

1. 概述

SD存储卡 (Secure Digital Memory Card) 是特别为符合新出现的音频和视频消费电子设备的安全性、容量、性能和环境等要求而设计的一种存储卡。SD存储卡包含符合SDMI标准安全性的版权保护机制，速度更快而且存储容量更大。SD存储卡的安全系统使用双方认证和“新的密码算法”技术，防止卡的内容被非法使用。它还提供了一种无安全性的访问方法访问用户自己的内容。SD存储卡的物理外形、引脚分配和数据传输协议都向前兼容多媒体卡 (MultiMediaCard)，但也增加了一些内容。

SD存储卡的通信基于一个高级的9引脚接口 (时钟、命令、4条数据线和3条电源线)，可以在最高25MHz频率和低电压范围内工作。通信协议也是本规范的一部分。SD存储卡的主机接口也支持常规的多媒体卡操作。也就是说向前兼容多媒体卡。实际上，SD存储卡 and 多媒体卡的主要区别在初始化过程。

SD存储卡规范共有几个文档，其文档结构图如图1所示。

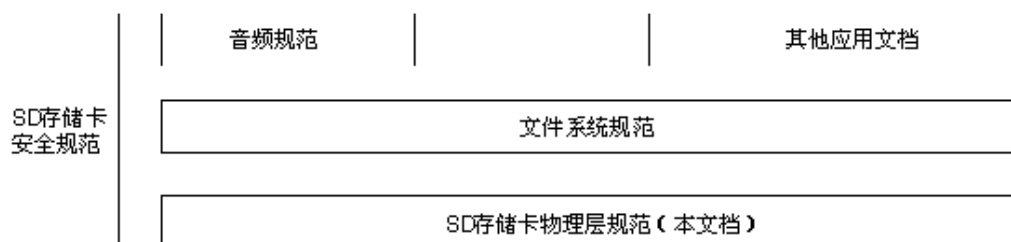


图1 SD存储卡文档结构

- SD存储卡音频规范

这个规范以及其他规范介绍了某些应用 (这里是音频应用) 的规范以及实现要求。

- SD存储卡文件系统规范

介绍了保存在SD存储卡中的数据文件格式结构规范 (包括有保护和无保护方面)。

- SD存储卡安全规范

介绍了版权保护机制以及支持的应用专用命令。

- SD存储卡物理层规范 (本规范)

介绍了SD存储卡使用的物理接口和命令协议。本规范的目的是定义SD存储卡的环境和操作。

本文档分几个部分，第三章概述了系统的概念。一般的SD存储卡特性在第四章介绍。由于这里定义了卡的所有属性，我们建议同时参考产品文档。卡的寄存器在第五章介绍。第六章定义了SD存储卡的硬件接口电气参数。第八章介绍了SD存储卡的物理和机械特性以及卡槽的最小标准。

2. 系统特性

- 用于便携式和固定应用。

- 电压范围：

- SD存储卡：

基本通讯（CMD0、CMD15、CMD55、ACMD41）：2.0～3.6V。

其他命令和存储器访问：2.7～3.6V。

- SDLV存储卡（低电压）工作电压范围：1.6～3.6V。

- 用于只读卡或读 / 写卡。
- 时钟频率0～25MHz。
- 读 / 写速率高达10MB/s（用4条并行数据线）。
- 在有10张卡时仍能达到最高数据速率。
- 纠正存储区的错误。
- 在读操作的过程中拔出卡不会破坏卡的内容。
- 向前兼容多媒体卡。
- 版权保护机制——符合SDMI标准的最高安全性。
- 卡有密码保护功能（可选）。
- 用机械开关实现的写保护特性。
- 内嵌的写保护特性（永久和暂时）。
- 检测卡（插入 / 拔出）。
- 应用的专用命令。
- 令人满意的擦除机制。
- 通信信道的协议属性：

SD存储卡的通信信道
6线的通信信道（时钟、命令和4条数据线）
防止错误的数据传输
单块或多块数据传输

- SD存储卡的厚度可以是2.1mm（普通）和1.4mm（薄SD存储卡）。

3. SD存储卡的系统概念

SD存储卡为应用的设计人员提供了低成本的大容量存储设备（如可移动的卡），支持高安全等级的版权保护以及简单、易于实现的接口。

按提供的功能（由SD存储卡系统命令的子集给出）差异，SD存储卡可以分成几种类型：

- 读 / 写（R/W）卡（Flash、OPT、MTP（可多次编程））。这些卡作为空的介质售卖，用于大容量数据存储、终端用户的视频、音频或数字影像记录。
- 只读存储卡（ROM）。这些卡有固定的数据内容。它们典型用于软件、音频、视频等媒体的销售。

按工作电压可以将SD存储卡分为两类：

- 支持2.0V~3.6V的初始化 / 识别过程的SD存储卡，这个工作电压范围在CSD寄存器定义。
- SDLV存储卡——低电压SD存储卡，它可以在1.6~3.6V的电压范围工作。SDLV存储卡与SD存储卡的标识不一样。

