

7 SPI 模式

本文是小弟自己翻译的（处女作哦~~~~~），难免有不妥之处，望交流指教！

联系方式 QQ: 286225453 Email: i oro55555@163.com

7.1 介绍

SPI 模式

SPI 模式由二次传递协议组成，这个协议由 Flash（基于 SD 卡）提供。本模式是 SD 卡协议的子协议，目的是用 SPI 信道通讯。SPI 模式在 SD 卡上电后第一个复位指令（CMD0）执行后被选择，并且在接通电源时不能改变。SPI 标准定义只不过是物理链接，而不是完全的数据传送协议。SD 卡的 SPI 设备使用 SD 卡协议的子协议和部分指令。SPI 模式的优势在于可以使用标准主机，从而把外设减少到最低。SPI 模式相对于 SD 模式的缺点是损失了性能。

7.2 SPI 总线

SD 卡信道由指令和数据位（起始位和结束位）组成，SPI 信道由字节定向。每一个指令或数据块由 8 位的字节和 CS 标志构成。类似 SD 卡协议，SPI 通讯由指令、响应和数据组成。全部的主机与 SD 卡之间的通信由主机控制。主机执行每一跟 CS 标志为低的总线。SPI 模式与 SD 模式的响应特性有以下三方面不同：

- 1、被选择的卡始终对指令作出反应。
- 2、一个附加的（8BIT）响应产生。
- 3、在 SD 卡遇到数据检索问题时，它会作出错误反应，而不是像在 SD 模式中一样执行一次空操作。

除命令响应之外，每一个数据块在写操作期间会作出专门的信息响应标志反应发送给 SD 卡。数据块可以大到一个扇区小到一个字节。读 / 写操作由 CSD(指令信号译码器)寄存器操作。

7.2.1 模式选择

SD 卡在上电后自动 SD 模式。如果 CS 标志在接受复位指令（CMD0）期间为低，它将进入 SPI 模式并且处于空闲状态。如果 SD 卡识别到需要保持 SD 模式，它不会对指令作出任何反应并且保持在 SD 模式中。如果需要 SPI 模式，SD 卡将转到 SPI 模式并且进行 SPI 模式 R1 响应。回到 SD 模式的必须重新上电。在 SPI 模式下，SD 卡遵守部分协议系统。支持 SPI 模式的 SD 卡指令始终有效。

7.2.2 总线传送保护

SPI 模式

每一个SD卡在总线上的数据传输由CRC（循环冗余码校验）保护。在SPI模式，SD卡提供一种非保护模式（起动系统，建立可靠的数据联系来排除硬件或固件需要执行的CRC（循环冗余码校验）生成并且核验操作）。在非保护模式下，指令的CRC（循环冗余码校验）仍然响应并且需要数据标志。由于发射机和接收器忽略CRC（循环冗余码校验），它们可以任意定义。SPI接口在非保护模式下初始化。用来切换卡到SPI模式的复位指令（CMD0），在SD卡处于SD模式时收到并且必须有一个合法的CRC字段。由于CMD0没有论据，所有领域内容，包括CRC领域，是常数并且不要需要在运行时间被计算。一个合法的重新设置命令是：

0x40, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x95

主机可以使用CRC_ON_OFF 命令(CMD59)开启CRC（循环冗余码校验）。

7.2.3 读数据

SPI 方式支持整块和多个块读操作(CMD17或CMD18)。当一个合法的读命令被接受时，SD卡将在长度定义在set_blocklen指令（CMD16）的数据标志后作出一个响应标志(参见图41)。

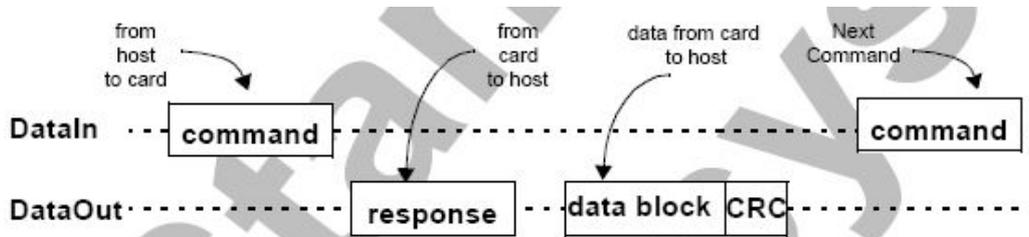


Figure 41: Single Block Read operation

一个合法的数据块由标准CCITT多项式 ($x^{16}+x^{12}+x^5+1$) 产生16位CRC（循环冗余码校验）标记。

最大块长度由READ_BL_LEN给定，被定义在CSD。如果部份块被允许(即CSD参量read_bl_len等于1)，块长度可以是在1和极限块大小之间的任意大小。唯一读数据合法的块长度由read_bl_len给定。

