
第十五届中国研究生电子设计竞赛

技术论文

论文题目：

基于摄像机的双目测距系统

Camera-based binocular ranging system

参赛单位：西南交通大学

队伍名称：和尚洗头用清扬

指导老师：蒋朝根

参赛队员：付唐帅 曾礼虎

完成时间：2020年7月

目录

第一章 作品难点与创新	1
1.1 作品难点	1
1.2 创新点	1
第二章 设计原理与系统参数	3
2.1 设计原理	3
2.2 方案可行性论证	4
2.3 相机标定系统参数	4
2.4 系统硬件参数	6
第三章 主要算法介绍	7
3.1 GMS	7
3.2 目标跟踪KCF算法	8
3.3 回归方程的确定	9
第四章 算法流程与软件系统	11
4.1 算法流程	11
4.1.1 静态测量流程	11
4.1.2 静态测量算法流程	12
4.1.3 动态测量流程	12
4.1.4 动态测量算法流程	13
4.2 软件系统介绍	14
4.2.1 主界面介绍	14
4.2.2 测量界面介绍	14
4.2.3 查询界面	15
4.2.4 版本界面	16

第五章 系统测试与误差分析.....	17
5.1 测量精度测试.....	17
5.2 系统鲁棒性测试.....	18
5.3 误差分析.....	19
第6章 总结.....	20
参考文献.....	22

摘 要

双目测距原理实际上是通过计算左右视图的视差值，运用相似三角形定理，得到目标的真实距离。双目测距在机器人避障、图像处理领域等都有着非常重要的研究价值^[1]。

本系统采用工业派（TI AM5708）以及顺华利相机搭建了测量平台，通过张正友标定法确立相机的内外参数，对左右视图进行极线校正后，采用 GMS 算法得到左右视图的特征点匹配结果，进而求得视差图。从而计算得到距离。

依据双目测距原理，视差值与距离之间应该存在反比例函数的关系，但由于两个相机的焦距不可能完全一致。所以，它们应该存在类似于反比例函数的关系。通过这一点，本系统采用事先测量的视差与距离数据，创新性引入回归方程，本系统回归方程为两个三次多项式。采用回归方程计算避免了传统方法采用立体匹配过程中出现的深度图计算不准确、空洞过多和视差值不连续的情况。经过系统测试，可知，当物体距离小于 20cm 时，测量误差极大，不推荐使用；当测量距离在 20cm 到 150cm 时，测量误差基本保持在 2cm 以内；当测量距离在 150cm 到 200cm 时，测量误差保持在 8cm 以内；并且随着误差随着测量距离的增大而增大。此外，本系统对于光照强度变化和拍摄角度变化不敏感，系统精度高和鲁棒性强，并且对于绝大多数物品都具有普适性。

本系统测量模式分为静态测量和动态测量模式，其中动态测量模式又可分为用户自主选择目标测量和系统自定义目标测量，系统还设置有历史查询界面，用户可任意查询以往的测量结果，以求在最大限度上满足实际测量情景的各种需要。

关键词：GMS 算法、回归方程、普适性、静态测量、动态测量。

Abstract

The principle of binocular distance measurement is actually to obtain the true distance of the target by calculating the parallax value of the left and right views and applying the similar triangle theorem. Binocular distance measurement has very important research value in the field of robot obstacle avoidance and image processing.

This system uses the industrial-pi (TI AM5708) and Shun Huali camera to build a measurement platform. The internal and external parameters of the camera are measured by the Zhang Zhengyou calibration method. After the polar correction of the left and right views, the GMS algorithm is used to obtain the matching points of the left and right views. Then the system calculates the parallax. Finally the distance is calculated.

According to the principle of binocular distance measurement, there should be an inverse proportional function relationship between the parallax value and the distance, but since the focal lengths of the two cameras cannot be exactly the same. Therefore, they should have a relationship similar to the inverse proportional function. The use of regression equation calculation avoids the inaccurate calculation of depth maps, excessive voids and discontinuity of disparity values in the traditional method of stereo matching. After systematic testing, it can be seen that when the object distance is less than 20cm, the measurement error is extremely large and is not recommended; when the measurement distance is 20cm to 150cm, the measurement error is basically kept within 2cm; when the measurement distance is 150cm to 200cm, the measurement error keeps within 10cm; and the error increases with the measurement distance. In addition, the system is insensitive to changes in light intensity and shooting angles, and has high system accuracy and robustness.

The measurement mode of this system is divided into static measurement mode and dynamic measurement mode. The dynamic measurement mode can be divided into user-selected target measurement and system-defined target measurement. The system is also provided with a history query window, and the user can query past measurement results arbitrarily. We reason why we designed the system like this is to meet the various needs of the actual measurement scenario to the maximum.

.Keywords: GMS algorithm, regression equation, Universality, static measurement, dynamic measurement.

第一章 作品难点与创新

1.1 作品难点

双目立体测距技术的关键点在于能够通过像机成像原理利用拍摄到的二维图像去获取三维世界中目标物的位置信息。双目立体测距技术通过两部规格完全相同的像机拍摄同一场景下的物体获取图像对，通过一系列图像处理后对左右图像对之间的像素点进行对应匹配，通过视差原理计算出物体在现实三维世界中的具体位置^[2]。

双目测距的原理为通过拍摄左右相机的图片，进行立体匹配，从而得到视差图和深度图。这在很大程度上决定了测量距离会不可避免的受到光照、温度、噪声、特征值相似等的影响。从而导致测量系统的鲁棒性较差、且测量精度无法得到有效保证^[3]。

1.2 创新点

本系统提出了一种全新的测量方案，发现左右视图的视差与物体与相机距离之间存在减函数的关系，创新性的引入统计学中的回归方程。通过事先收集距离与视差之间的数据关系，得出视差与距离之间的拟合回归方程。从而规避了传统测距系统中的立体匹配中出现的深度图计算不准确、空洞较多以及视差值不连续的情况，避免了后续计算过程中由于深度信息不准确所造成的测量精度不准确。极大的增强了测量系统的鲁棒性，使得测量几乎不受光照等因素的影响。

在计算视差图的过程中，特征匹配毋庸置疑是最重要的一环。经典的特征匹配算法(SIFT、SURF、ORB 等)存在的问题是鲁棒的算法速度较慢，快速的算法鲁棒性较差。局部特征匹配算法的核心问题在于邻域一致性的运用，稀疏邻域一致性特征又不能很好的定义邻域，因此导致特征匹配算法计算量大。本系统引入了 Grid-based Motion Statistics(GMS)通过网格划分、运动统计特性的方法可以迅速剔除错误匹配，以此来提高匹配的稳定性。GMS 核心思想在于：根据运动平滑性，在正确匹配的特征点附加的正确匹配点对数应该大于错误匹配点的特征点附近的正确匹配点对数。从而在极大的减少了误匹配的情况下，还能够提高匹配速度，相比于传统特征匹配算法具有匹配精度高、运