SD存储卡系统包括SD存储卡（或几种卡）的总线及其主机 / 应用。主机和应用规范不在本文档的讨论范围内。下面部分将介绍卡的概述、总线拓扑结构和SD存储卡系统的通讯协议。版权保护（安全）系统将在SD存储卡安全规范文档中介绍。

3.1 总线拓扑结构

SD存储卡系统定义了两种通信协议：SD和SPI。应用可以选择其中一种模式。模式选择对于主机来说是透明的。卡自动检测复位命令的模式，而且要求以后的通信都按相同的通信模式进行。因此，只使用一种通信模式的应用不需要明白另一种模式。



Buy Now

\$49.95

(Word Converter – 未注册) <http://www.word-converter.net>

3.1.1 SD总线

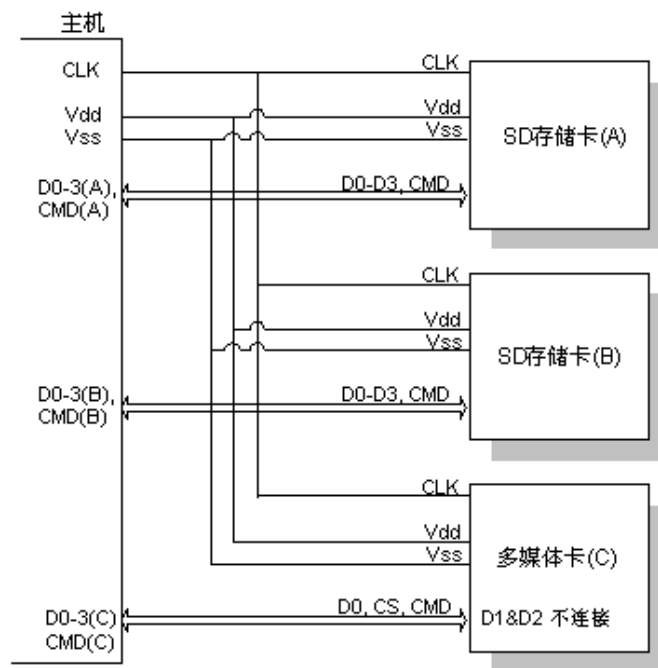


图2 SD存储卡系统的总线拓扑结构

SD总线包含以下信号：

CLK: 主机向卡发送的时钟信号；

CMD: 双向的命令 / 响应信号；

DAT0~DAT3: 4个双向的数据信号；

VDD、VSS1、VSS2: 电源和地信号。

SD存储卡总线有一个主机（应用）、多个从机（卡）和同步的星形拓扑结构（参考图2）。所有卡共用时钟、电源和地信号。命令（CMD）和数据（DAT0~DAT3）是卡的专用信号，为所有卡提供连续的点对点连接。

在初始化进程中，命令被分别发送到各张卡，允许应用程序检测到卡并向物理卡槽分配逻辑地址。各张卡的数据通常独立地发送（接收）。但是，为了简化卡的成批处理，在初始化进程后，所有命令可能同时发送到所有卡。命令包中提供地址信息。

SD总线允许动态配置数据线的数量。在上电后，SD存储卡默认只使用DAT0进行数据传输。初始化后，主机可以修改总线宽度（有效的数据线数量）。这个特性允许简单地交替选择HW成本和系统性能。注意：SD主机在不使用DAT1~DAT3时可以使自己的DAT1~DAT3线处于三态（输入模式）当。



3.1.2 SPI总线

SD存储卡兼容的SPI通信模式使SD存储卡可以通过SPI信道与市场许多微控制器通信。这个接口在上电后的第一个复位命令期间选择，而且在上电期间不能修改。

SPI标准只定义了物理链路而不是完整的数据传输协议。SD存储卡的SPI功能使用相同的SD模式命令集。从应用的观点看来，SPI模式的优点是能使用现成的主机，因此将设计工作量降至最低。但缺点是性能有损失，例如不能像SD模式一样选择总线宽度。

