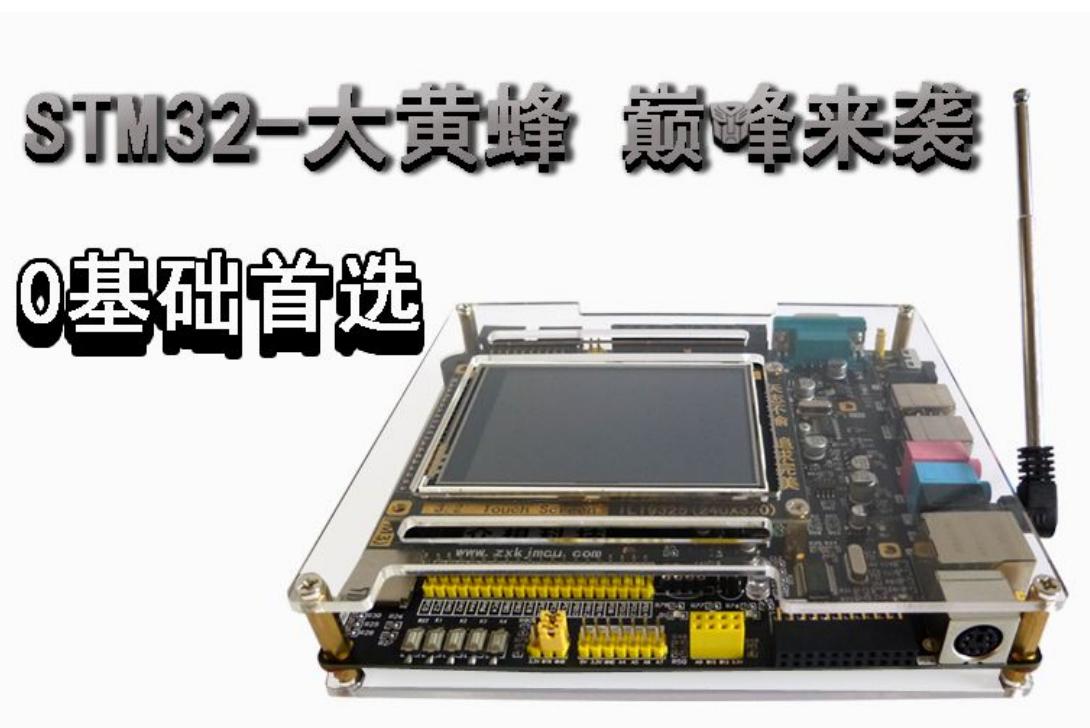


学 ARM 从 STM32 开始

STM32 开发板库函数教程—实战篇



官方网站: <http://www.zxkjmcu.com>

官方店铺: <http://zxkjmcu.taobao.com>

官方论坛: <http://bbs.zxkjmcu.com>

刘洋课堂: <http://school.zxkjmcu.com>

4.34 STM32 SD 存储卡工作原理

4.34.1 概述

4.34.1.1 SD 卡原理

SD 卡 (Secure Digital Memory Card) 直译成汉语就是“安全数字卡”，是由日本松下公司、东芝公司和美国 SANDISK 公司共同开发研制的全新的存储卡产品。SD 存储卡是一个完全开放的标准（系统），多用于 MP3、数码摄像机、数码相机、电子图书、AV 器材等等，尤其是被广泛应用在超薄数码相机上。SD 卡在外形上同 MultiMedia Card 卡保持一致，大小尺寸比 MMC 卡略厚，容量也大很多。并且兼容 MMC 卡接口规范。不由让人们怀疑 SD 卡是 MMC 升级版。另外，SD 卡为 9 引脚，目的是通过把传输方式由串行变成并行，以提高传输速度。它的读写速度比 MMC 卡要快一些，同时，安全性也更高。SD 卡最大的特点就是通过加密功能，可以保证数据资料的安全保密。它还具备版权保护技术，所采用的版权保护技术是 DVD 中使用的 CPRM 技术（可刻录介质内容保护）。是一种基于半导体快闪记忆器的新一代记忆设备。SD 卡由日本松下、东芝及美国 SanDisk 公司于 1999 年 8 月共同开发研制。大小犹如一张邮票的 SD 记忆卡，重量只有 2 克，但却拥有高记忆容量、快速数据传输率、极大的移动灵活性以及很好的安全性。

