения импульсов (ЧПИ) 16 МГц присваиваются два кода преамбулы длиной 31, что в итоге дает 30 комплексных каналов. На факультативной номинальной ЧПИ 64 МГц доступны дополнительные 60 комплексных каналов с использованием четырех кодов преамбулы длиной 127.

Таблица 11 — Рабочие полосы частот

Номер канала (десятичный)	Центральная частота *fc* (МГц)	Ширина полосы (МГц)
1	3494,4	499,2
2	3993,6	499,2
3	4492,8	499,2
4	3993,6	1331,2
5	6489,6	499,2
6	6988,8	499,2
7	6489,6	1081,6
8	7488,0	499,2
9	7987,2	499,2
10	8486,4	499,2
11	7987,2	1331,2
12	8985,6	499,2
13	9484,8	499,2
14	9984,0	499,2
15	9484,8	1354,97

5.5.3 Характеристики передатчика

5.5.3.1 Основная импульсная характеристика

Форма передаваемого в эфир импульса физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса $p(t)$ должна ограничиваться формой его кросс-корреляционной функции с эталонным импульсом $r(t)$. Нормализованная взаимная корреляция двух сигналов определяется как:

$$\varphi(\tau) = \frac{1}{\sqrt{E_r E_p}} R\theta \int_{-\infty}^{\infty} r(t) p^*(t+\tau) dt.$$

В вышеприведенном выражении E_r и E_p — это энергии $r(t)$ и $p(t)$ соответственно. Эталонный импульс $r(t)$, использованный в расчете $\varphi(\tau)$, — это основание приподнятого косинусоидального импульса с коэффициентом сглаживания $\beta = 0{,}5$. Математически это:

$$r(t) = \frac{4\beta}{\sqrt[4]{T_p}} \frac{\cos\left[(1+\beta)\pi t / T_p\right] + \frac{\sin\left[(1-\beta)\pi t / T_p\right]}{4\beta\left(t / T_p\right)}}{1-\left(4\beta t / T_p\right)^2}.$$

В вышеприведенном уравнении T_p — величина, обратная частоте элементов сигнала. Таблица 12 показывает необходимую длительность импульса для каждого канала.

Таблица 12 — Требуемая длительность эталонного импульса в каждом канале

Номер канала	Длительность импульса, T_p (нс)	Ширина главного лепестка, T_w (нс)
{1:3, 5:6, 8:10, 12:14}	2,00	0,5
7	0,92	0,2
{4, 11}	0,75	0,2
15	0,74	0,2

Чтобы сверхширокополосный передатчик был совместимым с настоящим стандартом, передаваемый импульс $p(t)$ должен иметь кросс-корреляционную функцию $\varphi(\tau)$, величина главного лепестка которой была бы больше или равна 0,8 в течение по крайней мере T_w (см. таблицу 12), а любые боковые лепестки были бы не больше 0,3. Для целей тестирования импульса на соответствие определено следующее: пусть $\varphi(\tau)$ — величина кросс-корреляции $p(t)$ и $r(t)$ и пусть τ_i, где $i = 1, 2, \ldots$ — набор критических точек, то есть точек, в которых $\frac{d}{dt}\left|\varphi(t)\right|\Big|_{t=t_i} = 0$. Максимум функции имеет место в одной из таких критических точек τ_{max}, где $\left|\varphi(\tau_{max})\right| \geq \left|\varphi(\tau)\right|$ для всех значений τ. Изложенные выше требования, таким образом, состоят в том, что для некоторого непрерывного набора значений, которые содержат точку τ_{max}, функция $|\varphi(\tau)|$ больше, чем 0,8. Кроме того, второе ограничение на величину боковых лепестков может быть сформулировано математически, как $|\varphi(\tau_i)| \leq 0{,}3$ для всех τ_i.

Рисунок 14 показывает пример импульса, совместимого с физическим уровнем сверхширокополосного радиоинтерфейса, $p(t)$ (левый график) вместе с косинусоидальным эталонным импульсом с приподнятым основанием $r(t)$ с $T_p = 2{,}0$ нс (средний график) и величиной кросс-корреляции $|\varphi(\tau)|$ (правый график). Импульс $p(t)$ представляет собой импульс Баттерворта (Butterworth) 8-го порядка, с шириной полосы 500 МГц на уровне 3 дБ. Рисунок имеет целью показать, что в этом примере импульс соответствует требованиям совместимости. В частности, главный лепесток выше 0,8 в течение около 1 нс и нет боковых лепестков больше 0,3 (в данном случае наибольший боковой лепесток составляет 0,3). Импульс $p(t)$ — это совместимый импульс для каналов {1—3, 5, 6, 8—10, 12—14}.

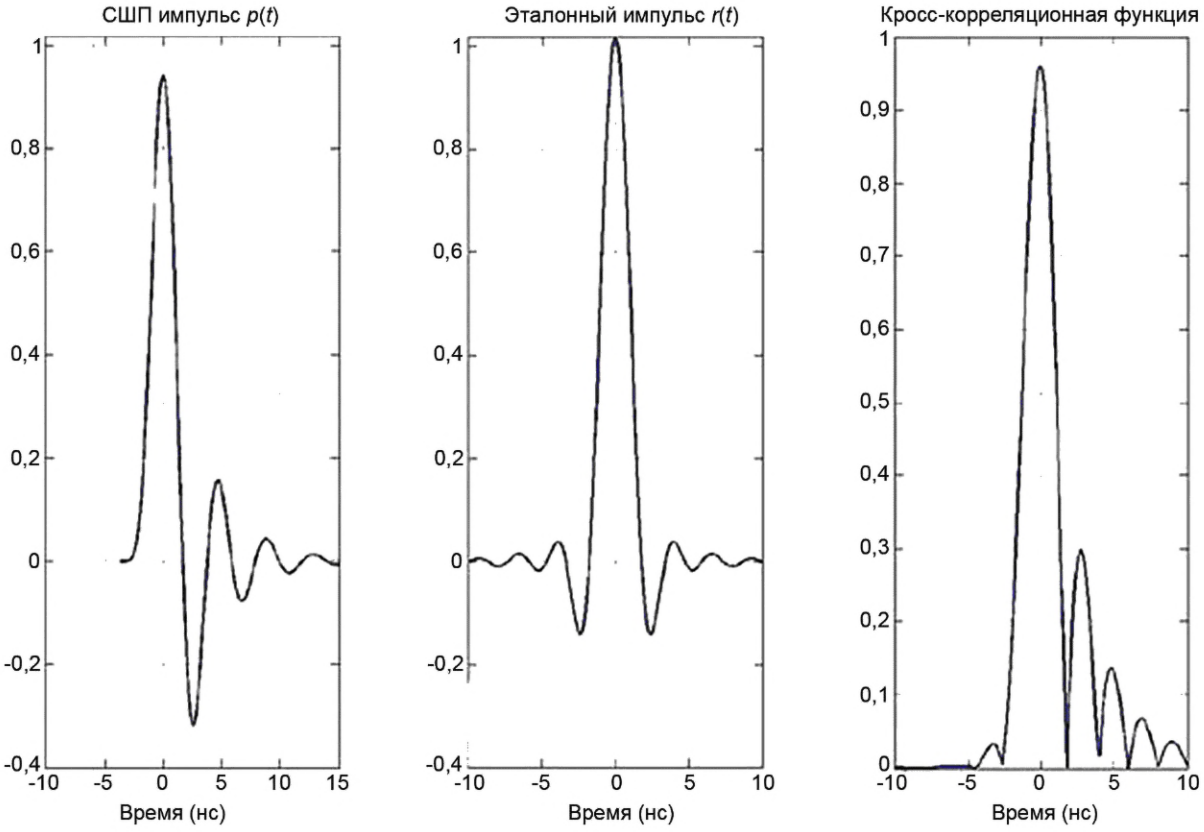


Рисунок 14 — Пример совместимого импульса

Следует обратить внимание, что целью данного стандарта не является предположение, что формирование импульса должно происходить в основной полосе частот, а только то, что описанные здесь измерения происходят на огибающей импульса, если формование выполняется в полосе пропускания.

5.5.3.2 Маска спектральной плотности передачи (PSD)

Передаваемый спектр должен быть меньше чем –10 дБ (относительно максимума спектральной плотности мощности) при $0{,}65/T_p < |f - f_c| < 0{,}8/T_p$ и –18 дБ при $|f - f_c| > 0{,}8/T_p$*.

Например, маска спектра передаваемого сигнала для канала 4 показана на рисунке 15. Измерения должны выполняться с использованием частотного разрешения 1 МГц и пропускной способностью видео 1 кГц.

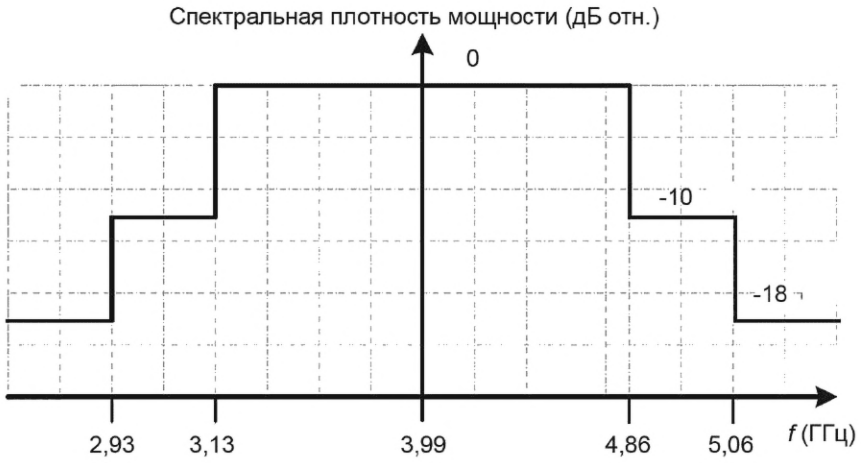


Рисунок 15 — Маска спектра передаваемого сигнала для канала 4

* *Где T_p — длительность импульса (см. таблицу 2), f_c — центральная частота канала.*

5.5.3.3 Выравнивание несущей и синхронизация передачи элементов сигнала

Сверхширокополосный передатчик должен быть способен синхронизировать максимальные ЧПИ, приведенные в таблице 3, с точностью ± 20 ppm. Кроме того, для каждого сверхширокополосного канала физического уровня центр передаваемой энергии должен соответствовать значениям, указанным в таблице 11, также с точностью ± 20 ppm. Измерения должны быть сделаны с использованием частотного разрешения 1 МГц и пропускной способностью видео 1 кГц.

5.6 Метки времени и единицы измерения времени

На фундаментальном уровне системы RTLS и измерение расстояния, описанные в этом стандарте, возможны благодаря способности присвоения значений меток времени (счетчика измерения расстояния) точным мгновениям, когда маркеры измерения расстояния (RMARKERS) приняты (и переданы). А поскольку этот счетчик и его способность точно отмечать время имеются, то концептуально расчет времени распространения радиосигнала прост. Счетчик измерения расстояния оценивает метки времени событий RMARKER* на антенне устройства.

5.6.1 Единицы времени

Единицы времени, используемые для меток времени счетчика измерения расстояния, определяются младшим значащим битом (LSB) значений времени, который представляет 1/128 времени элемента сообщения при обязательной скорости передачи элементов сообщения 499,2 МГц.

Примечание — Младший значащий бит LSB счетчика измерения расстояния представляет собой настолько малый временной интервал, что реальному физическому счетчику пришлось бы работать на номинальной частоте 64 ГГц, чтобы выдавать величины с таким разрешением. Действительной физической реализации не ожидается. Вместо этого предполагается, что вычислительная техника будет использоваться для создания достаточного количества менее значимых битов, чтобы производить желаемую эксплуатационную точность.

5.6.2 Задержки антенны

События время прибытия и время отправки относятся к нахождению маркера пакет измерения расстояния (RMARKER) на антенне.

Метка времени получения, естественно, появится в цифровом домене приемника через некоторое время после того, как RMARKER поступит на антенну. Чтобы вычислить, когда RMARKER был на антенне, и сформировать точное время прибытия, необходимо учитывать все задержки системы между антенной и внутренней цифровой меткой времени получения. Эту задержку приема антенны затем необходимо вычесть из внутренней цифровой метки времени получения, чтобы дать значение времени прибытия.

Аналогично в передатчике должны быть учтены все системные задержки между внутренней цифровой меткой времени передачи и антенной. Эту задержку передающей антенны затем нужно добавить к внутренней цифровой метке времени передачи, чтобы выдать значение времени отправки, когда передача маркера RMARKER произошла на антенне.

Механизмы, определяющие эти задержки антенны, выходят за рамки настоящего стандарта.

6 Основной формат сообщения

Настоящий раздел описывает основной формат, используемый для радиосообщений между меткой и инфраструктурой. Одинаковые основные правила форматирования сообщений используются для однонаправленной связи, определенной в разделе 7, и для двухсторонней связи, определенной в разделе 8.

6.1 Структура сообщений и правила обработки

Каждое сообщение начинается с одного или двух октетов управления кадром, и каждое сообщение заканчивается двухоктетной контрольной последовательностью кадра (FCS). Длина сообщения, определенная в заголовке физического уровня (см. 5.3.6), используется для обнаружения и проверки FCS, как описано в 6.2.

Каждое сообщение несет порядковый номер (DSN), который увеличивается на 1 (по модулю 256) при каждой новой передаче кадра. Начальное значение номера DSN может определяться случайным образом.

---

* *Появление маркера измерения расстояния.*

Для каждого полученного кадра проверяется последовательность FCS. Если последовательность FCS неправильна, кадр считается ошибочным и отбрасывается. Только кадры с правильной последовательностью FCS подвергаются дальнейшей обработке.

Когда принятый кадр имеет адрес назначения, он должен быть отброшен, если адрес назначения не совпадает с адресом принимающего узла.

6.1.1 Время прибытия/Время отправления

Время прибытия и время отправления кадров могут быть использованы для определения местонахождения. Блинк-посылок однонаправленной связи (как это определено в разделе 7) самих по себе достаточно, чтобы выполнить однонаправленное определение местонахождения методом разницы во времени прибытия (TDOA). Определение местонахождения, основанное на двухстороннем измерении расстояния, возможно там, где метки могут осуществлять факультативную двустороннюю связь (как определено в разделе 8), а также способны точно фиксировать метки времени передачи и получения.

6.2 Последовательность проверки кадра (FCS)

Последовательность FCS появляется в конце любого кадра. Длина последовательности FCS составляет 2 октета, и FCS содержит 16-разрядную стандартную (ITU-T) контрольную сумму CRC. Последовательность FCS вычисляется над полным кадром, начиная с октета(ов) управления кадром. Последовательность FCS должна рассчитываться с помощью следующего стандартного порождающего многочлена 16-й степени:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1.$$

Последовательность FCS должна быть рассчитана для передачи, используя следующий алгоритм:

- пусть $M(x) = b_0x^{k-1} + b_1x^{k-2} + ... + b_{k-2}x + b_{k-1}$ — многочлен, представляющий последовательность битов, для которых рассчитывается контрольная сумма;
- умножают $M(x)$ на x^{16}, что дает многочлен $x^{16} \cdot M(x)$;
- делят $x^{16} \cdot M(x)$ по модулю 2 на порождающий многочлен $G_{16}(x)$ для получения многочлена остатка $R(x) = r_0x^{15} + r_1x^{14} + ... + r_{14}x + r_{15}$;
- поле FCS определяется коэффициентами многочлена остатка $R(x)$.

Здесь двоичные многочлены представляются в виде битовых строк в порядке убывания степени многочлена.

В качестве примера рассмотрим кадр подтверждения без подлежащих передаче данных и следующий 3-байтный заголовок:

0100 0000 0000 0000 0101 0110 [крайний левый бит (b_0), передается первым]

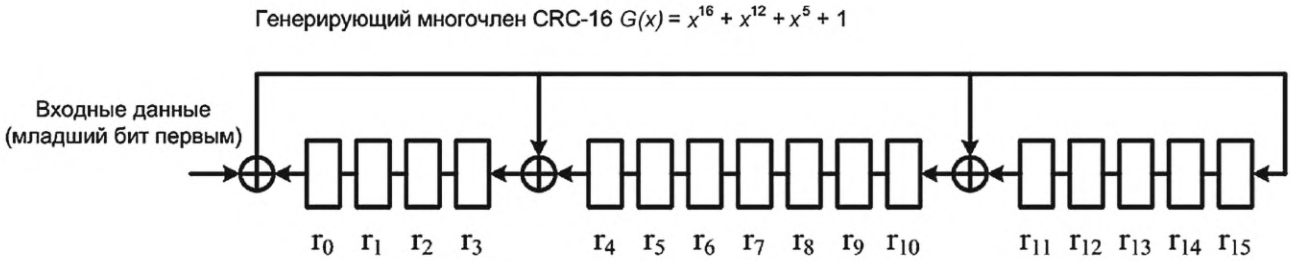
b_0 ..... b_{23}

FCS для этого случая будет выглядеть следующим образом:

0010 0111 1001 1110 [левый разряд (r_0), передается первым]

r_0.....r_{15}

Типичная реализация изображена на рисунке 16.



