

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СОСУЩЕСТВОВАНИЕ РАЗНЫХ РАДИОСИСТЕМ

ГАЛИНА ГАЙКОВИЧ, член ISA, эксперт IEC, вед. специалист, ИППИ РАН
ПИТЕР ФУР (PETER FUHR), член ISA, ст. член IEEE, гл. специалист, Wi-Fi Sensors

Данный цикл статей, посвященный применению беспроводных технологий в промышленности, представлен членами ISA и IEC. Во второй статье цикла выработан общий подход по решению проблем, связанных с сосуществованием радиосистем, расположенных и одновременно функционирующих на производственных площадях предприятия, даны общие рекомендации по частотному планированию, а также изложено текущее состояние дел по разработке проекта международного стандарта IEC 62657.

В начале статьи было бы уместно напомнить об общей стратегии в развитии международных стандартов для промышленных сетей с использованием беспроводных технологий.

После встречи представителей секции SC65C/TC65C Международной электротехнической комиссии (МЭК) в Оттаве в 2008 г. (когда было принято решение о международной стандартизации беспроводных сетей для промышленной автоматизации) и по сегодняшний день основным нерешенным вопросом остается вопрос об их сосуществовании [1].

В первой статье была построена шкала беспроводных технологий промышленного назначения, представленная стандартами ISO15963 (RFID), IEEE 802.15.4, IEEE802.15.1, IEEE802.15.3, IEEE802.15.4a, IEEE 802.11, IEEE802.16, а также стандартами мобильной сотовой связи (на платформе GSM и CDMA) с учетом их пропускной способности [2].

Более того, эта шкала наглядно отображает взаимосвязь между беспроводными технологиями и такими радиосистемами, решающими разные прикладные задачи промышленного назначения как:

- системами RLTS-слежения — RFID[3];
- беспроводными сенсорными сетями со шлюзами ISA100.11a & WHart(IEC62591) & ZigBee [1];
- беспроводными видеосистемами и VoIPWLAN-сетями (технология Wi-Fi), а также системами сотовой связи «Мобильный оператор» (платформа GSM & CDMA) [4].

Все перечисленные радиосистемы по их совокупности предполагается (по проекту стандарта ISA 100.15) в дальнейшем интегрировать в единую систему беспроводной транспортной среды Backhaul, которая будет представлена в основном такими скоростными беспроводными технологиями как Wi-Fi и Wi-MAX.

Следовательно, на одних и тех же производственных площадях могут оказаться радиосистемы, которые решают разные прикладные задачи и функционируют:

- в одном и том же частотном диапазоне;
- с разной мощностью излучения радиоволн и их поляризации;
- независимо друг от друга во времени, посылая сообщения в виде радиосигналов, которые распространяются в одной физической среде;
- имея разный трафик и производительность сети;
- с произвольным распределением радиоустройств в пространстве.

В первой статье [2] в результате анализа беспроводных технологий с целью их применения в промышленности был сделан важный вывод, что на предприятии в основном будут использоваться разные радиосистемы, функционирующие в безлицензионном ISM- (2,4 ГГц) и UNII- (5 ГГц) диапазонах. Системы сотовой связи, в свою очередь, представлены лицензированными частотами GSM- и CDMA-платформ.

Совершенно очевидно, что каждая упомянутая радиосистема на выбор может быть подвергнута влиянию (интерференции) со стороны аналогич-

ных ей беспроводных сетей или систем другого назначения, но оказавшихся в одном пространстве и работающих в том же частотном диапазоне.

Возникает вопрос: насколько реален сам факт возникновения такого взаимного влияния беспроводных систем в промышленной обстановке? Т.е. для начала следует разобраться, в каких случаях это возможно на практике, поскольку вероятность совмещения радиосистем, решающих разные прикладные задачи, на тех же производственных площадях в ограниченном пространстве хоть и мала, но все же существует. Это особенно касается полевого уровня АСУ ТП предприятия, который характеризуется высокой плотностью размещения разнообразного оборудования на единицу технологической производственной площади.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОСИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО РАДИУСУ ДЕЙСТВИЯ

Внести ясность в такое положение дел поможет классификация всех радиосистем промышленного назначения по их радиусу действия (см. рис. 1), а именно:

- **беспроводные персональные сети**, или Wireless Personal Networks (WPAN) с *укороченным радиусом действия* до 10 м. К ним можно отнести беспроводные сенсорные системы промышленной автоматизации, системы RTLS [3] и ближнего видеонаблюдения (стандарт Bluetooth) — случай 1;
- **беспроводные локальные сети**, или Wireless Local Area Networks (WLAN)