算速度快的优点。

本系统根据应用场景的不同特定设计了两种工作模式：静态测量模式和动态测量模式。其中，静态测量模式是通过 GUI 点击拍照，对获取到的照片用鼠标进行点击，即可计算出图片中点击坐标相对于相机的距离。动态测量模式是用过事先选取需要追踪的目标（追踪目标也可以事先进行训练指定），在目标运动的过程中，对目标进行实时跟踪测距显示。本系统还设置了 GUI 查询界面，能够随时查询之间检测的物体，为此系统能够顺利应用于机器人避障等更为广泛的应用提供了可能性。

第二章 设计原理与系统参数

2.1 设计原理

理想的双目立体视觉测距模型是假定两摄像头光轴平行，实际测距中只需要知道目标点的 Z 轴坐标即可，故建立 X-Z 轴二维平面模型。左右摄像头光心分别为 O_l 和 O_r ，两摄像头的光轴平行，两摄像头之间的距离(基线距离)为 b ，两摄像头的焦距均为 f ， X_l 和 X_r 分别为目标点 P 在左右摄像头下的成像点，目标点 P 到左右摄像头之间的距离 z 即为所求距离，将线段 $P O_l$ 平移 b (PP' 的距离为 b) 的距离到 $P O_r$ ， $|X_l - X_r|$ 为 P 点在左右摄像头之间的视差值，根据三角形相似原理知三角形 $X_r O_r X_l'$ 与 $P O_r P'$ 相似^[4]，故可得：

$$\frac{d}{b} = \frac{f}{z} \quad (2-1)$$

则所求目标点 P 到两摄像机之间的距离 z ：

$$z = \frac{fb}{d} = \frac{fb}{X_l - X_r} \quad (2-2)$$

上式可以得出：目标点 P 到摄像头之间的距离越大，视差值将越小，从而误差越大。

理想的双目立体视觉测模型如图 2-1 示：

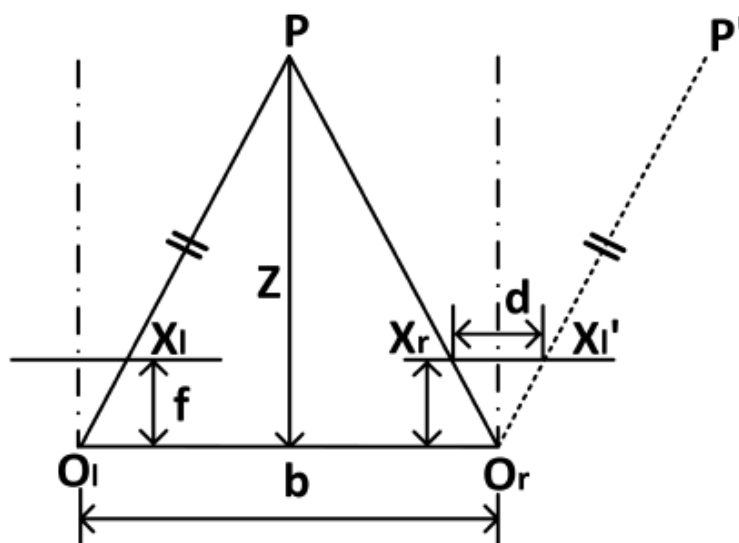


图 2-1 理想的双目立体视觉测模型

2.2 方案可行性论证

由公式 (2-2) 可得：当标定双目相机时，两相机光心之间的距离 b 是一个定值，假设两相机焦距相同，则 f 为定值，则距离 z 与视差值之间表现出反函数的关系。但由于在实际测量中，两相机的焦距 f 不可能完全一致，所以 z 与视差值之间应该是近似于反函数的关系，至少应该呈现出减函数的关系。当我们通过标定固定两相机之间的位置后，通过大量的视差与距离数据，便能得到视差与距离的回归方程，从而使得测距系统实现成为可能。

2.3 相机标定系统参数

相机标定在双目立体视觉系统中扮演着重要角色，后期的矫正、校正与视差计算都需要在标定的基础上才能完成，相机标定的目的是为了确定摄像机的内部几何和光学特性(内部参数)和在以左摄像机为世界坐标系，右摄像机相对左摄像机的摆放位置和角度(外部参数)。相机标定的精度高低将直接影响后期测距精度的效果。

本系统相机标定采用广受好评的张正友标定法，利用 **Matlab** 工具箱和棋盘图确定相机的内参和外参。本系统选择的是单目标定，即标定过程中分别对两个摄像头单独进行标定以获取摄像机的内外参数，分别用左右摄像头采集 10 幅图像进行标定。图 2-2 为左右相机与标定板之间的位置关系图，图 2-3 为左右相机重投影误差分析图：