1. Инициализировать регистр остатка (с r_0 по r_{15}) в ноль.
2. Сдвигать заголовок и передаваемые данные в делитель в порядке передачи (младший бит вперед).
3. После того как последний бит поля данных сдвинут в делитель, регистр остатка содержит FCS.
4. FCS добавляется к полю данных, поэтому r_0 передается первым.

Рисунок 16 — Типовая реализации последовательности FCS

7 Однонаправленная связь — блинк-посылка

Основной режим работы — это простая однонаправленная связь посредством блинк-посылок, передающих идентификатор метки (ID) инфраструктуре.

Длина кадра блинк-посылки минимизирована для экономии энергии и эфирного времени, максимизируя таким образом время жизни батарей и плотность меток. Блинк-посылки на этом уровне вполне достаточно для идентификации метки-отправителя, а если блинк-посылка получена несколькими синхронизированными по времени узлами инфраструктуры, это является достаточным также для позиционирования (определения местонахождения) метки-отправителя.

Разрешено два варианта кодирования, в одном из которых применяется тип идентификатора метки по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*, а в другом — по *[18]*. В метке может использоваться любой вариант. Инфраструктура должна быть способна декодировать оба варианта. Кодировки определены в подпунктах ниже.

Блинк-посылка — это периодически передаваемое сообщение. Обычно после отправки блинк-посылки метка переходит в спящее состояние с меньшим потреблением энергии, отсчитывая период, когда подойдет очередь отправки следующей блинк-посылки. К периодичности отправки блинк-посылок должны быть применены случайные колебания так, чтобы метки с близкими частотами кристаллов не оставались заблокированными, когда их передачи долгое время вступают в коллизию.

7.1 Кодирование кадров блинк-посылок с идентификаторами меток по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*

Это кодирование переносит идентификатор по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963* и использует кодирующий октет заголовка, определяющий оставшиеся поля кадра. Рисунок 17 показывает поля внутри кадра.

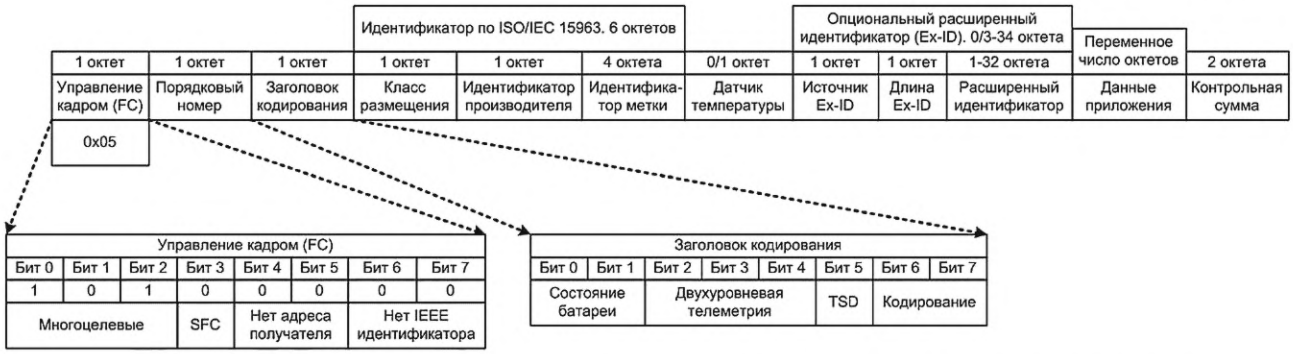


Рисунок 17 — Кодирование кадра блинк-посылки с идентификатором по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*

7.1.1 Суб-поля кадра блинк-посылки с идентификатором по ИСО

Отдельные суб-поля, показанные на рисунке 17, описаны в подпунктах ниже.

7.1.1.1 Управление кадром (FC)

FC (октет) кадра блинк-посылки, который несет идентификатор по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*, имеет фиксированное значение 0x05, служащее признаком универсального кадра данных с коротким 1-октетным управлением кадра, отсутствием адреса назначения и адреса источника по *[18]*, а также указывающее, что идентификатор метки по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963* переносится далее в кадре. Адрес назначения не требуется, поскольку блинк-посылка — это широковещательный кадр.

7.1.1.2 Порядковый номер

Порядковый номер октета содержит текущее значение порядкового номера данных (Data Sequence Number, DSN). Номер DSN вставляется в исходящий кадр блинк-посылки, после чего номер DSN увеличивается на 1 (по модулю 256)*.

7.1.1.3 Заголовок кодирования

Октет «заголовок кодирования» имеет ряд дополнительных суб-полей, определяющих остальное содержимое кадра. Они определены в таблице 13.

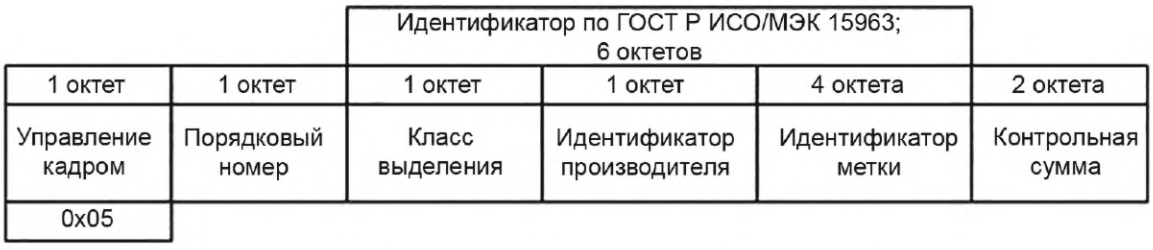
---

* *При каждой передаче.*

Таблица 13 — Заголовок кодирования суб-полей в кадре блинк-посылки, несущем идентификатор по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*

Поля	Номера битов	Значения
Режим кодирования	7, 6	Это двухбитовое поле определяет режим кодирования кадра со следующими значениями: 0, 0 — зарезервировано 0, 1 — кадр блинк-посылки не имеет дополнительного расширенного идентификатора 1, 0 — кадр блинк-посылки несет дополнительный расширенный идентификатор 1, 1 — зарезервировано
Наличие данных датчика температуры	5	Этот бит определяет, содержит ли кадр данные датчика температуры, со следующими значениями: 0 — нет данных датчика температуры 1 — данные датчика температуры присутствуют в кадре двухуровневой телеметрии
Двухуровневая телеметрия	4, 3, 2	Эти биты доступны для сигнализации значений из трех отдельных битов двухуровневых данных датчиков телеметрии. Значение и использование зависит от идентификатора изготовителя метки. Пример использования: для передачи состояния кнопки сообщений, триггера датчика движения, или сигнализации защиты от вскрытия
Уровень заряда аккумулятора	1, 0	Эти биты используются для сигнализации состояния батареи со следующими значениями: 0, 0 — батарея хорошая 1, 0 — батарея 10 до 30 % 0, 1 — батарея 0 до 10 % 1, 1 — метка не предоставляет состояние батареи

Примечание — Этот заголовок кодирования может игнорироваться, чтобы отправить блинк-посылку минимальной длины, приведенную на рисунке 18. Если заголовок кодирования опущен, можно предположить, что значения двухуровневой телеметрии и уровня заряда батареи либо неизвестны, либо неизменны со времени какого-либо из предыдущих отчетов, и в кадре не должно быть каких-либо дополнительных данных. Метка может отправлять композицию блинк-посылок минимальной длины и большей длины.



10 октетов минимальной блинк-посылки с индентификатором по ИСО

Рисунок 18 — Кодирование кадра блинк-посылки минимальной длины с идентификатором по ИСО

Блинк-посылка минимальной длины может использоваться, когда нет никакой дополнительной информации, чтобы передать другим, кроме идентификатора метки. Более длинная форма кодирования блинк-посылки может быть использована, когда метка должна передавать дополнительную информацию.

7.1.1.4 Идентификатор по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963*

6-октетное поле идентификатора по *ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963* состоит из октета кода категории, октета идентификатора изготовителя и четырех октетов идентификатора метки, которые определяются следующим образом:

Код категории: Текущая категория — 0, таким образом, это восемь битов «0».

Идентификатор изготовителя: Это уникальный код изготовителя метки. Один изготовитель может иметь несколько присвоенных ему идентификаторов. Идентификатор изготовителя определяет интерпретацию данных EXT.

Идентификатор метки: Уникальный идентификатор метки (4 байта).

7.1.1.5 Данные датчика температуры

Этот дополнительный октет представлен, если бит TSD в заголовке кодирования установлен в 1.

Этот октет представляет температуру как 8-битовое целое число со знаком в диапазоне от –128 до +127 °С.

7.1.1.6 Дополнительный расширенный идентификатор

Это дополнительное поле представлено, если биты режима кодирования (7, 6) в заголовке кодирования установлены равными 1, 0. Когда расширенный идентификатор представлен, он состоит из октета источника расширенного идентификатора (*Ex-ID Source*), октета длины расширенного идентификатора (*Ex-ID Length)* и поля переменной длины *ExID*, которые определяются следующим образом:

Ex-ID Source: Этот октет определяет источник идентификатора (организация-инициатор и/или тип кодировки идентификатора). Значения 0—255, выделяемые в соответствии с таблицей 15.

Ex-ID Length: Этот октет определяет длину расширенного идентификатора в октетах, как показано в таблице 14. Биты 0—4 представляют число октетов, а биты 5—7 зарезервированы, должны быть установлены в ноль при передаче и могут быть проигнорированы при получении.

ExID: Идентификационный номер. *ExID* занимает следующие *n* байт поля расширенного идентификатора, где *n* — длина расширенного идентификатора, деленная на 8, или следующее наибольшее целое число, если результат будет дробным. Значение *Ex-ID Length* 0 означает 256 бит или 32 октета. Наименее значащие биты *ExID* отправляются первыми, и оконечные биты *ExID* в любом частично заполненном последнем октете выравниваются в наименее значащие биты этого октета, а неиспользуемые биты устанавливаются в ноль.

Таблица 14 — Длина номера Ex-ID

Длина номера Ex-ID b0 (младший значащий бит) — b4 (старший значащий бит)		Зарезервированы b_5 — b_7
00000	1 октет	000
10000	2 октета	
…	…	
01111	31 октет	
11111	32 октета	

Таблица 15 — Коды источника номера Ex-ID и их значение

Источник номера Ex-ID	Описание
С 0x00 по 0xBF	Зарезервировано. Стандарт ИСО/МЭК может определить эти коды источника номера Ex-ID в будущих версиях этого стандарта
С 0xC0 по 0xFF	Определяется изготовителем. Изготовители могут определить свои собственные значения для этих кодов источника номера Ex-ID. Интерпретация этих кодов зависит в этом случае от идентификатора изготовителя, определенного в 7.1.1.4 или входящего в состав идентификатора метки по *[18]*, определенного в 7.2.1.3

7.1.1.7 EXT-данные

Это поле является расширением, позволяющим блинк-посылке переносить специфическую информации изготовителя. Интерпретация данных в этом поле зависит от идентификатора изготовителя (см. 7.1.1.4).

7.2 Кодирование кадров блинк-посылок с идентификатором метки по *[18]*

Это кодирование несет 64-битовый расширенный уникальный идентификатор (EUI-64) по *[18]*, предоставляя совместимую адресацию в рамках стандартов ИИЭР (IEEE). На рисунке 19 показаны поля внутри кадра.

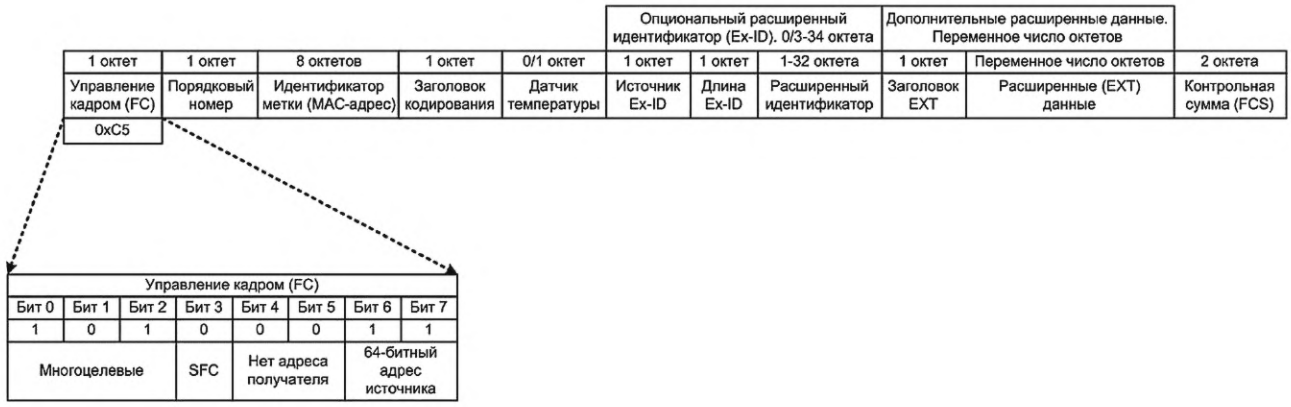


Рисунок 19 — Кодирование кадра блинк-посылки с идентификатором по *[18]*

7.2.1 Суб-поля кадра блинк-посылки с идентификатором по *[18]*

Отдельные суб-поля, показанные на рисунке 19, описаны в подпунктах ниже.

7.2.1.1 Управление кадром (FC)

FC (октет) кадра блинк-посылки, несущего идентификатор по *[18]*, имеет фиксированное значение 0xC5, означающее универсальный кадр данных с коротким 1-октетным полем управления кадром, без адреса назначения и с 64-битовым адресом источника (идентификатором метки). Адрес назначения не нужен, так как блинк-посылка — это широковещательный кадр.

7.2.1.2 Порядковый номер

Октет порядкового номера содержит текущее значение порядкового номера данных (DSN). Номер DSN вставляется в исходящий кадр блинк-посылки, после чего номер DSN увеличивается на 1 (по модулю 256)*.

7.2.1.3 Идентификатор метки (EUI-64)

Идентификатор метки в пределах этого кадра блинк-посылки — это 64-битовый адрес источника, соответствующий EUI-64. Каждая метка, применяющая такой формат блинк-посылки, должна иметь уникальный EUI-64 идентификатор. Обычно он назначается во время изготовления устройства и постоянно в нем хранится.

7.2.1.4 Заголовок кодирования

Октет «заголовок кодирования» имеет ряд суб-полей, определяющих остальное содержимое кадра. Они определены в таблице 16.

Таблица 16 — Суб-поля в составе поля «заголовок кодирования» кадра блинк-посылки, несущего идентификатор метки по *[18]*

Поля	Номера битов	Значения
Режим кодирования	7, 6	Это двухбитовое поле определяет режим кодирования кадра со следующими значениями: 0, 0 — зарезервировано 0, 1 — кадр блинк-посылки не имеет дополнительного расширенного идентификатора 1, 0 — бкадр блинк-посылки несет дополнительный расширенный идентификатор 1, 1 — зарезервировано

* *При каждой передаче.*

Окончание таблицы 16

Поля	Номера битов	Значения
Наличие данных датчика температуры	5	Этот бит определяет содержит ли кадр данные датчика температуры со следующими значениями: 0 — нет данных датчика температуры 1 — данные датчика температуры присутствуют в кадре двухуровневой телеметрии
Двухуровневая телеметрия	4, 3, 2	Эти биты доступны для сигнализации значений из трех отдельных битов двухуровневых данных датчиков телеметрии. Значение и использование зависит от идентификатора изготовителя метки. Пример использования: для передачи состояния кнопки сообщений, триггера датчика движения или сигнализации защиты от вскрытия
Уровень заряда аккумулятора	1, 0	Эти биты используются для сигнализации состояния батареи со следующими значениями: 0, 0 — батарея хорошая 1, 0 — батарея 10 до 30 % 0, 1 — батарея 0 до 10 % 1, 1 — метка не предоставляет состояние батареи

Примечание — Разрешается опустить этот заголовок кодирования, чтобы отправить блинк минимальной длины, показанный на рисунке 20. В этом случае можно предположить, что значения двухуровневой телеметрии и уровня заряда батареи либо неизвестны, либо неизменны со времени какого-либо из предыдущих отчетов. В этом случае в кадре не может быть каких-либо дополнительных данных.