起始地址可以是在卡的合法地址范围内的任一个字节地址。每个块必须包含在一个唯一的物理卡片扇区。

在数据检索错误的情况下，SD卡片不会传送任何数据。此时，一个数据错误响应标志将被送到主机。如图42所示：

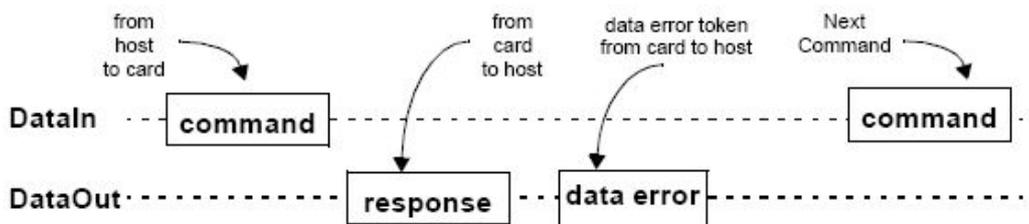


Figure 42: Read operation - data error

在多个块读操作的情况下，每个被传递的块有它的16位CRC。中止传输指令(CMD12)将停止数据传送操作(同SD卡操作方式一样)。

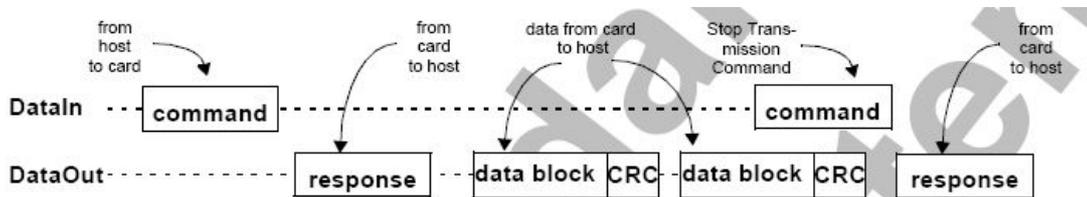


Figure 43: Multiple Block Read operation

图43: 多个块读操作

7.2.4 写数据

在SPI模式下，SD卡支持整块和多个块写指令。在接受合法写指令(CMD24或CMD25)时，SD卡将以响应标志响应并且等待数据块从主机发送，块长度和起始地址限制是(除CSD(指令信号译码器)参量WRITE_BL_PARTIAL控制部份块写选择之外)与读操作一致的(见图44)。

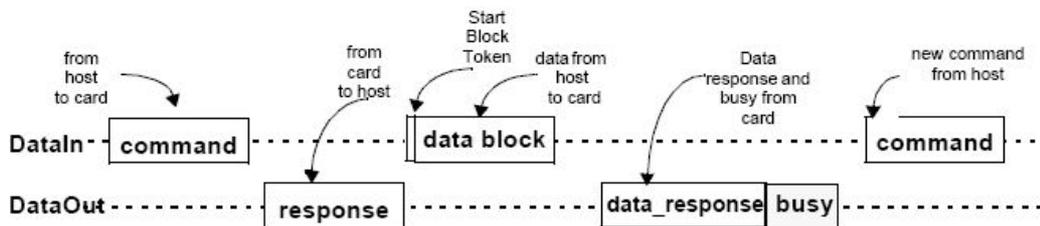


Figure 44: Single Block Write operation

每个数据块有一个前缀“开始块”象征(一个字节)。在数据块被接受之后，SD卡将以一个数据响应标志响应。如果数据块被接收并且没有错误，它将被编程。只要SD卡忙于编程，一个连续的忙标志数据流将被送到主机(保证输出数据线路为低)。一旦编程操作完成，主机必须使用send_status命令(CMD13)检查编程的结果。一些错误(例如地址溢出，违反写保护规定等。)只能在编程期间被查出。唯一的合法性检查执行在数据块上并且通过数据响应标志传达给主机的是CRC(循环冗余码校验)和一般写入错误指示。在多个块写操作时，在下一个块的开始时中止通信将被看作“停止”标志代替“开始”标志。在写入错误信号(数据响应)的情况下，主机将使用send_num_wr_blocks(ACMD22)来得到写好字块的数量。数据标志说明在章节7.3.3里提到。

