待解决问题

1. 感光元件产生信号与物体颜色之间关系？物理成像（感光元件信号）平面转换成数字图像的具体过程？一个像素点对应一个还是多个感光元件？之间怎么转换？DSP将感光元件模拟信号转换成数字图像的过程？亚像素分析需要搞懂感光到数字图像像素的过程，在已知形状（如圆形）可以进行亚像素分析。
2. 传感器综述
3. 传感器可分为主动式和被动式。主动式需要自己发射信号，然后通过接收信号测量，那么安装多个同类传感器、多机器人或一个传感器有多个发射器会出现相互干扰的情况。激光雷达、超声波、激光和红外属于主动式。被动式不会出现相互干扰的情况，相机、IMU、odometry属于被动式。
4. 传感器比较重要的是测量范围、精度、内参、测量速度、测量之间的间隔、适用环境。不同传感器之间存在测量频率和时间戳之间匹配的问题。
5. 移动会使相机（特别是卷帘快门）和激光雷达的每帧数据发生畸变（distortion），因为一帧数据由很多点组成，速度不够快，传感器一直在移动。帧率和速度差越大，畸变越大。
6. 使用激光、超声波等传感器时打印出数据用图画出来，选择合适的算法滤波，测试数据主要，如霄卓测试超声波数据波动大（由误差大造成），激光数据好很多
7. 环境退化（environmental degradation）会使传感器测量出错或跟踪失败，因为环境中没有包含充分信息了。
8. 快速运动会导致数据稀疏，即信息不够
9. 厂商：

* RGB-D摄像头：国外：微软Kinect系列、Intel realsense系列、苹果、英飞凌、TI等为代表的消费级RGB-D；orbbec、pico、human+、爱观、图漾、艾芯智能、知微传感等；英特尔的RealSense、华硕的Xtion

1. IMU被认为在所有时刻都能稳定工作，相机对突然光照变化敏感，影响的是照片质量，另外在光线过暗环境不能工作，在低纹理、剧烈运动（造成图像模糊）容易跟踪丢失。Laser在无结构（空旷）环境（指laser测量距离内）不工作。
2. 相机

[1]计算机视觉life- 2019.11.23-24立体视觉（立体视觉论述，标定calibration，校正rectify，匹配correspond or matching）；主要论述双目相机

[2]视觉SLAM十四讲

1. 各相机模型(针孔+鱼眼)：Lens Projections中四个链接。

<https://blog.csdn.net/u011178262/article/details/86656153>

1. 对于单目相机而言，空间的3D点的成像过程可以表达为空间点P(物点)与光心O的连线在成像面上的投影p(像点)，机器视觉中的所有问题都是关于P,O,p三点的共线问题：已知p和O求P可以看成是重建；已知P和p求O可以看成是标定。已知P和O求p可以看成是投影。常见5种模型：透射映射(Perspective)、等距映射(Equidistant)、等立体角投影(Equisolid angle)较常用、正交投影(Orthographic)、球极投影(Stereographic)

<http://blog.sciencenet.cn/blog-465130-1052526.html>

1. wide-angle（广角）, fisheye（鱼眼） and omnidirectional（全向） cameras
2. 鱼眼相机模型

<https://blog.csdn.net/u010128736/article/details/52864024>

1. 相机帧率30HZ左右
2. 相机不工作的情况：快速运动、光线巨变、光线过暗、低纹理
3. 相机的针孔模型和畸变模型能够将外部的三维点投影到相机的成像平面，这两个模型的参数称为内参，相机在世界坐标系的位姿称为外参数。注意内外参数的主体是相机。
4. 全局门、鱼眼和全景相机可以从硬件上解决快速运动的问题
5. 校准：即使相同型号相机每个相机在生成时都会因为不同原因造成图像畸变，厂商一般不会自己去畸变，都默认是理想的模型，直接读取图像传感器上的图像。故我们得到图像后需要去畸变。
6. 透镜可以让足够的光线收敛聚焦到投影点上，使得图像生成更加迅速，但代价是引入了畸变。
7. 单目相机
8. 相机成像原理（还需进一步加深理解）：物体的光线透过镜头和滤光装置在感光元件上曝光产生电信号，电信号再通过A/D转换经过DSP处理转换成数字信号，形成数字图像。相机模型小孔成像，[1]镜头的原理是光的折射，一个点的光线通过棱镜（lens，镜头）折射到一点，可近似为小孔（pinhole）模型。

