**论文中文题目：**

室内移动机器人精确跟踪定位技术研究

**论文英文题目：**

Research on Accurate Tracking Technology of Indoor Mobile Robot

**中文关键词：**

跟踪,移动机器人,室内,标记,位姿估计

**英文关键词：**

Tracking,Mobile robot,Indoor,Tag,Pose estimation

**摘要：**

目标跟踪技术是一项估计物体在场景中运动状态的技术，该技术在计算机视觉领域中应用广泛，尤其是结合移动机器人进行的位姿估计研究，是当今计算机视觉领域中的一大热点。室内移动机器人是一种应用于室内环境下，具有自行组织、自主运行、自主规划等鲜明特点的智能机器人。对室内移动机器人进行准确的定位和跟踪，可以对计算机视觉算法进行低成本高精度的评估。

本文设计与实现了一种基于多相机的室内移动机器人跟踪定位系统，该系统的核心是3D-2D位姿估计算法epnp，采用了多个全局快门的工业相机。该系统共分为三个模块，相机外参的标定模块，机器人位姿估计模块，跟踪结果可视化模块。相机外参的标定模块使用epnp算法对固定位置的相机进行外参数标定，得到精度较高的相机位姿；机器人位姿估计模块中各个相机通过核相关滤波(kcf)跟踪算法对视野中的移动机器人进行跟踪，接着对跟踪区域中的特征点进行高精度的检测，并借助标记(Tag)再次使用epnp算法估计机器人的位姿；跟踪结果可视化模块对位姿估计的结果进行可视化。此外为了进一步提高位姿估计的精度，本文设计了优化相机外参标定精度和特征点检测精度的方法。

本文设计的室内移动机器人跟踪系统具有一定的稳定性，使用多个工业相机降低了实现成本，同时对机器人的定位和跟踪有一定的精度，具有较高的应用价值。

**选题意义：**

目标跟踪技术在计算机视觉领域中的应用更多的是根据跟踪结果制作轨迹数据集，使用数据集去衡量评估一些视觉算法例如slam算法的精度。目前为了控制精度和成本，工业中大多使用单个相机并使镜头平行地面安装进行数据集的采集，这样做使得跟踪的范围非常有限，只能在一个非常小的场景中对机器人进行跟踪，而且相机的安装角度特殊使得采集的图片过于单一，无法适用于相机随意安装的场合。针对以上问题提出可以扩大至室内场景且对相机安装角度没有特殊要求的多相机跟踪系统，在成本与精度之间找到较好的平衡点，可以在工业中以更好的泛用性、可控制的精度以及成本被应用。

**国内外研究现状：**

目标跟踪是计算机视觉领域的一个重要问题，在运动分析、视频压缩、行为识别、视频监控、智能交通和机器人导航等很多研究方向上都有着广泛的应用。近几年来目标跟踪主要分为两部分：基于相关滤波的目标跟踪以及基于深度学习的目标跟踪。在相关滤波目标跟踪算法出现之前，大部分目标跟踪算法采用了粒子滤波框架来进行目标跟踪，相关滤波用于目标跟踪最早在MOSSE算法中提出，发展至今，很多基于相关滤波的改进工作在目标跟踪领域已经取得了很多可喜的成果，KCF算法也是其中的一员。基于深度学习的目标跟踪算法又分为基于判别模型的算法和基于生成模型的算法，前者的出发点是训练分类器来区分前景和背景，后者主要通过神经网络来学习模板与候选样本之间的相似程度，因其速度较慢，GOTURN算法和YCNN算法对其进行了提速。近几年目标跟踪的新发展主要有强化学习，速度有效改进以及传统跟踪算法的网络化。

视觉定位问题是近些年来计算机视觉领域的研究热点，同时非常具有挑战性，其在机器人视觉导航、公共场景监控、增强现实、交互虚拟现实、智能交通等诸多领域都具有十分重要的意义。目前的视觉定位方法主要分为两大类：基于特征的视觉定位和基于学习的视觉定位。前者主要有特征检测、匹配定位等过程，著名的SIFT用于特征检测，ePnP算法用于匹配定位。现在对基于特征的视觉定位算法的主要应用有高效的优先匹配、移动设备的实时定位、大场景定位和整合机器学习等。

参考文献：

[1] 卢湖川.目标跟踪算法综述. 山东：大连理工大学.2017.6

[2] Henriques J F, Rui C, Martins P, et al. High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters. TPAMI, 2014, 37(3):583-596.

[3] Henriques J F, Rui C, Martins P, et al. Exploiting the Circulant Structure of Tracking-by-Detection with Kernels, In Proc. of the ECCV,2012:702-715.

[4] J. Redmon, S. K. Divvala, R. B. Girshick, A. Farhadi, You only look once: Unified, real- time object detection, In Proc. of the CVPR, 2016:779–788.