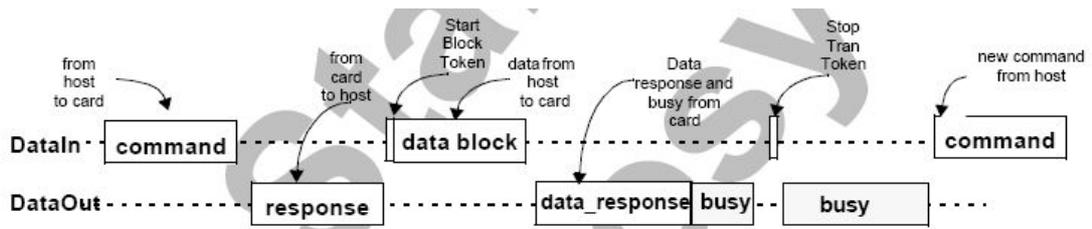


Figure 45: Multiple Block Write operation

当SD卡忙时，重置CS不会终止编程。SD卡将复原输出数据线(三态)并且继续编程。如果SD卡在编程完成之前被复位，输出数据线将被强制拉低并且所有命令将被撤销。

复位 (CMD0)将终止任一即将发生或正在执行的编程操作。这可能破坏SD卡中的数据格式。主机的责任是避免它。

7.2.5 删除&写保护管理

SPI 模式

www.heukexie.cn

在SPI模式下删除和写保护管理程序与SD模式相同。当SD卡正在删除或改变预定义的扇形目录书写保护位时，它将处在忙状态并且保持输出数据线低。如图46所示：

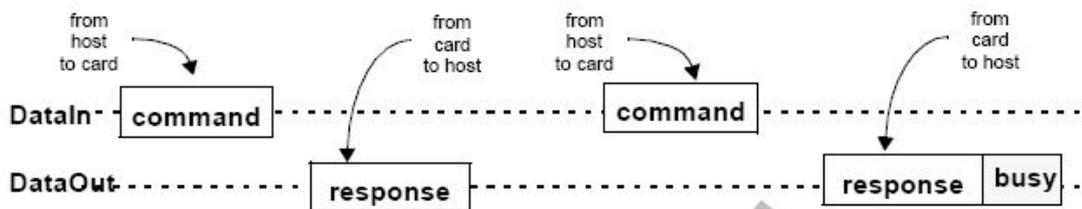


Figure 46: 'No data' operations

7.2.6 读CID (通道标志) /CSD (指令信号译码器) 寄存器

不同于SD协议(寄存器内容作为命令响应发送)，在SPI模式下读CSD和CID是简单的读块。SD卡将以一个标准响应标志反应(见图42)后面有16字节的CRC-16 (16位循环冗余码校验)。在数据存取时期，CSD指令无法设置SD卡的TAAC，因为它被存放在SD卡的CSD。所以标准超出的响应时间(NCR)被用于读CSD (指令信号译码器) 记录。

7.2.7 复位次序

SD卡需要一定的复位次序。在上电以后复位或CMD0 (软件复位) SD卡进入空闲状态。在这个状态唯一的合法的主机命令是CMD1 (SEND_OP_COND)，ACMD41 (SD_SEND_OP_COND) 和CMD58 (READ_OCR)。

在SPI模式下，CMD1和ACMD41有一样的功能。主机必须查询SD卡(重复地发送CMD1或ACMD41)直到‘非空闲状态’位在卡片响应中表明(为0)，那么卡片完成初始化并且准备好接收下个指令。在SPI模式,与SD模式相反, CMD1和ACMD41没有操作数并且不归还OCR寄存器的内容。反而,主机可以使用CMD58(只在SPI模式有效)读OCR寄存器。此外,它的作用是避免主机不支持卡的电压范围。CMD58的用法不只局限于初始化阶段,而是可以在任何时候。

7.2.8 错误状态

不同于SD协议,在SPI模式下,卡片将总对命令作出反应。反应表明命令的采纳或拒绝。命令可能被拒绝如果它不被支持(非法操作码),如果CRC(循环冗余码校验)核对失败,如果它包含了一个非法操作数,或如果它在删除指令序列期间失序。

7.2.9 存储器阵列划分

????? (同SD模式一样。)

哈尔滨工程大学信通学院学生科协制作

7.2.10 SD卡锁定/开锁

SD卡用于锁定/开锁的指令在SPI模式下与SD模式是相同的。指令反应类型都是R1b。在忙信号清除之后,主机应该获得发出GET_STATUS指令的操作结果。详见章节4.3.6。

7.2.11 操作专用命令

除APP_CMD状态位(见4.10.1)在SPI模式无效外,其余的和SD模式一致。

7.2.12 版权保护指令

所有专门的版权保护ACMDs和安全功能与SD模式相同。

7.3 SPI模式处理寄存器

7.3.1 指令标志

所有的SD卡指令长度都是6字节。指令传输始终以左侧位开始。所有指令由CRC(循环冗余码校验保护)(见7.2)。指令和论证见表57。

| | | | | | | |
|--------------|-----|-----|---------|--------|-------|-----|
| 位单元 | 47 | 46 | [45:40] | [39:8] | [7:1] | 0 |
| Width (bits) | 1 | 1 | 6 | 32 | 7 | 1 |
| 大小 | '0' | '1' | x | x | x | '1' |
| 说明 | 起始位 | 传输位 | 索引 指标 | 论证 | CRC7 | 结束位 |

表 55 数据格式

和在SD模式一样，SPI 指令被划分成几类(见表56)。注意，除了不支持SPI模式的组(组1, 3 和9), 必要的组在SPI模式中 与SD模式一样。

| Card CMD Class (CCC) | Class Description | Supported commands | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | | 0 | 1 | 9 | 10 | 12 | 13 | 16 | 17 | 18 | 24 | 25 | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 33 | 38 | 42 | 55 | 56 | 58 | 59 | |
| class 0 | Basic | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + |
| class 1 | Not supported in SPI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| class 2 | Block read | | | | | | | | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | |
| class 3 | Not supported in SPI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| class 4 | Block write | | | | | | | | | | | + | + | + | | | | | | | | | | | |
| class 5 | Erase | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | | | | | |
| class 6 | Write-protection (Optional) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | + | | | |
| class 7 | Lock Card (Optional) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | | |
| class 8 | Application specific | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | + | + | |
| class 9 | Not supported in SPI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| class 10-11 | Reserved | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Table 56: Command classes in SPI mode

详细的指令说明

以下的表格提供SPI 总线指令的一个详细说明。响应定义见7.3.2。表57列出所有SD卡指令。在SPI 模式项表明，在SPI 模式下是否支持该指令。如果指令没有论证, 这个字段的值应该调整为零。指令的二进制编码由指令标志定义。举例来说, '000000' 为CMD0 和 '100111' 为CMD39

| CMD 索引 | SPI 模式 | 论据 | 回应器 | 简称 | 命令描述 |
|--------|----------|------|-----|---------------|------------|
| CMD0 | Yes | None | R1 | GO_IDLE_STATE | 复位SD卡 |
| CMD1 | Yes | None | R1 | SEND_OP_COND | 激活卡片的初始化进程 |
| CMD2 | No | | | | |
| CMD3 | No | | | | |
| CMD4 | No | | | | |
| CMD5 | reserved | | | | |
| CMD6 | reserved | | | | |
| CMD7 | No | | | | |

