



УДК 621.396.65

© В. В. Бородулин, 2008

## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ РАДИОИНТЕРФЕЙСЫ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОДАНЫХ

*Бородулин В. В.* – асп. кафедры «Вычислительная техника», тел. (4212) 24-43-78 (ТОГУ)

Проанализированы существующие высокоскоростные цифровые интерфейсы беспроводной связи нелицензируемых радиодиапазонов, которые могут быть применены для управления видеокамерой и передачи от неё видеоданных. Составлена сводная таблица по характеристикам наиболее производительных интерфейсов на основе реально выпускаемых микросхем.

Existing high-speed digital interfaces of a wireless communication of not licensed radio ranges, which can be applied to control a video camera and transfer from it the video data, are analyzed. A summary table with characteristics of the most productive interfaces with the use of real-world commercialized microcircuits is made.

*Ключевые слова:* высокоскоростной интерфейс, беспроводная передача, нелицензируемый частотный диапазон, радиосвязь, видео

### Введение

Проблемы передачи видеoinформации по беспроводным каналам связи в настоящее время весьма актуальны. В качестве таковых в основном используются каналы сотовой связи, радиоканалы нелицензируемых диапазонов (ISM - Industrial, Scientific, Medical) и каналы спутниковой связи.

Каналы сотовой связи имеют малую пропускную способность (на практике не более 100кбит/с), и к тому же за трафик по ним нужно платить. Спутниковая связь используется в основном для передачи информации в одном направлении, тогда как для управления и передачи данных от беспроводной камеры нужна двусторонняя связь. Поэтому чаще всего для связи видеокамеры с абонентским терминалом используют радиосвязь ISM-диапазона. В России выделено несколько таких диапазонов, в том числе наиболее широкие: от 433,075 до 434,750 МГц, от 868 до 868,2 МГц, а также диапазон от 2400 до 2483,5 МГц.

Ввиду многообразия существующих технологий беспроводной передачи данных перед разработчиком встаёт вопрос выбора того или иного интерфейса. Данная статья была написана в ходе выявления наиболее подходящего интерфейса ISM-диапазона для передачи видеоданных. Основными критериями оценки являлись три взаимосвязанных параметра:

- скорость передачи данных;
- энергопотребление;
- ширина радиоканала.

Скорость, необходимая для передачи сжатого цветного потокового видео с частотой 24–25 кадров в секунду, определяется значением порядка около 1–2 Мбит/с и зависит от параметров исходного изображения и степени его сжатия. Возможна также передача видео и на меньших скоростях за счёт снижения частоты кадров, качества изображения и других структурных изменений видеопотока. Энергопотребление для беспроводного устройства, которое зачастую является автономным, играет очень важную роль. Тем не менее к этому параметру было сформулировано не жёсткое ограничение, а рекомендация его минимизации.

### **Общие характеристики интерфейсов**

Под интерфейсом понимается совокупность программных и аппаратных средств, позволяющих реализовать передачу данных. Все радиointерфейсы различаются между собой физическими характеристиками (опорная частота, метод модуляции, скорость передачи и прочее) и реализацией программной модели передачи данных (формат пакета, правила передачи пакетов, возможность создания сложных сетей и прочее). Программную модель можно обозначить одним словом – протокол.

Любой реально существующий интерфейс имеет свою физическую реализацию – приёмопередатчик. В данной статье интерфейсы проанализированы с точки зрения характеристик существующих приёмопередатчиков для них.

Основными физическими параметрами интерфейса являются:

- опорная частота радиоканала;
- максимальная битовая скорость передачи;
- ширина радиоканала;
- выходная мощность передатчика;
- чувствительность приёмника.

Опорная частота радиоканала является основным фактором, влияющим на распространение радиоволны. Известно, что радиоволны лучше проходят сквозь препятствия на низких частотах, чем на высоких, а также то, что с увеличением частоты распространение радиоволн приобретает строгую направленность (и в этом направлении расстояние передачи вырастает по сравнению с более низкими частотами). В связи с этим при прочих равных условиях интерфейсы, работающие на частоте 433/868 МГц, имеют большую дальность передачи, нежели 2,4-гигагерцовые в городских условиях за счёт



меньшего поглощения средой. Также следует отметить, что частота 2,4 ГГц является резонансной для воды, вследствие чего в этом диапазоне на качество связи значительное влияние оказывают метеоусловия.