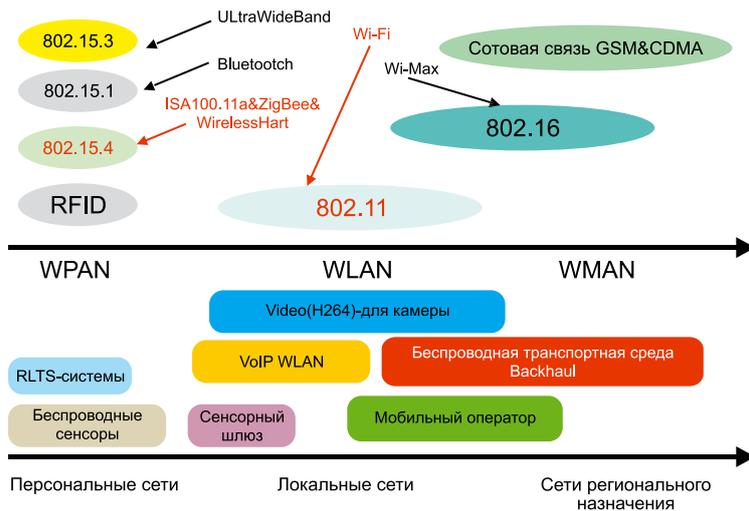


Рис. 1. Шкала беспроводных сетей промышленной автоматизации

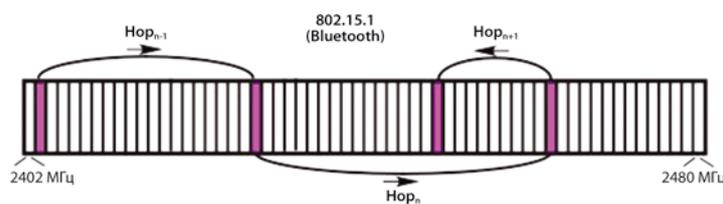


Рис. 2. Распределение радиоканалов стандарта 802.15.1 (Bluetooth) в диапазоне частот 2450 МГц



Рис. 3. Радиоканалы стандарта 802.15.4 в диапазоне частот 2450 МГц

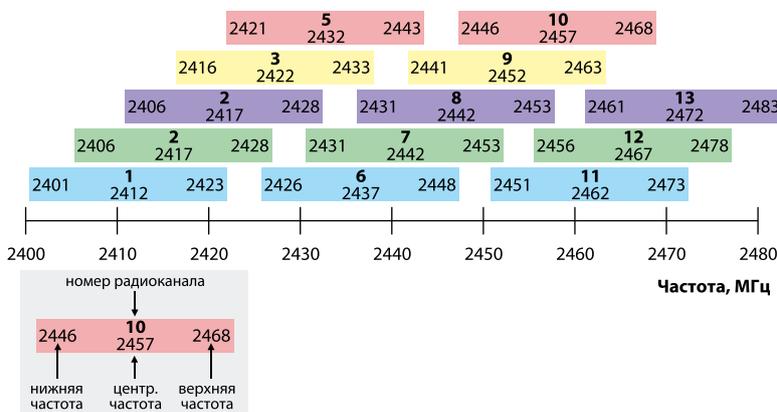


Рис. 4. Возможные перекрытия радиоканалов при их одновременном функционировании в диапазоне частот 2,4 ГГц стандарта 802.11 (Wi-Fi)

с большим радиусом действия до 100 м. Они могут быть представлены беспроводной системой Wi-Fi видеонаблюдения с удаленных участков АСУ ТП или Wi-Fi-системой VoIP WLAN — случай 2;

– беспроводные сети регионального назначения, или Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN) с удаленным радиусом действия от 100 м до нескольких десятков км. Представителем этого класса может быть единая беспроводная транспорт-

ная среда backhaul с точками доступа Wi-Fi для подключения разных шлюзов сенсорных сетей с совмещенными беспроводными технологиями (например, IEEE802.15.4 & 802.11), размещаемых в разных местах предприятия — случай 3.