SD 卡在 24mm×32mm×2.1mm 的体积内结合了 SanDisk 快闪记忆卡控制与 MLC (Multilevel Cell) 技术和 Toshiba (东芝) 0.16u 及 0.13u 的 NAND 技术，通过 9 针的接口界面与专门的驱动器相连接，不需要额外的电源来保

持其上记忆的信息。而且它是一体化固体介质，没有任何移动部分，所以不用担心机械运动的损坏。

SD 卡的结构能保证数字文件传送的安全性，也很容易重新格式化，所以有着广泛的应用领域，音乐、电影、新闻等多媒体文件都可以方便地保存到 SD 卡中。因此不少数码相机也开始支持 SD 卡。

TransFlash 卡

TransFlash 卡即 micro SD 卡是目前世界上最小的闪存卡，约为 SD 卡的 1/4，尺寸为 15 x 11 x 1mm，同手指甲大小。利用适配器可以在使用 SD 作为存储介质的设备上使用。TransFlash 主要是为照像手机拍摄大幅图像以及能够下载较大的视频片段而开

发研制的。TransFlash 卡可以用来储存个人数据，例如数字照片、MP3、游戏及用于手机的应用和个人数据等，还内设置版权保护管理系统，让下载的音乐、影像及游戏受保护；未来推出的新型 TransFlash 还备有加密功能，保护个人数据、财政纪录及健康医疗文件。体积小巧的 TransFlash 让制造商无须顾虑电话体积即可采用此设计，而另一项弹性运用是可以让供货商在交货前随时按客户不同需求做替换，这个优点是嵌入式闪存所没有的。

4.34.1.2 SD 卡内部结构及引脚

一般 SD 有两种模式：SD 模式和 SPI 模式，管脚定义如下：

(A) 、SD 模式：1、CD/DATA3；2、CMD；3、VSS1；4、VDD；5、CLK；6、VSS2；7、DATA0；8、DATA1；9、DATA2。



(B)、SPI 模式： 1、CS； 2、DI； 3、VSS； 4、VDD； 5、SCLK； 6、VSS2；
7、D0； 8、RSV； 9、RSV。

SD 卡内部结构及引脚如下“图 4.34.1 SD 卡内部结构”所示：

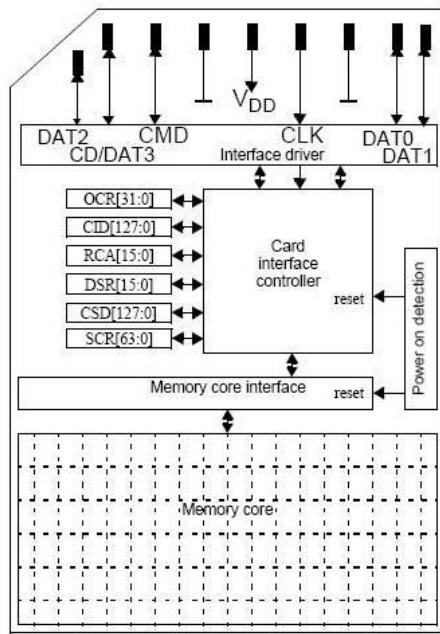


图 4.34.1 SD 卡内部结构

SD 卡主要引脚和功能为：

CLK：时钟信号，每个时钟周期传输一个命令或数据位，频率可在 0~25MHz 之间变化，SD 卡的总线管理器可以不受任何限制的自由产生 0~25MHz 的频率；

CMD：双向命令和回复线，命令是一次主机到从卡操作的开始，命令可以是从主机到单卡寻址，也可以是到所有卡；回复是对之前命令的回答，回复可以来自单卡或所有卡；

DAT0~3：数据线，数据可以从卡传向主机也可以从主机传向卡。

SD 卡以命令形式来控制 SD 卡的读写等操作。可根据命令对多块或单块进行读写操作。在 SPI 模式下其命令由 6 个字节构成，其中高位在前。SD 卡命令相关参数可以查阅 SD 卡规范。

4.34.1.3 SD 卡特征

- ◎容量：32MB/64MB/128MB/256MB/512MB/1GByte/32GByte
- ◎两个可选的通信协议：SD 模式和 SPI 模式
- ◎可变时钟频率 0—25MHz
- ◎通信电压范围：2.0—3.6V，工作电压范围：2.0—3.6V
- ◎低电压消耗：自动断电及自动睡醒，智能电源管理
- ◎无需额外编程电压
- ◎卡片带电插拔保护
- ◎正向兼容 MMC 卡
- ◎数据寿命：10 万次编程/擦除