Таблица 1

Высокоскоростные интерфейсы ISM-диапазона

Интерфейс	Микросхема	Ширина радиоканала, МГц	Максимальная скорость передачи, Мбит/с	Выходная мощность передатчика (макс.), дБм	Чувствительность приемника, дБм	Ток потребления (передача/прием), мА	Напряжение питания, В
433/868 МГц	Texas Instruments CC1100	0,812	0,5	10	-110	15,6/28,8	1,8-3,6
ZigBee	Ember EM2420	5	0,25	0	-94	17,4/19,7	2,1-3,6
Wi-Fi	RF ARRAYS RWF111	20	54	19	н.д.	125/9	2,1-3,6
nanoNET	Nanotron TRx NA1TR8	64	2	8	-92	78/40	2,4-3,6
Bluetooth® 2.1 + EDR	CSR BC41B143A	1	3	6	-84	н.д.	1,7-1,9
Enhanced ShockBurst	Nordic Semiconductor nRF24L01	2	2	0	-85	11,3/12,3	1,9-3,6
ATMEL*	ATMEL ATR2406	0,8	1,152	4	-93	42/57	2,9-3,6
Wireless USB(Cypress)	Cypress CYRF69213	0,876	1	4	-97	36,6/23,4	1,8-3,6
Texas Instruments*	Texas Instruments CC2400	1	1	0	-101	19/24	1,6-2,0
Texas Instruments*	Texas Instruments CC2500	1	0,5	1	-104	21,6/12,8	2,0-3,6

Примечание

\* В интерфейсе не предусмотрен протокол обмена, названия ему не дано.

Битовая скорость передачи позволяет судить о скорости интерфейса. Но здесь необходимо учитывать, что реальная скорость передачи данных существенно отличается от максимальной битовой скорости в меньшую сторону.

Ширина радиоканала в значительной мере влияет на его пропускную способность и устойчивость к помехам.

Выходная мощность передатчика выражается по абсолютной величине в милливаттах, или по относительной величине в децибелмилливаттах. Между собой две этих величины связаны следующей формулой:

$$P_{\text{дБм}} = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{мВт}}}{1 \text{ мВт}},$$

где  $P_{\text{дБм}}$  – мощность, выраженная в децибелмилливаттах,

$P_{\text{мВт}}$  – мощность, выраженная в милливаттах.

Для диапазона 2,4 ГГц разрешена выходная мощность до 100 мВт (20 дБм).

Чувствительность приёмника говорит о минимальной мощности сигнала, необходимой для приёма. Как правило, выражается только в децибелмилливаттах.

Ниже дан краткий обзор наиболее производительных интерфейсов ISM-диапазона. Все интерфейсы рассмотрены на основе конкретных микросхем, и их характеристики сведены в табл. 1.

#### Интерфейсы диапазона 433/868 МГц

В основном это низкоскоростные интерфейсы передачи информации. Скорость самых быстрых из них не превышает 500 кбит/с. Связано это предположительно с тем, что для этих диапазонов выделена маленькая ширина канала. Для 433 МГц – 1,675 МГц, для 868 и того меньше – всего 0,2 МГц. Требования к компонентам интерфейсов менее жёсткие, чем для диапазона 2,4 ГГц. Для данного диапазона выпускается много различных приёмопередатчиков. Один из наиболее быстродействующих представителей – микросхема от Texas Instruments CC1100. Её максимальная битовая скорость передачи составляет 500 кбит/с [1]. Остальные параметры микросхемы приведены в табл. 1.

#### Интерфейс ZigBee

ZigBee является программной надстройкой над стандартом IEEE 802.15.4. Технология была разработана в конце 2004 года и противопоставлялась таким интерфейсам, как Bluetooth и Wi-Fi. Основная особенность интерфейса – малое потребление энергии при невысокой скорости передачи данных (до 250 кбит/с). ZigBee поддерживает сложные сети с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Всего в частотном диапазоне 2,4 ГГц ZigBee



использует 16 радиоканалов, каждый шириной по 5 МГц. Приёмопередатчики интерфейса ZigBee выпускают многие компании. Один из наиболее крупных производителей – Ember выпускает микросхему EM2420. Её характеристики, согласно документации [2], отображены в табл. 1.

#### Интерфейс Wi-Fi

Wi-Fi, или RadioEthernet IEEE 802.11 – это промышленный стандарт беспроводных сетей. В настоящее время существует множество версий стандарта: 802.11a, 802.11b, 802.11g и другие. В табл. 2 приведены основные характеристики стандарта Wi-Fi.