Следовательно, на одном полевом уровне АСУ ТП могут оказаться следующие беспроводные сети промышленного назначения:

– WPAN в виде беспроводных сенсорных систем: Bluetooth (на основе

стандарта IEEE802.15.1), ISA100.11a & WHart (IEC62591) & ZigBee на базе единого стандарта IEEE802.15.4, а также система ближнего видеонаблюдения Bluetooth. Их приемопередатчики работают в одном 2,4-ГГц диапазоне (см. рис. 2—3) с выходной мощностью 0...10 мВт без учета усиления антенн. Согласно правилам FCC США и регламента ГРЧ России, максимальная мощность изотропного излучения (EIRP) радиоустройств составляет 13,5 дБм с учетом усиления антенны;

– WLAN в виде беспроводных шлюзов Wi-Fi (на базе стандарта IEEE802.11) для указанных беспроводных сенсорных сетей промышленного назначения или в виде систем видеонаблюдения за процессом АСУ ТП. Приемопередатчики Wi-Fi также работают в одном частотном 2,4-ГГц диапазоне (см. рис. 4) с максимальной выходной мощностью до 100 мВт без учета усиления антенн, а максимальная мощность EIRP радиоустройств составляет около 36 дБм с учетом усиления антенны.

Таким образом, чаще всего при проектировании промышленных сетей АСУ ТП на одних и тех же производственных площадях в ограниченном пространстве могут оказаться беспроводные технологии на базе стандартов IEEE802.15.4 & IEEE802.1b, оказывающие взаимное влияние друг на друга в виде интерференции.

СОСУЩЕСТВОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE802.11/802.15.4 & 802.1

Еще с 2003 г. вопросами сосуществования радиосистем на базе стандартов 802.11 и 802.15.1/802.15.4 были серьезно озадачены рабочие группы, занимавшиеся проектами стандартов IEEE 802.15.2 и 802.19 RF Coexistence [5].

В результате было принято окончательное решение, согласно которому факт создания помех радиоустройствами сетей WPAN (стандарта 802.15xx), воздействующих на беспроводные сети WLAN стандарта 802.11, следует рассматривать как исключение из правила. Эти выводы сначала были сделаны на основании общего утверждения, что системы WPAN и WLAN относятся к сетям разного класса, разного радиуса действия, в т.ч. с разными энергетическими уровнями радиосигнала. Следовательно, если рассуждать теоретически, то WPAN и WLAN не могут «пересекаться», поскольку они разнесены друг относительно друга в открытом пространстве.

Однако практика показывает, что в ограниченном пространстве (в рамках предприятия) совмещение таких радиосетей возможно. Так, в последнее время на одних производствен-

ных площадях не только соседствуют радиосистемы, решающие разные прикладные задачи, но и внедряются совместные решения WPAN & WLAN стандартов IEEE802.11 & 802.15xx, выполненные в виде единого устройства - беспроводного шлюза, который, в свою очередь, можно использовать и для организации единой транспортной среды backhaul на предприятии или далеко за его пределами WMAN (случай 3).

В Москве в 2008 г. был запущен первый «пилотный» проект по созданию единой беспроводной транспортной инфраструктуры на предприятии АУРАТ. Для решения проблем сосуществования радиосистем IEEE802.11 & 802.15.4, работающих в одном частотном диапазоне, пришлось перестраховаться, чтобы исключить интерференцию, и применить хорошо всем известный метод частотного планирования (см. рис. 5).

Следует обратить внимание на то, что даже при назначении частот возможны также случаи соканального перекрытия соседствующих радиоканалов систем, не говоря уже об общем случае их совместного функционирования в одном частотном диапазоне.

Более того, рисунок 5 не отражает разную степень загруженности беспроводных сетей, т.е. их производительность при пересылке неоднородной информации (например: данных, голоса или видео) может существенно меняться в течение разных промежутков времени.

Так, на рисунке 6а наглядно видно, что в течение первых секунд по «неперекрываемым» радиоканалам 2, 7 и 12 (из 14-ти возможных), стандарта 802.11 передаются данные, а на рисунке 6б в течение следующих секунд к данным добавляется передача видеоизображений, существенно нагружая трафик каждой радиосети в отдельности. Таким образом, при грамотном назначении радиочастот никакой речи о взаимном влиянии сетей друг на друга быть не должно.

Совершенно очевидно, что если будут выбраны соседние радиоканалы, например: 6, 7, 8 (см. рис. 6б) то с увеличением интенсивности будет возрастать и вероятность взаимного