4.34.1.4 SDHC 传输速率级别

SDHC 是“High Capacity SD Memory Card”的缩写，即“高容量 SD 存储卡”。2006 年 5 月 SD 协会发布了最新版的 SD 2.0 的系统规范，在其中规定 SDHC 是符合新的规范、且容量大于 2GB 小于等于 32GB 的 SD 卡。

过去，对于 SD 卡的数据传输速率，各家公司的表示方法各不相同，有时不知道实际使用的设备是否已经达到了预期的性能。因此，SD 协会对于数据传输速率制定了“SD Speed Class (SD 传输速率级别)”。今后，使用的设备上、使用的卡上分别标有“SD Speed Class”，这样就可以很容易的选择关于传输速率的卡。

目前，已经对 Class 2、Class 4、Class 6 的 3 种系列制定了相应的规格

Class 0 标记

包括低于 Class 2 和未标注 Speed Class 的情况

Class 2 标记

读写时的数据传输速率最低 2MB/秒

Class 4 标记

读写时的数据传输速率最低 4MB/秒

Class 6 标记

读写时的数据传输速率最低 6MB/秒

4.34.2 STM32 SDIO 接口

STM32 单片机集成了 SDIO 接口，SD/SDIO MMC 卡主机模块 (SDIO) 在 AHB 外设总线和多媒体卡 (MMC)、SD 存储卡、SDIO 卡和 CE-ATA 设备间提供了操作接口。

SDIO 的主要功能如下：

- 与多媒体卡系统规格书版本 4.2 全兼容。支持三种不同的数据总线模式：1 位(默认)、4 位和 8 位。
- 与较早的多媒体卡系统规格版本全兼容(向前兼容)。
- 与 SD 存储卡规格版本 2.0 全兼容。
- 与 SD I/O 卡规格版本 2.0 全兼容：支持良种不同的数据总线模式：1 位(默认)和 4 位。
- 完全支持 CE-ATA 功能(与 CE-ATA 数字协议版本 1.1 全兼容)。

- 8 位总线模式下数据传输速率可达 48MHz。
- 数据和命令输出使能信号，用于控制外部双向驱动器

4.34.2.1 SDIO 总线拓扑

总线上的通信是通过传送命令和数据实现。

在多媒体卡/SD/SD I/O 总线上的基本操作是命令/响应结构，这样的总线操作在命令或总线机制下实现信息交换；另外，某些操作还具有数据令牌。在 SD/SDIO 存储器卡上传送的数据是以数据块的形式传输；在 MMC 上传送的数据是以数据块或数据流的形式传输；在 CE-ATA 设备上传送的数据也是以数据块的形式传输。

4.34.2.2 SDIO 功能描述

SDIO 包含 2 个部分：

- SDIO 适配器模块：实现所有 MMC/SD/SD I/O 卡的相关功能，如时钟的产生、命令和数据的传送。
- AHB 总线接口：操作 SDIO 适配器模块中的寄存器，并产生中断和 DMA 请求信号。

