

缺陷检测等方面应用越来越广泛，机器视觉技术的不断更新，表现了其应用的广阔前景，目前的机器视觉，更是向着主动视觉和多维视觉发展，将真实环境融合起来，在系统中加入反馈机制，使系统具有选择的可能性，更加接近人工智能的发展方向<sup>[9]</sup>。

### 1.2.1 视觉技术国外研究现状

国外对于机器视觉技术研究的起步较早<sup>[10]</sup>。上世纪 50 年代，主要研究工作在于二维图像的分析与识别<sup>[11]</sup>。60 年代，美国 Roberts 教授构建了“积木世界”概念<sup>[12]</sup>，利用计算机程序成功从数字图像中提取到多面体的三维结构，对于图像的研究从之前的二维过渡到三维立体图像，标志着立体视觉研究的诞生，开创了三维机器视觉的研究。80 年代初，美国 Marr 教授创立了第一个比较系统的视觉理论<sup>[13]</sup>，在该理论中，Marr 教授把视觉系统看作是一个信息处理系统，并将系统划分为计算层、算法层和实现层三个层次，三个层次有机结合，形成一个从获取到重建的完整的视觉理论系统，为后来的视觉研究奠定了基础。现如今，机器视觉迅速发展，已经广泛的应用到日常生产生活的各个方面。

同时，国内外专家学者在机器视觉技术与机器人相融合方面也取得了较多成果，并广泛应用于目标识别与定位系统的设计。因单目视觉无法获取目标深度信息的局限性，立体视觉更多的被应用于工业现场。立体视觉是通过多个相机从不同方位拍摄同一目标物体，得到该目标图像，根据相机内部参数建立方程组，再利用三角测量原理计算位置差来获得目标的三维立体信息<sup>[14-15]</sup>。双目立体视觉也是机器视觉的一个重要分支，成为国内外学者的研究对象。

日本大阪大学的 Asada Minoru 提出了一种自适应视觉伺服的扩展算法，该方法利用双目立体视觉系统，可以预测未知运动物体的运动，开发出机器人行走导航系统，通过视觉引导机器人完成避障<sup>[16]</sup>。日本学者 Yasuo Yoshida 利用平行光的立体视觉，在起重机上通过双目相机完成对目标物体的实时跟踪<sup>[17]</sup>。法国 Aldebaran Robotics 公司研发的机器人 NAO，通过双目视觉系统感知目标物体，并进行边缘检测实现目标的识别与定位，引导机器人实现抓取<sup>[18]</sup>。葡萄牙里斯本技术大学 Plinio Moreno 等人对点云的局部信息进行编码，考虑旋转图像和形状背景，通过支持向量机对点进行分类，训练可抓取部位，最后完成对目标物体的抓取动作<sup>[19]</sup>。英国的 Umar Manzoor 等人利用 OpenCV 完成自动识别特征和检测对应点，并使用 OpenGL 来显示重建得到的 3D 模型，实现机器人的三维感知研究机器人双目视觉集成系统，该方法成本较低且兼容性较强<sup>[20]</sup>。

### 1.2.2 视觉技术国内研究现状

国内对于机器视觉技术以及视觉引导下的目标识别与定位研究相对较晚，但经过近些年的不断发展，也取得了显著成绩。在国内视觉技术广泛的应用于工业与农业领域，特别是在工业自动抓取以及农业自动采摘等方面<sup>[21-23]</sup>，基于双目视觉引导下的目标识别与定位技术前景巨大，新算法、新技术更是层出不穷。

华中科技大学的王敏等人将超声波测距与视觉技术相结合，用梯度算子描述物体边缘特征，通过超声技术完成定位，实现工件的自动识别抓取<sup>[24]</sup>。西南科技大学的张华等人提出基于双目视觉的机器人自定位方法，通过提取图像 Harris 角点特征计算 Sobel 响应，采用绝对误差累计的最小窗口完成匹配，使用改进的 RANSAC 算法优化特征匹配，最后通过高斯牛顿迭代方法获取机器人位姿，完成机器人的自定位研究<sup>[25]</sup>。北京交通大学的 Haikuo Shen 等人将激光测距与双目视觉系统相结合，提出多传感器信息融合的自适应算法，提高了多传感器的利用效率和测量精度<sup>[26]</sup>。哈尔滨工业大学的韩博通过决策融合和全局最小生成树完成对目标工件的识别与匹配，并通过视差图获取到工件三维坐标，完成目标工件的识别与定位<sup>[27]</sup>。

近年以来，在“中国制造 2025”政策引导下，国家积极发展实体经济，智能化的生产制造过程受到重视，这也促使国内视觉技术的不断创新发展。并且，随着视觉技术的不断发展，许多公司开发自己的视觉函数库，这也更加方便了视觉系统开发，如美国 MathWorks 公司开发的 MATLAB、德国 MVtec 公司开发 HALCON、视觉软件 OpenCV 等软件都提供较为成熟的视觉函数库，因此视觉技术的应用前景将会越来越广泛。

