Team Project

3D Placement

Report

计 54　李泽龙　2015011321

计 54　贾越凯　2015011335

计 54　陈宇　2015011343

2016 年 6 月

目 录

1 问题描述

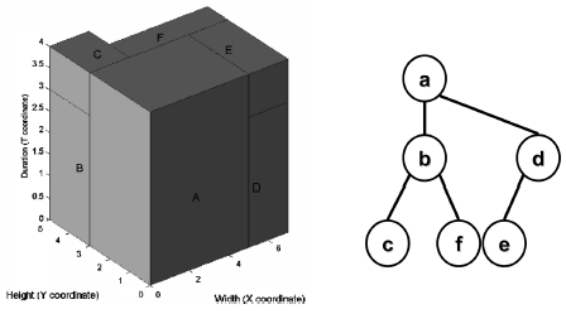
给出 n 个长方体的箱子(长、宽、高)，箱子可以随意放置或旋转(棱与坐标轴平行)，但不能有重叠，求能包围所有箱子的长方体的最小体积。

2 算法简介

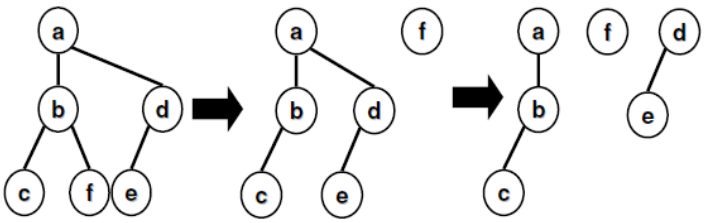
使用论文 [1] 中的算法，把箱子的放置方案与一棵 T-tree 对应，然后使用模拟退火算法对 T-tree 进行调整，求出最小包围长方体的体积。

2.1 T-tree

TTree是一颗三叉树，每一种 3 维箱子的放置方案，都对应一棵 T-tree。在 T-tree 中如果 B 是 A 的左儿子，表示 B 在 A 箱子的上面，中儿子表示 B 在 A 箱子的左边，右儿子表示 B 在 A 箱子的右边。对于一棵 T-tree，我们可以通过一种方式，将它分解成若干二叉树，从而构造出该 T-tree 对应的 3 维箱子的放置方案。



A compacted placement and the corresponding T-tree.



The T-tree decomposition process.

