说明：重装unbuntu后从零开始复现orb\_slam2的总结：

吴博注释代码：<http://git.oschina.net/paopaoslam/ORB-SLAM2>

PPT网站：<https://wenku.baidu.com/view/8cf70ca7bdeb19e8b8f67c1cfad6195f312be813.html>

其他相关网站：<http://paopaorobot.org/420.html>

解压缩：<https://www.linuxidc.com/Linux/2012-08/68122.htm>

tgz：<https://blog.csdn.net/weixin_40533355/article/details/80473223>

数据库云盘：<https://www.sohu.com/a/219232053_715754>

使用自己总结文件：xzbots和廖雪峰Git summary；Linux and Ubuntu；树莓派：linux常用命令以及vim编辑器（命令图）；视觉SLAM十四讲-高翔

相关文献，总结看周报：

* 初步版本-小改版本-slam2：ORB-SLAM Tracking and Mapping Recognizable；ORB-SLAM A Versatile and Accurate Monocular SLAM System；ORBSLAM2\_An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras
* Fast角点：(OFAST1\_CORR)Machine\_Learning\_for\_High-Speed\_Corner\_Detection；(OFAST2)Faster and Better\_A Machine Learning approach to corner detection
* 描述子：Brief\_Binary robust independent elementary features
* ORB特征：ORB\_an efficient alternative to SIFT or SURF
* 词袋：Bags of Binary Words for Fast Place Recognition in Image Sequences
* 图优化：g2o\_A General Framework for Graph Optimization
* 闭环检测和重定位方法：Fast Relocalisation and Loop Closing in Keyframe-Based SLAM
* 3D-2D，用于初始化后的跟踪，重定位：EPnP An accurate On solution to the PnP problem
* 闭环检测？由3D-3D点求解R、T: Least-Squares Fitting of Two 3-D Point Sets
* 在跟踪线程中局部地图优化时用到相似于double window的方法：double window optimisation for constant time visual SLAM
* 闭环检测计算相似变换、pose graph optimization：Scale Drift-Aware Large Scale Monocular SLAM；closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions
* H分解出t、R：Motion and structure from motion in a piecewise planar environment
* E的SVD分解：Multiple View Geometry in Computer Vision.

待通过实验解决：

* 不同层会不会提取到相同的特征点？提取到的特征点会不会匹配上？若匹配上是不是意味着不确定在哪看到的点了？
* Searchbybow函数中未考虑多次的匹配的异常点，可以设计函数放于continue之前计算分数
* 跑同样的轨迹有时会丢失有时不会

问题

* 期望特征数与金字塔尺度关系

解决：见代码

* 用滑窗提取特征点的作用

解决：更加均匀，特征之间相距更远，从线性方程来说各方程更不相关，没那么病态

* 索引值为何经常初始化为-1，

解决：若后面将其赋值，那么正常索引大于0，若其小于零则说明未进行任何操作

* 相邻两帧图像检查依据，

解决：两帧图像所有特征点角度变化相似，具体看代码

* SVD分解？F、H分解为什么有几种可能的解？初始化时重建原理？

解决

* 跟踪时位姿得计算过程，直接使用g2o计算？

解决：2种方法，固定motion+g2o；参考帧3D-2D+g2o

* VSLAM基础（六）————超定线性方程组的解法，搜索这个系列看看

解决：potxxx的博客\_CSDN博客-c++,slam,计算机视觉领域博主 <https://blog.csdn.net/potxxx/article/list/2>

* Household变换

解决：数值分析求特征值章，为QR分解作准备

<https://blog.csdn.net/flyfish5/article/details/52315062>

第二遍待搞清问题，不留疑惑的全看懂，如果是自己该怎么写

* 各线程之间的协调，怎么通过操作内存相互协调
* 局部地图、闭环检测、重定位等理论及具体实现方式

解决：看论文

* 理清各类的作用，搞清public、protect等的作用

解决：protect可以被子类继承而private不能

* 如何评价结果？将结果以可视化的方式表现出来
* 注意观察照片缩放前后的区别，缩放使用什么方法比较好
* 金字塔各层比较和存储的方式，只存储匹配的一帧吗？注意factor的使用