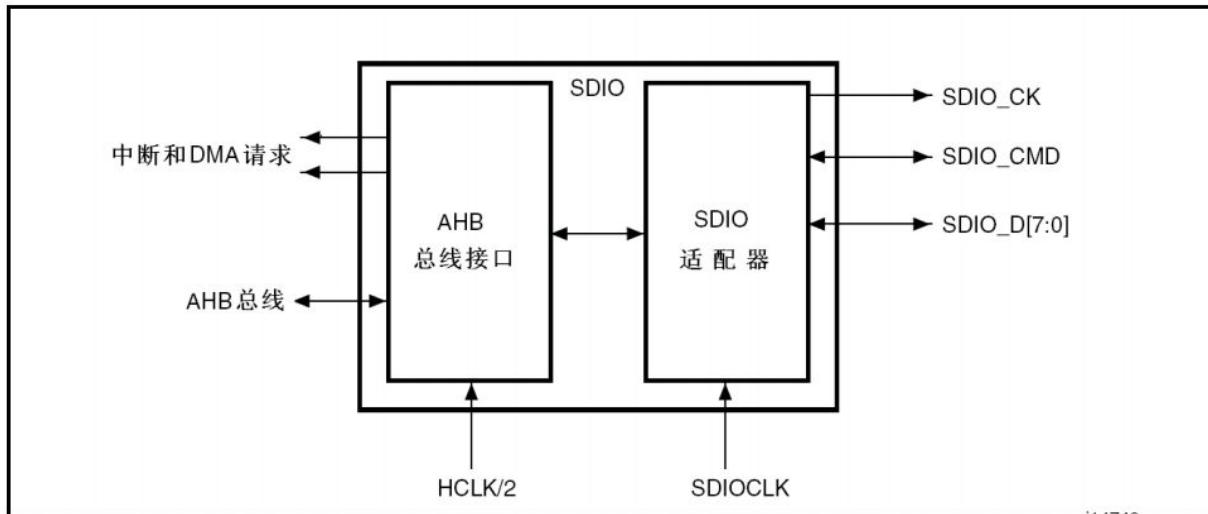


图 4.34.2 SDIO 框图

复位后默认情况下 SDIO_D0 用于数据传输。初始化后主机可以改变数据总线的宽度。

如果一个多媒体卡接到了总线上，则 SDIO_D0、SDIO_D[3:0] 或 SDIO_D[7:0] 可以用于数据传输。MMC 版本 V3.31 和之前版本的协议只支持 1 位数据线，所以只能用 SDIO_D0。如果一个 SD 或 SD I/O 卡接到了总线上，可以通过主机配置数据传输使用 SDIO_D0 或 SDIO_D[3:0]。所有的数据线都工作在推挽模式。

SDIO_CMD 有两种操作模式：

- 用于初始化时的开路模式(仅用于 MMC 版本 V3.31 或之前版本)
- 用于命令传输的推挽模式(SD/SD I/O 卡和 MMC V4.2 在初始化时也使用推挽驱动)

SDIO_CK 是卡的时钟：每个时钟周期在命令和数据线上传输 1 位命令或数据。对于多媒体卡 V3.31 协议，时钟频率可以在 0MHz 至 20MHz 间变化；对于多媒体卡 V4.0/4.2 协议，时钟频率可以在 0MHz 至 48MHz 间变化；对于 SD 或 SD I/O 卡，时钟频率可以在 0MHz 至 25MHz 间变化。

SDIO 使用两个时钟信号：

- SDIO 适配器时钟 (SDIOCLK=HCLK)
- AHB 总线时钟 (HCLK/2)

附表 1 适用于多媒体卡/SD/SD I/O 卡总线：

附表 1 SDIO 引脚定义

引脚	方向	说明
SDIO_CK	输出	多媒体卡/SD/SDIO 卡时钟。这是从主机至卡的时钟线。
SDIO_CMD	双向	多媒体卡/SD/SDIO 卡命令。这是双向的命令/响应信号线。
SDIO_D[7:0]	双向	多媒体卡/SD/SDIO 卡数据。这些是双向的数据总线。