Таблица 2

Характеристики стандарта Wi-Fi

Стандарт	802.11b	802.11g	802.11a
Количество используемых радиоканалов, шт	3	3	8
Частотный диапазон, ГГц	2,4	2,4	5
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	11	54	54

Для интерфейса Wi-Fi заявлена значительная скорость передачи данных – до 54 Мбит/с. На практике, в сложной помеховой обстановке, такой скорости добиться невозможно. Хотя стоит отметить, что Wi-Fi обладает довольно широким частотным каналом – 20 МГц. Приёмопередатчик фирмы RF ARRAYS RWF111 был представлен в этом году, и его характеристики, согласно документации [3], отображены в табл. 1.

#### Интерфейс NanoNET

Немецкая компания Nanotron разработала интерфейс передачи данных NanoNET для диапазона 2,4 ГГц. Линейно-частотная модуляция (Chirp Spread Spectrum), используемая приёмопередатчиками Nanotron, представляет собой один из методов расширения спектра и позволяет повысить помехоустойчивость за счет того, что мощность сигнала "размывается" по спектру, и при воздействии помех фиксированной частоты теряется только часть передаваемого сигнала, так что двоичная информация может быть затем восстановлена в приемнике.

Основное отличие приёмопередатчиков Nanotron от конкурентов Bluetooth и ZigBee – значительно более широкий частотный диапазон канала (64 МГц). Это даёт преимущества в скорости при сложной помеховой обстановке, но в то же время не позволяет организовать несколько сетей, расположенных рядом.

По сравнению с технологией Wi-Fi, которая также имеет широкую полосу частотного канала, приёмопередатчики Nanotron обладают лучшим соотношением по затратам энергии для передачи информации на той же скорости благодаря тому, что первичная обработка линейно-частотного импульса выполняется аналоговым способом. В статье [4] показано, что при перекрёстном включении сети Wi-Fi и nanoNET, большую скорость даёт последняя, даже при меньшей мощности передатчика.

Данному интерфейсу посвящён цикл статей [5–10]. Максимальная скорость передачи микросхемы Nanotron TRx NA1TR8 составляет 2 Мбит/с. В статье [5] показано, что в сетях Nanonet полезная скорость передачи данных при размере пакета 128 байт не превышает 1126 кбит/с.

#### Интерфейс Bluetooth

В настоящее время существует несколько версий стандарта Bluetooth. В версии 1.0 связь может осуществляться по одному из 78 частотных каналов. Чтобы избежать помех от других устройств, работающих в том же частотном диапазоне, каналы меняются 1600 раз в секунду [11]. Максимальная скорость передачи составляет 721 кбит/с.

В версии Bluetooth 2.0 для защиты от помех используется новый механизм, что позволяет полнее использовать возможности стандарта.

Последняя спецификация стандарта Bluetooth 2.1 + EDR [12] оговаривает наличие 78 частотных каналов с шириной 1 МГц, как и у версии 1.0. Максимальная скорость передачи повышена до 3 Мбит/с.

Микросхема высокой степени интеграции BC41B143A от CSR соответствует стандарту Bluetooth 2.1 + EDR и содержит в себе не только приёмопередатчик, но и микроконтроллер, память программ и данных [13]. Её характеристики отображены в табл. 1.

#### Интерфейс Enhanced ShockBurst

Интерфейс ShockBurst был специально разработан компанией Nordic Semiconductor под свои приёмопередатчики. Компания выпускает устройства на 433/868 МГц и на 2,4 ГГц. Наибольший интерес с точки зрения скоростных характеристик представляют трансиверы диапазона 2,4 ГГц.

Для приёмопередатчиков nRF24L01, работающих на частоте 2,4 ГГц, ширина радиоканала составляет 2 МГц [14]. Устройство позиционируется как



сверхмалопотребляющее. Ток в режиме передачи составляет всего 11,3 мА, что даже меньше чем у микросхем ZigBee.

Одна из последних разработок компании для беспроводных решений – микросхема nRF24LU1. Микросхема представляет собой трансивер 2,4 ГГц со встроенным 8051-совместимым микроконтроллером, интегрированной флэш-памятью 16 кБ, интерфейсами SPI, UART, USB2.0.