2.2 模拟退火

现在，一棵 T-tree 对应了唯一一种放置方案。下面使用模拟退火算法，对 T-tree 进行调整，以求出最小包围长方体的体积。

首先随机生成一棵 T-tree，然后在模拟退火中调整该树，以产生相邻解。调整的方法主要有 3 种：

- Move：把一个箱子移到另一处；
- Swap：交换两个箱子；
- Rotate：旋转一个箱子。

这些调整方法在 T-tree 中对应的操作为：

- Move：删掉一个结点，插入一个新地方；
- Swap：交换两个节点所代表的箱子；
- Rotate：交换该节点箱子的长、宽、高。

由于在模拟退火中是随机产生相邻解，所以要删的点、插入的位置、要交换的点都是随机的。

在模拟退火中，一个可行解的价值

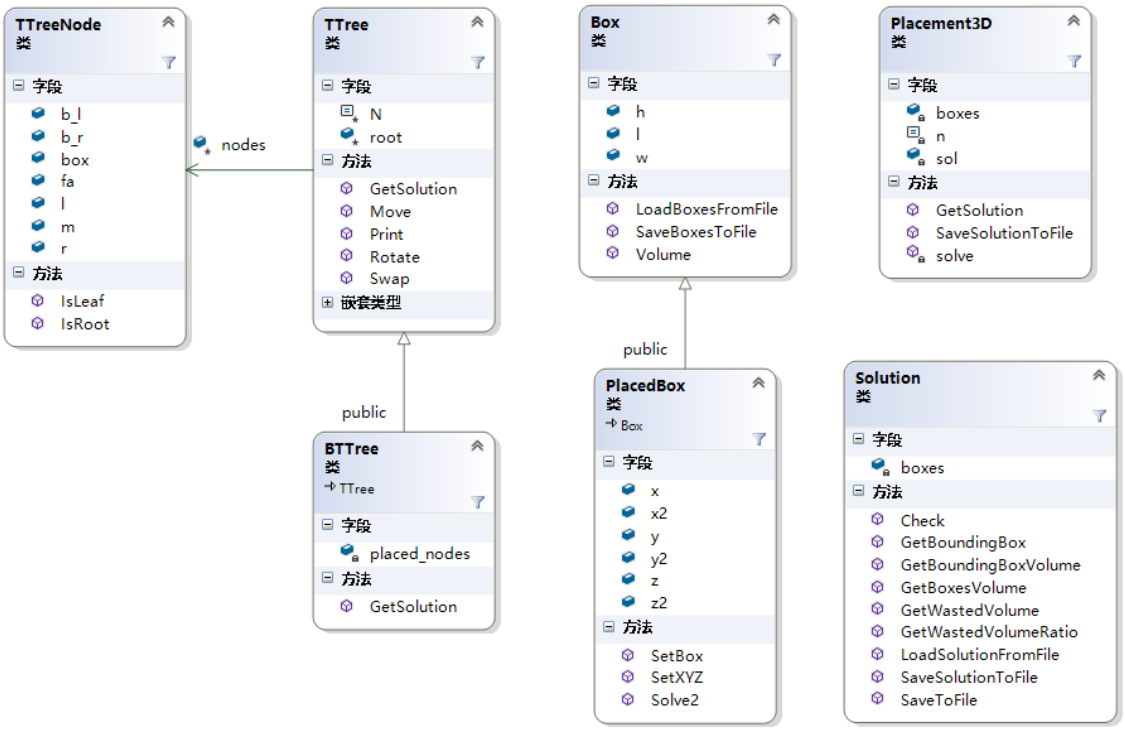
$$\Phi = \alpha V$$

其中 V 是该解对应的放置方案的最小包围长方体的体积。对于相邻解，设其价值为 Φ'，当前温度为 T，则接受该解的概率为

$$\begin{cases} 1, & \Phi' < \Phi \\ e^{-\frac{\Phi' - \Phi}{T}}, & \Phi' \geq \Phi \end{cases}$$

3 系统构成

下面是程序中所用的类之间的关系：



3.1 Box

箱子类，包含成员变量 `l`，`w`，`h`(长、宽、高)，以及计算体积的成员函数 `Volume()`，还有用于打开、保存箱子数据的静态成员函数。箱子的列表 `vector<Box>` 定义为 BoxList 类型。

3.2 PlacedBox

放好的箱子类，继承于 Box，比基类多了 `x`，`y`，`z`，`x2`，`y2`，`z2` 成员变量，分别表示放好的箱子所构成的区域 xyz 坐标的最小值与最大值。放好的箱子的列表 `vector<Placement3D>` 定义为 PlacedBoxList 类型。

3.3 Solution

问题的解构成的类，包含一个 PlacedBoxList 类型成员变量 `boxes`，还有用于检验解打得合法性的成员函数 `Check()`，求包围所有箱子长方体的体积的成

员函数 GetBoundingBoxVolume()，计算浪费的空间所占的比例的成员函数 GetWastedVolumeRatio() 等。

3.4 Placement3D

类 Placement3D 为求解该类问题提供一个接口，使用 BoxList 构造，其中 solve() 函数使用模拟退火调整 T-tree，GetSolution() 函数返回求得的解。剩下一些成员函数用于设置在模拟退火中的参数。

3.5 TTree

类 TTree 实现了在参考文献中描述的 T-tree 的一个框架，用于实现模拟退火调整过程中对 T-tree 的各种操作，即 Move()，Swap() 和 Rotate()。其中也实现了若干对 T-tree 插入、删除的函数。

TTree 主要使用一个 BoxList 构造，构造的结果是随机产生一棵合法的 T-tree。此外还有一个复制构造函数，实现了深层复制，用于在模拟退火中初始化相邻解。

TTree 还包含一个纯虚函数 GetSolution()，用于求解该 T-tree 表示的放置方案。由于论文 [3] 中提到对于一种放置方案，可以构造多种含义不同的 T-tree，因此该函数设计为纯虚函数，由 TTree 类派生的不同含义的 T-tree 类去实现。

3.6 BTTree

该类是 TTree 的一种实现，即实现了成员函数 GetSolution()。由于计算方案时要把原来三叉的 T-tree 转化为若干棵二叉树，所以称其为“Binary T-ree”，也就是 BTTree 类。

在 GetSolution() 中，会调用该类的成员函数 treePacking() 去对该 T-tree 进行放置，放置过程中调用 treeDecomposition() 把 T-tree 分解成二叉树与若干和这个二叉树相邻的节点，然后调用 binaryTreePacking() 对二叉树的每个节点进行放置。placeModule() 则是对单独的一个点进行放置。