Table 57: Commands and arguments

| CMD INDEX | SPI Mode | Argument | Resp | Abbreviation | Command Description |
|-----------------------|----------|---------------------|------------------|----------------------|---|
| CMD8 | reserved | | | | |
| CMD9 | Yes | None | R1 | SEND_CSD | 访问被选择的卡来发送它的卡片专门的数据（指令信号译码器） |
| CMD10 | Yes | None | R1 | SEND_CID | 访问被选择的卡来发送它的卡片识别（通道标志） |
| CMD11 | No | | | | |
| CMD12 | Yes | Non | R1b | STOP_TRANSMISSION | 强制卡片停止在多个块上的读操作通信 |
| CMD13 | Yes | None | R2 | SEND_STATUS | 访问被选择的卡片来发送它的状态寄存器 |
| CMD14 | reserved | | | | |
| CMD15 | No | | | | |
| CMD16 | Yes | [31:0] block length | R1 | SET_BLOCKLEN | 为所有指令（读和写）选择一个块长度（字节） ₁ |
| CMD17 | Yes | [31:0] data address | R1 | READ_SINGLE_BLOCK | 由 set_blocklen 指令选择一个尺寸的块读取 ₂ |
| CMD18 | Yes | [31:0] data address | R1 | READ_MULTIPLE_BLOCK | 从卡片到主机不断地传递数据块，直到由 stop_transmission 指令产生中断 |
| CMD19 | reserved | | | | |
| CMD20 | No | | | | |
| CMD21 ... CMD23 | reserved | | | | |
| CMD24 | Yes | [31:0] data address | R1 | WRITE_BLOCK | 由 set_blocklen 指令选择一块尺寸写 ₃ |
| CMD25 | Yes | [31:0] data address | R1 | WRITE_MULTIPLE_BLOCK | 不断地写数据块直到标志被发送才停止（代替‘开始字块’） |
| CMD26 | No | | | | |
| CMD27 | Yes | None | R1 | PROGRAM_CSD | 指令信号译码器的可编程位的编程 |
| CMD28 | Yes | [31:0] data address | R1b ⁴ | SET_WRITE_PROT | 如果这卡片有写保护特征、本指令设置编址群的写入保护位。写入保护的性质是在卡片特有的数据码（wp_grp_size） |
| CMD29 | Yes | [31:0] data address | R1b | CLR_WRITE_PROT | 如果卡片有写入保护特征、本命令清除写入保护位的编址群 |

Table 57: Commands and arguments

| CMD INDEX | SPI Mode | Argument | Resp | Abbreviation | Command Description |
|-----------------------|---------------------------|--|------|-------------------------|---|
| CMD30 | Yes | [31:0] write protect data address | R1 | SEND_WRITE_PROT | 如果卡片有写入保护特征，本指令访问卡片来发送这的这写入保护位的状态5 |
| CMD31 | reserved | | | | |
| CMD32 | Yes | [31:0] data address | R1 | ERASE_WR_BLK_START_ADDR | 设置第一个写字块的地址被删除 |
| CMD33 | Yes | [31:0] data address | R1 | ERASE_WR_BLK_END_ADDR | 设置上次连续不断的范围的写块的地址被删除 |
| CMD34 ... CMD37 | reserved | | | | |
| CMD38 | Yes | [31:0] stuff bits | R1b | ERASE | 删除全部的以前选择的写字块 |
| CMD39 | No | | | | |
| CMD40 | No | | | | |
| CMD41 | reserved | | | | |
| CMD42 | Yes | [31:0] stuff bits | R1 | LOCK_UNLOCK | 用于设置 / 清除密码或锁定 / 开锁卡片。一个被传递的数据块包括全部的这指令(详细参看章4.3.6)。数据块的尺寸是由 set_block_len指令定义的 |
| CMD43 ... CMD54 | reserved | | | | |
| CMD55 | Yes | [31:0] stuff bits | R1 | APP_CMD | 定义卡片的下一个指令是操作专用命令而不是标准指令 |
| CMD56 | Yes | [31:1] stuff bits [0]: RD/WR ⁶ | R1 | GEN_CMD | 用于传送一个数据块到卡片或得通过卡片的通用的操作特有的指令得到数据块。数据块的尺寸应该由 set_block_len指令定义 |
| CMD57 | Reserved | | | | |
| CMD58 | Yes | None | R3 | READ_OCR | 读卡片的OCR寄存器 |
| CMD59 | Yes | [31:1] stuff bits [0:0] CRC option | R1 | CRC_ON_OFF | 调整CRC (循环冗余码校验) 开或关。1在CRC选择位将开启。0将关闭 |
| CMD60 -63 | Reserved For Manufacturer | | | | |

Table 57: Commands and arguments

SPI 方式

- 1) 缺省块长度是依照CSD指定的。
- 2) 数据传输不能穿越一个物理块边界，除非在CSD中设置READ_BLK_MISALIGN。
- 3) 数据传输不能穿越一个物理块边界，除非在CSD中WRITE_BLK_MISALIGN 持续。
- 4) R1b: R1 一个任选的忙信号响应。
- 5) 32写保护位(代表32个写保护群起始于指定的地址)后面跟随一个16位CRC(循环冗余码校验)，经由数据传输线被传输。保护位的上一次(至少有效)相当于第一个编址群。如果上次的编址是在合法范围之外的，则对应的写入保护位应该置零。
- 6) RD/WR_: “1” 主机将从SD卡得到数据块。“0” 主机将发数据块到SD卡

