**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра кафедры САПР**

Реферат

**по дисциплине «Интерфейсы периферийных устройств»**

Тема: **Структура пакета данных для интерфейса USB2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 1335 |  | Максимов Ю.Е. |
| Преподаватель |  | Молодцов В.О. |

Санкт-Петербург

2025

**Оглавление**

1. Введение
2. Общие сведения о USB 2.0
3. Формат и структура пакетов USB 2.0
4. Механизмы обеспечения целостности и контроля ошибок
5. Сравнение с USB 1.1 и USB 3.0
6. Заключение
7. Список использованной литературы

**Введение**

В современном мире интерфейс USB (Universal Serial Bus) стал одним из основных способов подключения периферийных устройств к компьютерам, ноутбукам и другим электронным системам. Его широкое распространение объясняется простотой использования, универсальностью, высокой надёжностью и способностью передавать как данные, так и питание.

Среди различных версий стандарта особое место занимает USB 2.0, представленный в 2000 году. Эта версия стала важным шагом вперёд по сравнению с USB 1.1, так как обеспечила значительно более высокую скорость передачи данных, сохранив при этом обратную совместимость и простоту подключения.

Одна из ключевых особенностей стандарта USB — это строгая организация передачи данных. Обмен информацией между устройствами происходит в виде определённых пакетов, каждый из которых имеет установленную структуру и формат. Эти пакеты служат основой для надёжной и стабильной работы интерфейса.

Цель данного реферата — рассмотреть структуру пакетов данных, используемых в интерфейсе USB 2.0, а также принципы их формирования, классификацию и способы контроля целостности. Понимание этих аспектов важно для специалистов в области электроники, телекоммуникаций и системной инженерии, так как позволяет глубже понять, как реализуется эффективный обмен данными на низком уровне.

**Общие сведения о USB 2.0**

Интерфейс USB (Universal Serial Bus) был разработан для стандартизации подключения периферийных устройств к персональным компьютерам и облегчения процесса взаимодействия между ними. Он обеспечивает передачу данных и питание подключаемых устройств через универсальный разъём. Стандарт USB 2.0 был официально представлен в апреле 2000 года и стал логическим развитием предыдущей версии — USB 1.1.

Главным улучшением в USB 2.0 по сравнению с предыдущими версиями является значительное увеличение скорости передачи данных. В то время как USB 1.1 обеспечивал скорость до 12 Мбит/с, USB 2.0 предлагает теоретическую максимальную пропускную способность до 480 Мбит/с (так называемый High-Speed режим). Кроме того, стандарт поддерживает режимы Low-Speed (1.5 Мбит/с) и Full-Speed (12 Мбит/с) для совместимости с более старыми устройствами.

USB 2.0 поддерживает технологию Plug and Play, что позволяет подключать устройства без необходимости перезагрузки системы или установки дополнительных драйверов в большинстве случаев. Также реализована поддержка функции Hot Swap, то есть возможность подключения и отключения устройств «на горячую», без выключения питания.

Основные характеристики USB 2.0:

* Скорость передачи данных: до 480 Мбит/с (High-Speed);
* Максимальное количество подключаемых устройств: до 127 через хабы;
* Питание устройств: напряжение 5 В, сила тока до 500 мА на порт;
* Тип соединения: последовательный, точка-точка (host ↔ device);
* Совместимость: обратная совместимость с USB 1.1;
* Поддержка различных типов передачи: управление (control), прерывание (interrupt), изохронная (isochronous), и пакетная (bulk).

Контроллер USB 2.0 всегда выступает в роли ведущего устройства (host), которое управляет всей передачей данных. Подключаемое оборудование (например, клавиатура, принтер, флеш-накопитель и др.) является ведомым (device). Передача данных осуществляется в виде пакетов по определённому протоколу, структура которых подробно описывается в последующих разделах.

Таким образом, USB 2.0 стал одним из самых широко распространённых и универсальных стандартов подключения, использующимся в самых разных областях — от бытовой электроники до промышленного оборудования.

