

## 22. Беспроводная связь высоко- и низкоинтеллектуального устройств

*К.О. Великанов, К.В. Защолкин,  
О.В. Олещук, Р.О. Шапорин.*

### **Бездротовий зв'язок високо- та низькоінтелектуального**

**пристроїв.** Досліджуються сучасні технології бездротового зв'язку. Пропонується інформаційна модель реалізації специфікації Bluetooth у високоінтелектуальному пристрої. Надаються рекомендації щодо вибору протоколів та інтерфейсів бездротової взаємодії між пристроями різного рівня інтелектуальності.

*К.А. Velikanov, K.V. Zashcholkin,  
O.V. Oleshchuk, R.O. Shaporin.*

### **Wireless communication of the highly intellectual and low intellectual devices.**

Modern technologies of wireless communication are investigated. The informational model of realization of Bluetooth-specification in highly intellectual device is proposed. Guidelines for choosing protocols and interfaces of wireless communication between devices with different level of intellectuality are given.

## Введение

Бурное развитие вычислительной техники и средств связи привело к повышению интереса к области беспроводных коммуникаций. Решающими факторами стали возрастающая относительная стоимость кабельных подсистем и связанная с ними ограниченная мобильность вычислительных устройств.

Если изначально беспроводная связь была наиболее востребована на рынке мобильных коммуникаций, то при современном уровне развития вычислительной техники область ее применения существенно расширяется и охватывает такие области как настольные вычислительные системы и узкофункциональные устройства специального назначения, такие как информационно-измерительные или управляющие устройства. Такая специфика развития беспроводных средств связи привела к тому, что на сегодняшний день существует достаточно большое количество стандартов, регламентирующих передачу информации по беспроводным каналам, на рынке присутствуют устройства различных производителей, основным функциональным назначением которых является беспроводная передача данных, и в то же время присутствует множество разновидностей вычислительных устройств, существенно различающихся по уровню интеграции, по используемой элементной базе, по микропрограммной и программной составляющей.

Таким образом, всё более актуальной становится задача обеспечения стандартизированной беспроводной связи между существенно

различающимися по многим параметрам высокоинтеллектуальным устройством (ВИУ) и низкоинтеллектуальным устройством (НИУ).

Под высокоинтеллектуальным устройством будем понимать вычислительное устройство, обладающее достаточно большим объемом оперативной памяти, относительно высокой процессорной мощностью и, как правило, работающее под управлением операционной системы, и содержащее обширный набор стандартных библиотек, реализующих те или иные протоколы взаимодействия. Характерной особенностью ВИУ является закрытость от разработчика деталей реализации функциональности библиотек.

Под НИУ будет пониматься устройство, обладающее низкой функциональностью и, как правило, предназначенное для решения узкоспециализированных задач. Зачастую на НИУ накладываются ограничения, связанные с небольшим объемом оперативной памяти и/или низкой вычислительной мощностью.

Невозможно провести четкую границу между НИУ и ВИУ в силу наличия большого количества классов вычислительных устройств, элементной базы и способов проектирования.

В данной статье будет рассмотрен один из крайних случаев, когда в качестве ВИУ выступает персональная ЭВМ под управлением ОС Windows, а в качестве НИУ - устройство, реализованное на базе однокристальной ЭВМ. Ставится задача обеспечить беспроводную связь между указанными устройствами при минимальных затратах на аппаратную и программную реализацию, обеспечив по возможности максимальное соответствие стандартам.

### **Выбор беспроводной технологии**

Среди действующих стандартов беспроводной связи в настоящее время наиболее распространены такие как IrDA, BlueTooth и WiFi [1]. Наиболее ранним среди них является стандарт IrDA. Он завоевал популярность за счет простоты реализации, низкой стоимости, низкого энергопотребления и относительной безопасности. Для передачи данных согласно спецификации IrDA используется маломощный передатчик в узком инфракрасном диапазоне частот, что позволяет создавать собственные средства связи, не требующие сертификации. Отсюда же вытекают и недостатки IrDA - небольшие расстояния и расположение приемника и передатчика в пределах прямой видимости.