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1597414751464421535&wfr=spider&for=pc>

1. 感光元件主要有CCD(电荷耦合)、CMOS（互补金属氧化物半导体）。相当于以前胶片的作用。由两种感光元件的工作原理可以看出，CCD的优势在于成像质量好，但是由于制造工艺复杂，只有少数的厂商能够掌握，所以导致制造成本居高不下，特别是大型CCD，价格非常高昂。同时，这几年来，CCD从30万像素开始，一直发展到600万，像素的提高已经到了一个极限。在相同分辨率下，CMOS价格比CCD便宜，但是CMOS器件产生的图像质量相比CCD来说要低一些。市面上绝大多数的消费级别以及高端数码相机都使用CCD作为感应器；CMOS感应器则作为低端产品应用于一些摄像头上。是否具有CCD变成了人们判断数码相机档次的标准之一。

https://baike.baidu.com/item/感光元件/5888314?fr=aladdin

1. ISO感光度是CCD/CMOS（或胶卷）对光线的敏感程度。如果用ISO100的胶卷，相机2秒可以正确曝光的话，同样光线条件下用ISO200的胶卷只需要1秒即可。ISO越大，所需曝光量越小。高ISO虽然速度快但图像颗粒粗，经不起精细放大出图。所以风光摄影要用相机的最低感光度才可得到精细的画面。
2. 光圈（焦距/口径大小，值越小光圈越大，光圈大理解为光圈值小，焦距越大，单位时间进光越少，口径越大，单位时间进光越多）和快门（一般为时间的倒数）共同控制曝光量，曝光量=快门\*光圈（光圈值倒数）。曝光量越大，整张照片变量，曝光不足，整张图片偏暗（整张图片的曝光条件是一样的）。光圈越大，曝光量越大，景深（清晰部分距离）越短。快门速度越快，曝光量越小，适合拍快速运动的物体。
3. 自动测光：相机可以通过自动测光通过取平均值自动决定曝光量。日常拍照时一般控制其中一个值，然后根据这个曝光量，另一个值自动调。手机上选中某点后，手机会认为该点是正常的自动测光，如果该点是亮点，那整体曝光量会减小，其他部分会变暗。
4. 曝光补偿：白加黑减。因为自动测光会有偏差，目的是将所有物体都拍成不太亮的，白色的话，自动曝光量会偏小，所以要增大曝光量。

<https://blog.csdn.net/z_h_s/article/details/50813015>

<https://zhidao.baidu.com/question/878617723879759972.html>

1. 卷帘快门(Rollingshutter)与全局快门(global shutter)的区别：前者是逐行曝光（一行一行，不是一个像素逐行扫描），曝光一行输出一行，一般用CMOS，适合大于0.5ms（小于2000帧）的应用；后者是整体曝光，一般用CCD，适合小于0.5ms的应用。卷帘门也会造成一帧图像不是严格刚体的情况。

<https://blog.csdn.net/abcwoabcwo/article/details/93099982>

<https://blog.csdn.net/ZahirGong/article/details/78844829>

1. 模糊产生的原因：卷帘快门，延迟造成各行有移动；物体运动太快，快门慢（帧率小）时，单个像素点在曝光时间内会有很多物体点移动，而感光元件是取积分的结果。

计算机视觉life-3.27公开课视频（论文REAL-TIME INDOOR SCENE RECONSTRUCTION WITH RGBD AND INERTIA INPUT）提到了使用RGD和IMU去模糊的方法。