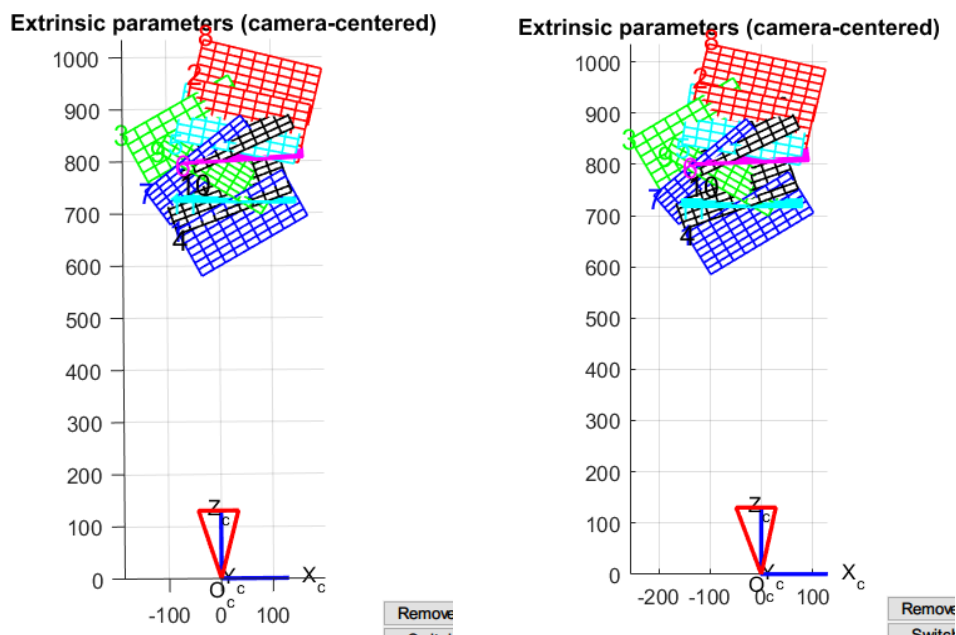


图 2-2 左右相机与标定板之间的位置关系图

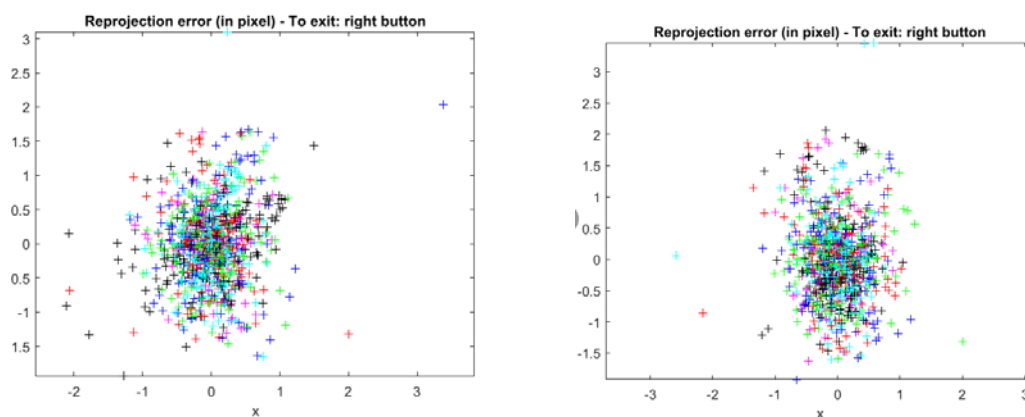


图 2-3 左右相机重投影误差分析图

标定得到的相机内部参数如表 2-1 所示:

表 2-1 相机内部参数表

内部参数	左相机标定结果	右相机标定结果
焦距	(1088.64796, 1085.35630)	(1067.35325, 2069.56808)
主点	(390.23584, 293.77481)	(342.04349, 287.49744)
畸变	(-0.51203, 0.95204, 0.00794, 0.00032, 0.00000)	(-0.44378, 0.10353, 0.01032, 0.00547, 0.00000)

外部参数标定结果为:

$$T = [-50.39218 \quad -3.10803 \quad 0.09825]$$

2.4 系统硬件参数

本系统硬件部分采用工业派与顺华利双目工业相机以及相机支架构成，通过 TI AM5708（工业派）搭建测量系统，顺华利工业相机进行图像收集。图像通过 USB 接口传输给工业派进行计算处理。硬件连接如图 2-4 所示：



图 2-4 硬件连接图

本系统所用相机参数如表 2-2 所示：

表 2-2 相机参数表

产品品牌	清晰度	相机规格	帧数	感光尺寸	滤光片
顺华利	200 万像素	33MM*49MM*49MM	最快 30 帧/s	1/2.7	650nm

第三章 主要算法介绍

3.1 GMS

GMS 是基于网格的快速,稳定的特征匹配算法,该方法将平滑约束融入统计框架中进行分离,并采用基于网格的实现方式进行快速计算。GMS 算法核心如下:首先假设一个点是正确匹配的,那么它的周围一定有多个点在另一幅图像上也处在相邻位置。这个假设的前提是误匹配是随机发生的,两个在一幅图像上相邻的误匹配点,在另一幅图像上可能处在截然不同的位置。GMS 通过将图片分块,多线程进行判断另一幅图像上是否有设定阈值以上的匹配点数。最终得到正确匹配的图像^[5]。

该方法假设只要经常落在同一个物体或结构中的相邻的像素会一起向同一个方向移动,虽然这个假设并不永远适用,但是对大多数情况已经足够。因为特征匹配通常运用在实时应用中,所以运算成本非常重要,通过将图像划分为非重叠的单元,避免了多个单元的对比将时间复杂度由 $O(N^2)$ 降低到 $O(N)$,通过多线程并行处理显著提高了运算速度^[6]。

由图 3-1 可以看出, GMS 即使在单线程并且特征点数最多 50000 的情况下,运算时间也在 2ms 左右,而 GMS-S (使用了比例缩放并重复 GMS 算法五次)和 GMS-R(使用了旋转并重复 GMS 8 次)也只是线性的增加了运算时间。即使是最高的 16ms 运算时间也能够保证一秒能够计算 60 帧以上的画面。而这是在单线程下得出的运算时间, GMS 算法支持多线程,可以更快。

由于本系统对于系统实时性和快速响应性提出了较高要求, GMS 算法因其优越的性能成为了本系统的绝佳选择。

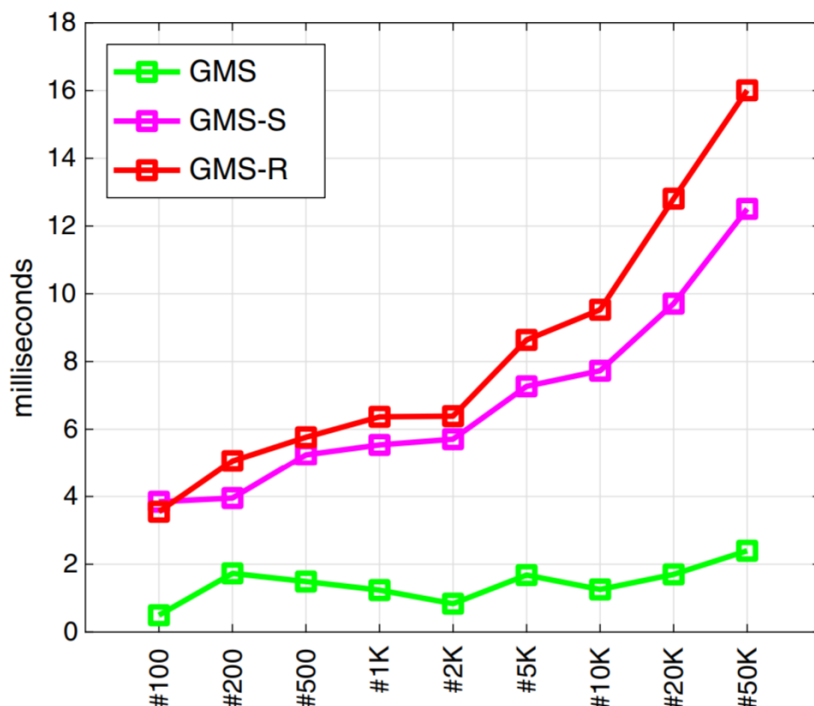


图 3-1 不同参数下 GMS 运算时间

3.2 目标跟踪 KCF 算法

本系统采用的是 KCF 目标跟踪算法，KCF 是一种鉴别式追踪方法，方法是在追踪过程中训练一个目标检测器，使用目标检测器去检测下一帧预测位置是否是目标，然后再使用新检测结果去更新训练集进而更新目标检测器。而在训练目标检测器时一般选取目标区域为正样本，目标的周围区域为负样本，当然越靠近目标的区域为正样本的可能性越大^[7]。