SD存储卡的SPI接口与市场提供的SPI主机兼容。和其他SPI设备一样，SD存储卡的SPI信道由以下4个信号组成：

CS: 主机向卡发送的片选信号；

CLK: 主机向卡发送的时钟信号；

DataIn: 主机向卡发送的数据信号；

DataOut: 卡向主机发送的数据信号。

另一个SPI共有的特性是字节传输，这种特性也能在SD卡实现。所有数据令牌都是字节（8位）的倍数，而且字节通常与CS信号对齐。

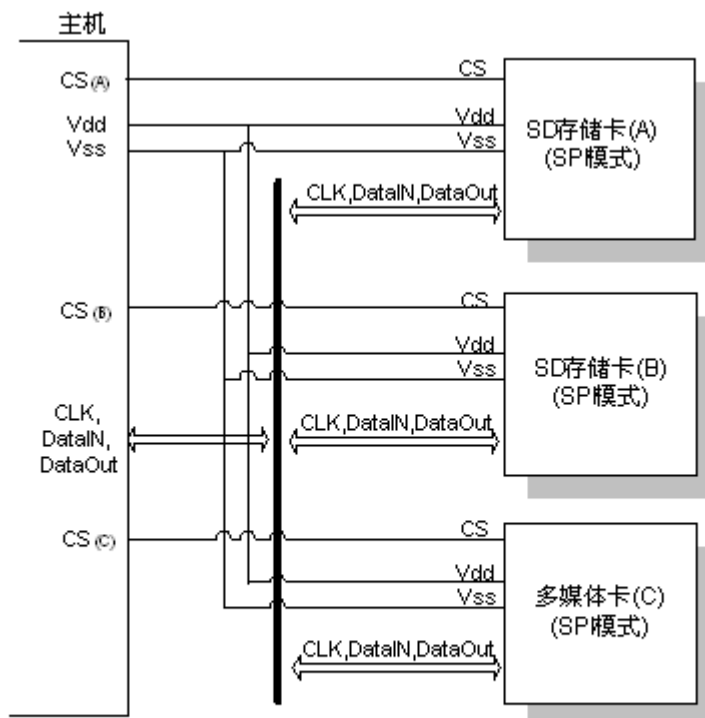


图3 SD存储卡系统（SPI模式）的总线拓扑结构

卡的识别和寻址由硬件片选（CS）信号代替。因此没有广播命令。对于每个命令来说，卡（从机）由低电平有效的CS信号选中（见图3）。

CS信号在SPI处理（命令、响应和数据）期间必须连续有效。唯一的例外情况是卡的

编程，在这个过程中主机可以使CS信号为高电平，但不影响卡的编程。

SPI接口使用SD总线9个SD信号中的7个（不使用DAT1和DAT2，DAT3是CS信号）。

3.2 总线协议

3.2.1 SD总线

SD总线上的通信基于以起始位开始、以停止位结束的命令和数据位流。

- 命令：命令是启动一项操作的令牌。命令可以从主机发送到一张卡（寻址命令）或发送到连接的所有卡（广播命令）。命令在CMD线上串行传输。
- 响应：响应是从被寻址的卡或（同时）从所有连接的卡发送到主机，作为对接收到的命令的回答的令牌。响应在CMD线上串行传输。
- 数据：数据可以从卡发送到主机或者相反。数据通过数据线传输。

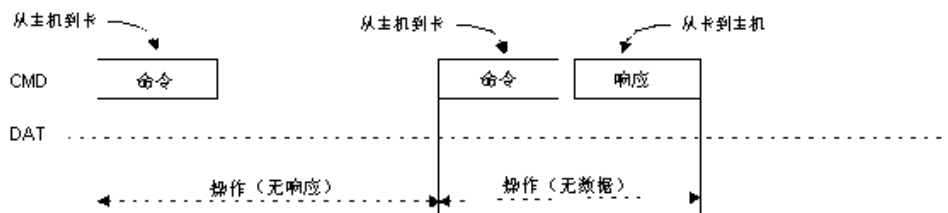
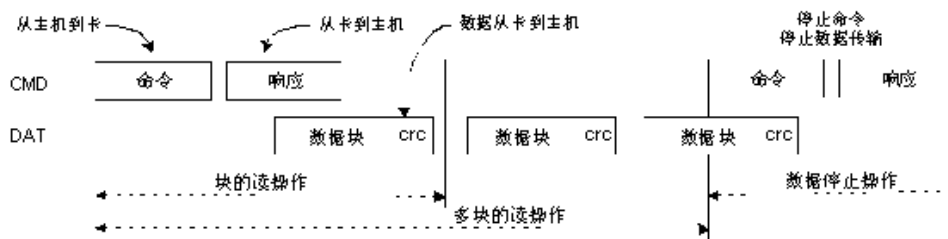


图4 “无响应”和“无数据”操作

卡的寻址由会话地址实现，并在初始化阶段分配给卡。命令、响应和数据块的结构在第四章介绍。SD总线的基本处理是命令 / 响应处理（请参考第四章）。这类型的总线处理直接在命令或响应结构中传输它们的信息。另外，某些操作还有数据令牌。

SD存储卡的数据传输通过块的形式进行。数据块后面通常有CRC位。它定义了单块和多块操作。注意：在快速写操作中使用多块操作模式最理想。当CMD线出现停止命令时，多块传输结束。主机可以配置数据传输是使用一条还是多条数据线。





