

Project 1: Submit 1

Li Yin, Xiao Ao, Yang Qifan

November 2016

本次实验，我们对论文中提出的暴力法、Pwise、Uwise和Uwise+分别实现，并在给定的12个数据集以及NBA真实数据集上实验比较了不同算法的特点与优劣；接下来，我们将首先针对本次实验中出现问题，交流优化和改进意见。

1 算法描述

1.1 构建DSG

DSG将多维点的集合按层存储，首层为skyline，第二层为次skyline，依次类推；在DSG中，点的parent为所有可以Dominate该点的集合，点的children为所有被该点Dominate的点集合。

程序实现：输入多维点的集合和层数k，输出一个k层的DSG。

*DirectedSkylineGraph*类实现了从一个Dataset和k构建DSG的静态方法。

构建DSG

首先将点集合按照第一维升序排序。对每一个点，分三种情况考虑：1.如果它不能被目前DSG的首层Dominate，那么它加入首层；2.如果它被最后一层Dominate并且DSG未达到k层，那么使用它来创建新的最后一层加入DSG中，如果此时的DSG已经达到k层，那么直接丢弃这个点；3.如果以上条件均不满足，则说明存在层i和其前一层i-1，层i不可以Dominate该点而层i-1可以，将点加入层i。

构建Dominate关系

目前所有点的parent和children关系比较简单，在如上描述构建好的DSG中，对每一层的每个点，遍历其上层所有的节点，如果它被上层节点压制了，则相互添加Dominate关系。

点的Index

对于最终保留在DSG中的点，按照第二维降序排列并赋予Index。

1.2 Baseline与预处理

Baseline使用枚举法求解G-Skyline groups。将DSG中的点所有集合长度为k的组合枚举出来后，过滤出不被其他组Dominate的组。

可以使用作者提出的预处理方法过滤点集合：如果某一点，其parent长度为k-1，则该点与其parent的集合为一个有效解；如果parent的长度大于k-1，则可不考虑该点；其余的点继续求解。预处理对baseline和后续算法均有效。

1.3 Point-Wise

在枚举树法进行G-Skyline groups的求解过程中，会产生庞大的时间与空间开销，于是论文中提出基于扩增点的方法进行树构建以及动态剪枝，最大程度地去掉冗余的部分，提高算法的效率，节省了计算过程的时间和空间。初始化树的第零层有一个根节点为空，tail set是预处理后得到的Directed skyline graph前k层的所有数据，然后从tail set中选取合适的点加入group中，第一层是加入1个点后所有满足条件的groups集合，第二层继续增加一个合适点，第3层，第4层以此类推，层数对应应当层groups列表中每个group的元素个数。其中的剪枝优化主要有以下两个方面：

子树修剪 应用超集单调性这一性质，如果一个包含i个元素的集合 G_i 不是G-Skyline group，即使从其tail set中新增加一个点，组成的新的包含i+1个元素的集合 G_{i+1} 也不可能是G-Skyline group。所以在算法中，每从一个tail set中添加完一个合适的元素到原group得到的新group都要进行G-Skyline的判定，若新生成的group不是G-Skyline group，直接删除该节点，相当于直接去掉了一个以该节点为根节点的子树。

Tail Set修剪 根据文中引理G-Skyline group里面的点不能被除此group里面的元素以外的点所控制，即G-skyline group里每个元素只能是无父节点，或所有父节点在此group内。但这一步骤并不充分，若成功组成新group之后，得再次验证确保准确性。还有一个就是新加入的点必须保证在Directed Skyline Graph的前i+1层，若加入了大于等于i+2层以上的点，那么该点会被 G_i 以外的点所控制，不满足G-Skyline group定义。

其实，实现这个算法之后总结起来就是，每新加入的一个点首先是得在 G_i 的上一个加入的点对应的Directed Skyline Graph同一层找skyline点（即该层下标较大点），若已没有skyline点则向下一层i+1层寻找被 G_i 中元素控制的孩子即可。然后再循环建树的下一层，直到建完第k层截止，便可得到所有的满足条件的G-Skyline groups。

