

Александр Калачев (г. Барнаул)

# БЕСПРОВОДНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ: ПЛАН ДЕЙСТВИЙ, КОМПОНЕНТЫ TEXAS INSTRUMENTS – И ВПЕРЕДИ!



Для вашего проекта необходимо беспроводное решение? – Вам нужно только определить нужную скорость передачи данных, частотный диапазон, топологию сети и количество узлов. Все остальное предоставит компания **Texas Instruments: программные решения** – стеки протоколов, средства разработки; **аппаратные решения** для различных частотных диапазонов, а также **средства поддержки разработчика**. Как все это выбрать? – читайте в статье.

Успехи в области полупроводниковой электроники, позволяющие интегрировать на одном кристалле большое количество разнообразных устройств (в том числе аналоговых и цифровых схем), и достижения в технологии производства интегральных схем (снижение стоимости производства) способствуют проникновению в повседневную жизнь различных электронных устройств и систем. Часто они становятся повседневными и незаметными, однако за каждой из них стоит труд множества людей и сложнейшие технологии. Особенно интенсивно идет развитие в сфере встраиваемых систем и портативных устройств, использующих радиоканал. Они окружают нас в обычной жизни и работают в условиях различных ограничений.

Такие устройства относят к классу маломощных радиоустройств.

## Количество узлов и топология сети

Каждая область применения беспроводных систем характеризуется наличием характерного количества узлов и предназначена для решения определенного класса задач или предоставления пользователям соответствующих сервисов. Количество узлов сети может варьироваться от двух до нескольких тысяч.

Каждая из топологий требует поддержки в виде сетевого приложения или протокола (таблица 1) [2-6].

## Скорость передачи данных и расстояние между узлами сети

Одним из основных факторов, влияющих на топологию сети и выбор протокола передачи данных, является предельное расстояние, на которое можно разнести узлы в сети при сохранении устойчивой связи и требуемой скорости обмена данными.

Расстояние между узлами можно оценить, исходя из сведений о выходной мощности передатчика, чувствительности приемника и характеристиках антенн с учетом эмпирических сведений [1, 2].

Для теоретических оценок используется формула Фриза для свободного пространства:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) - 20 \log d \quad (1)$$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2};$$

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_t G_t G_r}{P_r}}; \quad (2)$$

где  $P_t$  – мощность передатчика;  $P_r$  – чувствительность приемника;  $G_t$ ,

$G_r$  – коэффициенты усиления передающей или приемной антенн соответственно;  $d$  – расстояние между узлами;  $\lambda$  – длина волны.

Формула (1) носит еще название энергетического бюджета канала связи (или просто бюджета канала).

В реальной ситуации рассчитанная дальность передачи будет несколько ниже из-за различных эффектов распространения сигнала (рассеяние, дисперсия, многолучевое распространение и др.). Поскольку учесть все или хотя бы часть эффектов практически нереально, пользуются эмпирическими правилами (правила приближенного счета), позволяющими провести необходимые оценки.

Наиболее важными факторами для узлов сети являются характеристики антенны – коэффициент усиления, диаграмма направленности, чувствительность к предметам в ближней зоне и др. Большое значение также имеет реализация передачи данных в различных сетевых технологиях (рис. 1, рис. 2).

## Энергопотребление

Энергопотребление узлов сети играет не последнюю роль для систем с автономным питанием, кроме того надо помнить об общей тенденции к переходу на энергосберегающие технологии. Texas Instruments является одним из лидеров в области низкопотребляющих цифровых и аналоговых схем [2, 8, 10].

Кроме технических характеристик микросхем приемопередатчиков, микроконтроллеров и других узлов беспроводных модулей на энергопотребление существенно влияет режим работы сетевого приложения, интенсивность обмена данными.

Таблица 1. Решения TI для различных сетевых топологий

Показатель сети	Платформа, сетевой протокол или стек протоколов				
	Любой радиointерфейс + собственное ПО	SimpliciTI	802.15.4 TIMAC	RF4CE	ZigBee
Топология	Любая	Точка-точка Звезда	Звезда	Звезда	Ячеистая
Размер кода	Переменный	<8 кбайт	<32 кбайт	<64 кбайт	>64 кбайт
Сложность	Переменная	Низкая	Низкая	Низкая	Средняя

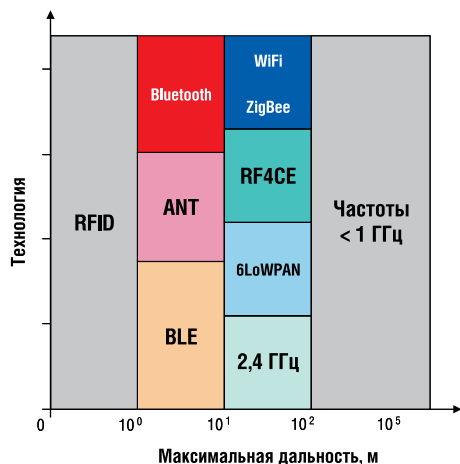


Рис. 1. Дальность связи, обеспечиваемая различными беспроводными технологиями

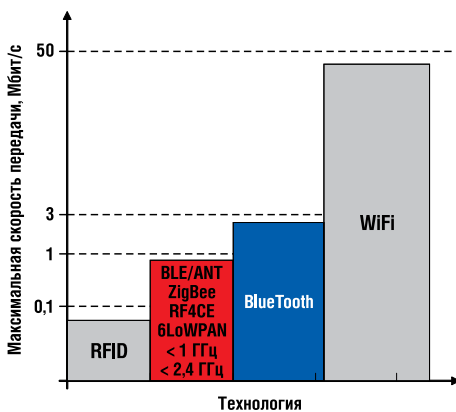


Рис. 2. Диапазон скоростей передачи данных в беспроводных технологиях



Рис. 3. Пример профиля энергопотребления беспроводного узла

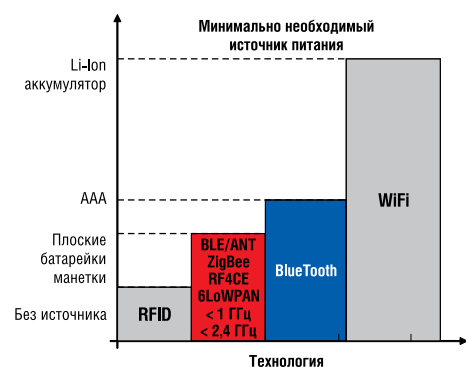


Рис. 4. Минимальные требования к источникам питания беспроводных узлов различных технологий