Рисунок 20 — Кодирование минимального кадра блинк-посылки с идентификатором по *[18]*

Минимальная блинк-посылка может использоваться, когда нет никакой дополнительной информации, чтобы передать другим, кроме идентификатора метки. Более длинные формы кодирования блинк-посылки могут быть использованы, когда метка имеет дополнительную информацию для передачи. Метка может отправлять смесь минимальных и более длинных блинк-посылок.

7.2.1.5 Данные датчика температуры

Этот дополнительный октет представлен, если бит TSD в заголовке кодирования установлен в 1. Этот октет представляет температуру как 8-битовое целое число со знаком в диапазоне от –128 до +127 °С.

7.2.1.6 Дополнительный расширенный идентификатор

Это необязательное поле представлено, если биты режима кодирования (7, 6) в заголовке кодирования устанавливаются в 1, 0.

Кодировка этого факультативного поля расширенного идентификатора такая же, как определена в пункте 7.1.1.6.

7.2.1.7 Заголовок EXT

Заголовок EXT — это однооктетная битовая карта, которая определяет и указывает дополнительные стандартные элементы расширенного (EXT) поля данных. Значение битов в битовой карте заголовка EXT приведены в таблице 17. Каждый бит указывает включение необязательного элемента. Необязательные элементы индивидуально описаны в последующих пунктах.

Таблица 17 — Определение битов заголовка EXT

Номер бита	Обозначение	Описание
0	BRL	Частота передачи блинк-посылок и прослушивание (Blink Rate and Listening — BRL). Этот бит позволяет включить поля, указывающие на то, как часто метка отправляет блинк-посылки, а если она способна принимать команды, то когда она в следующий раз будет слушать их. Когда бит BRL равен 1, поля частоты передачи блинков и прослушивания, определенные в 7.2.1.8.1, включаются в кадр блинк-посылки. Когда BRL равен 0, эти поля не включаются в кадр блинк-посылки
1	TLN	Метка сейчас слушает (Tag Listening Now — TLN). TLN = 1 показывает, что метка будет слушать непосредственно после этой блинк-посылки. Если поля «частота передачи блинк-посылок» и «прослушивание» включены (то есть когда BRL = 1), бит TLN должен согласовывать поле блинк-посылки «далее слушаю» так, чтобы TLN был равен 1, когда число блинк-посылок до следующего прослушивания равно нулю, и TLN был равен 0 для ненулевого числа блинк-посылок перед прослушиванием. Когда TLN = 1, а BRL = 0, код преамбулы, используемый для прослушивания, должен быть таким же, как используемый для отправки блинк-посылки
2—7	R	Зарезервированы. Отправляются как нули. Эти биты зарезервированы для использования в будущих определениях расширенного использования блинк-посылок

Примечание — Если данных EXT нет, разрешается опустить заголовок EXT. В этом случае можно предположить, что метки не будут слушать ответ на блинк-посылки.

7.2.1.8 Данные EXT

Это поле является расширением, позволяющим блинк-сообщению переносить дополнительную информацию. Содержание некоторых данных EXT определяется заголовком EXT (см. 7.2.1.7), оставшиеся октеты включаются в данные EXT конкретного изготовителя и должны быть интерпретированы только если изготовителя можно определить по его идентификатору согласно EUI-64.

Один стандартный элемент* определен в 7.2.1.8.1, он может быть интерпретирован независимо от значения идентификатора EUI-64.

7.2.1.8.1 Частота передачи блинк-посылок и индикация прослушивания

Поле «частота передачи блинк-посылок и прослушивание» составляет 4 октета в длину и включает три отдельных суб-поля, описанных ниже, которые показывают, как часто метка отправляет блинк-посылки и будет ли она способна принимать ответ, а если да, то когда она будет слушать ответ в следующий раз. Порядок передачи этих суб-полей следующий: «частота передачи блинк-посылок», затем «число блинк-посылок до следующего прослушивания», а затем «режим прослушивания». Двухоктетное суб-поле «частота передачи блинк-посылок» отправляется, начиная с наименее значимого октета. Если метка не может слушать и/или приложению не нужно знать информацию о частоте передачи блинк-посылок, тогда эти четыре октета «частота передачи блинк-посылок и прослушивание» могут быть опущены, в этом случае бит BRL заголовка EXT должен быть установлен в 0.

7.2.1.8.1.1 Частота передачи блинк-посылок

Суб-поле «частота передачи блинк-посылок» имеет длину 2 октета и кодирует частоту передачи блинк-посылок, как определено в таблице 18.

Таблица 18 — Кодирование частоты передачи блинк-посылок

Бит 15	Бит 14	Биты с 13 до 0	Диапазон периодичности передачи блинк-посылок, определяемый битами с 13 до 0
0	0	От 1 до 16383	Периодичность передачи в миллисекундах. Диапазон от 1 мс до 16,38 с
0	1	От 1 до 16383	Периодичность передачи в единицах, равных 25 мс. Диапазон от 25 мс до 6,8 мин
1	0	От 1 до 16383	Периодичность передачи в секундах. Диапазон от 1 с до 4,5 час
1	1	—	Зарезервировано

Примечание — Указанное кодирование используется также для настройки периодичности передачи блинк-посылок, значение 0x0000 используется для всего 16-битового поля, если это поле присутствует в конфигурационном сообщении, но не меняет ранее установленную частоту передачи блинк-посылок.

* *EXT-данных.*

7.2.1.8.1.2 Количество блинк-посылок до следующего прослушивания

Суб-поле «количество блинк-посылок до следующего прослушивания» составляет 1 октет и кодирует отсчет времени в блинк-посылках до следующего прослушивания. Значения поля определены в таблице 19.

7.2.1.8.1.3 Режим прослушивания

Суб-поле «режим прослушивания» — это однооктетное поле, кодирующее режим прослушивания, как определено в таблице 20. Пять младших битов режима прослушивания указывают код, который метка будет использовать для прослушивания. Индивидуальные коды, разрешенные к применению на каждом канале, приведены в таблицах 6 и 7. Три старших бита режима прослушивания зарезервированы для использования в будущем.

Таблица 19 — Число блинк-посылок до следующего прослушивания

Число блинк-посылок до следующего прослушивания	Значение
255	Метка не будет слушать
254	Метка будет слушать, но только после того, как будут отправлены следующие 254 или более блинк-посылок
253	Метка будет слушать после следующих 253 блинк-посылок
…	…
2	Метка будет слушать после следующих 2 блинк-посылок
1	Метка будет слушать после отправки следующей блинк-посылки
0	Метка будет слушать после отправки этой блинк-посылки

Таблица 20 — Кодирование режима прослушивания

Бит 7	Бит 6	Бит 5	Бит 4	Бит 3	Бит 2	Бит 1	Бит 0
R	R	R	Величины в диапазоне от 1 до 24				
Зарезервированы (передаются как нули)			Определяют код преамбулы, который метка будет использовать при прослушивании отклика				

8 Двухсторонняя связь — информационные сообщения

Этот дополнительный режим работы делает возможным двухсторонний обмен данными между инфраструктурой и метками. Двустороннюю связь инициирует инфраструктура, отвечая на блинк-посылку, которая включает указание на то, что метка будет слушать ответ (см. 7.2.1.8.1).

Двусторонняя связь использует формат кодирования информационных сообщений, определенный в 8.1. Детали работы в режиме двусторонней связи определены в 8.2.

8.1 Информационные сообщения

Кодирование кадра данных используется для двусторонней связи, которая является дополнительной частью настоящего стандарта. Односторонняя передача блинк-посылок из метки в инфраструктуру достаточна для реализации системы позиционирования реального времени (Real Time Locating System — RTLS), использующей алгоритм разницы во времени прибытия (TDOA). Двусторонняя связь делает возможными дополнительные функции, такие как управление метками, а также измерение расстояния по времени распространения радиосигнала (Time of Flight — TOF), дающее возможность определения местонахождения метки с помощью ручных устройств или реализации системы RTLS на основе измерения TOF.

Определяемое здесь кодирование поддерживает передачу кадров данных уровня различных приложений в обоих направлениях между метками и инфраструктурой. Для такой связи необходимо включать оба адреса (идентификатора) — источника и назначения. Кодирование, используемое здесь, соответствует кодированию кадра данных по *[13]*.

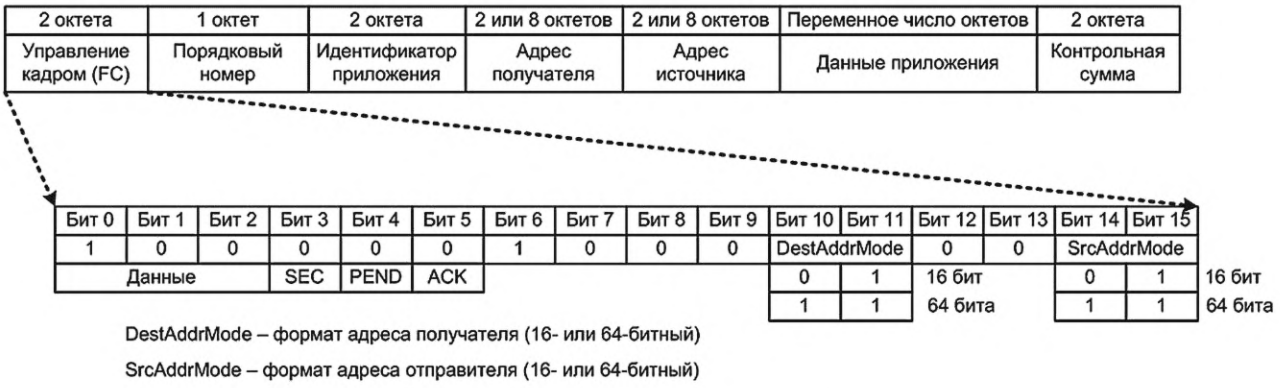


Рисунок 21 — Кодирование кадра данных

8.1.1 Суб-поля кадра данных

Кадр данных содержит шесть суб-полей (не включая завершающей контрольной суммы — FCS), а именно: управление кадром — FC, порядковый номер, идентификатор приложения, адреса источника и получателя и данные уровня приложения. Эти суб-поля описаны ниже.

8.1.1.1 Суб-поле управления кадром (FC)

Октеты суб-поля управления кадром (FC) в кадре данных имеют разные значения в зависимости от установок различных битов суб-поля внутри FC. Это обсуждается ниже в отдельных подпунктах. Биты SEC, PEND и ACK не используются в настоящем стандарте, но они могут быть использованы совместно работающими приложения с соблюдением правил по *[13]* в рамках реализации дополнительных функциональных возможностей.

8.1.1.1.1 Суб-поле формата адреса получателя

Два бита в суб-поле DestAddrMode определяют, какой формат используется для адреса назначения — 16-битовый или 64-битовый. Как правило, метка будет иметь 64-битовый адрес, а устройства инфраструктуры могут иметь 16-разрядные адреса. 16-разрядный адрес может быть временно присвоен метке инфраструктурой.

8.1.1.1.2 Суб-поле формата адреса источника

Два бита в суб-поле SrcAddrMode определяют, какой формат используется для адреса назначения — 16-битовый или 64-битовый.

8.1.1.2 Суб-поле порядкового номера

Октет «порядковый номер» содержит текущее значение порядкового номера (DSN). Текущее значение номера DSN вставляется в исходящие кадры данных, после чего номер DSN увеличивается на 1 (по модулю 256)*.

8.1.1.3 Суб-поле идентификатора приложения

Это 16-битовая величина. Его место размещения в кадре соответствует сетевому идентификатору в формате кадра по *[13]*. Значение 0x609A используется во всех кадрах данных, определенных в настоящем стандарте. Младший байт отправляется первым. Метки и устройства инфраструктуры, удовлетворяющие данному стандарту, могут игнорировать полученные кадры с другими значениями идентификаторов приложений.

8.1.1.4 Суб-поле адреса назначения

Оно может иметь длину 16 или 64 бита в зависимости от формата адреса назначения, указанного в поле управления кадром. Передающая метка или узел инфраструктуры вставят соответствующий адрес назначения, когда передают кадр данных. Метки и устройства инфраструктуры, удовлетворяющие данному стандарту, должны игнорировать полученные кадры данных с адресом назначения, который не соответствует присвоенному им собственному адресу.

8.1.1.5 Суб-поле адреса источника

Оно может иметь длину 16 или 64 бита в зависимости от формата адреса источника, указанного в поле управления кадром. При отправке кадра в качестве адреса источника должен быть установлен адрес, присвоенный передающему узлу.

8.1.1.6 Суб-поле данных приложения

Это суб-поле переносит данные, определенные в 8.2.

---

* *При каждой передаче.*

8.2 Работа двусторонней связи

Двусторонняя связь является факультативной частью настоящего стандарта, дающей богатый набор функциональных возможностей.

Главным (по умолчанию) видом отправляемого метки RTLS сообщения является блинк-посылка. Если метка способна слушать радиоэфир и вступать в двусторонний обмен сообщениями с инфраструктурой, обмен этими информационными сообщениями может использоваться, чтобы осуществлять дополнительное управление метками, а если метка достаточно способна, то и дополнительно выполнять двухстороннее измерение расстояния.

Предполагается, что система RTLS, использующая алгоритм TDOA, основанная на приеме однонаправленных блинк-посылок, будет преобладающим видом активности инфраструктуры. Для этого необходима только односторонняя связь, поэтому метке, которая слушает (после отправки блинк-посылки), не следует ожидать ответа каждый раз, когда она слушает, и чтобы экономить энергию, ее приемник должен оставаться включенным только на время, достаточное, чтобы получить долгожданный ответ.

В то время как двусторонняя связь позволяет общую конфигурацию и управление метками со стороны инфраструктуры, другим применением является двухстороннее измерение расстояния, которое может быть полезно для поиска помеченного предмета с использованием ручного устройства считывания.

8.2.1 Техника решения двусторонней связи

Если блинк-посылка указывает, что метка-отправитель будет слушать непосредственно после отправки блинка-посылки, инфраструктура может решить ответить (обычно из ближайшего узла инфраструктуры, поддерживающего двустороннюю связь). Ответ инфраструктуры и все последующие взаимодействия должны использовать двусторонние сообщения, определенные здесь. Эти двусторонние сообщения используют кодирование кадра данных, определенное в 8.1.



Рисунок 22 — Кадр данных приложения

На рисунке 22 приведены данные уровня приложения в кадре информационного сообщения. Далее в настоящем подразделе передаваемая в сообщении информация приложения приведена без форматирования кадра данных, в который информация упакована.

Адресом назначения для любого направленного в метку сообщения (и адресом источника любого сообщения от метки) будет уникальный 64-битовый адрес метки, используемый в блинк-посылке, если этой метке не выделен временно инфраструктурой 16-битовый адрес.

Для связи с меткой сообщения инфраструктуры могут использовать 16-битовые или 64-битовые адреса. Если сообщение от инфраструктуры требует ответа метки, адрес источника из сообщения инфраструктуры должен использоваться как адрес назначения в ответе метки.

Смысл передаваемых данных приложения и вытекающая из них функциональность зависят от октета «код функции», который является первым октетом всех передаваемых данных приложения. В таблице 21 перечислены коды функций приложения и соответствующие функции. Последующие пункты охватывают различные поддерживаемые функции.

Каждый код функции выбирает конкретную функцию и определяет длину данных параметра, который следует за ним. Конкретные данные изготовителя могут следовать этим определенным стандартом параметрам. Любые такие данные должны быть интерпретированы, только если изготовитель был идентифицирован, например через идентификатор EUI-64 в блинк-посылке.

Таблица 21 — Коды функций приложения

Код функции	Выбранное значение/функция
0x10	Контроль деятельности со стороны инфраструктуры
0x12	Читать возможности метки — команда инфраструктуры
0x13	Ответ на «читать возможности метки»
0x14	Читать конфигурацию метки — команда инфраструктуры
0x15	Ответ на «читать конфигурацию метки»
0x16	Установить конфигурацию метки — команда инфраструктуры
0x17	Ответ на «установить конфигурацию метки»
0x19	Ошибочный ответ на «установить конфигурацию метки»
0x20	Инициирование измерения расстояния — команда инфраструктуры
0x21	Первоначальный ответ измеряющей расстояние метки на пакет — запрос измерения расстояния
0x23	Финальное ответное сообщение пакет измеряющей расстояние метки с вложенным временем передачи
0x25	Финальное ответное сообщение измеряющей расстояние метки без вложенного времени передачи
0x27	Отчет измеряющей расстояние метки с вложенным временем передачи финального ответа (0x25)
0x60..0x77 и 0xE0..0xF7	Коды пользователей — специфические приложения могут добавить функциональность управления и команд этими кодами. Прежде чем выдавать любые специфические пользовательские команды изготовителя, необходимо воспользоваться уникальным компонентом идентификатора изготовителя, чтобы проверить совместимость
Все остальные функциональные коды	Зарезервированы

8.2.1.1 Ожидаемые ответы на блинк-посылки (и другие сообщения)

После передачи блинк-посылки, в которой указывается, что метка в дальнейшем слушает, метка должна ожидать какой-либо из следующих ответов:

- нет ответа;
- контроль активности (см. 8.2.2);
- команда читать возможности метки (см. 8.2.3);
- команда читать конфигурацию метки (см. 8.2.4);
- команда установить конфигурацию метки (см. 8.2.5);
- команда выполнить двустороннее измерение расстояния (см. 8.2.6).