KCF 特点：

- 使用目标周围区域的循环矩阵采集正负样本，利用脊回归训练目标检测器，大大降低了运算量，提高了运算速度，使算法满足实时性要求。
- 将线性空间的脊回归通过核函数映射到非线性空间，在非线性空间通过求解一个对偶问题和某些常见的约束，同样的可以使用循环矩阵傅里叶空间对角化简化计算。
- 给出了一种将多通道数据融入该算法的途径。
- 速度非常快，适合实时应用。

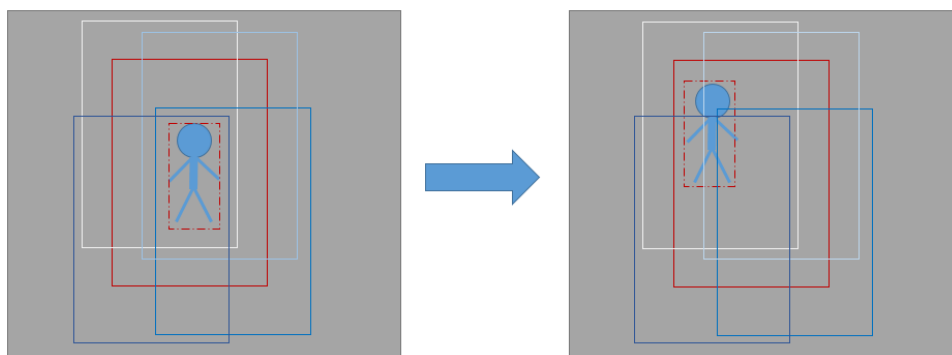


图 3-2 KCF 检测流程

KCF 的过程，左图是刚开始使用红色虚线框框定了目标，然后红色实线框是使用的 padding，其他的框就是将 padding 循环移位之后对齐目标得到的样本，由这些样本就可以训练出一个分类器，当分类器设计好之后，来到了下一帧图像，也就是右图，这时首先在预测区域（红色实线框区域）采样，然后对该采样进行循环移位，得出周围的方框，使用分类器对这些框计算响应，显然这时候白色框响应最大，因为它和之前一帧红色框一样，通过白色框的相对移位就能推测出目标的位移。然后继续再训练再检测^[8]。

当然，KCF 也有几个缺点：依赖循环矩阵，对于多尺度的目标跟踪效果并不理想；初始化矩阵不能自适应改变，难以处理高速运动的目标和低帧率中的目标；这个和上一个缺点类似，都是相邻帧间目标位移过大。

但由于本论文中的双目测距系统测量目标一般不会快速移动和较大形变，且对算法的实时性和快速响应有较高要求。所以 KCF 算法恰恰成为了本系统跟踪算法的不二选择。

3.3 回归方程的确定

如图 3-3 所示，视差值与距离并不表现出绝对的反比例函数关系，但总体表现出减函数关系。本系统根据这一特性进行大量的数据测量，以获得足够多的数据量用于确定视差值与距离之间的回归方程。通过测量可知，在视差值大于 100 时，距离与视差值之间的变化关系比较剧烈；当视差值小于 100 时，距离与视差值之间的变化放缓。于是，本

系统采用分段函数的形式拟合回归两个视差范围之间的方程。

当视差值大于 100 时，距离与视差值之间的趋势图如图 3-3 所示：

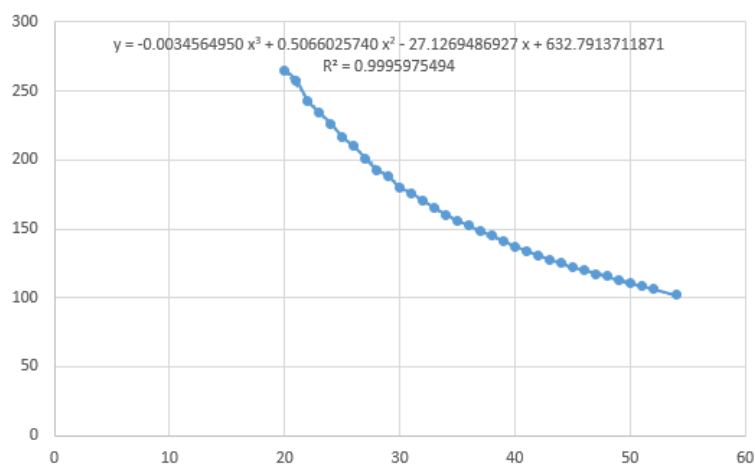


图 3-3 距离与视差值趋势图

由上图可知，在此区间采用三次函数进行拟合， R^2 达到了 99%，拟合效果非常好。

拟合方程为：

$$y = -0.00345649 x^3 + 0.50660257 x^2 - 27.12694869x + 632.79137118 \quad (3-1)$$

当视差值小于 100 时，距离与视差值之间的趋势图如图 3-4 所示：

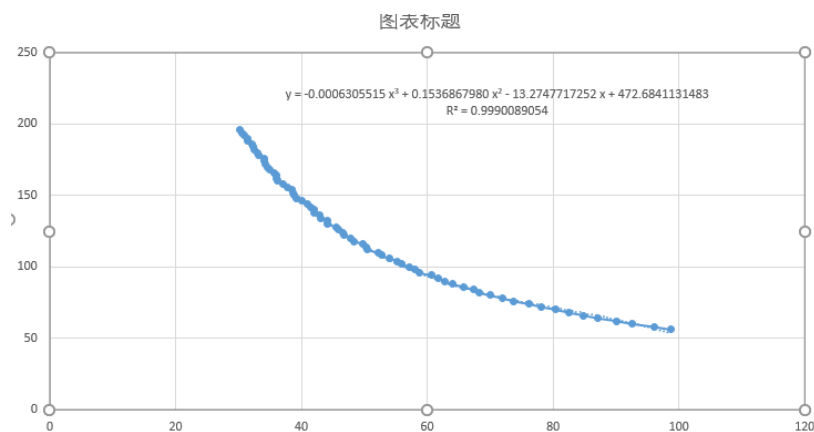


图 3-4 距离与视差值趋势图

由上图可知，在此区间采用三次函数进行拟合， R^2 达到了 99%，拟合效果非常好。

拟合方程为：

$$y = -0.00063055 x^3 + 0.15368679 x^2 - 13.27477172 x + 472.68411314 \quad (3-2)$$