以下的表格描述全部的操作专用命令，由SD卡支持 / 保留。以下的全部指令应该在app_cmd (cmd55) 之前。

| CMD 索引 | SPI 模式 | 论据 | 响应器 | 简称 | 命令描述 |
|------------------|----------|--------------------------|-----|------------------------|---|
| ACMD6 | No | | | | |
| ACMD13 | yes | [31:0]填充位 | R2 | SD_STATUS | 发这SD卡状态。状态字段在表24给出 |
| ACMD17 | reserved | | | | |
| ACMD18 | yes | -- | -- | -- | 保证SD卡的安全操作1 |
| ACMD19 to ACMD21 | reserved | | | | |
| ACMD22 | yes | [31:0]填充位 | R1 | SEND_NUM_WR_BLOCKS | 发送写好(无错误)字块的数目，作出32bit+CRC数据块反应 |
| ACMD23 | yes | [31:23]填充位 [22:0]块的序号 | R1 | SET_WR_BLK_ERASE_COUNT | 设置写字块的数目以便在写以前做预擦除(用于更快的多字块写指令) 1=缺省(一次谢字块) 2 |
| ACMD24 | reserved | | | | |
| ACMD25 | yes | -- | -- | -- | 保证SD卡的安全操作1 |
| ACMD26 | yes | -- | -- | -- | 保证SD卡的安全操作1 |
| ACMD38 | yes | -- | -- | -- | 保证SD卡的安全操作1 |
| ACMD39 to ACMD40 | reserved | | | | |

| CMD 索引 | SPI 模式 | 论据 | 响应器 | 简称 | 命令描述 |
|-------------------------|--------|------------------------|-----|---------------------|--|
| ACMD41 | yes | None | R1 | SEND_OP_COND | 激活卡片的初始化进程 |
| ACMD42 | yes | [31:1]填充位 [0]set_cd | R1 | SET_CLR_CARD_DETECT | 连接 (1) / 断开 (0) 卡片的50k上拉电阻在CD/dat3 (1针)。上拉电阻可以用来卡片检测 |
| ACMD43 ... ACMD49 | yes | -- | -- | -- | 保证SD卡的安全操作1 |
| ACMD51 | yes | [31:0]填充位 | R1 | SEND_SCR | 读SD卡的结构寄存器 (SCR) |

(1) 详细的SD卡安全特性说明参看“SD卡安全规格”

(2) stop_tran (cmd12) 指令应该应用于停止在写多字块时是否进行预删除 (acmd23) 的通信。

Table 58: Application Specific Commands used/reserved by SD Memory Card - SPI Mode

7.3.2 响应

SD卡有几种类型的响应标志。

在SD模式下，首先，所有都被传送到MSB（最高有效位）：

R1型

这个响应标志由除SEND_STATUS指令外的每一条指令发送。它是一个长字节，并且MSB（最高有效位）始终置零。另一个位是错误指示，一个错误由‘1’表示。R1的结构格式见表47。标志的意义定义如下：

- 1, 空闲状态：卡片在空闲状态和运行初始化的过程。
- 2, 清除复位：删除程序在执行之前被清除，因为删除程序指令被接收了。
- 3, 非法指令：一个非法指令代码被查出。
- 4, CRC通信错误：上次的CRC检验失败。
- 5, 删除程序错误：在删除程序指令中有错误。
- 6, 编址错误：在指令中有不准确的地址或没有匹配的块长度。
- 7, 参量错误：指令的论证(即地址，块长度)在卡片的允许范围之外。