В случае отсутствия ответа метка должна продолжать периодическую передачу блинк-посылок согласно пункту 7. Для каждого из остальных перечисленных выше ответов указанные пункты описывают взаимодействие и последующие действия.

После любого взаимодействия, описанного ниже, если метка завершает взаимодействие отправкой сообщения инфраструктуре, метка должна слушать (как это делает после передачи блинк-посылки) в ожидании дополнительных команд от инфраструктуры и должна возобновить периодическую передачу блинк-посылок согласно пункту 7, если дополнительных команд не получено.

8.2.2 Сообщение «контроль активности» (activity control)

Сообщение «контроль активности» (activity control) используется для подачи команды продолжения активности в ходе различных взаимодействий сообщениями, описанных в последующих пунктах, а также используется, чтобы сигнализировать об окончании этой активности.

Формат 4-октетного сообщения «контроль активности» (activity control) показан на рисунке 23. Сообщение содержит один октет параметра «код активности» и связанные с ним 2 октета параметра действия (P). Значения кода активности заданы в таблице 22.

Таблица 22 — Коды контроля активности и их значения

Код активности	Описание
0x00	Завершение активности — метка должна вернуться к передаче блинк-посылок. 2-октетный параметр «P» указывает новую периодичность передачи блинк-посылок, как определено в таблице 18. Этот код используется в конце обмена измерения расстояния (см. 8.2.6), но может также использоваться в ответ на блинк-посылку
0x01	Подтверждение измерения расстояния — этот код используется в процессе двухстороннего измерения расстояния, чтобы подтвердить успех обмена измерения расстояния и чтобы инициировать новый обмен измерения расстояния с узлом инфраструктуры, использующим 16-разрядный адрес, заданный параметром «P» (см. описание обмена измерения расстояния и использование этой команды контроля активности в пункте 8.2.6)
0x02	Продолжить измерение расстояния — этот код используется в ходе двустороннего измерения расстояния, чтобы подтвердить получение от метки сообщения-запроса и запросить финальное ответное сообщение метки, выполняющей измерение расстояния. Параметр P в этом случае игнорируется. Пункт 8.2.6 описывает обмен измерения расстояния, где это сообщение используется

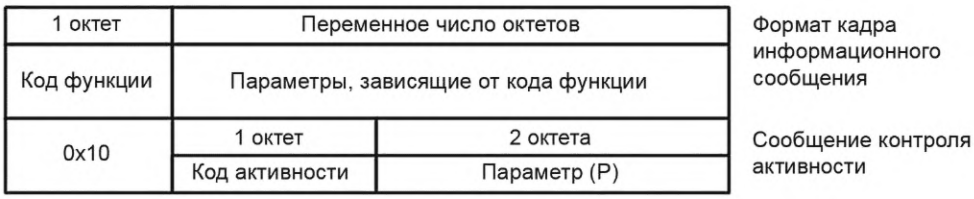


Рисунок 23 — Формат сообщения «контроль активности» (activity control)

8.2.3 Команда «считать возможности метки» (read tag capabilities)

Команда «считать возможности метки» (read tag capabilities), передаваемая инфраструктурой метке, не имеет дополнительных параметров.

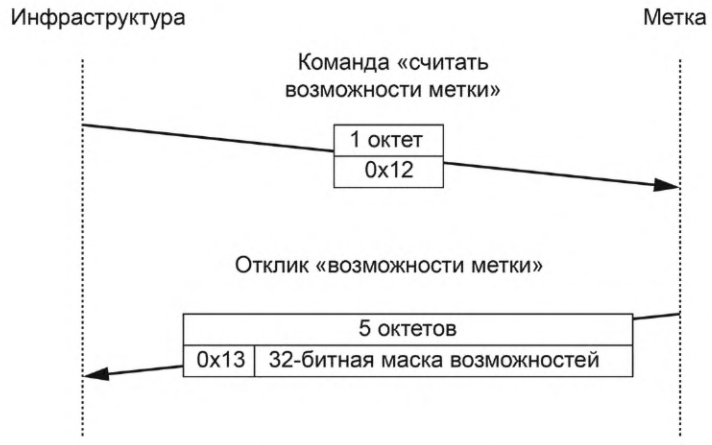


Рисунок 24 — Команда «считать возможности метки» (read tag capabilities)

Взаимодействие показано на рисунке 24. В ответ на команду «считать возможности метки» (read tag capabilities) метка передает ответ, который содержит битовую карту возможностей. В таблице 23 определены поля битовой карты возможностей. Эта битовая карта передается в порядке, изложенном в таблице, и для каждого поля младший бит передается первым.

После отправки ответа о возможностях метка должна слушать дополнительные команды, которые могут быть любыми из перечислены в 8.2.1.1, обычно ожидается после блинка. В случае отсутствия дополнительных команд метка должна возобновить периодическую передачу блинков согласно пункту 7.

Таблица 23 — Битовая карта возможностей метки

Параметр	Разрядность	Описание
Поддерживаемые каналы	15	Это битовая маска, по одному биту на каждый поддерживаемый канал. Младший бит для канала 1 и старший бит для канала 15, а промежуточные биты для каналов со 2 по 14 по порядку. Когда бит установлен, это означает, что связь на этом канале поддерживается, а также предполагает поддержку всех кодов преамбулы, которые указаны для данного канала в таблицах 6 и 7
Поддерживает ЧПИ 64	1	Этот бит, когда установлен, показывает, что метка может дополнительно отправлять и принимать с использованием номинальной ЧПИ 64 МГц. По умолчанию предполагается поддержка номинальной ЧПИ 16 МГц
Поддерживаемые скорости передачи данных	3	Это битовая маска, по одному биту для каждой поддерживаемой скорости передачи данных, с битами, означающими (от младших до старших) 110 кб/с, 6,8 и 27 Мб/с. Предполагается, что устройство поддерживает по умолчанию скорость передачи данных 850 кб/с
Поддерживаемые длины преамбулы	8	Это битовая маска, по одному биту на каждую поддерживаемую длину преамбулы, начиная с битов низшего порядка к старшим, эта битовая карта указывает на поддержку следующих длин преамбулы: 64, 128, 256, 512, 1024, 1536, 2048 и 4096 символов
Поддерживает двухстороннее измерение расстояния	1	Этот бит, когда установлен, показывает, что метка может выполнять двухстороннее измерение расстояния
Заполнение	4	Неиспользуемые биты, которые всегда должны быть равны нулю, используются для дополнения вне метки битовой карты возможностей до полного октета
Итого	32	Общий размер битовой карты возможностей метки в битах

8.2.4 Команда «считать конфигурацию метки» (read tag configuration)

Команда «считать конфигурацию метки» (read tag configuration), передаваемая инфраструктурой метке, не имеет дополнительных параметров.

Обмен кадрами «чтение конфигурации метки» приведен на рисунке 25. Ответом на команду «считать конфигурацию метки» (read tag configuration) является отклик «конфигурация метки», который сообщает текущую конфигурацию метки. В таблице 24 приведены поля в этой структуре конфигурации. Эта структура передается в порядке, указанном в этой таблице, и для каждого поля младший бит передается первым. Эта структура также применяется командой «установить конфигурацию метки» (см. 8.2.5).

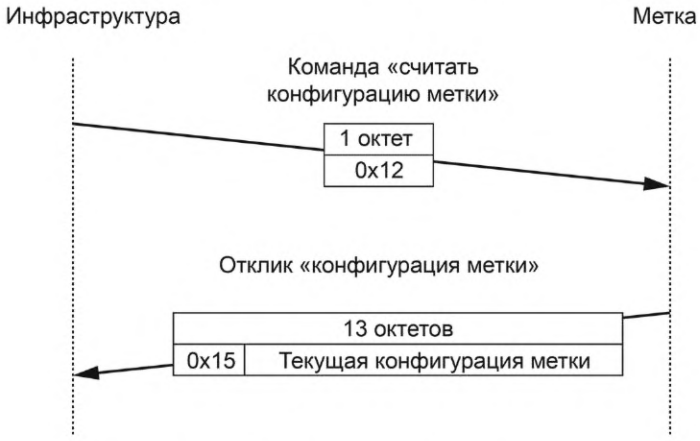


Рисунок 25 — Считывание конфигурации метки

После передачи отклика «конфигурация метки» метка должна слушать в ожидании дополнительных команд, которыми может быть любая из перечисленных в 8.2.1.1. Если дополнительных команд не получено, метка должна возобновить периодическую передачу блинк-посылок согласно пункту 7.

Таблица 24 — Структура конфигурации метки

Параметр	Разрядность	Описание
Идентификатор конфигурации физического уровня и длина блока	8	Значение = 0x03. Три старших бита этого поля дают код (000), который указывает, что это блок конфигурации 0 (для физического уровня). Младшие 5 битов этого поля дают длину блока (в данном случае 3 октета для блока 0 — конфигурации физического уровня)
Номер канала физического уровня	4	(1-й октет): номер текущего канала от 1 до 15
Длина преамбулы физического уровня	3	(1-й октет): длина текущей преамбулы: 0 означает 64 символа, 1—128 символов и так далее до значения 7—4096 символов
Номинальная частота повторения импульсов (ЧПИ)	1	(1-й октет): 0 означает 16 МГц, а 1 означает 64 МГц
Код передачи блинк-посылок физического уровня	5	(2-й октет): коды преамбулы, используемые для передачи блинк-посылок. Примечание — Используемый код должен быть одним из указанных для данного канала в таблицах 6 или 7 в зависимости от ЧПИ
Заполнение 1	3	(2-й октет): неиспользуемые 3 бита заполнения устанавливаются в ноль
Код двухстороннего взаимодействия	5	(3-й октет): коды преамбулы, используемые для приема откликов на блинк-посылку и сообщений двухстороннего взаимодействия. Это должен быть один из кодов, специфицированных для выбранного канала в таблицах 6 или 7 в зависимости от установленной номинальной ЧПИ физического уровня
Заполнение 2	3	(3-й октет): неиспользуемые 3 бита заполнения устанавливаются в ноль
Идентификатор конфигурации приложения и длина блока	8	Значение = 0x27. Старшие 3 бита этого поля дают код (001), который показывает, что это блок конфигурации 1 (для приложения). Младшие 5 битов этого поля дают длину блока (в данном случае 7 октетов для блока 1 — конфигурации приложения)
Приложение — Периодичность передачи блинк-посылок	16	(Октеты 1 и 2): периодичность передачи блинк-посылок приложения, как определено в таблице 18
Приложение — Время ожидания приема	16	(Октеты 3 и 4): время ожидания приема (RxOnTime) в микросекундах, в течение которого приемник метки ожидает ответа после передачи блинк-посылки (или вслед за командой после любого взаимодействия). По истечении этого времени (то есть если сообщения не получено) приемник выключается, и метка возвращается к периодической передаче блинк-посылок (или продолжает их передачу)
Приложение — Время отклика	16	(Октеты 5 и 6): время в микросекундах, которое метка использует при двухстороннем измерении расстояния, между получением сообщения измерения расстояния и формированием сообщения-отклика
Приложение — Максимальное число повторений запроса	8	(Октет 7): определяет число попыток метки инициировать двусторонний обмен сообщениями измерения расстояния отправкой своего сообщения-запроса, если она не получает от инфраструктуры отклика на свой запрос. По умолчанию значение данного параметра составляет три попытки
Общее число октетов	12	Общий размер структуры конфигурации метки в октетах

Примечание — Структура, определяемая таблицей 24, допускает расширение. Только два из восьми возможных значений октета «идентификатор конфигурации и длина» использованы и 5-битовая длина параметра позволяет расширение текущей конфигурации. Тогда реализация может увеличить длину конфигурации физического уровня или приложений либо добавить дополнительные идентификаторы конфигурации. Инфраструктуре нужно только изменить такие значения, когда она распознает метку через ее идентификатор, как известный тип с известными расширениями. Во всех остальных случаях инфраструктура должна сначала получить настройки и любые значения, помимо тех, которые определены здесь, должны быть оставлены без изменений при настройке конфигурации метки.

8.2.5 Команда «установить конфигурацию метки» (set tag configuration)

Команда «установить конфигурацию метки» (set tag configuration), передаваемая инфраструктурой метке, позволяет устанавливать настраиваемые параметры метки.



Рисунок 26 — Установка конфигурации метки

Взаимодействие по команде «установить конфигурацию метки» приведено на рисунке 26. Как новая конфигурация в команде «установить конфигурацию метки», так и результирующая конфигурация в отклике на команду «установить конфигурацию метки» являются форматированными конфигурационными структурами, приведенными в таблице 24. Эти структуры передаются в порядке, установленном в таблице, и каждое поле передается, начиная с младшего значащего бита.

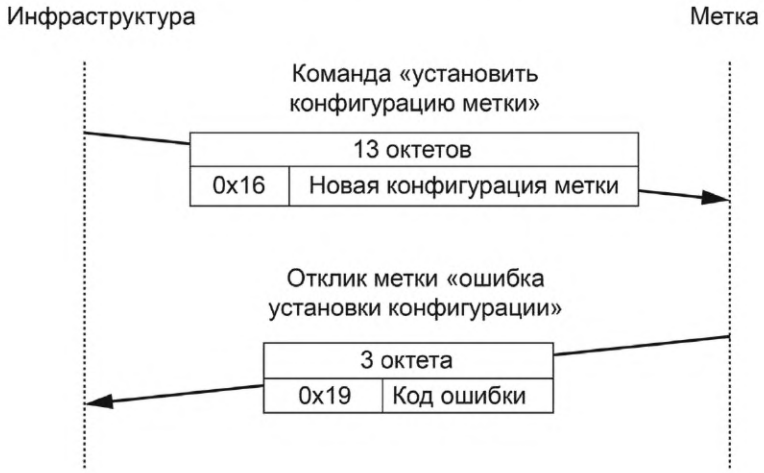


Рисунок 27 — Ошибка установки конфигурации метки

В случае ошибки, если метка обнаруживает попытку сконфигурировать какой-то параметр в неподдерживаемое значение, метка должна игнорировать всю попытку ее переконфигурации и передать отклик «ошибка установки конфигурации», как показано на рисунке 27. Отклик включает 16-битовый код ошибки, который может быть использован в качестве вспомогательного средства, чтобы определить источник ошибки. Значение кода ошибки зависит от конкретной реализации метки.

Предполагая, что ошибки нет, изменения конфигурации должны вступать в силу сразу после того, как метка передаст свой отклик на команду «установить конфигурацию метки». После передачи отклика на команду «установить конфигурацию» метка должна слушать в ожидании дополнительных команд, которыми может быть любая из перечисленных в 8.2.1.1. Если дополнительных команд не получено, метка должна возобновить периодическую передачу блинк-посылок согласно пункту 7.

8.2.6 Команда «выполнить двухстороннее измерение расстояния» (perform two-way ranging)

Команда «выполнить двухстороннее измерение расстояния» (perform two-way ranging) инициирует серию обменов сообщениями для выполнения двухстороннего измерения расстояния. На рисунке 28 приведены типичные взаимодействия измерения расстояния. Команда инициации измерения расстояния присваивает метке временный короткий адрес. Этот адрес используется для последующих взаимодействий, пока метка не сообщит в подтверждающем сообщении управления измерением расстояния о том, что период взаимодействия окончился (или в противном случае по тайм-ауту, когда метка не получает никаких сообщений инфраструктуры) и метка возвращается к периодической передаче блинк-посылок.

Метка начинает обмен двухстороннего измерения расстояния с сообщения «опрос».

Поименованный узел инфраструктуры, который получил сообщение «опрос» в момент T_{PR}, откликается сообщением «контроль активности — ответ» (на опрос) [activity control response (to poll)] в момент T_{RT}. Этот ответ включает опциональный октет, позволяющий управлять следующими действиями метки, и еще 2 октета — параметр, полезность которого зависит от опционального октета. Чтобы обмен измерения расстояния продолжился с этого места, этот октет должен предписывать «продолжить измерения расстояния» согласно таблице 22.

