

## 0. 说明

本PDF文档为自动生成，如有遗漏的格式错误请及时告知！

## 1. Bundle Adjustment

### 1.1 文献阅读

- 为何说 Bundle Adjustment is slow 是不对的?

The claimed slowness is almost always due to the unthinking use of a general-purpose optimization routine that completely ignores the problem structure and sparseness.

换言之，就是没有实事求是，忽略了模型的稀疏性。

- 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。
  - 需要注意参数化的地方主要是建立投影模型的过程，这个过程中需要考虑内外参数和畸变参数等；另外还有建立代价函数的时候需要注意。
  - 参数化形式：变换矩阵、四元数、欧拉角、李群
  - 变换矩阵可以表示任意旋转，但是参数过多；欧拉角直观但是存在万向锁；四元数和李群的优点很多，缺点都是不容易理解。

- 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。

文中提到的 `Network Structure` 就是后来的图优化。

### 1.2 BAL-dataset

- 数据集

[Venice](#)/problem-16-22106-pre

- 安装 g2o
- 参考书上代码框架，注意因为安装的 sophus 库是非模板的，使用的时候需要注意。
- CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.8.3)
SET(CMAKE_BUILD_TYPE "Release")
PROJECT (Chapter7)

add_compile_options(-std=c++11)

INCLUDE_DIRECTORIES(${PROJECT_SOURCE_DIR}/include)
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/opencv2")
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/eigen3")
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/suitesparse")

find_package( OpenCV REQUIRED )

find_package(g2o REQUIRED)
include_directories(${g2o_INCLUDE_DIRS})
SET(G2O_LIBS g2o_csparse_extension g2o_stuff g2o_core cxsparse)

find_package(Sophus REQUIRED)
```

```
include_directories(${Sophus_INCLUDE_DIRS})

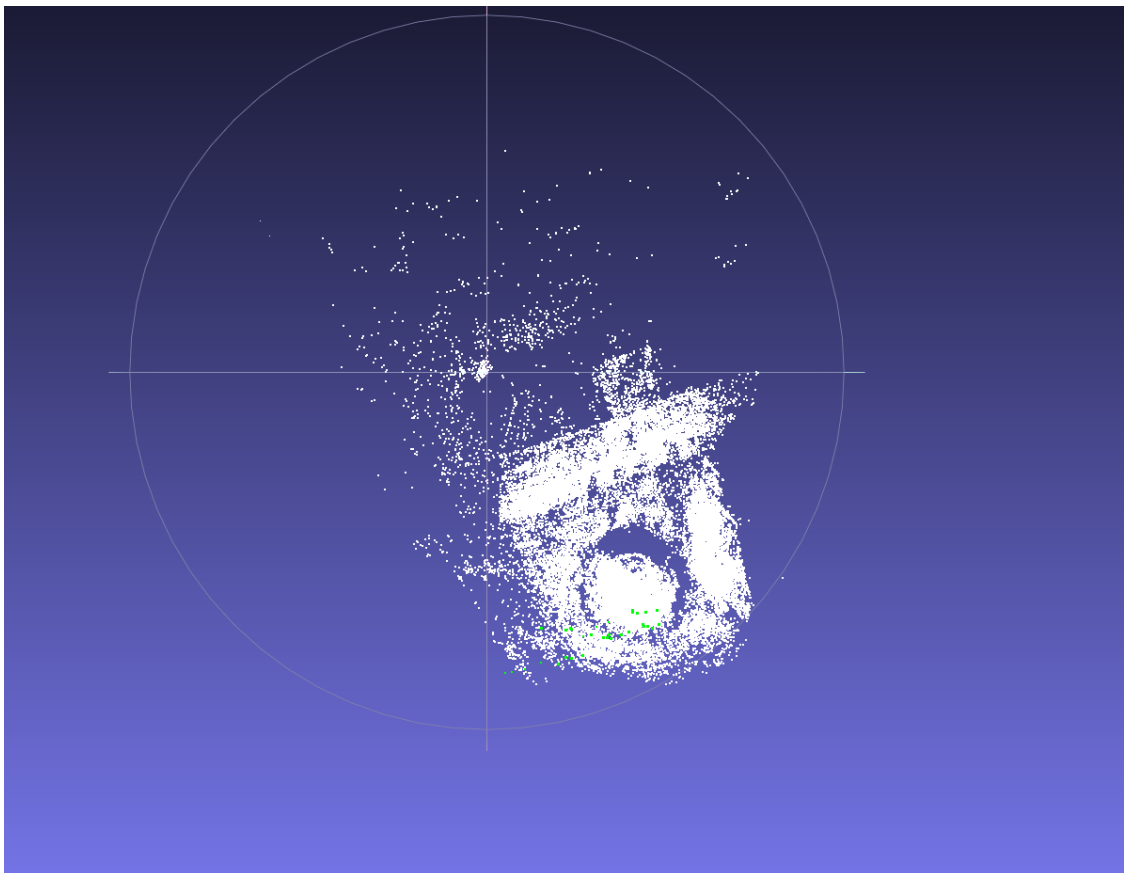
find_package(Pangolin REQUIRED)
INCLUDE_DIRECTORIES(${Pangolin_INCLUDE_DIRS})