4.34.2.3 SDIO 适配器

下图是简化的 SDIO 适配器框图：

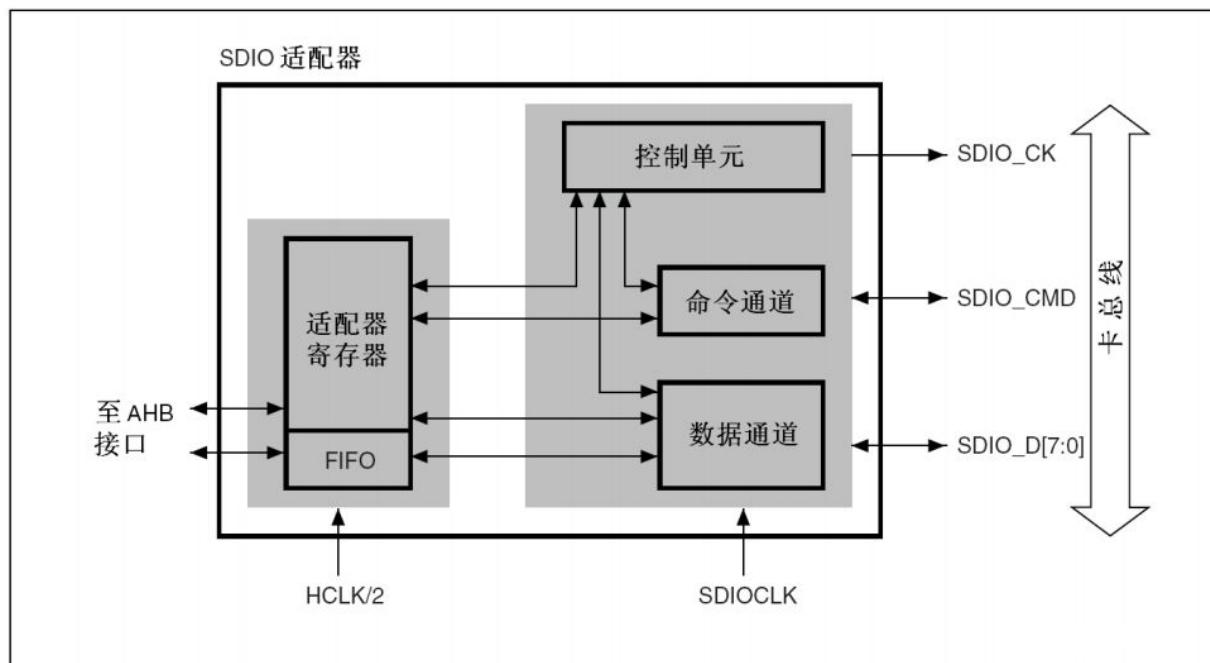


图 4.34.3 SDIO 适配器框图

SDIO 适配器是多媒体/加密数字存储卡总线的主设备(主机)，用于连接一组多媒体卡或加密数字存储卡，它包含以下 5 个部分：

- 适配器寄存器模块

- 控制单元
- 命令通道
- 数据通道
- 数据 FIFO

适配器寄存器和 FIFO 使用 AHB 总线一侧的时钟 (HCLK/2)，控制单元、命令通道和数据通道使用 SDIO 适配器一侧的时钟 (SDIOCLK)。

4.34.2.4 数据通道状态机 (DPSM)

DPSM 工作在 SDIO_CK 频率，卡总线信号与 SDIO_CK 的上升沿同步。DPSM 有 6 个状态，如下图 4.34.4 数据通道状态机 (DPSM)。

