通用串行总线(USB) 2.0

STM32 USB 开发者培训

2014

USB技术背景

- 通用串行总线(USB)协议的设计目标：
  - 易于使用的PC外设
  - 以低成本的方案支持高达480Mbps的传输速率
  - 满足声音，音频和视频类传输的实时需求
  - 灵活的协议，能混合同步和异步的消息数据传递
  - 能适应于任意外形和配置的PC
  - 提供一个标准接口，能快速应用于产品中
  - 允许扩展出新的USB设备类，以提升PC的功能
  - UBS2.0协议必需向下兼容，以容纳早期版本的设备

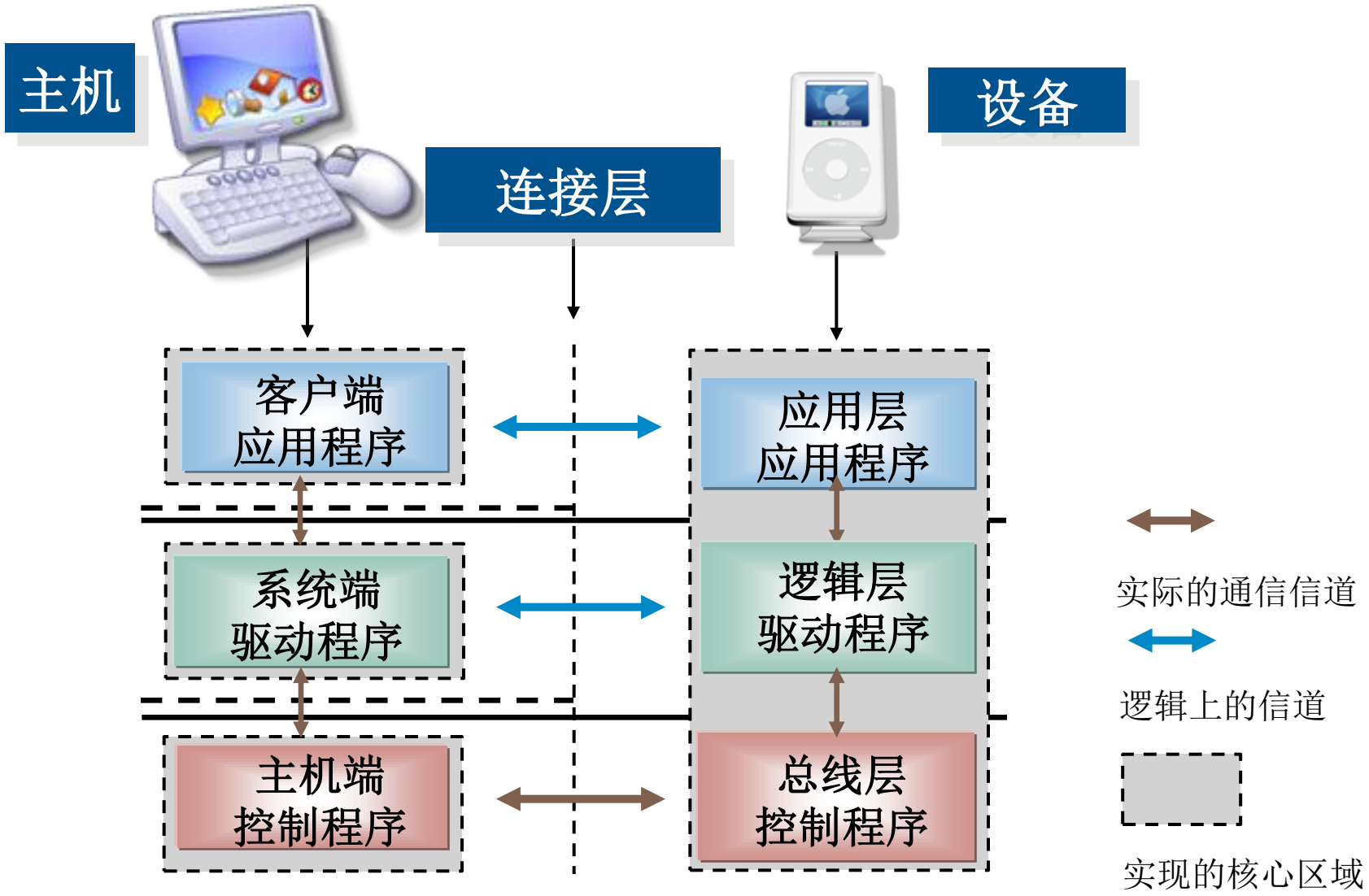
USB应用范围

性能	应用	特性
低速(1.5Mbps): ✓交互式设备 ✓10-100kbps	➢键盘，鼠标 ➢手写笔 ➢游戏手柄 ➢虚拟设备 ➢外设	•极低的成本 •易于使用 •热插拔 •同时使用多个外设
全速(12Mbps): ✓电话，音频类 ✓压缩的视频类 ✓500kbps – 10Mbps	➢话音 ➢宽带 ➢音频 ➢麦克风	•较低的成本 •易于使用 •热插拔 •同时使用多个外设 •可保证的带宽 •可保证的延迟
高速(480Mbps): ✓视频，大容量存储 ✓25 – 400Mbps	➢视频 ➢大容量存储 ➢图像 ➢宽带	•低成本 •易于使用 •热插拔 •同时使用多个设备 •可保证的带宽 •可保证的延迟 •高带宽

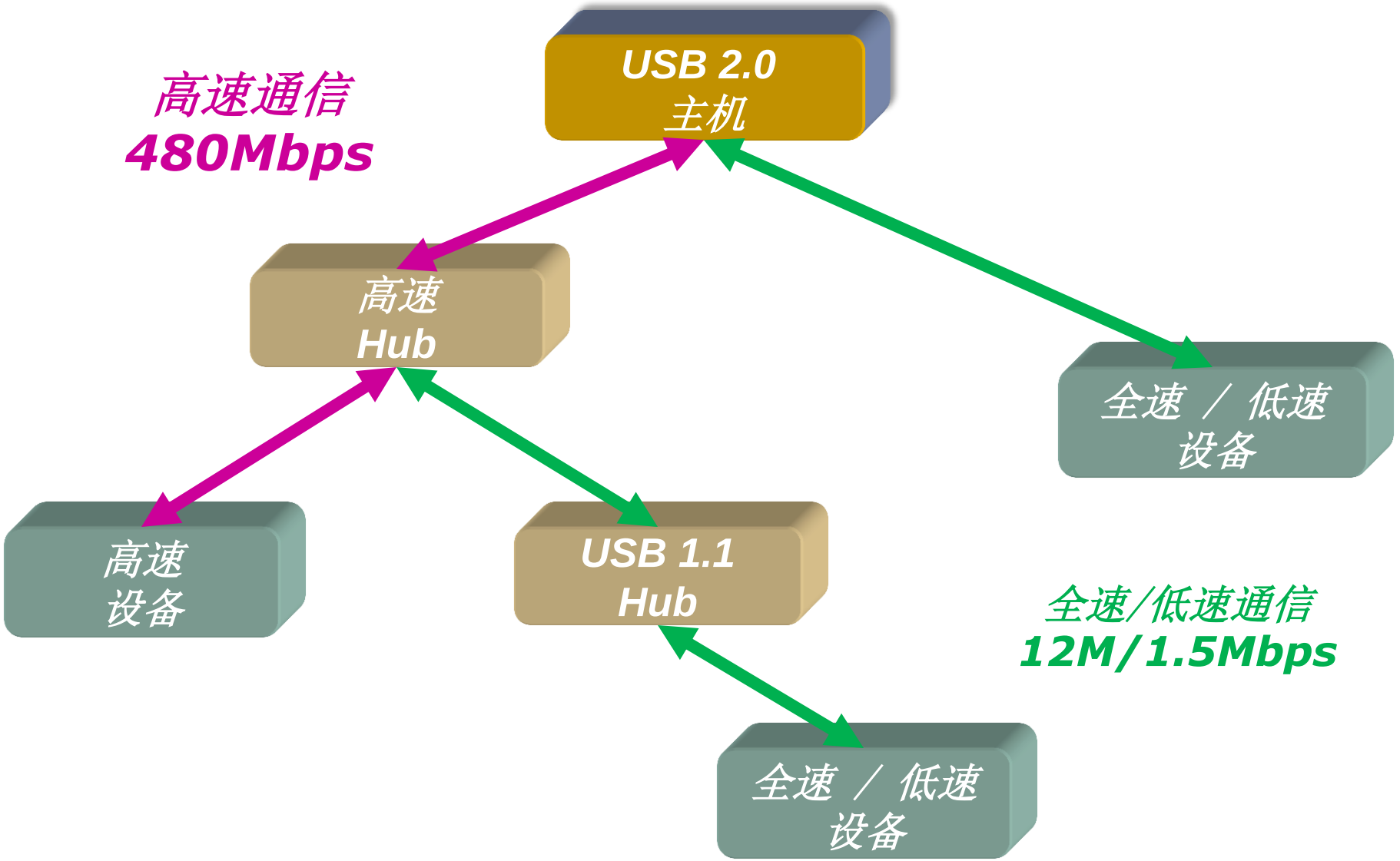
USB技术特性

简单易用	使用统一制式的电缆和连接插座，支持热插拔
应用广泛	支持从几kbps到几百Mbps的数据带宽，支持同步和异步的传输，支持连接多达127个设备，并支持复合设备
同步带宽	提供保证的带宽和低延迟
使用灵活	支持不同大小的数据包和各种传输速率
鲁棒性佳	多种的错误校验和恢复机制
协同PC产业	协议易于实现和整合，并支持热插拔机制
低成本实现	低成本的电缆和连接插座，商品化的实现技术
易于升级	整体结构易于升级，能适应各类新生的应用

USB 系统结构

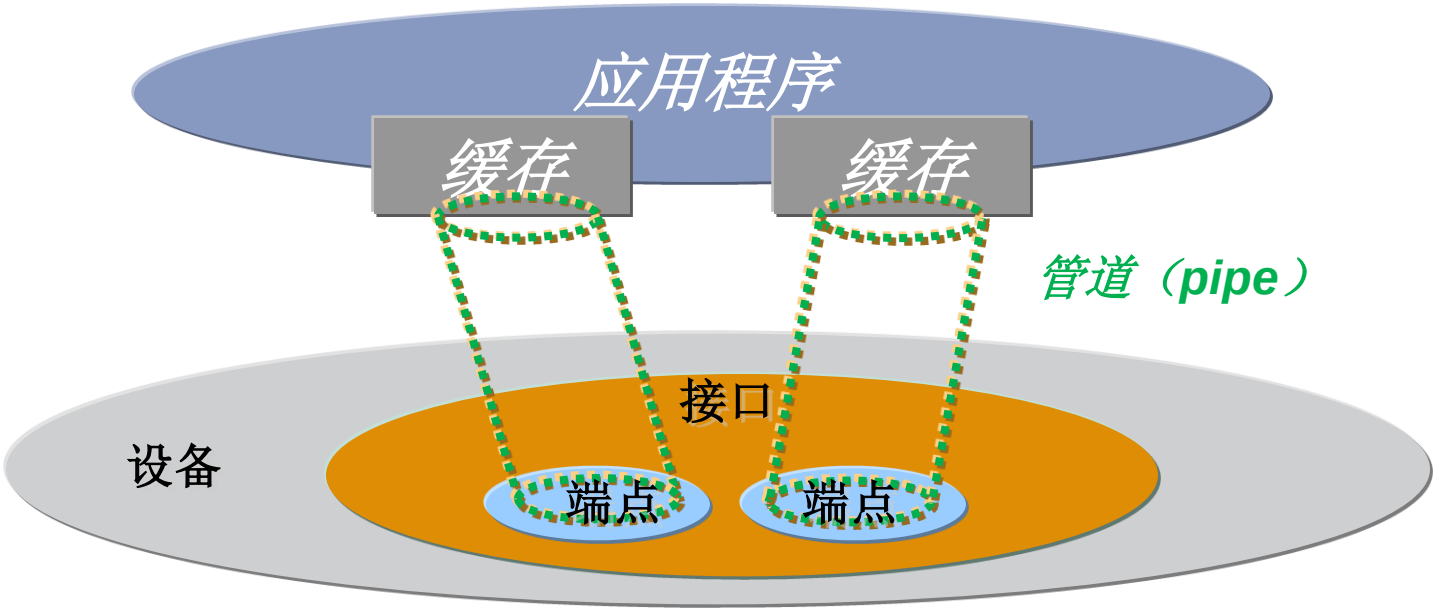

主机
连接层
设备
客户端
应用程序
系统端
驱动程序
主机端
控制程序
应用层
应用程序
逻辑层
驱动程序
总线层
控制程序
实际的通信信道
逻辑上的信道
实现的核心区域

USB 拓扑结构示例


高速通信
480Mbps
USB 2.0
主机
高速
Hub
全速 / 低速
设备
高速
设备
USB 1.1
Hub
全速/低速通信
12M/1.5Mbps
全速 / 低速
设备

USB 逻辑部件

主机



设备

接口（一个或多个）：用于描述特定功能，包含若干端点

端点（一个或多个）：传输的最终对象
>> 端点号、传输类型、
>> 传输方向、最大数据包长度…

USB设备供电方式

- USB设备有两种供电方式
  - 自供电设备：设备从外部电源获取工作电压
  - 总线供电设备：设备从VBUS(5v) 取电

- 对总线供电设备，区分低功耗和高功耗USB设备
  - **低功耗总线供电设备：**最大功耗不超过**100mA**
  - **高功耗总线供电设备：** 枚举时最大功耗不超过**100mA**，枚举完成配置结束后功耗不超过**500mA**

- 设备在枚举过程中，通过设备的**配置描述符**向主机报告它的供电配置（自供电/总线供电）以及它的功耗要求（参加下页举例）

USB 配置描述符（以Joystick为例）

Configuration Descriptor

0x09,
/* 描述符的长度：9字节 */

USB_CONFIGURATION_DESCRIPTOR_TYPE,
/* 描述符的类型: 0x02 配置描述符(Configuration) */

JOYSTICK_SIZ_CONFIG_DESC, 0x00,
/* 完整的描述符包括接口描述符、端点描述符和类描述符的长度 */

0x01,
/* 配置所支持的接口数目： 1*/

0x01,
/* 用SetConofiguration()选择此配置，所指定的配置号： 1*/

0x00,
/* 用于描述此配置的字符描述符的索引号： 0 */

0xE0,
/* 供电配置：B7(1 保留), B6(自供电), B5(远程唤醒), B4-B0(0 保留) */

0x32,
/* 最大功耗，以2mA为单位计算：0x32表示 50×2 ＝100mA */

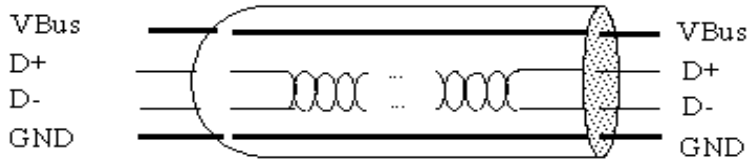
USB设备的挂起模式

- USB设备在检测到总线连续3ms没有信号传输时，会进USB挂起模式
- 在挂起模式下，如果该USB设备是总线供电设备，则从总线取电不可超过**2.5mA/0.5mA**
- USB主机为了防止设备进入挂起模式，必须周期性地发送**SOF**信号或者**Keep Alive**信号
  - 在高速信道上，主机按照125us(+/- 65ns)的周期发送SOF
  - 在高速信道上，主机按照1ms(+/- 500ns)的周期发送SOF
  - 在低速信道上，主机按照1ms的周期发送Keep Alive (End of Packet)
- 如何从挂起模式退出？
  - 方式一：主机在总线上发送Resume信号
  - 方式二：设备在总线上发送远程唤醒信号