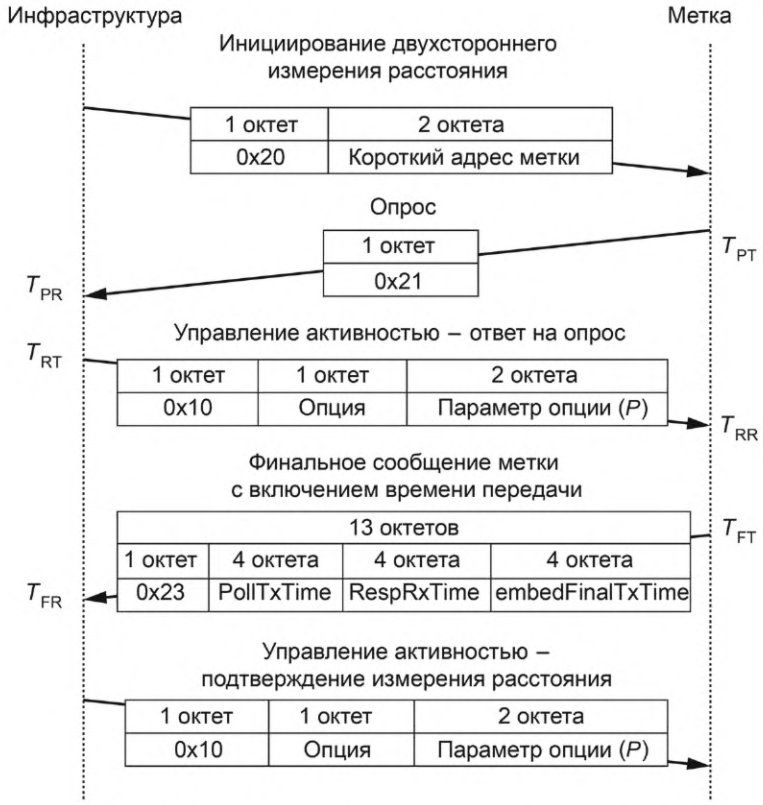


Рисунок 28 — Двухстороннее измерение расстояния

Продолжая обмен измерения расстояния, метка затем передает «финальное сообщение метки» (final), сообщая 32-разрядное время передачи сообщения «опрос» (T_{PT}), далее 32-разрядное время получения сообщения «управление активностью — ответ (на опрос)» [activity control response (to poll)] (T_{RR}), далее точно предсказанное время передачи этого последнего сообщения (T_{FT}), также 32 бита. Пункт 5.6 описывает метки времени и их единицы измерения. Инфраструктура отмечает время прибытия «последнего сообщения» (T_{FR}).

Примечание — Вложенное время передачи должно включать задержки передающей антенны и все системные эффекты, чтобы точно предсказанная метка времени передачи была идентична той, которая была бы определена после обычной передачи.

Если метка не может вложить время передачи «финального сообщения метки» в «финальное сообщение метки», используется двухшаговый финальный обмен сообщениями, как показано на рисунке 29, здесь последнее сообщение без вложения включает только 32-разрядное время передачи сообщения «опрос» (T_{PT}) и далее 32-разрядное время получения сообщения «управление активно-

стью — ответ (на опрос)» [activity control response (to poll)] (T_{RR}). За этим «финальным сообщением метки» без вложения времени передачи этого финального сообщения (T_{FT}) метка немедленно передает «финальное сообщение передачи времени T_{FT}», в котором сообщается время передачи (T_{FT}) предшествующего финального сообщения.

Опрос, ответ и окончательные сообщения охватывают полный двухсторонний обмен измерения расстояния. Его успех подтверждается сообщением «управление активностью — подтверждение измерения расстояния», показывающим в своем опциональном октете, что измерение расстояния удалось, и обусловливающим, должна ли метка выполнять измерение расстояния с другим узлом или что период двухстороннего измерения расстояния закончился и метка должна вернуться к состоянию передачи пустых блинк-посылок.

Если метка не получает сообщения «управление активностью — подтверждение измерения расстояния», она должна повторно инициировать двухсторонний обмен измерения расстояния путем повторной отправки опроса. Отклик инфраструктуры «контроль активности» может потребовать повторить обмен измерения расстояния или может подтвердить предыдущий обмен, указав метке перейти к выполнению обмена измерения расстояния с другим узлом, или может указать метке вернуться к состоянию передачи пустых блинк-посылок.

Если метка не получает ответ на первоначальный опрос, она должна повторять его передачу вновь до достижения максимального числа повторных попыток опроса — MaxNumberOfPollRetries, после чего метка должна вернуться к передаче блинк-посылок с настроенной периодичностью.

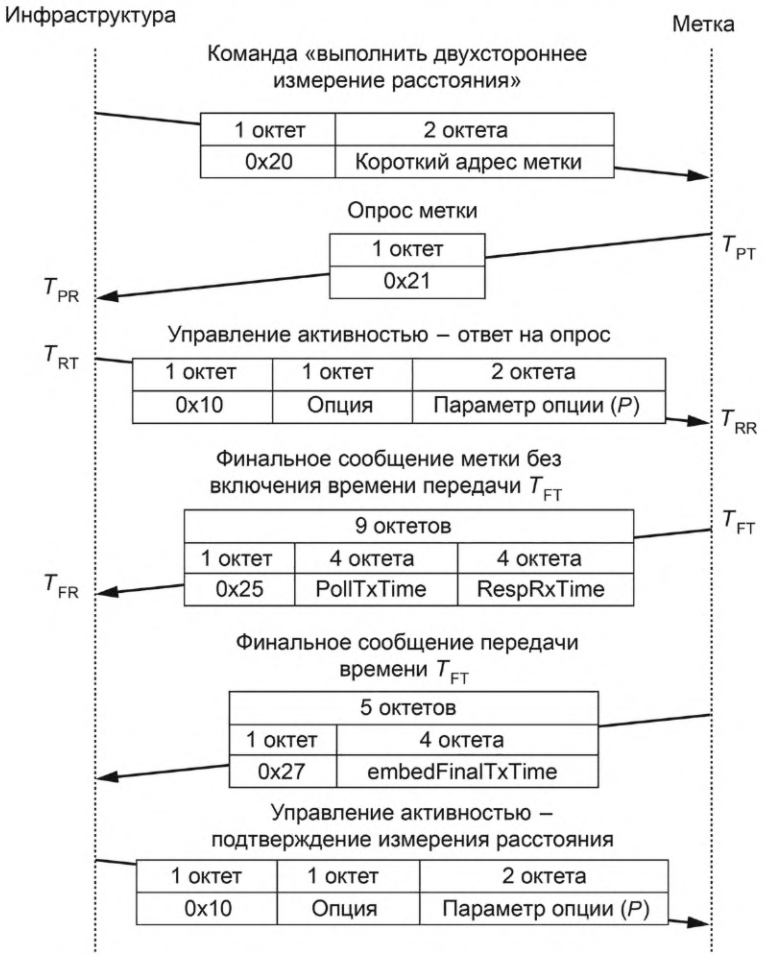


Рисунок 29 — Двухстороннее измерение расстояния без включения T_{FT}

Значение опционального октета в сообщении «управление активностью» и использование связанного с ним двухоктетного параметра (P) определены в пункте 8.2.2.

Если c — скорость света в воздухе, то расстояния задается выражением:

$¼ \cdot c \cdot (((T_{RR} - T_{PT}) - (T_{RT} - T_{PR})) + ((T_{FR} - T_{RT}) - (T_{FT} - T_{RR})))$, что может быть упрощено до:

$¼ \cdot c \cdot (2 \cdot T_{RR} - 2 \cdot T_{RT} - T_{PT} + T_{PR} + T_{FR} - T_{FT})$.

Приложение А
(справочное)

Использование *[19]* и настоящего стандарта для приложений RTLS

А.1 Введение

Устройства RTLS используются для идентификации и определения местонахождения людей или объектов в промышленных или коммерческих условиях. Типичные приложения включают в себя управление активами, управление запасами, управление и автоматизацию процессов, безопасность и отчетность и многое другое.

В своей простейшей форме система RTLS включает в себя ряд только передающих меток, которые периодически передают пакет, содержащий уникальный идентификатор и небольшой объем данных. Пакет принимают один или более приемников, которые могут просто зарегистрировать метку как присутствующую или могут применить дальнейшую обработку, чтобы определить местонахождение метки. Более сложные системы RTLS могут использовать двухстороннюю связь с меткой для управления, связи и координации.

Активные системы RTLS, как правило, характеризуются следующими атрибутами:

- очень дешевые метки с низким энергопотреблением;
- большие популяции меток;
- низкая скважность передачи;
- разнообразие приемников — от очень малой дальности (несколько метров) до очень большой дальности (сотни метров);
- очень короткая длина пакетов, часто не содержащих иных данных, кроме идентификатора устройства и небольшого числа битов состояния.

Настоящий стандарт и [19] содержат два физических уровня, особенно подходящих для RTLS:

- физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой частотой повторения импульсов (LRP), приведенный в [19];
- физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой частотой повторения импульсов (HRP), приведенный в настоящем стандарте.

Настоящее приложение описывает, как функции этих физических уровней могут быть сконфигурированы для приложений RTLS.

А.2 Обзор физических уровней сверхширокополосного радиоинтерфейса RTLS

А.2.1 Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой частотой повторения импульсов (ЧПИ)

А.2.1.1 Описание

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ — это физический уровень низкой сложности, оптимизированный для устройств RTLS. В системах RTLS компоненты оборудования в высокой степени асимметричны — большие популяции очень несложных меток распознаются гораздо меньшими популяциями потенциально сложных воспринимающих элементов. Обычно метка передает сообщения воспринимающему устройству, хотя обратные архитектуры также возможны (хотя и менее распространены).

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ, таким образом, был преимущественно обусловлен потребностью в очень низком уровне сложности передатчиков (меток). Соображения низкой сложности включают:

- простую в реализации модуляцию;
- отсутствие в базовом режиме кодирования или отбеливания (декорреляции) данных;
- простоту внедрения масок спектральной плотности мощности (PSD);
- отсутствие сглаживания импульсов с целью спектрального сглаживания;
- спокойные временные требования.

Кроме того, низкая ЧПИ является ключевой особенностью, которая снижает неопределенность позиционирования и повышает эффективность некогерентных приемников в условиях высокого многолучевого затухания.

Подход низкой сложности ведет к низкому энергопотреблению и низкой стоимости реализации на дискретных элементах, что распространено в приложениях меньшего объема. Там, где продаются очень большие объемы устройств, жизнеспособны кремниевые решения, и RTLS-решения, использующие физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ, становятся возможными (см. А.2.2).

Следующие пункты выделяют ключевые черты каждого из режимов работы.

А.2.1.1.1 Базовый режим

Базовый режим — режим наименьшей сложности. Он используется там, где существует потребность в очень больших популяциях меток, но нет требований по работе на очень большой дальности. Как правило, большая дальность — это не проблема в средах с большим числом препятствий прямой видимости.

Ключевые атрибуты базового режима:

- очень простая модуляция — (манипуляция On-off keying — OOK);
- нет дополнительного кодирования или отбеливания;
- кратчайшая длина пакета;
- длина пакета, спроектированная для достижения максимальной амплитуды импульса в рамках глобального ограничения для физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса (192 импульса при частоте импульсов 1 МГц).

Этот последний пункт делает базовый режим особенно полезным для некогерентных приемников (детекторов энергии), которые выигрывают от увеличения мгновенной амплитуды импульса.

Приемник, обнаружив входящий поток сверхширокополосных импульсов, будет проходить через процедуру, подобную следующей, в выяснении того, было ли это получение пакета базового режима:

- проверка сигнала входящей преамбулы, чтобы определить 1 МГц импульсную последовательность (то есть не пакет режима большой дальности);
- поиск разделителя кадра с подтверждением соответствия какому-либо режиму — базовому или расширенному;
- проверка первых трех битов заголовка физического уровня (PHR) (три бита сразу после разделителя кадра), чтобы подтвердить базовый режим:
  - три 0 = базовый режим;
  - три 1 = расширенный режим;
  - приемник может принять решение, проголосовать на первых трех битах заголовка физического уровня методом «лучший из трех», чтобы ввести простую проверку ошибок битов типа кодирования.

Следует отметить, что длина преамбулы переменная — 16 или 128 импульсов на усмотрение исполнителя. 16 импульсов, как было показано, достаточно для самых разных случаев применения, но разработчик может для повышения эффективности захвата данных увеличить длину заголовка. Однако такой подход имеет три важных негативных воздействия на общую эффективность системы, поэтому выбор должен быть тщательно просчитан. Более длинная преамбула влечет:

- риск увеличения длины пакета свыше 192 импульсов, что вызовет необходимость уменьшения амплитуды импульса, чтобы соответствовать лимитам на среднее сверхширокополосное излучение;
- увеличение потребления электроэнергии меткой (больше передаваемых импульсов и больше процессорного времени);
- увеличение коллизий пакетов меток (из-за более длинных пакетов).

А.2.1.1.2 Расширенный режим

Расширенный режим добавляет в базовый режим простую прямую коррекцию ошибок для повышения эффективности в определенных обстоятельствах. Кроме того, расширенный режим допускает более длинную преамбулу (до 256 импульсов), если разработчику необходимо увеличить надежность сбора данных на основе более надежной структуры символа. Схема кодирования проста для реализации в передатчике и допускает две разные схемы декодирования в приемнике.

Поскольку длина пакета расширенного режима больше, чем пакета базового режима, сигнал, скорее всего, станет сдерживаться нормативными лимитами на средние сверхширокополосного излучения. Это требует уменьшения амплитуды отдельных импульсов, что приводит к потерям в плане бюджета линии связи при использовании некогерентного приемника. Эту потерю следует сопоставить с ожидаемым выигрышем от кодирования до 4 дБ, чтобы определить, дает ли расширенный режим чистую выгоду в любых данных обстоятельствах.

В общем использование расширенного режима — это компромисс, баланс между выигрышем от кодирования и длиной пакета (то есть потерей энергии импульса). Длина пакета будет определяться рядом факторов, включая длину преамбулы, используемый режим адресации и размер подлежащих передаче данных.

Процесс определения приемником пакета расширенного режима такой же, как и для базового режима.

А.2.1.1.3 Режим большой дальности

Режим большой дальности ориентирован на когерентные приемники, которые могут использовать когерентно-импульсную интеграцию в целях повышения энергии символа. Поскольку множественные импульсы интегрируются вместе, чтобы сформировать один символ, длина пакета может быть большой, значит, амплитуда отдельного импульса, безусловно, уменьшится, что определяется нормативными ограничениями на средний уровень сверхширокополосного излучения. Однако когерентно-импульсная интеграция более чем компенсирует потери в энергии импульса за счет чистого прироста бюджета линии связи.

Эффективность когерентного приемника зависит в основном от двух факторов: точности шаблона импульсов, используемых в приемнике, и точности синхронизации времени на импульсном уровне между приемником и передатчиком. Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой частотой повторения импульсов не предъявляет жестких требований к любому из этих параметров, и это сделано намеренно в целях обеспечения низкой стоимости реализации (без сложной синхронизации или сложного формирования импульсов). Из этих соображений существует ограничение, до такой степени когерентное усиление может быть достигнуто путем простого добавления дополнительных импульсов в символ. Существует также расплата амплитудой импульса за добавление дополнительных импульсов из-за нормативных ограничений. Поэтому параметры, выбранные для

режима большой дальности, представляют максимальную эффективность для когерентного приемника при относительно смягченных синхронизации и формировании импульсов; более длинные символы могли бы немного добавить к когерентному усилению и служат только для уменьшения энергии импульса.

Режим большой дальности использует в качестве схемы модуляции Манчестерское кодирование двоичной фазоимпульсной модуляции (ФИМ), а не простая манипуляция OOK, как в базовом и расширенном режимах, и работает при ЧПИ 2 МГц. Он также использует более сложную преамбулу, необходимую для поддержки этой схемы кодирования. Преамбула состоит из:

- последовательности от 1024 до 8192 импульсов, затем
- разделителя начала кадра (SFD), закодированного, как в базовом и расширенном режиме, затем
- последовательности от 16 до 64 двоичных символов 1, закодированных, как в режиме большой дальности.

За преамбулой следует разделитель начала кадра (SFD), закодированный, как в режиме большой дальности. Целью этой более сложной преамбулы в том, чтобы позволить когерентному приемнику выявить пакет режима большой дальности и достичь синхронизации символов до разделителя начала кадра, а также чтобы позволить некогерентным приемником достичь синхронизации.