Buy Now

\$49.95

(Word Converter - 未注册) <http://www.word-converter.net>

图5 （多）块读操作

不管块的写操作使用了多少条数据线传输数据，它只使用DAT0数据线上的写操作忙信号。

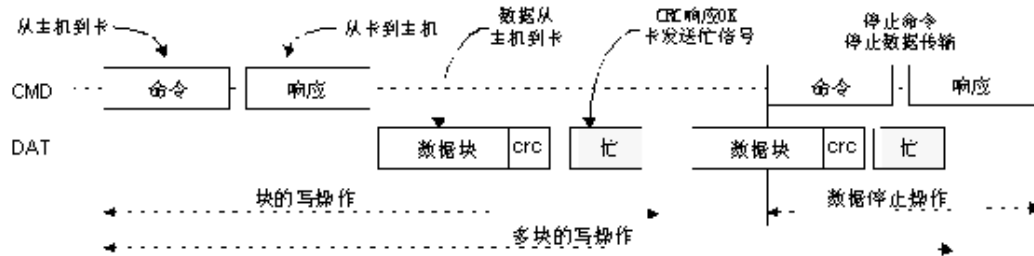


图6 （多）块写操作

命令令牌的编码策略如下：

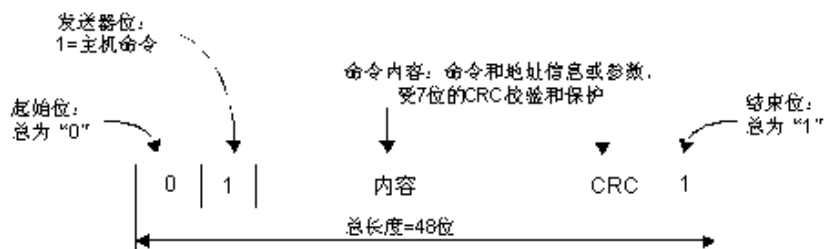


图7 命令令牌的格式

每个命令令牌都以起始位（0）开始，以结束位（1）结束。令牌的总长度是48位。每个令牌都有CRC位，这样可以检测传输错误并重复操作。

响应令牌根据其内容共有4种编码策略。令牌长度是48位或136位。命令和响应的详细定义请参考4.7节。块的CRC保护算法是一个16位的CCITT多项式。所有使用的CRC类型在4.5节介绍。



图8 响应的令牌格式



Buy Now

\$49.95

(Word Converter - 未注册) <http://www.word-converter.net>

在CMD线上首先传输的是MSB，最后是LSB。

当使用宽总线选项时，数据一次传输4位（参考第9章）。起始和结束位以及CRC位在每条DAT线各发送一次。每条数据线分别计算并检查CRC位。CRC状态响应和忙指示信号由卡通过DAT0发送到主机（DAT1~DAT3在此期间无关）。

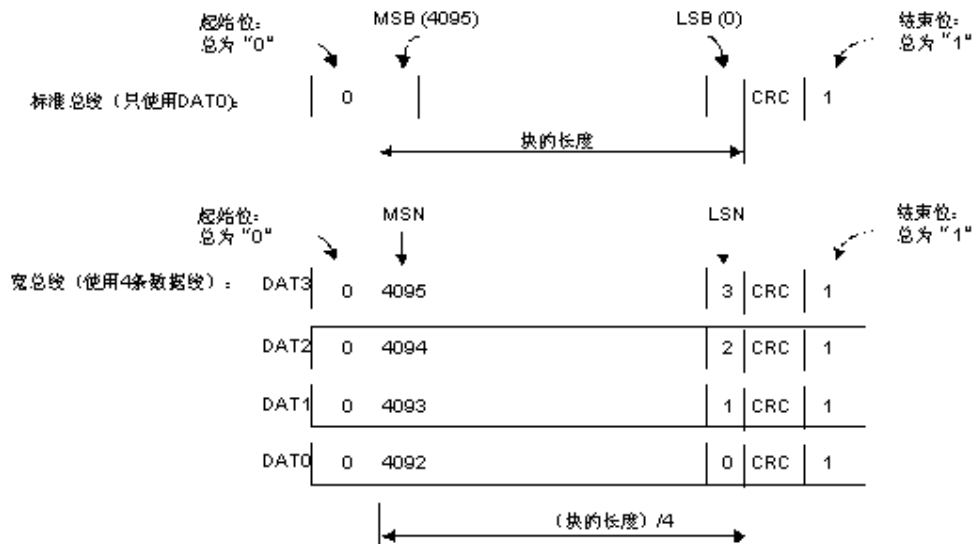


图9 数据包的格式

3.2.2 SPI总线

SD信道基于以起始位开始、以停止位结束的命令和数据位流，而SPI信道是面向字节的。每个命令或数据块都由8位的字节组成，而且字节与CS信号对齐（即长度是8个时钟周期的倍数）。

与SD协议相似，SPI报文由命令、响应和数据块令牌组成。主机和卡之间的所有通信都由主机控制。主机通过将CS信号置低电平启动总线处理。

SPI模式中的响应行为在以下三个方面与SD模式不同：

- 被选中的卡总会响应命令。
- 使用两种新的响应结构（8位和16位）。
- 当卡遇到数据检索错误时会用错误响应（替代要求的数据块）响应而不是用SD模式中的超时响应。

除了响应命令外，在写操作过程中发送到卡的每个数据块会用特殊的数据响应令牌响应。

读数据

SPI模式支持单块和多块的读命令。但是为了遵守SPI工业标准，它值使用2个（单向）信号（请参考第10章）。在接收有效的读命令前，卡将用响应令牌加上在前面用 **SET_BLOCKLEN (CMD16)**命令定义了长度的数据令牌响应。多块读操作像SD协议一样用 **STOP_TRANSMISSION**命令终止。