Выделяют режимы работы с интенсивным рабочим циклом и с малой интенсивностью обмена. В приложениях с интенсивным рабочим циклом основная доля энергопотребления приходится на радиоинтерфейс — прием/передача пакетов, синхронизация и автоподстройка частоты. При этом в случае преобладания в трафике длинных пакетов доминирует потребление приемопередатчика, а в случае преимущественной передачи коротких пакетов на первый план выходит потребление схем инициализации радиочасти и автокалибровки частоты.

В приложениях с малой интенсивностью обмена начинают играть роль такие показатели, как наличие и эффективность режимов пониженного энерго-

потребления микросхем датчиков, микроконтроллеров и приемопередатчиков.

Типичный профиль энергопотребления беспроводного узла представлен на рисунке 3 (абсолютные величины приведены для устройства диапазона менее 1 ГГц; для устройств диапазона 2,4 ГГц токи потребления будут примерно в два раза выше) [2]. При этом относительный уровень потребления устройств, отличающихся по технологиям реализации, можно оценить по рисунку 4 [8].

TI предлагает несколько линеек продуктов с низким энергопотреблением для беспроводных систем со всем необходимым программным и аппаратным обеспечением, фактически избавляя разработчиков от необходимости применения специализированных протоколов для снижения энергопотребления — эта часть проблемы решается на уровне компонентов.

### Выбор технологии реализации

Беспроводные решения TI позволяют реализовать любую стратегию развития продукта, выбранную разработчиком. Карта предлагаемых программных и аппаратных решений TI для различных уровней представлена в таблице 2.

В качестве программных платформ TI предлагает несколько фирменных протоколов и стандартизованных стеков протоколов [3-6].

### SimpliciTI




SimpliciTI™ представляет собой несложный протокол с открытым исходным кодом для небольших беспроводных сетей с низкой интенсивностью обмена данными в диапазонах до 1 ГГц, 2,4 ГГц и диапазонах стандарта IEEE 802.15.4 [5] (рис. 5). Разработан для сетей преимущественно с автономным батарейным питанием на основе систем-на-кристалле (например, **CC430**, **CC1110/2510**) или на основе связки низкопотребляющих контроллеров серии **MSP430** и любого из приемопередатчиков, предлагаемых TI (**MSP430 + CC1XXX/CC25XX**).

SimpliciTI поддерживает все беспроводные трансиверы и системы-на-кристалле TI, а также большинство аппаратных платформ для отладки беспроводных приложений. При этом обеспечивается максимально простой пе-

Таблица 2. Программные и аппаратные решения TI для различных уровней

Уровень / приложение	Целевая разработка	SimpliciTI	IEEE 802.15.4	RF4CE	ZigBee
Прикладной	—	—	—	—	—
Протокол высокого уровня	—	—	—	Remo TI	Z-Stack + API
Протокол нижнего уровня	—	SimpliciTI	TI MAC	TI MAC	TI MAC
Физический уровень	Любой беспроводной модуль	CC111x, CC251x, MSP430+CC1101, CC2500	CC2530, MSP430+CC2520	CC2530, CC2533	CC2530
Частотный диапазон	<1 ГГц, 2,4 ГГц	<1 ГГц, 2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц

Таблица 3. Ненаправленные антенны с одной точкой подключения диапазона 2,4 ГГц

Тип	Инвертированная F-антенна	Меандровая инвертированная F-антенна	Меандровый монополь
Внешний вид			
Эффективность	80% EB 94% SA	68% EB	76% EB 87% SA
Ширина полосы пропускания, МГц	280	101	400
Размеры, мм	26x8	15x6	39x25

ренос приложения с одного чипа на другой, например, с CC1110 на CC2510, для смены частотного диапазона.

Ключевые свойства:

- Является протоколом, разработанным TI для минимизации энергопотребления с поддержкой спящего режима узлов сети;

- Низкие системные требования: < 8 кбайт Flash-памяти и менее 1 кбайта RAM для работы в зависимости от конфигурации;

- Поддержка топологий точка-точка, звезда (с расширителями радиуса действия – до четырех промежуточных узлов);

- Легок в применении с точки зрения программиста – небольшой набор API-функций;

- Большой выбор поддерживаемых платформ.

Типовые приложения:

- Сигнализация и системы охраны (датчики проникновения, датчики света, СО-датчики, датчики разбития стекла);

- Пожарная сигнализация – датчики дыма;

- Системы учета (счетчики воды, газа, электроэнергии);

- Приложения RFID с активными метками.

**TIMAC**

TIMAC является свободно распространяемым программным обеспечением для приемопередатчиков и систем на кристалле TI, ориентированных на стандарт IEEE 802.15.4 [4]. Предоставляется в виде объектных кодов без авторских или патентных отчислений за его использование.

Сертифицирован как стандарт, поддерживающий IEEE 802.15.4, легок в применении. Поддерживает несколько аппаратных платформ: система-на-кристалле CC2530; MSP430F5438 + CC2520; MSP430F2618 + CC2520.

