

BOYUAN STORAGE COMMAND SET

Specification v1.0

嵌入式/FPGA 存储加速

1 介绍

本协议定义一种适用于嵌入式/FPGA 应用的数据存储指令集，该指令集可用于存储加速 IP 中本地端的软硬件接口。通过使用该指令集，将复杂的通用存储协议（如 NVMe）卸载至专用加速 IP 中执行，从而在不降低存储性能的同时，大幅降低嵌入式/FPGA 应用中存储协议的软件开销。

定义两类指令集：管理指令集和 I/O 指令集，详见 Table1-1。其中，管理指令实现对存储设备控制器的管理操作，包括日志和 ID 的读取、特性的设置和读取、以及开机和关机操作。其中，开机和关机指令执行的具体操作，与存储控制器的协议相关，例如，在 NVMe 协议中，开机操作涉及 ID 的读取，以及 NVMe I/O 队列的创建，关机操作涉及 NVMe I/O 队列的删除以及相关 NVMe 寄存器的读写。管理指令与命名空间无关，作用于整个 NVMe 控制器。管理指令涉及的页表数据未作定义，由具体应用实现确定。

I/O 指令实现数据和写入、读取和管理操作，与命名空间相关，通过读取相应的命名空间 ID 实现目标命名空间的切换，开机指令执行完毕后，默认切换至命名空间 1。I/O 指令中涉及到的数据位于一段连续的本地内存空间中，由指令中的地址字指定，不使用 PRP 或 SG 链表。

Table 1-1 博原科技存储指令

| 指令名称 | Comand Name | 说明 |
|--------|---------------------|------------------------|
| 管理指令 | | |
| 读取日志 | Get Log Page | 读取存储设备 SMART、Error 等日志 |
| 读取 ID | Identify | 读取存储设备控制器或命名空间 ID |
| 设置特性 | Set Feature | 设置存储设备控制器的特性 |
| 读取特性 | Get Feature | 读取存储设备控制器的特性 |
| 开机 | Startup | 执行开机指令操作 |
| 正常关机 | Normal Shutdown | 执行正常关机指令操作 |
| 异常关机 | Abrupt Shutdown | 执行异常关机指令操作 |
| I/O 指令 | | |
| 写缓冲 | Flush | 通知存储设备清除缓冲区 |
| 写数据 | Write | 将本地数据写入至存储设备 |
| 读数据 | Read | 从存储设备读取数据 |
| 数据集管理 | Data Set Management | 管理存储设备中的数据集合 |

2 管理指令集

管理指令集中包含两类指令：标准管理指令和开关机指令，详见 Table2-1。标准管理指令包含读取日志、读取 ID、设置特性和读取特性四种指令。标准管理指令所涉及的页表数据长度限定为 4KB，存储位置有具体应用指定（与 I/O 指令数据位置不同）。

开关机指令包含开机、正常关机及快速关机三种指令，详见 Table2-1。该类指令所执行的操作与存储设备协议类型相关。开机指令完成后，存储设备须能够接受和处理所提交的 I/O 指令；关机指令完成后，存储设备须允许掉电。

Table 2-1 管理指令集

| 指令名称 | Name | 操作码 | 说明 |
|-------|-----------------|-----|--------------------------------|
| 读取日志 | Get Log Page | 02h | 读取日志 日志页表长度不超过 4KB。 |
| 读取 ID | Identify | 06h | 读取 ID ID 页表长度固定为 4KB。 |
| 设置特性 | Set Feature | 09h | 设置存储设备控制器的属性 特性页表长度不超过 4KB。 |
| 读取特性 | Get Feature | 0Ah | 读取存储设备控制器的属性 特性页表长度不超过 4KB。 |
| 开机 | Startup | C0h | 启动存储设备 完成所有必要的初始化指令。 |
| 正常关机 | Shutdown | C1h | 正常关闭存储设备 完成所有正常关闭指令/寄存器操作。 |
| 异常关机 | Abrupt Shutdown | C2h | 正常关闭存储设备 完成所有异常关闭指令/寄存器操作。 |

2.1 读取日志

读取日志指令，见 Table2-2，获取存储设备的 SMART 或 Error 日志。单次读取日志长度限定在 4KB 范围内，如果所需读取的页表长度超过 4KB，须设置偏移地址和长度分多次读取。日志页表存储方式未作定义，由具体应用实现确定。

Table 2-2 读取日志指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|------------------------|--------------|---------------|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 02h | 操作码：读取 Log |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 30:20 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | 31:16 | log_length | 127 或 1023 | 日志页表访问长度，常用 512B 或 4KB。 以 DW 为单位，从 0 开始计数。 |
| | 15:12 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 11:0 | log_id_field | 1h 或 2h | 日志类型及域定义： 1h：SMART 日志； 2h：Error 之日。 其他：保留 |
| DW11 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW12 | log_page_offset[31:0] | | 0h | 日志页表偏移地址，DW 对齐。 |
| DW13 | log_page_offset[63:32] | | | |
| DW14~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

