高等计算机体系结构

C-Burst 设计

姜天洋

2018310804

要求分析

- Memory Cache size: 128 MB
- Block size: 4 KB
- Cache replacement algorithm: LRU（性能区域）+C-Bursty（能耗区域）
- Initial partition: 性能区域（50%）+C-Burst（50%）
- 可以容忍的 performance loss:（相对全部用 LRU 管理，缺失率提高 10%）
- 每次划分调整的粒度是 2MB

由条件可知，cache 内共可以存储 128MB/4KB=32768 个 entry。

算法分析与实现

PR 组织

PR 区域使用的是 LRU 算法。LRU 类似第一次实验中的方法，采用全相连的方式。由于这次跑的 trace 规模较大，所以不能简单的采用复杂度为 O(N)的 LRU，我采用了复杂度为 O（logN）借助 set 实现的 LRU。

EAR 组织

```
class EAR
{
private:
    set<BG>p[35];
    set< block >st;
    ll tot, up;
}
class BG
{
private:
    set<block>*q;
    ll ep;
}
```

EAR 及其相关的数据结构实现见上图。BG 代表 Block Group，里面有一个 set 存放相应的 block，ep 用来标记该 BG 属于哪个 block group。EAR 的 p 是一个 set 的链表，由于 STL 不支持 set 套 set，所以 BG 采用了指针的方式管理一个 set。

set<block>st 是用来方便根据 trace 的 tag 方便地对 EAR 内的数据进行查询，否则每次查询的复杂度都是 O(N),复杂度无法接受。

EAR+PR 组织

将其上两种方法整合，就得到了以下方法。对于每次动态调整划分的区域，由于如果每次探测再进行调整，该方法无法充分发挥调整后的作用。可能一次调整本来会有作用，但是因为 EAR+PR 的 hit rate 相较只使用 PR 的更低，所以很有可能紧接着又进行一次调整。所以我设置了每间隔 1000 条 trace 进行一次调整探测。并且，epoch 的时间间隔设置为 1ms。

另外，在论文中，需要 In Buffer 这样一个内核缓冲区缓冲还未被插入 EAR 区域的 BG，并且经过思考，我认为如果之后有 trace 命中了 In Buffer 内的数据，不应该算为命中率，

因为如果算作命中,这里也可以认为是一个小型的PR,那么此方法将与PR的方法没有区别；同时 In Buffer 内的数据还要进行去重，因为不去重插入 EAR 的数据就会重复，这显然对查找的开销及空间的浪费。

具体的流程为：

1. 首先读一个新的地址，以及它的时间间隔。如果加上时间间隔之后超过当前时间戳，则进行第 2 步；如果还在当前时间戳内，则进行第 5 步。
2. 检查 EAR 剩余空间，是否满足新块组大小，若满足，则直接建立新块组，将 In Buffer 中的数据拷贝进新块组，并根据其访问量大小，加入到 EAR 中；若剩余空间不满足则进行第 3 步。
3. 从 EAR 最大的 BG 的 set 开始搜索，将其逐出。
4. 重复第三步，直到剩余空间大小满足新块组大小，逐出顺序是按照大时间优先，再按大小来的。然后再建立新块组，将 In Buffer 中的数据拷贝进新块组，并根据其访问量大小，加入到 EAR 中。
5. 查看 PR 区域中是否命中，若命中则记录命中；若不命中，进行第 6 步。
6. 搜索 EAR 中是否命中，命中则记录命中，并将数据块 tag 升级至 PR 中，根据时间戳顺序和去除数据块后 BG 大小改动其位置,同时 PR 替换出的地址加入下面对应时间戳的 BG 中，并调整加入地址后 BG 的位置（所以在 PR 的 lru 数据结构中，cacheline 要存它来自于哪个 epoch),如果对应的 epoch 已经不在 EAR 中,则弃置;若不命中则进行第 7 步。
7. EAR 未命中，把地址存在当前 epoch 的 BG 中加入，并在 epoch 结束后一起加到 EAR 中。

实验结果

由于查询 EAR 内的 cacheline 需要的时间太长,我选取了 MSR 的 lvm0 trace 的前 2w 条进行了实验。对于一条 trace，由于要对 trace 进行切分，所以只要 trace 中的任意一个访问出现了 miss，我就认为这条 trace miss 了。需要输出 miss trace 的间隔的 50%的值，由于很多 trace 是同时到来的，而这种同时到来的 trace 一起发生 miss 的概率又很高，所以间隔为 0 的量很大,我不仅输出了所有 miss trace 的间隔的 50%的值,还输出了 miss trace 的间隔的 80%的值。