第四章 算法流程与软件系统

4.1 算法流程

4.1.1 静态测量流程

本系统支持静态测量，即拍照测量。系统在该工作模式下，首先通过工业派通过 USB 读取两相机视频帧，通过 GUI 界面打开相机，GUI 界面显示相机图像；在任意时刻点击 Take Picture 按钮，输入保存当前照片的文件夹名字，点击 Save Picture 按钮保存图片，再点击 Compute Distance 按钮，系统将生成用于点击的图片，同时系统显示深度图的伪彩色图。通过点击生成图片中的像素，即可计算出图片中对应像素距离相机的距离。图 4-1 为静态测量 GUI 图：

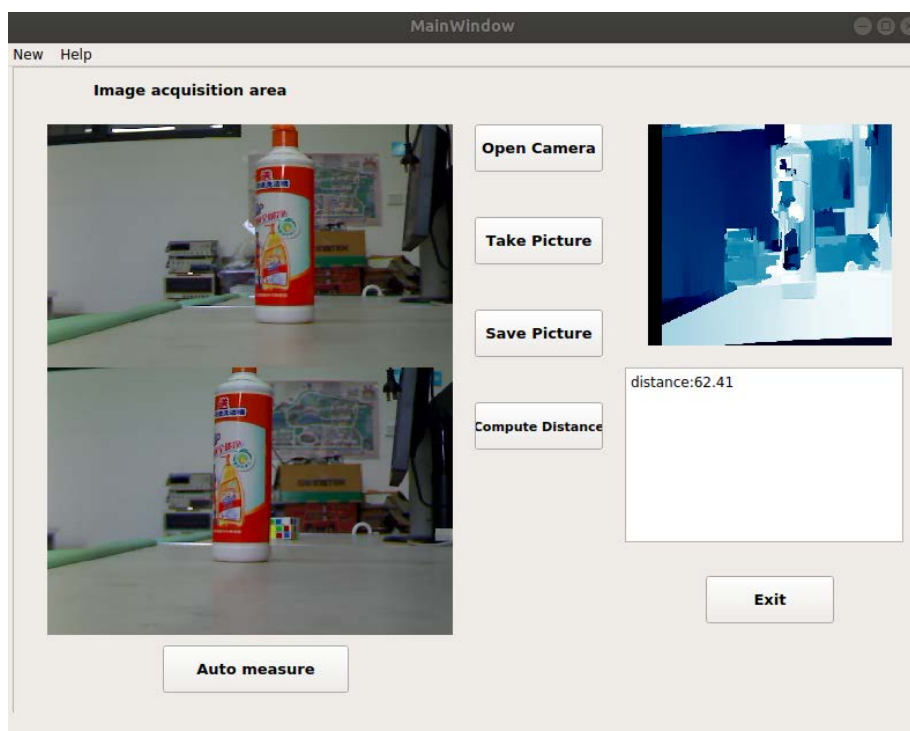


图 4-1 静态测量 GUI

4.1.2 静态测量算法流程

静态测量中模式下，系统得到用户点击拍摄的照片，通过相机的内外参进行极线校正，消除图片的畸变，用于后期视差计算；之后转化为深度图的伪彩色图用于显示，然后获取用户点击左视图的像素值，以像素值为中心取四周 65 个像素，从而形成与一个 130×130 的区域；继而以此区域为模板在右视图中匹配相应的区域，然后通过 GMS 算法计算两者区域中的特征点视差均值；得到视差均值之后，将其带入事先求出的回归方程中，从而得到当前像素点关于相机的距离。算法采用了选取特定区域的特征值计算，从而避免了整张图片的大量计算所带来的运算量急剧增加风险，同时也减少了误匹配带来的误差。图 4-2 为静态测量的算法流程图：

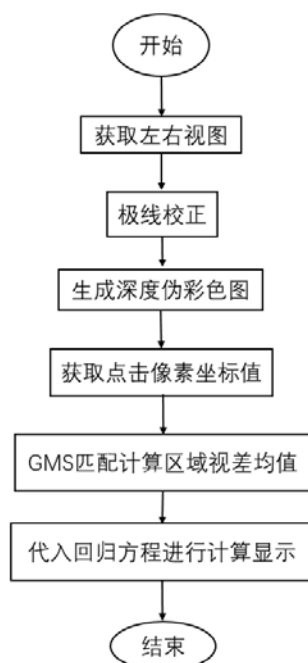


图 4-2 静态测量算法流程图

4.1.3 动态测量流程

动态测量模式下，用户可以通过点击 Auto Measure 按钮实现动态测量，通过鼠标手动框取需要测量的目标物体（本系统也提供系统自定的跟踪目标），系统将根据用户指定的跟踪目标持续读入左右相机的视频帧，对每一帧数据进行计算，并显示物体距离在视频上。目标物体移动过程中，系统将实时显示距离，并实现对目标物体的跟踪。图 4-3

为动态测量模式下程序运行图：

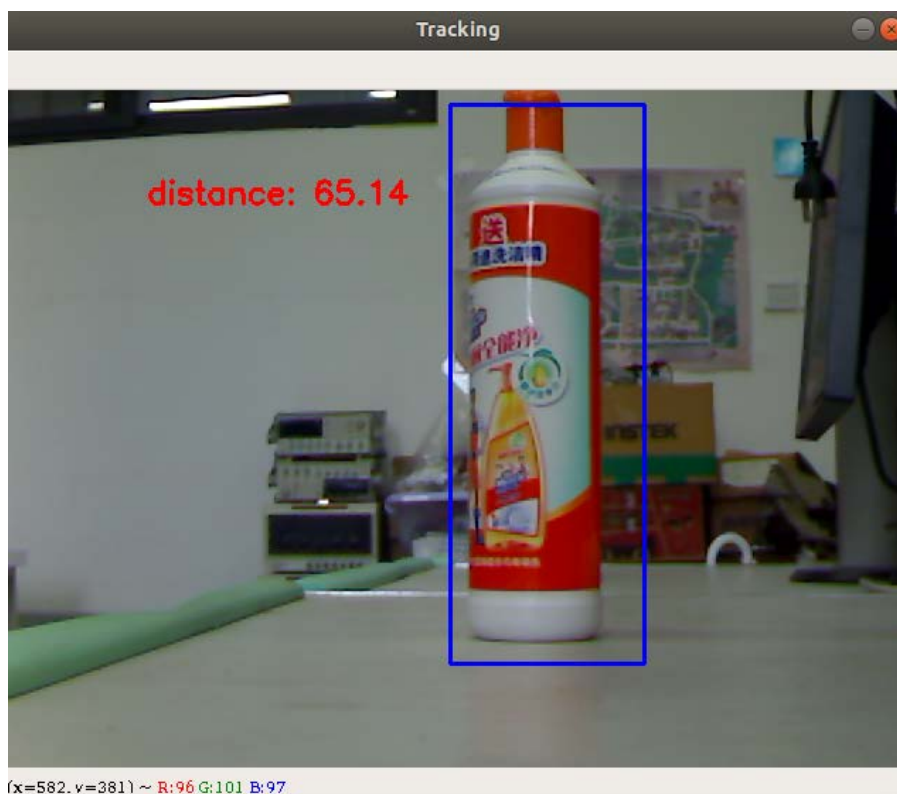


图 4-3 动态测量模式下程序运行图

4.1.4 动态测量算法流程

动态测量模式中，用户通过实现确定跟踪物体，系统对每一时刻的左右图像进行极线校正，然后计算物体在左右视图中的视差均值，代入事先求出的回归方程进行计算，从而得出距离。图 4-4 为动态测量算法图：