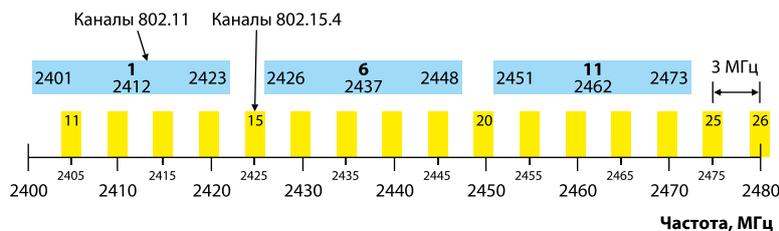


Рис. 5. Неперекрывающиеся каналы стандарта 802.11b/g и 802.15.4

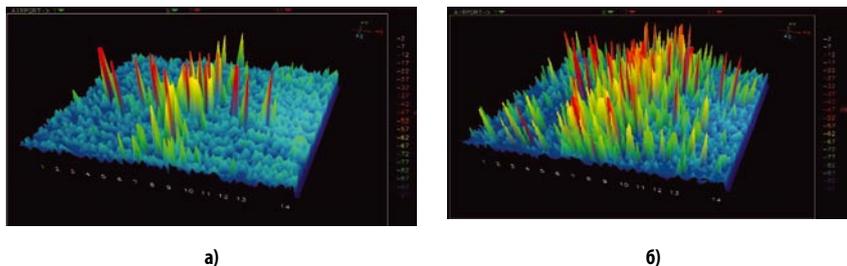


Рис. 6. Производительность радиоканалов стандарта IEEE802.11 в зависимости от типа передаваемой информации (данных, голоса, видео) в разные промежутки времени (а, б)

влияния радиоканалов разных систем в виде *соканальной интерференции*. В результате это существенно отразится на *побитовом показателе ошибки BER*, который, в свою очередь, является основным показателем надежного функционирования радиоканала беспроводной сети.

Аналогичные рассуждения верны и в отношении исследования взаимного влияния беспроводных сенсорных сетей промышленного назначения стандарта 802.15.4, представленного стандартами Whart & Bluetooth, или ISA 100.11a, за одним исключением, что для них, прежде всего, характерна низкая производительность.

Пересылка данных от сенсоров и исполнительных механизмов может идти с периодом от нескольких секунд до нескольких часов. Пропускная способность такой радиосистемы может достигать 250 кбит/с, но даже если взять посекундный промежуток времени (с производственного цикла опроса менее 100 мс), производительность беспроводных сенсорных сетей окажется очень низкой в сравнении с трафиком видеонаблюдения с удаленных участков производственного процесса АСУ ТП (см. рис. 6). Следовательно, даже при случайном

выборе соседствующих радиоканалов разных сенсорных радиосистем, одновременно функционирующих на одних производственных площадях, вероятность их соканальной интерференции мала, а при использовании определенных методик (о которых пойдет речь ниже) может быть вообще сведена к нулю.

В результате научных исследований групп, работавших в свое время над проектами стандартов IEEE802.15.2 и 19, были также сделаны важные выводы о том, что если радиосистемы стандартов 802.15.4 и 802.11 все же окажутся привязанными к одним производственным площадям, то их влияние будет носить асимметричный характер. Это значит, что передатчики стандарта IEEE802.15.4 не смогут оказать существенного влияния на показатель BER соседствующих радиоустройств стандарта 802.11, но не наоборот.

А вот радиосистемы видеонаблюдения стандарта 802.11 (WLAN) (с EIRP в 36 дБм) могут оказать серьезное влияние в виде ощутимой помехи на беспроводную сенсорную сеть стандарта 802.15.4 (с EIRP в 13,4 дБм и ниже). Процесс такого асимметричного влияния многоплановый и заслу-

ГРАНИТ-ВТ

Электронная аппаратура для ответственных применений

- Серийное производство электронных модулей, в т.ч. с приемкой "5"
- Париленовое влагозащитное покрытие
- Контрактное производство высокотехнологичной электроники, в т.ч. BGA с рентген-контролем
- Контрактная разработка и инженерное сопровождение

Интерактивный конструктор электронных приборов на сайте www.granit-vt.ru

Реклама

ЗАО «ГРАНИТ-ВТ» т./ф.: 8 (812) 274-04-48, e-mail: mail@granit-vt.com, www.granit-vt.ru 191014, Санкт-Петербург, ул. Госпитальная 3

живает глубокого научного исследования, которое выходит за рамки данной статьи.

Читателям, которые заинтересованы в более подробном изучении данного предмета исследования, а также вопросов моделирования производительности радиосистем стандарта IEEE 802.15.4 в присутствии беспроводных сетей IEEE802.11, рекомендуется посетить раздел «Мультимедийные протоколы и средства коммуникаций» [6].