#### Радиоинтерфейс приёмопередатчиков ATMEL

В приёмопередатчике ATR2406 фирмы Atmel интерфейс включает в себя лишь аппаратную часть. А реализация протокола обмена данными ложится на плечи разработчика. Микросхема представляет собой однокристалльный радиочастотный трансивер для приложений частотного диапазона 2,4 ГГц. Приёмопередатчик работает на 95 каналах, и ширина одного канала составляет всего 800 кГц [15]. Из рассматриваемых интерфейсов приёмопередатчики фирмы Atmel имеют самый узкий частотный канал.

#### Радиоинтерфейс приёмопередатчиков Texas Instruments

Подразделение Chipcon фирмы Texas Instruments занимается разработкой радиоинтерфейсов. Серия CC2400, CC2500 работает на частоте 2,4 ГГц. Максимальная ширина радиоканала этих модулей составляет всего 1 МГц [16, 17], что позволяет косвенно судить о том, что интерфейс не предназначен для передачи данных на высоких скоростях при сложной помеховой обстановке. Тем не менее максимальная битовая скорость, заявленная для CC2500, составляет 1 Мбит/с.

Для этих микросхем, как и для приёмопередатчиков ATMEL, не разработано протокола обмена данными, но определён формат передаваемых пакетов.

Необходимо отметить, что на сайте Texas Instruments [www.ti.com](http://www.ti.com) имеется обширная документация не только по программированию приёмопередатчиков, но также рекомендации по разводке плат, выбору антенн и прочая полезная информация, необходимая при проектировании высокочастотных устройств.

#### Радиоинтерфейс приёмопередатчиков Cypress

Фирма Cypress специализируется на выпуске микроконтроллеров для работы с интерфейсом USB. Микросхема Cypress CYRF69213 PSoC (Programmable Radio System-on-Chip) представляют собой приёмопередатчик и 8-разрядный микроконтроллер в одном корпусе [18]. Технология Wireless USB, запатентованная компанией Cypress, является одной из технологий беспроводной передачи данных малого радиуса действия. Следует отметить, что

она не соответствует международному стандарту Wireless USB. Одной из особенностей данной микросхемы является наличие встроенного приёмопередатчика low-speed USB 2.0. Ширина канала радиомодуля составляет 876 кГц.

### Интерфейс Wireless USB

В настоящее время существует множество беспроводных технологий. Каждая из них занимает свою нишу. ZigBee – беспроводные сети датчиков, Bluetooth – мобильные беспроводные сети, Wi-Fi – скоростные сети среднего радиуса действия, Wi-MAX – дальнобойные магистральные сети. И как ни странно, ниша скоростных технологий передачи данных без проводов на малые расстояния пустует. Вернее будет сказать, пустует почти во всём мире. Технология Wireless USB призвана занять свободное место.

Название Wireless USB(WUSB) говорит само за себя, интерфейс позиционируется как замена «проводного» USB. Для него предусмотрено использование диапазона частот от 3,1 до 10,6 ГГц.

Ввиду столь широкого канала разработчикам стандарта удалось достичь огромных скоростей передачи данных. Частотный диапазон WUSB поделён на 14 каналов, каждый из которых обеспечивает скорость 480Мбит/с.

К сожалению, в настоящее время в России, как и во всём мире, за исключением США, эти частоты являются лицензируемыми. Разработчики стандарта добиваются присвоения диапазону статуса нелицензируемого.

### Заключение

Краткий анализ интерфейсов показал, что наиболее производительные из них работают в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц. Для достижения максимальной скорости связь в этом диапазоне должна осуществляться в пределах прямой видимости. Интерфейсы, работающие на частоте менее 1 ГГц, предоставляют очень маленькую скорость обмена данными, и их использование для передачи видеопотока в режиме реального времени крайне затруднительно.

Из существующих интерфейсов частотного диапазона 2,4 ГГц наибольшую битовую скорость обмена могут предоставить Wi-Fi (54 Мбит/с), nanoNET (2 Мбит/с), Bluetooth 2.1 EDR (3 Мбит/с), Enhanced ShockBurst (2 Мбит/с).

Интерфейс Wi-Fi в сравнении с nanoNET теоретически имеет большую битовую скорость. В то же время метод модуляции, используемый в nanoNET, является более помехоустойчивым, а алгоритмы обработки сигнала менее энергоёмкие, что сказывается на конечном потреблении электроэнергии. А в статье [4] показано, что при перекрёстном включении сети Wi-Fi и





nanoNET, большую скорость даёт последняя, даже при меньшей мощности передатчика.