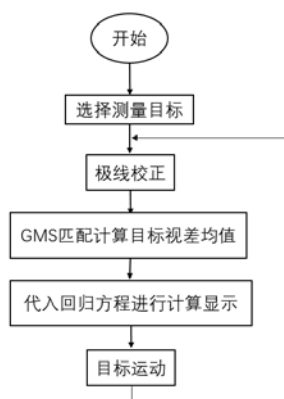


图 4-4 动态测量算法图

4.2 软件系统介绍

4.2.1 主界面介绍

主界面主要是展示系统图标以及充当进入其他界面的入口，可进入点击进入查询界面、查询界面以及版本界面。主界面如图 4-5 所示：

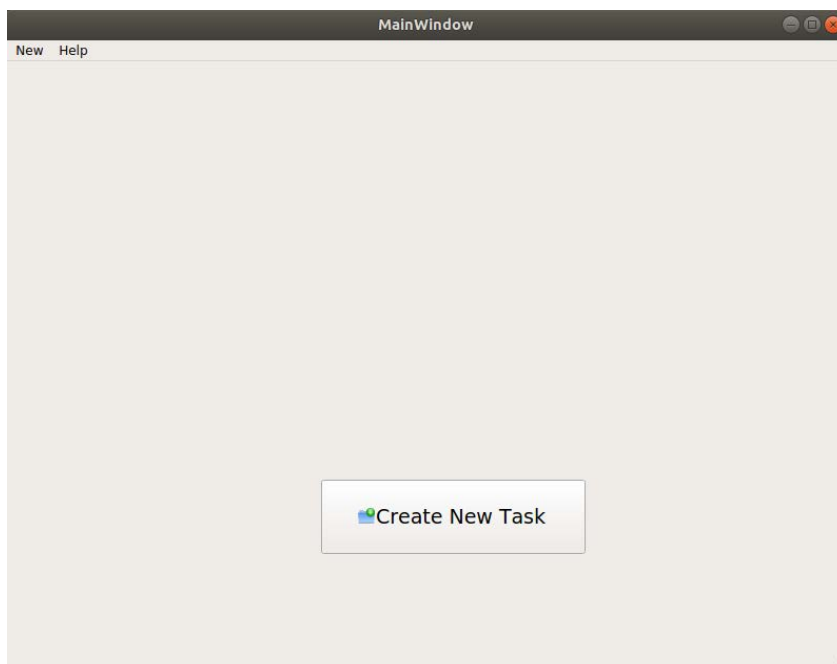


图 4-5 主界面图

4.2.2 测量界面介绍

测量界面只要包括显示模块和按钮模块，测量模块实时显示图片、深度图以及距离信息。其中 Open Camera、Take Picture、Save Picture、Compute Distance 四个按钮用于静态测量模式（即拍照测量），Auto Measure 则用于动态测量模式。界面还设置有三个控件用于显示左右视图以及深度伪彩色图，图 4-6 为测量界面图