本算法按照论文中的伪码实现的，在实现过程中丰富了其中的细节，助教可查看源码，它实现了自GSkylineService接口。同时也在项目中定义了树节点PDataNode，方便计算。

1.4 Group-Wise

PWise算法以点为单位扩充叶节点，但是由于G-Skyline group中的一个点不能被其他group中的点dominate，所以也就是说某个节点的unit group(点及它的父亲节点)一定也在同一个group中；所以得到UWise算法，即以unit group为单位扩充叶节点。

为了提高效率，有两个剪枝的过程：Superset pruning和Tailset pruning。

1.4.1 Superset pruning

去掉点个数超过k的candidate group，不再计算它的子树

```
HashSet<DataPoint> union=get_union_unit_group(candidate);
if(union.size()==k){//get one result
    result.add(union);
    continue;
```

```

} else if (union.size() > k) { // superset pruning
    continue;
}

```

1.4.2 Tailset pruning

当前unit groups中的点的子节点，不再加入tailset

```

private List<DataPoint> get_tail_Set(
    Set<DataPoint> set, List<DataPoint> points){

    List<DataPoint> tailSet=new ArrayList<>();
    HashSet<DataPoint> children=new HashSet<>();
    int maxIdx=-1;
    for (DataPoint p:set){
        int idx=points.indexOf(p);
        if(idx>maxIdx){
            maxIdx=idx;
        }
        //find all children points
        children.addAll(p.children);
    }
    for (int i=maxIdx+1;i<points.size();i++){
        if (!(children.contains(points.get(i)))){
            //remove it from tailset if it is in childrenset
            tailSet.add(points.get(i));
        }
    }
    return tailSet;
}

```

1.5 UWise+

UWise+在UWise基础上增加两个新的剪枝方法：Unit Group Reordering和Subset pruning。

1.5.1 Unit Group Reordering

因为Superset pruning对削减candidate group很有效，所以希望重新排列unit group来增强Superset pruning的效果，即先处理大的candidate group；所以按照点的检索倒序排列，即把高层的skyline layer的点排在前面。此时我们还需要修改tailset，因为原来的子节点在重新排序后变成了父节点。

1.5.2 Subset pruning

如果一个candidate group G_i 加上所有的tailset元素，即得到它子树中最深的子节点 G_i^{last} ， G_i^{last} 的元素个数都不能达到k，则剪掉 G_i ，不去计算它的子树。

```
int gLast=get_last_deepest_candidate_group(p, points);
if (gLast<k){
    continue;
} else if (gLast==k){
    Set<DataPoint> candidate
        =new HashSet<>(points.subList(0, points.indexOf(p)+1));
    result.add(candidate);
    continue;
}
```

2 实验与评估

2.1 数据集

本小组使用课程提供的anti, corr和inde三种类型的数据集，每类有2,4,6,8四种维度版本，共计12个数据集，并在论文提到的NBA数据网站下载球员数据，构建了1189条NBA球员的5维数据集。

所有实验使用的数据集位于项目目录的dataset文件夹内。构建数据集的脚本为nba/nba.py。其中需要提到的是，数据集中球员有某维度数据缺失，在本次实验中，我们拟合了缺失的数据。

2.2 构建与使用方式

构建：使用ant脚本，构建gskyline.jar包。

```
$ ant compile
```

运行示例：

```
java -Xms7G -Xmx8G -jar gskyline.jar all 4 datasets/*
java -jar gskyline.jar uwise+ 10 datasets/nba-5.txt
```