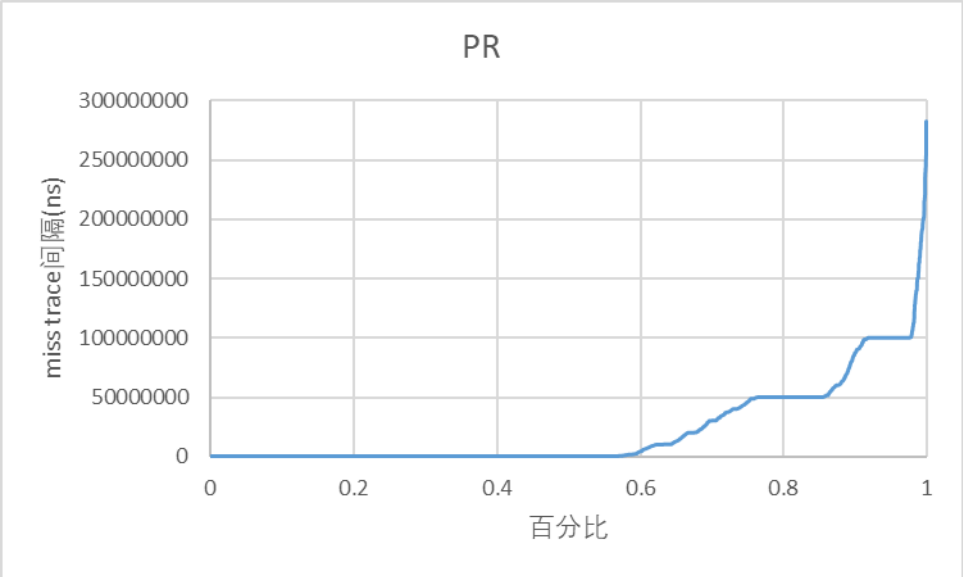
PR 方法

命中率 79.75%

50%的 miss trace gap：1000ns

80%的 miss trace gap：49999000ns

CDF 图



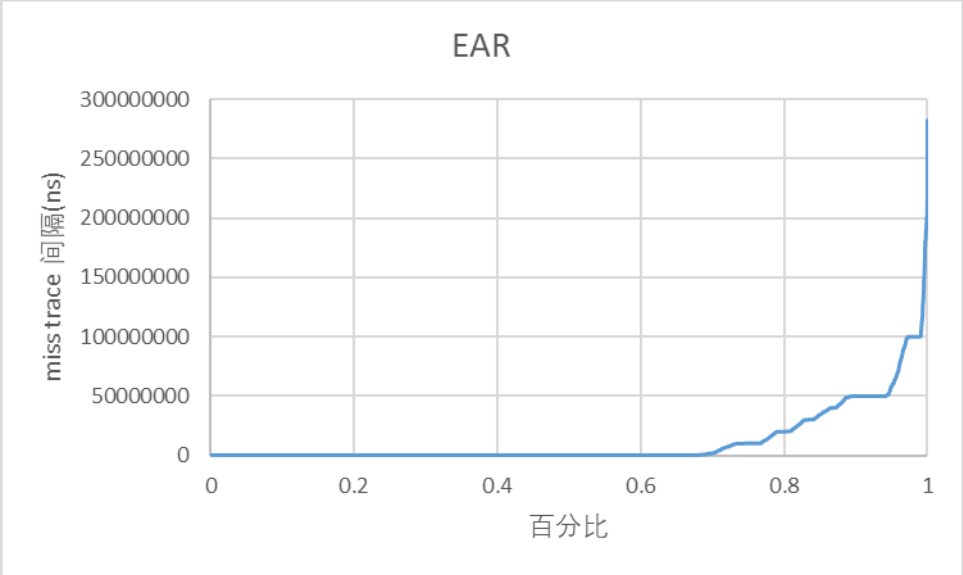
EAR 方法

命中率 62.13%

50%的 miss trace gap：0ns

80%的 miss trace gap：19998000ns

