



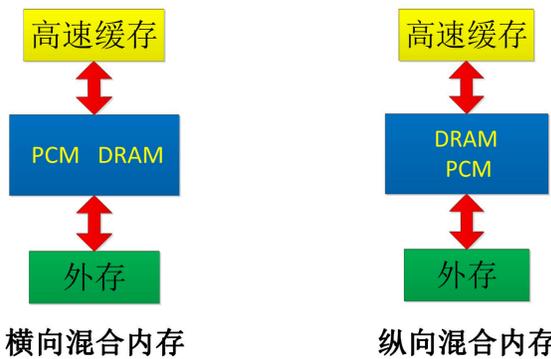
摘要

- 随着大数据和多核技术的发展,传统内存技术的发展已经远远满足不了大量数据密集型应用涌现所催生的内存计算需求。
- 相变存储器(PCM)作为一种典型的新型非易失性存储器(NVM),与传统内存DRAM互有优势,被认为是最有可能代替传统内存DRAM的存储器,在内存应用中具有很好的发展前景。

本文提出一种DRAM与PCM混合内存架构,设计针对混合内存布局的高效读写策略及数据迁移机制,并且在混合内存系统中应用纠删码来提高系统可靠性。实验表明,本文提出的混合内存系统能够大大减少能耗,提高数据吞吐量,同时保证读写的可靠性。

混合内存与纠删码技术

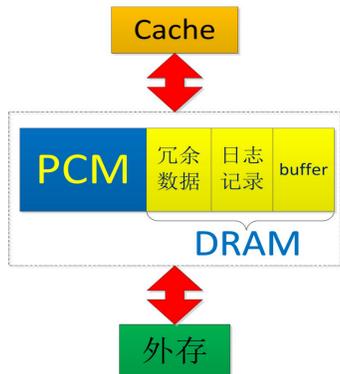
- 混合内存布局两种架构



- 纠删码技术: RAID、RS编码、EVENODD、RDP、X-Code等。
- 混合内存挑战:
 - 读写问题: DRAM读性能较PCM差, PCM写次数有限;
 - 可靠性: 读写过程中易出现可靠性问题;
 - 功耗: DRAM读写与刷新过程功耗过大。

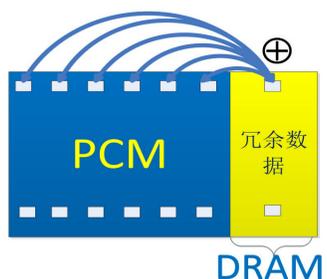
混合内存布局与读写策略

- 混合内存结构



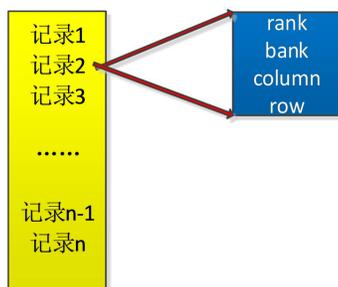
内存中应用了纠删码策略,将原始数据存储于PCM,校验数据存储于DRAM。同时,为了应对PCM的频繁写请求,设计一部分DRAM作为PCM的镜像缓存,采取日志记录对镜像缓存的数据进行索引。由于冗余数据、日志记录需频繁修改,故两者与写缓存数据都存储于DRAM,PCM与DRAM在空闲状态进行数据迁移。

- 内存纠删码布局



本文的混合内存采用类似RAID 4编码,同一条带上的原始数据进行异或运算,得出此条带上的校验数据,然后将原始数据存储于PCM,校验数据存储于DRAM。

- 日志记录



日志记录实质上是由操作系统所维持的一个为写缓存索引数据的数据结构,每一记录包含四个字,并且这些字段可以定位到数据块的存储地址。

- 读写策略:

- 读请求: 查找记录->读取数据->验证可靠性
- 写请求: 查找记录->更新记录->写入数据->写入校验码
- 空闲状态: 周期查看->取出记录->读取数据->写入数据->更新记录

- 内存纠删码公式

- 对同一PCM条带上的数据 $P_{OD}(1), \dots, P_{OD}(n-1), P_{OD}(n)$, 求出的校验码为:

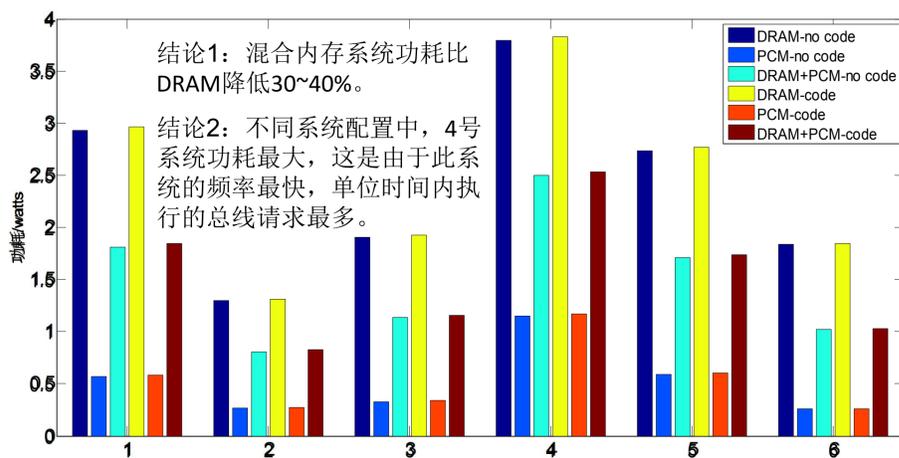
$$DEC = \bigoplus_{t=1}^n P_{OD}(t)$$

- 系统特点

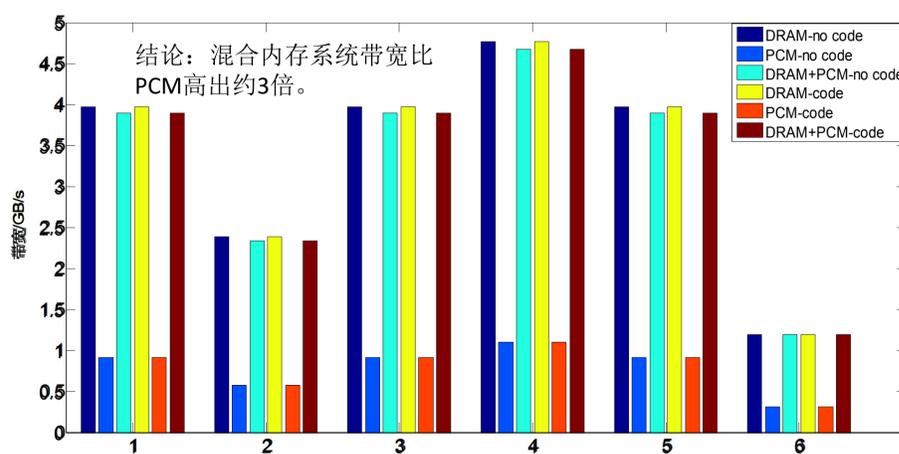
- 读写瓶颈: PCM、DRAM优势互补;
- 可靠性: 通过内存纠删码保证读写可靠性;
- 功耗: 混合内存机制减少功耗。

实验结果与分析

- 系统功耗比较



- 系统带宽比较



- 性能分析

- 可靠性分析: 不可恢复出错概率: $\sum_{k=2}^m \frac{1}{p^k}$, 减少 $\frac{1}{p}$ 。
- 功耗分析: 加入纠删码之后, 功耗增加的额度都在1%~3%之间, 少量功耗的增加能够保证读写的可靠性。
- 空间冗余度分析: 校验数据: 原始数据=1: n。

总结

本文应用了纠删码策略,将原始数据存储于PCM,校验数据存储于DRAM。同时设计一部分DRAM作为PCM的镜像缓存,采取日志记录对镜像缓存的数据进行索引。实验表明,该机制能够有效降低系统功耗,提高系统带宽,延长PCM器件的寿命,保证内存系统读写的可靠性。

引用

[1]MAO Wei, LIU Jing-Ning, TONG Wei, et al. A Review of Storage Technology Research Based on Phase Change Memory[J]. CHINESE JOURNAL OF COMPUTERS, 2015, 38(5): 944-960

[2]Luo Xianghong, Shu Jiwu. Summary of Research for Erasure Code in Storage System[J]. Journal of Computer Research and Development, 2012, 49(1):1-11

[3]WangQiang,Chen Lan,HaoXiaoRan.Efficient Management with Hotspots Control for Hybrid Memory System[J]. MICROELECTRONICS & COMPUTER,2014,31(1):1-4