*** USB设备要退出【挂起模式】可以由Host唤醒，或者自己唤醒**

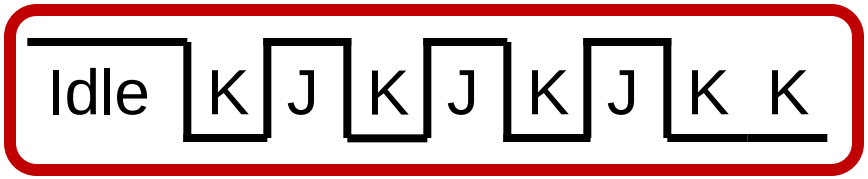
USB总线信号（1）

- USB使用的是差分传输模式，两个数据线D+和D-
  - 差分信号1：D+ > $V_{OH(min)}$ (2.8V) 且D- < $V_{OL(max)}$(0.3V)
  - 差分信号0：D- > V_{OH} and D+ < V_{OL}



J状态	LS	差分0
	FS	差分1
K状态	LS	差分1
	FS	差分0

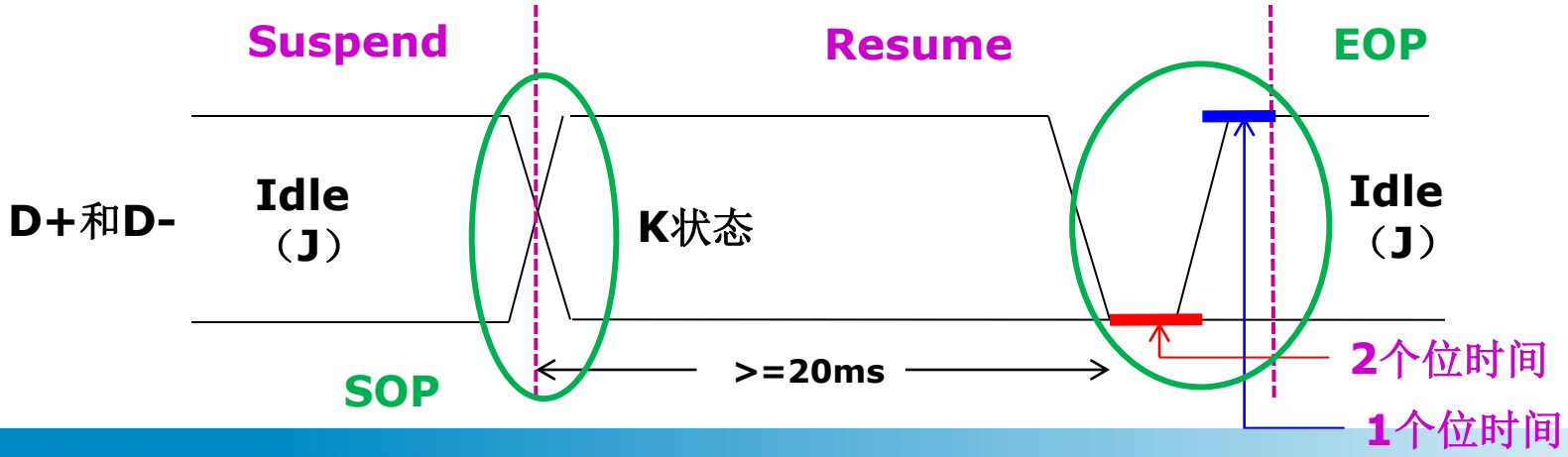
  - Reset信号：D+ and D- < V_{OL} for >= 10ms
    - 主机在要和设备通信之前会发送Reset信号来把设备设置到默认的未配置状态。即**主机拉低两根信号线（SE0状态）并保持10ms**
  - Idle状态：**J状态**
    - 数据发、送前后总线的状态



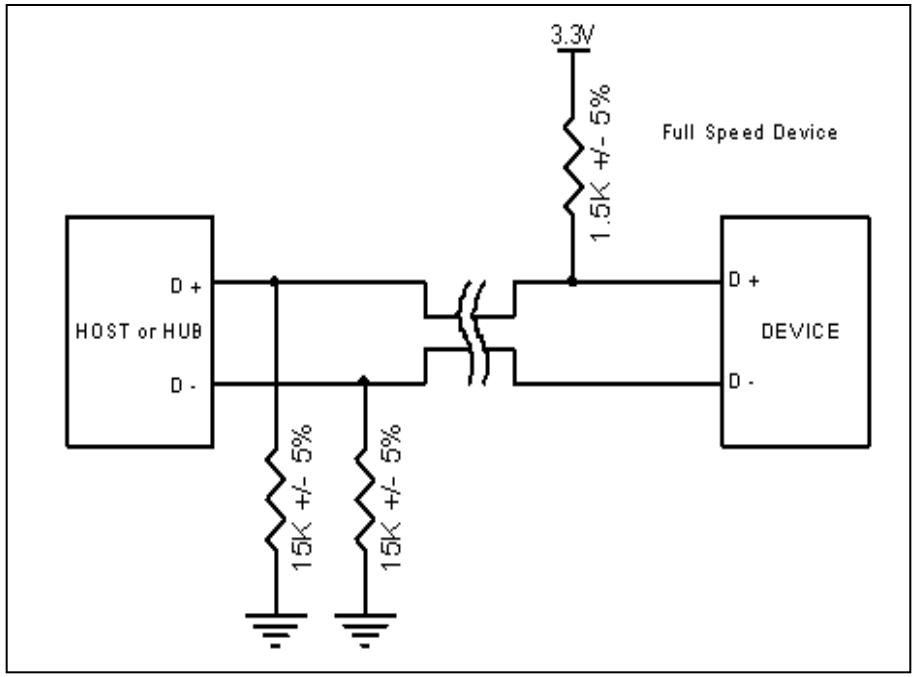
  - Suspend状态：**3ms以上的J状态**
  - **SYNC**： 3个KJ状态切换，后跟随2位时间的K状态

USB总线信号（2）

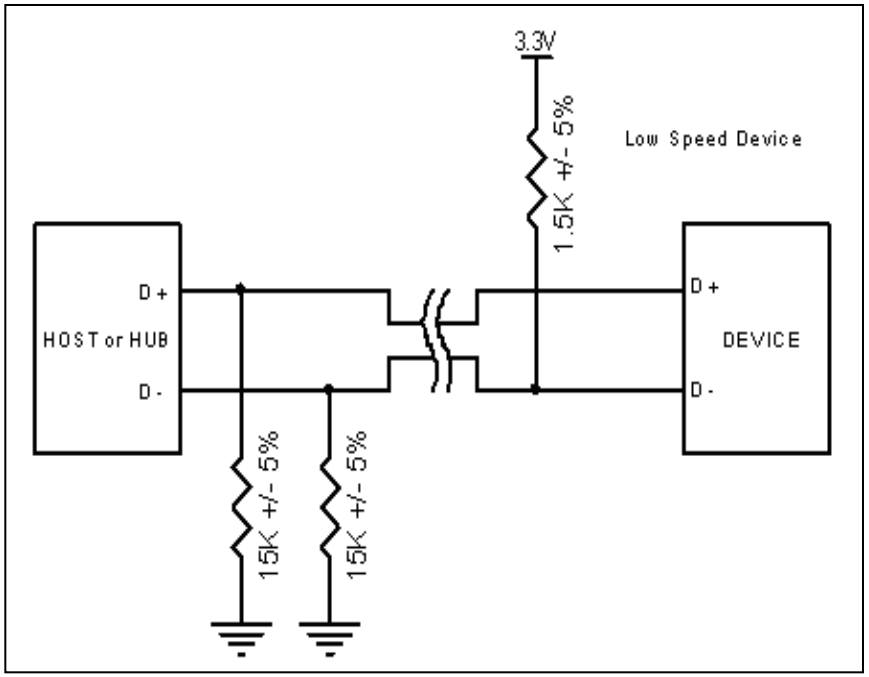
- Resume信号：**20ms的K状态+低速EOP**
  - 主机在挂起设备后可通过翻转数据线上的极性并保持20ms来唤醒设备，并以低速EOP信号结尾
  - 带远程唤醒功能的设备还可自己发起该唤醒信号；前提是设备已进入idle状态至少5ms，然后发出唤醒K信号，维持1ms到15ms，并由主机在1ms内接管来继续驱动唤醒信号
- SOP：从IDLE状态切换到K状态
- EOP：持续2位时间的SE0信号，后跟随1位时间的J状态
  - Keep alive即低速EOP信号



USB设备的插入检测和速度检测



全速、高速设:在D+上集成上拉电阻

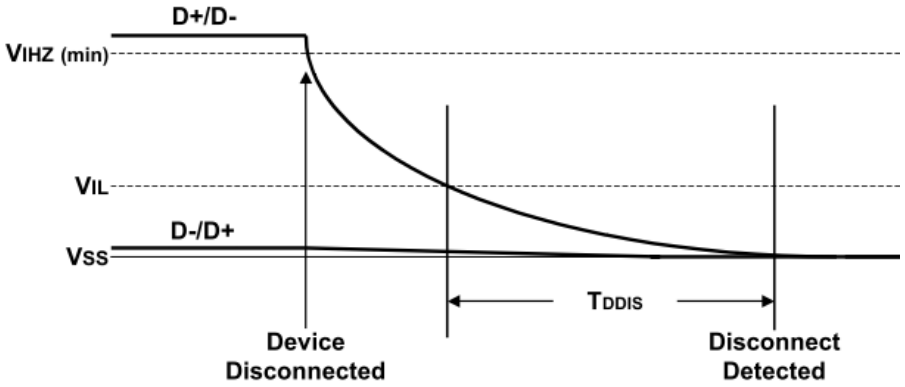


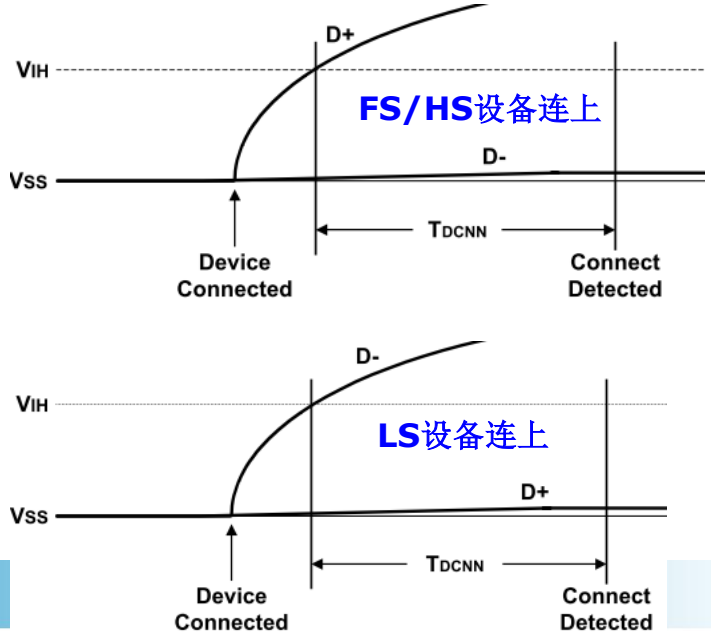
低速设备:在D-上集成上拉电阻

- 主机通过设备在D+或D-上的1.5K上拉来检测设备的连接和断开事件，并由此判别设备的速度
- 主机先把高速设备检测为全速设备，然后再通过“Chirp序列”的总线握手机制来识别高速和全速设备

连接和断开连接

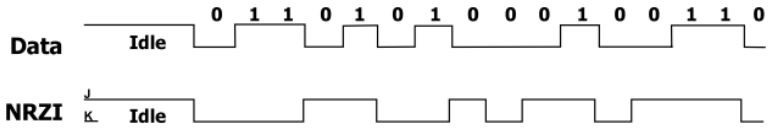
- 没有设备连上主机时
  - D+和D-数据线上的下拉电阻起作用，使得二者都在低电平；主机端看来就是个SE0状态；同样地，当数据线上的SE0状态持续一段时间了，就被主机认为是断开状态
- 设备连上主机时
  - 当主机检测到某一个数据线电平拉高并保持了一段时间，就认为有设备连上来了
  - 主机必需在驱动SE0状态以复位设备之前，立刻采样总线状态来判断设备的速度