IrDA предназначен, прежде всего, для организации связи вида точка-точка. И хотя в спецификации IrDA существуют протоколы, позволяющие создать беспроводную сеть, большого распространения они не получили из-за низкой надежности канала связи, полудуплексного режима работы и ограничений по расстоянию между устройствами.

---

В настоящее время в связи с перечисленными недостатками стандарт IrDA теряет популярность, и всё меньше ноутбуков, мобильных телефонов и других устройств комплектуются встроенным ИК-портом.

По аппаратным техническим характеристикам технологии Bluetooth и WiFi во многом схожи. Они обеспечивают надежную беспроводную связь, не выдвигая требований к прямой видимости между устройствами и их неподвижности. Поэтому выбор между Bluetooth и WiFi определяется, прежде всего, наличием соответствующего порта беспроводной передачи данных, а также сложностью и полнотой функциональной реализации используемых протоколов.

Протоколы серии 802.11 (WiFi) ориентированы главным образом на создание беспроводной сети между несколькими вычислительными устройствами более или менее аналогичными по вычислительной мощности. Зачастую предполагается построение иерархической беспроводной сети, ее объединение с проводными сетями и использование дополнительного коммутационного оборудования. Естественно, что при этом существенно повышается сложность задействованных протоколов и, как следствие, затраты на их реализацию в НИУ.

Спецификация Bluetooth хотя и позволяет строить разветвленные сети на своей основе, в большей мере она ориентирована на связь вида точка-точка, в связи с чем протоколы взаимодействия в Bluetooth более простые, чем в WiFi. В то же время в спецификации Bluetooth предусмотрен ряд высокоуровневых протоколов, ориентированных на решение рутинных задач, таких как передача аудиоданных, обмен файлами, SMS-сообщениями и т.д.

Выбрав и реализовав необходимое подмножество протоколов из стека протоколов Bluetooth [2], можно при низких затратах на проектирование НИУ обеспечить стандартный интерфейс его взаимодействия с прочими вычислительными устройствами.

### **Низкоинтеллектуальное устройство**

Одним из существующих подходов к построению узкоспециализированных вычислительных устройств является использование в качестве их основы однокристальных ЭВМ. Снижение экономических затрат на аппаратуру накладывает определенные ограничения на вычислительные возможности устройства.

В частности, существуют ограничения, связанные с разработкой микропрограммы для организации канала связи. Т.к. микропрограмма зачастую составляется на языке низкого уровня, то она является непереносимой на другие аппаратные платформы, и, как следствие, не существует готовых библиотек, реализующих стандарты беспроводной связи под произвольную аппаратную базу. А, т.к. НИУ зачастую являются узкоспециализированными, то затраты на микропрограммную реализацию стандартной беспроводной связи могут значительно превосходить затраты

---

на обеспечение основной функциональности устройства. Следовательно, в большинстве случаев будет экономически нецелесообразно обеспечивать полное соответствие действующим стандартам беспроводной связи. Приоритетными следует считать поддержку низкоуровневых протоколов,

Протоколы Baseband и LMP реализуются аппаратно в большинстве современных микросхем, обеспечивающих функциональность Bluetooth. Они предоставляют возможность их стыковки с однокристальными ЭВМ посредством интерфейсов PCI, PCMCIA и/или USB. Рекомендуемым к использованию является интерфейс USB как требующий минимальное количество линий связи. Кроме того, однокристальные ЭВМ часто содержат встроенный USB-контроллер.

Взаимодействие с Bluetooth-микросхемами осуществляется в соответствии с протоколом HCI или реже по протоколу L2CAP.