2.2 读取ID

读取 ID 指令，见 Table2-3，获取存储设备控制器或命名空间的 ID 页表，所有 ID 页表长度固定为 4KB，小于 4KB 的页表从最低位开始存储。ID 页表存储方式未作定义，由具体应用实现确定。在执行 I/O 指令前，须确保当前命名空间已被正确切换至该 I/O 指令的命名空间中。命名空间的切换方式通过读取目标命名空间的 ID 实现。

Table 2-3 读取 ID 指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|-------|-------|------------|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 06h | 操作码：读取 ID |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 30:20 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1 | 31:0 | nsid | 0h 或 其他 | 命名空间 ID： 读取控制器 ID 时设置为 0h； 否则设置为命名空间的 ID 值。 |
| DW2~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | 7:0 | cns | 0h 或 1h | ID 类型选择码： 0h：命名空间 ID；1h：控制器 ID； 其他：保留。 |
| | 31:08 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW11~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

2.3 设置特性

设置特性指令，见 Table2-4，设置存储设备的具体属性。该指令允许可包含不超过 4KB 的属性页表。属性页表存储方式未作定义，由具体应用实现确定。指令字 DW11~15 的定义，沿用 NVME 协议 Set Feature 定义。

Table 2-4 设置特性指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|----------|-------|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 09h | 操作码：设置特性 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 30:20 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | 7:0 | fid | >0h | 特性 ID： 与 NVMe 协议 fid 定义一致。 |
| | 30:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | save | 可配 | 掉电/复位保存： 与 NVMe 协议 save 定义一致。 |
| DW11~15 | 与 fid 相关 | | 可配 | 特性配置字： 与 NVMe 协议 Set Feature 定义一致。 |

2.4 读取特性

读取特性指令，见 Table2-4，读取存储设备的具体属性。该指令允许可包含不超过 4KB 的属性页表。属性页表存储方式未作定义，由具体应用实现确定。

Table 2-5 读取特性指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|-------|-------|-------|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 0Ah | 操作码：读取特性 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 30:20 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | 7:0 | fid | >0h | 特性 ID： 与 NVMe 协议 fid 定义一致。 |
| | 10:8 | sel | 0h~3h | 返回特性的选择位： 与 NVMe 协议 sel 定义一致。 |
| | 31:11 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW11~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

2.5 开机

开机指令，见 Table2-6，与存储设备所采用的标准协议有关。例如，在 NVME 设备中，开机操作依次执行以下 NVME 管理指令：读取 ID（控制器）、读取 ID（命名空间 1）、创建 NVME I/O 完成队列 0、创建 NVME I/O 提交队列 0。开机操作完成后，存储设备可以正常接收和处理 I/O 指令。

Table 2-6 开机指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | C0h | 操作码：开机 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 30:18 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

2.6 正常关机

正常关机指令，见 Table2-7，与存储设备所采用的标准协议有关。例如，在 NVME 设备中，正常关机操作依次执行以下 NVME 管理指令：删除 NVME I/O 提交队列 0、删除 NVME I/O 完成队列 0，最后更新 CC.SHN 寄存器，等待 CSTS.SHST 返回关机完成状态。

Table 2-7 正常关机指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | C1h | 操作码：正常关机 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 30:18 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

2.7 异常关机

异常关机指令，见 Table2-8，与存储设备所采用的标准协议有关。例如，在 NVME 设备中，异常关机操作更新 CC.SHN 寄存器，等待 CSTS.SHST 返回关机完成状态。

Table 2-8 异常关机指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | C2h | 操作码：异常关机 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 30:18 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 0b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

3 I/O 指令集

I/O 指令集中包含四种 I/O 数据操作指令：写缓冲、写数据、读数据以及数据集管理，详见 Table3-1。写缓冲通知存储设备清除缓冲区的数据，不涉及数据传输。写数据和读数据设计数据传输，在指令字中须指定数据在指令提交端内存中存放的位置，以及数据的 LBA 地址和传输长度。数据集管理用于设置数据集的属性，例如，将一段 LBA 范围内的数据标记为垃圾数据时，即完成了 TRIM 操作。

Table 3-1I/O 指令集

| 指令名称 | Name | 操作码 | 说明 |
|-------|---------------------|-----|--------------|
| 写缓冲 | Flush | 80h | 通知存储设备清除缓冲区 |
| 写数据 | Write | 81h | 将本地数据写入至存储设备 |
| 读数据 | Read | 82h | 从存储设备读取数据 |
| 数据集管理 | Data Set Management | 89h | 管理存储设备中的数据集 |

3.1 写缓冲

写缓冲指令，见 Table3-2，清除存储设备中缓冲区的数据。

Table 3-2 写缓冲指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 80h | 操作码：写缓冲 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 30:18 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 1b | 指令集： 0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

3.2 写数据

写数据指令，见 Table3-3，将内存中的连续数据写入至存储设备中，允许定义数据的多种属性，如内存总线访问方式、可压缩性、连续性、读写访问延迟要求以及读写访问频率等。