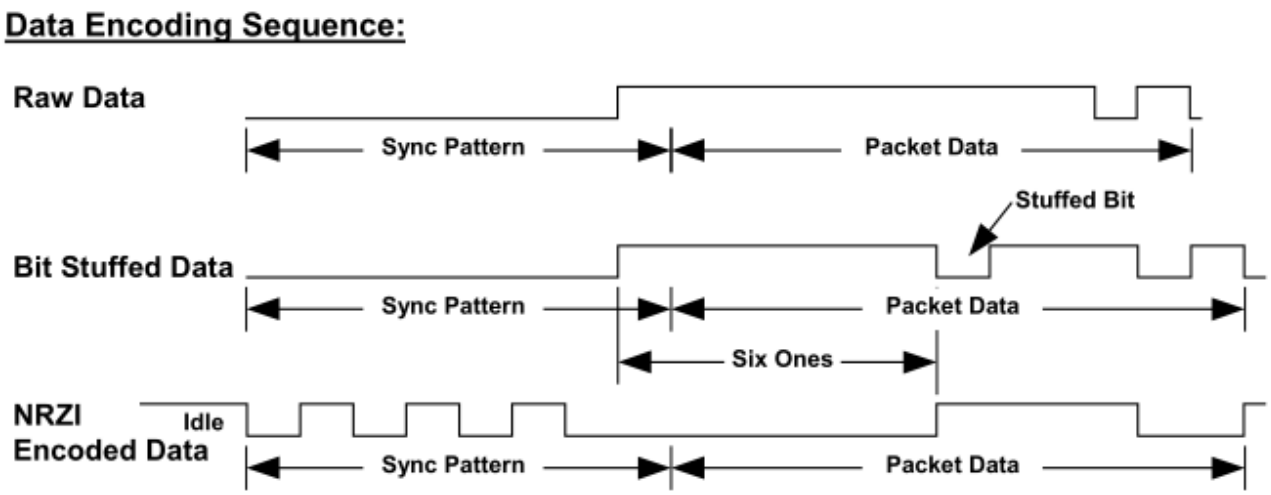


数据编解码和位填充

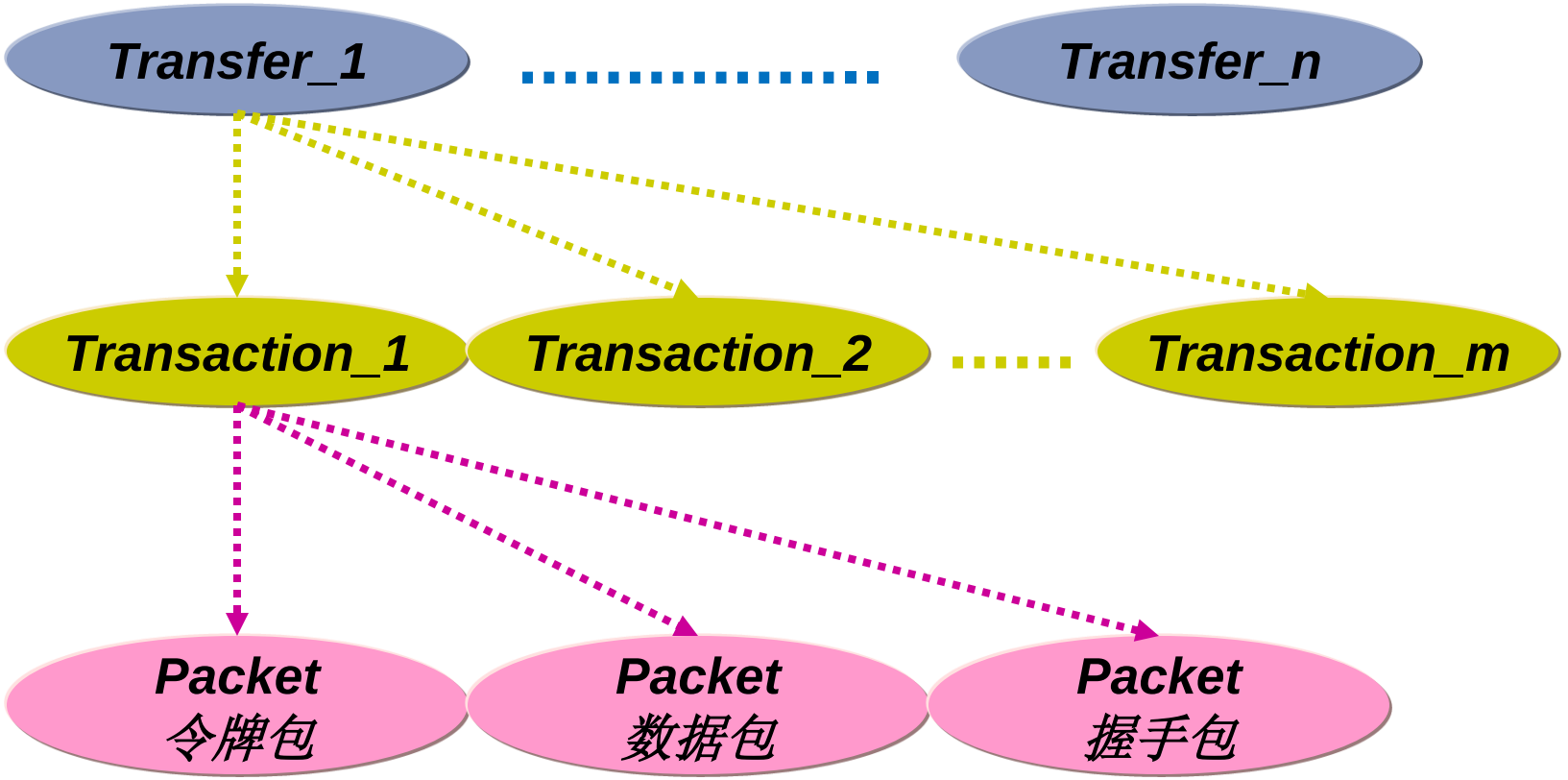
- USB采用NRZI（非归零编码）对发送的数据包进行编码
  - 输入数据0， 编码成“电平翻转”
  - 输入数据1， 编码成“电平不变”
  - 编码出来的序列，高电平：J状态；低电平：K状态



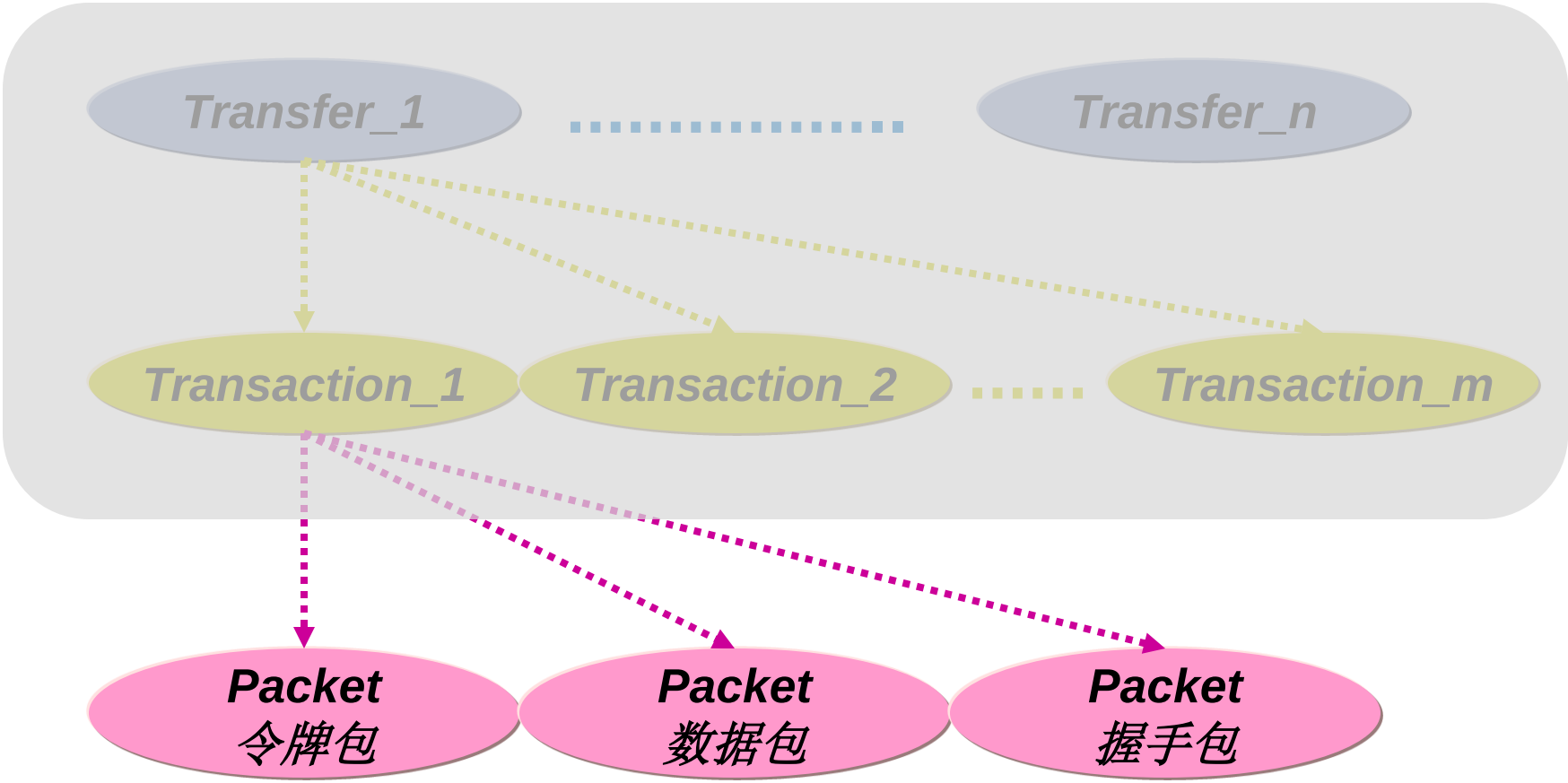
- 位填充是为了保证发送的数据序列中有足够多的电平变化
  - 填充的对象是（输入数据），即先填充再编码
  - 数据流中每6个连续的“1”，就要插入1个“0”，从而保证编码数据出现电平变化
  - 接收方赋值解码NRZI码流，然后识别出填充位，并丢弃它们



USB传输： Packet、Transaction、Transfer

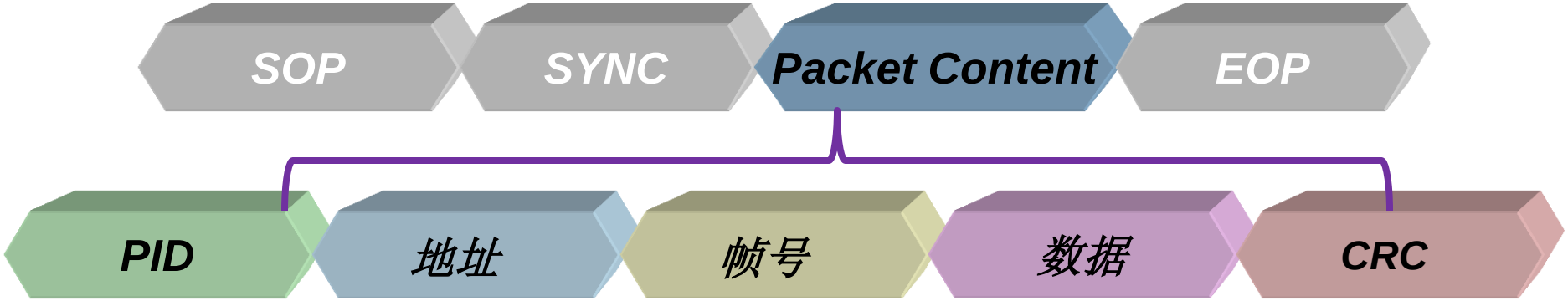


USB传输： Packet、Transaction、Transfer



Packet的组成

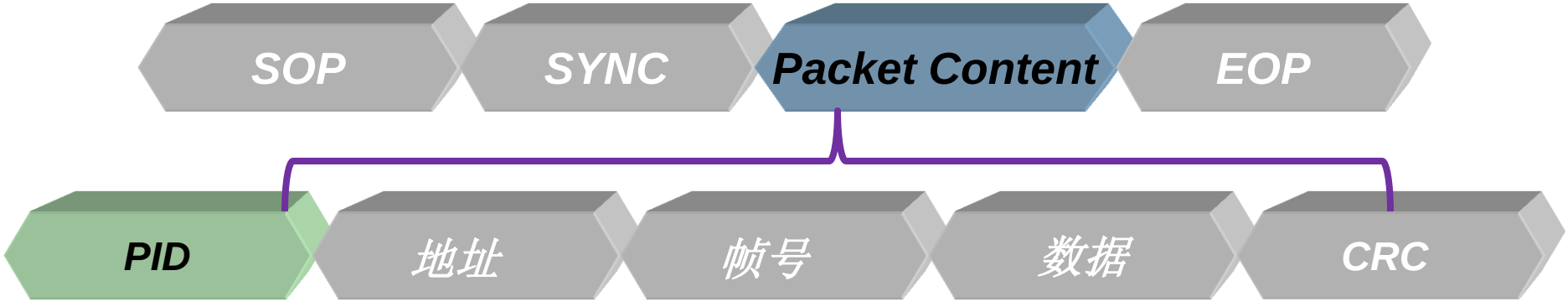
Packet的内容

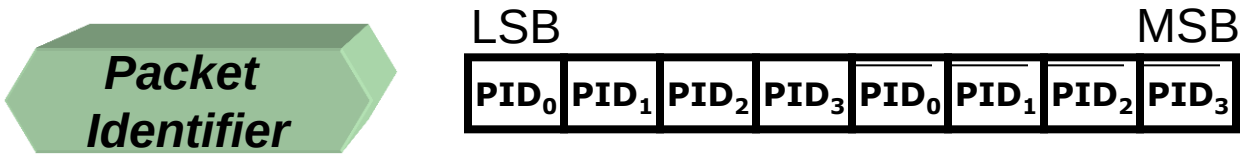


- Packet分四大类：
  - 命令 (Token) Packet
  - 帧首 (Start of Frame) Packet
  - 数据 (Data) Packet
  - 握手 (Handshake) Packet

不同类型包，以上的组成部件有所不同

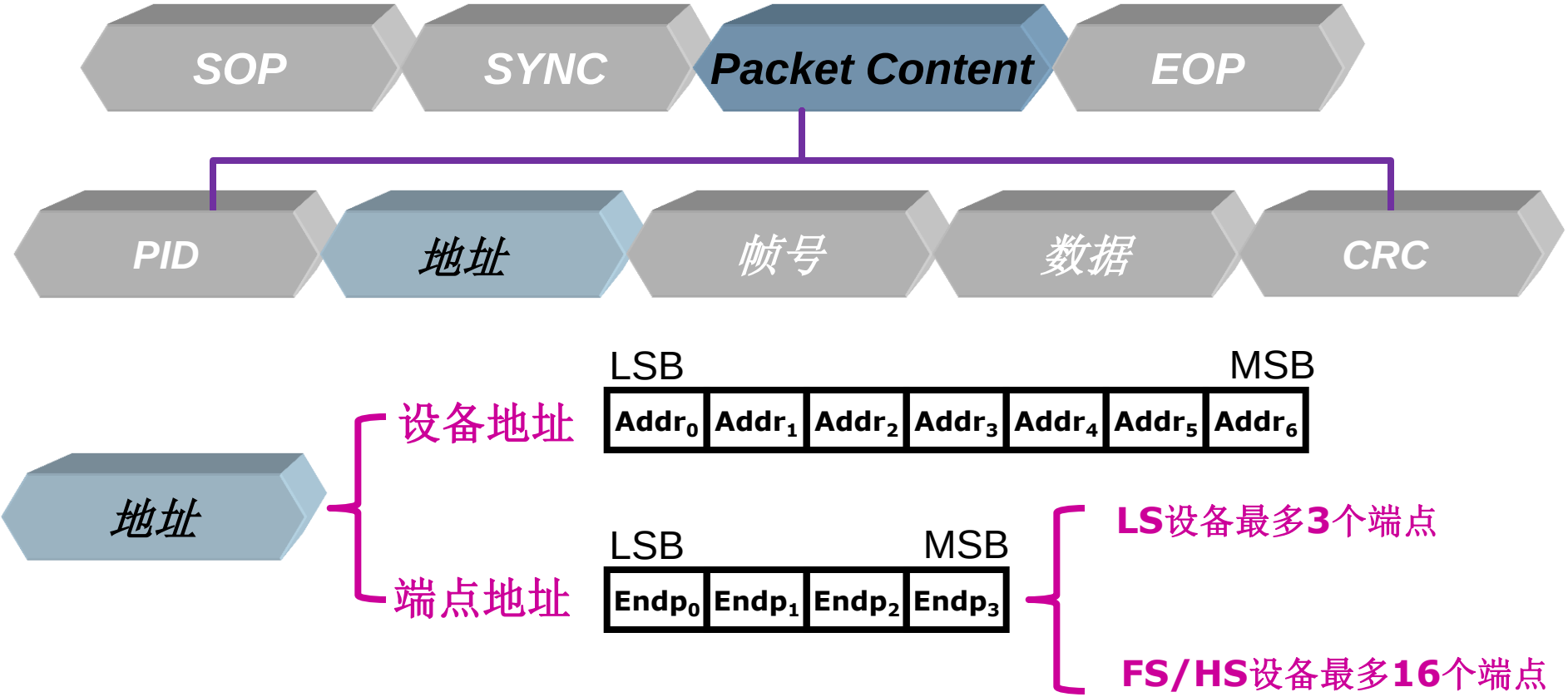
Packet内容之PID域



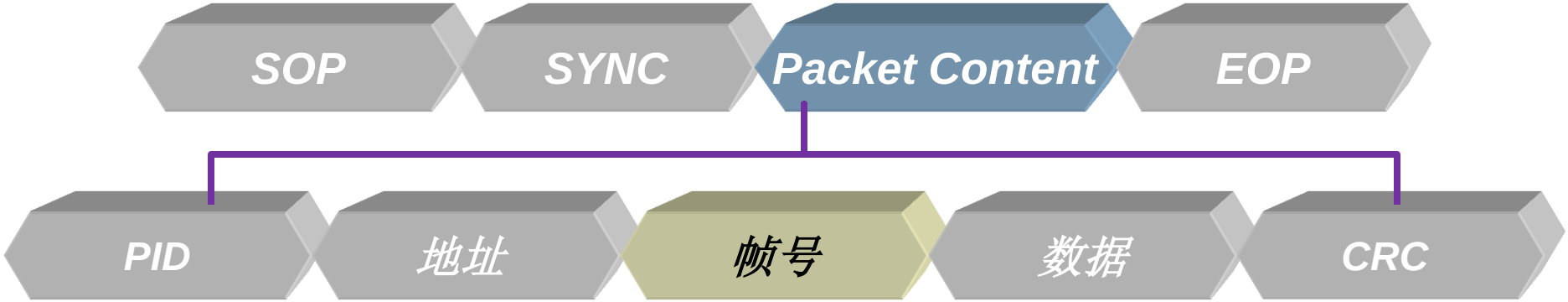


PID 类型	PID 名称	对应packet种类
Token 令牌	OUT /INT /SETUP/ SOF	令牌包、SOF包
Data 数据	DATA0 /DATA1 /DATA2/ MDATA	数据包
Handshake 握手	ACK /NAK /STALL /NYET	握手包
Special 特殊	PRE /ERR /SPLIT /PING	