解决：代码中按1.2比例缩小图像，对于同一个物体，相当于距离变远。金字塔的缩放相当于摄像头沿光轴平移，之后改变平移量就好。代码的思路是：通过双线性内插缩放图片，这里图片的间隔是一样的，分辨率不一样。然后使用相同的方法（如相同的patch），提取角点和描述子，最后将不同层（缩小）的特征点的坐标放大（乘对应层数即可）。特征点中还保存着对应层数。还需结合计算过程综合考虑

* 跟踪没用过的特征继续保存在关键帧中吗？

解决：对

* 估计初值怎么得来

解决：第一次计算之后都有初值了

* 优化时用的是特征点世界坐标系坐标到相机坐标系之间的位姿变换，故各帧之间不会相互关联？

解决：优化有很多种，有pose-point、pose-pose

* 相机参数校正过程

解决：提取完ORB特征后在使用校正参数校正特征点的坐标，包括四个顶点的坐标

* KD树词的格式，观察各特征之间1,0差别，一位的偏差是否会带来较大影响
* 地图点的描述子取哪个特征帧的描述子

解决：离其他描述子距离最近的描述子

* 参考帧怎么选取？从covisibility graph（只包括关键帧）吗？还是直接用上一帧作为参考帧，丢失之后才从地图上查找？
* 上次插入关键帧与当前决定插入关键帧之间帧怎么处理？论文中track是指匹配点还是map point？包括恢复的map point吗？
* 建立局部地图，怎么计算期望看到某个点的帧数？有个判断条件用到
* 局部地图停止后是否插入关键帧到local队列？
* dmin、dmax怎么算

解决：在mappoint中有一个参考帧专门供其计算，会随着运动不断更新，dmax=1.2\*该帧光心到该路标点距离\*观测所在层尺度（1.2的n次方），dmin=0.8\*dmax/最底层尺度（1.2的7次方）

* 视差的判断
* 在关键帧中出现但词袋中没有的词怎么处理？不考虑他们会带来什么影响？考虑会不会改善效果？
* 最近邻ratio？
* 通过旁边三个点恢复一些3D点的方法，3D融合过程中先匹配在映射吗？（两帧图都是用loop帧的路标点）？
* 尺寸的初始化？

解决：先使t计算位姿时使t的模为1，新建地图时将相机中间深度的距离设为1

* 倒数深度的作用？
* Local队列是在闭环检测的时候用的吗？注意各段时间
* 为什么会有四个解？
* 提取fast角点圆是怎样的？，，
* 只运行tracking线程跑一个循环会不会是运行三个进程时间的3倍？
* 从E分解出R得大于0
* 对于每张图片的特征是离谁最近挂在哪个页节点下吗？id一样？
* EPnP求解控制点坐标：待看代码具体计算过程，22点有参考网站。ICP问题？
* 正交相机模型和投影相机模型？
* 程序中4个和个beta的求法
* EPNP使用高斯牛顿方法优化beta过程，知道2个坐标系下多个3D点，求解Rt的过程，为什么可以用SVD分解

解决：<https://www.cnblogs.com/wall-e2/p/8057448.html>（重要，找出整个系列看看）

qr分解为作者自己写的，有空看

<https://blog.csdn.net/EyeToTheWorld/article/details/100113266>

* 求解时正负的选取问题
* 把slam2中求解方法总结一下，可尝试推理，以后面试用
* 非关键帧是怎么处理的，非关键帧数量和关键帧数量数字

1. 安装及设置git

安装：sudo apt-get install git -y

设置：<https://www.cnblogs.com/superGG1990/p/6844952.html>

（生成密钥对那就是邮箱，未设置前没有权限下载github上code）

警告：搜索问题，在某个文件后面加上ip即可

1. 下载安装工具及第三方库

参照源码网站：<https://github.com/raulmur/ORB_SLAM2>

包的两种常用方法：

* 直接使用sudo apt-get install 包名 安装
* 到网站下载包含cmakelist.txt文件的压缩包，解压后按cmake的方法安装：在解压目录mkdir build；cd build；cmake ..（根据cmakelist里分析里面文件、相关链接库，生成自动编译脚本Makefile等中间文件）；make –jn //n线程（编译）；sudo make install（安装）