1. camera matrix P=intrinsic parameter K\*extrinsic parameter [R|T]
2. 相机标定方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 标定方法 | 优点 | 缺点 | 常用方法 |
| 传统相机标定法 | 可使用于任意的  相机模型、精度  高 | 需要标定物、算法复杂 | Tsai两步法  张氏标定法 |
| 主动视觉相机标定法 | 不需要标定物、算法简单、鲁棒性高 | 成本高、设备  昂贵 | 主动系统控制相机做特定运动 |
| 相机自标定法 | 灵活性强、可在  线标定 | 精度低、鲁棒  性差 | 分层逐步标定  基于Kruppa方程 |

1. image plane以相机中心为原点，是物理连续的成像平面；pixel coordinate像素坐标系以左上角为原点，就是我们平时看到的图像，将物理平面离散成n\*m像素。具体见[1]、[2]P85
2. 极线约束可以加快搜索过程，将2D搜索范围降到1D,需要知道两个相机中心的世界坐标和一个像素坐标。[2]p141。
3. 跟踪失败的原因：动态环境；纹理，低纹理不好提取特征点,以及重复出现的纹理；模糊，可能由速度快造成；闭塞（occlusion）特征点只在一副图中被检测出来，不能repeated；光照变化，如室内和室外光照变化，从早到晚光照变化
4. 1
5. 双目相机

[1]参考计算机视觉life- 2019.11.23-24立体视觉（立体视觉论述，标定calibration，校正rectify，匹配correspond or matching）

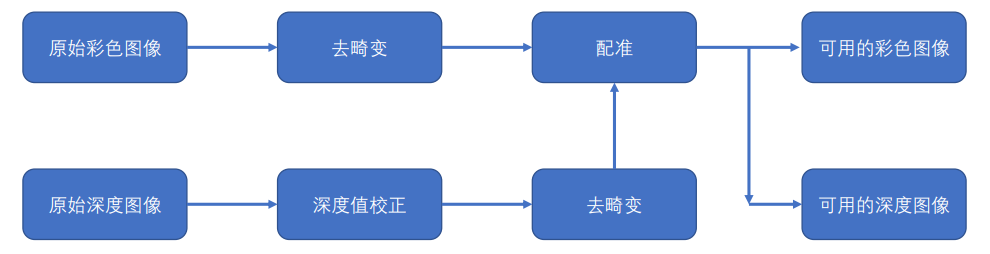
1. Calibration->rectification->correspondence->triangulation
2. 双目标定=单目标定+计算两个相机的旋转和平移（一般两个相机在同一高度，但为了共同视场更大会互成角度）。
3. Calibration：Intrinsic parameters of the two cameras(focal length,

image center（工艺原因，相机中心和成像中心会有偏离，也就是最后图像的中心未必是相机中心点）, parameters of lenses distortion（畸变，一是透镜自身的形状对光线传播的影响；二是在机械组装过程中，透镜和成像平面不可能完全平行，这也会使得光线穿过透镜投影到成像面时的位置发生变化。）, etc)。Extrinsic parameters (R and T that aligns the two cameras)

1. Stereo Rectification：turns the stereo pair in standard form。将互成角度的情况，转换中双目相机两相机平行的标准情况。互成角度能拍到更多信息。
2. 匹配为了获得视差。匹配方法有基于像素的匹配和基于像素区域的匹配。
3. 深度相机

[1] 计算机视觉life- 2019.12.08-深度-RGB-D相机简介

[2]计算机视觉life-2019.12.07-刘国庆\_Kinect2相机的标定与配准

1. 标定、深度校正、配准：[2]
2. 标定：标定彩色相机和红外相机畸变参数和相机内参，两个相机相对位姿
3. 深度校正：校正红外相机的深度值
4. 配准：将彩色相机像素与红外相机配准，得到每个像素点的深度值。
5. 纽带：彩色相机与红外相机观测到的是世界坐标系下的同一个点
6. Libfreenect2配准存在的问题：彩色图像存在残缺，给基于特征的视觉SLAM带来不利影响
7. 彩色相机内参： 𝑓𝑥𝑟𝑔𝑏, 𝑓𝑦𝑟𝑔𝑏, 𝑐𝑥𝑟𝑔𝑏, 𝑐𝑦𝑟𝑔𝑏

