

PHMM: 基于访存特征感知的异构内存管理系统

张仁号, 郑晨

主要联系人: 张仁号, mrgeek-zrh@outlook.com

系统简介

当前数据中心对内存容量和带宽需求爆发式增长, 但传统DRAM技术受限于高成本和扩展瓶颈, 无法满足需求, 新兴的CXL异构内存方案(延迟300ns)逐渐普及。

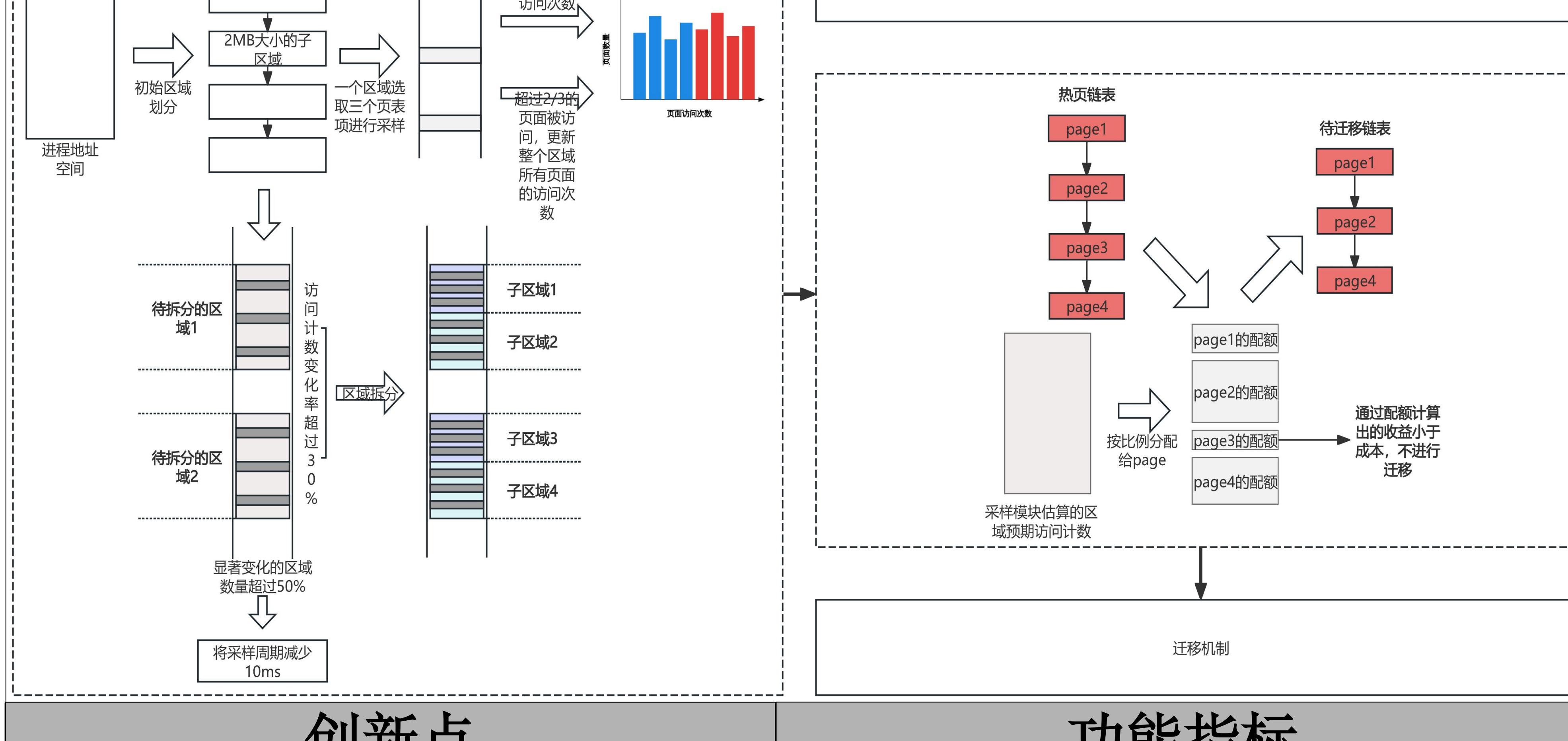
然而, 异构内存访问延迟较大, 简单替换传统内存会导致性能严重下降。本系统提出一种基于访存特征感知的异构内存管理策略(PHMM), 通过智能识别热点数据并精准控制页面迁移, 有效解决了现有异构内存管理系统采样不准确、迁移盲目等问题, 显著提升系统整体性能。