Применение TIMAC оправдано в случаях:

- Организации беспроводных сетей типа точка-точка, точка-множество точек (например, связь нескольких сенсоров с центральным узлом);

- Необходимости стандартизованного протокола;

- Использования узлов с батарейным питанием;

- Необходимости поддержки подтверждения приема или ретрансляция пакетов;

- Использования низких скоростей передачи данных (порядка 100 кбит/сек).

**RemoTI**

Для задач дистанционного управления устройствами Texas Instruments предлагает протокол RemoTI™, поддерживаемый соответствующими беспроводными устройствами, отвечающий спецификации ZigBee® RF4CE (рис. 6) [6].

Протокол RemoTI основывается на стандарте IEEE 802.15.4 с добавлением к нему уровня сетевого взаимодействия и набора базовых команд управления. Включает в себя: поддержку нескольких каналов; безопасные транзакции; режимы энергосбережения; простой механизм объединения устройств для совместной работы.

**Z-Stack**

Для организации сложных сетей TI предлагает стек протоколов Z-Stack™, один из линейки программных продуктов, ориентированных на стандарт IEEE 802.15.4 [3].

Z-Stack™ совместим со стандартами ZigBee (ZigBee и ZigBee PRO) и позволяет реализовывать функционал, заложенный в данных стандартах на платформах TI: CC2530, MSP430+CC2520, Stellaris LM3S9B96+CC2520, CC2591. Более того, Z-Stack™ поддерживает профили ZigBee – Smart Energy и Home Automation.

Основные возможности:

- Полная поддержка стандарта ZigBee PRO;

- Возможность обновления прошивки узлов сети по радиоканалу;

- Наличие набора API, уменьшающего время разработки приложения (до-

полнительно предоставляются примеры программ).

Сеть, построенная на базе Z-Stack™, обладает следующими свойствами:

- Самоорганизация сети (топология Mesh);

- Низкая стоимость установки узлов;

- Низкая стоимость узлов сети;

- Поддержка больших сетей (сотни узлов);

- Применение для приложений контроля и мониторинга систем и объектов;

- Использование стандартизованных протоколов.

Z-Stack тестировался и разрабатывался с применением компиляторов компании IAR ([www.iar.com](http://www.iar.com)). При покупке отладочных комплектов TI пользователь получает 30-дневную ознакомительную версию IAR EW без ограничения по объему компилируемого кода. Для компиляции Z-Stack под различные платформы необходимы соответствующие версии кросс-компиляторов:

- CC2530: IAR EW8051 7.60;

- CC2520+MSP430: IAR EW MSP 5.10;

- CC2520+LM3S9B96: IAR EW ARM 5.50.5.

**BLEStack**

Стек протоколов TI's Bluetooth® low energy (BLE) предоставляет все необходимое программное обеспечение для разработки приложений Bluetooth® low energy на базе системы-на-кристалле CC2540 [8]. BLEStack включает в себя объектный код самого стека протоколов BLE, примеры программных проектов и приложений с исходными текстами, приложение для ПК VTools для тестирования BLE-приложений, техническую документацию, включая пособие разработчика и справочник по API-функциям BLE.

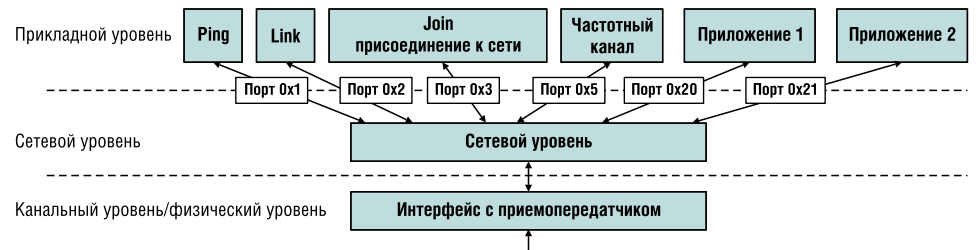


Рис. 5. Структура стека протоколов SimpliciTI

Основные возможности BLEstack:

- Отвечает требованиям спецификации Bluetooth specification version 4.0;
- Имеет режим хост-устройства, контроллера;
- Поддерживает специализированные профили устройств;
- Имеет поддержку режимов мастера и подчиненного устройства, поддержку совмещенного режима;
- Имеет небольшой объем кода;
- Обладает высокой энергоэффективностью.

Объектный код оптимизирован для CC2540; не требуется каких-либо авторских или патентных отчислений.

К областям применения можно отнести: аксессуары для мобильных телефонов; приборы для занятий спортом, отдыха, бытовые медицинские приборы; игровые консоли, интерфейсные устройства, устройства удаленного управления; возможно применение в системах безопасности.

**ANT™**

ANT™ предлагается как простое и недорогое энергоэффективное решение для организации простых сетей типа точка-точка, звезда [8]. Применяемая во многих приложениях технология ANT на сегодняшний день является признанной технологией для сбора, автоматической передачи и отслеживания данных датчиков при занятиях спортом, оздоровительных процедурах, мониторинге состояния здоровья в домашних условиях.

Основные области применения: спорт/фитнес; бытовая медицинская аппаратура; аксессуары для мобильных телефонов; беспроводные сенсорные сети.

**PurePath™ Wireless Audio**

PurePath™ Wireless Audio – уникальная технология, разработанная Texas Instruments для беспроводной передачи потокового аудио в «CD-качестве» на небольшие расстояния в диапазоне 2,4 ГГц, вылившаяся в серию однокристалльных устройств **CC85xx** [8]. Два или более устройства CC85xx составляют сеть аудиоустройств. Особое внимание было уделено вопросам поддержания непрерывной связи между устройствами в условиях различного окружения и совместимости с другими

беспроводными устройствами, работающими в диапазоне 2,4 ГГц.