**Формат и структура пакетов USB 2.0**

Передача данных в интерфейсе USB 2.0 организована по строго определённым правилам. Вся информация, передаваемая между ведущим устройством (host) и ведомыми устройствами (device), осуществляется в виде пакетов. Каждый пакет имеет определённую структуру, включающую управляющие поля, полезную нагрузку (данные), а также поля для проверки целостности информации.

1. **Классификация пакетов**

USB 2.0 использует несколько типов пакетов, каждый из которых выполняет определённую функцию. Всего различают четыре основные категории:

* Token-пакеты (токены) — используются для обозначения направления передачи и адресации устройства. Включают:
  + IN — запрос на передачу данных от устройства к хосту;
  + OUT — запрос на передачу данных от хоста к устройству;
  + SETUP — используется для начала управления устройством;
  + SOF (Start Of Frame) — задаёт начало временного интервала (кадра).
* Data-пакеты (данные) — содержат непосредственно передаваемую информацию. В USB 2.0 определены два типа: DATA0 и DATA1, а также DATA2 и MDATA для поддержки дополнительных режимов. Использование чередования DATA0/DATA1 помогает в обнаружении дубликатов и потерь.
* Handshake-пакеты (подтверждения) — используются для подтверждения приёма данных или сообщения об ошибке. Основные:
  + ACK — подтверждение успешного получения;
  + NAK — устройство не готово к передаче/приёму;
  + STALL — ошибка, устройство не может обработать запрос;
  + NYET — «ещё не готов» (в высокоскоростном режиме).
* Special-пакеты — служебные пакеты, применяемые в определённых ситуациях. Например:
  + PRE — предварительный пакет для поддержки USB 1.1;
  + ERR — сигнализирует об ошибке;
  + SPLIT — используется при передаче данных через USB-хаб между устройствами с разными скоростями.

1. **Структура пакетов передачи данных**

Каждый пакет USB 2.0 начинается с PID-поля (Packet Identifier), которое указывает тип пакета. Оно состоит из 8 бит, где младшие 4 бита определяют тип, а старшие — его инверсия, что позволяет обнаруживать ошибки.

Пример структуры пакета DATA:

* PID (8 б) | Data payload | CRC16 (16 б) | EOP   
  PID — идентификатор пакета (например, DATA0 или DATA1);
* Data payload — полезные данные (до 1024 байт для высокоскоростного режима);
* CRC16 — контрольная сумма для проверки целостности данных;
* EOP (End Of Packet) — окончание пакета, сигнализируется по шине.

Token-пакеты, в отличие от Data-пакетов, содержат другую структуру:

Пример структуры пакета IN/OUT:

* PID (8 б) | Адрес (7 б)| Endpoint | CRC5  
  Адрес устройства (7 бит) и номер конечной точки (endpoint) (4 бита) определяют, куда направляется запрос;
* CRC5 используется для проверки правильности адресации.

1. **Примеры передачи данных**

Наиболее простой пример — передача данных от хоста к устройству:

1. OUT → DATA0 → ACK  
   Хост отправляет OUT-токен (указывает направление и адрес устройства);
2. Далее следует пакет DATA0 с полезной нагрузкой;
3. Устройство подтверждает приём пакетом ACK.

Аналогично выглядит передача от устройства к хосту:

IN → DATA1 → ACK  
Такой протокол передачи позволяет точно контролировать каждую операцию, обнаруживать и исправлять ошибки, а также эффективно управлять различными типами данных (например, мультимедиа, управление, потоковая передача).

**Механизмы обеспечения целостности и контроля ошибок**

Надёжность передачи данных — один из ключевых параметров интерфейса USB 2.0. В условиях высоких скоростей и возможных помех на линии важно обеспечить правильную доставку информации от хоста к устройству и обратно. Для этого в стандарте USB 2.0 предусмотрены несколько механизмов контроля целостности и обработки ошибок.

1. **Использование CRC (циклический избыточный код)**

Каждый пакет данных или токен-пакет сопровождается контрольной суммой CRC. Это позволяет принимающей стороне проверить, были ли искажены данные в процессе передачи:

* CRC5 (5 бит) — используется в token-пакетах, таких как IN, OUT, SETUP. Он охватывает поля адреса устройства и конечной точки.
* CRC16 (16 бит) — применяется в data-пакетах (DATA0, DATA1 и др.) и охватывает всё содержимое полезной нагрузки (payload). Это обеспечивает высокую вероятность обнаружения случайных ошибок даже при передаче больших объёмов данных.