[5] S. Yun, J. Choi, Y. Yoo, K. Yun, J. Y. Choi, Action-decision networks for visual tracking with deep reinforcement learning, In Proc. of the CVPR, 2017.

[6] David G.Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints.International Journal of Computer Vision, vol.60, no.2, pp. 91-110, 2004.

[7] V.Lepetit, F.Moreno-Noguer, and P.Fua. EPnP: An Accurate O(n)Solution to the PnP Problem.International Journal of Computer Vision, vol.81, no.2,pp. 155-166, 2009

**研究目标：**

具体研究目标如下：

1、采用合适的棋盘格标定板，实现对参与跟踪相机的高精度内参标定；

2、基于工业相机的标准sdk，实现工业相机采集图片并转换到opencv的图片格式；

3、采用合适大小的tag标记物，实现对参与跟踪相机的外参进行高精度标定；

4、实现多相机协同工作进行跟踪的工作模式，设置静态和动态两种方式；

5、实现对机器人结果位姿的精度优化；

6、实现效果较好的可视化方案对运动轨迹进行展示。

**研究内容：**

基于上述研究目标，本文的研究内容如下：

1、多相机机器人跟踪系统主要分为相机内外参标定、多相机协同运作、tag精准检测、结果位姿优化和结果可视化这几个部分。其中相机内外参标定属于前期的准备工作，多相机协同运作依赖于系统逻辑的组织，tag精准检测和结果位姿优化则是与算法息息相关，结果可视化要求结果轨迹的展示明确易懂；

2、相机的内外参标定在这个系统中显得尤为重要，提高内参与外参的精度是整个系统提高精度的一个大前提。在这一部分先进行各个相机的内参标定，然后固定好各个相机的位置，进行外参标定，最后将这些参数保存在参数文件中；

3、多相机协同运作部分是整个跟踪系统的主逻辑部分，这部分主要有采集图片、目标检测、位姿计算和结果保存四块，有动态和静态两种方式可以选择。通过设计合理的结构体来表示各个相机在运行时的特征，加入多线程的机制使多个相机并发地运作；

4、tag精准检测和结果位姿优化的主要目的是在系统内部提高整个系统的精度。精准检测tag需要对apriltag的检测部分进行一些算法改进，使其在对tag较小的情况下也能有较好的检测精度。优化结果位姿一方面是去除异常数值，另一方面是结合这些基本数据通过优化算法得到更加准确的位姿；

5、结果可视化部分为了满足明确、易懂的要求，需要寻找比较合理的可视化库，并在可视化的过程中调整好长度的比例关系，使其呈现的结果轨迹贴合现实。

**拟解决的关键问题：**

根据上述研究目标与研究内容，归纳出本文拟解决的关键问题如下：

1、获得高精度的相机内参和相机外参：采用鱼眼镜头进行图象采集时，虽然拍摄范围变大，但是其畸变也是不容小看的，足够精确的相机内参除了在焦距fx、fy上体现，还要考虑畸变参数。相机外参通过pnp算法可以获得，而pnp算法的输入中就包含了相机内参矩阵以及相机的畸变参数，另外2D-3D点对的精准度也要确保，所以还需要面积较大的tag作2D点位置检测；

2、对tag可以进行精准的检测：对于在图中正常尺寸的tag，要确保检测出来的tag四角像素坐标足够准确；对于在图中尺寸过小的tag，要确保能够检测到并能够确定下tag四角的大致位置。如何修改检测算法以达到上述效果是重点；

3、对结果位姿的优化：在多相机协同运行的情况下，一帧中往往会有多个位姿结果，如何利用这些基础数据计算出更接近实际的位姿是研究过程中的一个难点。需要加入一些视觉后端优化的方法。