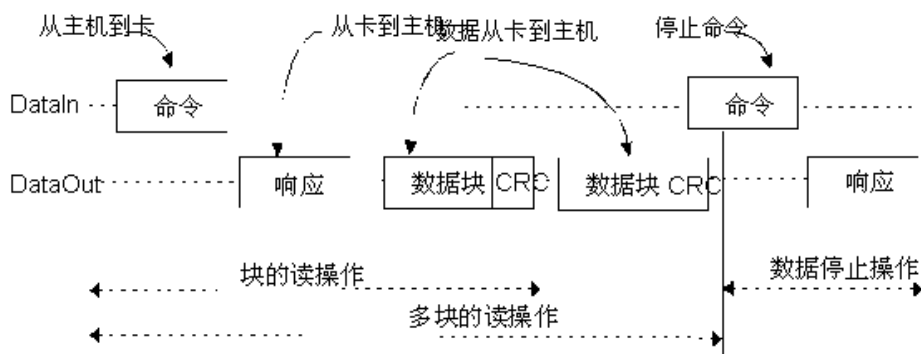


图10 读操作

有效的数据块后面都有由标准CCITT多项式 $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ 生成的16位CRC。

在发生数据检索错误的情况下，卡不会发送任何数据，而是向主机发送一个特殊的数据错误令牌。图11显示了用错误令牌而不是用数据块终止的数据读操作。

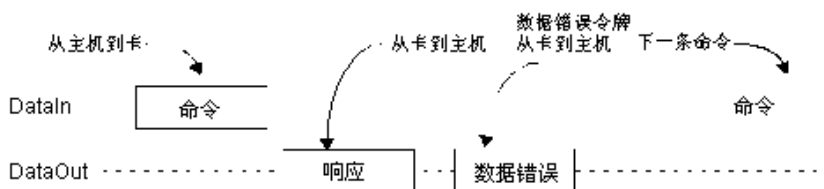


图11 读操作——数据错误

写数据

SPI模式支持单块和多块的写命令。在接收有效的写命令前，卡会用响应令牌响应，并等待主机发送数据块。CRC后缀、块的长度和起始地址的限制都与读操作相同（见图12）。

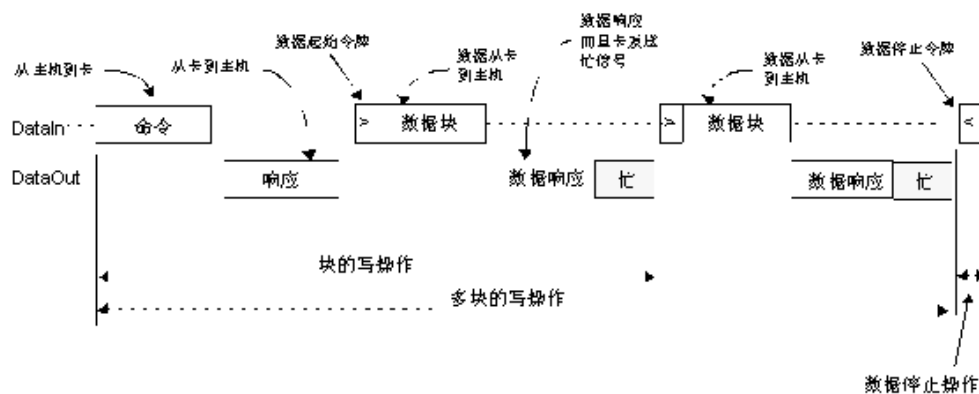


图12 写操作

在接收到数据块后，卡会用数据响应令牌响应。如果数据块被无错接收，它将被烧写（/编程）到卡中。在卡烧写（/编程）期间，卡会向主机发送连续的忙令牌流（有效地保持DataOut线为低电平）。

3.3 SD存储卡的引脚与寄存器

SD存储卡的形状为24mm x 32mm x 2.1mm。



图13 SD存储卡的形状和接口（上视图）

图13显示了SD存储卡的一般形状和接口触点。详细的物理尺寸和机械描述请参考第九章。

下面的表定义了卡的触点:

表1 SD存储卡的焊盘分配



Buy Now

\$49.95

(Word Converter – 未注册) <http://www.word-converter.net>

引脚	SD模式			SPI模式		
	名称 ¹	类型	描述	名称	类型	描述
1	CD/DAT3 ²	I/O/PP ³	卡的检测/数据线[Bit 3]	CS	I	片选(低电平有效)
2	CMD	PP	命令/响应	DI	I	数据输入
3	V _{SS1}	S	电源地	VSS	S	电源地
4	V _{DD}	S	电源	VDD	S	电源
5	CLK	I	时钟	SCLK	I	时钟
6	V _{SS2}	S	电源地	VSS2	S	电源地
7	DAT0	I/O/PP	数据线[Bit 0]	DO	O/PP	数据输出
8	DAT1	I/O/PP	数据线[Bit 1]	RSV		
9	DAT2	I/O/PP	数据线[Bit 2]	RSV		