Большинство приложений с использованием PurePath™ Wireless Audio могут быть реализованы без разработки ПО. CC85xx просто подключается к источнику внешнего аудио сигнала (аудио-кодек, интерфейс S/PDIF, усилитель класса D) с парой кнопок или светодиодов в качестве интерфейса с пользователем. В более сложных случаях возможно подключение внешнего хост-процессора или DSP для прямого управления аудио-потокком или для контроля сетевых операций.

Преимущества данной технологии:

- Сниженная стоимость разработки;
- Удвоенное время работы по сравнению с обычными решениями (порядка 22 часов с батареей емкостью 465 мА·ч);
- Хорошо подходит для высококачественных аудио-устройств.

Для настройки функциональности и обновления прошивки используется ПК-приложение **PurePath Wireless Configurator**. Все устройства семейства CC85xx напрямую могут взаимодействовать с расширителем диапазона **CC2590** для более широкого охвата территории и повышения надежности связи.

Встроенный протокол передачи аудио использует несколько технологий для обеспечения нужного качества передачи данных и совместимости с другими устройствами:

- Адаптивная схема переключения частот;
- Коррекция ошибок передачи;
- Буферизации и ретрансляция данных;
- Маскировка ошибок;
- Эффективные алгоритмы сжатия;
- Скорость передачи данных 5 Мбит/с;
- Выходная мощность до 4 дБм;
- Чувствительность -83 дБм;
- Несжатый канал CD-качества (44,1/48 кГц, 16/24 бит);
- Задержка аудиосигнала менее 20 мс.

Некоторые интерфейсные функции CC85xx, например, управление питанием, выбор аудиоканала, управление уровнем, могут быть отображены на линии ввода-вывода.

Приложения: беспроводные наушники, гарнитуры; беспроводные микро-

фоны; замена кабеля; беспроводной домашний кинотеатр.

**6LoWPAN**

6LoWPAN – это открытый стандарт IETF (*Internet Engineering Task Force*) (RFC 4944), определяющий реализацию протокола IPv6 поверх маломощных недорогих беспроводных сетей [8].

Технология 6LoWPAN обеспечивает поддержку адресов IPv6 для всех узлов беспроводной сети с поддержкой ячеистой технологии для организации масштабируемых сетей, поддержкой маршрутизации и самовосстановления в случае выхода каких-либо узлов из сети. 6LoWPAN может поддерживать несколько физических уровней (PHY), в частности поддиапазон до 1 ГГц и диапазон 2,4 ГГц, работая поверх протоколов стандарта IEEE 802.15.4.

Решение TI для 6LoWPAN основывается на аппаратуре TI и программном обеспечении Sensinode Ltd – одного из лидеров в области программных продуктов для 6LoWPAN.

В качестве аппаратных платформ для 6LoWPAN TI предлагается приемопередатчик CC1110 и система-на-кристалле CC430.

**Выбор частотного диапазона**

Для обмена данными во всем мире предоставляются нелицензируемые радиочастотные диапазоны. В РФ на основании Решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) № 08-24-01-001 от 28.04.2008 и № 07-20-03-001 от 07.05.2007 для этих целей выделены частотные диапазоны 433.075...434,750 МГц и 868,7...869,2 МГц, 2,45 ГГц. Эти частоты могут использоваться без оформления специального разрешения ГКРЧ и совершенно бесплатно при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности (до 10 мВт в районе частоты 434 МГц и до 25 мВт в районе частоты 868 МГц, до 100 мВт в диапазоне 2,4 ГГц) и назначению радиопередающего изделия.

Помимо законодательных критериев, при выборе частотного диапазона следует учитывать и технические факторы.

Для диапазона 2,400...2,4835 ГГц доступны большее количество частотных каналов, более высокие скорости передачи, возможен непрерывный режим работы (для радиочасти), более компактные антенны. С другой стороны, устойчивая работа реализуется на более коротких расстояниях, возрастает влияние различных помех (интерференционные, многолучевое распространение, препятствия) [2].

Для частот менее 1 ГГц разрешенные частотные диапазоны в различных странах могут отличаться, и не всегда возможно использовать одну и ту же элементную базу. Также не везде раз-



Рис. 6. Структура стека протоколов RemoTI

Таблица 4. Дифференциальные антенны диапазона 2,4 ГГц

Тип	Петлевой диполь для CC25xx	Петлевой диполь для CC24xx
Внешний вид		
Эффективность, % EB	80	80
Ширина полосы пропускания, МГц	100	80
Размеры, мм	26x8	15x6

решена непрерывная активность радиоустройства. Преимущества касаются лучшей дальности устойчивой работы по сравнению с частотами 2,4 ГГц диапазона при одинаковой выходной мощности передатчика, уменьшения влияния препятствий на прохождение сигнала (особенно актуально для работы внутри зданий и офисных помещений).

#### Оценка времени и ресурсов на разработку

На данный момент существуют два пути реализации аппаратных решений для беспроводных приложений.

Первый путь заключается в разработке собственной платы устройства с учетом рекомендаций и схем включения элементов.

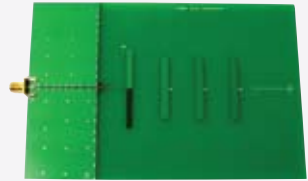
Типичный перечень элементов включает в себя:

- Микросхему беспроводного приемопередатчика и микроконтроллер или однокристальное устройство;
- Компоненты радиотракта — антенна (печатная/чип/внешняя), разъемы для подключения внешней антенны, пассивные компоненты для согласования антенны и входа приемопередатчика, в некоторых случаях — антенный усилитель;
- Стабилизатор питания или батареи питания.