Packet内容之地址域

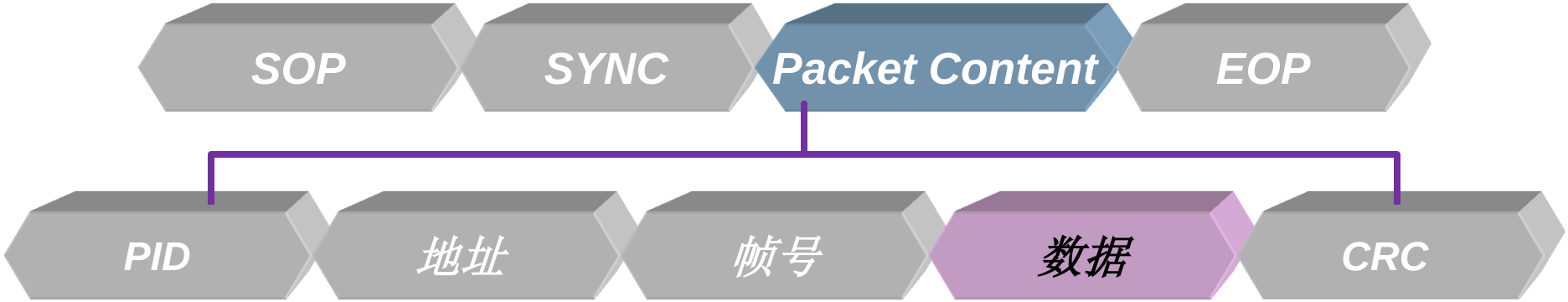


Packet内容之帧号域



- 11 位
- 主机每发出一个帧，帧号都会自加1
- 当帧号达到7FFH时，将归零重新开始计数
- 仅在每个帧的帧首传输一次SOF包

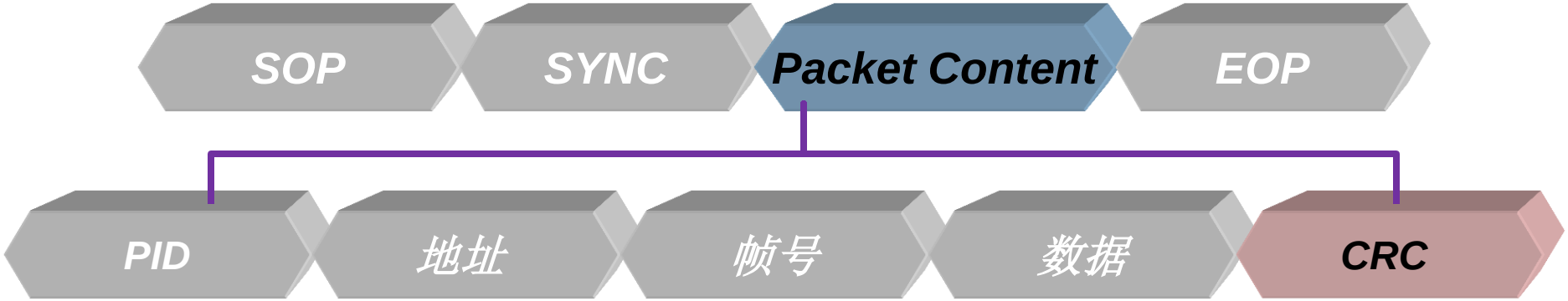
Packet内容之数据域



➢ 根据传输类型的不同，数据域的数据长度从0到1024字节不等

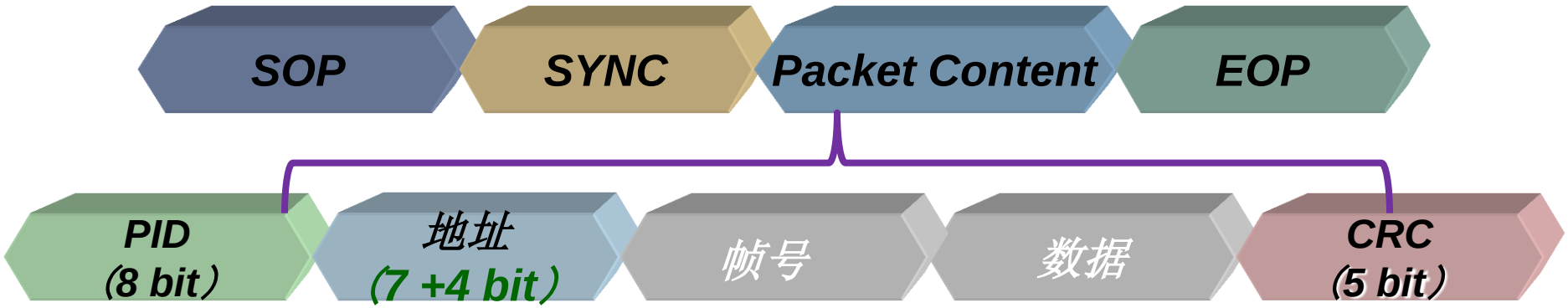
	Control			Bulk			Interrupt			isoch		
	HS	FS	LS	HS	FS	LS	HS	FS	LS	HS	FS	LS
数据包长度	64	64	8	512	64	N.A	1024	64	8	1024	1023	N.A

Packet内容之CRC域



- **Token CRC**
  - 计算地址域和帧号域的CRC
  - $G(X) = X^5 + X^2 + 1$
- **Data CRC**
  - 计算数据域数据的CRC
  - $G(X) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$

四种Packet类型之Token Packet



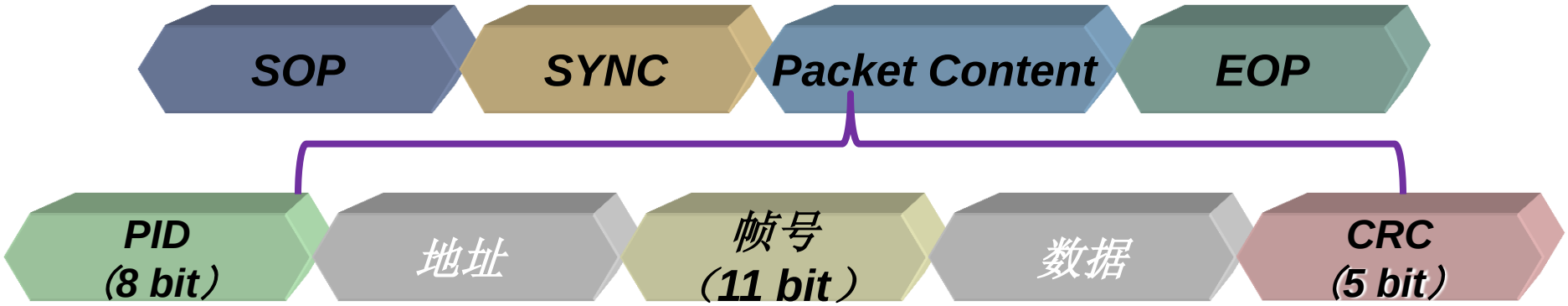
以下三种**PID**可选
>> **IN**
>> **OUT**
>> **SETUP**

由设备地址**ADDR**和端点地址**ENDP**组成

仅对地址域计算

Sync	SETUP	ADDR	ENDP	CRC5	EOP
00000001	0xB4	3	0	0x0A	250.000 ns

四种Packet类型之SOF Packet



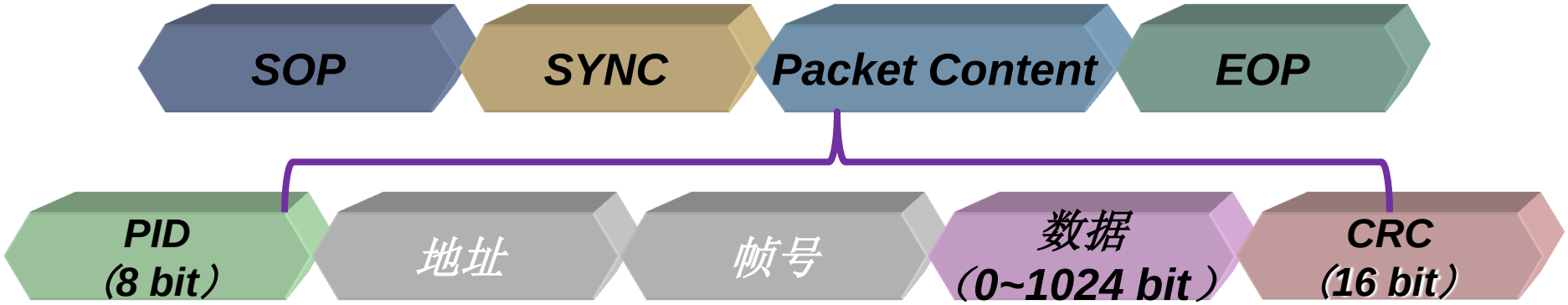
PID = SOF

LS/FS 每1ms一个帧
HS 每125us一个帧

仅对帧号域计算

Sync	SOF	Frame #	CRC5	EOP
00000001	0xA5	1611	0x11	250.000 ns

四种Packet类型之Data Packet



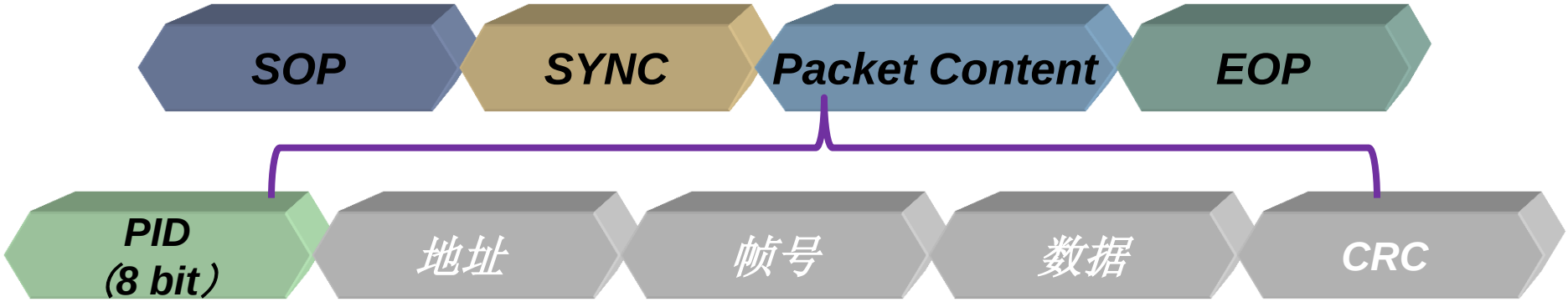
以下四种**PID**可选
>> DATA0
>> DATA1
>> DATA2
>> DATAM

根据**packet**做在的**transfer**类型不同，数据包最大长度有所不同

仅对数据域计算

Sync	DATA0	Data	CRC16	EOP
00000001	0xC3	80 06 00 01 00 00 12 00	0x072F	250.000 ns