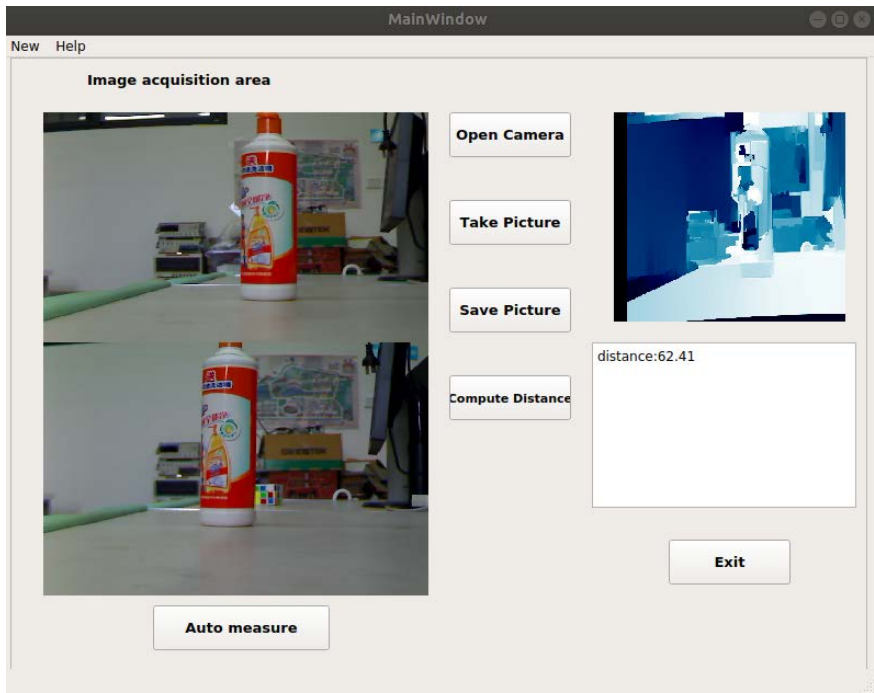


图 4-6 测量界面图

4.2.3 查询界面

本界面用于查询显示历史测量记录，查询界面通过四个控件显示某次测量的左右视图、深度图与距离显示图。图 4-7 为查询界面图：

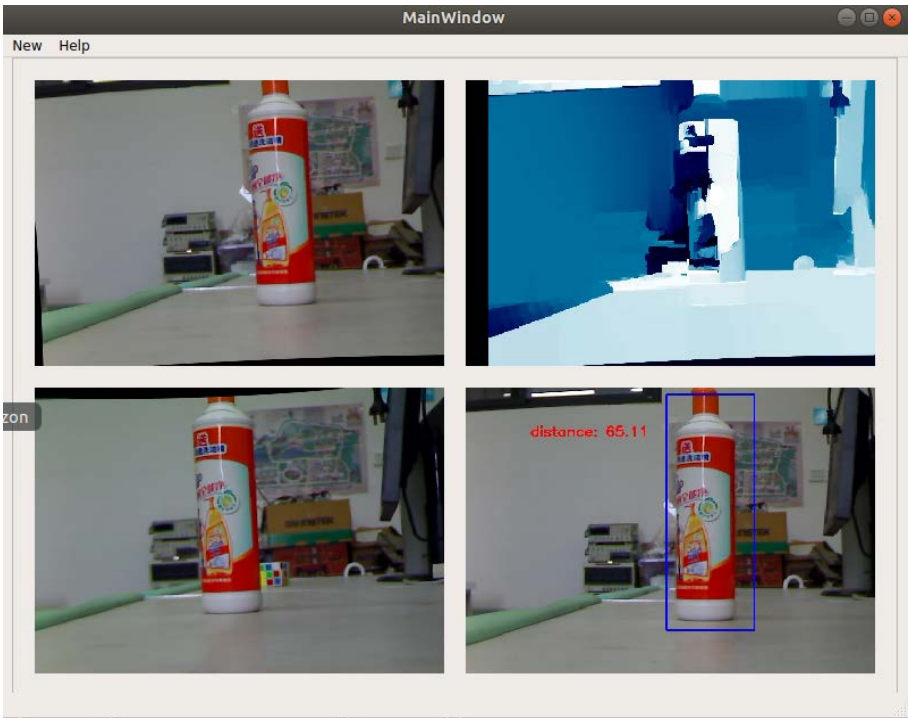


图 4-7 查询界面图

4.2.4 版本界面

本界面用于显示本系统的版本信息。图 4-8 为版本界面：

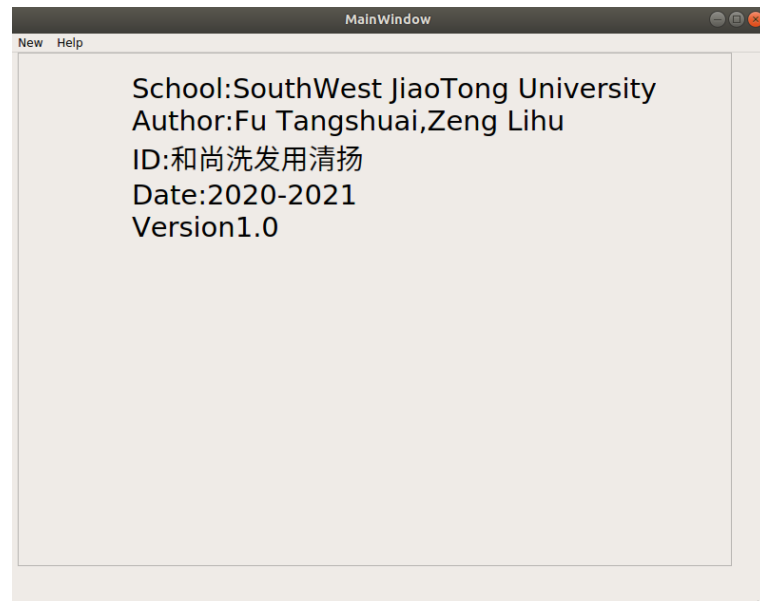


图 4-8 版本界面

第五章 系统测试与误差分析

由于动态测量与静态测量系统基本一致，本文选择静态测量模式下进行系统测试。

5.1 测量精度测试

在静态测量模式下，通过点击目标表面（本例中选取洗洁精作为目标），使得系统得到目标像素坐标，计算出距离。将计算距离与真实距离进行对比，从而确定本系统的精确度。由于卷尺头部到相机光心距离 7cm，所以洗洁精的真实距离应该是摆放距离减去 7cm 才对，所以物体摆放距离为 63cm。图 5-1 为真实距离图，图 5-2 为系统测量图：



图 5-1 真实距离图

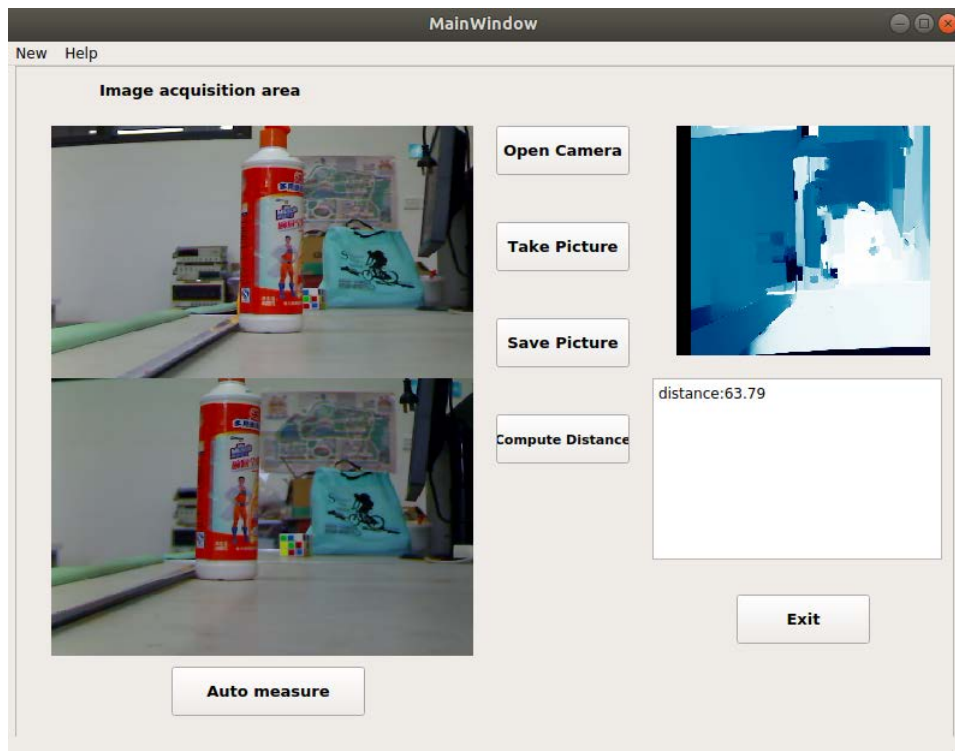


图 5-2 系统测量图

由上图可见误差基本为 0，为了进一步得到本系统的测量精度，我们又进行了 10

组数据测量，分别从 10cm 至 100cm，确定 100cm 量程的精确度。表 5-1 为 100cm 量程的测量数据：

表 5-1 100cm 量程的测量数据(cm)

组号	真实距离	测量距离	误差	组号	真实距离	测量距离	误差(cm)
1	10	25.72	15.72	6	60	58.96	1.04
2	20	18.83	1.17	7	70	70.07	0.07
3	30	29.19	0.81	8	80	79.08	0.92
4	40	39.22	0.78	9	90	88.64	1.36
5	50	49.23	0.77	10	100	97.54	2.46