注:

1. S: 电源; I: 输入; O: 推挽输出; PP: 推挽I/O。
2. 扩展的DAT线(DAT1~DAT3)在上电后是输入。它们在执行SET_BUS_WIDTH命令后作为DAT线操作。当不使用DAT1~DAT3线时,主机应使自己的DAT1~DAT3线处于输入模式。这样定义是为了与多媒体卡保持兼容。
3. 上电后,这条线是带50KΩ的上拉输入线(可以用于检测卡或选择SPI模式)。用户可以在正常的数据传输中用SET_CLR_CARD_DETECT(ACMD42)命令断开上拉电阻的连接。

每张卡都有一组消息寄存器(见第五章SD存储卡物理层规范的介绍):

表2 SD存储卡寄存器

名称	宽度	描述
CID	128	卡的ID;用于识别卡的ID。强制。
RCA ¹	16	相对的卡地址;卡的本地系统地址,由卡动态指出而且在初始化过程中被主机认可。强制。
DSR	16	驱动器级寄存器;配置卡的输出驱动器。可选。
CSD	128	卡的专用数据;关于卡的操作情况信息。强制。
SCR	64	SD配置寄存器;关于SD存储卡的专用特性信息。强制。
OCR	32	操作情况寄存器。强制。

注:

1. RCA寄存器在SPI模式下不可用。

主机可以通过打开/关闭卡的电源对卡进行复位。每张卡都有自己的上电检测电路,使卡在上电后无需外部复位信号就能进入定义的状态。卡只能通过主机发送的GO_IDLE(CMD0)命令复位。

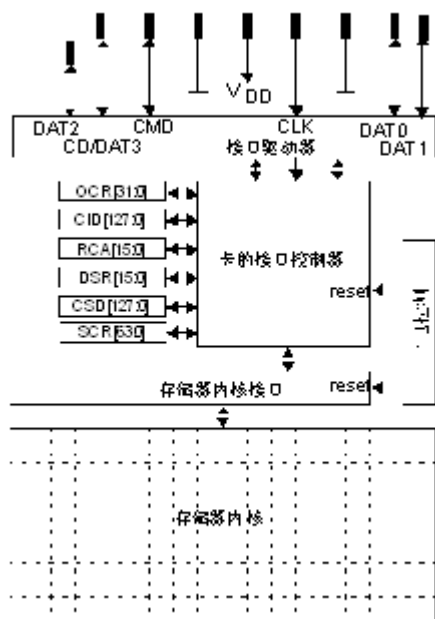


图14 SD存储卡的体系结构

3.4 与多媒体卡兼容

SD存储卡协议是多媒体卡协议[1]的父集。主要添加了宽总线选项和内容保护支持（细节请参考表3）。设计能支持这两种类型卡的主机系统非常简单。它的目的是使应用设计者使用已有的多媒体卡，除非应用不能在快速的数据传输速率（宽总线）或内容保护的情况下运行。

表3 SD存储卡与多媒体卡特性集的差别



Buy Now

\$49.95

(Word Converter - 未注册) <http://www.word-converter.net>

	SD存储卡	多媒体卡	注释
总线宽度	1位或4位	只有1位	
系统的总线组织 (连接多张卡)	星形拓扑结构	总线拓扑结构	
初始化命令	CMD0 ACMD41 CMD2 CMD3	CMD0 CMD1 CMD2 CMD3	在多媒体卡中, 所有卡同时用OD驱动器发送CMD1和CMD2。在SD存储卡中, 卡的复位和识别都独立进行, 而且RCA (CMD3) 由卡指定。
操作命令	SEND_NUM_WR_BLOCK SET_WR_BLK_COUNT		SD卡提供两个新的命令改善写性能 (ACMD23、ACMD22)
最大的时钟速率	25MHz	20MHz	
版权保护	支持 (在只读型卡中可选)	不支持	
写保护开关	支持	不支持	当在SD存储卡槽中插入多媒体卡时, 通常能识别出这是一张无写保护的卡 (窗口关闭)
引脚#1的特性	有卡的内部上拉电阻	定义为“不连接”	在SD存储卡中引脚#1可以用于检测卡
CSD结构	与MMC不同 (主要是扇区大小/组不同)		
CID结构	与MMC不同		SD卡的生产日期字段更大。产品ID字段更小。
SPi读/写多块流的读/写模式	支持 不支持	不支持 支持 (可选)	SD存储卡支持单块和多块的读/写操作。
I/O模式	不支持	支持 (可选)	SD存储卡不支持I/O (中断) 模式

在增加的内容中SD存储卡和多媒体卡的唯一差别是总线拓扑结构和初始化协议。多媒体卡连接在相同的总线上, 通过开漏输出的同步传输来识别, SD存储卡与主机有独立的点对点连接, 而且一次连续识别所有卡 (请参考表4 SD存储卡和多媒体卡命令集之间的比较。SD存储卡协议命令的详细介绍请参考第4章)。