4 测试

下面是测试结果，环境为 Linux(Ubuntu 16.04)。

编号	箱子数	用时(s)	总箱子体积	浪费率
1	2	0.1	380	13.636%
2	5	1.5	678	16.296%
3	8	7.1	999	14.615%
4	10	13	1311	12.600%
5	15	47	2976	9.818%
6	18	93	1859	13.935%
7	20	135	2866	14.702%
8	25	235	5215	11.610%
9	28	328	4201	6.644%
10	30	413	4808	4.603%
11	33	507	5423	8.085%
12*	37	212	8440	9.247%
13*	45	306	9607	8.505%
14*	50	208	10713	7.647%
15*	60	266	12258	7.835%
16*	65	553	11513	12.047%
17*	70	606	11856	10.182%
18*	80	761	13047	9.396%
19*	90	788	16474	11.143%
20*	100	279	18216	16.024%

5 演示程序

为了让数据可视化，我们还用 OpenGL 写了一个 demo，能够实现对问题解的三维显示。

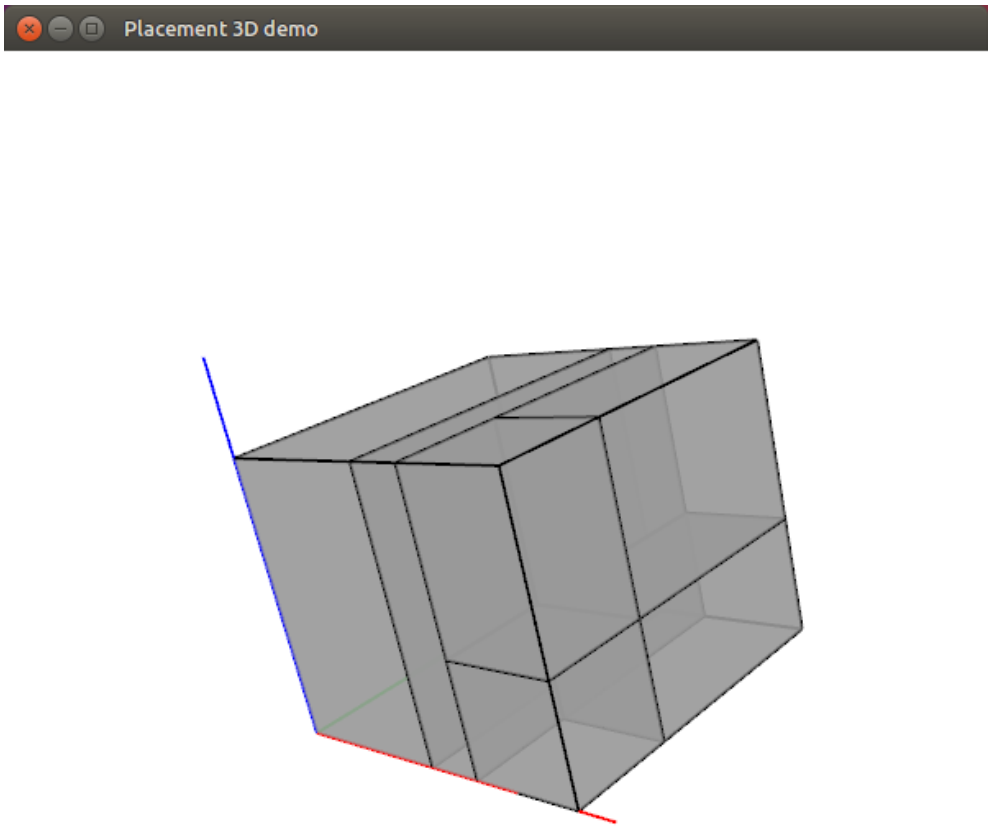
例如，对于论文中的样例，有六个箱子，相应数据存储为 `box.txt`：

```
6
2 3 4
2 3 2
2 2 4
2 2 2
6 3 5
5 1 6
```

在终端输入

```
make
make run DEMO_ARGS="-p box.txt -o sol.txt"
```

等待几秒后，便会给出求得的放置方案的三维显示，并可随意拖动、缩放：



该解会被保存到 `sol.txt` 中，并且终端会输出如下信息：

```
Checking validity:  OK
Total number of boxes:  6
Total volume of boxes:  180
Volume of bounding box:  180
Wasted volume:  0
Wasted volume ratio:  0.000%
```

6 参考文献

- [1] Yuh, P.-H., Yang, C.-L., and Chang, Y.-W. 2004. Temporal floorplanning using the T-tree formu-lation. In Proceedings of International Conference on Computer-Aided Design. 300 – 305.

- [2] Yuh, P.-H., Yang, C.-L., and Chang, Y.-W. 2007. Placement of Defect-Tolerant Digital Microfluidic Biochips Using the T-tree Formulation. ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems, Vol. 3, No. 3, Article 13.

- [3] Yuh, P.-H., Yang, C.-L., and Chang, Y.-W. 2009. T-Trees: A Tree-Based Representation for Temporal and Three-Dimensional Floorplanning. ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems, Vol. 14, No. 4, Article 51.