彩色相机径向畸变参数： 𝑘1𝑟𝑔𝑏, 𝑘2𝑟𝑔𝑏, 𝑘3𝑟𝑔𝑏

彩色相机切向畸变参数： 𝑝1𝑟𝑔𝑏, 𝑝2𝑟𝑔𝑏

红外/深度相机内参： 𝑓𝑥𝑖𝑟, 𝑓𝑦𝑖𝑟, 𝑐𝑥𝑖𝑟, 𝑐𝑦𝑖𝑟

红外/深度相机径向畸变参数： 𝑘1𝑖𝑟, 𝑘2𝑖𝑟, 𝑘3𝑖𝑟

红外/深度相机切向畸变参数： 𝑝1𝑖𝑟, 𝑝2𝑖𝑟

彩色相机和红外相机之间的位姿变换： 𝑹𝑟𝑔𝑏2𝑖𝑟, 𝒕𝑟𝑔𝑏2𝑖𝑟

深度图像中深度值校准： 𝑑𝑠ℎ𝑖𝑓𝑡𝑒𝑑 = 𝛼𝑑 + 𝛽

1. 物件抓取可以用奥比中光、kinect for azure，可以用点云做，用传统的ppf算法，奥比中光深度相机拍零件的空洞（空洞一般是物体表面反光和透明导致的，相机打出去的光看不到，返回的深度值就变成了0）比较大，要换用结构光相机，TI有一款DLP，可以投射光，还提供了一些sdk，接上相机就可以跑一些demo
2. 参考链接：深度相机哪家强？ - 明月清风看世界 - 博客园 <https://www.cnblogs.com/dingyoushuang/p/7281811.html>

主动投射结构光和被动双目视觉都是通过特征匹配三角化测得深度。主动投射结构光测量距离越远，散斑越大，精度越低，从而不适合远距离。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 性能指标 | 主动投射结构光 | 被动双目视觉 | ToF |
| 测量范围 | 0.1m-10m | 中距 | 0.1m-100m |
| 精度 | 短工作范围内能够达到高精度0.01mm-1mm | 短工作范围内能够达到高精度0.01mm-1cm | 典型精度1cm（不随距离变化） |
| 软件复杂度 | 中 | 非常高 | 低 |
| 帧率 | 较低，几十HZ | 低到中<百HZ | 可以做到非常高 |
| 户外工作情况 | 影响较大，功率小低时基本无法工作 | 无影响 | 有影响但较低，功率小的时候影响较大 |
| 黑暗环境能否工作 | 可以 | 不可以 | 可以 |
| 价格 | 随精度价格不同：  1mm级千元量级  0.1mm级万元量级  0.01mm级几十万量级 | 非常便宜，千元量级 | 依测量范围、帧率不同，几千-几百万 |
| 典型应用场景 | 1. 近距体感识别，VR,AR; 2. 近距物体识别，姿态检测，测量等 | 尚不明确 | 1. 近距体感识别，VR,AR; 2. 近距物体识别，姿态检测，测量等 3. 远距物体识别，姿态检测，测量等 |

1. 激光雷达
2. 按维度可分为2D和3D雷达。按结构可分为机械式雷达、混合固态激光雷达和固态激光雷达。机械式激光雷达在工作时发射系统和接收系统会一直360度地旋转，而混合固态激光雷达工作时，单从外观上是看不到旋转的，巧妙之处是将机械旋转部件做得更加小巧并深深地隐藏在外壳之中。业内普遍认为，混合固态激光雷达指用半导体“微动”器件（如MEMS扫描镜）来代替宏观机械式扫描器，在微观尺度上实现雷达发射端的激光扫描方式。固态激光雷达有OPA（optical phased array，光学相控阵技术）与Flash固态激光雷达。相对于MEMS，OPA的电子化更加彻底，它完全取消了机械结构，通过调节发射阵列中每个发射单元的相位差来改变激光的出射角度。Flash原本的意思为快闪。而Flash激光雷达的原理也是快闪，不像MEMS或OPA的方案会去进行扫描，而是短时间直接发射出一大片覆盖探测区域的激光，再以高度灵敏的接收器，来完成对环境周围图像的绘制。