Протокол HCI для обеспечения функциональной полноты предполагает поддержку обширного набора команд и событий. Но в рассматриваемом частном случае полная поддержка HCI нецелесообразна, т.к. часть команд является редко используемой, а часть - предназначена для решения специальных задач, таких как организация сети из нескольких Bluetooth-устройств или обеспечения оптимальной пропускной способности канала. Наиболее важными группами команд протокола HCI следует считать команды, выполняющие инициализацию устройства, его конфигурирование, поиск удаленных Bluetooth-устройств или ответ на запрос о наличии Bluetooth-устройств в области видимости, а также команды, относящиеся непосредственно к обмену данными, а именно - установка канала связи, прием/передача данных, разрыв канала связи.

При малом объеме и частоте передаваемых данных, а также при повышенных требованиях к энергосбережению имеет смысл сократить длительность поддержания канала связи, а также игнорировать часть высокоуровневых служебных пакетов и сообщения об ошибках.

Для однокристальных ЭВМ характерен низкий объем встроенной оперативной памяти порядка 128-1024 байт. И хотя имеются возможности ее расширения, более целесообразным будет спроектировать протокол обмена данными прикладного уровня таким образом, чтобы размер пакета данных не превышал 128 байт. Такой подход не только сделает прикладной уровень легко реализуемым на любой аппаратной платформе, но и снимет необходимость в реализации протокола L2CAP, одной из задач которого является поддержка сегментации пакетов.

Необходимость реализации одного или нескольких протоколов более высокого уровня определяется поставленными задачами, видом и объемом передаваемых данных, типами ВИУ, с которыми предполагается обмен данными, и особенностями реализации стека протоколов Bluetooth в ВИУ.

## **Высокоинтеллектуальное устройство**

---

Реализацию спецификации Bluetooth в ВИУ на базе персональной ЭВМ под управлением ОС Windows XP или выше, предлагается представить в виде модели, представленной на рис. 1. Здесь следует выделить три взаимосвязанных уровня:

- аппаратный уровень;
- уровень операционной системы;
- уровень пользовательского программного обеспечения.

К аппаратному уровню относится непосредственно устройство Bluetooth, которое может быть встроенным или подключаться к материнской плате через шины PCI, PCMCIA или порт USB. В тех случаях, когда Bluetooth устройство интегрировано в материнскую плату, для следующего уровня - уровня операционной системы - оно эмулируется, как подключенное через виртуальный USB-порт или виртуальный разъем шины, что обеспечивает прозрачность взаимодействия с Bluetooth-аппаратурой.

Как известно, современные операционные системы запрещают или ограничивают непосредственное взаимодействие пользовательского программного обеспечения с аппаратурой вычислительной системы с целью обеспечения надежности функционирования системы в целом. В ОС семейства Windows работа с шинами PCI, PCMCIA и другими осуществляется посредством соответствующих драйверов, причем взаимодействие с этими драйверами допустимо только из уровня режима ядра, т.е. уровня, относящегося к операционной системе. До недавнего времени это относилось и к работе с портом USB. Однако в настоящее время выпущен драйвер WinUSB, позволяющий производить обмен данными через порт USB непосредственно с уровня приложений, что существенно упрощает разработку соответствующего программного обеспечения. Но, т.к. WinUSB-драйвер автоматически поставляется только с ОС Windows Vista и т.к. работа на уровне USB-порта не покрывает весь класс Bluetooth-устройств, а значит не обеспечивает универсальности, то разработка приложений, ориентированных на взаимодействие непосредственно через USB-драйвер целесообразна только в редких частных случаях.