使用Java虚拟机参数配置可用的运行内存，较大的内存可以减少GC对算法的影响。

命令行参数分别为：

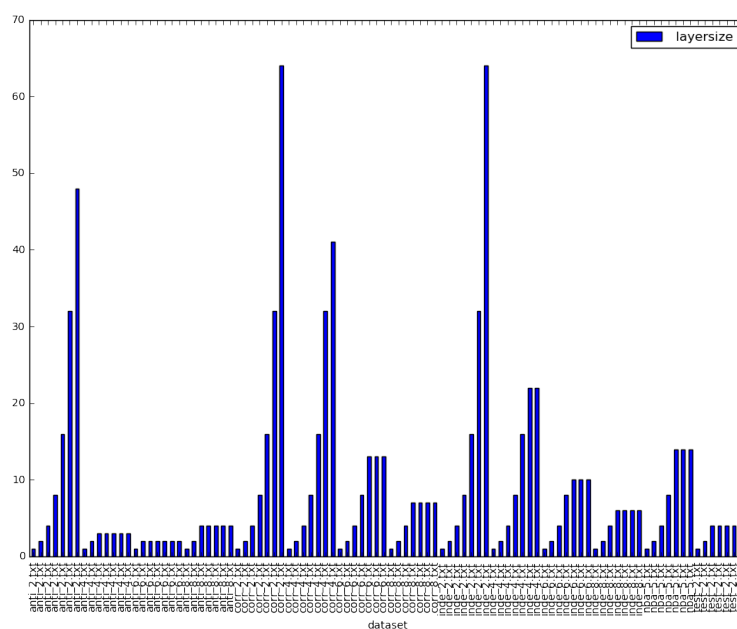
1. method: 测试的算法名称，baseline, pwise, uwise或uwise+, all将对所有算法批量测试。
2. k: 一个大于1的正整数，gskyline每组点的个数。
3. files: 一个或是多个需要测试的数据文件。

2.3 实验运行环境

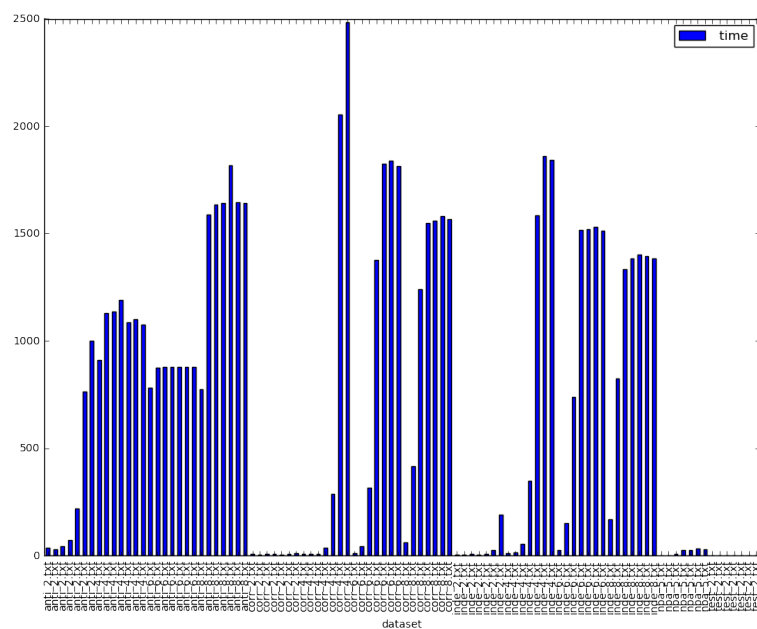
OS: Ubuntu 14.04 x64
CPU: Intel Core 3317U @1.7Ghz
RAM: 2×4G DDR3 @1600Mhz
JDK: 1.8.0 60