**拟采取的研究方法、技术路线、实验方案及可行性研究：**

根据列出的研究目标以及相关的研究内容，针对拟解决的关键问题，采取的研究方法、技术路线、实验方案具体如下：

1. 对各个相机内参（包括畸变参数）的获取：采用稳定可控的张正友标定法进行相机内参的获取，为了能够通过选择图片质量来提高内参标定的精确度，舍弃ros中封装的实时张正友标定，采用opencv中封装的静态张正友标定。将得到的相机内参保存在yaml文件中，在主流程中加入读取yaml格式文件的逻辑以获得保存的相机内参。
2. 对各个相机位姿即相机外参的计算：采用无论是速度还是精确度都比P3P好的ePnP算法实现各个相机的外参计算，固定好相机位置并保证整个流程中位置不变是外参标定的大前提，ePnP接收相机内参和2D-3D点对（至少四对），输出相机的外参。
3. 合适标记物的选择和使用：采用比较成熟的apriltag作为跟踪标记物，移动机器人的形态不一，特征也是各不相同，使用apriltag粘贴在机器人表面，可以达到将移动机器人多样的特征统一成apriltag的特征，不仅降低了跟踪定位的难度，还提高了跟踪定位的稳定性。Apriltag有一套自主设计的API，适用于不同家族簇apriltag的检测和结果获取。
4. 稳定跟踪方法的选择：基于视觉定位先跟踪后定位的原则，采用kcf算法作为一个稳定快速的跟踪方法，kcf基于相关滤波，根据当前帧的信息和之前帧的信息训练出一个相关滤波器，然后与新输入的帧进行相关性计算，得到置信图作为预测的跟踪结果，得分最高的那个点（或者块）就是最可能的跟踪结果。Kcf接收图像中一个矩形的区域作为基本信息，在每一帧输出当前跟踪的矩形区域。
5. 合理的机器人位姿计算方法：设定好世界坐标系并基于这个世界坐标系计算好各个相机的外参是计算机器人位姿的大前提，通过机器人表面粘贴的apriltag设定一个物体坐标系，测量得到3D点信息，通过相机中图象对tag的检测得到2D点信息，使用ePnP算法得到相机在物体坐标系下的位姿，而物体坐标系可以通过相机坐标系与世界坐标系相互转换，最终得到机器人在世界坐标系下的实际坐标，实现定位。
6. 多相机协作的合理实现：采用boost库的线程池实现多个相机的协作，设定线程池中线程数与参与跟踪相机数相同，舍弃了通过循环运行各个相机的任务，设置每一个相机在初始化、运行时的任务后加入线程池的任务队列，实现多线程地完成任务。在这个环节中需要注意各个线程之间的互斥锁和条件变量，在后期的代码review和debug中要特别留意。
7. 优化apriltag的检测算法，实现自适应精度的检测，需要阅读apriltag的论文以及实现源码，掌握其检测的根本原理，和导师多沟通、交流，确定下优化的方法后去实现验证。

由于跟踪定位算法在前人的多次试验和改进下已经趋于成熟和稳定，检测算法在正常环境下也可以达到高鲁棒性，在可行性方面不存在问题。

**研究计划及预期取得的研究成果：**

根据目前进展以及相关计划，设定毕设学位论文计划进展如下：

1、调研准备阶段：2019.3-2019.5 完成这个课题的调研计划，确定下课题中使用的具体方法和可以创新的部分，分析其可行性，熟练对C++的掌握，学习相关的算法基础知识；

2、文档编写阶段：2019.5-2019.6 结合搜集到的资料以及调研的方法，完成该课题初期文档的编写，梳理整个实现思路，总结其中可能遇到的难点；

3、初期编码阶段：2019.6-2019.7 实现单个相机的机器人定位功能，进行环境多样化的测试，同时进行短期的debug，将单个相机的逻辑整理完整后，完善文档，为下一步做准备；

4、后期编码阶段：2019.7-2019.9 实现多个相机协作的机器人定位功能，进行环境多样化的测试，进行短期的debug，将多个相机协作的逻辑整理完善后，完善文档；

5、算法优化阶段：2019.9-2019.12 实现整个系统算法部分的优化，以提高精度为目的，作为主要创新点记录；

6、系统测试阶段：2019.12-2020.2 完成整个系统的测试，包括逻辑测试、精度测试、性能测试。

**已具备的实验条件和研究工作积累：**

已具备的实验条件：

1、两个全局快门的工业相机，接口分别是usb2.0和usb3.0，配置了鱼眼镜头，可以正常采集图片；

2、两个三脚架，一个最高高度157cm，一个最高高度154cm，用作固定工业相机；

3、若干apriltag样本以及一个可编程驱动的机器人，用作跟踪测试；

4、一块相机标定板，用作内参标定。

研究工作积累如下：

1. 由于先前参加过大型的C项目开发，在C/C++代码编写方面比较熟练，另外了解过一些STL的相关知识，在本文研究中可以加以运用以加快研究效率；
2. 对坐标系转换的相关知识有一定的了解，能够通过推导公式得到想要的转换关系；
3. 了解过计算机视觉中各种求解位姿的方法，可以根据实际的研究环境和要求选择合适的位姿求解方法，这里指2D-3D的epnp方法；
4. 先前研究过计算机视觉的相关论文，积累了一些视觉相关的基础知识，且在论文解读方面得到了锻炼，在研究检测算法优化时可以用得上。
5. 导师在计算机视觉方面可以对算法改进提出意见，在实现代码架构方面也能提供很大的帮助，此外还有有工作经验的协助者提供计算机视觉方面的宝贵建议。

**已取得的科研成果：**

到目前为止，已取得如下科研成果：

1、调研阶段基本完成，选定kcf作跟踪算法，apriltag作目标检测，epnp作位姿估计，viz作可视化库，创新点主要在于对tag检测的优化以及结果位姿的精度优化；

2、文档编写框架基本成型，主要实现逻辑已经完成，接下来的工作是进行编码和算法优化。