Приемник, обнаруживший входящий поток сверхширокополосных импульсов, должен пройти процедуру, подобную следующей, для выяснения того, получает ли он пакет режима большой дальности:

- проверка сигнала входящей преамбулы, чтобы определить 2 МГц импульсную последовательность (то есть что это не пакет базового или расширенного режима);
- ожидание старта импульсной модуляции в виде повторяющихся 32 присутствующих импульсов, а затем 32 отсутствующих импульсов. На этой стадии приемник будет использовать эти переходы для достижения синхронизации символов;
- поиск разделителя начала кадра с подтверждением режима большой дальности;
- проверка первых трех битов заголовка физического уровня (три бита сразу после разделителя начала кадра) с 000 повторного подтверждения режима большой дальности (остальные значения зарезервированы для использования в будущем).

А.2.1.2 Сети со смешанным режимом

А.2.1.2.1 Соображения эффективности

Режим большой дальности в первую очередь ориентирован на когерентные приемники, в то время как базовый и расширенный режимы предназначены прежде всего для некогерентных приемников. Поскольку RTLS-системы, как правило, часть фиксированной инфраструктуры, маловероятно, что в любом заданном месте будет развернута смесь когерентных и некогерентных приемников. Вместо этого особенности расположения будут определять использование того или иного типа приемника для наилучшей общей эффективности системы.

Например, условия помещений с множеством препятствий, таких как склад или производственный цех, не могут позволить больших расстояний прямой видимости, поэтому расширенный диапазон бесполезен. Вместо этого там, скорее всего, будет развернута высокая плотность некогерентных приемников с метками, действующими либо в базовом, либо в расширенном режиме.

В отличие от этого, большие открытые пространства, например территории на открытом воздухе, позволят очень большие линии прямой видимости, так что использование низкой плотности приемников большой дальности может быть более экономически эффективным. В этом случае может быть развернута инфраструктура из когерентных приемников с метками, работающими в режиме большой дальности.

Однако существует много случаев, когда метки могут перемещаться из когерентной в некогерентную инфраструктуру, поэтому данный стандарт требует, чтобы все приемники, когерентные или некогерентные, могли принимать и демодулировать все режимы. Случаи перекрестного использования страдают от ограничения эффективности следующим образом.

Некогерентный приемник будет иметь меньшую дальность работы с метками, работающими в режиме большой дальности, в сравнении с метками, работающими в базовом или расширенном режиме. Метки, работающие в режиме большой дальности, имеют относительно длинные пакеты, которые вызывают средние излучения, подлежащие регулированию. Это означает, что в режиме большой дальности импульсы меньше по амплитуде, чем в базовом или расширенном режиме. Поскольку работа некогерентного приемника зависит от амплитуды единичного импульса, он не может принимать меньшие импульсы режима большой дальности на сравнимой дальности. Из-за меньшей дальности работы метки, работающие в режиме большой дальности, могут только периодически обнаруживаться в пределах сети некогерентных приемников, а позиционирование метки может оказаться невозможным.

Когерентный приемник будет иметь короткую дальность работы с метками, работающими в базовом или расширенном режиме, по сравнению с метками, работающими в режиме большой дальности. Метки, работающие в базовом или расширенном режиме, не дают последовательностей импульсов, достаточных для когерентно-импульсной интеграции, что сводит на нет преимущество когерентного приемника. Однако когерентный приемник может работать на сходных с работой некогерентного приемника расстояниях при работе с метками базового или расширенного режима. Поскольку когерентные приемники, как правило, развертываются несколько реже, чем некогерентные приемники, метки базового или расширенного режима могут быть только периодически обнаружены в сети когерентных приемников, а позиционирование метки может оказаться невозможным.

Характеристики случаев перекрестного использования сведены в таблицу А.1.

Таблица А.1 — Характеристики случаев перекрестного использования

Тип приемника	Режим метки	Дальность приема	Примечания
Некогерентные	Базовый	Хорошая	Типичная конфигурация для больших популяций очень простых меток
	Расширенный	Лучше	Увеличенная дальность работы в некоторых обстоятельствах
	Большой дальности	Сокращена	Короткая дистанция приема означает, что охват обнаружения метки будет прерывистым в типичной сети некогерентных приемников
Когерентные	Базовый	Хорошая	Большее расстояние между когерентными приемниками означает, что охват обнаружения метки будет прерывистым в типичной сети когерентных приемников
	Расширенный	Лучше	
	Большой дальности	Наилучшая	Типичная конфигурация для небольших популяций меток на открытом пространстве

А.2.1.2.2 Соображения по обработке данных приемником

Любой из трех режимов может быть легко декодирован приемником любого типа, после того как радиочастотный сигнал был преобразован в основную полосу частот. Ключ к работе в случаях перекрестного использования — в способности синхронизировать и демодулировать входящий радиосигнал.

Когда когерентный приемник обнаруживает последовательность импульсов на частоте передачи импульсов (ЧПИ) 1 МГц, что указывает на пакет базового или расширенного режима, он должен начать поиск преамбулы, закодированной согласно базовому и расширенному режимам. После обнаружения преамбулы и достижения синхронизации остаток пакета может быть демодулирован так же, как и некогерентным приемником.

Когда некогерентный приемник обнаруживает импульсную последовательность с ЧПИ 2 МГц, это указывает на пакет режима большой дальности. Приемник может запустить свой нормальный процесс получения/синхронизации SFD, но на частоте 2 МГц. Вставка разделителя начала кадра (SFD) базового/расширенного режима в преамбулу режима большой дальности предоставляет такую функциональность.

После вставленного разделителя SFD некогерентный приемник начнет демодулировать биты с учетом повторения импульсов и Манчестерского кодирования. Это может быть достигнуто путем запуска нормального механизма OOK на частоте 2 МГц и добавления шага сжатия, который транслирует 32-импульсные повторы Манчестерского кода двоичной фазоимпульсной модуляции (ФИМ) в действительные биты. Это отражено на рисунке А.1.

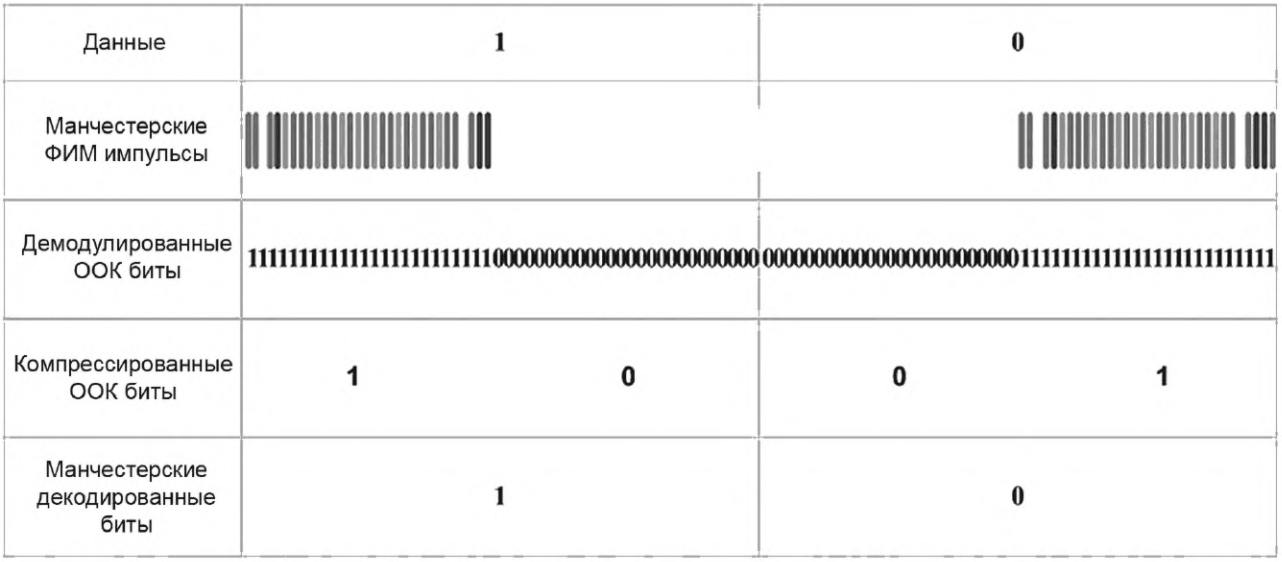


Рисунок А.1 — Преобразование Манчестерского кода двоичной фазоимпульсной модуляции (ФИМ) в OOK с помощью цифрового сжатия битов

Альтернативно некогерентный приемник может взять аналоговый подход, усредняя импульсы в 32-импульсном окне, а затем применяя демодуляцию OOK и Манчестерское декодирование, как показано на рисунке А.2.

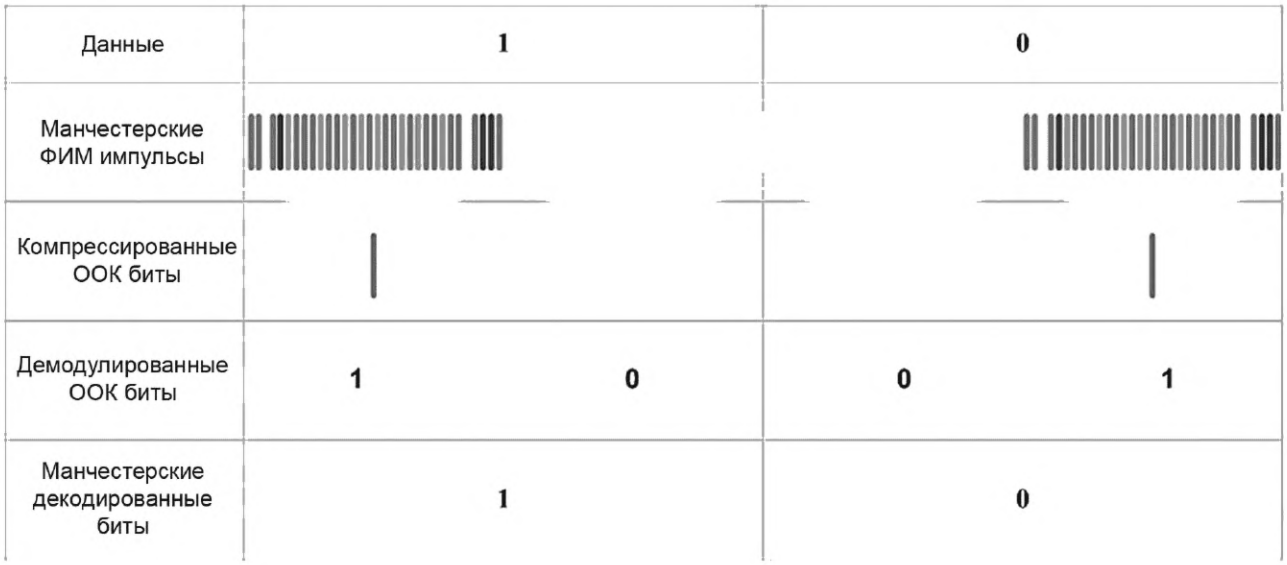


Рисунок А.2 — Преобразование Манчестерского кода двоичной фазоимпульсной модуляции (ФИМ) в OOK с использованием аналогового сжатия импульсов

После обнаружения разделителя начала кадра, некогерентный приемник должен игнорировать последовательность символов «1» (передаваемых для поддержки синхронизации когерентного приемника) и искать «000» нормального разделителя начала кадра SFD, закодированные как символы режима большой дальности, в качестве триггера запуска демодуляции оставшейся части пакета. Вполне вероятно, что некоторые изготовители захотят использовать вставленные символы «1» для целей позиционирования при необходимости.

А.2.1.3 Координация и синхронизация

Для сохранения битовой синхронизации приемник нуждается в регулярных импульсах. Манчестерское кодирование в режиме дальней связи гарантирует, что существует множество импульсов синхронизации, так как и единицы, и нули передаваемых данных содержат импульсы. Однако базовый и расширенный режимы используют OOK, где «0» обозначается отсутствием импульса. В этом случае длинная строка нулей будет вызывать длительный период без импульсов, что, в свою очередь, вызывает проблемы синхронизации.

Один из методов преодоления длительных периодов отсутствия импульсов — использовать системы синхронизации очень высокого качества, которые позволяют сохранять синхронизацию в течение длительного периода. Однако в соответствии с желанием разрешить использование дешевых компонентов в устройствах RTLS лучший подход заключается в том, чтобы гарантировать отсутствие длительных периодов без импульсов.

Поэтому физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ требует, чтобы передатчик вставлял последовательность из четырех импульсов после каждого 128-го элемента сообщения (импульса). Эти импульсы обеспечивают регулярную синхронизацию сигнала и должны игнорироваться приемниками физического уровня.

Стандарт устанавливает, что момент передачи любого отдельного импульса не должен дрейфовать более чем на 11 нс от номинального момента передачи на протяжении 128 периодов символа в указанном диапазоне рабочих температур устройства. Вставленные синхронизирующие импульсы гарантируют, что это может быть достигнуто с помощью стандартных кристаллов с АТ-срезом в нормальных температурных диапазонах. В устройствах для более широких диапазонов температур, возможно, потребуется использовать температурную компенсацию кристаллов для поддержания синхронизации. Цифра 11 нс гарантирует, что границы бита поддерживаются достаточно, чтобы свести к минимуму битовые ошибки из-за сдвигов синхронизации.

А.2.2 Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой частотой повторения импульсов (ЧПИ)

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой частотой повторения импульсов (ЧПИ) был введен в стандарт как высокомобильный, работающий на большие расстояния, очень надежный физический уровень для промышленных условий, с возможностью позиционирования устройств с точность выше 1 м. Хотя модуляции и схемы кодирования для достижения этого сложны, затраты на устройства могут быть сведены к минимуму за счет кремниевых решений.

Вообще говоря, физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ выгоден, когда динамика рынка благоприятствует реализации дискретного устройства, в то время как физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ становится привлекательным, когда объемы устройств достаточно высоки, чтобы оправдать кремниевую интеграцию. Высокая ЧПИ интерфейса дает очень короткую длительность пакетов для поддержки больших популяций меток RTLS.

А.2.2.1 Взаимодействия с физическим уровнем сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ

Характеристики физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ были специально выбраны так, чтобы он был взаимно дополняющим с физическим уровнем сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ. Они используют одни и те же центральные частоты, оба являются импульсными физическими уровнями сверхширокополосного радиоинтерфейса и оба могут быть реализованы с когерентными или некогерентными приемниками. Эти характеристики позволяют разрабатывать архитектуру приемников, позволяющих демодулировать любой тип физического уровня с максимальным повторным использованием блоков приемника. Это обеспечивает совместимость, показанную на рисунке А.3.

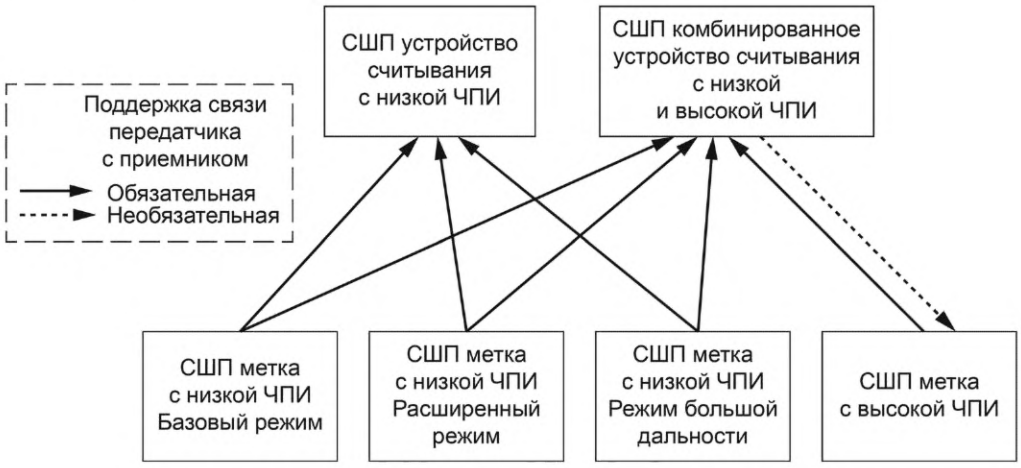


Рисунок А.3 — Взаимодействие физических уровней сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой и высокой ЧПИ

Физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ хорошо подходит для активных систем радиочастотной идентификации/систем RTLS, основанных на методе разницы времени прибытия (TDOA). Действительно, возможности, которые доступны для его длины преамбулы и скорости передачи данных, позволяют ему работать с пользой в многочисленных сценариях. Например, если требуется дальняя дистанция, может использоваться длинная преамбула и скорость передачи данных 110 кб/с, чтобы максимизировать дальность связи, или в случае, если необходимы более высокая плотность меток и/или более частые обновления при меньшей дальности, могут быть использованы высокая скорость передачи данных и короткие преамбулы физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ.