四种Packet类型之Handshake Packet



以下四种**PID**可选

>> ACK：传输正确完成

>> NAK：设备暂时没有准备好接收数据，或没有准备好发送数据

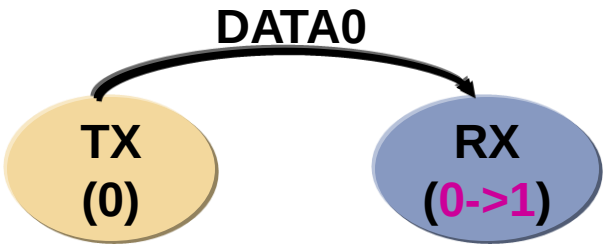
>> STALL：设备不能进行传输

>> NYET/ERR：仅用于高速传输，设备没有准备好或出错

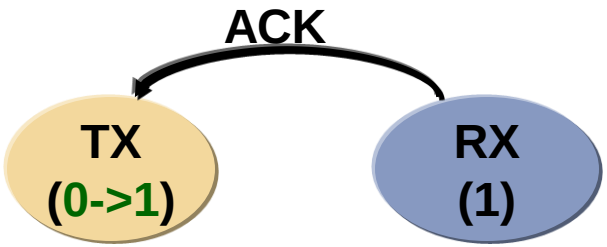
Sync	ACK	EOP
00000001	0x4B	233.330 ns

Data PID toggle用于数据的同步

- 正确的数据传输流程

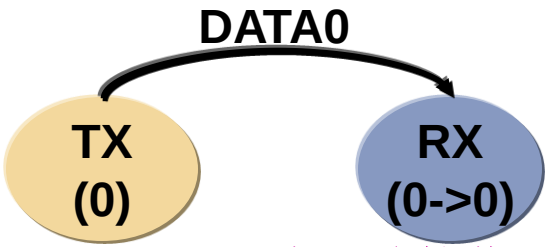


正确接收回复ACK

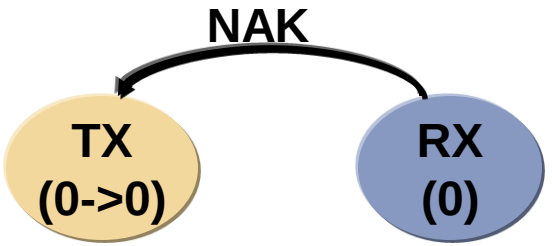


收到ACK

- 当数据被破坏或者没有正确接收



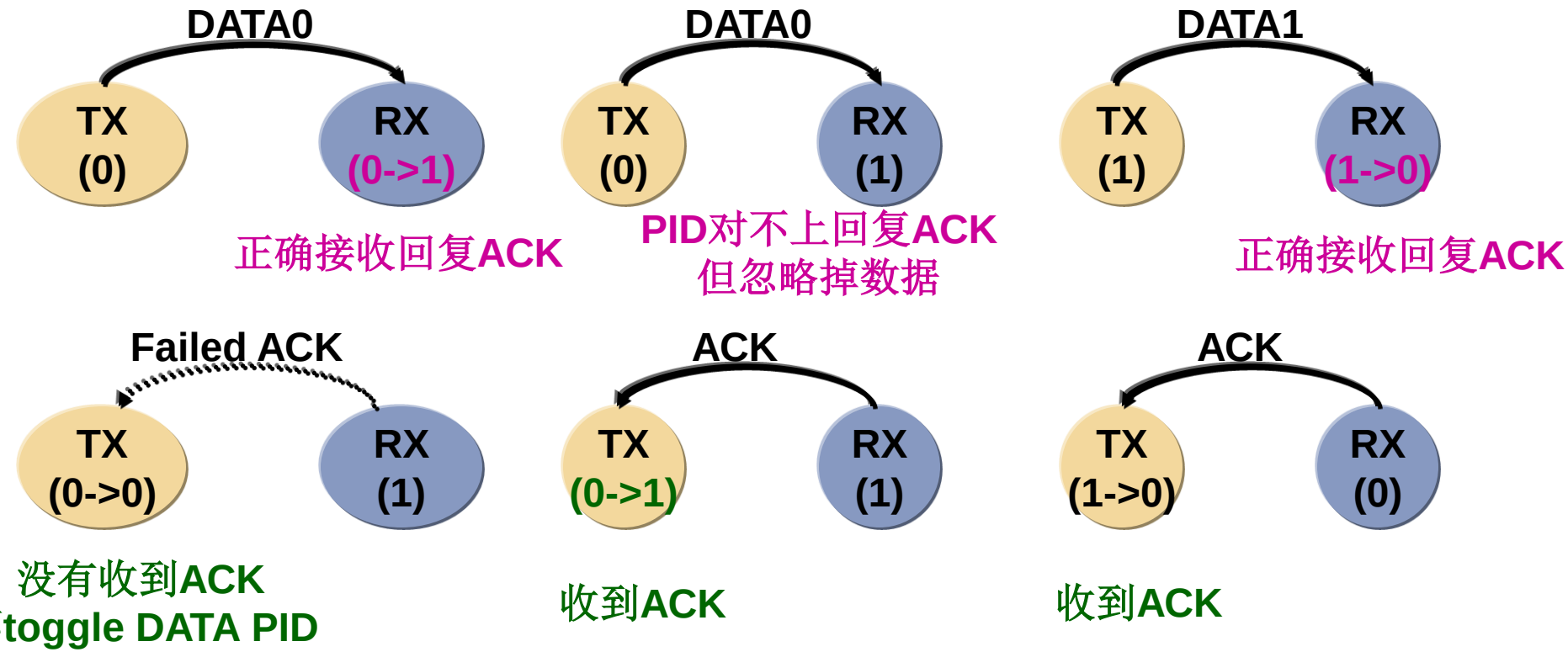
未正确接收回复NAK
不toggle DATA PID



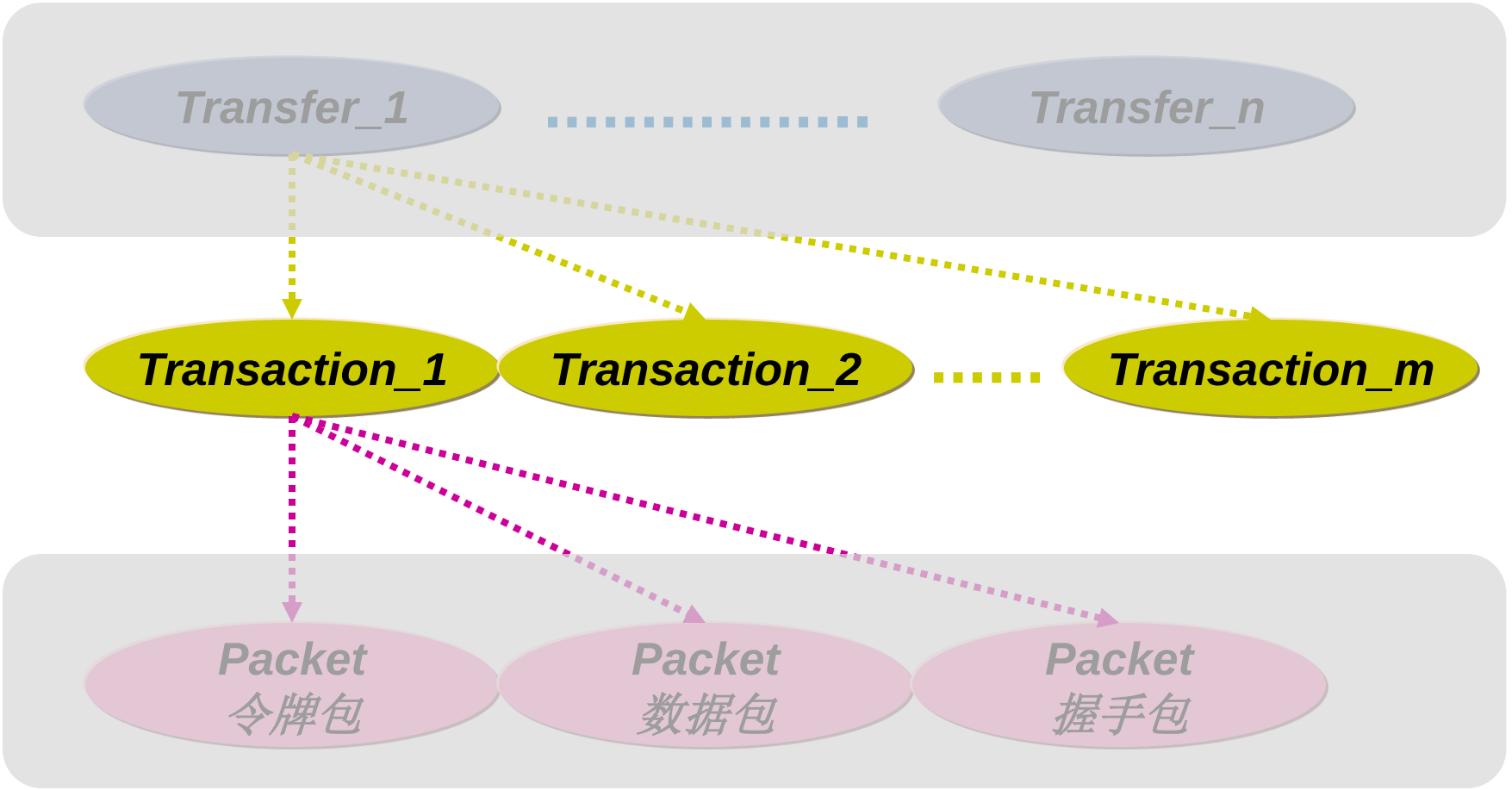
没有收到ACK
不toggle DATA PID

Data PID toggle用于数据的重发

- 当ACK的传输被破坏



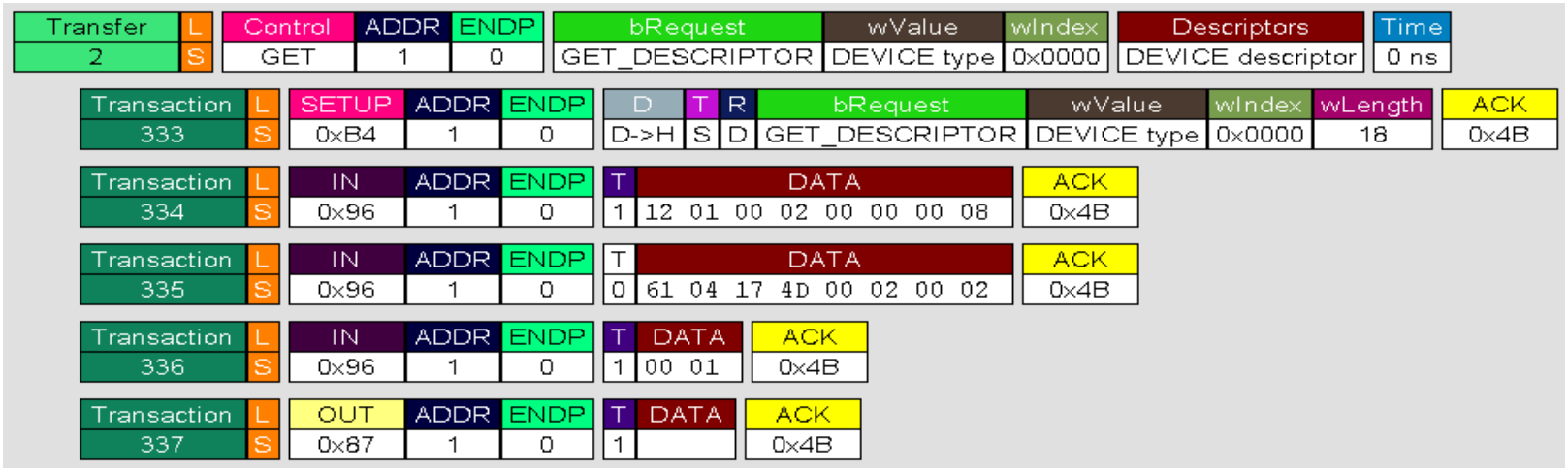
USB传输： Packet、 Transaction、 Transfer



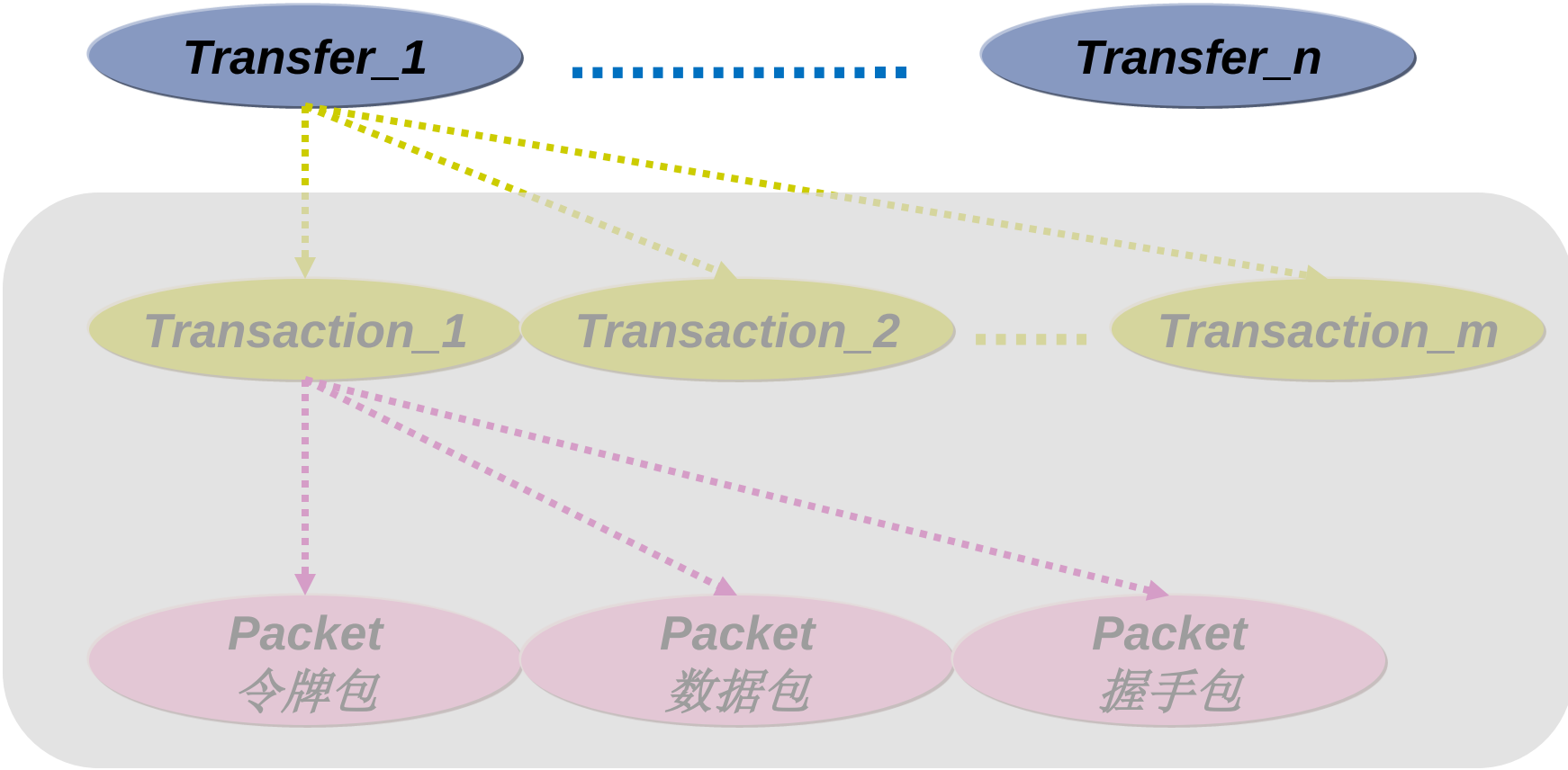
USB transactions

- Transaction可以分成三类
  - Setup transaction：主机用来向设备发送控制命令
  - Data IN transaction：主机用来从设备读取数据
  - Data OUT transaction：主机用来向设备发送数据

  总是由主机发起
- Transaction的packet组成
  - Token packet：**总是由主机发出**
  - Data packet：包含此次transaction的数据负载
  - 可选的Handshake packet