SD协议定义的初始化过程用于识别当前已经连接到总线的多媒体卡或SD存储卡。在检测到卡后, 主机执行初始化过程并在识别出已知类型的卡后结束。

一旦卡被初始化, 应用可以通过查询各个配置寄存器确定卡的性能, 并确定是否使用它。

SD存储卡的物理尺寸比多媒体卡薄 (前者是2.1mm, 后者是1.4mm; 请参考第9章), 但它的定义方式使多媒体卡可以插入SD存储卡的插槽。注意: 由于多媒体卡与SD卡焊盘布局的机械定义之间有微小的差别, 这就要求SD主机在不使用DAT1~DAT3时可以使自己的DAT1~DAT3线处于输入模式 (三态)。

SD存储卡有三种不同的卡检测机制 (即: 用WP开关检测卡的机械插入、用DAT3的上拉电阻检测卡的电气插入和周期尝试初始化卡)。由于这些方式对于

多媒体卡来说无关的（或操作不同），因此建议不要只是依赖卡的占先式检测方式。主机应实现查询机制或允许用户请求卡的识别。

表4 命令比较表

类	CMD	SD存储卡	多媒体卡	注释
第0类	CMD0	CMD0（强制）	CMD0	命令相同
	CMD1	保留	CMD1	在SD存储卡中ACMD41用于替代CMD1
	CMD2	CMD2（强制）	CMD2	相似的命令，除了用于发送卡响应的缓冲类型。（SD存储卡：推挽；多媒体卡：开漏）
	CMD3	CMD3（强制）	CMD3	在两种协议中，这个命令都用于向卡分配逻辑地址。在多媒体卡中分配的是主机地址，在SD存储卡中分配的是卡的 责任 。
	CMD4-10	CMD4-10（强制）	CMD4-10	命令相同
第1类	CMD11	保留	CMD11	SD存储卡不支持流访问
第0类	CMD12-15	CMD12-15（强制）	CMD12-15	命令相同
第2类	CMD16-19	CMD16-19（强制）	CMD16-19	命令相同
第3类	CMD20	保留	CMD2	SD存储卡不支持流访问
	CMD21-23	保留	保留	所有都保留
第4类	CMD24-27	CMD24-27 (可写卡强制)	CMD24-27	命令相同
第6类	CMD28-31	CMD28-31（可选）	CMD28-31	命令相同
第5类	CMD32-33	CMD32-33 (可写卡强制)	CMD32-33	命令相同
	CMD34-37	保留	CMD34-37	SD存储卡不支持TAG和组擦除命令。
	CMD38	CMD38 (可写卡强制)	CMD38	命令相同
第9类	CMD39-41	保留	CMD39-41	SD存储卡不支持I/O模式
第7类	CMD42-54	CMD42-54（可选）	CMD42-54	命令相同
第8类	CMD55-56	CMD55-56（强制）	CMD55-56	命令相同
	CMD60-63	CMD60-63 (为厂商保留)	CMD60-63 (为厂商保留)	

4. SD存储卡的功能介绍

本章在物理层规范的简化版被忽略。

5. 卡的寄存器

本章在物理层规范的简化版被忽略。

6. SD存储卡的硬件接口

本章在物理层规范的简化版被忽略。

7. SPI模式

本章在物理层规范的简化版被忽略。

8. SD存储卡的机械规范

本章介绍了SD存储卡的机械和机电特性，此外还介绍了SD存储卡连接器的最小**标准**（**minimal recommendations**）。所有技术草案都遵守DIN ISO标准。

卡外壳的作用是：

- 保护芯片；
- 简化终端用户的处理；
- 电气互连可靠；
- 写保护 / 卡检测性能可靠；
- 可以贴上文本信息和图像；
- 外观吸引。

连接器的功能包括：

- 连接和固定卡；
- 提供卡与系统板的电气互连；
- 写保护 / 卡检测指示；
- 可选：开 / 关电源；
- 防止反向插入卡。

8.1 卡的外壳

下面部分介绍卡外壳的应有特性。

8.1.1 外部信号的触点（ESC）

表5 SD存储卡的外壳——外部信号触点

ESC的数量	9
与前沿的距离	1.2 mm
ESC间距	2.5mm
触点尺寸	1.7mm x 4.0mm
电阻	30 mΩ (最差情况: 100 mΩ)
微型中断 (micro interrupts)	< 0.1μs

8.1.2 设计规格

表6 SD存储卡的外壳——尺寸

SD存储卡的外壳尺寸	24mm x 32mm; (最小: 23.9mm x 31.9mm; 最大: 24.1mm x 32.1mm)
厚度	其他尺寸见图15。根据MIL STD 883, Meth 2016测试。 “互连区”: 2.1mm ± 0.15mm或1.4 ± 0.15mm (薄SD卡)。 “衬底区”: 最大2.25mm或最大1.55mm (薄SD卡)——见图17
标签或可打印区	只能在“衬底区”内。见图17。
表面	平坦 (除了触点区)
边沿	边沿平滑, 见图16和图17。
反向插入	由左角 (上视图) 防止, 见图19。
ESC触点的位置	沿着在短边沿的中间