卸载安装包方法：

<https://www.cnblogs.com/blackay03/p/9062503.html>

1. 安装cmake：编译用

sudo apt-get install cmake

1. 安装kdevelop

sudo apt-get install kdevelop

1. 安装vim

sudo apt-get install vim

1. 下载源码

注意按网站上clone语句：git clone https://github.com/raulmur/ORB\_SLAM2.git ORB\_SLAM2，没有后面ORB\_SLAM2会下不了，这与一般的下载不一样

对于DBow2和g2o已经包装在thirdparty文件夹中了，下载好程序后按照github网站上三步运行安装即可：cd ORB\_SLAM2 chmod +x build.sh ./build.sh

安装完上面几项后，用kdevelop打开文件，根据报错信息安装相应包，可参考如下网站

<https://blog.csdn.net/radiantjeral/article/details/82193370>

问题：pangolin使用catkin\_make\_isolated替代catkin\_make

1. 安装opencv（opencv 3.2.0，自己安装，记得先安装依赖项）

<https://blog.csdn.net/ksws0292756/article/details/79511170>

后面发现其与官网步骤类似，最好参考官网步骤：

https://docs.opencv.org/master/d7/d9f/tutorial\_linux\_install.html

注意先解压，解压步骤见最上方网站，然后按网站步骤弄

不先安装依赖项带来的麻烦，及解决步骤

* 报未安装lihgtk2.0-dev 和pkg-config依赖项错

解决：先安装两个依赖项包：sudo apt-get install 依赖项包，使用下网站第一条解决，第一句只是查看当前两个包版本。make比较慢，记得使用多线程。后安装相当于要把依赖项和cmake连接起来，会麻烦一点

<https://stackoverflow.com/questions/28776053/opencv-gtk2-x-error>

* cmake句时报未安装qt4错

解决：sudo apt-get install qt-sdk，然后cmake成功，继续按照上面网站操作就好

1. 安装eigen3（按上面网站）
2. 安装pangolin（按上面网站）

其中src文件夹相当于自己package放文件包的文件夹，不过这里得用src才能执行下面命令，故重新在package目录新建src文件，将pangolin下载此文件夹下。然后按照提示安装catkin，运行catkin\_make出问题后运行提示目录isolate。然后继续走在src上一级会多出build build\_isolated devel devel\_isolated多个目录，下次安装时注意多加一级，这样太乱

1. 1 sudo sh -c '. /etc/lsb-release && echo "deb http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ros/ubuntu/ $DISTRIB\_CODENAME main" > /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
2. 源码理解