Интерфейсы Bluetooth и Enhanced ShockBurst имеют малую ширину радиоканала. По этому показателю косвенно можно судить об их меньшей помехоустойчивости. Очень интересная технология Wireless USB сейчас не может быть применена в России, ввиду того, что на использование этого оборудования требует сложного процесса лицензирования.

Таким образом, nanoNET является наиболее подходящим интерфейсом для поставленной задачи передачи видеоданных. Для него производитель выпускает как микросхемы приёмопередатчиков (NA1TR8), так и готовые модули (nanoPEN) на их основе.

Данное исследование было проведено автором в ходе выполнения НИОКР «Беспроводная видеочамера с кодированием изображения JPEG2000» в рамках конкурса научно-технических инновационных проектов Министерства экономического развития и внешних связей Хабаровского края.

#### Библиографические ссылки

1. *Datasheet*. Texas Instruments CC1100 Low-Cost Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver // <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc1100.pdf>
2. *Datasheet*. EM2420 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee RF Transceiver // <http://www.ember.com/pdf/EM2420datasheet.pdf>
3. *Datasheet*. RWF111 802.11b/g RF FRONT END MODULE // [www.rfarrays.com/docs/Turn\\_on\\_inst\\_RWF111ver3.1.1.pdf](http://www.rfarrays.com/docs/Turn_on_inst_RWF111ver3.1.1.pdf)
4. *nanoNET – WLAN Coexistence Measurements in an Indoor Office Environment*. D. Karadoulamas. 7th April 2004. Version 1.0
5. *Моцевикин А. П.* Исследование скорости передачи данных Nanonet // Беспроводные технологии. 2006. № 3 (04).
6. *Жиганов Е. Д., Красков С. Е., Моцевикин А. П.* Исследование условий применимости приёмопередатчиков стандарта Nanonet в беспроводных сетях датчиков // Беспроводные технологии. 2007. № 1, 2.
7. *Жиганов Е. Д., Моцевикин А. П.* Аппаратная коррекция ошибок (nanoNET (IEEE 802.15.4a) // Беспроводные технологии. 2007. № 3.
8. *Моцевикин А. П., Чухарев А. Л.* Передача длинных кадров в сетях (IEEE 802.15.4a) // Беспроводные технологии. 2007 № 3.
9. *Жиганов Е. Д., Моцевикин А. П.* Беспроводные сети датчиков на основе технологии nanoNET // Информационные технологии. 2007. № 11.
10. *Дианов С., Екимов Д., Моцевикин А.* NanoNET-модуль с интерфейсом USB // Беспроводные технологии. 2008. № 1.



11. *Козлов А.* Bluetooth v 2.0/EDR – хорошо сделанное старое. 09.11.2005.  
[http://www.3dnews.ru/communication/bluetooth\\_2\\_0/](http://www.3dnews.ru/communication/bluetooth_2_0/)
12. *Bluetooth Core Specification v2.1 + EDR* // [http://www.bluetooth.com/NR/rdonlyres/F8E8276A-3898-4EC6-B7DA-E5535258B056/6545/Core\\_V21\\_EDR.zip](http://www.bluetooth.com/NR/rdonlyres/F8E8276A-3898-4EC6-B7DA-E5535258B056/6545/Core_V21_EDR.zip)
13. *BlueCore4-ROM WLCSP. Single Chip Bluetooth v2.1 + EDR System. Production Information Data Sheet for BC41B143A.- December 2007* // <http://www.csrsupport.com/download/1932/CS-101565-DSP12%20BC4-ROMWLCSPDataSheet.pdf>
14. *nRF24L01. Single Chip 2.4GHz Transceiver. Product Specification* // <http://www.freqchina.com/cn/down.asp?ID=10>
15. *Datasheet. Low-IF 2.4-GHz ISM Transceiver ATR2406* // [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc4779.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4779.pdf)
16. *Datasheet. CC2500. Low-Cost Low-Power 2.4 GHz RF Transceiver* // <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2500.pdf>
17. *Datasheet. CC2400. 2.4 GHz Low-Power RF Transceiver* // <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2400.pdf>
18. *CYRF69213 Datasheet. Document#: 001-07552 Rev. \*B. Revised February 20, 2007.* Cypress Semiconductor Corporation.