

一种磨损感知的持久化内存文件系统高效多粒度分配器

余志旺¹, 张润宇¹, 杨朝树¹, 聂顺², 刘铎²

¹贵州大学计算机科学与技术学院公共大数据国家重点实验室, 中国贵阳市, 550000

²重庆大学计算机学院, 中国重庆市, 404100

摘要: 持久化内存文件系统通过充分利用持久化内存所具有的非易失性、可字节寻址以及与动态随机存取存储器 (DRAM) 相媲美的访问延迟等特性, 极大提升了文件系统性能。然而, 由于持久化内存普遍存在写耐受度低的缺陷, 现有持久化内存文件系统空间管理策略导致的不平衡写操作极易将底层持久化内存磨损穿, 严重威胁数据可靠性。因此, 本文提出一种磨损均衡感知的多粒度分配器 (Wear-leveling-aware Multi-grained Allocator, 简称 WMAlloc), 以实现持久化内存的磨损均衡, 同时提高文件系统性能。WMAlloc采用不同粒度的最小堆来管理持久化内存的未使用空间。对于每次分配请求, WMAlloc可快速从相应粒度的最小堆中分配磨损较少的块。此外, 为避免WMAlloc中空闲块插回多粒度最小堆时触发的节点冗余分割和低效遍历查询可用堆等问题, 本文提出一种基于位图的多粒度堆树 (BMT) 结构来改善WMAlloc, 称作WMAlloc-BMT。我们在Linux内核集成的一种典型持久化内存文件系统NOVA中实现了所提WMAlloc和WMAlloc-BMT。实验结果表明, 与原始NOVA以及目前持久化内存文件系统最优秀的磨损均衡感知分配器DWARM相比, WMAlloc将持久化内存存在4个工作负载下的平均使用寿命分别提高至4.11倍和1.81倍, 将平均性能分别提高至1.02倍和1.64倍。此外, 与WMAlloc相比, WMAlloc-BMT将文件系统在4个工作负载下的平均性能提高至1.08倍, 并将持久化内存平均使用寿命提高至1.17倍。

关键词: 文件系统; 持久化内存; 磨损均衡; 多粒度分配器

<https://doi.org/10.1631/FITEE.2200468>