При несовпадении контрольной суммы устройство считает, что данные повреждены, и пакет считается недействительным.

1. **PID-проверка**

Каждый пакет начинается с PID-поля (Packet Identifier), состоящего из 8 бит, из которых 4 младших бита содержат код типа пакета, а 4 старших — являются его побитовой инверсией. Такая структура позволяет обнаружить ошибки в определении типа пакета. Если PID некорректен (например, инверсная часть не соответствует основной), пакет отбрасывается.

1. **Подтверждение и повторная передача**

USB использует систему **подтверждений (handshake-пакеты)** для обратной связи между отправителем и получателем. Это обеспечивает надёжность канала:

* ACK — подтверждает успешный приём пакета;
* NAK — устройство временно не готово, можно повторить попытку позже;
* STALL — устройство не может обработать запрос;
* NYET — специфичный для High-Speed режима, означает, что часть транзакции завершена, но не полностью.

Если ACK не получен от устройства, хост инициирует повторнуюпередачу данных, что особенно важно при временных сбоях или потерях на линии.

1. **Чередование DATA0 и DATA1**

Для предотвращения повторного приёма одних и тех же данных используется чередование пакетов DATA0 и DATA1. Это называется Data Toggle — своего рода флаг, который меняется от одного успешного пакета к другому. Если устройство получает повторный пакет с тем же флагом (например, тот же DATA0, который уже был принят), оно может распознать, что произошёл сбой в предыдущем подтверждении, и просто проигнорировать дубликат.

Благодаря этим механизмам USB 2.0 обеспечивает высокий уровень надёжности передачи данных, что особенно важно при работе с внешними накопителями, аудио- и видеоустройствами, а также периферией, требующей точного управления.

**Заключение**

Стандарт USB 2.0 на протяжении многих лет остаётся одним из наиболее широко используемых интерфейсов для подключения периферийных устройств. Его популярность объясняется сочетанием высокой скорости передачи данных, универсальности, простоты использования и надёжности.

Одним из важнейших компонентов USB 2.0 является чётко определённая структура пакетов данных. Каждый пакет выполняет определённую функцию — будь то управление передачей, передача полезной нагрузки или подтверждение приёма. Благодаря использованию CRC-контроля, системы подтверждений и чередования пакетов данных обеспечивается высокая устойчивость к ошибкам и надёжная доставка информации.

Изучение структуры пакетов USB 2.0 имеет не только теоретическое, но и практическое значение — для специалистов по электронике, разработчиков встраиваемых систем и инженеров, работающих с микроконтроллерами и компьютерной периферией. Знание внутренней организации обмена данными позволяет глубже понимать принципы работы интерфейсов и разрабатывать более стабильные и эффективные устройства.

Несмотря на то, что сегодня развиваются более скоростные стандарты, такие как USB 3.0 и USB4, принципы, заложенные в архитектуру USB 2.0, остаются актуальными и используются как основа в новых версиях. Таким образом, понимание устройства и логики работы пакетов в USB 2.0 по-прежнему играет важную роль в современной цифровой технике.

**Список использованной литературы**

1. **USB 2.0 Specification**. Revision 2.0, April 27, 2000. – [официальная документация от USB-IF (usb.org)]
2. Таненбаум Э. «**Структуры операционных систем**». – М.: Вильямс, 2010.
3. Литвиненко В.Ф. «**Цифровые интерфейсы передачи данных**». – СПб.: БХВ-Петербург, 2012.
4. Пащенко А.В. «**Интерфейсы ввода-вывода в цифровых устройствах**». – М.: Горячая линия – Телеком, 2015.
5. Jan Axelson. **USB Complete: The Developer's Guide**. 5th Edition. – Lakeview Research, 2015.
6. Курсов А.Н. «**Системы передачи информации и интерфейсы**». – М.: Академия, 2018.
7. Сайт USB-IF (USB Implementers Forum) – <https://www.usb.org>
8. Документация и статьи на ресурсе <https://www.ti.com> – Texas Instruments: USB Technology Overview.