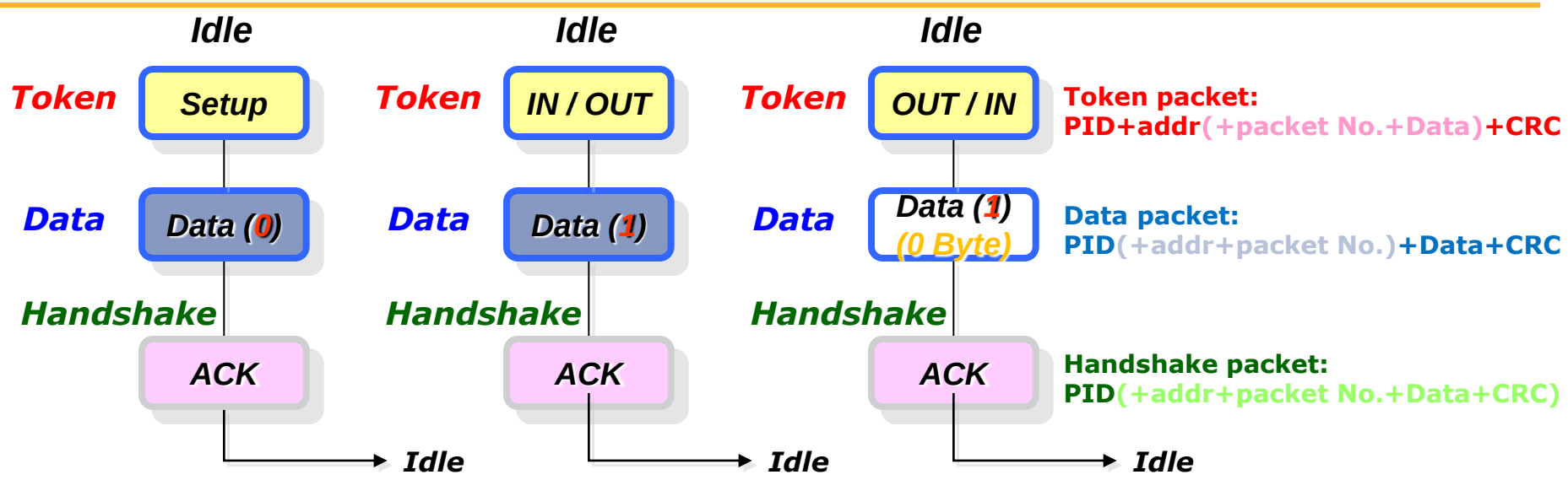
USB传输：Packet、Transaction、Transfer

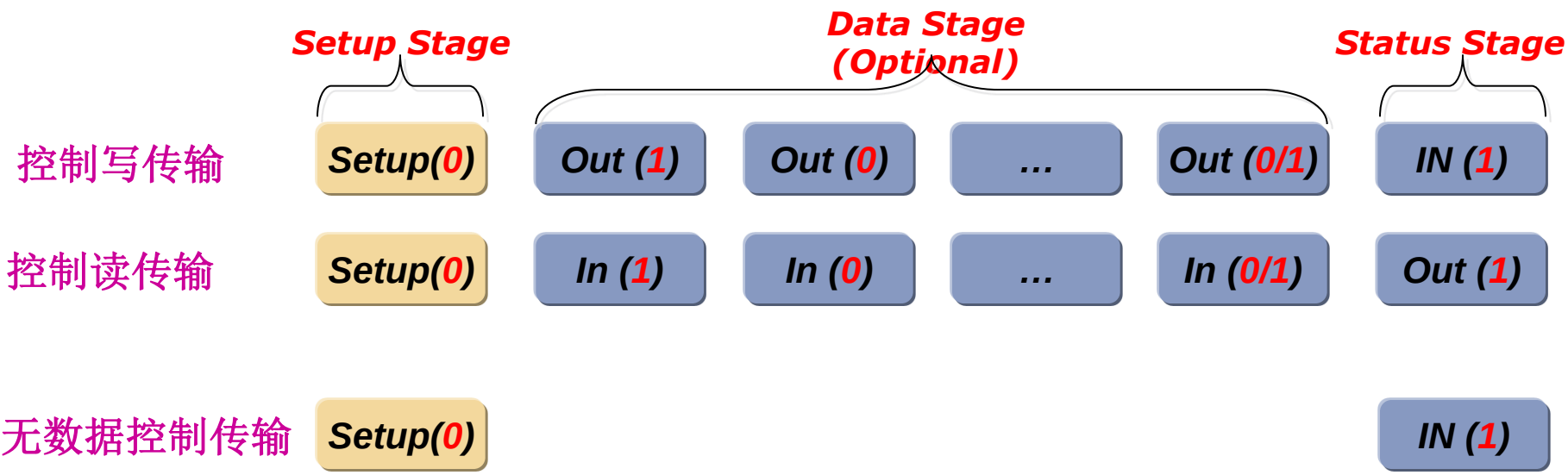


传输类型

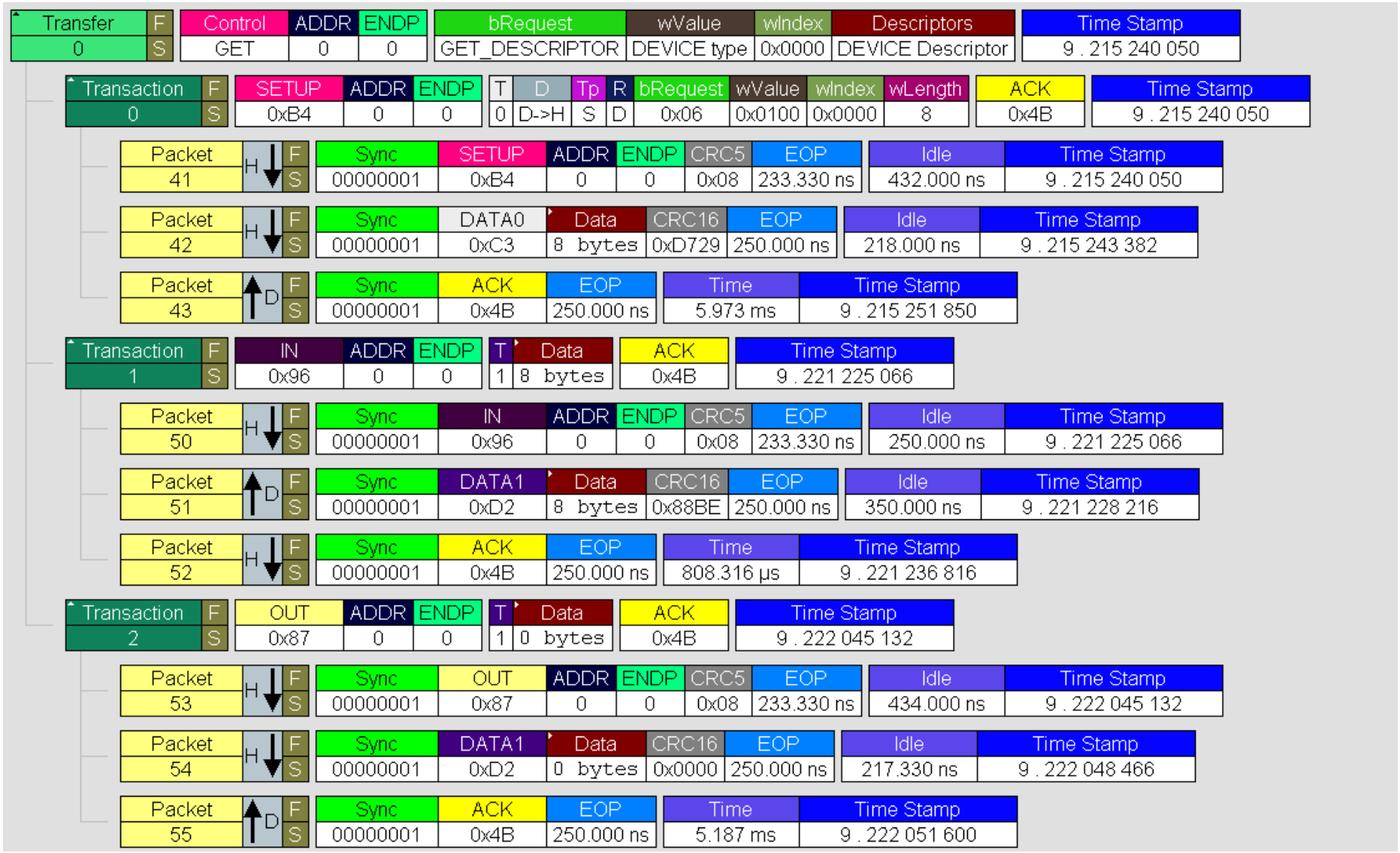
- USB协议定义了四种传输类型：
  - 控制传输(Control Transfers): 非周期性，突发
    - 用于命令和状态的传输
  - 大容量数据传输(Bulk Transfers): 非周期性，突发
    - 大容量数据的通信，数据可以占用任意带宽，并容忍延迟
  - 同步传输(Isochronous Transfers): 周期性
    - 持续性的传输，用于传输与时效相关的信息，并且在数据中保存时间戳的信息
  - 中断传输(Interrupt Transfers): 周期性，低频率
    - 允许有限延迟的通信
- 在每个帧或微帧，主机根据transfer的不同类型要求的带宽安排transfer的传输

控制传输 (1)


Idle
Idle
Idle
Token
Setup
Token
IN / OUT
Token
OUT / IN
Token packet:
PID+addr(+packet No.+Data)+CRC
Data
Data (0)
Data
Data (1)
Data
Data (1)
(0 Byte)
Data packet:
PID(+addr+packet No.)+Data+CRC
Handshake
ACK
Handshake
ACK
Handshake
ACK
Handshake packet:
PID(+addr+packet No.+Data+CRC)
Idle
Idle
Idle


Setup Stage
Data Stage
(Optional)
Status Stage
控制写传输
Setup(0)
Out (1)
Out (0)
…
Out (0/1)
IN (1)
控制读传输
Setup(0)
In (1)
In (0)
…
In (0/1)
Out (1)
无数据控制传输
Setup(0)
IN (1)

控制传输 (2)



Transfer	F	Control	ADDR	ENDP	bRequest	wValue	wIndex	Descriptors	Time Stamp
0	S	GET	0	0	GET_DESCRIPTOR	DEVICE type	0x0000	DEVICE Descriptor	9 . 215 240 050

Transaction	F	SETUP	ADDR	ENDP	T	D	Tp	R	bRequest	wValue	wIndex	wLength	ACK	Time Stamp
0	S	0xB4	0	0	0	D->H	S	D	0x06	0x0100	0x0000	8	0x4B	9 . 215 240 050

Packet	H	F	Sync	SETUP	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
41		S	00000001	0xB4	0	0	0x08	233.330 ns	432.000 ns	9 . 215 240 050

Packet	H	F	Sync	DATA0	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
42		S	00000001	0xC3	8 bytes	0xD729	250.000 ns	218.000 ns	9 . 215 243 382

Packet	D	F	Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
43		S	00000001	0x4B	250.000 ns	5.973 ms	9 . 215 251 850

Transaction	F	IN	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
1	S	0x96	0	0	1	8 bytes	0x4B	9 . 221 225 066

Packet	H	F	Sync	IN	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
50		S	00000001	0x96	0	0	0x08	233.330 ns	250.000 ns	9 . 221 225 066

Packet	D	F	Sync	DATA1	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
51		S	00000001	0xD2	8 bytes	0x88BE	250.000 ns	350.000 ns	9 . 221 228 216

Packet	H	F	Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
52		S	00000001	0x4B	250.000 ns	808.316 µs	9 . 221 236 816

Transaction	F	OUT	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
2	S	0x87	0	0	1	0 bytes	0x4B	9 . 222 045 132

Packet	H	F	Sync	OUT	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
53		S	00000001	0x87	0	0	0x08	233.330 ns	434.000 ns	9 . 222 045 132

Packet	H	F	Sync	DATA1	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
54		S	00000001	0xD2	0 bytes	0x0000	250.000 ns	217.330 ns	9 . 222 048 466

Packet	D	F	Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
55		S	00000001	0x4B	250.000 ns	5.187 ms	9 . 222 051 600

控制传输 (3)

- **特性:**
  - 每个USB设备都必须有控制端点，支持控制传输来进行命令和状态的传输。USB主机驱动将通过控制传输与USB设备的控制端点通信，完成USB设备的枚举和配置

- **方向:**
  - 控制传输是双向的传输，必须有IN和OUT两个方向上的特定端点号的控制端点来完成两个方向上的控制传输

数据的拆分和数据传输完毕的判定

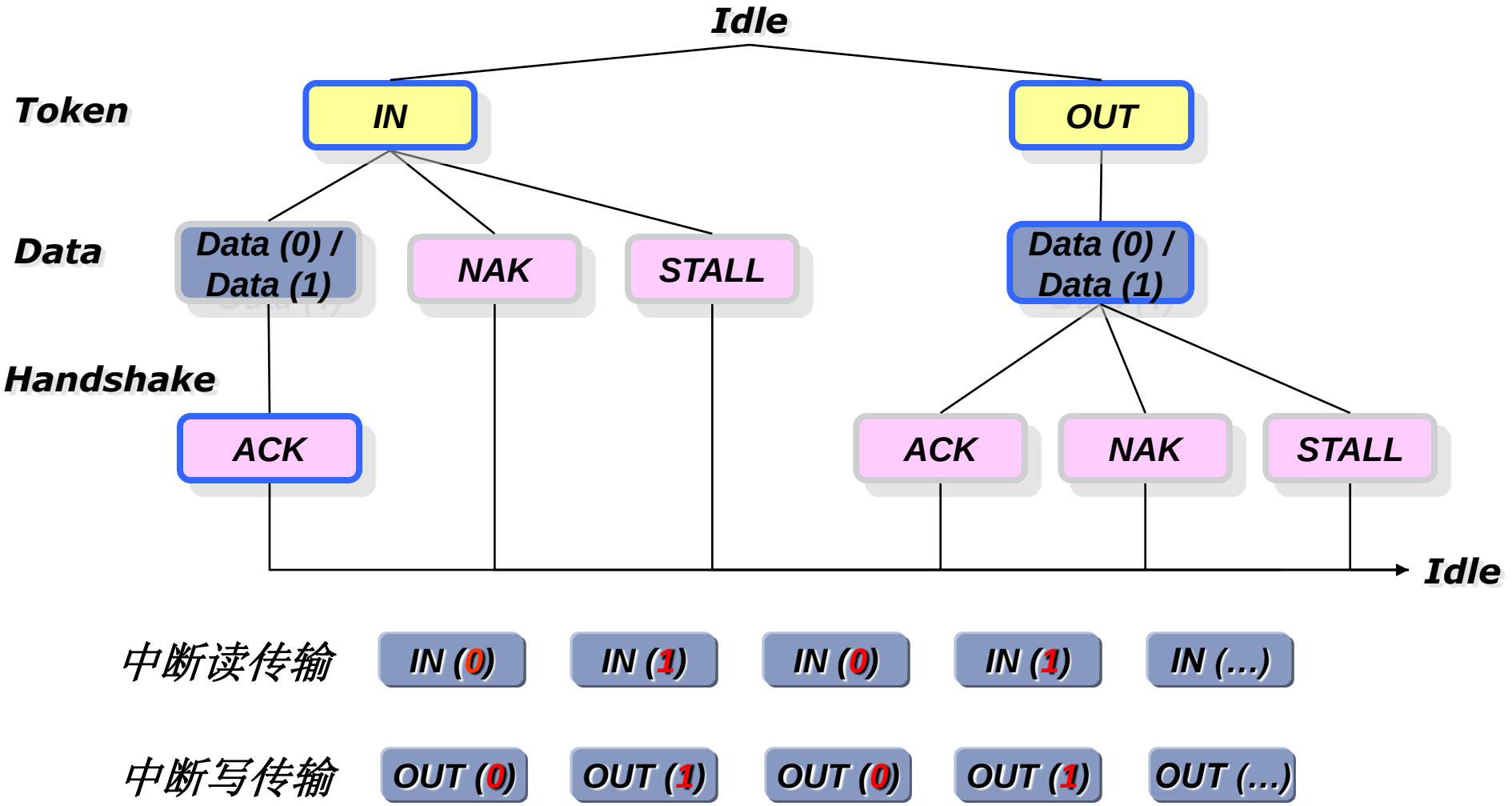
- 以高速设备的最大数据包长度64字节为例
- 要传输250字节，拆分成4个packet

64字节 + **64字节** + **64字节** + **58字节**

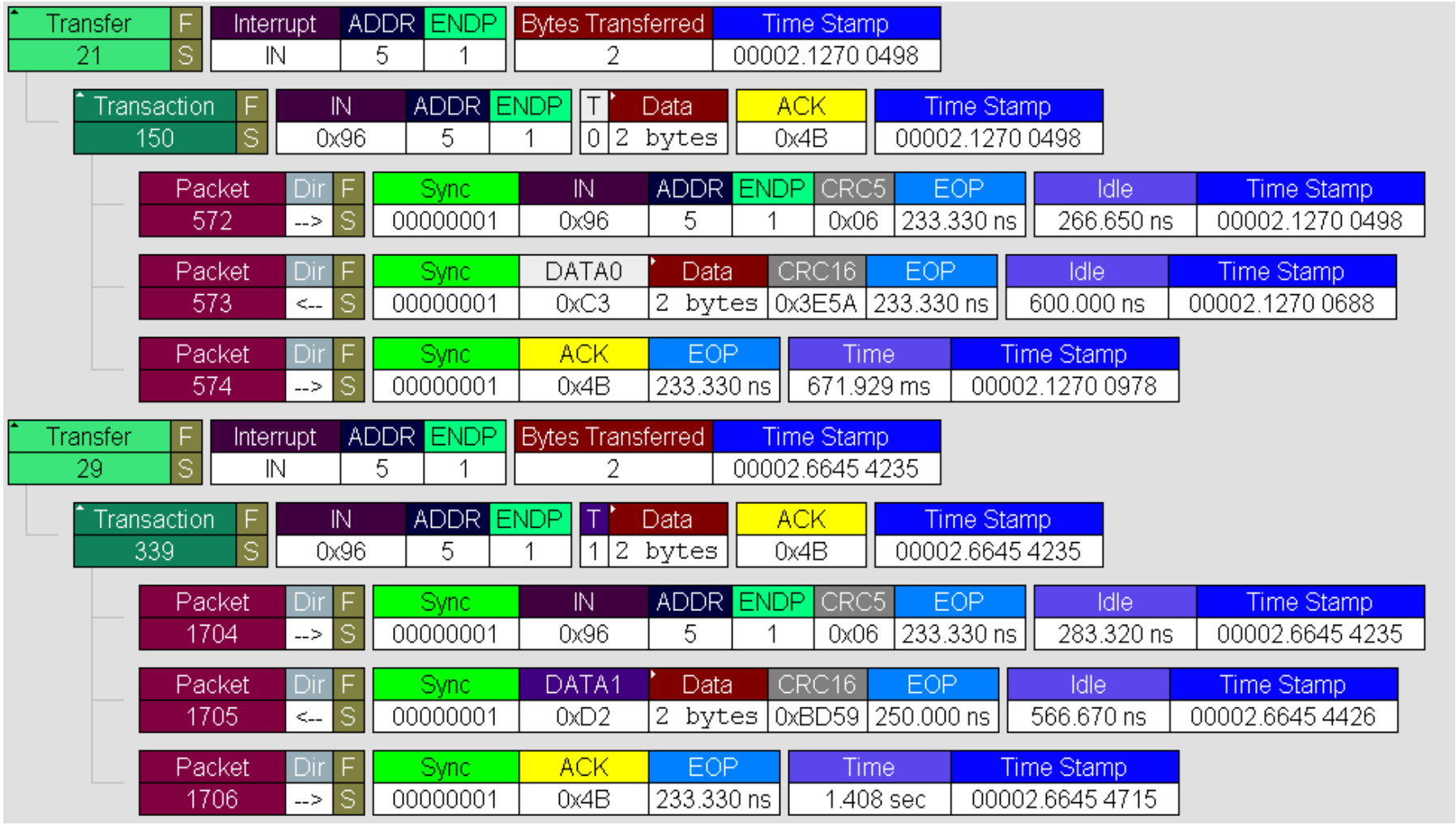
- 要传输正好256字节，通过最后一个0字节包告诉设备传输完成

64字节 + **64字节** + **64字节** + **64字节** + **0字节**

中断传输 (1)