Устройства считывания, которые поддерживают демодуляцию кадров меток, использующих физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ, легко принимают кадры от меток, использующих физический уровень сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ, за счет выравнивания частотного плана физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ с каналами 5, 6, 7, 9 и 11 физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ. Так, например, в интегральной схеме, принимающей 5-й канал физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с высокой ЧПИ, который составляет 500 МГц с центральной частотой 6489,6 МГц, аналоговая часть может легко принимать канал 0 физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ, гарантируя пропускную способность не менее 400 МГц вокруг 6489,6 МГц его номинальной частоты. В такой интегральной схеме цифровое декодирование модуляции низкой ЧПИ относительно малое дополнение, чтобы сделать устройство, способное поддерживать модуляцию физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса как с высокой, так и с низкой ЧПИ.

В сетях со смешанным режимом необходимо, чтобы считывающие узлы могли определять тип модуляции и надлежащим образом демодулировать ее. Для физического уровня сверхширокополосного радиоинтерфейса с низкой ЧПИ способность делать это является неотъемлемой частью данной спецификации, предназначенной быть основным требованием для всех его приемников (см. А.2.1.2 — сети со смешанным режимом). Что касается возможности поддержки обоих физических уровней сверхширокополосного радиоинтерфейса — с низкой и с высокой ЧПИ, такие универсальные сверхширокополосные устройства считывания радиочастотной идентификации (RFID) обеспечивают единую инфраструктуру, которая одновременно поддерживает все стандартные сверхширокополосные активные радиочастотные метки (RFID)/метки RTLS (см. рисунок А.3).

А.3 Определение местонахождения

А.3.1 Определение местонахождения объекта по уровню мощности принимаемого сигнала

Передающее устройство (обычно радиочастотная метка (RFID)/метка RTLS) передает периодический сигнал (кадр «блинк-посылку»), который получает несколько приемников. Каждый приемник измеряет мощность принимаемого сигнала в течение заголовка физического уровня (преамбулы и разделителя начала кадра SFD) и выдает значение уровня мощности принимаемого сигнала (RSSI). Это значение из нескольких приемников в сети собирается централизованным сервером и используется для вычисления приблизительного местонахождения передающего устройства.

Один из способов расчета местонахождения на основе значений RSSI — метод «взвешенного центра массы», где местонахождение вычисляется на основании известных мест нахождения приемников и значений RSSI, полученных соответствующими приемниками, как в следующих выражениях:

$$X_{RSSI} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i r_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i},$$

$$Y_{RSSI} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i r_i}{\sum_{i=1}^{n} r_i},$$

где x_i, y_i определяют местонахождение приемника, а r_i — соответствующее значение RSSI для соответствующего приемника.

Рассчитанные значения X_{RSSI} и Y_{RSSI} представляют местонахождение передающего устройства.

А.3.2 Позиционирование объекта посредством трилатерации с использованием разницы во времени прибытия

А.3.2.1 Обзор трилатерации

Передатчик (метка) посылает сигнал, который получают приемники как минимум в трех разных местах. Каждый приемник отмечает время прибытия сигнала (time-of-arrival, toa). Разница времен прибытия на любую пару приемников означает, что передатчик находился где-то на известной гиперболе. Использование двух чувствительных пар (один чувствительный элемент может быть общим в этих парах) подразумевает, что метка находилась на пересечении двух разных гипербол. Рисунок А.4 иллюстрирует эту ситуацию.

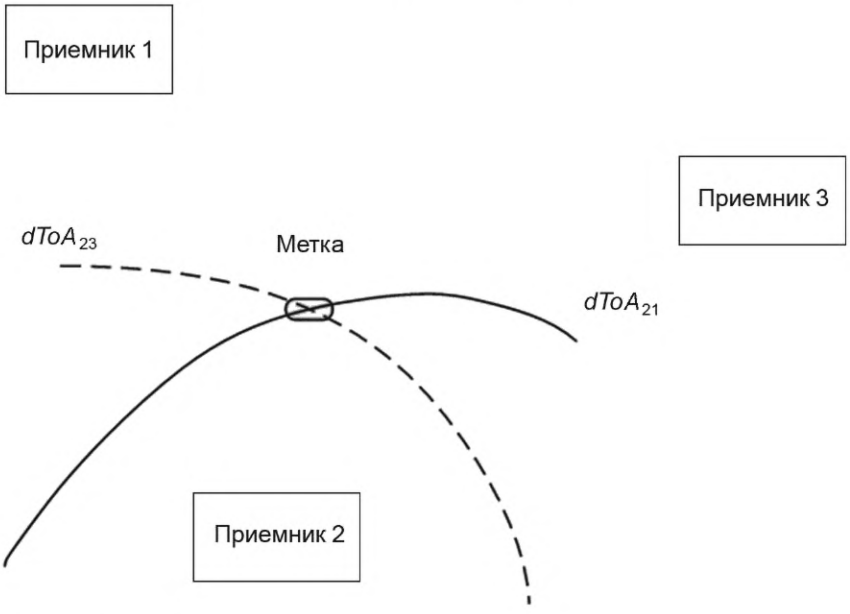


Рисунок А.4 — Определение местонахождения метки методом трилатерации

Рисунок А.4 и все последующие уравнения относятся к двухмерным (то есть *x, y*) задачам. Если известно, что метка находится на какой-либо поверхности (например, на плоскости или геоиде), уравнения могут быть легко модифицированы для включения высоты метки и приемников (*z*) без увеличения степени многомерности решения. Однако если высота метки неизвестна и подлежит оценке, уравнения должны быть изменены, чтобы включать *z* в качестве свободной переменной, и потребуется четыре приемника для нахождения решения.

А.3.2.2 Математическое вычисление местонахождения

Пусть t_x обозначает момент времени, когда метка передает из местонахождения (x, y). Устройство считывания k в точке (x_k, y_k) обнаружит сигнал в момент времени $toa_k = t_x + p_k$, где p_k обозначает время, необходимое для распространения сигнала от метки до сенсора. Это время распространения равно расстоянию от метки до сенсора, деленное на скорость света c, как указано в уравнении ниже:

$$p_k = \frac{\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2}}{c}. \quad (1)$$

Неизвестное время передачи становится неважным, когда рассматривается разница времен прихода на два сенсора ($dTOA_{jk}$), которая определяется как:

$$dTOA_{jk} \equiv toa_j - toa_k = \frac{\sqrt{(x-x_j)^2+(y-y_j)^2}}{c} - \frac{\sqrt{(x-x_k)^2+(y-y_k)^2}}{c}. \quad (2)$$

Уравнение (2) было использовано для создания гиперболических сегментов, показанных на рисунке А.4, как $dTOA_{21}$Б, так и $dTOA_{23}$.

Следующий пункт детализирует метод решения для пересечения этих двух гипербол. Пара уравнений даст два возможных места этого пересечения: одно — реальное, а другое (почти всегда) — мнимое. Мнимое решение не будет удовлетворять исходной паре уравнений $dTOA$ и может быть признано ошибочным.

А.3.2.3 Подробное уравнение деривации

Для удобства определим, что $\delta_{jk} \equiv c \cdot dTOA_{jk}$. Путем возведения в квадрат приведенного выше уравнения (2) и сокращения получаем соотношение

$$\frac{1}{2}\left\{\delta_{jk}^2+\left(x_j^2-y_k^2\right)-\left(x_k^2-y_j^2\right)\right\}+\left(x_k-x_j\right)\cdot x+\left(y_k-y_j\right)\cdot y=\delta_{jk}\cdot\sqrt{\left(x-x_j\right)^2+\left(y-y_j\right)^2}. \quad (3)$$

Снова для упрощения записи определим, что:

$$\lambda_{jk} \equiv \frac{1}{2}\left\{\delta_{jk}^2+\left(x_j^2-y_k^2\right)-\left(x_k^2-y_j^2\right)\right\},$$

тогда сенсоры 1, 2 и 3 дают гиперболические отношения:

$$\lambda_{21}+\left(x_1-x_2\right)\cdot x+\left(y_1-y_2\right)\cdot y=\delta_{21}\cdot\sqrt{\left(x-x_2\right)^2+\left(y-y_2\right)^2}; \quad (4a)$$

$$\lambda_{23}+\left(x_3-x_2\right)\cdot x+\left(y_3-y_2\right)\cdot y=\delta_{23}\cdot\sqrt{\left(x-x_2\right)^2+\left(y-y_2\right)^2}. \quad (4b)$$

Вычитание этих двух выражений показывает, что искомая точка местонахождения должна лежать на линии, описанной уравнением

$$\left\{\delta_{23}\cdot\left(y_1-y_2\right)-\delta_{21}\cdot\left(y_3-y_2\right)\right\}\cdot y+\left\{\delta_{23}\cdot\left(x_1-x_2\right)-\delta_{21}\cdot\left(x_3-x_2\right)\right\}\cdot y+\left(\delta_{23}\cdot\lambda_{21}-\delta_{21}\cdot\lambda_{23}\right)=0 \quad (5)$$

или, что эквивалентно: $y = m \cdot x + b$, где

$$m=-\frac{\delta_{23}\cdot\left(x_1-x_2\right)-\delta_{21}\cdot\left(x_3-x_2\right)}{\delta_{23}\cdot\left(y_1-y_2\right)-\delta_{21}\cdot\left(y_3-y_2\right)}, \quad (6a)$$

$$b=-\frac{\delta_{23}\cdot\lambda_{21}-\delta_{21}\cdot\lambda_{23}}{\delta_{23}\cdot\left(y_1-y_2\right)-\delta_{21}\cdot\left(y_3-y_2\right)}. \quad (6b)$$

Все, что осталось, это найти пересечение этой линии с любой из ранее выявленных гипербол. Подстановка $y = m \cdot x + b$ в гиперболические соотношения (4), возведение в квадрат и сокращение дают квадратное уравнение $A \cdot x2 + B \cdot x + C = 0$, где

$$A=\left(x_1-x_2\right)^2+2\cdot m\cdot\left(x_1-x_2\right)\cdot\left(y_1-y_2\right)+m^2\cdot\left(y_1-y_2\right)^2-\delta_{21}^2\cdot\left(1+m^2\right), \quad (7a)$$

$$B = 2\cdot\left\{\lambda_{21}\cdot(x_1-x_2)+\lambda_{21}\cdot m\cdot(y_1-y_2)+b\cdot(x_1-x_2)\cdot(y_1-y_2)+m\cdot b\cdot(y_1-y_2)^2+\delta_{21}^2\cdot(x_2-m\cdot b+m\cdot y_2)\right\}, \quad (7b)$$

$$C = \lambda_{21}^2+2\cdot\lambda_{21}\cdot b\cdot(y_1-y_2)+b^2\cdot(y_1-y_2)^2-\delta_{21}^2\cdot\left(x^2+(b-y_2)^2\right). \quad (7c)$$

Два возможных решения для местонахождения метки заданы квадратичной формулой совместно с линейным уравнением.

$$x = \frac{-B\pm\sqrt{B^2-4\cdot A\cdot C}}{2\cdot A} \quad (8a)$$

$$y = m\cdot x + b. \quad (8b)$$

Второе решение — (почти всегда) мнимое, внесенное операцией возведения в квадрат. Это может быть подтверждено тем фактом, что оно не будет соответствовать наблюдаемой разнице во времени.

А.3.3 Позиционирование объекта с помощью угла прихода

А.3.3.1 Обзор триангуляции

Передатчик (метка) посылает сигнал, который принимается приемниками, расположенными как минимум в двух разных местах. Каждый приемник отмечает угол прибытия сигнала (aoa) — азимут, возвышение или то и другое. Метка находится на пересечении угловых векторов, измеренных на двух приемниках, как показано на рисунке А.5.

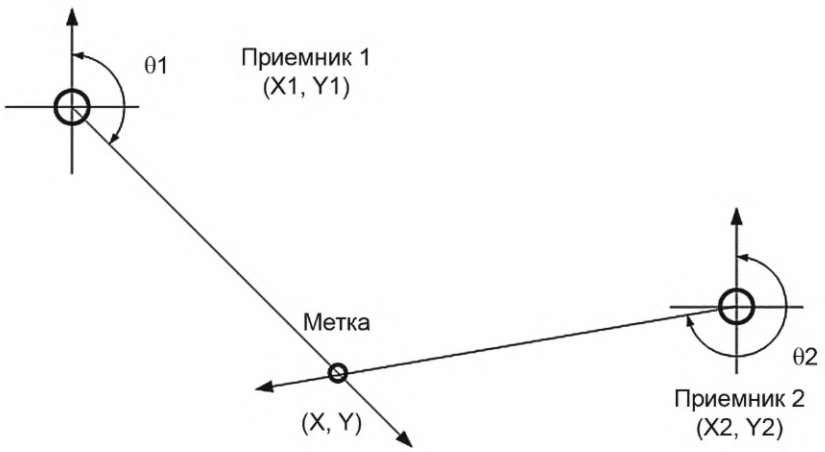


Рисунок А.5 — Определение местонахождения по угловым векторам

Если азимут и возвышение измерены каждым сенсором (на представленном выше рисунке показан только один замер, сделанный на каждом сенсоре), то можно найти трехмерное расположение метки, используя информацию только двух датчиков.

А.3.3.2 Математическое вычисление местонахождения

На приведенном выше рисунке местонахождение метки (x, y) можно вычислить, используя следующие соотношения:

d_1 (расстояние от сенсора 1 до метки) = $\sqrt{(x-x_1)^2+(y-y_1)^2}$;

d_2 (расстояние от сенсора 2 до метки) = $\sqrt{(x-x_2)^2+(y-y_2)^2}$.

Затем:

$x = x_1 + d_1 \cdot \sin(\theta_1)$;

$y = y_1 + d_1 \cdot \cos(\theta_1)$;

а также:

$x = x_2 + d_2 \cdot \sin(\theta_2)$;

$y = y_2 + d_2 \cdot \cos(\theta_2)$.

Эти уравнения могут быть решены для определения двух неизвестных (x, y) с помощью двух измерений θ_1 и θ_2.

Приложение ДА
(справочное)

Термины и определения из международного документа [15]

Настоящее приложение содержит термины и определения раздела 3 «Определения» международного документа [15], на которые приведена ссылка в разделе 3 «Термины и определения» ИСО/МЭК 24730-62, по отношению к которому модифицирован настоящий стандарт. Термины приведены с нумерацией и в последовательности, указанной в международном документе [15].

3.1 **альтернативный координатор персональной сети** [alternate personal area network (PAN) coordinator]: Координатор, способный заменить координатор персональной сети, если указанный координатор персональной сети покидает сеть по любой причине. Персональная сеть (PAN) может не иметь или иметь несколько альтернативных координаторов персональной сети.

3.2 **ассоциация** (association): Сервис, используемый для установления принадлежности устройства к беспроводной персональной сети (WPAN).

3.3 **признак аутентификации** (authentication tag): Информация, которая позволяет проверять подлинность сообщения.

3.4 **персональная сеть с поддержкой маяка** [beacon-enabled personal area network (PAN)]: Персональная сеть, в которой все координаторы излучают регулярные маяки, то есть имеют заказ маяков < 0x0F*.

3.5 **блочный шифр** (block cipher): Криптографическая функция, которая работает со строками фиксированного размера.

3.6 **размер блока** (block size): Размер строк, с которыми работает блочный шифр, в битах.

3.7 **период конкурентного доступа (CAP)** [contention access period (CAP)]: Период времени, следующий непосредственно после кадра маяка, в течение которого устройства, намеревающиеся осуществить передачу, будут конкурировать за доступ к каналу, используя множественный доступ с множеством разнесенных несущих с механизмом предотвращения коллизий (CSMA-CA).

3.8 **символ периода конкурентного доступа** [contention access period (CAP) symbol]: Длительность символа, имеющая место во время периода конкурентного доступа.

3.9 **координатор** (coordinator): Полнофункциональное устройство (FFD), способное передавать сообщения. Если координатор является основным контроллером персональной сети (PAN), он называется координатором персональной сети.

3.10 **аутентификация данных** (data authentication): Процесс, посредством которого объект, получающий сообщение, подтверждает признаки подлинности источника информации в сообщении и таким образом подтверждает, что сообщение не было изменено при пересылке.

3.11 **подлинность данных** (data authenticity): Обеспечение достоверности источника информации.

3.12 **устройство** (device): Любой объект, содержащий реализацию управление доступом к среде (MAC) по IEEE 802.15.4 и физического интерфейса к беспроводной среде. Устройство может быть устройством с пониженной функциональностью (RFD) или полнофункциональным устройством (FFD).

3.13 **шифрование** (encryption): Преобразование сообщения в новое представление таким образом, чтобы для восстановления исходного представления требовалась привилегированная информация.

3.14 **кадр** (frame): Формат агрегированных битов из подуровня управления доступом к среде (MAC) объекта, которые передаются вместе во времени.