2.4 建立DSG与预处理

DSG是后续所有算法运行依赖的数据结构，首先评估在不同数据集，不同K取值情况下，DSG构建所需的时间与DSG层数。



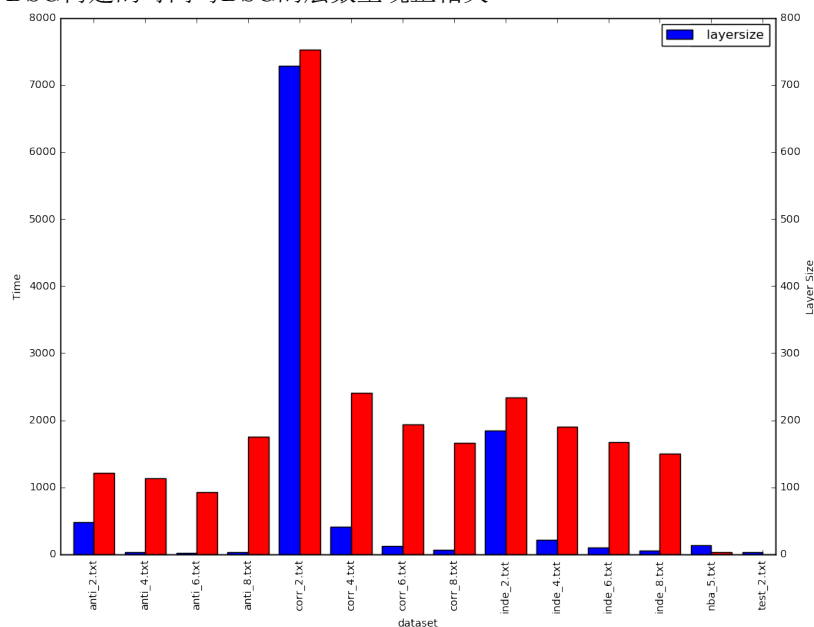
DSG层数与不同数据集、不同K取值的关系



DSG构建时间与不同数据集、不同K取值的关系

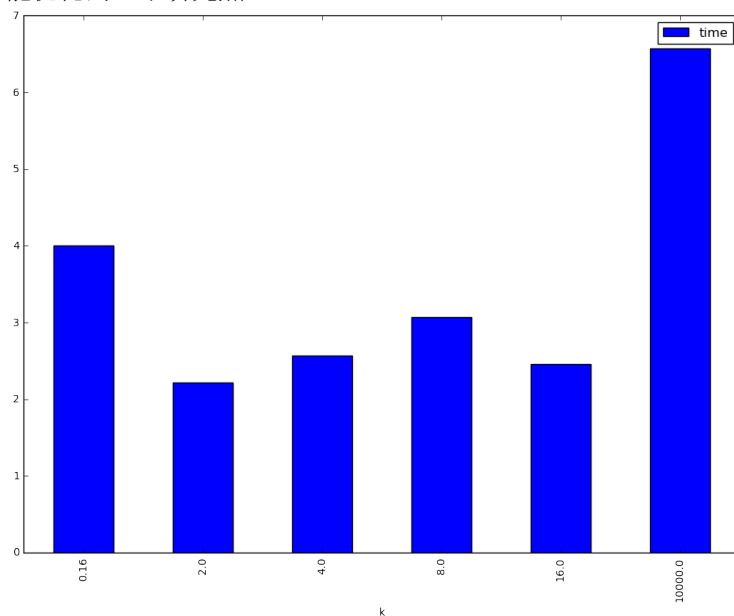
从上两张图中我们可以看出，某些低纬度数据集的层数随着k值的不断加大呈现指数上升，如anti 2。还有些数据集随着k值的上升，其层数几乎不再上涨，这是因为其维度过高后，大多数节点直接很难确定胜负关系，如anti 4。