CDF 图



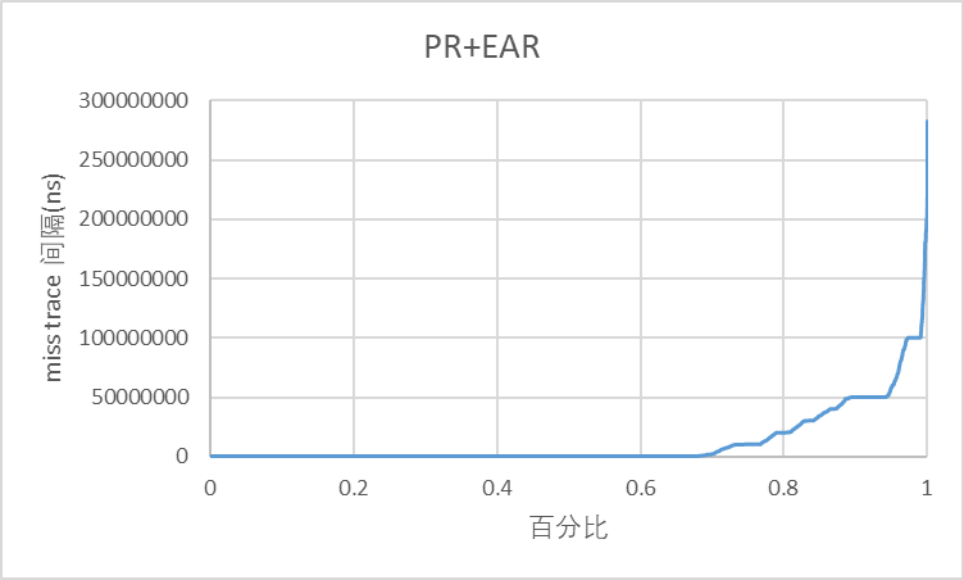
EAR+PR 方法

命中率 62.22%

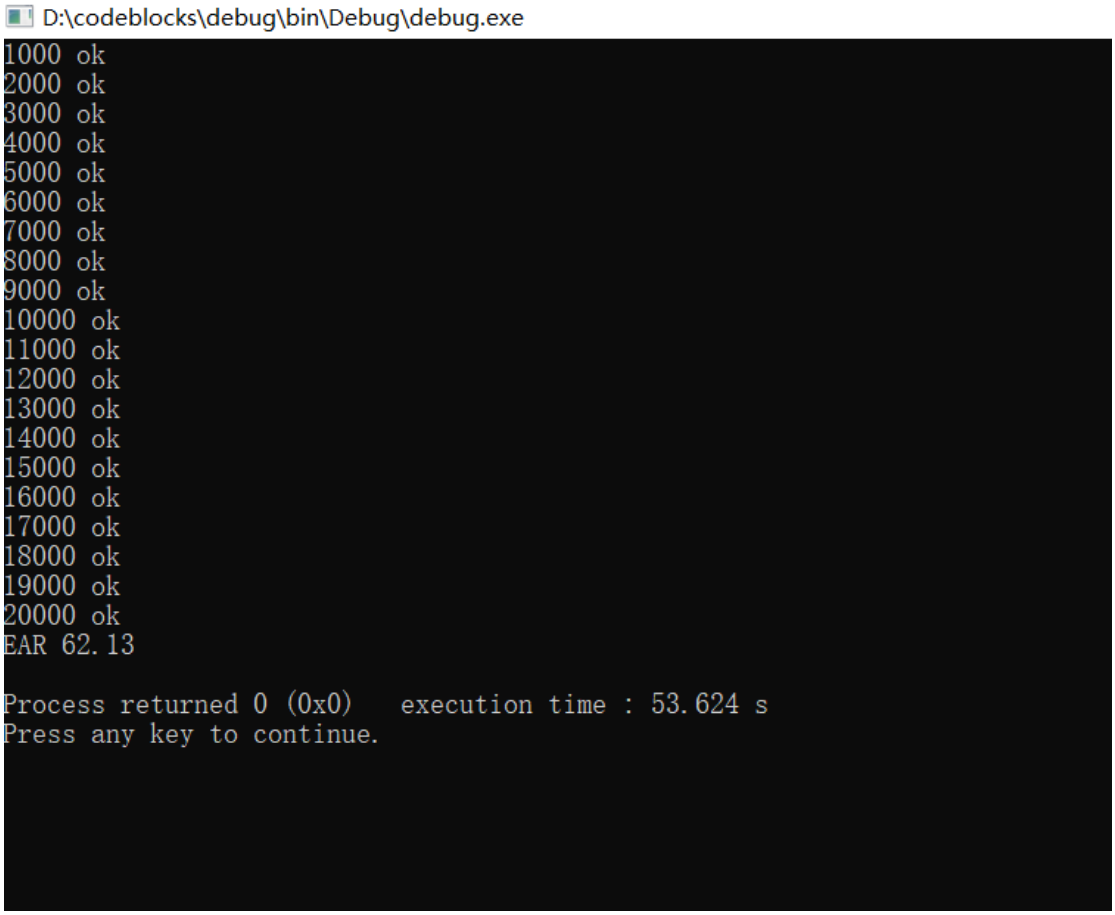
50%的 miss trace gap：0ns

80%的 miss trace gap：19999000ns

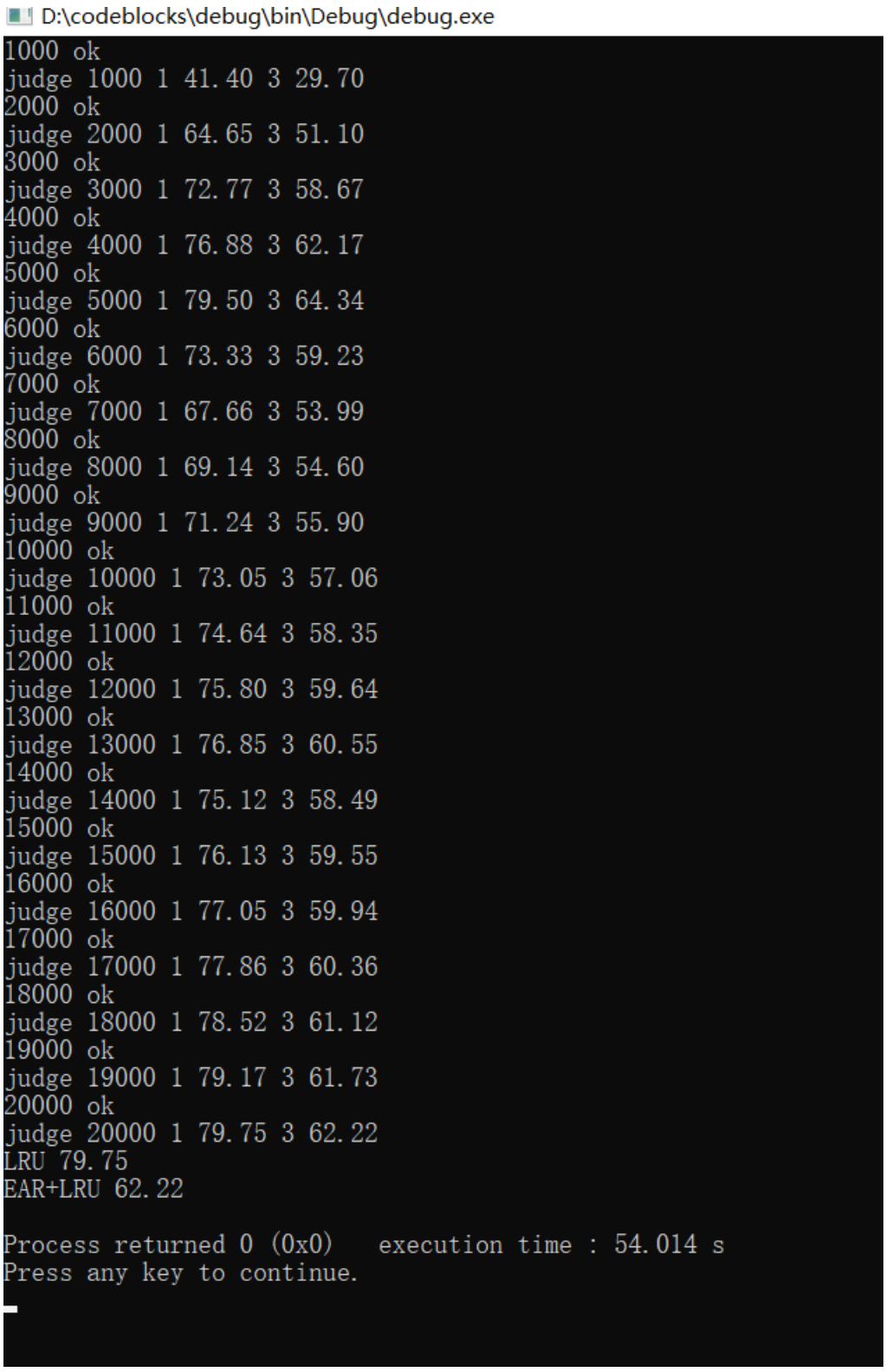
CDF 图



实验截图



上图为单纯 EAR 方法的截图



上图为 PR 及 PR+EAR 的方法截图，judge 是空间进行调整的 log

实验分析

从实验结果中容易看出，LRU 的方法是最好的，这是毋庸置疑的。结合 PR 和 EAR 的方法，借助了 ghost LRU 调整大小，对 hit rate 相比较普通的 EAR 有微弱的优势，这可能是和 epoch 的设置也有一定关系。从最后的实验截图中也可以看出 EAR+PR 的方法的确进行了

若干次的空间调整。