Idle
Token
IN
OUT
Data
Data (0) / Data (1)
NAK
STALL
Data (0) / Data (1)
Handshake
ACK
ACK
NAK
STALL
Idle
中断读传输
IN (0)
IN (1)
IN (0)
IN (1)
IN (…)
中断写传输
OUT (0)
OUT (1)
OUT (0)
OUT (1)
OUT (…)

中断传输 (2)



Transfer	F	Interrupt	ADDR	ENDP	Bytes Transferred	Time Stamp
21	S	IN	5	1	2	00002.1270 0498

Transaction	F	IN	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
150	S	0x96	5	1	0	2 bytes	0x4B	00002.1270 0498

Packet	Dir	F	Sync	IN	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
572	-->	S	00000001	0x96	5	1	0x06	233.330 ns	266.650 ns	00002.1270 0498

Packet	Dir	F	Sync	DATA0	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
573	<--	S	00000001	0xC3	2 bytes	0x3E5A	233.330 ns	600.000 ns	00002.1270 0688

Packet	Dir	F	Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
574	-->	S	00000001	0x4B	233.330 ns	671.929 ms	00002.1270 0978

Transfer	F	Interrupt	ADDR	ENDP	Bytes Transferred	Time Stamp
29	S	IN	5	1	2	00002.6645 4235

Transaction	F	IN	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
339	S	0x96	5	1	1	2 bytes	0x4B	00002.6645 4235

Packet	Dir	F	Sync	IN	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
1704	-->	S	00000001	0x96	5	1	0x06	233.330 ns	283.320 ns	00002.6645 4235

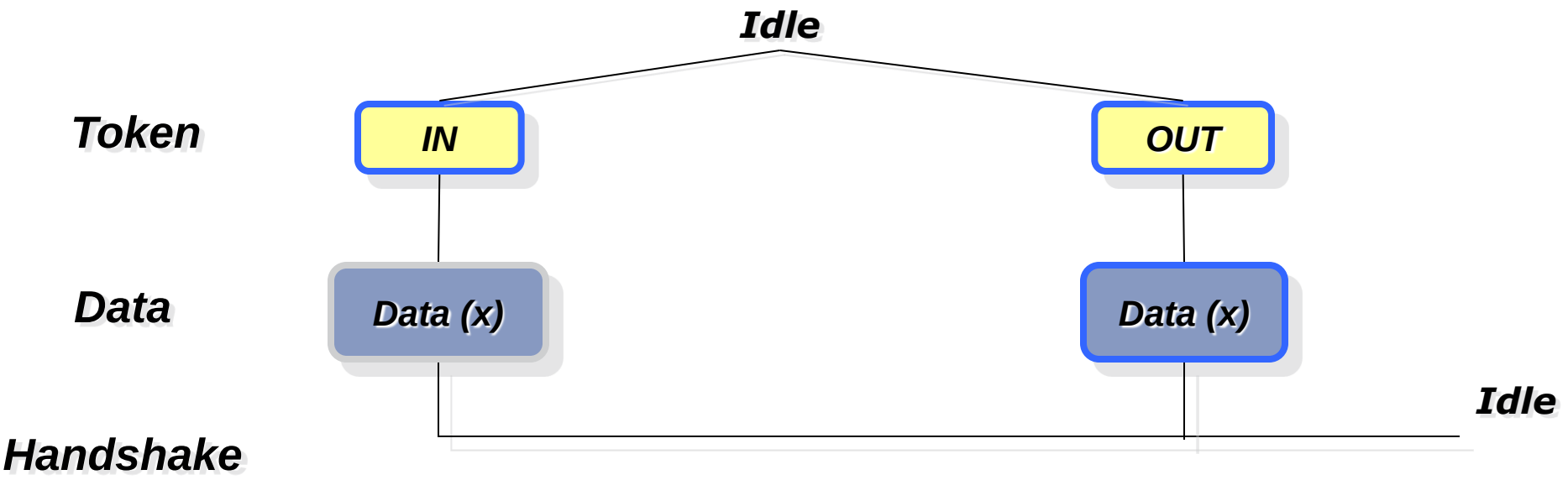
Packet	Dir	F	Sync	DATA1	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
1705	<--	S	00000001	0xD2	2 bytes	0xBD59	250.000 ns	566.670 ns	00002.6645 4426

Packet	Dir	F	Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
1706	-->	S	00000001	0x4B	233.330 ns	1.408 sec	00002.6645 4715

中断传输 (3)

- **特性:**
  - 中断传输用于那些频率不高，但对周期有一定要求的数据传输。具有保证的带宽，并能在下个周期对先前错误的传输进行重传。
  - 对于全速端点，中断传输的间隔时间在1ms到255ms之间, 对于低速端点，间隔时间限制在10ms到255ms之间, 对于高速端点，间隔为 $2^{bInterval-1} \times 125us$, bInterval的值在1到16之间。
- **方向:**
  - 中断传输总是单向的，可以用单向的中断端点来实现某个方向上的中断传输。

同步传输 (1)



同步读传输 IN (0) IN (0) IN (0) IN (0) IN (…)

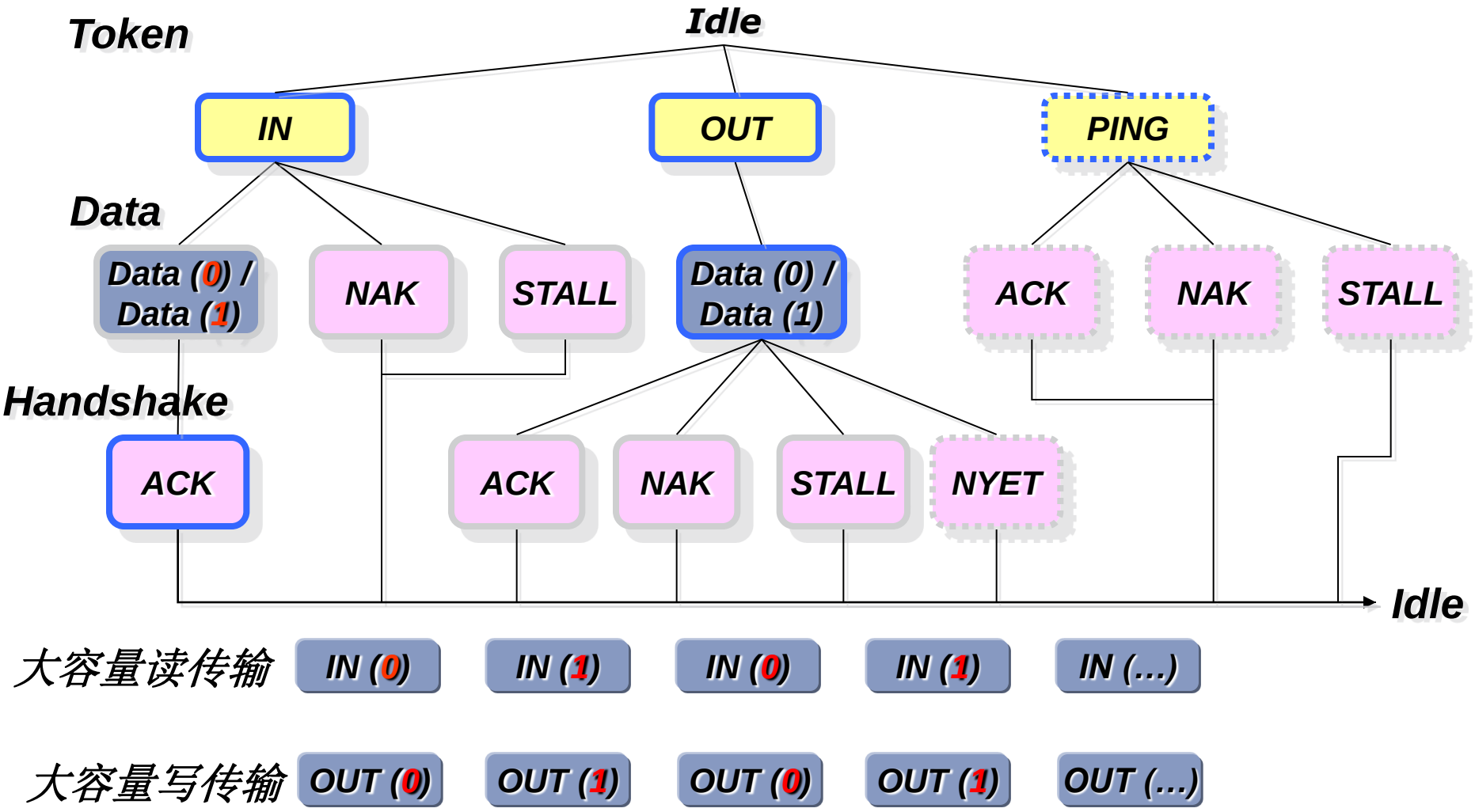
同步写传输 OUT (0) OUT (0) OUT (0) OUT (0) OUT (…)

同步传输 (2)

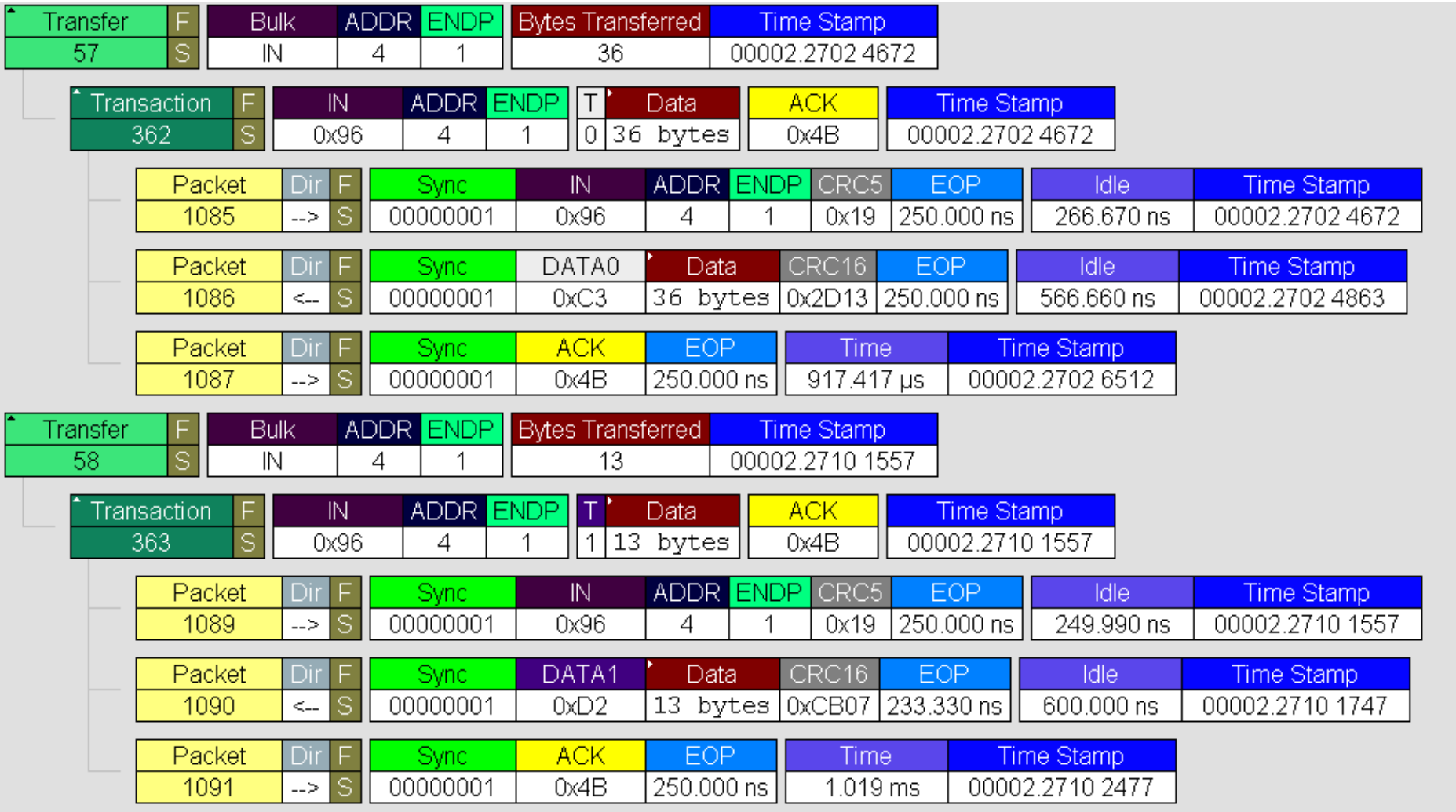
- **特性:**
  - 同步传输用于传输那些需要保证带宽，并且不能忍受延迟的信息。整个带宽都将用于保证同步传输的数据完整，并且不支持出错重传

- **方向:**
  - 同步传输总是单向的，可以使用单向的同步端点来实现某个方向上的同步传输。

大容量数据传输 (1)


Token
Idle
IN
OUT
PING
Data
Data (0) / Data (1)
NAK
STALL
Data (0) / Data (1)
ACK
NAK
STALL
Handshake
ACK
ACK
NAK
STALL
NYET
Idle
大容量读传输
IN (0)
IN (1)
IN (0)
IN (1)
IN (…)
大容量写传输
OUT (0)
OUT (1)
OUT (0)
OUT (1)
OUT (…)

大容量数据传输 (2)



Transfer	F
57	S

Bulk	ADDR	ENDP	Bytes Transferred	Time Stamp
IN	4	1	36	00002.2702 4672

Transaction	F
362	S

IN	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
0x96	4	1	0	36 bytes	0x4B	00002.2702 4672

Packet	Dir	F
1085	-->	S

Sync	IN	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
00000001	0x96	4	1	0x19	250.000 ns	266.670 ns	00002.2702 4672

Packet	Dir	F
1086	<--	S

Sync	DATA0	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
00000001	0xC3	36 bytes	0x2D13	250.000 ns	566.660 ns	00002.2702 4863

Packet	Dir	F
1087	-->	S

Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
00000001	0x4B	250.000 ns	917.417 µs	00002.2702 6512

Transfer	F
58	S

Bulk	ADDR	ENDP	Bytes Transferred	Time Stamp
IN	4	1	13	00002.2710 1557

Transaction	F
363	S

IN	ADDR	ENDP	T	Data	ACK	Time Stamp
0x96	4	1	1	13 bytes	0x4B	00002.2710 1557

Packet	Dir	F
1089	-->	S

Sync	IN	ADDR	ENDP	CRC5	EOP	Idle	Time Stamp
00000001	0x96	4	1	0x19	250.000 ns	249.990 ns	00002.2710 1557

Packet	Dir	F
1090	<--	S

Sync	DATA1	Data	CRC16	EOP	Idle	Time Stamp
00000001	0xD2	13 bytes	0xCB07	233.330 ns	600.000 ns	00002.2710 1747

Packet	Dir	F
1091	-->	S

Sync	ACK	EOP	Time	Time Stamp
00000001	0x4B	250.000 ns	1.019 ms	00002.2710 2477

大容量数据传输 (3)

