基于单视点图片的Manhattan重建算法研究

# 算法思路

文章[1]从单张图片提取Manhattan直线段，每条直线段仅包含一个待优化的未知量，算法通过构建约束图然后进行优化。约束图中每个顶点代表一条直线段，每条边代表两（可能）在空间中相交或共线的直线段之间的约束关系。该约束图的优化过程可转化为线性规划问题来进行求解。

然而文章[1]方法存在一些缺陷：首先，倘若图片中直线段较为分散，没有构成单连通的约束图，那么不同的连通子图之间完全缺乏直线段之间的约束关系，在这种情况下通过[1]的方法能够得到每个连通子图内直线段的相对深度关系，却无法取得不同连通子图的相对深度关系。其次，文章[1]算法只能对直线段进行重建，无法处理面信息。

为解决上述问题，基于对测试图片进行特征提取结果的观察，我们发现图像分割子区域总体上能够保持良好的平面特性并满足Manhattan方向约束。而且，在大多数情况下，相互之间没有识别出约束关系的直线段之间往往存在分割区域将二者直接连接，这些分割区域的平面性与Manhattan特性对于恢复直线段之间的相对深度关系至关重要，而直线段的方向和深度则又反过来有助于确定分割区域的空间方位。因此将直线段集合与分割区域集合放在一起共同求解是可行的思路。

此外，我们将算法进行拓展以支持输入单张全景图或多张具有相同视点的图片集合。据我所知，传统的多视图立体视觉算法难以处理这种视点相同的多视图重建情况。

# 算法流程



算法整体流程见上图。白色部分已经完成，黄色部分待实现。

其中，相机校准与全景图拼接这部分找到了Google Android 4.0 官方拼接程序的源代码。实现应该比较方便。

# 算法细节

## 优化目标

算法的求解目标包括两个：

* 所有空间直线段的深度
* 图像分割子区域的空间平面方程

预先假定，通过图像分割获取得到的每个图像分割区域在空间中都是平面。因此每一个分割子区域 可以参数化为含三个自由变量的平面方程系数：，代表方程 （ 其实代表了视点到该平面垂线的垂足坐标）。

对于空间方向（单位向量）为的全景图像素，其在 平面上深度为

而每一个直线段子结构 仅由一个深度变量 决定（指定为第一个点的深度），给定 则直线段子结构上的任一全景图像素点深度皆可由下式计算，式中为已知系数

我们需要优化的变量是：

## 约束图

文章[1]的约束图以直线段为节点，这里则将每条直线段与每张图片中的每个分割子区域皆列为约束图节点，节点之间建立约束关系。约束图可表示为：

约束图 中节点由直线段集合 和图像分割子区域集合 构成，边 分别由相邻子区域集合 ，重叠子区域集合 ，具有相交性的子区域和直线段关系集合 以及直线段之间的相交、共线关系集合组成。

### 直线段-直线段相交约束

识别方法与文章[1]相同。能量函数定义为两直线交点方向的深度差平方：

定义参见文章[1]。

### 直线段-直线段共线约束

识别方法与文章[1]相同。能量函数定义为两直线所在直线上任一点对应空间方向上的深度差平方：

定义参见文章[1]。

### 直线段-子区域连接约束

空间直线段到某张图片上的投影可能与该图片中的某个子区域相交。倘若相交，则建立该直线段与该子区域之间的约束关系。对直线段 在该图片上的投影进行等距 采样，选取位于相交子区域 中的采样点，记为。

能量函数定义为这些采样点处直线段与子区域深度差的平方和：

### 子区域的邻接约束

对于同一张图片上相邻的两个子区域，在其边界上进行等距采样得到采样点：。

能量函数定义为这些采样点处两子区域深度差的平方和：

### 子区域的重叠约束

对于处于不同图片中但在空间视角上存在重叠性的两个子区域，建立二者之间的重叠约束。重叠性高的两个子区域应对应相同的平面。重叠约束能量函数如下：

式中 分别代表子区域的平面参数。表示将子区域A投影到子区域B所在的图像平面上之后与B重合的部分占B的面积比例。

### 子区域的Manhattan法向约束

每个子区域应尽可能满足Manhattan世界法向约束。基于该约束定义能量函数如下：

式中 代表平面单位法向。代表Manhattan世界的主方向集合。

### 总体能量函数

整个约束图能量函数定义如下：

## 约束优化

### 思路

容易发现能量函数各项的定义都是连续可导的，使用一些自动求导框架就能利用简单的梯度下降来获取能量函数的极小值点。

另外须考虑到，约束图中并非所有的约束都是合理的，而且即使在合理的约束中也存在约束冗余。文章[1]中用于优化直线段深度的约束图同样存在此问题，其解决方案是分两步进行优化：第一步使用所有约束进行优化，第二步则基于第一步的优化结果，使用最小生成树算法选取必要且相对合理性更高的约束进行优化。这种方法对于我们的约束图同样适用。因为在部分情况下某些类型的约束的确未必合理：如两相邻区域之间的边界如果在空间上属于遮挡边界，那么这两区域之间的相连关系就是不合理的。

那么按照文章[1]的思路，首先对于所有识别出来的约束进行总体优化，然后使用最小生成树算法在约束图中识别最小生成树，现在的问题在于，在识别最小生成树时我们应如何评判每个约束的权重？

总体思想应满足：第一次优化之后，对于任一约束，约束符合的越差，权重值就越高，从而保证最小生成树算法只选取符合得比较好的约束。

### 如何评价约束的符合程度

我们通过定义各个约束的评价权重来度量其符合程度，权重值越高则符合程度越低。

直线段相交约束以及共线约束的评价权重定义为 ，是一个同时处于投影上的点（方向）。

直线段-子区域或子区域-子区域间的连接约束的评价权重定义为 。

子区域重叠约束的评价权重定义为

子区域的Manhattan法向约束的评价权重定义为

然而当前不同类型约束的评价权重意义不同，具体参数值可通过实验来确定。

# 参考文献

1. Ramalingam, Srikumar, and Matthew Brand. "Lifting 3D Manhattan Lines from a Single Image." *Computer Vision (ICCV), 2013 IEEE International Conference on*. IEEE, 2013.