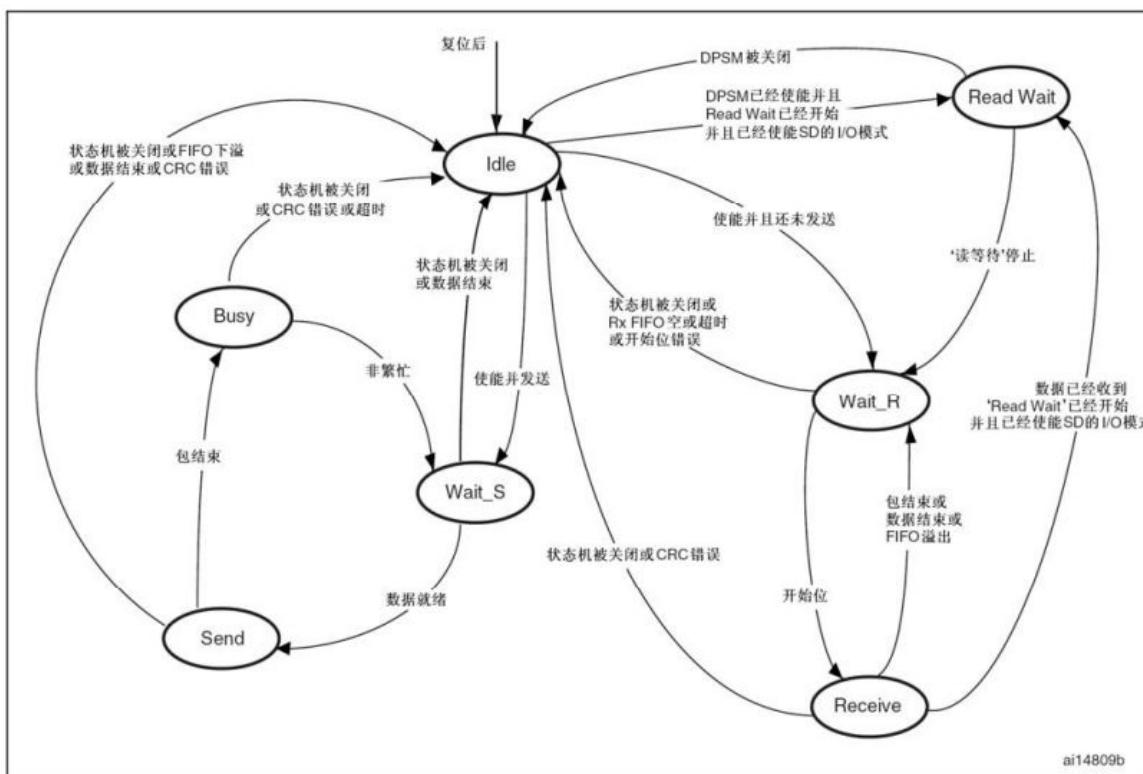


图 4.34.4 数据通道状态机 (DPSM)

- 空闲 (Idle)：数据通道不工作，SDIO_D[7:0]输出处于高阻状态。当写入数据控制寄存器并设置使能位时，DPSM 为数据计数器加载新的数值，并依据数据方向位进入 Wait_S 或 Wait_R 状态。

- Wait_R: 如果数据计数器等于 0, 当接收 FIFO 为空时 DPSM 进入到空闲 (Idle) 状态。如果数据计数器不等于 0, DPSM 等待 SDIO_D 上的开始位。如果 DPSM 在超时之前接收到一个开始位, 它会进入接收 (Receive) 状态并加载数据块计数器。如果 DPSM 在检测到一个开始位前出现超时, 或发生开始位错误, DPSM 将进入空闲状态并设置超时状态标志。
- 接收 (Receive): 接收到的串行数据被组合为字节并写入数据 FIFO。根据数据控制寄存器中传输模式位的设置, 数据传输模式可以是块传输或流传输:
 - 在块模式下, 当数据块计数器达到 0 时, DPSM 等待接收 CRC 码, 如果接收到的代码与内部产生的 CRC 码匹配, 则 DPSM 进入 Wait_R 状态, 否则设置 CRC 失败状态标志同时 DPSM 进入到空闲状态。
 - 在流模式下, 当数据计数器不为 0 时, DPSM 接收数据; 当计数器为 0 时, 将移位寄存器中的剩余数据写入数据 FIFO, 同时 DPSM 进入 Wait_R 状态。如果产生了 FIFO 上溢错误, DPSM 设置 FIFO 的错误标志并进入空闲状态。
- Wait_S: 如果数据计数器为 0, DPSM 进入空闲状态; 否则 DPSM 等待数据 FIFO 空标志消失后, 进入发送状态。
- 发送 (Send): DPSM 开始发送数据到卡设备。根据数据控制寄存器中传输模式位的设置, 数据传输模式可以是块传输或流传输:
 - 在块模式下, 当数据块计数器达到 0 时, DPSM 发送内部产生的 CRC 码, 然后是结束位, 并进入繁忙状态。
 - 在流模式下, 当使能位为高同时数据计数器不为 0 时, DPSM 向卡设备

发送数据，然后进入空闲状态。如果产生了 FIFO 下溢错误，DPSM 设置 FIFO 的错误标志并进入空闲状态。

- 繁忙(Busy)： DPSM 等待 CRC 状态标志：
 - 如果没有接收到正确的 CRC 状态，则 DPSM 进入空闲状态并设置 CRC 失败状态标志。
 - 如果接收到正确的 CRC 状态，则当 SDIO_D0 不为低时(卡不繁忙) DPSM 进入 Wait_S 状态。当 DPSM 处于繁忙状态时发生了超时，DPSM 则设置数据超时标志并进入空闲状态。当 DPSM 处于 Wait_R 或繁忙状态时，数据定时器被使能，并能够产生数据超时错误：
 - 发送数据时，如果 DPSM 处于繁忙状态超过程序设置的超时间隔，则产生超时。
 - 接收数据时，如果未收完所有数据，并且 DPSM 处于 Wait_R 状态超过程序设置的超时间隔，则产生超时。
- 数据：数据可以从主机传送到卡，也可以反向传输。数据在数据线上传输。数据存储在一个 32 字的 FIFO 中，每个字为 32 位宽。

具体详情请参考《STM32 中文参考手册_V10》。