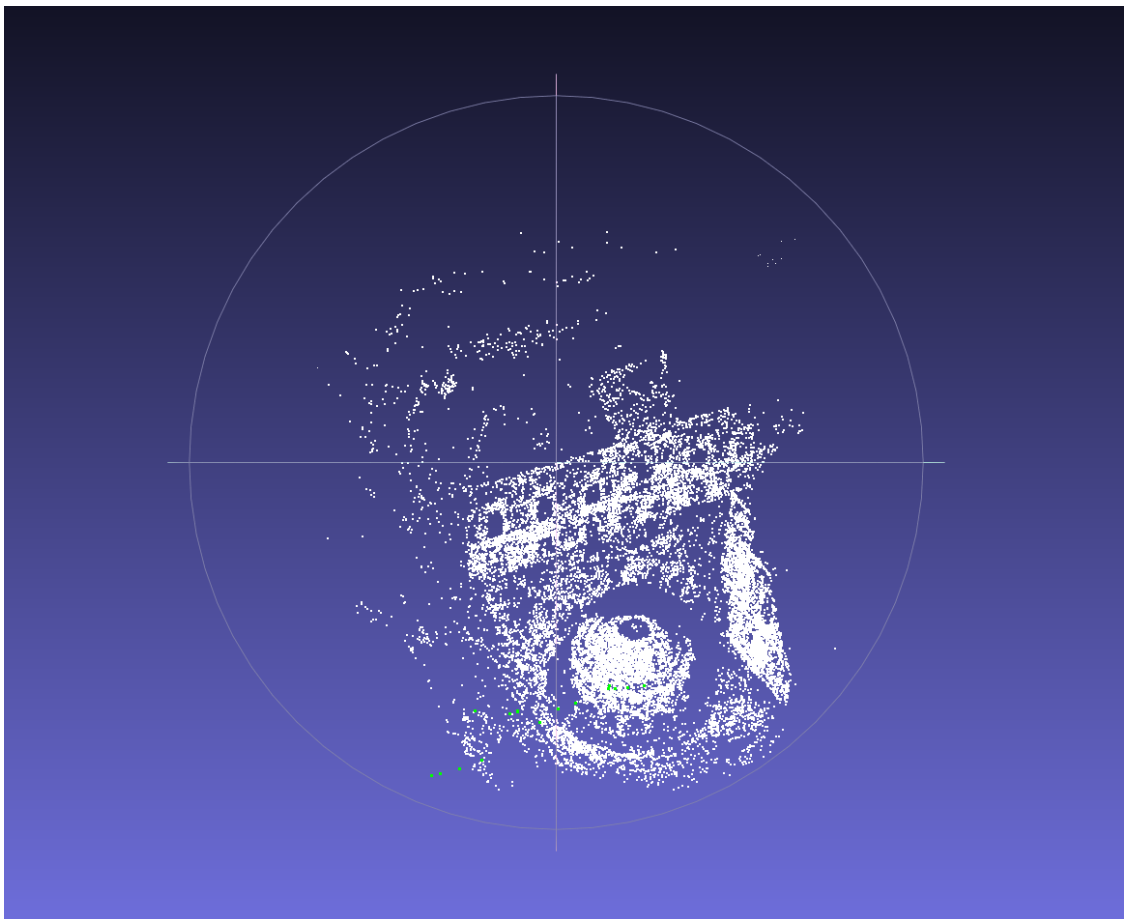
add_library(bal_common ${PROJECT_SOURCE_DIR}/src/common.cpp)

