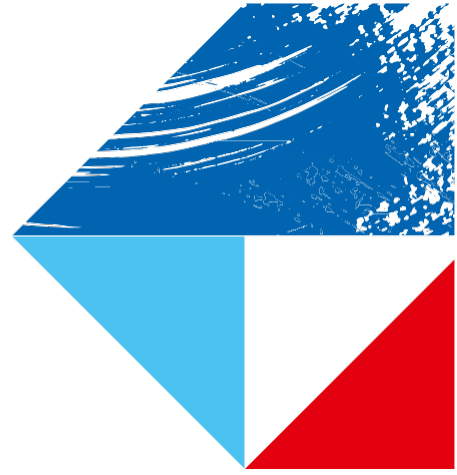


## SMR (叠瓦式磁记录) 硬盘 在监控系统中的优势



随着监控系统市场的持续扩张，大容量、高性能机械硬盘(HDD)的需求日益旺盛。这些硬盘被运用在多种形式的视频录像设备中。

为了满足不断增长的市场需求，东芝对其 DT02-VH系列监控硬盘做了进一步的提升。4TB和6TB成为可选容量点，它们均采用了Shingled Magnetic Recording (SMR) 技术。

这些型号具有以下主要功能：

- 于 3.5 英寸HDD的标准外型尺寸中，提供更高的存储密度。
- 具有高性能，使硬盘能够同时支持多达 64 个摄像头，将视频数据存储到磁盘上的SMR区域，而无需经过Media Cache(MC)。
- 提供可供用户访问的额外的 Conventional Magnetic Recording(CMR) 区域，以直接存储较小的系统数据。

### 1. 前言

随着视频分辨率的提高以及人工智能(AI)图像处理技术的进步，监控系统的部署变得越来越普遍。在全球，这些监控系统用于保障人们的人身和财产的安全，实现越来越多样化的商业和智能城市分析功能。

由监控系统生成的数据量正在急剧增长，一方面是因为分辨率在不断提高。与此同时，市场越来越需要能够同时记录多个视频流的监控存储系统。在这两种趋势的共同作用下，提升监控系统中部署的 Digital Video Recorder (DVR) 和 Network Video Recorder (NVR) 的硬盘存储容量的需求日益强烈。

为了满足客户不断提高的数据存储需求，东芝开发了采用 SMR 技术的 3.5 英寸监控硬盘。这些针对视频流应用场景做了优化的硬盘，可以高效的同时记录来自多个摄像头的视频数据流，而无需使用MC中转。这是通过预留磁盘的一部分作为 CMR 区域来实现的，较小的系统数据可以直接写入该区域。

以下报告描述了实现 SMR 监控硬盘所面临的挑战，以及用于克服这些挑战的技术。

## 2. 将 SMR HDD 集成到监控摄像头系统中面临的挑战

### 2.1 固件规格

监控系统中的 DVR 和 NVR 专为与现有文件系统配合使用而设计，需要与现有命令兼容的 HDD。此外，还需要 Drive-Managed (DM) 固件，以便现有系统的 CMR HDD 可以替换为高存储密度的 SMR HDD。基于 DM 固件的控制，来自主机系统的数据流被缓冲存储在 MC 中，MC 是磁盘上分配的辅助 SMR HDD 运行一个内部区域。当 HDD 的可用 MC 空间不足时，MC 中的数据将写入一个 band，或顺序写入一个重叠磁道集合(如图 1 所示)。如果这种情况是由于 HDD 长时间连续运行而造成的，则会频繁发生 MC 到 band 的数据传输。这将导致随机写入性能下降<sup>(1)</sup>。这是必须解决的关键挑战之一。

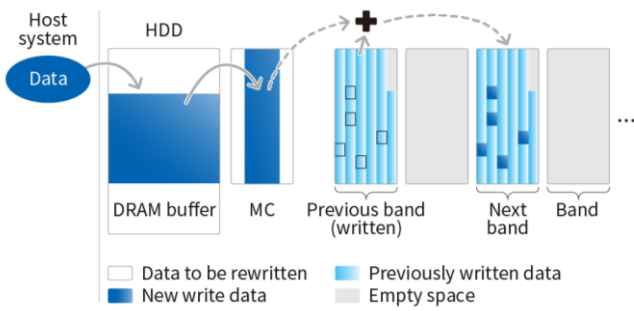


图 1. 驱动器管理的 SMR (DM-SMR) HDD 中的数据重写过程 – MC 被内部利用于需要重写的现有数据的随机写入操作。

## 2.2 特定于监控系统的存储应用

监控系统在单个 HDD 或 RAID 布局中，同时记录来自多个摄像头的视频数据流。这一过程通常按如下方式执行。硬盘空间作为 Cluster 集合来管理，Cluster 是指的一组逻辑块地址 (LBA) 空间，大小为数百 MB 到 GB 不等。每个 Cluster 都分配给一个摄像头。来自指定摄像头的视频数据流从 Cluster 的开头按顺序写入。当前 Cluster 写满时，系统会将该 Cluster 附近的新 Cluster 分配给该摄像头。重复这一过程就可实现数小时视频内容的存储 (参见图 2)。可支持更多摄像头的监控系统方案越来越抢手。