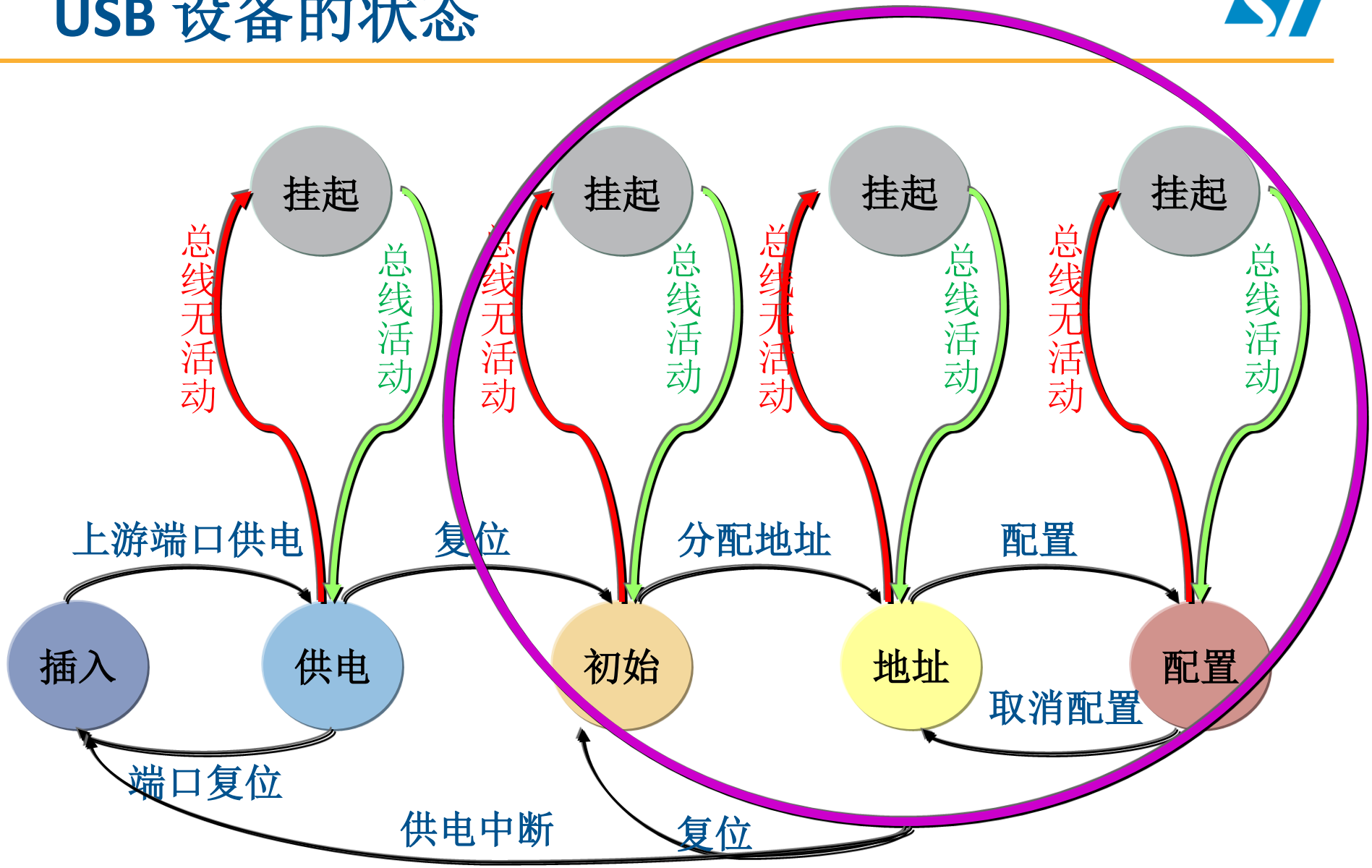
- **特性:**
  - 大容量数据传输适用于那些需要大数据量传输，但是对实时性，对延迟性和带宽没有严格要求的应用。大容量传输可以占用任意可用的数据带宽。

- **方向:**
  - 大容量传输是单向的，可以用单向的大容量传输端点来实现某个方向的大容量传输。

各种transfer特性比较

	Control			Bulk			Interrupt			isoch		
	HS	FS	LS	HS	FS	LS	HS	FS	LS	HS	FS	LS
带宽	保证			没有保证			有限的保留带宽			保证、传输率固定		
	20%	10%	10%				23.4M B/s	62.5 K B/s	800 B/s		999 K B/s	2.9M B/s
最大数据包长度	64	64	8	512	64	**N.A**	1024	64	8	1024	1023	**N.A**
传输错误管理	握手包、PID翻转			握手包、PID翻转			握手包、PID翻转			无错误纠察		
组成	Setup stage + Optional Data stage + Status stage			一个或多个Data transaction (IN or OUT)			一个Data transaction (IN)			一个或多个Data transaction (IN or OUT)		

USB 设备的状态


挂起
挂起
挂起
挂起
总线无活动
总线活动
总线无活动
总线活动
总线无活动
总线活动
总线无活动
总线活动
上游端口供电
复位
分配地址
配置
插入
供电
初始
地址
配置
取消配置
端口复位
供电中断
复位

当设备连上以后……

- 主机(下称H):你是什么设备?
- 设备(下称D):12 **01** 0100……Device Descriptor
- H:你有几种功能?
- D:09 **02** 09……Configuration Descriptor
- H:每个功能有几个接口?
- D:09 **04** 00……Interface Descriptor
- H:每个接口使用哪几个端点?
- D:06 **05** 82……Endpoint Descriptor
- H:好了,我知道你是谁了,开始传输数据吧!
- D:OK, Read Go ☺
  - 描述子的长度
  - **描述子的类型编号**

03为String描述符，一般省略不提供

Descriptor Types	Value
DEVICE	1
CONFIGURATION	2
STRING	3
INTERFACE	4
ENDPOINT	5
DEVICE_QUALIFIER	6
OTHER_SPEED_CONFIGURATION	7
INTERFACE_POWER	8
OTG	9
DEBUG	10
INTERFACE_ASSOCIATION	11

USB 设备枚举

当一个USB设备插入主机后，会有以下活动:

- 供电
- 复位
- 获取Device Descriptor前8个字节信息
- 复位 (可选)
- 分配地址
- 获取Device Descriptor
- 获取Configuration Descriptor
- 获取String Descriptor (可选)
- 配置

枚举过程

设备描述符（Device Descriptor）

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	数字	该描述子包含的字节数目	一般都是18
1	bDescripotorType	1	常数	【设备描述符的类型常数】	1
2	bcdUSB	2	BCD	该设备符合遵循的USB协议版本号	
4	bDeviceClass	1	Class	参见P80，USB类编码	一般都是0
5	bDeviceSubClass	1	SubClass	由USB-IF分配的	
6	bDeviceProtocol	1	Protocol		
7	bMaxPacketSize0	1	数字	EP0的最大包长	HS设备必须是64
8	idVendor	2	ID	USB-IF分配的	0x0483
10	iProduct	2	ID	厂家分配的	0x5710
12	bcdDevice	2	BCD	该设备自身的版本号	
14	iManufacturer	1	Index	各自在众多字符串描述符中的序号	
15	iProduct	1	Index		
16	iSerialNumber	1	index		
17	bNumConfigurations	1	数字	该设备在当前速度下支持多少种Configuration	

以Joystick为例

Joystick_DeviceDescriptor[ ] =

```
{
 0x12,              /* 整个Descriptor的长度：18字节 */
 0x01,              /* Descriptor的类别：Device Descriptor(0x01) */
 0x00, 0x02,        /* 设备所遵循的USB协议的版本号：2.00 */
 0x00,              /* 设备所实现的类：由每个接口描述符描述所实现的类*/
 0x00,              /* 设备所实现的子类：由每个接口描述符描述 */
 0x00,              /* 设备所遵循的协议类别：由每个接口描述符描述*/
 0x40,              /* 端点0的最大数据包长度：64字节*/
 0x83, 0x04,        /* IDVendor:  0x0483 (for ST) */
 0x10, 0x57,        /* IDProduct: 0x5710 */
 0x00, 0x02,        /* bcdDevice: 2.00*/
 1,                 /* 用于描述生产厂商的字符描述符的索引号 */
 2,                 /* 用于描述产品的字符描述符的索引号*/
 3,                 /* 用于描述产品系列号的字符描述符的索引号*/
 0x01               /* 设备所支持的配置数目：1*/
}
```

配置描述符（Configuration Descriptor）

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	数字	该描述子包含的字节数目	一般都是9
1	bDescripotorType	1	常数	【配置描述符的类型常数】	2
2	wTotalLength	2	数字	包含了所有描述子的长度（配置、接口、端点、类相关、厂商相关）	X：当主机要求配置描述符时，所有相关的接口、端点描述符都要返回
4	bNumInterfaces	1	数字	该配置包含几个接口	
5	bConfigurationValue	1	数字	选择该配置时，传递给SetConfiguration()的参数	
6	iConfiguration	1	index	在众多字符串描述符中的序号	
7	bmAttributes	1	位图	D7：保留为1 D6：是否由总线供电 D5：是否支持远程唤醒 D4~D0：保留为0	鼠标通常是0xE0
8	bMaxPower	1	mA	该设备在该configuration下全速工作时需要从总线获取的电流（以2mA为单位）	

以Joystick为例

```
Joystick_ConfigurationDescriptor[ ] =
    0x09,                          /* 描述符的长度：9字节 */
    0x02,                          /* 描述符的类型: 0x02 配置描述符 */
    JOYSTICK_SIZ_CONFIG_DESC, 0x00,        /* 完整的描述符包括接口描述符、
                                           端点描述符和类描述符的长度 */
    0x01,                          /* 配置所支持的接口数目：1*/
    0x01,                          /* 用SetConfiguration选择此配置时所指定的配置号*/
    0x00,                          /* 用于描述此配置的字符描述符的索引号：0 */
    0xE0,                          /* 供电配置：B7(1 保留), B6(自供电), B5(远程唤醒), B4-
                                   B0(0 保留) */
    0x32,                          /* 最大功耗，以2mA为单位计算：0x32表示 100mA */
```

接口描述符（Interface Descriptor）

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	数字	该描述子包含的字节数目	一般都是9
1	bDescripotorType	1	常数	【接口描述符的类型常数】	4
2	bInterfaceNumber	1	数字	该接口的序号：在该配置所支持的众多接口中的序号	从0开始
3	bAlternateSetting	1	数字	用来选择该接口的某个setting	
4	bNumEndpoints	1	数字	该接口支持多少个非0的EP	如果此项为0则该接口使用默认的控制通道
5	bInterfaceClass	1	Class	参见P80，USB类编码 由USB-IF分配	*
6	bInterfaceSubClass	1	SubClass		**
7	bInterfaceProtocol	1	Protocol		
8	iInterface	1	index	在众多字符串描述符中的序号	

* 常用设备类Class分配：AUDIO=1；COMMUNICATION=2；HID=3；MSC=8

** 取决于Class，有各自的定义：
Class = 3 (HID)的情况下，SubClass = 1 (BOOT) = 0 (no-BOOT) Protocol = 1 (KeyBoard) = 0 (Mouse)
1表示是个启动设备，一般对PC才有意义，表示bios启动时能识别并使用该设备；否则只能在OS启动后才能用

以Joystick为例

```
Joystick_InterfaceDescriptor[ ] =
    0x09,          /* 描述符的长度：9字节 */
    4,             /* 描述符的类型：0x04接口描述符(Interface) */
    0x00,          /* 选择此接口的索引号，从0开始计算：0 */
    0x00,          /* 用于选择此设置的索引号：0 */
    0x01,          /* 实现此接口需要使用的端点数目：1 */
    0x03,          /* 此接口所遵循的类：HID Class */
    0x01,          /* 此接口所遵循的子类：1=BOOT, 0=no boot */
    0x02,          /* 此接口所支持的协议：0自定义、1键盘、2鼠标 */
    0,             /* 用于描述此接口的字符描述符的索引号 */
```

端点描述符（Endpoint Descriptor）

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	数字	该描述子包含的字节数目	一般都是7
1	bDescripotorType	1	常数	【端点描述符的类型常数】	5
2	bEndpointAddress	1	端点	Bit7：方向（0-OUT；1-IN） Bit6~4：保留为0 Bit3~0：端点号	
3	bmAttributes	1	位图	Bit1~0：传输类型（CTRL、ISO、BULK、INTR） Bit3~2：同步类型（） Bit5~4：使用类型（数据EP、反馈EP、非显式的反馈数据EP、…）	
4	wMaxPacketSize	2	数字	该端点的最大包长	
6	bInterval	1	数字	主机查询EP的间隔，以帧或微帧为单位 FS/HS的ISO EP：取值1~16，间隔是$2^{(bInterval-1)}$ FS/LS的INTR EP：取值1~255 HS的INTR EP：取值在1~16，间隔是$2^{(bInterval-1)}$ HS的BULK/CTRL OUT EP：设定了设备的最大NAK率（即每个微帧最多回几个NAK）；取值0~255	

以Joystick为例

```
Joystick_InterfaceDescriptor[ ] =
    0x07,           /* 描述符长度：7字节 */
    5,              /* 描述符类型：端点描述符*/
    0x81,           /* 端点的特性：B3-B0(端点号), B6-B4(0), B7(1=IN, 0=OUT)
                     0x81：Endpoint1/ IN */
    0x03,           /* 端点的类型：B1-B0(00=控制 01=同步 10=大容量 11=中断)
                    0x03：中断端点 */
    0x04, 0x00      /* 此端点的最大有效数据长度：4 字节 */
    0x20,           /* 主机查询此端点数据的间隔时间：(1ms或125us单位):
                    0x20：32 ms */
```

字符串描述符（String Descriptor）

Get String Descriptor (value= type3, index = 0)

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	**N+2**	该描述子包含的字节数目	
1	bDescripotorType	1	常数	【字符串描述符的类型常数】	**3**
2	wLANGID[0]	2	数字	语言编号编码0	
…	…	..	**…**	…	
N	wLANGID[x]	2	数字	语言编号编码x	

Get String Descriptor (value= type3, index = 刚才得到的LANGID)

Offset	Field	Size	Value	描述	备注
0	bLength	1	数字	该描述子包含的字节数目	
1	bDescripotorType	1	常数	【字符串描述符的类型常数】	
2	bString	N	数字	字符串的UNICODE编码	

以Joystick为例

```
Joystick_StringVendor[ ] =
 {
    JOYSTICK_SIZ_STRING_VENDOR,          /* 描述符的长度 */
    USB_STRING_DESCRIPTOR_TYPE,          /* 描述符的类型：字符描述符 */
   'S', 0, 'T', 0, 'M', 0, 'i', 0, 'c', 0, 'r', 0, 'o', 0, 'e', 0,
   'l', 0, 'e', 0, 'c', 0, 't', 0, 'r', 0, 'o', 0, 'n', 0, 'i', 0,
   'c', 0, 's', 0                       /* 描述符所描述的内容："STMicroelectronics" */
 }
```

以Joystick为例

Joystick_ConfigDescriptor[ ] =

{

配置描述符：**Configuration Descriptor**

+

接口描述符：**Interface Descriptor**

+

类描述符：**Class Descriptor**

+

端点描述符：**Endpoint Descriptor**

}

CONFIDENTIALITY OBLIGATIONS:

THIS DOCUMENT CONTAINS SENSITIVE INFORMATION.

IT IS CLASSIFIED “MICROCONTROLLERS, MEMORIES & SECURE MCUs (MMS) RESTRICTED AND ITS DISTRIBUTION IS SUBMITTED TO ST/MMS AUTHORIZATION

AT ALL TIMES YOU SHOULD COMPLY WITH THE FOLLOWING SECURITY RULES:

- DO NOT COPY OR REPRODUCE ALL OR PART OF THIS DOCUMENT
- KEEP THIS DOCUMENT LOCKED AWAY
- FURTHER COPIES CAN BE PROVIDED ON A “NEED TO KNOW BASIS”, PLEASE CONTACT YOUR LOCAL ST SALES OFFICE OR DOCUMENT WRITTER.