# 2 Bundle Adjustment (5 分，约 3 小时)

## 2.1 文献阅读 (2 分)

### 1. 为何说 Bundle Adjustment is slow 是不对的？

BA is slow 是因为考虑这个问题的时候只考虑了的BA常规形式，没有考虑具体BA问题的结构和稀疏性。

### 2. BA 中有哪些需要注意参数化的地⽅？Pose 和 Point 各有哪些参数化⽅式？有何优缺点

BA问题中点的位移，旋转，甚至相机内参都能参数化。根据具体的形式，我们的状态可能受到奇异性，内部约束和不必要的内部自由度的影响。最合适的参数化应该要做到统一，有限，行为良好且接近当前状态。

对于点来说，可以参数化成XYZ（仿射形式）或者XYZW（射影形式），在距离相机近的点我们使用xyz形式就可以了。但是对于很远的点，因为很远的点和无限远的点本身就不容易区分，还加上噪声问题就可能让我们混肴。在很远的位置，xyz的cost function十分的平坦，steps会变得很大。用XYZW形式的话它会变得自然，有限，条件良好。

对于Pose（位移部分跟点同理）的旋转部分。用Euler angle就有很多数值问题，除非能保证避免奇异性和不平坦空间。可以用单位四元数或者在旋转矩阵R上面加个小扰动来表示。

### 3. \* 本⽂写于 2000 年，但是⽂中提到的很多内容在后⾯⼗⼏年的研究中得到了印证。你能看到哪些 ⽅向在后续⼯作中有所体现？请举例说明

模型要考虑outlier

控制步长

可以探索问题的结构性，善用因式分解，使用稳定的局部参数，缩放和预处理。

## 2.2 BAL-dataset（3 分）

### 请你使⽤ g2o，⾃⼰定义 Vertex 和 Edge书写 BAL 上的 BA 程序，运⾏你的 BA，并给出优化后的点云图。

# 3 直接法的 Bundle Adjustment (5 分，约 3 小时)

## 3.1 数学模型

### 1. 如何描述任意⼀点投影在任意⼀图像中形成的 error？

### 2. 每个 error 关联⼏个优化变量？

### 3. error 关于各变量的雅可⽐是什么

## 3.2 实现-根据上述说明，使⽤ g2o 实现上述优化，并⽤ pangolin 绘制优化结果

### 1. 能否不要以 [x,y,z]T 的形式参数化每个点？

### 2. 取 4x4 的 patch 好吗？取更⼤的 patch 好还是取⼩⼀点的 patch 好？

### 3. 从本题中，你看到直接法与特征点法在 BA 阶段有何不同？

### 4. 由于图像的差异，你可能需要鲁棒核函数，例如 Huber。此时 Huber 的阈值如何选取？