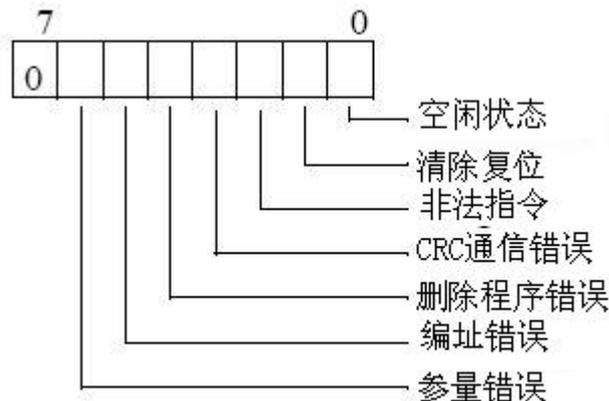


Figure 47: R1 Response Format

R1b型

SPI 模式

这个响应标志与R1格式相同（又可选的忙信号补充）。

忙信号标志可以是任一字节数。零值表明卡片忙。非零值表明卡片准备好接受下一个命令。

R2型

这个响应标志有二个字节并且发送响应到SEND_STATUS指令。格式见表48。

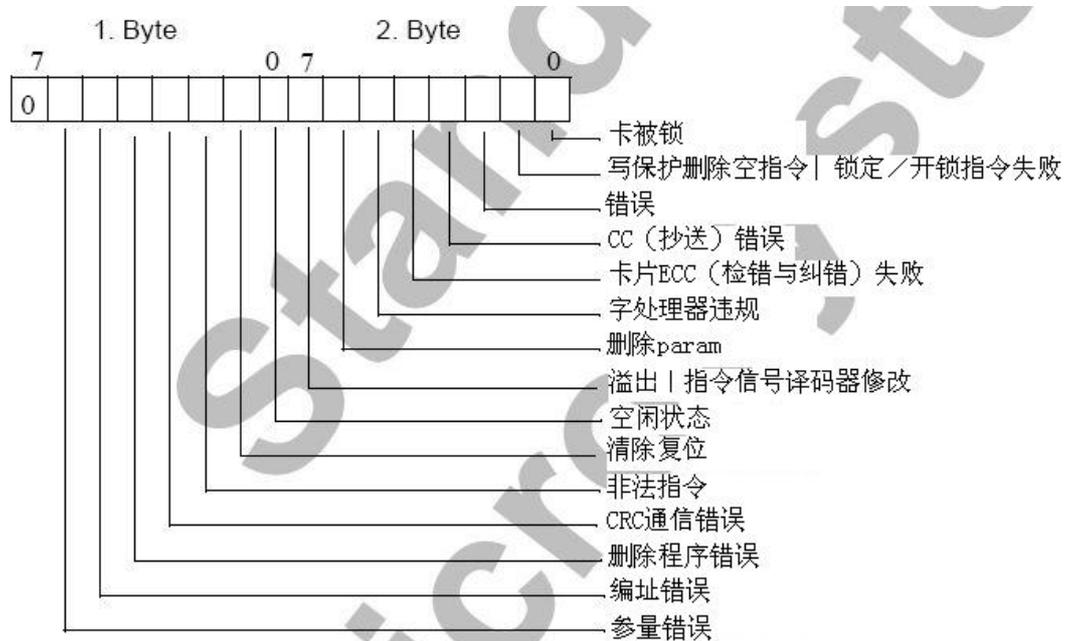


Figure 48: R2 response format

第一个字节与R1相同。下面是第二字节的描述：

SPI 模式

- 1, 删除param: 删除的一种无效选择、扇区或群。
- 2, 违反写保护规定: 命令设法写一个有写保护的字块。
- 3, 卡片ECC (检错与纠错) 失败: 卡片内部ECC被应用但没能校正数据。
- 4, CC (抄送) 错误: 内部卡片控制器错误
- 5, 错误: 一般的或未知的错误在操作期间发生。
- 6, 写保护删除空指令 | 锁定 / 开锁指令失败: 本状态位有含有二个操作。当主机企图删除写保护的扇区或在卡片锁定 / 开锁操作期间指令错误。
- 7, 卡被锁: 当用户使用时, 设置锁定。当开锁时, 复位。

R3型

这个响应标志由SD卡发送, 当READ_OCR指令被接受时。响应长度是5个字节 (见图49)。第一字节 (最高有效位) 的结构与R1响应类相同的。其它四个字节包含OCR计数器。

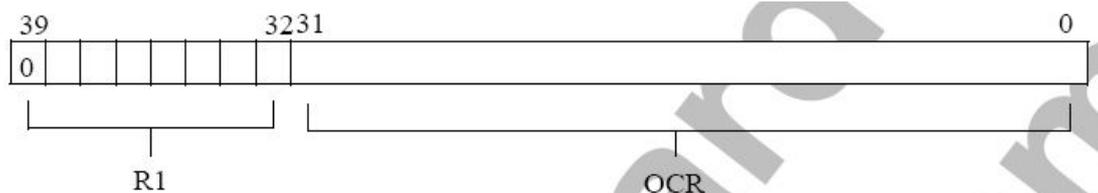


Figure 49: R3 Response Format

数据响应

每个写在卡上的数据块由数据响应标志承认。这个字节的格式如下：



状态位 (status) 的意义定义如下：

‘010’ - 数据被接受。

‘101’ - 由于CRC错误数据被拒绝。

‘110’ - 由于写错误数据被拒绝。

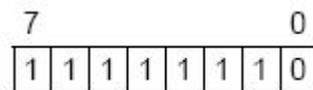
如果主机得到状态字段‘110’，它将停止使用CMD12传输数据并且发送CMD13来检验引起写入错误信号的问题。ACMD22可用于查询写好的写字块数目。

7.3.3 数据标志

读和写指令有与他们相关数据传输。经由数据标志，数据被传送或被接收。所有数据字节首先传送MSB（最高有效位）。数据标志的长度为4到515个字节并格式如下：

对于整块读、整块写和多个块读：

*第一个字节：开始块



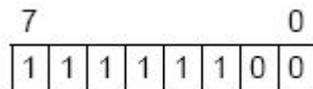
*字节2-513 (取决于数据块长度)：用户数据

*最后二个字节：16位CRC（循环冗余码校验）。

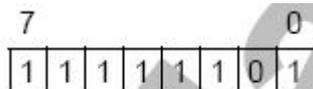
对于多个块写操作：

*各个块的第一个字节：

如果数据将被转移--开始块



如果停止通信被要求则--停止块



注意，这个格式只使用于多个块的写操作。在多个块的情况下，读停止通信就是使用STOP_TRAN指令（CMD12）。

7.3.4 数据错误标志

如果一次读操作失败并且SD卡无法提供所需数据，此时它将发送一个数据错误标志。这个标志长一个字节并且格式如下：

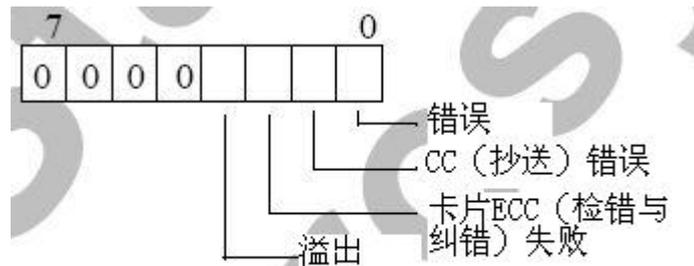


Figure 50: Data Error Token

这4个最低有效位(LSB)是与响应类型R2一样的错误标志位

7.3.5 清除状态位

如前一段描述的,在SPI模式下,状态位向主机汇报三不同的类型:响应R1,响应R2和数据错误标志(同样的位可以存在于多重响应类型-例如卡片ECC失败)。SPI模式

与SD模式一样,当主机进行读操作时,无论什么类型的响应错误位都被清除。状态指示符也由读或依照SD卡的状态清除。以下表格总结了设置和清除不同的状态位:

| 标识符 | 包括的 回应 | 类型 ₁ | 意义 | 说明 | 清除 状态 ₂ |
|------------------------|---------------|-----------------|--------------------------------------|--|-----------------------|
| 溢出 | R2 DataErr | E R X | '0'= no error '1'= error | 变量在允许范围之外 | C |
| 编址错误 | R1 R2 | E R X | '0'= no error '1'= error | 一个未对准的与块长度不匹配的地址在指令中使用 | C |
| 删除程序错误 | R1 R2 | E R | '0'= no error '1'= error | 一个清除指令程序错误发生 | C |
| 删除param | R2 | E X | '0'= no error '1'= error | 一个清除指令程序的参数错误 | C |
| 参量错误 | R1 R2 | E R X | '0'= no error '1'= error | 一个指令的参数错误 | C |
| 字处理器违规 | R2 | E R X | '0'= not protected '1'= protected | 企图编程有写保护的字块 | C |
| CRC通信错误 | R1 R2 | E R | '0'= no error '1'= error | 先前的命令循环冗余码校验失败 | C |
| 非法指令 | R1 R2 | E R | '0'= no error '1'= error | 指令在此卡片状态下非法 | C |
| 卡片ECC失败 | R2 DataEr | E X | '0'= success '1'= failure | 卡片内部的ECC(检错与纠错)作用,但是没能校正数据 | C |
| CC(抄送)错误 | R2 dataEr | E R X | '0'= no error '1'= error | 内部的卡片控制器错误 | C |
| 错误 | R2 dataEr | E R X | '0'= no error '1'= error | 在操作期间,一个一般的或未知错误发生 | C |
| 通道标志/ 指令信号译 码器修改 | R2 | E R X | '0'= no error '1'= error | 可能是一个以下的错误: 1、CID(通道标志)寄存器已经被写并且不能修改 2、CSD(指令信号译码器)的只读区域与卡片容量不匹配 3、企图反向拷贝(如原保险设置)或固定的字处理器(无保护的)的位生成 | C |
| 字处理器删 除空指令 | R2 | S X | '0'= not protected '1'= protected | 由于存在写保护字块,所以只能删除部分地址空间 | C |

Table 59: SPI mode status bits

| Identifier | Include d in resp | Type ¹ | Value | Description | Clear Cond ition ² |
|---------------|-------------------------|-------------------|--|---|-------------------------------------|
| 锁定/开锁指令 失败 | R2 | X | '0' = no error '1' = error | 卡片锁定/开锁操作期间程序或指令 错误 | C |
| 卡被锁 | R2 | S X | '0' = card is not locked '1' = card is locked | 卡片被一个用户指令锁定 | A |
| 删除复位 | R1 R2 | S R | '0' = cleared '1' = set | 一个删除指令序列在执行之前被清除 ，由于一个外部的删除程序指令被接 收 | C |
| 在空闲状态 | R1 R2 | S R | 0 = Card is ready 1 = Card is in idle state | 卡片在上电或复位指令之后进入空闲 状态。它将退出本状态并且准备好它 的初始化程序。 | A |

Table 59: SPI mode status bits

1) 类型:

E: 错误位。

S: 状态位。

R: 查出并且校正现行的命令响应

X: 查出并且在指令执行期间设置。主机必须查询读这些位而由SD卡发出的状态命令。

2) 清除状态:

A: 根据SD卡现状。

C: 由读而确定。

7.4 卡片寄存器

在SPI模式下唯一的OCR, CSD和CID寄存器是可以使用的。它们的格式与SD模式下相同。但是, 有几个字段在SPI模式下无意义。

7.5 SPI 总线时序图

所有的时序图使用以下图解和简称:

| | |
|------------|------------------|
| H | 标志是高(1) |
| L | 标志是低(0) |
| X | 任意 |
| Z | 高阻态 (≥ 1) |
| * | 循环 |
| Busy | 忙标志 |
| Command | 指令标志 |
| Response | 响应标志 |
| Data block | 数据标志 |