На практике же, в случае возникновения проблем, связанных с сосуществованием систем, которые работают в одном частотном диапазоне, в стандарте IEEE 802.15.4 в одностороннем порядке предусматривается реализация MAC-уровня двух основных механизмов:

- проведение предварительной оценки (Clear Channel Assessment, CCA) радиоканала на наличие интерференции в физической среде;

- множественный доступ к среде с определением возможности коллизий (Collision Sensing Multiple Access, CSMA) на момент занятости физической среды радиоканала.

Указанный стандарт определяет три варианта использования механизмов CCA/CSMA:

Вариант 1. Энергетический порог. С помощью механизма CCA определяется, занята ли физическая среда, т.е. обнаружен ли радиосигнал с энергией выше энергетического порога обнаружения.

Вариант 2. Обнаружение несущей радиосигнала. С помощью механизма CCA обнаруживается, транслируется ли радиосигнал в физической среде с характеристиками, соответствующими стандарту IEEE 802.15.4. Энергия радиосигнала может быть выше или ниже допустимого энергетического порога

Вариант 3. Обнаружение несущей радиосигнала *выше допустимого энергетического порога*. С помощью механизма CCA обнаруживается, транслируется ли радиосигнал в физической среде с характеристиками, соответствующими стандарту IEEE 802.15.4. Энергия сигнала должна быть *выше допустимого энергетического порога*.

Какой бы вариант CCA ни использовался, все они информируют о занятости физической среды перед тем, как приемопередатчик посылает сообщение в эфир. В зависимости от выбранного алгоритма действий можно: ожидать канал, когда тот освободится через некоторое произвольное время (pseudo random time), а затем опросить канал на предмет его занятости, (вариант 1) или перейти на другой радиоканал (варианты 2, 3).

Из сказанного следует, что радиоборудование беспроводных систем, которое функционирует в ограниченном пространстве предприятия, должно каким-то образом сосуществовать друг с другом (случаи 1, 2), чтобы свести взаимные влияния к минимуму, а в некоторых ситуациях (случай 3) использовать следующие технические решения, позволяющие исключить такое взаимное влияние:

- метод по обнаружению и уходу от чужого радиосигнала (Detect and Avoid, DAA), т.е. переход на другой частотный диапазон (в частном случае, механизм CCA для стандарта 802.15.4);

- метод принудительного сосуществования (Collaborative Coexistence) на случай совмещения разных беспроводных технологий с использованием светофора PTA (Packet Traffic Arbitration). Механизм PTA в соответствии с IEEE802.15.2 позволяет централизованно анализировать трафик двух или более радиосистем и интегрально решать, кому дать зеленый свет на использование физической среды в определенный временной интервал.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСУЩЕСТВОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ И УПРАВЛЕНИЕ РЧ-СПЕКТРОМ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПЛОЩАДЯХ ПРЕДПРИЯТИЯ

В стандарте IEEE802.15.2, имеющем непосредственное отношение к решению проблем сосуществования WLAN (стандарт IEEE 802.11) и WPAN (IEEE 802.15.4 & 802.15.1), дано следующее определение сосуществования:

«Сосуществование — это способность одной беспроводной системы решать задачу в некотором ограниченном пространстве, где любые другие системы могут без ущерба решать аналогичные или иные задачи» (для более ясного понимания вопроса следовало бы добавить «в одном частотном диапазоне»).

Таким образом, успешность сосуществования (т.е. отсутствие ущерба от взаимного влияния) нескольких систем определяется способностью каждой системы в окружении других систем, использующих одну и ту же физическую среду, доставить сообщение в требуемую точку пространства с определенной степенью надежности пересылаемой информации.

Из сказанного следует, что степень ущерба от взаимного влияния нескольких систем определяется надежностью радиоканалов каждой системы в отдельности, по которым от передатчика к приемнику должна быть передана информация с определенной скоростью V , на опре-

деленном расстоянии r при фиксированном параметре BER (Bit Error Rate) [2].

Хорошо известно, что при оценке надежности радиоканалов беспроводных систем BER в сравнении с SNR (signal/noise ratio) является косвенным показателем, поскольку представляет собой отношение побитовых ошибок к количеству переданных битов информации (пакет).

Поскольку между BER и SNR существует определенная функциональная зависимость (чем выше S/N , тем меньше ошибок при приеме и лучше качество приема в присутствии шумов). Следовательно, можно записать:

$$BER = F(S/N),$$

где S/N , или SNR — соотношение энергий сигнал/шум в случае аналогового радиосигнала;

$$BER = F(C/N),$$

где C/N , или CNR — соотношение энергий несущей сигнала для цифрового радиосигнала.