Второй путь заключается в использовании готовых модулей и микросборок, интегрирующих на платах для поверхностного или мезонинного монтажа все элементы радиотракта, включая приемопередающие элементы.

В случае использования фирменных беспроводных модулей разработчик получает возможность сократить время выхода конечного продукта на рынок,

Таблица 5. Направленные антенны диапазона 2,4 ГГц

Тип	Антенна Удо-Йаги
Внешний вид	
Эффективность, % SA	72
Ширина полосы пропускания, МГц	497
Размеры, мм	150x100

избавиться от разработки топологии печатной платы для высокочастотной части, т.к. все компоненты радиотракта согласованы между собой, и весь модуль в целом имеет согласованные параметры по температурному диапазону, мощности радиосигнала и др.

При небольших партиях изделий использование готовых модулей приводит к сокращению затрат на единицу продукции. При крупносерийном производстве выгодно использовать не готовый модуль, а собственное решение.

Разработка беспроводного решения включает в себя изучение документации на выбранные электронные компоненты, разработку антенны, печатной платы и программного обеспечения.

Примером пространства для выбора аппаратной платформы Texas Instruments может служить рисунок 7 [2, 8].

#### Антенные решения TI

Важным элементом любой беспроводной системы или узла сети является антенна. Все характеристики антенн приводятся относительно изотропной — теоретической модели, излучающей одинаково во всех направлениях. В мало-

мощных беспроводных системах чаще всего используются дипольные или штыревые антенны [9].

По типу подключения выделяют две разновидности антенн: антенны с одной точкой подключения и дифференциальные антенны (рис. 8).




Антенны с одной точкой подключения:

- Обычно имеют сопротивление 50 Ом;
- Требуют пассивной схемы согласования для подключения к некоторым типам микросхем;
- Легко анализируются при помощи сетевых анализаторов;
- Легко можно достичь высокой производительности.

Дифференциальные антенны:

- Напрямую подключаются к дифференциальным выходам микросхем;
- Позволяют уменьшить число внешних компонентов;
- Для достижения нужных показателей в некоторых случаях необходима симуляция работы;
- Трудноизмеримый импеданс;
- Возможно достижение производительности, сравнимой с антеннами с одной точкой подключения.

Таблица 6. Печатные антенны диапазона 868/915/955 МГц

Тип	Меандровый монополяр	Меандровая инвертированная F-антенна	Нагруженная штыревая антенна
Внешний вид			
Эффективность	64% EB 91% SA	80% EB	64% EB
Ширина полосы пропускания, МГц	46	40	56
Размеры, мм	39 x 25	43 x 20	48 x 8