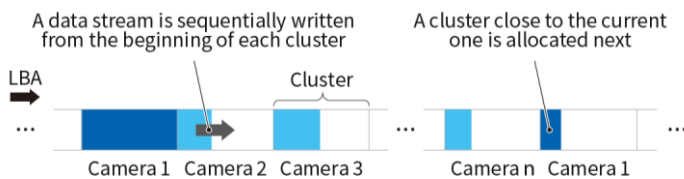


图 2. 监控系统中的视频数据排列示例 – 来自指定摄像头的视频数据流从 Cluster 开头开始写入。当前 Cluster 写满时，接下来将分配其附近的 Cluster。

## 3. DT02-VH 系列概述

表 1 所示为东芝 DT02-VH 3.5 英寸 SMR 监控硬盘 4TB 和 6TB 的主要规格。为了开发这些型号，需要对碟片的记录层和读写头的性能进行增强，从而在利用 SMR 提高磁道密度的同时提高线性存储密度。这些 DT02-VH 型号使用现有 HDD 命令并集成 DM 固件。该固件专为实现高性能多路数据流而定制 (支持多达 64 个监控摄像头同时连接)。下文将介绍用于开发 DT02-VH 系列的基础技术。

| DT02-VH 监控 HDD | 6 TB                            | 4 TB         |
|----------------|---------------------------------|--------------|
|                | DT02ABA600VH                    | DT02ABA400VH |
| 外形规格           | 3.5 英寸                          |              |
| 接口             | SATA 6 Gbit/s                   |              |
| 记录技术           | SMR                             |              |
| 支持的摄像头数量       | 最多 64 个                         |              |
| 转速             | 5,400 rpm                       |              |
| 最大数据传输速度       | 持续传输 184 MB/s (典型值)             |              |
| Buffer 大小      | 256 MB                          |              |
| 工作负载           | 180 TB/年                        |              |
| MTTF (小时)      | 1,000,000                       |              |
| 功耗 (活动空闲)      | 2.81 W (典型值)                    | 2.33 W (典型值) |
| 外形规格/外部尺寸 (毫米) | 147 (长) × 101.85 (宽) × 26.1 (高) |              |
| 重量             | 680 g                           | 650 g        |

表 1. DT02-VH 4TB 和 6TB 的主要规格。

## 4. 视频数据记录方法

### 4.1 采用备用band和bypass写入技术的 SMR

DT02-VH系列以band为单位用 SMR格式存储数据。band之间会插入一个空白的区域作为间隔，以防止在指定band上进行写操作时破坏相邻band上的数据。多个band的集合称为band group。虽然一个band group中的所有band具有相同的容量，但单个band的容量取决于它位于磁道的位置(靠近内圈还是外圈)。每个band group都有一个备用band，即当前未存储有效数据的工作区域(如图3所示)。

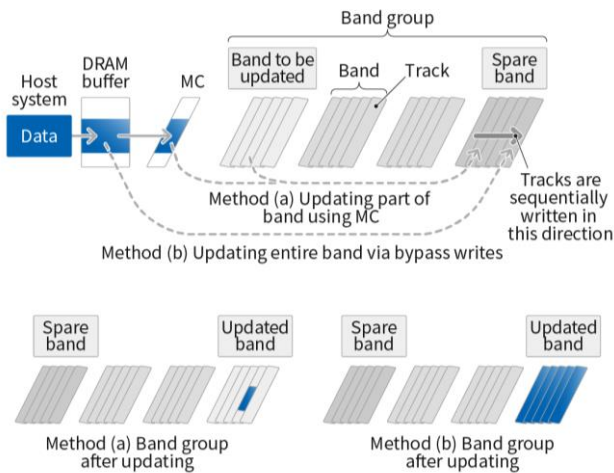


图3. 利用备用band进行数据更新操作 - 新数据写入备用band。当硬盘将更新的band标记为备用band并且将之前的备用band标记为有效band时，便可以安全的进行数据更新。