---

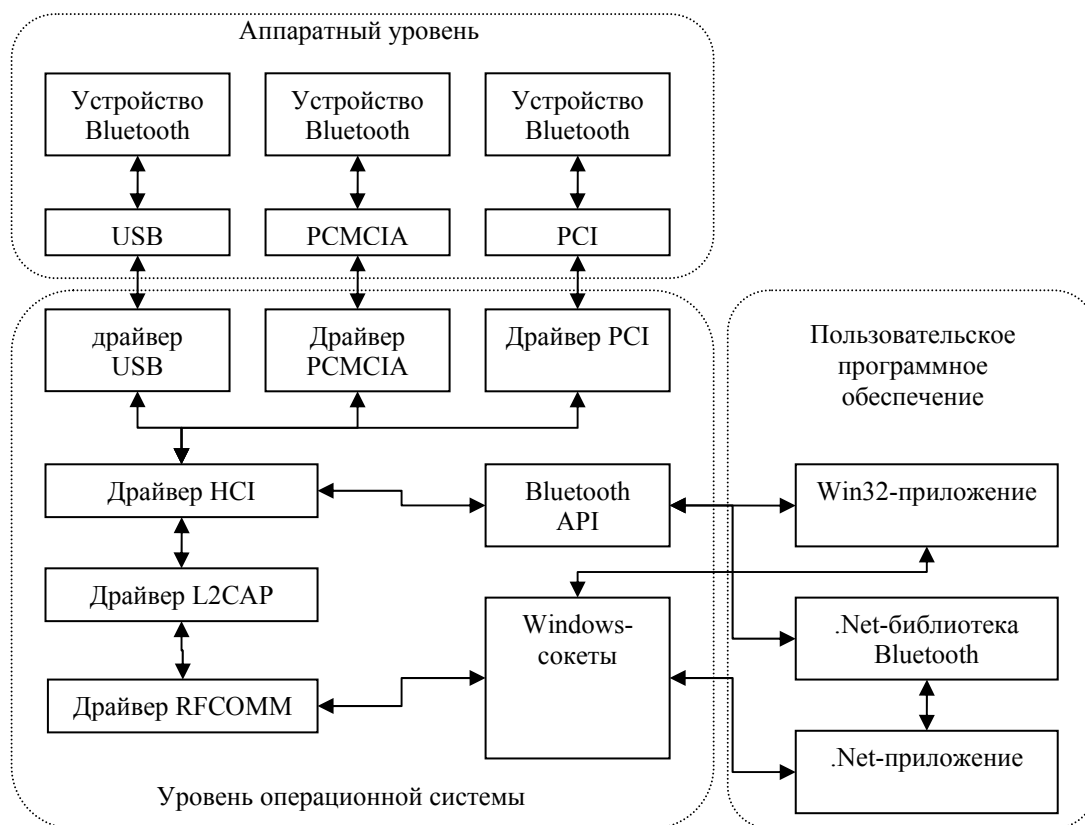


Рис. 1. Межуровневая информационная модель взаимодействия согласно спецификации Bluetooth в ВМУ

В состав ОС Windows также входят драйвера, реализующие ряд протоколов спецификации Bluetooth, в частности, протоколы HCI, L2CAP и RFCOMM [3]. Протокол HCI представляет наибольший интерес по той причине, что подавляющее большинство современных Bluetooth-устройств имеют встроенный HCI-контроллер, посредством которого они и взаимодействуют с другими вычислительными устройствами. Уровень HCI является аппаратнонезависимым. Кроме того, производители, обеспечивающие поддержку протокола HCI в своих устройствах, позволяют использовать их аппаратуру без необходимости установки дополнительных аппаратных драйверов. Таким образом, взаимодействие через драйвер HCI позволяет унифицировать взаимодействие с любыми Bluetooth-устройствами. Практически единственным, но серьезным недостатком работы непосредственно с HCI-драйвером является его доступность только из режима ядра.

Поверх протокола HCI в ОС Windows реализованы драйверы протокола канального уровня L2CAP и протокола RFCOMM, эмулирующего последовательный порт поверх протокола канального уровня. Эти драйверы также доступны только из режима ядра.