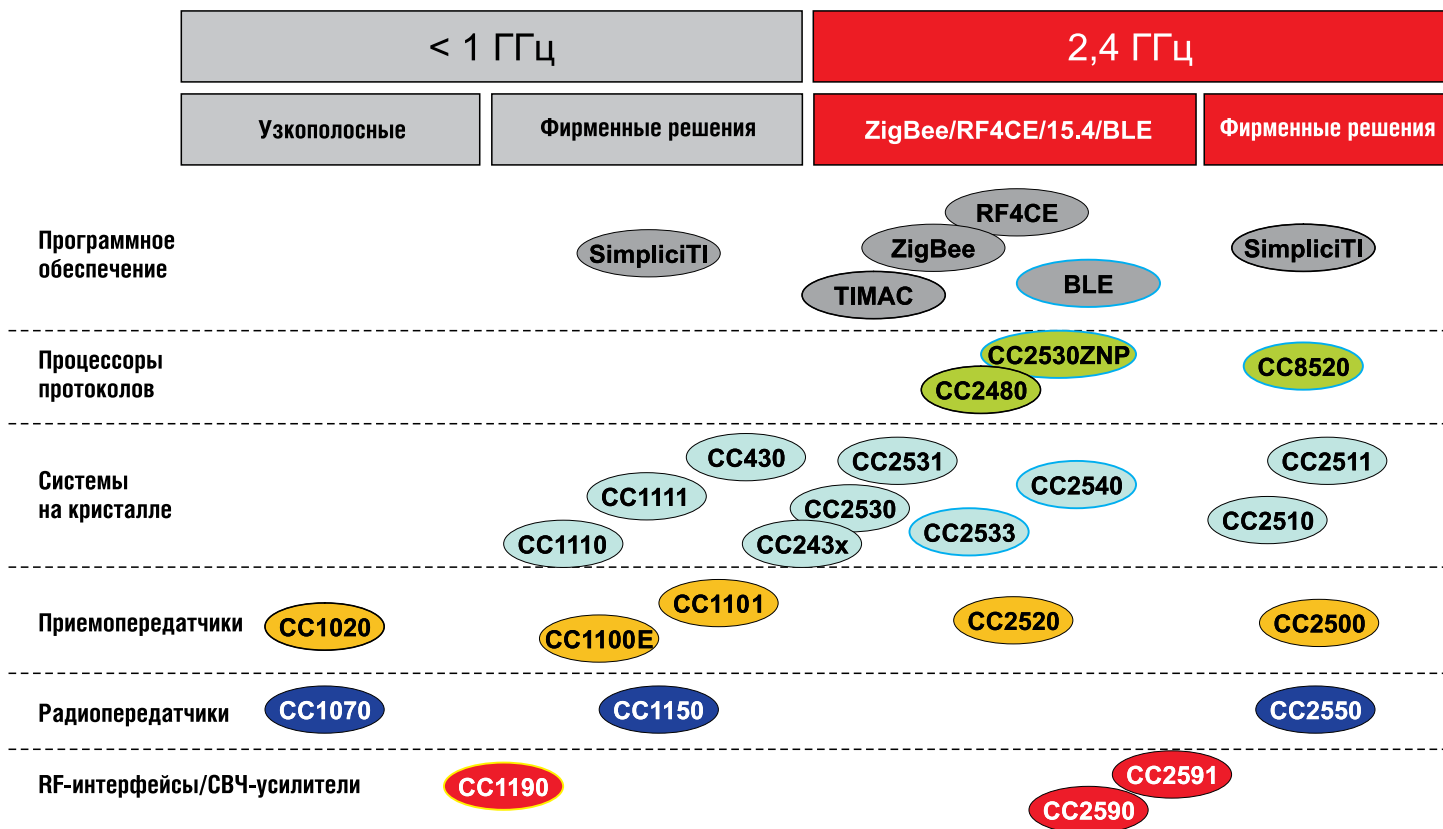


Рис. 7. Спектр аппаратных решений TI

По способу физической реализации выделяют: печатные, штыревые и чип-антенны.

Печатные антенны:

- Не повышают стоимость решения;
- Требуют больше пространства на печатной плате;
- Имеют значительные размеры на низких частотах;
- Имеют широкий диапазон;
- Для реализации необходимо специализированное ПО.

Штыревые антенны:

- Наилучшее совпадение реальных характеристик с теоретическими;
- Меньшее влияние размера антенны на размеры конечного устройства.

Чип-антенны:

- Менее дорогие;
- Меньший диапазон.

Texas Instruments предлагает несколько решений для реализации печатных антенн с рабочими размерами, РСВ-файлами и рекомендациями по применению [7-9].

В качестве средств разработчика предлагается набор антенн CC-Antenna-DK, содержащий 13 разнотипных антенн (диапазоны от 136 МГц до 2,48 ГГц).

Краткие сведения о печатных антеннах, предлагаемых TI для различных диапазонов представлены ниже (таблицы 3-6).

Также для диапазона 868/915/955 МГц применяются спиральные и чип-антенны, каждая из которых обладает своими преимуществами. Спиральные антенны достаточно просты в изготовлении, а чип-антенны имеют весьма компактные размеры.

Для более длинноволновых диапазонов (315 МГц) применяются в основном спиральные антенны, но существуют и чип-решения.

Рекомендованный TI путь выбора антенны состоит из нескольких шагов (рис. 9): обзор возможных решений на основе краткого справочника и более полной технической информации; изучение характеристик антенн (диаграмма направленности, влияние окружения); полевые испытания; изучение технических чертежей, шаблонов антенн, технологии их реализации и особенностей размещения на печатной плате и рекомендаций по конфигурации печатной платы [9].

**Рекомендации по топологии печатной платы**

При создании печатной платы для беспроводного узла принято следовать определенным рекомендациям, позволяющим получить хорошее решение без проведения большой вычислительной работы по моделированию поведения платы в условиях высокочастотных сигналов.

Необходимо стремиться к снижению индуктивности переходов и межслойных соединений – обычно это сводится к увеличению размеров переходных отверстий или созданию большого количества параллельных рядом лежащих переходов.

Размеры земли верхнего слоя должны быть как можно больше, это касает-

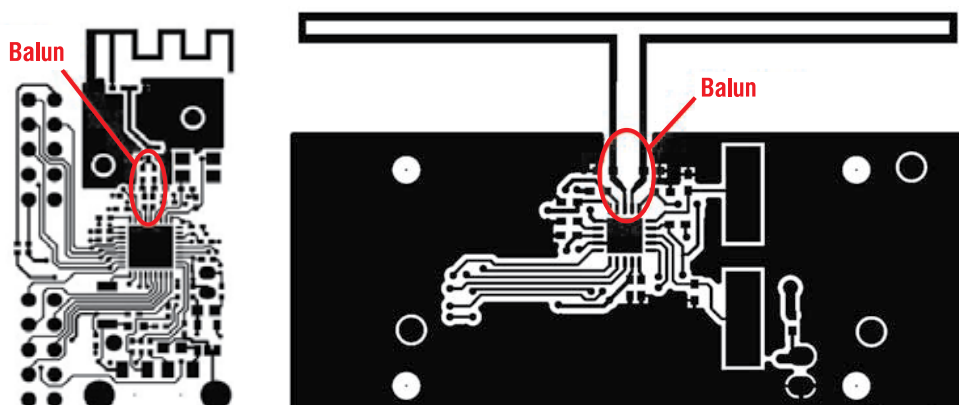


Рис. 8. Способы подключения антенн к беспроводным модулям

ся и нижнего слоя. Количество возвратных линий токов для цифровых линий и линий радиосигналов должно быть одинаковым, чтобы снизить влияние импульсных токов цифровой части схемы на аналоговую радиочасть. Предпочтительными являются более компактные линии с радиосигналами и компактным расположением, но при сохранении достаточной степени электромагнитной изоляции между ними.

Слой медного покрытия сохраняется для использования в качестве нулевого (земли), следует избегать разрывов в слоях заземления (в ряде случаев они могут работать, как щелевые антенны). Соединения до источников питания минимизируются. Предпочтительнее использовать компоненты поверхностного монтажа типа **SMT 402**, поскольку они имеют меньшую паразитную емкость и более высокие резонансные частоты, а также независимые линии отрицательного питания (общего провода) для всех компонентов устройства (особенно для радиочасти и цифровых микросхем), при этом надо избегать образования петель. Для повышения частоты собственного резонанса схемы (в идеале – выше, чем основная частота сигналов) сигнальные линии и расстояния между компонентами должны быть больше 0,012 дюйма (0,3 мм), а размеры переходных отверстий – более 0,0145 дюйма (0,37 мм) при расстоянии между ними более 5,2 от их диаметра.