所有时序值被定义在表60。在收到SD卡响应后, 主机必须保持时钟的运行至

少为NCR时钟的周期数。这个限制适用于指令和数据响应标志。

7.5.1 指令/响应

主机指令到SD卡响应-SD卡准备就绪

以下的时序图描述基本指令响应（无数据）SPI 处理。

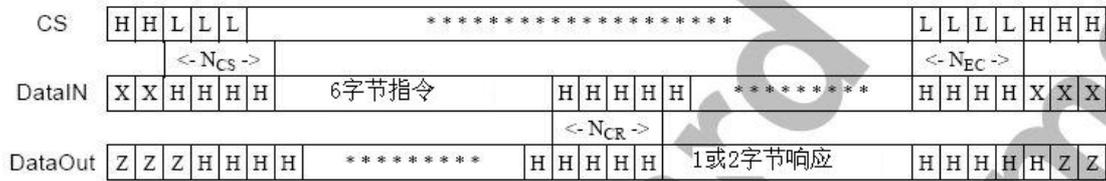


Figure 51: Basic command response

主机指令到SD卡响应-卡片忙

以下的时序图描述指令的命令响应处理，当 SD 卡回应为 R1b 响应类型（例如 set_write_prot 和删除）。当 SD 卡片忙时，主机可以随时取消它(抬高 CS)。在 CS 抬高之后，SD 卡将从输出数据线输出一个时钟。为了检测 SD 卡是否仍然处于忙状态，需要重新声明 CS 信号（置低）。SD 卡将在 CS 下降沿之后，继续执行忙信号（拉低输出数据）一个时钟。

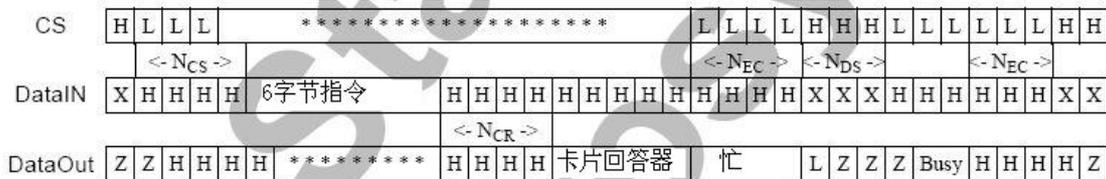


Figure 52: Command response with busy indication (R1b)

SD 卡响应到主机指令

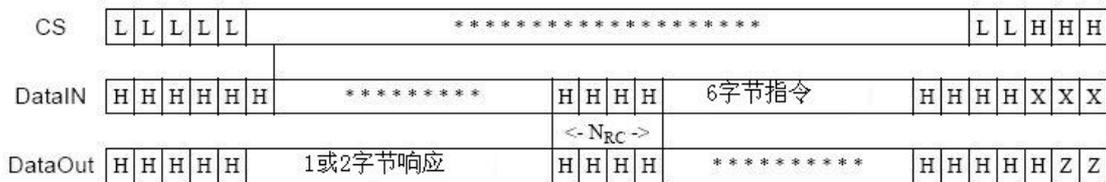


Figure 53: Timing between card response to new host command

7.5.2 读数据

以下时序图描述整块读操作，除 SEND_CSD 命令之外。



Figure 54: Read Single Block operations - bus timing

以下的表格描述中止传输操作以防读多个块。



Figure 55: Stop Transmission in Read Multiple Block

读CSD寄存器

以下的时序图描述SEND_CSD指令总线处理。响应和数据块的临时停止值是NCR（因为Nac仍未知）。



Figure 56: Read CSD - bus timing

7.5.3 写数据

SPI 模式

在SD卡繁忙期（查阅发出时序图）期间，主机可以随时选择取消一张SD卡（抬高CS）。SD卡将在CS置高之后，向输出数据线路发出一个时钟。为了检测SD卡是否仍然处于忙状态，需要由重新声明CS信号（置低）。SD卡将在CS下降沿之后，继续执行忙信号（拉低输出数据）一个时钟。



Figure 57: Write operation - bus timing

以下的图描述在多个块写时中止传输操作。

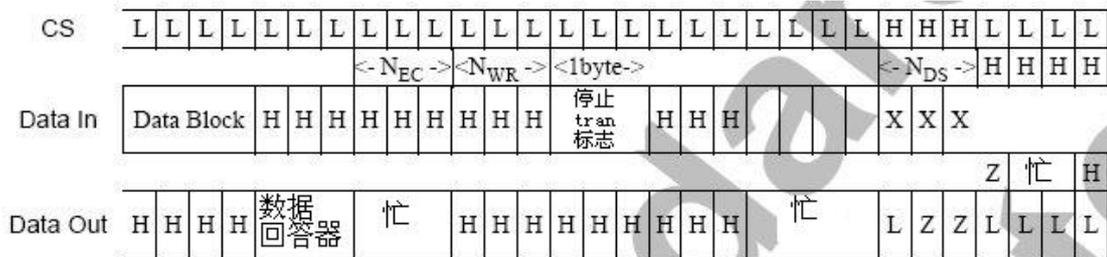


Figure 58: Stop Transmission in Write Multiple Block

7.5.4 时序值

| | Min | Max | Unit |
|-----------------|-----|-------|----------------|
| N _{CS} | 0 | - | 8 clock cycles |
| N _{CR} | 1 | 8 | 8 clock cycles |
| N _{RC} | 1 | - | 8 clock cycles |
| N _{AC} | 1 | CSD规格 | 8 clock cycles |
| N _{WR} | 1 | - | 8 clock cycles |
| N _{EC} | 0 | - | 8 clock cycles |
| N _{DS} | 0 | - | 8 clock cycles |

Table 60: Timing values

7.6 SPI 电气

接口

和SD模式一致，除可编程的SD卡输出驱动选择（SPI 模式不支持）外。

7.7 SPI 总线操作条件

和SD模式一致。

7.8 总线时序

和SD模式一致。CS信号的时序同其他SD卡输入相同。

哈尔滨工程大学信通学院学生科协制作

www.heukexie.cn