

SplitFUSE: 一种高兼容性的用户级文件系统 I/O 加速框架

张于舒晴, 卢凯, 张文喆, 王睿伯, 邬会军, 吴振伟

国防科技大学计算机学院, 中国长沙市, 410073

摘要: 用户级文件系统因其灵活性和较低的内核崩溃风险, 在研究与生产环境中得到广泛应用。用户态文件系统 (FUSE) 是Linux平台上用于开发用户级文件系统的通用框架。与基于库的文件系统相比, FUSE采用内核模块与用户库协同架构, 保障了元数据安全性及与标准可移植操作系统接口语义的兼容性。然而, 该架构带来显著的上下文切换开销。面向高性能计算环境, 现有优化方案往往以牺牲FUSE跨环境兼容性和内核级安全保证为代价来提升输入/输出 (I/O) 性能。为解决这一局限性, 本文提出SplitFUSE——一个兼具高兼容性与强安全性的用户级文件系统I/O加速框架。SplitFUSE引入一种解耦元数据与数据请求处理的分离架构: 内核负责维护完整元数据的一致性, 而用户空间仅保留最少的元数据子集, 该子集足以安全地验证并处理那些绕过内核的数据请求。作为自包含机制, SplitFUSE保持了与传统FUSE相同的跨环境兼容性。实验结果表明, 在I/O密集型小写入负载下, SplitFUSE写入带宽可达原生FUSE的4–6倍, 并优于现有最先进的替代方案。在常见文件系统负载下, SplitFUSE以极低的迁移开销实现了显著的性能提升。

关键词: 用户态文件系统 (FUSE); 用户级文件系统; 输入/输出 (I/O) 加速; 内核旁路; 分离架构

<https://doi.org/10.1631/ENG.ITEE.2026.0080>