Длина линии схемы, по возможности, должна быть менее 1/4 длины вол-

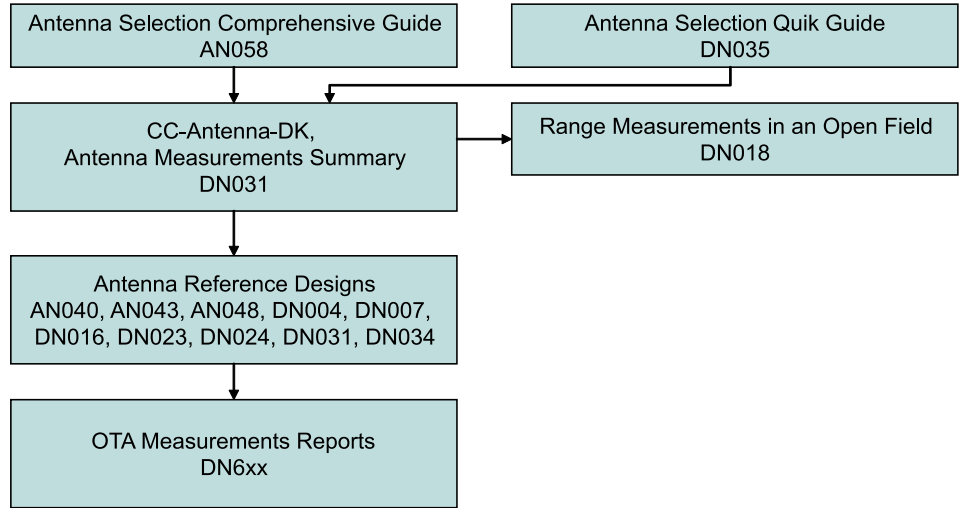


Рис. 9. Документационное обеспечение TI при выборе антенны

ны. Геометрия линий не должна содержать прямых узлов и острых изгибов.

При самостоятельной разработке узлов рекомендуется следовать типовой конфигурации печатной платы (приводимой в специализированных руководствах или в документации на микросхемы), особенно в радиочасти – антенна, развязывающие конденсаторы, печатная антенна, обвязка частотных генераторов.

#### Средства разработки

Средства разработки, предлагаемые TI, включают набор аппаратных и программных средств – отладочные модули, отладочные платы, средства разра-

Отладочные модули – небольшие платы, содержащие только беспроводную микросхему, необходимую обвязку и разъемы для подключения питания, периферийных узлов, антенны.

Отладочные платы имеют разъемы для подключения отладочных модулей и являются платформой для тестирования работы беспроводных элементов и отладки программного обеспечения.

Средства разработки позволяют подключать отладочные платы к персональному компьютеру для тестирования работы как аппаратной, так и программной частей сетевых приложений.

Для тестирования и отладки сетевого приложения предлагается несколько

Таблица 7. Аппаратные средства разработки

Устройство	Описание	Отладочные модули	Отладочные комплекты
<b>CC1020 CC1070</b>	Узкополосный приемопередатчик	CC1020-CC1070DK433 CC1020-CC1070DK868	CC1020EMK433 / CC1020EMK868 / CC1070EMK433 / CC1070EMK868
<b>CC1101</b>	Приемопередатчик <1 ГГц	CC1101DK433 CC1101DK868	CC1101EMK433 / CC1101EMK868
<b>CC1110 CC1111</b>	МК 8051 + <1 ГГц приемопередатчик МК 8051 + <1 ГГц приемопередатчик + USB	CC1110-CC1111DK CC1110DK-MINI-868	CC1110EMK433 / CC1110EMK868 / CC1111EMK868
<b>CC2500</b>	Приемопередатчик диапазона 2,4 ГГц	CC2500-CC2550DK	CC2500EMK
<b>CC2510 CC2511</b>	МК 8051 + 2,4 ГГц приемопередатчик	CC2510-CC2511DK CC2510DK-MINI	CC2510EMK / CC2511EMK
<b>CC2520</b>	IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик	CC2520DK	CC2520EMK
<b>CC2530 CC2531</b>	МК 8051 + IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик МК 8051 + IEEE 802.15.4 совместимый приемопередатчик + USB	CC2530DK CC2530ZDK RemoTI-CC2530DK	CC2530EMK CC2531EMK
<b>CC1190</b>	Маломощный СВЧ-усилитель	–	CC1190EMK-915
<b>CC2591</b>	Маломощный СВЧ-усилитель	–	CC2591EMK, CC2430-CC2591EMK CC2520-CC2591EMK, CC2530- CC2591EMK
<b>CC2590</b>	Маломощный СВЧ-усилитель	–	CC2590EMK, CC2430-CC2590EMK
<b>CC2560-PAN1325</b>	Bluetooth v2.1 + EDR-приемопередатчик	–	PAN1315
<b>CC2567-PAN1327</b>	Bluetooth v2.1 + EDR и ANT двухрежимный приемопередатчик	CC2567-PAN1327ANT-BTkit	–
<b>CC85xx</b>	PurePath Wireless Audio	CC85xxDK CC85xxDK-MINI	–

видов наборов аппаратных средств [8] (таблица 7).

Наборы разработчика содержат все необходимое аппаратное обеспечение для начала разработки. Как правило, они состоят из двух отладочных плат, двух отладочных модулей, антенн и кабелей.

Мини-наборы разработчика содержат необходимое оборудование для разработки небольших демонстрационных приложений.

Наборы отладочных модулей содержат два беспроводных модуля и антенны, могут быть использованы для расширения возможностей других отладочных комплектов.