8.1.3 可靠性和耐用性

表7 可靠性和耐用性



Buy Now

\$49.95

(Word Converter – 未注册) <http://www.word-converter.net>

温度	工作温度：-25°C / 85°C (Target spec) 存储温度：-40°C (168h) / 85°C (500h) 结点温度：最高95°C
湿度和腐蚀	工作： 25°C /相对湿度95% 存储： 40°C /相对湿度93% (/500h) 盐水喷射： 3% NaCl/35°C; 24h acc. MIL STD Method 1009
耐用性	10,000插入周期；测试程序： tbd
抗弯性（注1）	10N
扭矩（注1）	0.15N.m或 ± 2.5 deg.
跌落试验	从1.5m自由降落
UV射线曝光	根据ISO 7816-1, UV:254nm,15Ws/cm ²
视觉检验	无扭曲；无注塑印痕；形状完整；轮廓内无洞，表面平滑 $\leq -0.1\text{mm/cm}^2$ ；无裂缝；无玷污物（如脂肪、油污等）。
形状（注1）	
WP开关的最小拨动力量	40gf（确保WP开关在插入连接器后不会滑动）。
WP开关的周期	最小1000个周期（拨动力量为0.4N~5N）

注：

1. SDA推荐的扭矩、抗弯性和扭曲等测试方式在独立的应用文档中介绍。

8.1.4 静电放电（ESD）的要求

ESD测试应根据IED61000-4-2进行。

要求的ESD参数包括：

(1) 人体模型： $\pm 4\text{KV}$ 100pf / 1.5 K Ω ；

(2) 机械模型： $\pm 0.25\text{KV}$ 200pf / 0 Ω 。

触点焊盘： $\pm 4\text{kV}$ ，人体模型根据IEC61000-4-2。

非触点焊盘的区域：

$\pm 8\text{kV}$ （耦合平面放电）；

$\pm 15\text{kV}$ （空气放电）。

人体模型根据IEC61000-4-2。

SDA的推荐的非触点 / 空气放电测试方式在独立的应用文档中介绍。



Buy Now

\$49.95

(Word Converter – 未注册) <http://www.word-converter.net>

8.1.5 品质保证

每张卡独立的ID号可以确保产品的可跟踪性。

8.2 机械外形参数

下面的三张技术草图定义了厚度为 $2.1 \pm 0.15\text{mm}$ 的SD存储卡外壳（薄SD存储卡的图请参考8.4节）。

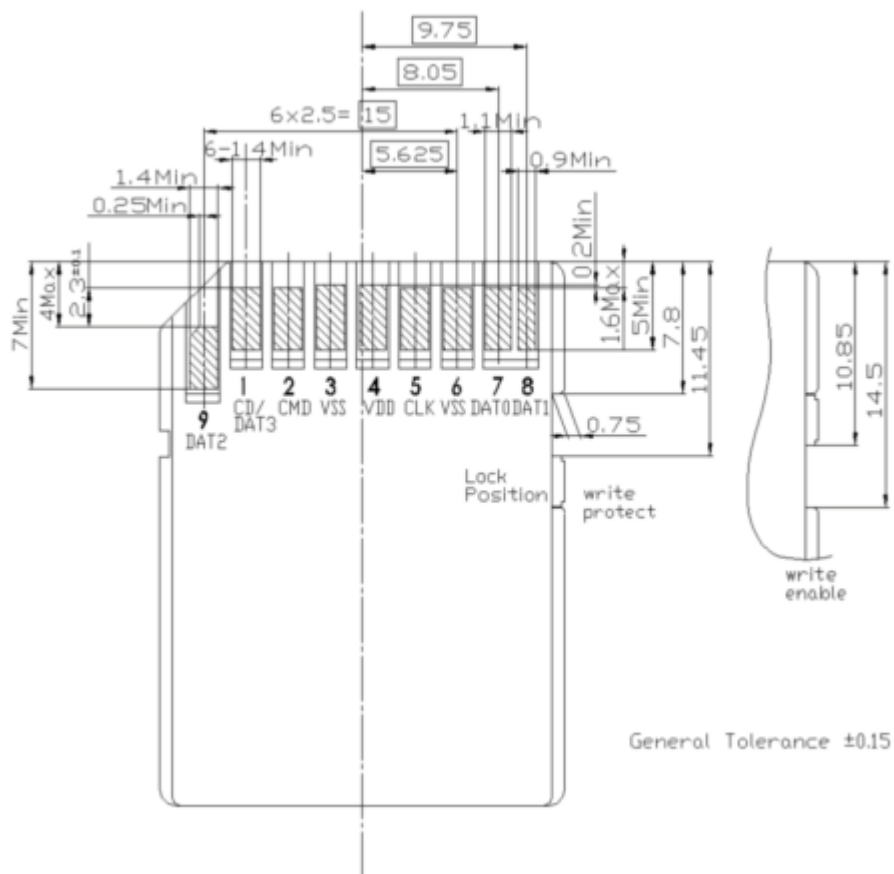


图15 SD存储卡——机械描述（1）