## 1.3 本文主要研究内容与结构安排

本文主要研究的是基于双目视觉系统的工业机器人对圆形目标工件的识别与定位算法，并根据研究内容，设计实现了整套实验系统。本文以系统实验为基础，分别介绍了双目相机系统与机器人视觉系统的标定、目标图像预处理算法、目标工件的识别与定位算法等内容，最后设计可视化界面，控制机器人完成模拟抓取动作，实现整个系统。本文各章节具体内容安排如下：

第一章，绪论部分。主要介绍了本文的研究背景及意义，分析视觉技术的发展历程以及基于机器视觉的工业机器人在国内外的研究现状，最后简要概括了本

文的主要研究内容并给出各章节安排。

第二章，系统整体构架搭建。本章主要对基于双目视觉的工业机器人目标识别与定位研究系统做整体介绍，给出系统整体框图，并详细介绍了视觉系统部分、计算机系统部分、机器人运动系统部分的软硬件组成，如相机、光源、机器人等各硬件选型依据和实验用各项软件的开发环境等。

第三章，双目视觉系统的建立与标定。本章通过分析相机成像模型建立了相机转换坐标系，以此引出相机的参数模型，包括内参数、外参数和畸变参数矩阵等，然后分析双目相机的成像原理，提出相机标定的重要性。分析相机标定原理，通过 HALCON 完成双目相机的标定并进行相机校正，最后完成机器人系统的手眼标定，并给出标定结果实验。

第四章，目标图像预处理。本章主要是对相机采集到的目标工件图像进行预处理过程，通过图像处理算法，提高图像的整体质量。介绍不同图像预处理算法理论基础，如灰度变换、直方图修正、平滑与锐化等，并对不同方法逐一编程实现，通过处理结果对比选择最适合本系统的预处理算法对目标工件进行图像处理。

第五章，目标识别与定位。本章主要是完成了目标工件的识别与定位工作，首先通过模板匹配完成对目标的识别，再介绍三维重建原理，通过边缘拟合的方法改进 Blob 分析算法获取到工件在左右相机的形心坐标，根据三维重建原理和双目相机标定结果完成三维重建，获取到目标工件三维位置信息，完成目标的精确定位。

第六章，系统整体实现。本章主要是对前面几章具体工作的整合，介绍各个部分实现步骤，在计算机上搭建测试平台，设计可视化界面，将计算机获取到的目标位置信息传递给机器人，控制机器人完成模拟抓取动作，并在可视化界面上实时显示，完成整体的运行实验。

最后，对本文所研究的内容进行总结，并对接下来的工作方向进行了一定的展望。

## 2 系统整体搭建

本文需要基于双目视觉，对位于机器人工作平台上的目标工件进行识别与定位，将经图像处理获取的工件位置信息传递给工业机器人，并控制机器人完成模拟抓取动作。本章主要对基于双目视觉的工业机器人目标识别与定位研究系统做整体介绍，并详细介绍各个分部分的组成，以及给出了如相机、光源、机器人等各硬件选型依据和实验用各项软件的开发环境和实现方式等。

### 2.1 系统整体框架搭建

本论文建立在机器视觉的理论基础上，通过一定的硬件基础和软件实现，利用实验环境构建了一套基于双目视觉的工业机器人目标识别与定位研究系统。如图 2-1 所示，可以将该系统分为视觉系统部分、计算机软件系统部分和工业机器人系统部分三个部分。