由上表可以看出，小于 20cm 由于距离太近，无法正确计算视差，从而导致计算距离出错。而在 100cm 量程内，误差基本都保持在 1cm 左右。

为了获得 110cm 至到 200cm 的系统测量精度，我们又进行了 10 组数据测量。

表 5-2 110cm 至 200cm 测量数据(cm)

组号	真实距离	测量距离	误差	组号	真实距离	测量距离	误差
1	110	107.81	2.19	6	160	156.96	3.04
2	120	118.28	1.72	7	170	164.99	5.01
3	130	129.34	0.66	8	180	174.57	5.43
4	140	139.97	0.03	9	190	184.18	5.82
5	150	151.29	1.29	10	200	192.02	7.98

由上表我们可以看出，当距离超过 150cm 时，误差明显增大。综上所述，本系统测量量程为 20cm 至 150cm 时，效果最好，误差基本控制在 2cm 以内。

5.2 系统鲁棒性测试

我们将对比在不同光照强度下以及不同位置同一位置的目标的测量距离之间的对比得到系统的鲁棒性指标。本文放置目标物体距离为 70cm，表 5-3 为不同光照强度下的测量数据：

表 5-3 不同光照强度下的测量数据

组号	测量距离 (cm)	误差(cm)	组号	测量距离(cm)	误差(cm)
1	71.27	1.27	6	70.23	0.23
2	71.06	1.06	7	69.14	0.86
3	71.06	1.06	8	70.27	0.27
4	71.11	1.11	9	71.11	1.11
5	70.96	0.96	10	70.96	0.96

由上表可知，本系统对于不同光照强度的抗干扰性有非常好的效果。

以下是绝对距离保持不变，相对于相机平移，即拍摄角度变化进行测量，同样进行的 10 次测量。表 5-4 为不同位置的测量数据：

表 5-4 不同位置的测量数据

组号	测量距离（cm）	误差(cm)	组号	测量距离(cm)	误差(cm)
1	71.11	1.11	6	71.43	1.43
2	70.94	0.94	7	70.46	0.46
3	70.84	0.84	8	70.85	0.85
4	70.57	0.57	9	71.18	1.18
5	71.56	1.56	10	70.46	0.46

由上表可知，不同拍摄角度对于测距基本无影响。

综上可知，本系统对于光照强度和拍摄角度不敏感，系统的鲁棒性表现良好。

5.3 误差分析

任何系统都不可能做到百分之百的精确，本系统同样存在不可避免的误差。本文认为误差的造成主要有以下几个因素：

1、相机标定参数不可能百分之百准确，相机标定虽然采用了精确度极高的张正友标定法，但或多或少会存在一定误差。

2、特征值匹配不可能每次都能百分之百匹配正确，这也是我们引入视差均值的原因，就是为了将特征值匹配中存在的误差降到最小。

3、视差与距离的关系不可能完全能够符合一个数学表达式，尽管本次系统的回归方程相关系数都达到了 99%，但当初收集视差和距离数据时，人为的测量误差不可避免。

4、系统测试时摆放位置，使用数据不可能百分之百准确。

其中第 1 点、第 2 点和第 3 点是系统误差，这是无法避免的。第 4 点为随机误差，在测量过程中应严谨操作，减小随机误差。

第6章 总结

本系统主要利用了视差与距离之间存在减函数的关系，从而运用统计的回归方程方法建立可靠的测距系统。其中最为关键的就是回归方程的确定。对于固定位置的双目相机来说，视差与距离之间的关系是确定，本文所做的工作就是尽可能的找出它们之间满足的关系。本系统主要做了如下的工作：

1、运用张正友标定法对双目相机进行标定，确定其内外参数。这是保证系统精确性的前提。

2、根据标定得到的内外参数对左右视图进行极线校正，使得左右图片处于同一水平面上。这对于后面的 GMS 算法具有举足轻重的作用。

3、通过 GMS 算法计算左右视图的视差值，特意摒弃传统的 SURF 和 SIFT 算法，极大地提高了运算速度和减小误匹配率。

4、在动态测量模式中，支持用户手动框取目标或者由系统指定的目标，采用 KCF 目标跟踪算法实现对目标物体的实时跟踪测量。

5、通过事先测量的视差和距离数据，确定视差值和距离之间满足的回归方程。后续测量使用的回归方程保证了此系统在 20cm 至 150cm 之间的测量误差保持在 2cm 以内；并且对于光照强度、拍摄角度不敏感，对绝大部分物体都能适用，极大地增强了系统的鲁棒性和普适性。

本系统存在的缺点如下：

1、本系统虽然能够实现对大部分物体的测量，但是对于表面纹理单一，体积过小，相机无法有效成像的物体适用性不高，误差较大。

2、本系统的量程有限，对于小于 20cm 的距离，系统明显无法准确测量，误差极大；对于大于 150cm 至 200cm 的距离，系统能够在一定程度上准确测量，误差一般不超过 10cm。对于超过 200cm 的距离，不建议用本系统进行测量。

3、本系统的 GUI 过于单调，不美观，实现的功能稍微有点单一，后续多加改进。

针对缺点 1，后续可增大前期数据的收集，使得拟合出更好的回归方程；针对缺点 2，可通过调整两相机之间的距离得到改善，根据双目测距原理，理想情况下，测量距离与两相机之间距离呈正比例关系，但距离过大，会导致较近量程测量不准确。针对缺点 3，后续还需对界面 GUI 进行美化。

总之，我们需要做的工作和改进还很多，这次比赛让我们懂得了，以后无论在学习生活中，都一定要严谨求实、精益求精。

参考文献

- [1]韩倩. 基于双目视觉的摄像头测距系统的设计与实现[D]. 河北科技大学, 2019.
- [2]潘庆甫. 双目立体视觉测距系统的研究[D]. 安徽理工大学, 2019.
- [3]姚旭洋. 基于双目视觉的水上目标测距与识别算法研究[D]. 江苏科技大学, 2019.
- [4]宋子豪. 基于双目立体视觉的汽车测距避障和目标识别研究[D]. 华中科技大学, 2019
- [5] https://blog.csdn.net/Small_Munich/article/details/87833364
- [6] <https://www.cnblogs.com/Henry-ZHAO/p/12727261.html>
- [7]周正松, 陈虹君, 周红. 基于多特征融合的尺度自适应 KCF 目标跟踪算法[J]. 四川大学学报, 2020.
- [8]吴世宇, 李志华, 王威. 基于 KCF 的样本更新与目标重定位方法[J]. 计算机与现代化, 2020.