相比于机械激光雷达，MEMS激光雷达体积更小，价格更低廉，更适合大规模应用；同时相比于OPA和Flash，MEMS在技术上更容易实现。因此，MEMS被各大主机厂商一致看好，近些年入局MEMS激光雷达研究的企业很多。

业内人士认为，未来，中远距离激光雷达将是MEMS固态的天下。

<http://www.360doc.com/content/19/1226/20/51698133_882394469.shtml>

1. 帧率5HZ左右
2. 因为帧率较小，每个scan不能看成严格的刚体，会有畸变，即scan的过程中机体已经移动了一段距离，可以用里程计来补偿吗？
3. 不工作情况：结构的物体太少（空旷地）
4. 跟踪失败的原因：无结构（structure‐less）的地方，如空旷的地方；
5. scan matching时避免：我们避免选择相邻点已经被选择的点，闭塞区域边界上的点；避免选择局部表面接近平行于激光束的点。因为这些点可能包含很大的噪音，或者随着传感器的移动而改变位置。找对应点时是从角点开始找吗？还是已知地图时，重合的点越多越好？
6. IMU

参考：百度云盘SLAM资料曾书格IMU+动态消除，mpu6050（探索者）-姿态解算说明（Mini AHRS）

1. IMU可靠性高，很少因为环境问题出故障
2. IMU更新频率200-1000HZ,
3. IMU在两帧图像30ms内的增量认为是可靠的，多长时间漂的比较厉害呢？
4. 低成本IMU通过各种算法精度可以达到0.1°左右。
5. VIO的优点：
6. 纯单目视觉不能观察尺度，但单目相机和IMU的结合可以观察尺度，横滚角和俯仰角。
7. IMU测量值的积分可以弥补相机在光线变化、低纹理和运动模糊场景丢失的跟踪表现
8. IMU误差来源：

* 陀螺仪动态响应特性良好，但是会产生累计误差，其中累计误差主要为低频误差。。Rc为真实值，R为测量值，uL为低频噪声
* 加速度计没有累计误差，但是容易受到振动误差干扰，其中振动误差主要为高频误差。。

1. IMU的互补滤波：

陀螺仪 \* 高通滤波器

加速度计 \* 低通滤波器

输出 = 陀螺仪\* 高通滤波器 + 加速度计 \* 低通滤波器

1. 重力向量在机体静止时可以用于测量roll和pitch
2. IMU常见模型(VINS，在IMU坐标系下):分别为从IMU直接读取的raw数据（是在imu坐标系下的读数，要转换到其他坐标系需要在imu坐标系计算完后转换比较好），用时要减去偏差，也就是IMU静止时的读数。将世界坐标系重力向量转换到imu坐标系。分别认为是加速度和角速度的噪声。噪声一般是随机的，一般认为是高斯噪声，偏差一般是常数，但这里认为它是按高斯噪声变化的，噪声为服从高斯分布，且导数分别为。
3. 水平放置mpu6050时，输出（0，0，1g）
4. 1
5. odometry
6. IMU可靠性高，很少因为环境问题出故障
7. 1
8. 超声波
9. 霄卓测试：超声波测距精度1.5cm；有发散角，可通过加挡板的方法减小发散角，四面都加会造成信号过强；超声波盲区8mm。
10. 激光
11. 霄卓测试：激光测距精度2mm，但与光强关系较大，只在一定光强范围测得距离是准确的。测量玻璃距离时可能会偏小（实际2m，测得0.525m）；玻璃后有障碍物会测到障碍物距离；从障碍物到玻璃会出现测不到数据的情况；激光测到边缘时，测量值不会突变，会缓慢变化，5、6次左右。
12. 红外
13. 易受光照影响
14. 1