Для работы с Bluetooth-аппаратурой с уровня пользовательского программного обеспечения в операционной системе реализован набор API-функций, позволяющий решить следующие задачи:

- перечисление локальных Bluetooth-устройств;

- получение информации о локальном Bluetooth-устройстве;
- настройка локальных Bluetooth-устройств;
- поиск удаленных Bluetooth-устройств, находящихся в области видимости;
- получение информации об удаленном Bluetooth-устройстве.

Вышеуказанная функциональность относится к протоколу HCI.

Такие задачи, как установка канала связи, прием-передача данных, подтверждение получения, завершение сеанса связи и оповещение о разрыве соединения реализуются более высокоуровневыми протоколами L2CAP и RFCOMM. Чтобы оградить разработчика пользовательского программного обеспечения от деталей реализации протоколов L2CAP и RFCOMM, а также обеспечить максимальную независимость программного обеспечения от типа соединения, проводного (Ethernet, Com) или беспроводного (IrDA, Bluetooth, WiFi), предлагается использовать интерфейс Windows-сокетов.

Windows-сокеты - это простой, хорошо зарекомендовавший себя интерфейс, реализованный на многих платформах. Применительно к ОС Windows существуют стандартные библиотеки Windows-сокетов под платформу Win32 и .Net. Однако в настоящее время отсутствуют стандартные библиотеки компонентов .Net по функциональности аналогичные Bluetooth API под Win32. Поэтому при разработке .Net-приложений необходимо использовать либо Bluetooth-библиотеки сторонних производителей, либо разрабатывать собственные аналоги. Но следует помнить, что и в том и в другом случае полученный библиотечный модуль будет содержать небезопасный .Net-код, что в свою очередь означает, что при разработке и отладке на данный модуль следует обратить особое внимание, и что во время работы приложения этот модуль будет требовать повышенных привилегий от операционной системы.

## **Заключение**

Анализ существующих стандартов беспроводной связи и их реализации в современных ВИУ и НИУ показал, что для организации беспроводного обмена данными по принципу точка-точка между устройствами, существенно различающимися по уровню интеллектуальности, наиболее просто и удобно использовать спецификацию Bluetooth.

В качестве важнейшего протокола из стека протоколов Bluetooth следует рассматривать HCI, т.к. именно этот протокол обеспечивает стандартный аппаратнонезависимый интерфейс.

В силу ограничений, накладываемых операционной системой на прямой доступ к драйверу, реализующему протокол HCI, следует ориентироваться на предназначенные для прикладных программистов интерфейсы Bluetooth API и Windows-сокеты. Такой подход несколько увеличит затраты на реализацию микропрограммы для НИУ за счет

---

необходимости реализации протоколов L2CAP и RFCOMM, но существенно упростит разработку программного обеспечения в ВИУ, сделает его более независимым от используемого стандарта связи и обеспечит надежность обмена данными за счет использования стандартных протоколов канального и транспортного уровней.

При серьезных ограничениях на вычислительные мощности в НИУ следует рассмотреть вариант написания для ВИУ собственных программных модулей, работающих в режиме ядра, взаимодействующих с драйвером протокола HCI или другими и позволяющими обращаться к данным модулям с уровня приложений.

НИУ, использующие беспроводные каналы связи, рекомендуется разрабатывать не на базе однокристальных ЭВМ, а на основе FPGA-логики. Наличие обширных библиотек, содержащих готовые VHDL-описания контроллеров, реализующих те или иные стандарты, в том числе протоколы беспроводной связи, дает возможность минимизировать затраты на разработку НИУ на базе FPGA-логики и обеспечить полное соответствие стандартам беспроводной связи.

### **Литература**

1. Ватаманюк А.И. Беспроводная сеть своими руками. — СПб: Питер, 2006. – 192 с.
  2. Гришин А.В. Сравнительный обзор распространенных Bluetooth-стеков // URL: <http://www.terralab.ru/system/331587> (12 ноя 2008).
  3. Specification of the Bluetooth System // URL: <http://www.bluetooth.com> (10 окт 2008).
-