DSG构建的时间与DSG的层数呈现正相关。



全图构建时间（K足够大）与数据集的关系

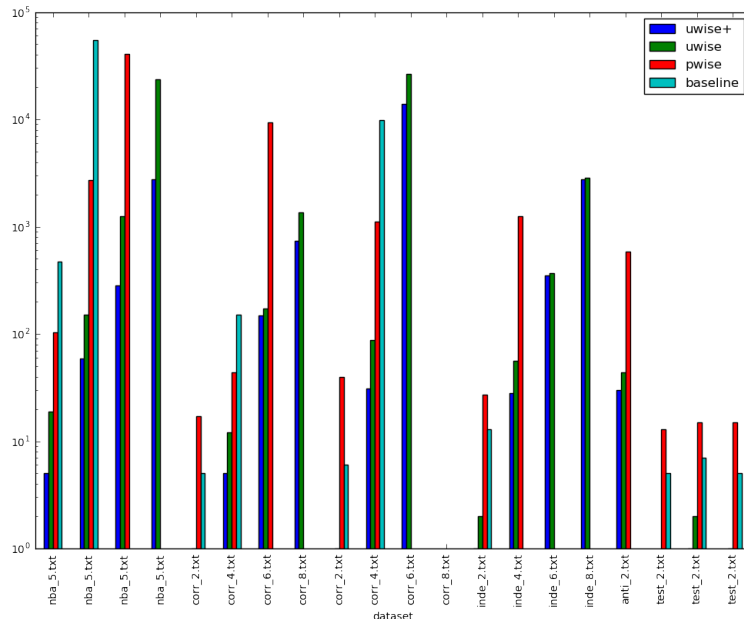
由于DSG的构建与K相关，通过论文定理可知，组大小为K的GSkyline组的点只可能出现在前K层内，因此一般构建DSG中我们只构建前K层。如果K足够大，那么可以将所有点纳入DSG中。通过观察上图全图DSG的构建时间、构建层数与数据集的关系，可以观察到大多数10000点的DSG构建时间为秒级别，层数一般小于1000。图中corr 2的层数和构建时间超长，是我们接下来进行性能优化的一个研究点。



预处理时间与K值的关系

对点按照论文第五章进行预处理，可以通过点父亲节点的信息对点进行快速分别是否可能出现在group中，从上图可以看出，预处理的耗时很少，并且和K的大小没有直接的关系。

2.5 计算G-Skyline Group



多个算法在不同数据集、不同K上的耗时

我们对实现的Baseline（暴力枚举）、Pwise、Uwise和Uwise+，在不同数据集和K取2-4的运行时间做了对比，此处使用的耗时不记录DSG的构建时间，但包括prefilter时间。

图中时间轴为Log增长。图表中有些数据为空，比如Baseline在图中多处缺失是因为耗时过长。

首先查看NBA数据集的结果。我们发现NBA数据集上算法耗时 $uwise+ < uwise < pwise < baseline$ 。并且随着K的增大，每种算法的耗时都呈现指数级别增长。在k=4时，uwise+与uwise已经需要花费秒级别的耗时，而pwise和baseline已经不能在短时间内计算出结果。

在其他数据集和K的组合中，baseline可能在维度与K较小时候比pwise耗时更少，在一些数据集上uwise+虽然比uwise耗时少，但差距不是特别明显。

验证corr 8与anti 4数据集时，本Java实现需要耗费的内存大于6G，产生了严重的GC开销，最终难以计算出正确结果。优化本算法与程序实现的内存占用也是我们后续的一个优化方向。

3 总结与下一步工作

1. 针对高内存占用，提出有效使用内存的算法或是程序实现，在我们的测试机器上防止因为内存占用而引发的高耗时。
2. 在某些数据集上，例如corr 2的层数和DSG构建时间超长，提出更加高效构建DSG的算法。DSG是后续算法的依赖，并且DSG描述了多维数据间的复杂关系，可用于其他的问题和算法。

4 分工说明与感谢

首先感谢组内同学，感谢助教查看与评估本实验报告。

肖翱完成了Point-Wise算法并完成了相应的文档。

李茵完成了Group-Wise和Group-Wise Plus算法并完成了相应的文档。

杨启凡完成了DSG构建和Baseline，完善了程序框架并评估了实验结果。