При исследовании вопросов сосуществования радиосистем BER следовало бы использовать как основной показатель качества приема радиосигналов, но не в присутствии шумов, а в присутствии интерференции, а именно:

$$BER = F(S/I),$$

где S/I , или SIR — соотношение энергий сигнал/интерференции в случае аналогового радиосигнала;

$$BER = F(C/I),$$

где C/I , или CIR — соотношение энергий несущей/интерференции для цифрового радиосигнала.

Соотношение SIR или CIR может быть представлено в дБ, а именно:

$$SIR_{db} = 10 \lg(S/I)$$

или

$$CIR = 10 \lg(C/I) = C_{db} - I_{db}.$$

Из последнего выражения видно, что чем больше разность энергий полезного сигнала и с ним интерферирующего чужого радиосигнала, тем надежнее радиоканал системы, одновременно функционирующей в окружении других радиосистем в одном частотном диапазоне (в случае интерференции на одной частоте или в случае соканальной интерференции).

Следовало бы отметить, что отличие явления интерференции от шума

Сенсорный ввод – легко!

Используя компоненты Microchip, дешевые и микропотребляющие



Microcontrollers

Digital Signal
Controllers

Analog

Memory

Технология Microchip mTouch™ дает разработчикам возможность реализовать сенсорный ввод на микроконтроллере без использования дополнительных микросхем.

Широкие возможности Microchip по реализации низкопотребляющих и дешевых сенсорных кнопок, слайдеров и touch-screen контроллеров, а также графические утилиты, бесплатные исходные коды и доступная отладка позволяют осуществить быстрый вывод разрабатываемых устройств на рынок.

Сенсорные клавиши и слайдеры

- **Емкостная технология mTouch**
 - Длительная работа от батарей на основе микроконтроллеров XLP – менее 5 мкА
 - Помехозащищенность и низкие наводимые помехи
 - Не требуется дополнительных компонентов
- **Индуктивная технология mTouch**
 - Работает через металлические поверхности
 - Возможна работа в перчатках
 - Водонепроницаемые клавиатуры
 - Возможность реализаций шрифта Брайля для людей с ограниченным зрением
- Огромный выбор микроконтроллеров:
 - 8-, 16- и 32-битные микроконтроллеры
 - Поддержка USB, графики, ЖКИ, CAN, IrDA

Контроллер touch screen

- Обработка координат
- **Технология прогнозируемого нажатия**
 - Множественное нажатие и жесты
 - Недорогое решение
 - Диапазон напряжений питания: 1,8..5,5 В
 - Низкий ток потребления: 1,5 мА на 5 В
- **Резистивные экраны**
 - Низкая цена, простое решение
 - Универсальное решение с калибровкой 4-, 5- и 8-проводным интерфейсом
 - I²C™, SPI, UART или USB
 - Низкопотребляющий механизм пробуждения по касанию экрана

3 ШАГА ДЛЯ НАЧАЛА

- Изучите документацию на www.microchip.com/mtouch
- Скачайте инструкции по применению и бесплатные исходные коды
- Закажите отладку



Enhanced mTouch Capacitive Evaluation Kit - DM183026-2 (клавиши и слайдеры)



Projected Capacitive Development Kit - DM160211



Analog Resistive Touch Screen Development Kit - DV102011



PICDEM™ Inductive Touch Development Kit - DM183027 (для металлических панелей)

Intelligent Electronics start with Microchip

microchip
DIRECT
www.microchipdirect.com

www.microchip.com/mtouch

MICROCHIP

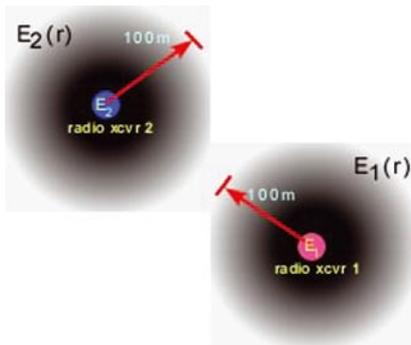


Рис. 7. Отсутствие взаимного влияния передатчиков разных радиосистем с шагом радиодоступа r_1 и r_2 — идеальное условие их успешного сосуществования

заключается в том, что интерференцией можно как-то управлять. Вот почему вопросам управления радиочастот ISM- и UNII-диапазонов рабочая группа МЭК секции Industrial Wireless в проекте международного стандарта IEC 62657 Wireless coexistence уделила особое внимание [6].

Проект международного стандарта IEC 62657 — отдельная тема для его обзора с точки зрения решения проблем сосуществования радиосистем промышленного назначения. Некоторые его положения, находящиеся на стадии обсуждения рабо-

чей группы секции МЭК являются в настоящее время спорными и будут рассмотрены в последующих статьях этого цикла.