* Tracking

<https://www.cnblogs.com/wall-e2/p/8057448.html>

* Local mapping
* Loop closure

1. 别人总结

* orb前端中的特征选择策略大致是对存在多个特征的grid四等分（且优先等分特征数目较多的），当等分出的grid达到需要的特征数目时就停止等分，然后从每个grid中挑出最强特征作为特征选择的输出。这样做的好处是（相对于opencv中最原始的grid策略，即等分全图，每个grid取一个点），强纹理区域会提取更多特征，弱纹理相对较小，不过局部区域都相对比较均匀，更加合理。maplab中也提出了一种类似的策略，大致是先用原始grid策略找出一定数量强特征，如果特征数目不够，再用原始grid策略找出一些相对较弱的特征，也在一定程度上弥补了原始grid策略不能自适应的缺陷。另外自动驾驶的前视相机根据场景特性会发现如果将图片从左往右等分成若干列，保证每列特征数目尽量相等也能获取不错的特征分布。
* <https://mp.weixin.qq.com/s/t3T7g5sFvFXhgVNn0vlNtA>
* <http://www.shenlanxueyuan.com/open/course/27>
* ORB特征均匀提取策略对性能的提升有多大：<https://mp.weixin.qq.com/s/MgJizauaLqigkV-UlOg9uQ>
* GPU版：<https://github.com/yunchih/ORB-SLAM2-GPU2016-final>
* PNP和ICP ：[http://mp.weixin.qq.com/s?\_\_biz=MzA4NTEwNTI0Nw==&mid=2247483918&idx=1&sn=8c04e7d360f9ac7c9c9c8f34c657526e&chksm=9fdc4d3ea8abc428da8229c3ec24fc8d91a998fd8b2d27633217bbfe4beeebe02673814998a6&mpshare=1&scene=23&srcid=&sharer\_sharetime=1573794045740&sharer\_shareid=49a11175da4d4edb605c7f35b37db012#rd](http://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA4NTEwNTI0Nw==&mid=2247483918&idx=1&sn=8c04e7d360f9ac7c9c9c8f34c657526e&chksm=9fdc4d3ea8abc428da8229c3ec24fc8d91a998fd8b2d27633217bbfe4beeebe02673814998a6&mpshare=1&scene=23&srcid=&sharer_sharetime=1573794045740&sharer_shareid=49a11175da4d4edb605c7f35b37db012" \l "rd)

1. 各类的作用，首先构建一个system类实例，然后在这个类里面包含所有类的实例指针，有些类可能又在实例指针中再建立实例指针。相机坐标系的中心在光心。自己正面看图片时。代码中横向为x轴-u-cols-width，纵向为y轴-v-rows-height，圆心在左上角。故在用at定位像素是应是<y,x>。new的地方创建一个指针实例。

* Mono\_tum：主函数，在TUM数据集进行单目运算
* System：整个系统相关操作
* Frame：帧，新来的帧，需要在它上面提取特征。包括创建序号mnid和timestamp两个id。对当前帧进行处理，提取特征，供track使用。操作函数在ORBextractor，将提取特征的关键点存于其mvkeys（keypoint）-，描述子存于mDescriptors（mat：cols-特征点个数，rows-描述子32）。用于创建当前帧mcurrentframe。提取特征点后校正特征点x、y坐标，将其存于mvkeysUn（keypoint）。将特征点与mvpmappoints对应起来。

其包含复制构造函数，在初始化时会用于复制类实例

* Keyframe：关键帧，新来的帧满足条件可变为关键帧。初始化时创建初始化地图就有用了，包括创建序号mframeid、mnid和timestamp（与frame相同）3个id。
* Keyframedataset（是system内指针类）：保存所有关键帧
* Mappoint：路标点
* Initializer：初始化时候用，计算H、F矩阵，并分解得出位姿。在tracking中新建该类的指针实例。
* ORBextractor（是tracking内指针类）、Extractornode（不新建指针，只作类型用）：提取特征时用，两个在ORBextractor.h头文件中定义。
* ORBmatcher：特征匹配。在跟踪时新建一个局部类
* Tracking（是system内指针类）：跟踪用，主要在主线程跟踪线程用。包含currentframe

和lastframe用于跟踪。

* Localmapping（是system内指针类）：局部地图构建线程
* Loopclosing（是system内指针类）：闭环检测线程
* Map（是system内指针类）：关键帧和路标点，使用指针，便于节省空间
* Converter：g2o、Eigen、cv之间的矩阵转换
* Optimizer：优化器，BA、pose、sim3、essential graph等优化方法，不见实例，像函数一样调用
* Pnpsolver：3D-2D求解
* Sim3solver：求相似变换

画图用

* Viewer（是system内指针类）
* Plane
* viewerVR
* Framedrawer（是system内指针类）：
* Mapdrawer（是system内指针类）