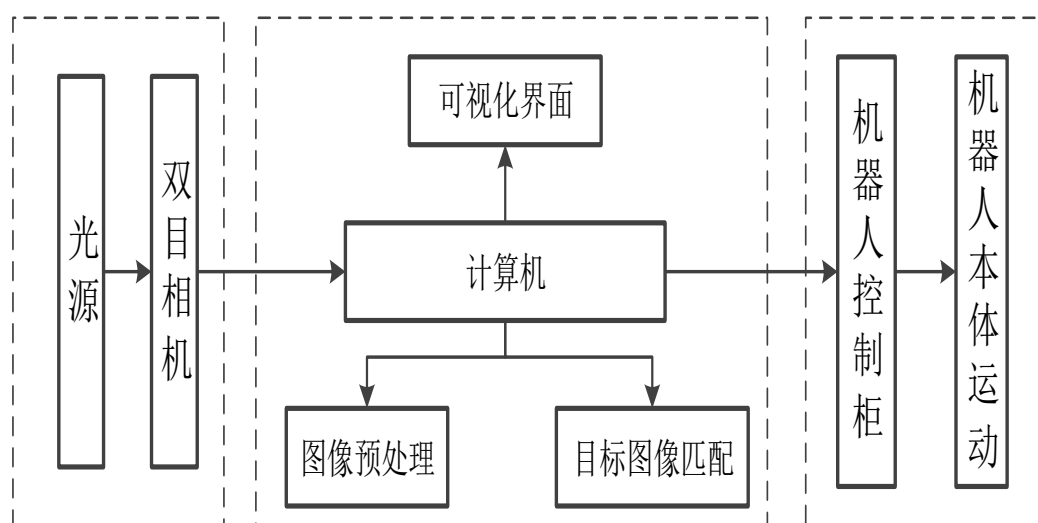


图 2-1 系统总体框图

Fig. 2-1 Overall system block diagram

(1) 视觉系统部分：该部分包括一台双目摄像机和其打光光源，主要是实现对目标工件的图像采集工作。

(2) 计算机软件系统部分：该部分是系统的核心部分，主要是通过计算机程序完成对采集图像的处理模块、系统通信模块和实现可视化界面。图像处理模块的主要功能是负责对视觉系统采集到的图像进行处理，完成目标工件的信息匹

配与三维重建，并将图像信息转化为数字信息来获取目标工件的坐标信息。系统通信模块的主要功能是负责计算机与视觉系统部分和工业机器人系统部分两部分之间的通信，完成数据的传输。可视化界面主要完成机器人工作平台的可视化，方便工作人员及时了解机器人工作状态，及时获取工作位置信息。

（3）工业机器人系统部分：该部分主要是接收计算机系统传输的工件信息，根据信息数据，控制柜控制机械臂运动到目标位置，完成模拟抓取工作。

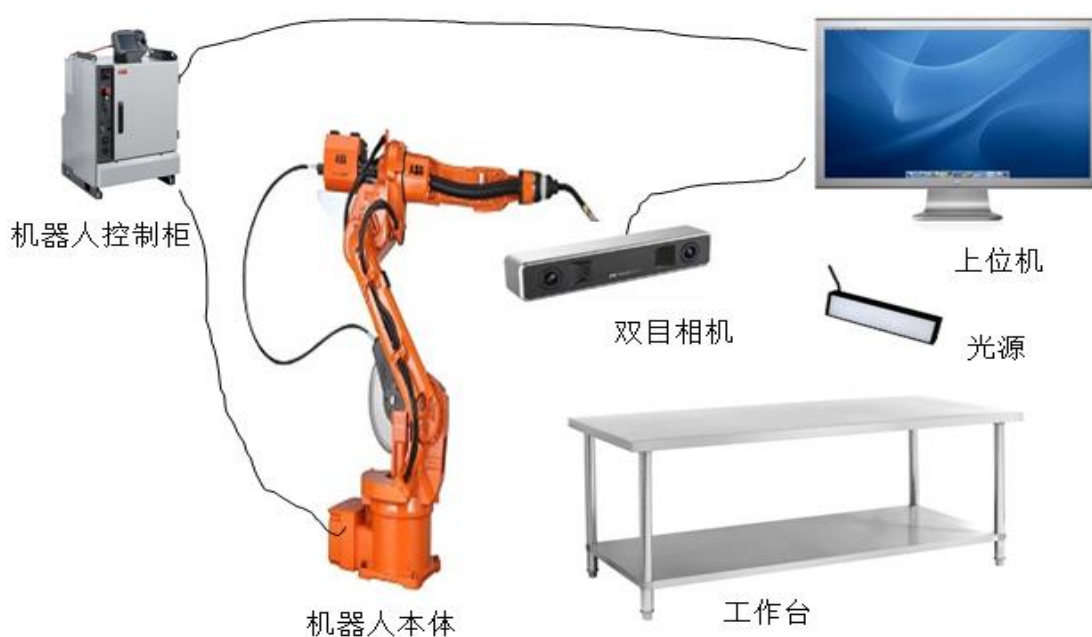


图 2-2 系统结构示意图

Fig. 2-2 Schematic diagram of system structure

如图 2-2 所示，是基于双目视觉的工业机器人目标识别与定位研究系统的结构示意图。为了实验方便进行，本文选择 ABB1410 六轴机器人作为机器人运动系统部分，包括机器人主体、控制柜、示教器和位于机器人正前方的工作平台，以实现高精度的运动控制。双目视觉系统固定在机器人第六轴末端，完成对于目标工件的图像采集。计算机软件系统在计算机 Windows7 系统上运行，并包括一个千兆以太网口和通信数据线，通过 TCP/IP 协议通讯，实现计算机与视觉系统部分和机器人系统部分的数据通信，确保各部分之间的稳定运行。如图 2-3 所示，是本文设计的基于双目视觉的工业机器人目标识别与定位研究系统的实物构成图。