Table 3-3 写数据指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|-------------|-------|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 81h | 操作码：写数据 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 内存数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 23:20 | cache | 可配 | 内存数据访问 Cache 类型： 与 AMBA4 协议 AxCache 定义一致。 |
| | 30:24 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 1b | 指令集：0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~5 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW6 | addr[31:0] | | 可配 | 内存数据地址： 与数据总线的位宽对齐 |
| DW7 | addr[63:32] | | | |
| DW8~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | lba[31:0] | | 可配 | LBA 起始地址：以 512B 为单位。 RAID 应用中，条带对齐。 |
| DW11 | lba[63:32] | | | |
| DW12 | length | | 可配 | 传输长度：以 512B 为单位，基于 1 计数。 RAID 应用中，条带对齐。 |
| DW13 | 7:0 | dsm | 可配 | 数据集管理信息： 与 NVME 协议 dsm 定义一致。 |
| | 31:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW14~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

3.3 读数据

写数据指令，见 Table3-3，读取存储设备中的数据并写入至内存，允许定义数据的多种属性，如内存总线访问方式、可压缩性、连续性、读写访问延迟要求以及读写访问频率等。

Table 3-4 读数据指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|-------------|-------|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 82h | 操作码：读数据 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 内存数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 23:20 | cache | 可配 | 内存数据访问 Cache 类型： 与 AMBA4 协议 AxCache 定义一致。 |
| | 30:24 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 1b | 指令集：0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~5 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW6 | addr[31:0] | | 可配 | 内存数据地址： 与数据总线的位宽对齐 |
| DW7 | addr[63:32] | | | |
| DW8~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | lba[31:0] | | 可配 | LBA 起始地址：以 512B 为单位。 RAID 应用中，条带对齐。 |
| DW11 | lba[63:32] | | | |
| DW12 | length | | 可配 | 传输长度：以 512B 为单位，基于 1 计数。 RAID 应用中，条带对齐。 |
| DW13 | 7:0 | dsm | 可配 | 数据集管理信息： 与 NVME 协议 dsm 定义一致。 |
| | 31:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW14~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

3.4 数据集管理

数据集管理指令，见 Table3-5，设置数据集的属性。在提交该指令前，须在内存中创建数据集管理页表，该页表大小为 4KB。页表与 NVME DSM 指令定义一致。

Table 3-5 数据集管理指令字定义

| 指令字 | 位 | 名称 | 值 | 说明 |
|---------|-------------|-------|-----|---|
| DW0 | 7:0 | opc | 89h | 操作码：读数据 |
| | 15:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 17:16 | sts | 1h | 指令状态： 提交端置为 0/1h，完成端置为 2/3h。 0h：空闲状态；1h：激活状态； 2h：完成状态；3h：异常完成状态。 |
| | 19:18 | burst | 1h | 内存数据访问突发类型： 0h：FIXED，RAID 模式不可用； 1h：INCR；其他：保留 |
| | 23:20 | cache | 可配 | 内存数据访问 Cache 类型： 与 AMBA4 协议 AxCache 定义一致。 |
| | 30:24 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| | 31 | cs | 1b | 指令集：0b：管理指令；1b：I/O 指令。 |
| DW1~5 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW6 | addr[31:0] | | 可配 | 内存数据地址：与数据总线的位宽对齐 RAID 应用中，按顺序存放条带页表。 |
| DW7 | addr[63:32] | | | |
| DW8~9 | 保留 | | 0h | 未使用。 |
| DW10 | 7:0 | nr | 可配 | Range 数量：与 NVME 协议 nr 定义一致。 |
| | 31:8 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW11 | 0 | idr | 可配 | 完整读数据集：置 1 有效 |
| | 1 | idw | 可配 | 完整写数据集：置 1 有效 |
| | 2 | ad | 可配 | 数据删除：置 1 有效 |
| | 31:3 | 保留 | 0h | 未使用。 |
| DW12 | length | | 可配 | 传输长度：以 512B 为单位，基于 1 计数。 |
| DW13~15 | 保留 | | 0h | 未使用。 |

版权声明

BoYuan NVME Command Set v1.0 版权归北京博原科技有限公司全权所有，任何未取得授权或未注明来源（北京博原科技）的使用/引用均被视为侵权行为，北京博原科技有限公司保留追究侵权方相关法律责任的权利。

版本信息

| | |
|-------|---|
| 名称 | BoYuan Storage Command Set Specification |
| 版本 | v1.0 |
| 发布日期 | 2020.08 |
| 相关 IP | BoYuan NVMe Host IP-AMBA; BoYuan NVMe RAID IP |

信息反馈

北京博原科技有限公司

北京市海淀区上地东路 35 号院 1#312

E-mail: info@bjbytech.com

Website: www.bjbytech.com/contact_en.html

版本历史

| Version | Data | Changes |
|---------|---------|---------------|
| v1.0 | 2020.08 | First Release |