1. 重要阈值或参数

* covisibility graph：共视个数-；
* 场景识别：最好分数的百分数-；
* DBOW2：K；D-；匹配所选层-；
* 初始化：匹配的特征值最小值-；
* Tracking：金字塔层数-；尺寸因子；欲提取的特征数-；检测FAST的阈值；是否保留某关键点（角点）的规则；局部地图优化K1与当前帧共视帧的个数阈值；及K2帧数阈值；；自适应detector阈值；自适应cell阈值；判断跟踪丢失条件；pnp中inlier数；匹配时方向一致性检测；最近邻ratio-；
* Trackwithmotionmodel（）：位姿初值为mverlocity（之前两帧的运动速度）\*mlastframe，使用lastframe的重投影（重载函数）来找
* Trackreferencekeyframe（）：位姿初值lastframe

跟踪到路标点超过15个。

* 两个都使用pose优化计算pose，同时探测一些异常的路标点，结果>=10返回true
* Tracklocalmap：正常需30个点，重定位阶段需50个点才算成功
* Map：利用旁边N帧进行重建地图；三角化极线约束-；视差；删除帧的百分数-；dmin、dmax；视角差别阈值-60；
* Loop：smin计算边权重；一致性检测；
* EDGE\_THRESHOLD=19：代码中采用101反射方便提取边缘上角点，FAST提取中的6，+-3是为了保证提取的都是图片内的点，而不提取填充上的点。19是为了计算描述子用的，斜框时15\*根号2=21。
* 初始化时：
* 初始化成功要求：当前帧特征点大于100；匹配点大于100；
* 特征匹配：只在金字塔第一层做匹配；在参考帧像素上下左右100个像素点找合适匹配点；汉明距离小于50且最好距离小于次好距离0.9倍；同一个点不能被两次匹配；方向检测词袋数量为30，选择其中三个数量最多词袋，两个次好词袋个数应大于最好词袋的0.1倍，否则丢弃。
* 开辟两个线程计算H和F：从匹配点中随机选出200组（迭代次数）8个点对，特征点可以重复使用，保证每组不重复即可。计算分数阈值看代码和吴博ppt-p24，
* 使用F恢复三维坐标

checkRT：两个在cosparallax<0.99998(即保证不平行)时判断深度是否为负；重投影误差（差的平方和）小于4；保留的点cosparallax<0.99998(即保证不平行)。满足前两个条件就认为是好的点ngood++；满足三个条件才将对应标志置true

选出最好的一组：最好的RT中正确的点要多于局内点的0.9且总数在50以上，其他非正确RT要少于最好的RT点数的0.7倍。

另外parallax（两条射线的角度）要大于1度，当满足要求点多于50个时，要求前50个大于1度，否则要求全部大于1度

* 使用H恢复三维坐标：checkRT和F一样

选明显优于其他组最好的一组（条件为且关系）：最优解点数的0.75倍比次优多；大于局内点的0.9倍且大于50个；视差大于1度

1. 用到opencv类和函数

* OpenCV —数据持久化: FileStorage类的数据存取操作与示例

<https://blog.csdn.net/iracer/article/details/51339377>

* mat: 属性step，size，step1，elemSize，elemSize1。create-直接创建一个矩阵

<https://blog.csdn.net/Felaim/article/details/80702787>

矩阵操作的一些方法

<https://blog.csdn.net/b1342504010/article/details/17717137>

* outputArray：特征提取返回描述子引用时
* copyMakeBorder：扩充边缘：101-以最边缘像素为轴，关于BORDER\_ISOLATED用法在函数声明中有详细描述

<https://www.colabug.com/1691132.html>

* resize：对图像进行放缩，也称图像内插，书P37，内插过程理解：改变放缩后图片像素之间间隔，使其与原图像重合，注意两者间隔不同，放大，间隔变大，缩小间隔变小，在此基础上进行插值。常用双线性插值。

<https://blog.csdn.net/guyuealian/article/details/85097633>

<https://blog.csdn.net/qq_37577735/article/details/80041586>

* 给单通道赋值，注意不同通道的类型

<https://zhidao.baidu.com/question/1050998807787878299.html>

* FAST：threshold为中心点与圆上点边缘差值（本文最大20，最小7），其为FASTx从16个像素选取9个的情况。得到kepoint，得到pt、response可直接用