Из сказанного можно сделать вывод о том, что для успешного сосуществования радиосистем необходимо или совсем исключить влияние интерференции, или свести его к минимуму, поскольку следствием этого явления

становится искажение принимаемого сигнала.

Таким образом, чем дальше разнесены соседствующие приемопередатчики разных беспроводных сетей, тем больше разность энергий полезного и чужого радиосигналов, тем лучше показатель BER и надежнее каждая радиосистема в отдельности.

В идеальном случае для исключения взаимной интерференции такая задача может быть решена просто — необходимо лишь выполнить такое условие, чтобы соседние радиоустройства разных беспроводных систем были разнесены друг относительно друга на некоторое расстояние, но не менее $R = 2r$ (см. рис. 7). Однако на практике могут возникнуть серьезные вопросы типа: «А как грамотно рассчитать это расстояние?» Так, в предыдущей статье была упомянута неточность определения приграничного уровня радиосигнала приемопередатчиков. Следовательно, могут возникнуть проблемы и с расчетом пограничной зоны ΔR .

Ответ на данный вопрос поможет дать анализ рисунка 8, на котором показано, как скорость передачи информации уменьшается с увеличением расстояния R [7].

Так, с одной стороны, для обеспечения максимальной пропускной способности V по стандарту IEEE802.11 (в случае всенаправленной антенны и с выходной мощностью передатчика 100 мВт) расстояние R между передатчиком и приемником одной системы должно быть $< 2r$, или < 200 м. С другой стороны, с целью исключения взаимного влияния двух радиопередатчиков ($AP1$ и $AP2$) разных систем $R = 2r + \Delta R$, т.е. с учетом пограничной зоны (см. рис. 9).

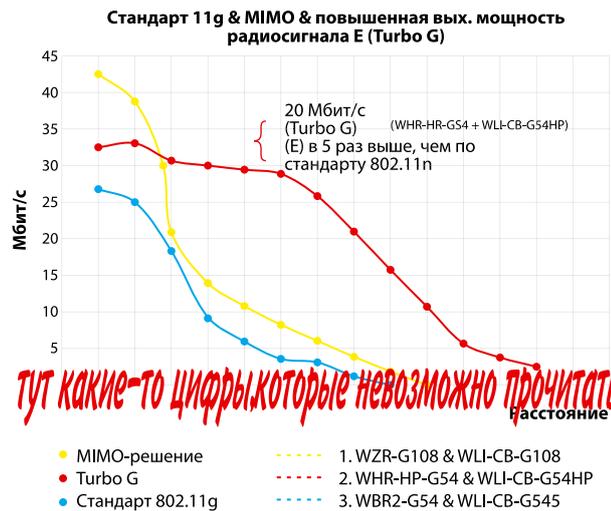


Рис. 8. Зависимость скорости передачи информации от расстояния между радиопередатчиком и радиоприемником (при фиксированном показателе ошибки BER, стандарт 802.11g)

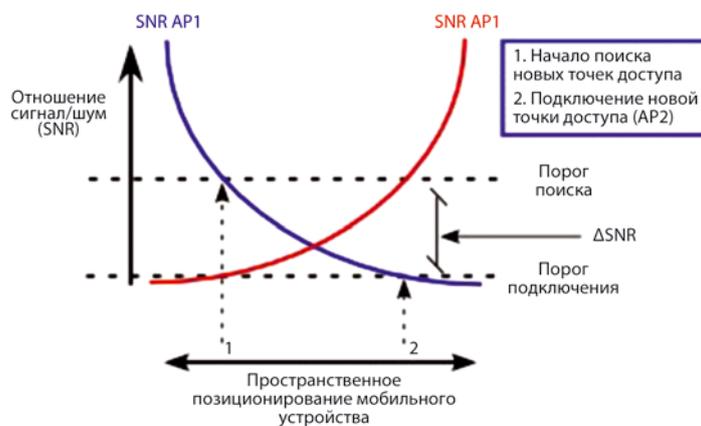


Рис. 9. Изменение SNR при подключении мобильного клиента к точкам доступа $AP1$ и $AP2$ двух независимых радиосистем