USB-устройства – небольшие отладочные платы, имеющие возможность подключения к USB-портам ПК, содержащие чип- или печатную антенну. Чаще всего строятся на базе систем-на-кристалле.

Наборы ZigBee – ZigBee Development Kit (ZDK) – имеют все возможности отладочных наборов, но содержат дополнительные беспроводные узлы для обеспечения тестирования ячеистых сетей ZigBee. В данных наборах узлы имеют предустановленное тестовое приложение.

### Программные средства разработки

Кроме стеков протоколов TI предоставляет ряд программных инструментов разработчика, предназначенных для конфигурирования устройств, анализа их работоспособности, а также наборы программных библиотек для встроенных микроконтроллеров [11-14].

**SmartRF™ Studio** – приложение для ПК, позволяющее пользователю выставить необходимые настройки для выбранного устройства: частота передачи данных, канал, скорость передачи, выходная мощность и ряд других. При подключении отладочных модулей возможна удаленная установка параметров. Кроме этого приложение предоставляет простые инструменты тестирования беспроводного канала – проверку возможности приема-передачи данных, пакетов, измерение качества канала связи (количество ошибок связи).

**SmartRF™ Packet Sniffer** – анализатор пакетов для стандартных и фирменных сетевых протоколов: SimpliciTI, TIMAC, ZigBee, RemoTI. Работает совместно с любыми беспроводными модулями и отладочными платами TI, позволяет прослушивать сеть на выбранной частоте и частотном канале. Имеет графический интерфейс для облегчения разбора и анализа пакетов.

**SmartRF Flash Programmer** используется для обновления прошивки от-

ладочных модулей, программирования Flash-памяти систем-на-кристалле.

**Примеры библиотек** – содержат основные функции, необходимые для осуществления сетевого взаимодействия между узлами сети.

**USB Libraries** – библиотеки, реализующие USB-интерфейс для систем-на-кристалле и модулей (CC2511, CC1111, CC2531).

**MSP430 Code Library** – библиотека программ и функций для МК MSP430 для систем-на-кристалле серий CC1100/2500.

**PurePath™ Wireless Configurator** – приложение для ПК с графическим интерфейсом для настройки параметров CC85xx.

### Заключение

Texas Instruments предлагает широкий спектр беспроводных продуктов для самых различных областей применения:

- Охранно-пожарные системы;
- Дистанционное управление;
- Беспроводные аудио системы;
- Бытовые медицинские приборы;
- Периферийные устройства (HID);
- Системы домашней автоматизации, управления освещением;
- Системы сбора данных и др.

Одна из ключевых особенностей политики компании – всесторонняя поддержка разработчика: документация, свободные средства настройки и тестирования, форумы разработчиков.

### Литература

1. Tor-Inge Kvaksrud. Range Measurements in an Open Field Environment. <http://focus.ti.com/lit/an/swra169a/swra169a.pdf>
2. TI Low Power RF. Designer's Guide to LPRF <http://focus.ti.com/lit/sg/slya020a/slya020a.pdf>
3. Z-Stack – ZigBee Protocol Stack – Z-STACK – TI Software Folder [http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/z-stack.html?DCMP=HPA\\_](http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/z-stack.html?DCMP=HPA_)

*RFIC\_General&HQS=Other+OT+z-stack*

4. IEEE802\_15\_4 Medium Access control (MAC) software stack – TIMAC – TI Software Folder [http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/timac.html?DCMP=HPA\\_RFIC\\_General&HQS=Other+OT+timac](http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/timac.html?DCMP=HPA_RFIC_General&HQS=Other+OT+timac)

5. SimpliciTI™ – RF software protocol [http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm?DCMP=hpa\\_rf\\_general&HQS=NotApplicable+OT+simplici](http://www.ti.com/corp/docs/landing/simpliciTI/index.htm?DCMP=hpa_rf_general&HQS=NotApplicable+OT+simplici)

6. ZigBee RF4CE – Change Infrared to RF with RemoTI™ from Texas Instruments [http://www.ti.com/corp/docs/landing/RF4CE/index.htm?DCMP=hpa\\_rfidf\\_rf4ce&HQS=Other+OT+rf4ce](http://www.ti.com/corp/docs/landing/RF4CE/index.htm?DCMP=hpa_rfidf_rf4ce&HQS=Other+OT+rf4ce)

7. Siri Johnsrud. Porting SimpliciTI to the SmartRF CCxx10 Target Board. DN118 – <http://focus.ti.com/lit/an/swra311/swra311.pdf>

8. Wireless Connectivity Guide. <http://focus.ti.com/lit/sg/slab056/slab056.pdf>

9. Richard Wallace. Antenna Selection Guide. <http://focus.ti.com/lit/an/swra161b/swra161b.pdf>

10. Low Power Wireless RF Solutions, ZigBee, RFID, RF-IF – TI.com. [www.ti.com/lpw](http://www.ti.com/lpw)

11. SmartRF Studio – SMARTRF™ STUDIO – TI Tool Folder. [www.ti.com/smartrfstudio](http://www.ti.com/smartrfstudio)

12. SmartRF Protocol Packet Sniffer – PACKET-SNIFFER – TI Tool Folder. [www.ti.com/packetsniffer](http://www.ti.com/packetsniffer)

13. Software for CC1100-CC2500 and MSP430 – Examples and Function Library. [www.ti.com/ccmsplib](http://www.ti.com/ccmsplib)

14. PurePath Wireless Configurator – PUREPATH-WL-CFG – TI Tool Folder. [www.ti.com/ppwc](http://www.ti.com/ppwc)

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [wireless.vesti@compel.ru](mailto:wireless.vesti@compel.ru)

**TEXAS INSTRUMENTS**

**Отладочный набор  
CC2530ZDK-ZNP-MINI**

**Быстрый старт сети ZigBee**