系统设计

采样模块: 动态调整采样频率; 以区域粒度初步采样后, 会进一步以页面粒度更新维护页面访问分布直方图。

迁移决策模块: 基于采样结果构建页面访问直方图, 动态设定冷热阈值, 综合迁移成本与收益精准筛选待迁移页面。

页面迁移执行模块: 复用内核异步迁移机制, 周期性执行冷热页面在性能层(DRAM)与容量层(CXL)之间的高效迁移, 保持最优页面布局, 提升系统性能。



创新点

- 提出动态调整采样频率的“两阶段采样”机制, 快速响应访存特征变化
- 提出基于迁移成本和性能收益的自适应迁移策略, 确保迁移操作始终带来性能的正向效益

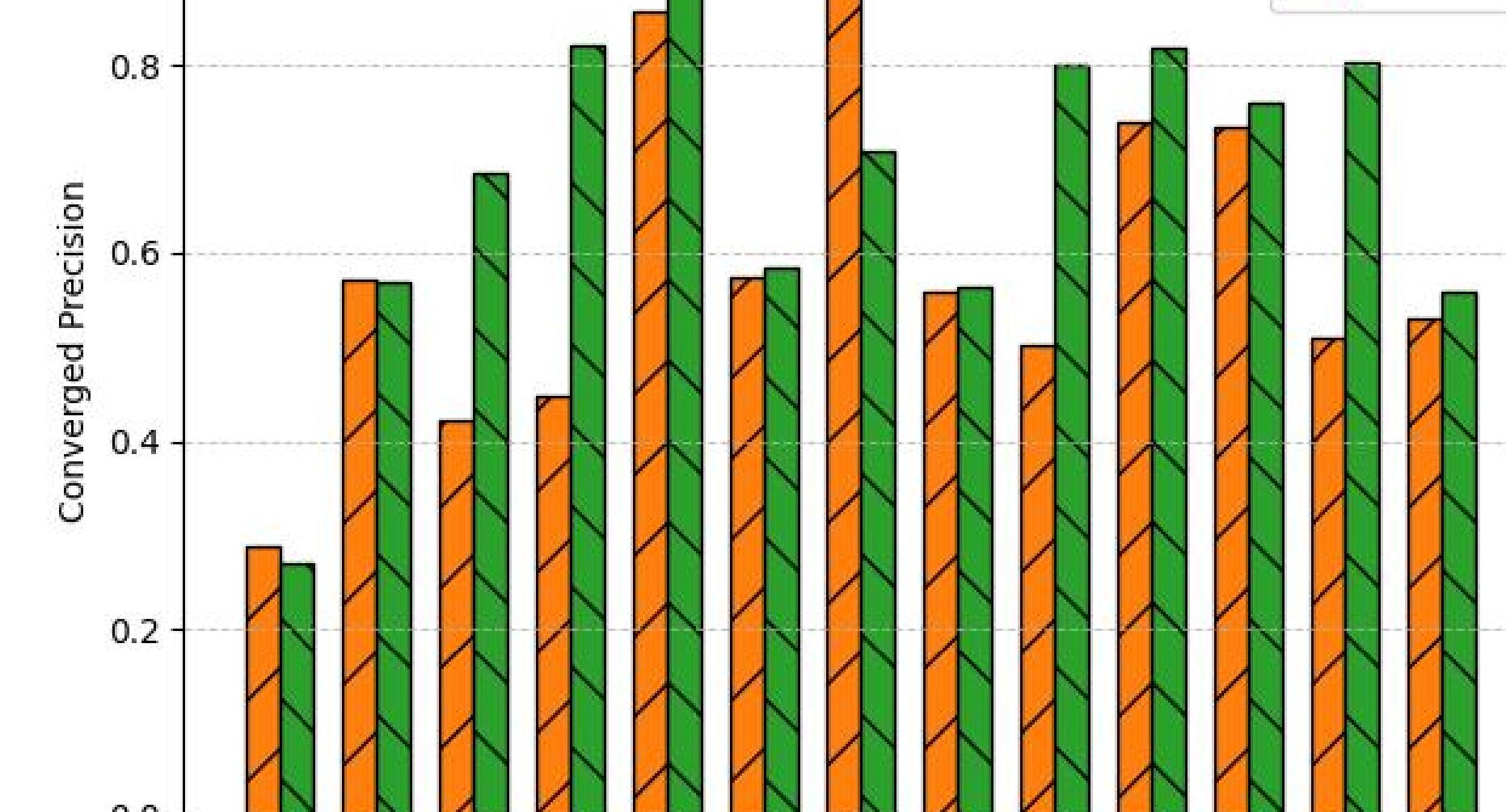
功能指标

- 采样精度比主流实现平均提高9.74%
- 系统性能比主流实现提升最高10.09%

性能测试环境

系统	CPU	DDR5 内存访问延迟	CXL 内存访问延迟
Ubuntu22.04	Intel(R) Xeon(R) 6983P-C	130ns	310ns

Converged Precision Comparison: DAMON vs PHMM



masim工作负载模拟器下, PHMM和DAMON的采样精确率

	AutoNUMA	TPP
1: 8	3.94%	2.08%
1: 16	10.09%	5.25%

不同内存配比下运行Liblinear, PHMM相对AutoNUMA、TPP的性能提升



可应用领域

- 数据中心与云计算平台
- 图计算、大规模内存数据库与实时分析处理等对大内存需求高的领域