SET(SRC_LIST ${PROJECT_SOURCE_DIR}/src/bundle_adjustment_g2o.cpp)
ADD_EXECUTABLE(bundle_adjustment_g2o ${SRC_LIST})
target_link_libraries(bundle_adjustment_g2o ${G2O_LIBS} ${Sophus_LIBRARIES}
bal_common)
```

```
sudo sh -c "echo '/usr/local/lib' >> /etc/ld.so.conf"
```

- 运行结果





## 2. 直接法的 Bundle Adjustment

### 2.1 数学模型

- 如何描述任意一点投影在任意一图像中形成的 error?

$$error(p_i) = I(p_i) - I(\pi(p_i))$$

- 每个 error 关联几个优化变量?

2个

- error 关于各变量的雅可比是什么?

$$\frac{\partial u}{\partial \delta \xi} = \begin{bmatrix} \frac{f_x}{Z} & 0 & -\frac{f_x X}{Z^2} & -\frac{f_x XY}{Z^2} & f_x + \frac{f_x X^2}{Z^2} & -\frac{f_x Y}{Z} \\ 0 & \frac{f_y}{Z} & -\frac{f_y Y}{Z^2} & -f_y - \frac{f_y Y^2}{Z^2} & \frac{f_y XY}{Z^2} & \frac{f_y X}{Z} \end{bmatrix}$$

$$J = -\frac{\partial I}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial \delta \xi}$$

### 2.2 实现

- directBA.cpp见工程文件
- CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 2.8.3)
SET(CMAKE_BUILD_TYPE "Release")
PROJECT (Chapter7)
```

```

add_compile_options(-std=c++11)

INCLUDE_DIRECTORIES(${PROJECT_SOURCE_DIR}/include)
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/opencv2")
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/eigen3")
INCLUDE_DIRECTORIES("/usr/include/suitesparse")

find_package( OpenCV REQUIRED )

find_package(g2o REQUIRED)
include_directories(${g2o_INCLUDE_DIRS})
LIST(APPEND G2O_LIBS
    cxsparse
    cholmod
    g2o_cli g2o_simulator
    g2o_solver_slam2d_linear g2o_types_slam2d g2o_types_slam3d
    g2o_solver_csparse g2o_solver_structure_only g2o_solver_dense
    g2o_types_sba g2o_types_icp g2o_types_sclam2d g2o_parser g2o_solver_pcg
    g2o_types_data g2o_types_sim3
    g2o_csparse_extension g2o_stuff g2o_core cxsparse
)

find_package(Sophus REQUIRED)
include_directories(${Sophus_INCLUDE_DIRS})

find_package(Pangolin REQUIRED)
INCLUDE_DIRECTORIES(${Pangolin_INCLUDE_DIRS})

add_library(bal_common ${PROJECT_SOURCE_DIR}/src/common.cpp)

SET(SRC_LIST ${PROJECT_SOURCE_DIR}/src/bundle_adjustment_g2o.cpp)
ADD_EXECUTABLE(bundle_adjustment_g2o ${SRC_LIST})
target_link_libraries(bundle_adjustment_g2o ${G2O_LIBS} ${Sophus_LIBRARIES}
    bal_common)

ADD_EXECUTABLE(directBA ${PROJECT_SOURCE_DIR}/src/directBA.cpp)
target_link_libraries(directBA ${G2O_LIBS} ${Sophus_LIBRARIES}
    ${Pangolin_LIBRARIES} ${OpenCV_LIBRARIES})

```

- 运行结果



- 问答
  - 能否不要以  $[x, y, z]^T$  的形式参数化每个点?  
能
  - 取  $4 \times 4$  的 patch 好吗?取更大的 patch 好还是取小一点的 patch 好?  
窗口过大会导致计算量过大，过小会导致误差增大。
  - 从本题中,你看到直接法与特征点法在 BA 阶段有何不同?  
直接法是最小光度误差来优化，特征点法是最小化重投影误差作为优化目标。
  - 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?