来自主机系统的数据首先传输至 DRAM 缓冲区中。然后，缓冲的数据通过两种方式传输到备用band。采用哪种方式将取决于数据大小。这两种方式为：

(a) 更新部分band - DRAM 缓冲区中的数据首先写入 MC。这些数据可以与要更新的目标band中的现有数据合并并移动到备用band。随后，固件会将原本的目标band标记为备用band，并将之前的备用band标记为有效band。

(b) 更新一个band中的所有数据 - 当收到主机系统发来的大量的连续数据流时，DRAM 缓冲区中的数据将直接写入备用band中。当到达备用band的末尾时，固件会标记该band应更新为备用band，并将前一个备用band标记为有效band。然后重复这一过程。

方法 (b) 不经过MC 而直接将数据传输到band，称为bypass写入。虽然bypass写入只能用于一次过更新band中的所有数据，但它们只需最少的操作即可完成。鉴于监控系统中的大多数视频数据都是连续的，因此提高写入性能的关键在于让尽可能多的数据通过bypass写入的方式来存储。

### 4.2 利用空闲bands的bypass写入

如第 2.2 节所述，监控系统在相近band同时存储来自多个摄像头的视频数据流。为了有效的处理此类数据，有必要同时bypass写入到相近band (即同一band group中的多个band)。4.1 节描述了使用备用band进行bypass写入的示例。

此方法的缺点是一个band group只能针对一个数据流执行bypass写入。因此，东芝DT02-VH 系列设计为允许使用空闲band (比如，保存着过时数据且可以被覆盖的band)，而不单是备用band，这样便可以同时向指定band group进行多个bypass写入 (参见图4) (2)。

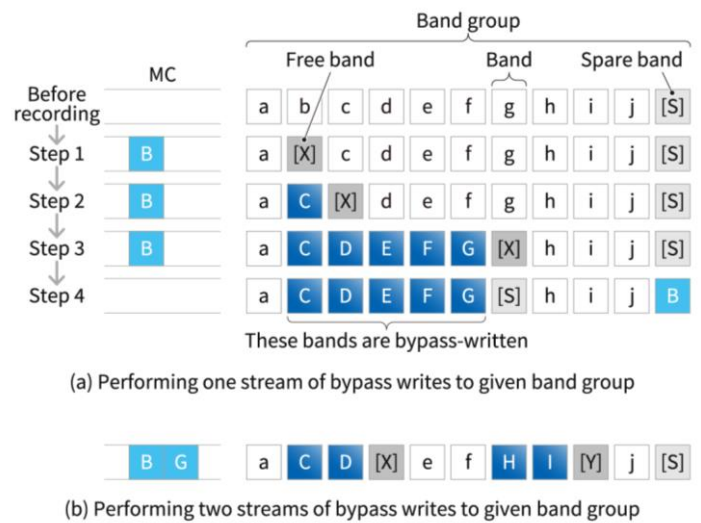


图4. Band Group中利用空闲band的bypass写入操作 - 数据被写入 MC后会生成空闲band，使用空闲band执行bypass写入。

首先，让我们看看如何对band group执行bypass写入流（图 4 (a)）。字母 a 到 j 表示各个band中存储的现有数据，而 [S] 和 [X] 分别表示备用band和空闲band。

以下段落描述了用 B 到 G 顺序更新 b 到 g 的连续数据的过程。

1. B 写入 MC。此时，b 已过时，无需保留。因此，保存 b 的band被标记为空闲band [X]，这样便可以用于存储其他数据。
2. C 被写入 [X]。这是一个bypass写操作，同时保持现有数据 c 不变。因此，即使bypass写入被提前终止，现有数据也不会丢失。当 C 的写入完成时，保存 c 的band即被标记为空闲band [X]。
3. 按照与 2 相同的方式依次写入 D、E、F 和 G。
4. MC 中的 B 被转移到 [S]，并且 [X] 被标记为备用band [S]。这意味着 [X] 被同时删除。

接下来我们来看看如何对同一个band group进行多路bypass写入（如图 4 (b) 所示）。在此示例中，同时执行两个bypass写入流（B-C-D 和 G-H-I）。此过程用到两个空闲band,[X]和[Y]，B 和 G 被写入 MC 时生成这两个空闲band [X] 和 [Y]，再同时以bypass方式对应的写入 C 和 H。