<https://blog.csdn.net/zhaocj/article/details/40301561>

* Keypoint：pt(0,0)坐标, size(0)代码中PATCH\_SIZE\*缩小比例，描述子尺寸？, angle(-1)方向以x轴到y轴为正方向, response(0)响应强度，和中心点与圆上像素差值有关, octave(0)所在金字塔层, class\_id(-1)

<https://blog.csdn.net/u010821666/article/details/52883580>

* fastAtan2：计算反正切函数，返回结果为0-360，误差0.3
* getMat 、 InputArray 、OutputArray、 CV\_Assert 、 create、\_tchar、wchar\_t、char、typename、类的静态数据成员、Mat

<https://blog.csdn.net/weixin_41484240/article/details/80595507>

* mat.reshape：第一个参数通道数，第二个参数行数.肯定是2\*2

<https://www.cnblogs.com/denny402/p/5035535.html>

* undistortPoints（）：提取完特征点后进行校正

<https://blog.csdn.net/yong_qi2015/article/details/52946821>

* SVDcomp：返回值已经按从大到小排列

<https://blog.csdn.net/weixin_42587961/article/details/96865137>

<https://www.cnblogs.com/mikewolf2002/p/3454760.html>

* norm：求范数
* cvmultransposed：求AT\*A
* cvSVD: <http://www.mamicode.com/info-detail-57033.html>
* cvRealeaseMat: 该函数参数为指向cvmat的图像指针的引用，运行完该函数后使参数指针置空（NULL），该函数与cvReleaseImage(&pImage)的用法类似
* cvMat：将数组与cv矩阵绑定起来，这样方便操作矩阵一些
* cvsolve：解线性方程组
* 1

1. std常用函数

* 1

1. g2o

* g2o矩阵使用的是eigen矩阵

1. eigen
2. TUM数据集：包括室内室外范围比较小的场景

* 数据集的文件名就是时间

1. timestamp记录图片的先后顺序，covisibility graph和essential graph 、span tree用于优化
2. 各线程通信标志：tracking用covisibility graph；local mapping会用也会改graph，且操作较频繁；loop会用也会改graph，且改得较少，检测到闭环的时候停止local

* Loop启停local标志位：

1. 文件加下有build.sh，执行了一系列命令行操作，建立好库函数和可执行程序，examples里有各中情形的可执行程序。可以通过cmakelists.txt文件查找生成对应库和可执行程序使用的源文件
2. yaml文件常用于写配置文件，简介如下

<https://www.cnblogs.com/wxmdevelop/p/7341292.html>

1. 使用kedevelop打开吴博注释代码及源码两个工程时，源码system.h的头文件system的构造函数与吴博代码链接上了。原因不详，中间有过挺多乱七八糟操作。如改文件名，build多次
2. 程序的线程之间通过标志位来控制

<https://blog.csdn.net/hzwwpgmwy/article/details/80493247>

1. C++ 互锁mutex的使用，待进一步理解，b站有收藏，lock是保护在其之下的函数及变量？
2. copyMakeBorder：<https://blog.csdn.net/qq_22764813/article/details/52787553>
3. 取整函数：<https://www.cnblogs.com/zjutlitao/p/3558218.html>
4. 立方体可以用八叉树切分，图片可以用四叉树切分
5. 多线程

* 线程名.join:等待直到线程结束

1. 提取fast角点时，在每个cell设定最小数量，从大到小（20-7）设置fast的阈值，直到获得合适数量角点，阈值越大越好
2. 类之间相互包含彼此的指针类，既可以增强彼此的联系，又可以节省空间，使用指针操作相当于在不同类型操作同一片内存，但是多线程操作时可能会出现冲突
3. 计算汉明距离在代码中有快速的计算方法，代码中有相应链接
4. EPnP求解控制点坐标：（实验所得）一个控制点取4个路标点质心坐标，然后去质心后，其余三个控制点取四个路标点PCA主方向上三个点，PCA能更好的表达这四个点的信息

<https://blog.csdn.net/jessecw79/article/details/82945918>

<https://www.jianshu.com/p/312cc524b8d1>

1. 1