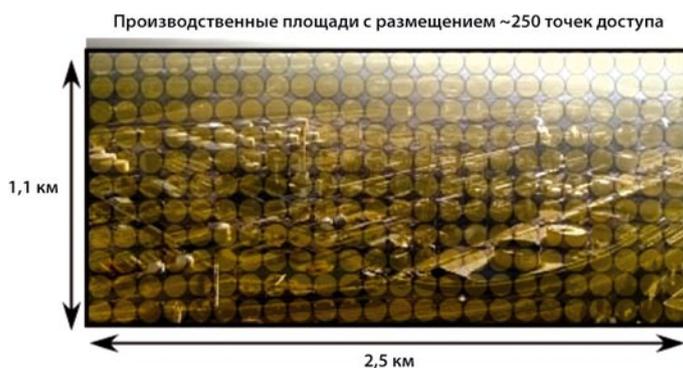


Рис. 10. Развертывание радиосистем на производственных площадях

На рисунке 9, где приведен пример организации двух беспроводных сетей с точками доступа AP1 & AP2 и мобильным оператором, видно, что связь в пограничной зоне между точками 1 и 2 отсутствует. ΔR можно вычислить, зная соотношения энергий радиосигналов S (или несущих C) передатчиков AP1и AP2 к шуму N, а именно:

$$\Delta SNR = SNR \text{ порога поиска} - SNR \text{ порога подключения.}$$

В случае успешного сосуществования разных радиосистем ΔR можно определить соответственно приведенному выше выражению, т.е. зная соотношения энергий радиосигналов S (или несущих C) передатчиков AP1и AP2, но по отношению к интерференции I, а именно:

$$\Delta SIR = SIR \text{ порога поиска} - SIR \text{ порога подключения,}$$

где порог поиска есть начало пограничной области, а порог подключения — ее конец, т.е. ΔR

Таким образом, при проектировании некоторого множества беспроводных сетей на предприятии и назначении частот системам, работающим в одном частотном диапазоне или, в худшем случае, на одной частоте, необходимо

обеспечить их оптимальное сосуществование с обязательным соблюдением правил их размещения и с учетом указанных рекомендаций.

Так, на рисунке 10 показано, что на производственных площадях предприятия общей площадью 1,1×2,5 км можно разместить до 250 радиосетей, каждая из которых состоит из одного беспроводного шлюза стандарта IEEE802.11 с радиусом действия $r = 100$ м и беспроводной сенсорной сети, охватывающей 10—250 сенсоров с радиусами действия 10–1 м.

ВЫВОДЫ

Для решения проблем, связанных с сосуществованием множества беспроводных систем на предприятии, необходимо грамотно управлять назначением радиочастот, в связи с чем в проекте будущего международного стандарта IEC должен быть разработан комплексный подход по частотному планированию, начиная от решения задач организационного характера и кончая задачами технического плана. От их исполнения будет зависеть надежность каждой радиосистемы в отдельности, функционирующей в одном частотном диапазоне в окружении других систем разного прикладного назначения и сосредоточенных в одном ограниченном пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Ф. Гайкович. Беспроводные технологии и их применение в промышленности: стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП//Электронные компоненты. 2009. №1. С. 48.
2. Г.Ф. Гайкович, Петер Фур. Беспроводные технологии и их применение в промышленности: анализ распределения полос радиочастот для промышленного сектора в разных регионах мира, включая Россию// Электронные компоненты. 2010. №4. С. 48.
3. Peter Fuhr, Nacer Hedroug. Tracing wireless//InTech ISA. 2008. P. 52–56.
4. Г.Ф. Гайкович. Беспроводная связь в системах промышленной автоматизации//Электронные компоненты. 2007, №10.
5. IEEE Std 802.15.2-2003, IEEE Recommended Practice for Information technology Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific requirements — Part 15.2: Coexistence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless devices Operating in ISM Bands.
6. A Tool for Formal Modeling and Analysis of Systems Which Exhibit Random or Probabilistic Behavior//www.prismmodelchecker.org.
7. Peter Fuhr. Wi-Fi Network Throughput — A Reality Check//Wi-Fi. 2009.
8. IEC62657. Industrial networks: Wireless Coexistence.

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ

- « SMD и ВЫВОДНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ
- « ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ -55...105°C
- « СЕРИИ С НИЗКИМ ИМПЕДАНСОМ
- « СЕРИИ С НИЗКИМ ESR
- « СРОК СЛУЖБЫ ДО 5000 ЧАСОВ

www.platan.ru

Офисы в Москве: м. Молодежная: ул.Ивана Франко, 40, стр.2, (495) 97 000 99, platan@aha.ru;
 м. Новослободская: 1-й Щемилловский пер., 16, стр.2 (495) 744 70 70, platan@platan.ru
 Офис в Санкт-Петербурге: ул. Зверинская, 44 (812) 232 88 36, baltika@platan.spb.ru