由于将数据band写入 MC 时可以生成任意数量的空闲band，因此可以同时执行三个或更多的数据流bypass写入。bypass写入是逐个band执行的。band大小与监控系统的Cluster大小无关，视频数据的前端和尾端有机会不足以填满整个band。所以，这些零散的数据在写入band之前将进行合并，其方式与第 4.1 节中描述的方法 (a) 相同。

由此，DT02-VH系列 HDD 利用空闲band进行bypass写入，以适应多摄像头监控系统的视频数据流的特点。

## 5. 以CMR格式记录系统数据

除了视频数据之外，监控系统还同时存储管理数据和分析数据（以下统称为“系统数据”）。系统数据由许多小数据块组成。由于系统数据具有随机性，因此并不太适合DM-SMR。然而，随着监控系统的性能不断提高，系统数据量也随之增长。

为了有效存储监控系统的系统数据，DT02-VH 系列提供了一个 CMR 区域，该区域分配在一个固定的 LBA 范围内。虽然随机数据可以被直接写入 CMR 区域，但相对于视频数据，保证系统数据的完整性更为重要。为此，监控系统频繁使用 Flush Cache 和 Flush Cache EXT 命令请求 HDD 刷新写入所有未完成写入操作的写数据。通常 HDD 会将写数据缓存在 DRAM 缓冲区中，大量的写数据保存在 DRAM 中，等待写入磁盘。由于需要刷新写入的数据量很大，因此刷新写入操作必须高速进行，以保证视频数据流存储的稳定性足够。

为响应刷新写入请求，DT02-VH 系列会立即将所有未完成的写数据写入磁盘。此时，通过将写数据缓存在 MC 中，可以实现短时间内完成原本要存放在 SMR 区域中的写入操作。相反，需要写入 CMR 区域的数据将花费大量时间，因为以 CMR 区域为目的地的数据将导致许多寻道操作和旋转等待。即使对这些写操作做顺序优化，这也是不可避免的。为了解决这个问题，DT02-VH 系列 HDD 均提供了一个区域，用于临时保存需要被写入 CMR 区域的数据（参见图 5）。

该数据将写入临时保存区域以响应刷新写入请求，以此加速刷新写入操作。

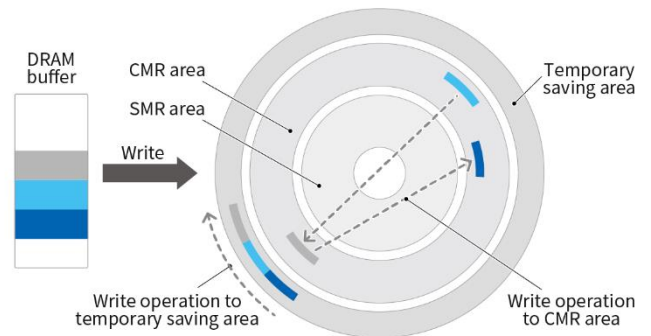


图 5. CMR 和磁盘上的临时保存区域 - CMR 区域适合用于存储系统数据。DT02-VH 系列提供了一个临时保存区域，以加快刷新写入速度。

## 6. 结论

用于监控系统的DT02-VH系列3.5英寸SMR HDD（4TB和6TB）为客户提供单盘2TB的高密度存储。此外，这些型号还集成了针对多路视频流监控环境优化的固件，支持连接多达64个摄像头。随着4K（3,840×2,160像素）和8K（7,680×4,320像素）超高清（UHD）摄像头的日益普及，监控系统产生的数据量预计将持续增加，相应的数据存储资源也必须跟紧脚步。

监控系统还融入了各种创新，以充分利用SMR HDD的特性。因此，监控系统对SMR HDD的需求预计将会增加。为了应对监控HDD市场的增长，东芝将继续提高其监控HDD的容量，以满足客户的需求。

## 参考资料

Toshiba Corporation. "Large-Capacity, High-Performance 3.5-inch HDDs for Surveillance Camera Systems Applying SMR Technologies" Toshiba Review: 76 (6), November 2021

Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://toshiba.semicon-storage.com/content/dam/toshiba-ss-v3/master/en/company/technical-review/pdf/3\_5-inch-hdd-smr\_202303\_en.pdf

(1) Shimomura, K. 2019. "Large-Capacity HDDs Applying SMR Technology for Data Centers." Toshiba Review: 74(6): 12–16. Accessed August 2, 2021.

[https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/06/74\\_06pdf/a04.pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/06/74_06pdf/a04.pdf).

(2) Toshiba Corporation, Haga, T., Tanaka, H. 2016. "Disk storage device and method." Japanese Patent No. 5951472. Published July 13, 2016.