3.15 **полнофункциональное устройство (FFD)** [full-function device (FFD)]: Устройство, способное работать как координатор.

3.16 **групповой ключ** (group key): Ключ, который известен только для набора устройств.

3.17 **пустой период** (idle period): Период времени, в течение которого не запланирована любая операция приемопередатчика.

3.18 **ключ** (key): Привилегированная информация, которая может использоваться, например, для защиты информации от ее раскрытия и/или неопределяемого изменения сторонами, которые не имеют доступа к этой привилегированной информации.

3.19 **создание ключа** (key establishment): Процесс, при котором две или более стороны устанавливают ключ.

3.20 **ключевые данные** (keying material): Комбинация ключа и связанной с ним информации о безопасности (например, неповторяющееся значение).

3.21 **управление ключами** (key management): Набор процессов установления и поддержания кодирования в течение всей жизни системы.

3.22 **группа обмена ключами** (key sharing group): Набор устройств, совместно использующих ключ.

3.23 **внутренний синхронизирующий сигнал** (local clock): Внутренний синхронизирующий символьный сигнал устройства.

---

* *Заказ маяков — четырехбитовое кодовое поле, определяющее периодичность передачи маяков.*

3.24 **ключ соединения** (link key): Секретный ключ, который используется только двумя устройствами.

3.25 **минимальный уровень безопасности** (minimum security level): Указание минимальной защиты, требуемой при передаче информации.

3.26 **мобильное устройство** (mobile device): Устройство, логическое расположение которого в сети может изменяться во время использования.

3.27 **м-последовательность** (m-sequence): Максимально длинная последовательность сдвигового регистра с линейной обратной связью.

3.28 **персональная сеть без поддержки маяка** [nonbeacon-enabled personal area network (PAN)]: Персональная сеть, в которой координаторы не излучают регулярные маяки, то есть имеют заказ маяков = 0x0F*.

3.29 **временное значение** (nonce): Неповторяющееся значение, такое как увеличивающий счетчик, достаточно длинная случайная строка или временная метка.

3.30 **потерянное устройство** (orphaned device): Устройство, потерявшее контакт с ассоциированным координатором.

3.31 **пакет** (packet): Отформатированные, агрегированные биты, которые совместно передаются во времени через физическую среду.

3.32 **подлежащие передаче данные** (payload data): Содержимое передаваемого информационного сообщения.

3.33 **координатор персональной сети** [personal area network (PAN) coordinator]: Координатор, который является основным контроллером персональной сети. Сеть по IEEE 802.15.4 имеет ровно один координатор персональной сети.

3.34 **персональное рабочее пространство (POS**) [personal operating space (POS)]: Пространство вокруг человека или объекта, которое обычно составляет около 10 м во всех направлениях и окружает человека или объект, неподвижный или находящийся в движении.

3.35 **простой текст** (plain text): Строка расшифрованной информации.

3.36 **защита** (protection): Сочетание сервисов безопасности, предоставляемых для передаваемой информации, таких как конфиденциальность, аутентичность данных и/или защита от воспроизведения.

3.37 **радиосфера влияния** (radio sphere of influence): Область пространства, в которой радиоустройство может успешно взаимодействовать с другими подобными радиоустройствами.

3.38 **устройство с пониженной функциональностью (RFD)** [reduced-function device (RFD)]: Устройство, которое не может работать в качестве координатора.

3.39 **уровень безопасности** (security level): Указание предполагаемой защиты, применяемой к передаваемой информации.

3.40 **самовосстановление** (self-healing): Способность сети без вмешательства человека обнаруживать и восстанавливать неисправности, возникающие в сетевых узлах или линиях связи.

3.41 **самоорганизация** (self-organizing): Способность сетевых узлов обнаруживать присутствие других узлов и организовывать их в структурированную, функционирующую сеть без вмешательства человека.

3.42 **симметричный ключ** (symmetric key): Секретный ключ, который совместно используется двумя или более сторонами и может применяться для шифрования/дешифрования или защиты/проверки целостности в зависимости от предназначения.

3.43 **транзакция** (transaction): Обмен связанными последовательными кадрами между двумя равными объектами управления доступом к среде (MAC), необходимый для успешной передачи команды управления доступом к среде (MAC) или кадра данных.

3.44 **очередь транзакций (**transaction queue): Список ожидающих транзакций, которые должны быть отправлены с использованием косвенной передачи и которые инициируются подуровнем управления доступом к среде (MAC) данного координатора. Очередь транзакций поддерживается этим координатором во время выполнения транзакций, а ее длина зависит от реализации, но должна составлять минимум единицу.

---

* *Заказ маяков — четырехбитовое кодовое поле, определяющее периодичность передачи маяков.*

Приложение ДБ
(справочное)

Перечень изменений ссылок в настоящем стандарте относительно ИСО/МЭК 24730-62:2013 и объяснения причин изменений

Таблица ДБ.1

Структурный элемент настоящего стандарта	Характеристика технических отклонений и причин их внесения
Введение, предпоследний абзац	Ссылка на международный документ IEEE 802.15.4a (ИИЭР 802.15.4a) заменена ссылкой на его номер [13] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 1, первый абзац	Ссылка на международный документ IEEE 802.15.4a (ИИЭР 802.15.4a) заменена ссылкой на его номер [13] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 2	Ссылка на ISO/IEC/IEEE 8802-15-4, Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 15-4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) [Информационные технологии — Телекоммуникации и обмен информацией между системами — Локальные и городские сети — Специфические требования часть 15-4: Спецификация управления доступом к среде (MAC) и спецификации физического уровня для беспроводных низкоскоростных персональных сетей (WPANs)] перенесена из раздела 2 в библиографию под номером [15], поскольку соответствующее содержание раздела 3 указанного ссылочного стандарта полностью приведено в дополнительном приложении ДА настоящего стандарта и адекватно заменяет ссылку на этот стандарт
Раздел 2	Ссылка на международный стандарт ИСО/МЭК 15963 заменена ссылкой на идентичный национальный стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963
Раздел 2	Ссылка на ИСО/МЭК 19762 заменена ссылками на идентичные национальные стандарты ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-1, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-2, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3, ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4. В примечании к разделу 2 также указано, что на момент принятия настоящего стандарта действует новая редакция международного стандарта ИСО/МЭК 19762:2016 «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации сбора данных. Гармонизированный словарь» (ISO/IEC 19762:2016 Information technology — Automatic identification and data capture (AIDC) techniques — Harmonized vocabulary), которая содержит русскую версию
Раздел 3, первый абзац	Ссылка на международный стандарт ИСО/МЭК/ИИЭР 8802-15-4 заменена ссылкой на его номер [15] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации. Термины и их определения, приведенные в ИСО/МЭК/ИИЭР 8802-15-4 в разделе 3 «Определения», приведены в справочном приложении ДА настоящего стандарта
Раздел 4, рисунок 1	Ссылка на международный стандарт ISO/IEC 24730-1 заменена ссылкой на его номер [8] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 4, 4.1	Ссылка на международный стандарт ИСО/МЭК 18000-1 заменена ссылкой на его номер [17] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, третий абзац	Ссылка на международный стандарт ИСО/МЭК 15963 заменена ссылкой на идентичный национальный стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963. Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.1	Ссылки на международный стандарт ИСО/МЭК 15963 заменены ссылками на идентичный национальный стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963

Окончание таблицы ДБ.1

Структурный элемент настоящего стандарта	Характеристика технических отклонений и причин их внесения
Раздел 7, 7.1.1.1	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.1.1.6, таблица 15	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2 заголовок	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2 первый абзац	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2 рисунок 19	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2.1 заголовок	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2.1.1, первый абзац	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2.1.4, таблица 16	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 7, 7.2.1.4, рисунок 20	Ссылка на международный документ IEEE EUI-64 ID заменена ссылкой на его номер [18] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 8, 8.1, второй абзац	Ссылка на международный документ IEEE 802.15.4 (ИИЭР 802.15.4) заменена ссылкой на его номер [13] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 8, 8.1.1.1	Ссылка на международный документ IEEE 802.15.4 (ИИЭР 802.15.4) заменена ссылкой на его номер [13] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Раздел 8, 8.1.1.3	Ссылка на международный документ IEEE 802.15.4 (ИИЭР 802.15.4) заменена ссылкой на его номер [13] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Приложение А, заголовок	Ссылка на международный стандарт ISO/IEC 24730-61 заменена ссылкой на его номер [19] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Приложение А, А.1	Ссылки на международный стандарт ISO/IEC 24730-61 заменены ссылками на его номер [19] в перечне ссылочных документов в библиографии для удобства идентификации
Библиография	В перечень ссылочных документов библиографии дополнительно внесены документы с номерами [15], [16], [17], [18], [19], ссылки на которые приведены в тексте ИСО/МЭК 24730-62:2013, но отсутствуют в разделе 2 и библиографии указанного международного стандарта

Приложение ДВ
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДВ.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование международного стандарта
ГОСТ Р ИСО/МЭК 15963—2011	IDT	ISO/IEC 15963:2009 «Информационные технологии. Радиочастотная идентификация для управления предметами. Уникальная идентификация радиочастотных меток»
ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-1—2011	IDT	ISO/IEC 19762-1:2008* «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 1. Общие термины в области АИСД»
ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-2—2011	IDT	ISO/IEC 19762-2:2008* «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 2. Оптические носители данных (ОНД)»
ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3—2011	IDT	ISO/IEC 19762-3:2008* «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 3. Радиочастотная идентификация (РЧИ)»
ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4—2011*	IDT	ISO/IEC 19762-4:2008* «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 4. Общие термины в области радиосвязи»
Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов: - IDT — идентичные стандарты.		

* Международный стандарт отменен. На момент публикации настоящего стандарта действует новая редакция ИСО/МЭК 19762:2016 «Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь», объединившая в одном документе тематику ИСО/МЭК 19762-1:2008, ИСО/МЭК 19762-2:2008, ИСО/МЭК 19762-3:2008, ИСО/МЭК 19762-4:2008, ИСО/МЭК 19762-5:2008. ИСО/МЭК 19762:2016 имеет русскую версию.

Библиография

[1]	ISO/IEC Directives, Part 2	Директивы ИСО/МЭК. Часть 2. Правила построения и разработки международных стандартов, 2001 (Rules for the structure and drafting of International Standards, 2001)
[2]	ISO 31 (all parts)	Величины и единицы (Quantities and units)
[3]	ISO 1000	Единицы СИ и рекомендации по применению их кратных и некоторых других единиц (SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units)
[4]	ISO/IEC 7498-1:1994	Информационные технологии. Взаимосвязь открытых систем Базовая эталонная модель: базовая модель (Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model: The Basic Model)*
[5]	ISO/IEC/IEEE 8802-2	Информационные технологии. Телекоммуникации и обмен информацией между системами. Локальные и городские сети. Особые требования. Часть 2. Управления логической связью (Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 2: Logical link control)**
[6]	ISO/IEC 9646-7 (ITU-T Rec. X.296)	Информационные технологии. Взаимосвязь открытых систем. Методология контроля соответствия и система тестирования. Часть 7. Реализация заявления о соответствии (Information technology — Open systems interconnection — Conformance testing methodology and framework — Part 7: Implementation conformance statements)
[7]	ISO 10241	Международные терминологические стандарты. Подготовка и оформление (International terminology standards — Preparation and layout)
[8]	ISO/IEC 24730-1	Информационные технологии. Системы позиционирования реального времени (RTLS). Часть 1. Прикладной программный интерфейс (API). [Information technology — Real-time locating systems (RTLS) — Part 1: Application programming interface (API)]
[9]	IEC 62369-1 Ed. 1.0	Оценка воздействия на человека электромагнитных полей от устройств малого радиуса действия (SRD) в различных приложениях в частотном диапазоне 0—300 ГГц. Часть 1. Поля, создаваемые устройствами, применяемыми для электронного контроля, радиочастотной идентификации и аналогичных систем [Evaluation of human exposure to electromagnetic fields from Short Range Devices (SRDs) in various applications over the frequency range 0—300 GHz. Part 1: Fields produced by devices used for Electronic Article Surveillance, Radio Frequency Identification and similar systems]
[10]	ICNIRP	Международная комиссия по защите от неионизирующих излучений. Руководство по ограничению воздействия неионизирующих излучений (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines on Limiting Exposure to Non-Ionizing Radiation)
[11]	IEEE Std C95.1:2005	Стандарт ИИЭР для уровней безопасности в отношении воздействия на человека радиочастотных электромагнитных полей от 3 кГц до 300 ГГц (IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz)
[12]	FIPS Pub 197	Расширенный стандарт шифрования (AES) [Advanced Encryption Standard (AES)]
[13]	IEEE 802.15.4	Стандарт ИИЭР по информационным технологиям. Телекоммуникации и обмен информацией между системами. Локальные и городские сети. Особые требования. Часть 15.4. Беспроводной физический уровень (PHY) и управление доступом к среде (MAC). Спецификации для низкоскоростных беспроводных персональных сетей (WPANs) [IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)]
[14]	Recommendation ITU-R SM.1756 (2006)	Основы внедрения устройств, использующих сверхширокополосные технологии (Framework for the introduction of devices using ultra-wideband technology)

* *Действует ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1—99 «Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель».*

** *Действует ГОСТ 28907—91 (ИСО 8802-2—89) «Системы обработки информации. Локальные вычислительные сети. Протокол и услуги уровня управления логическим звеном данных».*

[15] ISO/IEC/IEEE 8802-15-4 Информационные технологии. Телекоммуникации и обмен информацией между системами. Локальные и городские сети. Специфические требования. Часть 15-4. Спецификация управления доступом к среде (MAC) и спецификации физического уровня (PHY) для беспроводных низкоскоростных персональных сетей (WPANs) [Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 15-4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)].

Примечание — Приведенная в разделе 2 ИСО/МЭК 24730-62:2013 ссылка на международный документ ISO/IEC/IEEE 8802-15-4 перенесена в библиографию настоящего стандарта как документ [15]. Ссылка на термины и определения ISO/IEC/IEEE 8802-15-4 содержится в подразделе 3.1 «Термины и определения» ИСО/МЭК 24730-62:2013. Ссылка на термины и определения документа [15] приведена в разделе 3.1 «Термины и определения» настоящего стандарта. Полный перечень терминов и определений из раздела 3 «Определения» ISO/IEC/IEEE 8802-15-4 приведен в приложении ДА настоящего стандарта.

[16] ISO/IEC 19762:2016 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации сбора данных. Гармонизированный словарь (Information technology — Automatic identification and data capture (AIDC) techniques — Harmonized vocabulary).

Примечание — Указанная версия международного стандарта действует на момент публикации настоящего стандарта. ISO/IEC 19762:2016 включает русскую версию. На момент публикации ИСО/МЭК 24730-62:2013 действовала версия ИСО/МЭК 19762:2008, ссылки на который приведены в разделе 2 и 3.

[17] ISO/IEC 18000-1 Информационные технологии. Радиочастотная идентификация для управления предметами. Часть 1. Базовая архитектура и определение параметров, подлежащих стандартизации (Information technology — Radio frequency identification for item management — Part 1: Reference architecture and definition of parameters to be standardized).

Примечание — Указанный международный стандарт приведен в связи со ссылкой на него в 4.1 и отсутствием сведений о нем в разделе 2 и библиографии ИСО/МЭК 24730-62:2013.

[18] IEEE EUI-64 Руководство по использованию 64-битового глобального идентификатора (EUI-64) [Guidelines for 64-bit Global Identifier (EUI-64)].

Примечание — Указанный международный стандарт приведен в связи со ссылкой на него в разделе 7 и отсутствием сведений о нем в разделе 2 и библиографии ИСО/МЭК 24730-62:2013.

[19] ISO/IEC 24730-61:2013 Информационные технологии. Системы позиционирования в реальном времени. Часть 61. Протокол радиоинтерфейса для сверхширокополосной связи с низкой частотой повторения импульсов [Information technology — Real time locating systems (RTLS) — Part 61: Low rate pulse repetition frequency Ultra Wide Band (UWB) air interface].

Примечание — Указанный международный стандарт приведен в связи со ссылкой на него в приложении А и отсутствием сведений о нем в разделе 2 и библиографии ИСО/МЭК 24730-62:2013.

УДК 621.398(083.744):006.89 ОКС 35.040 П85

Ключевые слова: информационные технологии, системы позиционирования в реальном времени, сверхширокополосный радиоинтерфейс с высокой частотой повторения импульсов

БЗ 1—2018/138

Редактор *А.А. Кабанов*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *И.В. Белюсенко*

Сдано в набор 28.02.2018. Подписано в печать 22.03.2018. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 6,73. Тираж 23 экз. Зак. 461.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001, Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru