

南京理工大学

硕士学位论文

基于图像处理技术的浮空平台姿态测量系统的设计与实现

姓名：廖帅

申请学位级别：硕士

专业：控制理论与控制工程

指导教师：薄煜明

20060610

摘 要

具有浮空观测平台的分布式火控系统的构想,充分考虑了我国国土防御的实际情况。探测、跟踪和射击平台的分布式布置,能有效的克服地面屏蔽,填补远程防空武器的作战盲区,延长、延伸了防空装备超低空的作战反应时间和反应空间,提高了防空体系的超低空作战能力。浮空器的定位定向在这个系统中起着关键作用,它关系到目标坐标能否被测到和在测到的情况下能否以足够的精度提供给火控解算的问题。针对浮空平台实时定位、定姿态的难题,本论文提出了以地面目标坐标测定、地标和平台上实时视频图像处理相结合的解决方法,设计并实现了一个基于图像处理技术的浮空平台姿态测量系统。

本文首先简介了该系统使用的高速图像处理平台以及该平台的软件开发。随着 DSP 和 CPLD/FPGA 芯片集成度和运算速度的提高,出现了大量基于 DSP+CPLD/FPGA 的高速图像处理平台。本系统使用了基于 TMS320C6416 的高速图像处理平台 DAM6416P。

对采集到的实时序列图像进行滤波处理后,本文通过最大类间方差法,对图像进行二值化处理,并对二值图像中各个信标点进行轮廓跟踪得到一组位置数据。轮廓跟踪算法采用的是经过改进后的目标邻域边界智能跟踪算法。

当浮空平台摇摆幅度较大时,地标上的某些信标点可能会偏出视场。本文就各种可能出现的情况分析信标点之间的逻辑位置关系,使轮廓跟踪得到的位置数据与各个信标点对应起来,实现地标的定位。接着介绍了姿态角的解算原理和步骤。

最后介绍了整个系统的组成、结构和系统程序的设计,并给出了试验结果。

关键词: 浮空观测平台, 姿态角, 轮廓跟踪, 地标定位, DSP, DAM6416P

ABSTRACT

The firing control system with floating-observation-platform can raise air defense system's low level battle-capability considering recovery of our country. The orientation of floating-observation-platform is very important to this system. With that problem, the measurement system of floating-observation-platform's attitude angle based on image processing is designed, which is a part of a firing control system with floating-observation-platform. The system is designed to measure the platform's attitude angle accurately that is very important to the orientation of floating-observation-platform and provide the firing control system with important target status information.

High-speed image processing platform, based on DSP and CPLD/FPGA, is firstly introduced in this thesis. DAM6416P, based on TMS320C6416 and used in the tracking sub-system, is one of this kind of platforms.

After preprocessing the sampled real-time image sequences, a series of position data can be got by combining thresholding with Ostu algorithm and beaconing contour tracking. And then, analyzing these data with the ubiety of beacon, we can find each beacon's position on screen.

Sometimes, the platform may shake acutely, and the beaconing can leave the eyeshot of CCD. So each orientation method in different scene is introduced in this thesis. Then the analytic theory and approach of platform's attitude angle are discussed.

The components and structure of the measurement system are also discussed. Finally, the experimental result is presented.

Keywords: floating-observation-platform, attitude angle, contour tracking , beaconing orientation, DSP, DAM6416P

1 绪论

1.1 项目背景

现代战争中,特别是高新技术条件下的局部战争,制导武器越来越广泛的被应用,空袭与反空袭成为贯穿战争始终的作战形式。随着中远程精确制导武器杀伤力的增强、打击精度的提高,它们对重要军事设施、重大民用工程的威胁越来越大。防空反导武器系统,特别是中低空防空反导武器系统,是對抗这类威胁的重要手段。

对中低空防空反导武器系统而言,其主要作战对象是:已临空的飞机和直升机以及处于弹道末端的导弹。直升机可以悬停、飞机可以人为机动、反辐射导弹的末速可高达3~4个马赫数,而有地面跟随功能的巡航导弹则可以亚音速在50~100米的高度上飞行,防空的任务极为艰巨。国内外在中低空防空反导武器系统方面做了大量的研究工作。美国依靠其强大的技术力量和经济实力构建了一套完整的从指控到火控的庞大系统,这套系统不但需要巨额资金,还需要有绝对的制电磁权。一旦通信系统遭到敌方干扰,系统将丧失其功能。我国在指控系统(C³I)方面已做了大量的工作,研制出了实用的装备;而在火控系统方面,适合我国国情的各种系统研究,因受到种种主观因素的影响和客观条件制约,目前尚不能满足迫切的中低空防空反导要求。

从我国的国情来看,发生战争时,我们不能保证掌握制空权。在不掌握制空权的情况下,防空反导武器系统主要以面基为主。因此由高炮和防空导弹组成的中近程防空反导系统,是我国现在和未来一段时间内对空防御作战的主要手段。目前,除了对低空、超低空巡航导弹还没有实用的有效拦截手段外,在研究弹炮结合武器系统和智能化射击控制策略等方面,均取得了许多重要成果。但是目前我国中低空防空反导火控系统仍然存在以下问题:首先,对低空、超低空快速目标缺乏全方位搜索手段;其次,对中低空目标还不能快速截获和精密跟踪,使中低空防空反导武器系统的效能大打折扣。有统计表明,我小高炮对空射击有效率在0.4%左右,而对付巡航导弹这样的目标,即使是上述有效射击,也必须要在充分的数量下才能达到有效毁伤的目的。

研制具有浮空观测平台的分布式火控系统就是为了提高防空反导系统低空或超低空全方位综合搜索能力,提高低空或超低空快速目标的快速截获和稳定跟踪能力。即使在没有制空权和有效空中预警的情况下,也能使防空反导武器系统有较强的防空反导能力,在体系上适应当代防空反导的需要。

1.2 具有浮空观测平台的分布式火控系统

1.2.1 火控系统组成

具有浮空观测平台的分布式火控系统由分置的五类基本节点组成:位于火炮上

以炮位计算机为核心的炮控节点；独立设置的浮空观测平台空中测量节点；位于连指挥计算机内以指挥计算机为核心的指控节点；置于地面的目标坐标测定仪为地面测量节点；置于地面的浮空观测平台辅助监视及通信控制节点。通信系统将这些节点连接成一个整体。如图 1.2.1.1 所示。

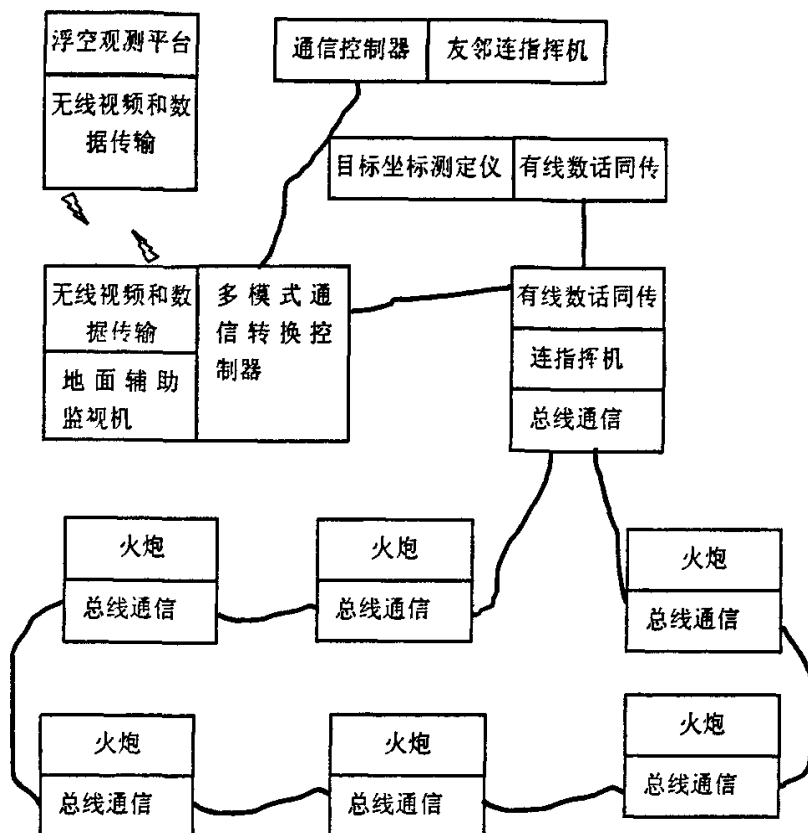


图 1.2.1.1 火控系统连接示意图

- A. 炮控节点：炮位计算机，火炮高低角、方位角绝对码轴角编码器，火炮随动系统，炮位电源；
- B. 指控节点：指挥计算机，指挥信息显示器，连指挥计算机电源；
- C. 空中测量节点（浮空观测平台）：激光测距、白光 CCD 总成，目标视频信息处理机，观测跟踪系统，浮空平台姿态测量系统，电源。图 1.2.1.2 显示了浮空观测平台的构成；
- D. 测量节点：激光、白光 CCD 总成，目标信息处理计算机，高低、方位随动系统，坐标测定仪电源；
- E. 视通信节点：具有目标实时图像监视和辅助捕捉跟踪器，多路无线有线通信控制转换器，电源；
- F. 通信控制节点：有线通信装置，通信电缆，无线通信装置。

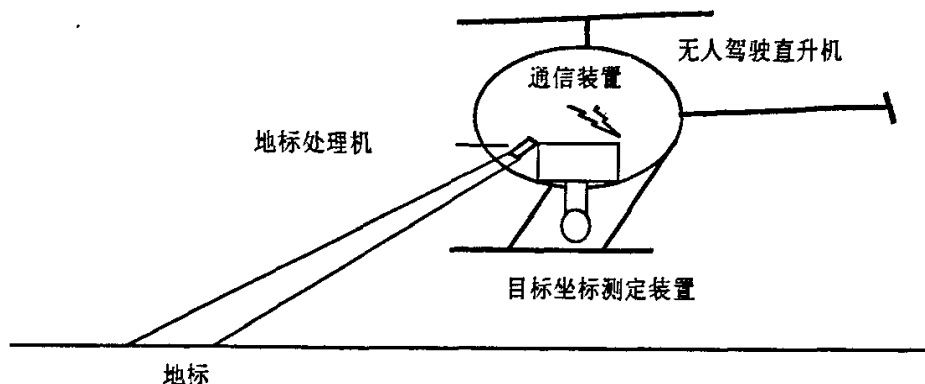


图 1.2.1.2 浮空观测平台构成示意图

1.2.2 火控系统工作状态

火控系统设有两种工作状态：联动射击状态，即利用浮空观测平台或目标坐标测定仪精确诸元的射击状态；独立射击状态，即利用炮位计算机计算诸元的独立射击状态。在联动射击状态下，本系统的空中测量节点需要挂载到无人驾驶直升机上，作为具有浮空观测平台的防空反导火控系统研究的第一步，本文只考虑无人驾驶直升机在执行测定任务时处于悬停状态。由于独立射击状态是由各个炮位计算机独立计算完成的，不涉及与浮空观测平台联动，因此下面将主要介绍联动射击状态下射击过程。

A. 目标指示

目标指示的任务由连指挥计算机完成。目标指示所依据的信息来源有二：接收由上级情报指挥系统发来的目标信息；从系统内目标搜索装置获得的目标信息。连指挥计算机在对上述信息处理后，根据上级命令或目标的威胁度决定射击的目标，并将需要射击的目标信息传给浮空观测平台，使之跟踪测定该目标。

B. 目标识别

浮空观测平台依据目标指示信息，在导引信号的导引下，以 CCD（前视红外方式）探测并通过图像处理发现识别目标，同时将图像实时传输到地面辅助监视机，由地面辅助人员发现识别数字图像处理未发现识别的目标，或判别数字图像处理发现识别的目标的真伪。

当目标图像被自动或人工识别后，将生成一个包含目标的跟踪波门，系统就捕获到了目标。

无论是人工还是自动发现的目标，都需要进行跟踪，并将运动目标在图像中的位置信息通过通信节点传给连指挥计算机。

C. 目标跟踪

跟踪波门形成后，浮空观测平台就将自动跟踪选定的目标，地面辅助监视人员则负责监视跟踪过程，以确保跟踪波门在 CCD（红外视场）之内。

当跟踪波门形成后,精确的目标现在点方位角与高低角将连续的获得。同时跟踪一段时间后,将得到目标的航向角和俯仰角。

在目标距离小于 7km 后,激光测距机将自动测定目标的距离。

D. 浮空器的定位定向

浮空器的定位定向在本系统中起着关键作用,它关系到目标坐标能否被测到和在测到的情况下能否以足够的精度提供给火控解算的问题。

要满足火控解算的要求,浮空器的三维坐标和三个角度量要有一定的精度要求。利用目标坐标测定仪测定浮空器的三维坐标,利用图像处理机和地面标志测定浮空器的三个角度量,充分利用现有设施,且测量值没有时间漂移,且有能满足系统需要的精度。

E. 射击监控

射击监控由连指挥员通过指挥计算机及其显示屏完成。其任务是为连指挥员下达射击指令提高情报支持。

F. 射击诸元求解

各炮分别在各自炮位计算机上独立求解射击的诸元。

G. 射击实施

当射击诸元误差小于允许值时,射击诸元不在禁射区时,有射击诸元信号存在,目标处于有效射程时,根据指挥员下达的射击命令射击目标。

1.2.3 浮空观测平台的优点

采用浮空观测平台有如下优点:目标检测和跟踪设备“居高临下”俯视观测,可以在 360° 下半球方位内,对远距离巡航导弹、武装直升机和隐形轰炸机进行探测和跟踪;空中观测大大削弱了巡航导弹、武装直升机利用地形、地物低空突防、逃避侦测的能力;隐形轰炸机能在下方和横侧面隐身,但在背部方向上形状特征和红外特征明显,俯视之下必将使之“现形”,彻底消除了地物或地形对探测设备视线的遮挡,并在相当程度上避免敌方利用背光对探测设备进行扰乱;可以连续不间断地对目标进行探测和跟踪,从而给防空反导系统提供连续、充分的预警,反应和射击时间;基于系留气球或飞艇或微型直升机的浮空观测平台可以根据防空反导的具体作战任务,迅速的布置和转移阵地;利用飞艇或微型直升机的机动性,可实现对更大空域的监测。浮空观测平台可以大大提高现有防空反导武器系统作战效能,与此同时,浮空观测平台的研制和生产费用是低廉的。

1.3 浮空平台姿态测量

浮空器的定位定向在整个火控系统中起着关键作用,它关系到目标坐标能否被测

到和在测到的情况下能否以足够的精度提供给火控解算的问题。在浮空器的定位定向中,三个姿态角(航向角、俯仰角、横滚角)的测量是至关重要的。

1.3.1 姿态角测量常用设备和方法

目前测量姿态的常用设备有陀螺仪、惯导、姿态GPS、姿态角传感器^[41]等。陀螺仪和惯导利用高速旋转的陀螺的惯性作为测量的基准,它具有自主测量的特点,但是有随时间误差积累的缺点;姿态GPS利用三个不同位置上的天线之间的差分数据计算得到姿态角,它具有测量精度不随时间累计的特点,但是它的测量精度受可见卫星数和卫星星历精度的限制;姿态角传感器利用固体摆或液体摆等惯性器件实现姿态角测量,它具有体积小特点,目前主要是一维和二维的倾角传感器

以上都是接触式姿态角测量设备,目前非接触测量设备主要应用光学方法进行测量,主要有激光测量法和影像测量法等^[43]。

1.3.2 基于图像处理的姿态测量方法概述及其关键技术

随着计算机技术的不断发展,图像处理、模式识别等领域研究的不断深入,为我们利用计算机技术进行图像处理并进一步进行姿态测量研究提供了理论依据和技术保障。借助这些理论与技术,同时考虑到火控系统浮空平台的实际工作情况和成本问题,本文提出了基于 CCD 图像处理的浮空平台姿态测量方法。该方法的基本思路是在地面设置地标,并对浮空平台拍摄到的地标画面进行图像处理以及地标定位,通过地标在摄像机中成像的几何模型解算出姿态角。解算的原理将在第五章作详细介绍。这种测量方法的关键是要找到信标点在 CCD 摄像机中所成像的位置,其中的关键技术可以概括为两大部分:

A. 采用有效的图像处理手段找出屏幕上信标点的位置

通过对各种图像处理技术的研究,针对具体应用中地标所成像的特点以及所要达到的处理目的,本文提出了图像分割和轮廓跟踪相结合的方法来找出屏幕中信标点的坐标位置。

B. 根据信标点之间的位置关系对地标定位

经过图像处理得到了一组信标点的位置数据,但并不知道每个位置数据分别属于哪个信标点,因此需要将轮廓跟踪得到的位置数据与信标点一一对应起来。

由于地标一经设置好后,信标点之间的位置关系也就固定不变了,地标定位就是通过分析信标点之间的逻辑位置关系来确定各自在屏幕上的坐标位置。

1.4 本文内容

由火控系统的工作过程可以看出,火控系统需要对浮空平台实现自身的定位定向,从而解算出目标的坐标信息。浮空观测平台姿态测量系统就是为实现对浮空器定

位定向而设置的。本文的内容也是基于此姿态测量系统。

第一章 绪论。主要介绍具有浮空观测平台的分布式火控系统的相关背景以及系统的组成和工作状态，确定本文的内容。

第二章 介绍本系统使用的高速实时图像处理平台。

第三章 设计本系统采用的图像处理算法。

第四章 介绍地标定位算法。

第五章 介绍浮空平台姿态角解算的原理和步骤。

第六章 首先简介浮空平台姿态测量系统的组成和结构，接着介绍系统程序设计，最后给出了系统试验的整个过程以及试验结果。

2 高速图像处理平台

2.1 概述

随着 DSP 芯片的出现和 DSP 技术的发展,出现了非常多的基于 DSP 芯片的高速图像处理平台。DSP 芯片优化设计的体系结构和指令系统使得它具有处理速度快和有复合功能的单周期指令等特点,它的快速运算能力和灵活的编程方法很好的弥补了计算机视觉和数字图像处理领域数据量大、计算复杂、算法不易调试的缺点。同时随着单片 CPLD/FPGA 芯片的容量越来越大、设计灵活性越来越好,设计高速图像处理平台时可把系统的部分或全部控制功能集成到这些单片芯片上。目前,以 DSP 及 CPLD/FPGA 为核心器件的高性能图像实时处理平台^[3-5]和新型图像处理算法^[9-11]已开始出现在各种智能武器系统中。

2.2 高速图像处理平台

2.2.1 实时数字图像处理

人类获取的外界信息有 70%来源于视觉。图像是二维或三维景物呈现在人们心中的影像,图像数据是一种重要的信息资源。随着计算机技术和 VLSI 的发展和不断成熟,数字图像处理在通讯、管理、医学、地震、气象、航空航天及教育等领域,发挥着愈来愈重要的作用。实际工作中常常需要对所得的图像进行实时处理,获取图像所蕴涵的信息,从而为某些系统提供必要指导。在这些系统中,实时性往往是必须要保证的,因此如何快速的实现图像视频信息的处理变得越来越重要。要解决这个问题,一方面可以通过优化和设计各种快速的图像处理算法来实现,更为重要的是需要设计高速的图像处理平台,从硬件系统上提高图像处理的速度。

2.2.2 高速图像处理平台

设计高速的实时图像处理平台的关键就是需要保证它的快速图像采集和图像处理能力。实时指的是系统必须在有限的时间内对外部输入信号完成指定的处理,即信号处理的速度必须大于等于输入信号更新的速度;而且从信号输入到处理后信号输出的延迟应该足够小。为了实现图像处理系统高速的数据采集和处理速度,系统必须具备以下三个基本要素:高速的数据采集模块、高速的数据传输通道和高速的数据处理模块。高速的数据采集模块和传输通道为数据处理模块提供足够的数据样本,而数据处理模块保证充分利用这些样本数据以获得最可靠的处理结果。

数据采集装置的采集速度一般取决于系统采用的视频影像传感器的性能,如图像分辨率、帧频、镜头曝光时间等。对高速数据通道一般有两个要求:一是保证采集到

的数据实时地传送到数据处理模块；二是这种高速数据传输能够不影响数据处理模块的处理工作，即不占用系统 CPU 的时间，使整个系统处于一种流水线的工作方式之中。常用的高速数据通道有 DMA 通道，它具有直接数据存取、块移动和不需要 CPU 干预等特点。

高速数据处理模块必须具有巨量数据的快速运算处理能力。由于 DSP 芯片快速和巨大的数据处理能力，使得目前很多图像处理平台的数据处理核心都是采用通用 DSP 芯片。与普通处理器相比，DSP 芯片具有更适合于数据实时处理的特点，比如，改进的哈佛总线结构，内置的硬件乘法器、累加器，卓越的流水线结构，良好的并行特性，丰富的功能处理单元，适于数字信号处理的指令系统等等。虽然 DSP 芯片具有很强的数据处理能力，但是在目前的一些较复杂硬件平台的设计中，由于存在许多外围器件要与主处理器协同工作，如果将这些功能都由 DSP 芯片实现，对系统的数据处理性能有很大的影响。为了使得核心的 DSP 芯片能够专注于数据的处理，通常采用 CPLD/FPGA 作为系统的协处理器，辅助系统的主处理芯片（通用 DSP 芯片）工作，如控制系统的工作时序，以及数据缓冲等。这便是通常所说的 DSP+CPLD/FPGA 架构，它体现了硬件系统的模块化设计思想。

2.3 基于 TMS320C6416 的高速图像处理平台

2.3.1 TMS320C6416 简介^[12]

TMS320C6416 属于 TMS320C6000 系列的高性能定点 DSP 处理器，工作频率可为 400、500、600、720MHz。图 2.3.1.1 显示了 C64X DSP 的简要结构框图。它包括

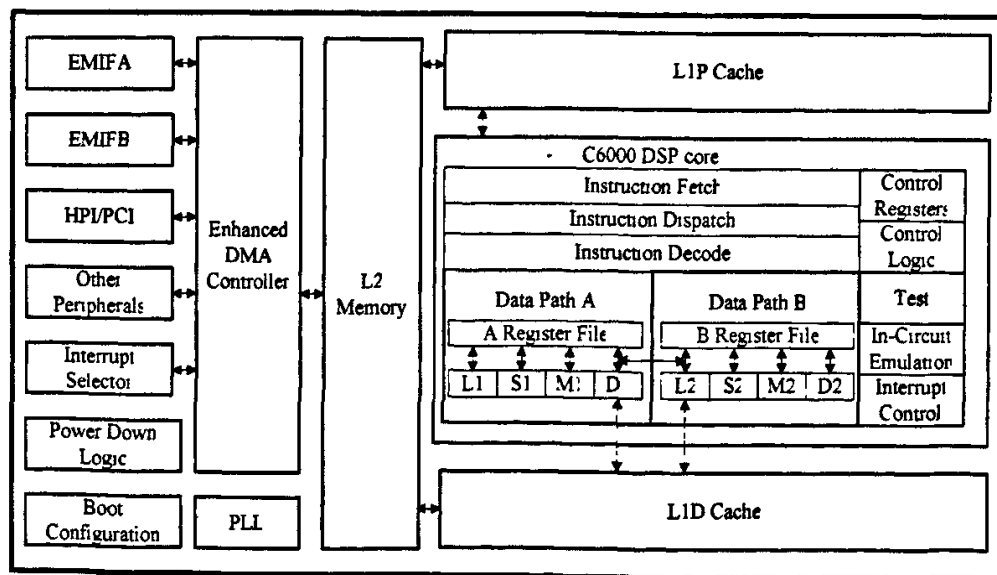


图 2.3.1.1 C64X DSP 的简要结构框图

采用 VelociTI1.2 结构的 DSP 内核单元, 内部存储器的两级缓存结构, EDMA 控制器, 外部总线接口, 中断控制器, PLL 回路, 低功耗逻辑, 启动配置以及其他外设等。

由于 TMS320C6416 具有非常强的数据处理能力和很大的数据吞吐量, 使得它在诸如数字图像处理、视频会议以及视频压缩等方面获得越来越多的应用。C6416 芯片具有以下一些特点:

A. 内部结构

C64X 采用了 VelociTI1.2 结构, 与原来超长指令字 (VLIW) 结构的 VelociTI1.0 相比, 主要在内部 CPU 功能单元、通用寄存器组以及其数据通路等方面都进行了改进。如 C64X 具有 8 个相互独立的功能单元, 其中包含 6 个支持单周期内单 32 位、双 16 位或四个 8 位数据操作的算术逻辑单元 (Arithmetic Logic Unit, ALU), 以及 2 个支持单周期双 16×16 位或四个 8×8 位数据操作的乘法器 (Multiplier); 内部 CPU 的每个通用寄存器组含有 32 个 32 位寄存器, 支持 8bit 和 64bit 定点数据, 并且寄存器 A0 也可用作条件寄存器; 通用寄存器组内部有两条交叉通路, 且每个功能单元都可以通过交叉通路访问另一侧的寄存器组; C64X 具有独特的数据通路, 能够利用非排列的存取指令访问任意位组边界的字或双字。

B. 运算能力

C64X 设计时钟周期有 400、500、600、720MHz, 分别有 3200、4000、4800、5760MIPS 的运算能力。与 C62X 相比, C64X 平均每条指令在每个时钟周期内的运行能力增加了好几倍。C64X 支持双 16 位或四个 8 位数据以及时钟频率的提高使得其图像处理能力比 C62X 提高了 15 倍左右。

C. 内部存储器及外设资源

C64X 为程序和地址两级片内存储器结构, 一级内存由程序 (L1P) 和数据 (L1D) 缓存组成, 其中 L1P 为 512 组 32B 线的 16KB 直接映像式缓存, L1D 为 128 组 64B 线的 16KB 两路成组相连式缓存, 二级内存 L2 为 1MB 容量大小的 SRAM, 通过特定控制寄存器可将其按照不同的比例配置成映像内存和缓存。另外, C64X 具有丰富的外设资源, 其中包括: 64 信道的增强型内存直接存取 (EDMA) 控制器; 64bit/16bit 数据总线的外部内存接口 EMIFA/EMIFB; 33MHz、32bitPCI 接口和针对异步传输模式的 UTOPIA 接口; 16 或 32bit 主机端接口; 3 个多通道缓存串行口等。对于 C6416, 专门集成为实现 3G 无线算法的 VCP/TCP 协处理器。

D. 丰富的指令系统

TMS320C64X 指令系统的变化建立在其 CPU 结构改进的基础上。它扩展的指令使它能够方便的执行图像处理算法。与 C6000 系列公共指令集相比, 扩展的指令大致可以分为三类: 一类指令的功能及运行与对应公共指令集中的指令完全一致, 只是增加了可执行这些指令的功能单元; 另一类指令与对应公共指令集中指令功能和运行

基本一致,主要差别是指令操作数的类型增加了,如增加了一些双字长运算指令,更重要的是增加了大量的以字节、半字为运算对象的指令。这些增加的指令在图像处理中会经常运到,非常适合图像处理算法的执行,提高图像处理的运算效率;最后一类指令是 C64X 新增的指令,如点积和指令、Galois 域乘法运算指令和数据打包和解包指令等。

综上所述,内部结构的改进、并行处理能力的提高以及丰富的外设资源和指令系统使得 C6416 在图像领域具有巨大的开发潜力。

2.3.2 DAM6416P 图像处理平台

在浮空观测平台姿态测量系统中,采用了 DAM6416P 高速图像处理平台。DAM6416P 高速图像处理平台是基于 TMS320C6416 DSP 芯片开发的。板上的 DSP 芯片的工作时钟为 600MHz,系统的计算能力可达到 4GIPS,可以用作实时的视频图像处理。

A. 功能模块构成

系统采用的 DAM6416P 视频图像处理平台有很多功能模块,如图 2.3.2.1 所示,它主要由以下几部分组成:

- DSP 处理器模块
- A/V 接口模块
- 通信接口模块

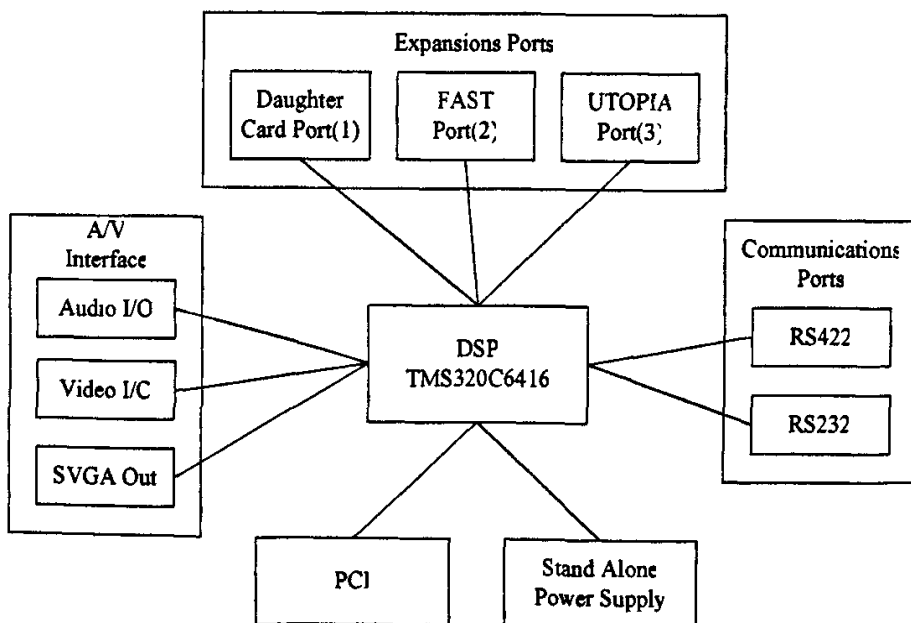


图 2.3.2.1 DAM6416P 结构框图

- 扩展同步接口模块
- PCI 总线接口模块
- 电源模块
- LED 模块

B. 视频模块

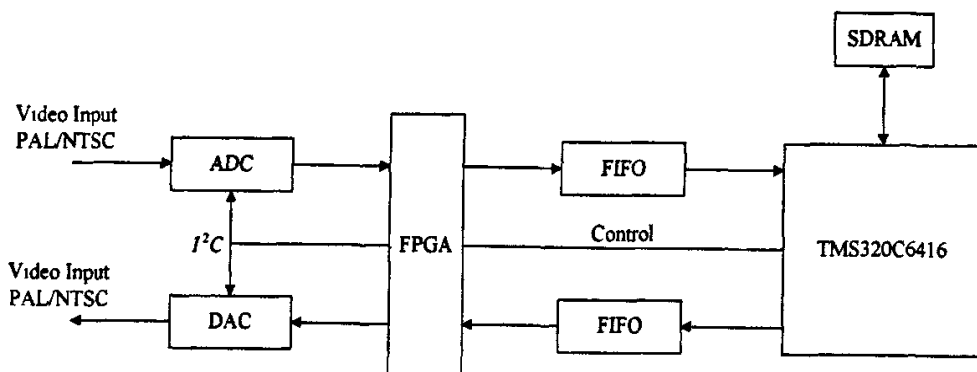


图 2.3.2.2 视频模块框图

视频模块支持的视频格式有：复合视频（PAL 和 NTSC 制式）和 S 端子的输入和输出，可单独在计算机显示器上输出 SVGA 格式的图像，支持 JPEG，JPEG2000 图像压缩和 MPEG2、MPEG4、H263 等视频流压缩。

● 视频捕捉

模拟视频输入到视频译码芯片，转换成数字信号 YUV4:2:2 的格式，再传到视频 FIFO 中，DSP 通过 DMA 读取数据。FPGA 在回路中有两个作用：

- 把资料写入 FIFO
- 控制帧的输入比率

● 视频产生

数字视频信号在内存中为 YUV4:2:2 的格式，数据通过 DMA 方式写到 FIFO 中，再到视频编码芯片转换成模拟信号（PAL 或 NTSC）。

2.4 高速图像处理平台的软件开发

本系统的图像处理、地标定位以及姿态角解算都是以 TMS320C6416 DSP 芯片为处理核心，因此系统程序必须移植到 TMS320C6416 DSP 上。本小节接下来将介绍基于 DAMP6416P 开发板的系统程序的开发。

2.4.1 DSP 软件开发

C6000 系列芯片编程的一个重要特点就是其 C 编译器支持 C 语言，因此开发人员只要掌握了标准的 C 语言，就可以对 C6000 系统的 DSP 芯片进行编程。对于由 C

语言编写的最基本的程序可以经过图 2.4.1.1 的步骤产生可执行文件。C 编译器编译.c 程序生成.asm 汇编源文件,再由汇编器编译生成.obj 目标文件,最后由连接器生成.out 执行文件。其中 Link.cmd 文件包含了 DSP 和目标板的内存空间的定义以及代码段、数据段是如何分配到这些内存空间的。用户可以自己编辑定义这个文件。

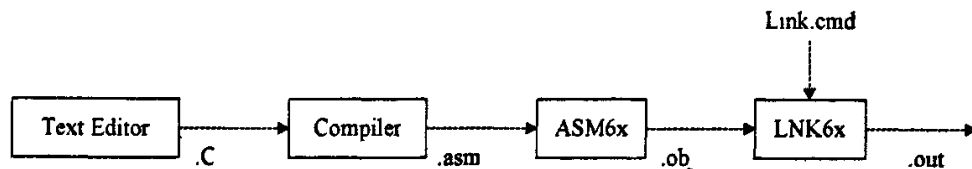


图 2.4.1.1 C 代码产生可执行文件的过程

虽然根据上面的代码开发流程可以构建 DSP 应用程序,但是为了加快 DSP 应用的开发进度,缩短系统的开发时间,各大 DSP 芯片生产厂家推出了很多的 DSP 程序开发工具以方便用户使用。TMS320C6416 是 TI 公司推出的芯片,因此接下来将介绍一下 TI 公司的 DSP 开发工具。

A. CCS 开发工具^[7]

Code Composer Studio(CCS)是 TI 公司推出的一个集成性 DSPs 软件开发工具。

CCS 集成了以下软件工具:

- C6000 代码产生工具(包括 C 的编译器、汇编优化器、汇编器和连接器)
- Code Composer Studio 集成开发环境
- DSP/BIOS 插件
- RTDX 插件, 主机接口和应用程序接口(API)
- 实时分析和数据可视化工具

在 CCS 集成环境下开发者可以进行一切所需的开发,包括项目的建立,源程序的编辑以及程序的编译和调试。CCS 提供了一个图形接口来设置代码产生工具的选项。它将图 2.4.1.1 的开发过程都隐藏在集成开发环境中。除此之外,CCS 还提供了更加丰富和强有力的调试手段如实时分析和数据可视化等手段来提高程序调试的效率和精度,大大降低了 DSP 程序的开发难度,使开发者可以将精力集中在应用的开发上。一般来讲,复杂的算法实现可选用 C 编程,之后再优化,这样对于很多运算中所需要的数学公式可直接调用库函数实现。对于耗时特别多的程序段可以根据需要使用汇编进行编程,减少处理时间。

B. DSP/BIOS^[7]

DSP/BIOS 是 TI 公司推出的针对 DSP 的一个静态内核程序,它为基于 DSP 的应用程序提供包括线程管理、通讯、定时、资源控制和分析等基本系统服务。应用 DSP/BIOS,开发者只需要通过简单的静态配置即可实现对复杂的多任务机制的有效

管理和调度。它大大简化了多任务机制的实现,也为系统资源的管理提供了一个简单而有效的方法。

DSP/BIOS 由三个部分组成: DSP/BIOS 实时内核和 API、DSP/BIOS 实时分析工具以及 DSP/BIOS 配置工具。DSP/BIOS 实时内核和 API 被划分成多个模块。用户可以根据需要实现的功能调用所需的模块。由于 DSP/BIOS 的 API 都是以 C 可调用的形式提供的,所以可在 C 语言程序中直接使用,简化了程序的编写。DSP/BIOS 配置工具可以执行以下功能:设置 DSP/BIOS 模块的参数、可视化的建立 DSP/BIOS 对象、设置芯片支持库的参数。当然,在 DSP/BIOS 应用程序运行时也可以动态的建立这些对象。在本系统的图像处理程序中,在 main()函数要结束时系统程序建立一个动态的线程对象,程序退出 main()函数后,将进入这个动态线程对象运行。DSP/BIOS 实时分析工具可以辅助 CCS 实现程序的实时调试,以可视化的方式观察程序的性能,而且几乎不影响应用程序的运行。一般 DSP/BIOS 程序开发过程如下,有些步骤可能需要重复执行:

- 1) 用配置工具建立应用程序要使用的对象;
- 2) 保存配置文件,保存的同时会生成在编译和链接应用程序时需要使用的文件;
- 3) 为应用程序编写程序框架。本文将使用 C 语言编写;
- 4) 在 CCS 环境下编译并链接程序;
- 5) 使用仿真器和 DSP/BIOS 分析工具来测试应用程序
- 6) 重复 1)~5)直至程序运行正确;

DSP/BIOS 及其分析工具在设计上考虑到降低对内存和 CPU 负荷的需求,采用了很多技术,如 API 函数都是模块化的设计,大部分库函数用汇编语言编写等。

2.4.2 基于 DAM6416P 的系统程序开发

本系统的程序是基于 DSP/BIOS 开发的。DAM6416P 图像处理平台分别提供了针对 DSP 程序开发的板级开发函数库 IEKLIB 和针对主机程序开发的主机开发函数库 IEKSDK。因为本系统的图像处理平台将挂载在浮空观测平台上独立运行,因此需要使用 IEKLIB 函数库中的函数。针对各个功能模块 IEKLIB 定义了相应的函数,用户可以根据自己需要的模块选取合适的函数来开发 DSP 应用程序。

A. Video 模块

为了方便用户开发视频应用程序,在 IEKLIB 中,定义了一个 VIDEO 模块,用户所有的视频 I/O 操作将利用这个 VIDEO 模块完成。在 VIDEO 模块中,又进一步定义了负责视频采集的 VIN 模块和负责视频生成的 VOUT 模块这两个模块。IEKLIB 为视频采集功能提供的一个数据结构 IEKC64_VIDEOIN,为视频输出功能提供的一个数据结构 IEKC64_VIDEOOUT。

在系统程序中, 本文将使用 Video 模块来实现视频图像的采集和输出, 分别定义 videoIn 和 videoOut 并使用默认值初始化如下:

```
IEKC64_VIDEOOUT videoOut = IEKC64_VIDEOOUT_DEFAULT;
```

```
IEKC64_VIDEOIN videoIn = IEKC64_VIDEOIN_DEFAULT;
```

接着就要根据本系统程序的需要设置 videoIn 和 videoOut 变量。设置 videoIn 变量如下:

```
videoIn.Standard=PAL;
```

```
videoIn.Resolution=RES_PAL_CIF;
```

```
videoIn.FrameFormat=YUV422PIXEL;
```

```
videoIn.VideoInSelect=COMPOSITE;
```

```
videoIn.nTemporalDecimationFactor=1;
```

```
videoIn.isOneShot=FALSE;
```

```
videoIn.nFramesInBuffer=4;
```

```
videoIn.nFramesToKeep=1;
```

```
videoIn.pCaptureBuffer=(Uint32*)CaptureBuffer;
```

首先定义输入的视频为 PAL 制式的, 图像分辨率为 PAL_CIF 352×288 , 采集的视频图像是 4:2:2 YUV 格式的。isOneShot 变量定义 VIN 模块的工作模式, 这里指定为连续工作模式, 也就是不间断的采集视频图像。pCaptureBuffer 指向事先分配好的输入视频图像数据缓冲区, nFramesInBuffer 定义了这个缓冲区中可以存放的图像帧的数目, nFramesToKeep 定义了需要保留的帧的数目。接下来设置 videoOut 变量如下, 其中赋值的含义同上:

```
videoOut.Standard= PAL;
```

```
videoOut.Resolution= RES_PAL_CIF;
```

```
videoOut.FrameFormat=YUV422PIXEL;
```

```
videoOut.VideoOutSelect=COMPOSITE;
```

设置了 videoIn 和 videoOut 变量后就可以使用 VIN 和 VOUT 模块。

B. 串行通讯模块

在浮空平台姿态测量系统中, 高速图像处理平台需要接收地面工作人员的控制信息。地面的控制信息经无线电台上传后到达 ARM 转接系统, 由它选择确定的命令给高速图像处理平台, 因此需要建立这两者之间的通讯。在 DAM6416P 板上支持的串行通讯方式包括: RS422 和 UART。在 IEKLIB 中, 定义了一个 SER 模块来管理 RS422 通讯端口, 定义了一个 UART 模块来管理 RS232 串行通讯端口, 系统使用了其中的 UART 模块。配置 UART 端口的数据结构为: IEKC64_UART_CONFIG。定义变量 uartcfg 并配置如下:

```

IEKC64_UART_CONFIG  uartcfg = IEKC64_UART_CONFIG_DEFAULT;
uartcfg.BaudRate = UART_9600BDS;
uartcfg.Parity = UART_NO_PARITY;
uartcfg.RxBufferSize = UART_64B;
uartcfg.TxBufferSize = UART_64B;
uartcfg.pRxBuffer = RcvDataFIFO;
uartcfg.pTxBuffer = TrsDataFIFO;

```

系统设定串口的波特率为 9600bits/s。UART 模块使用两个 FIFO 数据结构作为发送和接收的缓冲区，这里分别设定发送和接收的地址为 TrsDataFIFO 和 RcvDataFIFO。在接收和发送数据前，必须首先打开串行端口。

C. 程序实现

前面介绍了系统程序中将要使用到的板上功能模块，在基于 DSP/BIOS 的系统应用中，DSP/BIOS 初始化所有模块后，系统将调用 main()函数。用户可以在 main()中可以添加自己的初始化代码。为了使用 DAM6416P 提供的功能，必须首先对 DAM6416P 板进行初始化，同时也要对 CSL 进行初始化。由于本文将使用上面介绍的 Video 模块和 UART 模块，因此在 main()函数内还要初始化这两个模块，打开 VIN、VOUT 和 UART 模块：

```

CSL_init();
status = IEKC64_init();
threadVideoInit();           //Video module initialize function
threadUARTInit();           //UART module initialize function

```

接着系统程序定义了一个动态的 TSK 模块，与这个模块相联系的就是 tsk_main 线程。

```

attrs = TSK_ATTRS;
attrs.priority = 4;
attrs.stacksize = 9024;
attrs.stackseg = seg_sdrama;
TSK_create((Fxn)tsk_main, &attrs);

```

在 main()函数运行结束时，系统将由 DSP/BIOS 托管，使能 DSP/BIOS 模块并使用用到的模块进行工作。因此接着系统将执行 tsk_main 线程。在这个线程中，程序将使用 VIN 模块逐帧采集视频图像，接收到地面辅助人员发出的开始命令后，系统就开始调用系统算法处理输入的图像帧，处理完毕后，由 VOUT 模块负责输出视频图像，同时将获得的姿态角度值传给地面计算机。在图像处理的同时程序仍然可以接收地面人员的命令。VIN 模块不断的采集图像，tsk_main 线程循环执行，实现对浮空

平台姿态的实时测量。

2.4.3 DSP 程序的优化^[12]

在开始使用 C 语言编写应用程序的时候,可以不考虑 C6000 的相关知识。在 CCS 环境下用 C6000 的代码产生工具,编译产生在 C6000 内运行的代码,证明其功能正确性。但如果程序的性能不能够达到实际的需要,就应该分析确定代码中存在的影响性能的低效率段。在实际工作状态中,经常需要对图像进行全屏处理,对所编写的程序代码的效率有较高要求。为了改进程序的运行性能,必须对这些代码进行优化。通常通过下述的方法来改进 C 语言程序:

使用 intrinsics(内联函数)替代复杂的 C 语言程序。C6000 编译器提供了很多 intrinsics,可以快速优化 C 代码。Intrinsics 是直接 with C6000 汇编指令映像的在线函数。不易用 C/C++ 语言实现其功能的汇编指令都有对应的 intrinsics 函数。

对短字长的数据使用宽长度的存储器访问。C6000 访问存储器是很费时的。要提高 C6000 数据处理率,应使一条 Load/Store 指令能访问多个数据。当程序需要对一连串短型数据进行操作时,可使用字(整型)一次访问两个短型数据;然后使用 C6000 相应指令,对这些数据进行计算,以减少对内存的访问。而对 C64 系列而言,由于其改进的结构,可以使用双字长访问存储器,更能加快程序的执行,这也是 C64X 系列芯片的一个突出优点。这种类型的优化称作数据打包处理。

改进 C 语言循环程序,使之更有利于用软件流水技术优化。软件流水是一种用于安排循环内的指令运行方式,使循环的多次迭代能够并行执行的一种技术。编译 C/C++ 程序时,使用 -o2 和 -o3 选项,编译器就能从程序内收集信息,尝试对程序循环实现软件流水。在 C 语言程序优化阶段,用户可以不直接参加软件流水的实现,只是向编译优化器提供信息。

2.5 本章小结

本章简要介绍了本系统使用的高速图像处理平台以及相关的软件开发。此平台是基于 TMS320C6416 芯片设计的,采用了 DSP+CPLD/FPGA 架构。其中 DSP 芯片负责图像数据的处理,而 CPLD/FPGA 芯片负责整个平台系统的控制和部分图像数据的传输功能。

3 图像处理算法

3.1 概述

数字图像处理技术起源于二十世纪二十年代,但当时受条件的限制一直没有取得较大进展,直到二十世纪六十年代后电子技术、计算机技术有了相当的发展,数字图像处理技术才开始进入了高速发展时期。经过几十年的发展,数字图像处理技术目前已广泛应用于工业、微生物、医学、航空航天以及国防等许多重要领域,而且多年来一直得到世界各科技强国的广泛关注。

数字图像处理研究的主要目的在于通过对原始图像数据的再加工,使之能具备更好的视觉效果或能满足某些应用的特定要求。广义的图像处理主要包括图像的采集、编码、存储和传输、图像的合成、图像的增强、变换和复原,模式识别、图像分割,目标检测,以及数学形态学等诸多内容;而我们一般指的是狭义上的,大致可以概括为图像增强、图像复原与重建、图像分割、图像编码压缩以及图像识别等几大类。图像处理着重强调图像之间进行的各类变换,以及对图像中感兴趣的目标进行特征提取与目标的分割。

通过对图像的分割、目标特征的提取,可将经初步图像处理的图像特征向量提取出来,将原始的数字图像转化成为一种有利于目标表达的更抽象、更紧凑的表现形式,从而使高层的图像分析、图像理解以及模式自动识别等成为可能。

图像处理技术近几年发展非常迅猛,每年均有数以百计的新算法诞生,其中包括小波变换等很多有相当影响的算法,这些算法在设计时大量运用了数学、数字信号处理、信息论以及色度学的有关知识,而且不少新算法还充分吸取了神经网络、遗传算法、人工智能以及模糊逻辑等相关理论的一些思想,开阔了图像处理的设计思路^[14,15]。

3.2 图像处理算法设计

本系统是基于图像处理技术的,所以图像处理算法的设计是整个系统程序设计的关键。对拍摄到的地标画面进行图像处理的目的是为了确定屏幕上信标点的坐标位置,为解算浮空平台的姿态角提供位置数据。图 3.2.1 为试验中拍摄到的地标画面,上面的六盏小灯为地标上的六个信标点。

要确定一个物体在屏幕中的具体位置,本文采取的图像处理算法是先将图像二值化,使物体与背景分离开,再对二值图像中的对象物进行轮廓跟踪找到物体上下左右的边界点,根据这四个边界点的坐标位置即可计算出物体的中心位置。

由于地标是人为设置的,如图 3.2.1 所示,为了便于图像处理我们尽可能使信标点与背景的灰度值相差大一些,这样在图像预处理、图像分割以及轮廓跟踪等算法的

设计时, 选用一些较为基础的算法即可得到令人满意的效果。

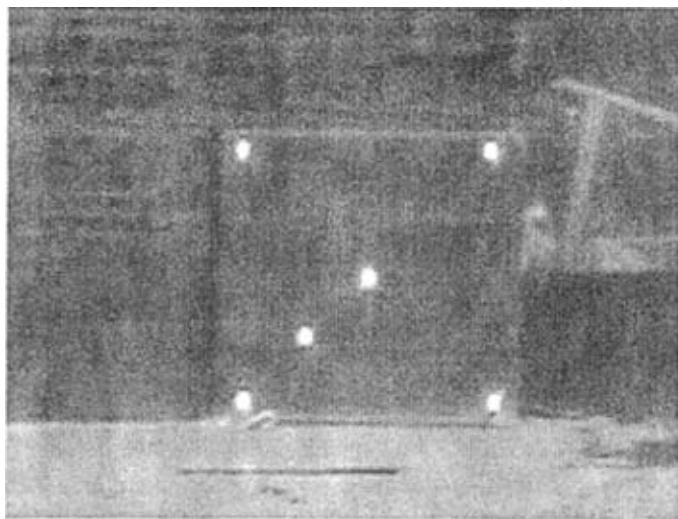


图 3.2.1 试验中拍摄到的地标画面

本小节将根据实际情况设计本系统使用的图像处理算法。首先将 CCD 拍摄到的地标图像进行预处理, 主要采取数字滤波的方式, 改进图像的质量, 接着进行图像的二值化处理, 由于地标是人为设置的, 它与背景的灰度值相差较大, 我们只需要采用简单的阈值分割算法就能得到理想的二值图像。最后采用目标邻域边界智能跟踪算法对二值图像中的信标点进行轮廓跟踪得到地标在屏幕中的坐标位置。

图 3.2.2 为图像处理算法的流程图, 其中各部分将在下面几个小节中详细介绍。

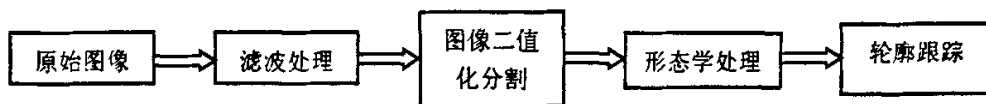


图 3.2.2 图像处理算法流程图

3.3 图像的预处理

为了准确的识别出图像中的信标点, 需要对输入的图像进行预处理。图像预处理的目的是为了去除输入图像中的噪声和杂波, 提高图像的信噪比, 改进图像的质量, 减少需要处理的数据量。因此, 图像预处理具有重要的意义。图像预处理主要通过数字滤波的方式实现。

3.3.1 图像中的噪声

图像的噪声按照其产生的原因可以分为: 外部噪声和内部噪声。外部噪声是指由系统外面的干扰串扰进系统内部而引起的噪声。而内部噪声是系统运行时一直存在的, 由系统设备的物理性质所决定。在分析噪声对图像的影响时, 可以将图像和噪声

关系抽象成下面两种形式:

A. 加性噪声

加性噪声和图像自身的信号强度是不相关的。带有加性噪声的图像 g 可以看作是理想的图像数据 f 和噪声 n 之和, 即:

$$g=f+n \quad (3.3.1.1)$$

B. 乘性噪声

乘性噪声和图像自身的信号强度是相关的, 往往随着图像信号的变化而变化。它的表现形式如下, 即:

$$g=f+f*n \quad (3.3.1.2)$$

为了便于分析和处理, 往往将乘性噪声近似地认为是加性噪声, 并总是假设信号和噪声是相互统计独立的。

图像中的噪声和信号混和在一起, 特别是乘法噪声, 使得图像的质量下降。因此在分析图像数据前, 一般需要对原始图像进行滤波处理。由于图像中噪声的随机性, 噪声滤波方法的选取要根据具体的情况决定。如果滤波方法选取不当, 就会使图像本身的细节如边界轮廓、线条等变得模糊不清, 使得后续的图像分析更加困难。一般对滤波去噪处理的要求是: 一是尽量保持原始图像的细节信息, 如边界轮廓、角点等; 二是滤波能够使图像清晰, 即处理后的视觉效果好。

图像去噪的处理方法有基于空域和频域两种。在空域方法中, 图像去噪使用邻域运算, 不同的邻域运算的效果各不相同; 在频域处理中, 图像去噪实际上是低通滤波, 让位于低频部分的主要信号通过, 阻止属于高频部分的噪声信号。

常用的基于空域的图像噪声去除方法^[14]有: 邻域平均法、极值滤波法、中值滤波法、形态学滤波器等。邻域平均法主要是利用图像的噪声性质来达到去除的目的, 通常是通过消除或减弱图像噪声灰度和周围像素灰度的存在的急剧变化使得图像在外观上去噪, 提高图像的质量。极值滤波法包括最大值滤波法和最小值滤波法, 实际情况下很少使用, 因为需要知道图像中的噪声表现为极大或极小。中值滤波方法应用很广泛, 它是图像预处理的主要方法之一。基于形态学的滤波处理由于其运算快、效果好越来越多的被应用。本文主要介绍和比较了中值滤波法和形态学滤波法。

3.3.2 中值滤波法

为了抑制噪声, 一般选取的是低频滤波方法, 但由于对象的边界轮廓区域包含大量的有用高频信息, 所以如果选取低频滤波方法必然使得图像的边缘模糊。如果为了突出图像中各个对象的边缘, 需要选取高通滤波的方法, 但是由于噪声通常属于图像的高频分量, 高通的方法必然使得图像中的噪声分量得到加强。中值滤波法是一种对于高频干扰和孤立噪声有良好抑制, 同时对图像边缘能很好保持的非线性图像滤波

技术。

中值滤波实际上就是一种邻域运算,类似于卷积,对于二维图像,中值滤波定义为:

$$Y_{i,j} = \text{Median } X_{i,j} = \text{Median}[X_{i+r,j+s}; (r,s) \in A] \quad (3.3.2.1)$$

式中: A 代表平面窗口, r 代表水平尺寸, s 代表垂直尺寸; $X_{i,j}$ 是被处理的图像平面上的一个点, 坐标为 (i,j) ; $Y_{i,j}$ 是以 $X_{i,j}$ 为中心, 窗 A 口所套中范围内像素灰度的中值即中值滤波的输出。

一般来说, 小于中值滤波器窗口面积一半的亮的或暗的物体基本上会被滤除掉, 而较大的物体则几乎会原封不动的保存下来。中值滤波器去除噪声的效果依赖于两个相关的但完全分离的要素: 邻域的空间范围和中值计算中涉及的像素数。中值滤波器的这两个滤波要素必须根据具体的应用进行调整。通常二维的中值滤波比一维中值滤波更能抑制噪声。二维中值滤波的窗口形状有很多种选择, 可以根据实际情况需要选取不同的窗口。选取窗口时需要考虑滤波所需要的时间, 选取的窗口越大, 滤波排序耗费的时间就越长。常用的窗口有十字形的、菱形的、圆形的和方形等。

由上所述, 中值滤波在运算过程中要进行大量的比较和赋值运算, 计算量非常大, 对于实时图像处理来说是很不利的。实际应用时可以采用快速算法来解决这个问题, 即首先求出滤波窗口内水平各行像素灰度值的中值, 再求出这些各行灰度中值的中值作为中值滤波的输出。

设 $n \times n$ 个像素方形滤波窗口为:

$$W = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.3.2.2)$$

则快速的方法如下:

$$Y_k = \text{Median}(X_{k1}, X_{k2}, \cdots, X_{kn}), k = 1, 2, \cdots, n \quad (3.3.2.3)$$

$$Y = \text{Median}(Y_1, Y_2, \cdots, Y_n) \quad (3.3.2.4)$$

3.3.3 形态学滤波法

形态学运算^[15]是针对数字图像依据数学形态学(Mathematical Morphology)的集合论方法发展起来的图像处理方法。数学形态学起源于岩相学对岩石结构的定量描述工作, 近年来在数字图像处理和机器视觉领域中得到了广泛的应用, 形成了一种独特的数字图像分析理论和方法。

通常形态学图像处理表现为一种邻域运算形式。一种特殊定义的邻域称之为“结

构元素”(Structure Element), 在图像的每个像素位置上它与数字图像对应的区域进行特定的运算, 运算的结果作为输出图像中相应像素位置处的灰度值。形态学运算的效果取决于结构元素的大小、内容以及逻辑运算的性质。

数学形态学是由一组形态学的代数运算子组成的。最基本的运算子有: 腐蚀(Erosion)、膨胀(Dilation)、开(Opening)、闭(Closing)等。用这些运算子及其各种不同形式的组合可以对图像形状和结构进行分析及处理, 包括图像分割、特征提取、边界检测、图像滤波、图像增强和恢复等方面的工作。对于灰度图像和二值图像, 形态学滤波的定义有一些不同。下面简要介绍一下本系统使用的一些运算子原理。

A. 图像腐蚀

对于二值图像, 腐蚀(Erosion)在形态学中的作用是消除边界点, 使边界向内部收缩。腐蚀可以用来消除小且无意义的物体。

对于一个给定的目标图像 X 和一个结构元素 B , 腐蚀概念定义为:

$$E = X \otimes B = \{(x, y) | B_{xy} \subseteq X\} \quad (3.3.3.1)$$

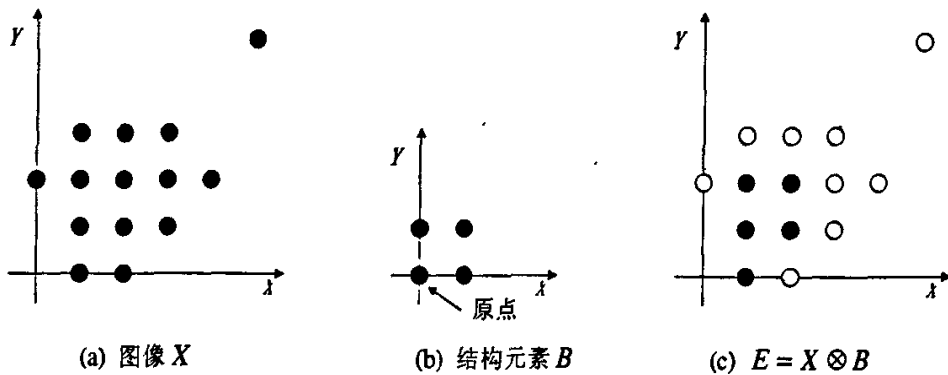


图 3.3.3.1 腐蚀运算几何解析 (白点表示腐蚀的点)

也就是说, 当结构元素 B 在图像上移动时, 由 B 对 X 腐蚀所产生的二值图像 E 是满足以下条件的点 (x, y) 的集合: 如果 B 的原点平移到点 (x, y) , 那么 B 将完全包含于 X 中。

从上面的几何解析过程可以看出, 左上角的噪声被滤除掉了, 这对于后面的物体提取是有帮助的; 另外边界也向内收缩了。

对于灰度图像来说, 图像腐蚀的过程用下面的函数表示:

$$E = (X \otimes B)(x, y) = \min_{i,j} [X(x-i, y-j) - B(-i, -j)] \quad (3.3.3.2)$$

灰度图像的腐蚀运算过程就是以结构元素 $B(i, j)$ 为模板, 搜寻图像在结构元素大小范围内灰度运算的极小值。

B. 图像膨胀

对于二值图像,膨胀是将与物体接触的所有背景点合并到该物体中,使边界向外部扩张的过程。可以用来填补物体中的空洞。一般意义的膨胀概念定义为:

$$D = X \oplus B = \{(x, y) | B_{xy} \cap X \neq \emptyset\} \quad (3.3.3.3)$$

由 B 对 X 膨胀所产生的二值图像 D 是满足以下条件的点 (x, y) 的集合: 如果 B 的原点平移到点 (x, y) , 那么它与 X 的交集非空。

膨胀运算的具体过程如图 3.3.3.2 所示。由图可见, X 被结构元素 B 膨胀后边界向外扩张了。

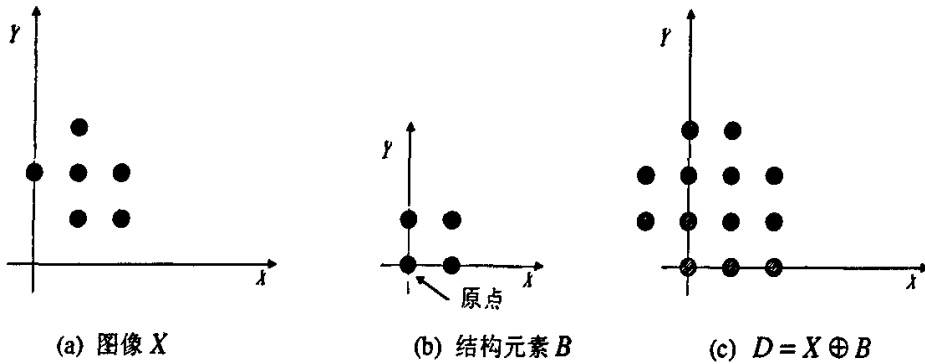


图 3.3.3.2 膨胀运算几何解析 (灰点表示膨胀的点)

对于灰度图像,图像的膨胀运算的定义类似与灰度图像的腐蚀运算:

$$D = (X \oplus B)(x, y) = \max_{i,j} \{X(x-i, y-j) + B(i, j)\} \quad (3.3.3.4)$$

灰度图像的膨胀运算同样是以结构元素 $B(i, j)$ 为模板, 搜寻图像在结构元素大小范围内灰度运算的极大值。

C. 开和闭运算

在腐蚀和膨胀的基础上, 依据不同的组合方式可以构造出各种不同的形态学运算子。开运算和闭运算是比较常用的两种运算。

先腐蚀后膨胀的过程称为开运算。开运算一般用来消除小物体、在纤细点处分离物体、平滑较大物体的边界, 同时并不明显改变物体的面积。

$$\text{open}(X, B) = X \circ B = (X \otimes B) \oplus B \quad (3.3.3.5)$$

先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算。闭运算一般用来填充物体内部细小空洞、连接邻近物体、平滑其边界的同时并不明显改变其面积。

$$\text{close}(X, B) = X \bullet B = (X \oplus B) \otimes B \quad (3.3.3.6)$$

下面的图 3.3.3.3 是对二值图像进行开运算和闭运算的结果。

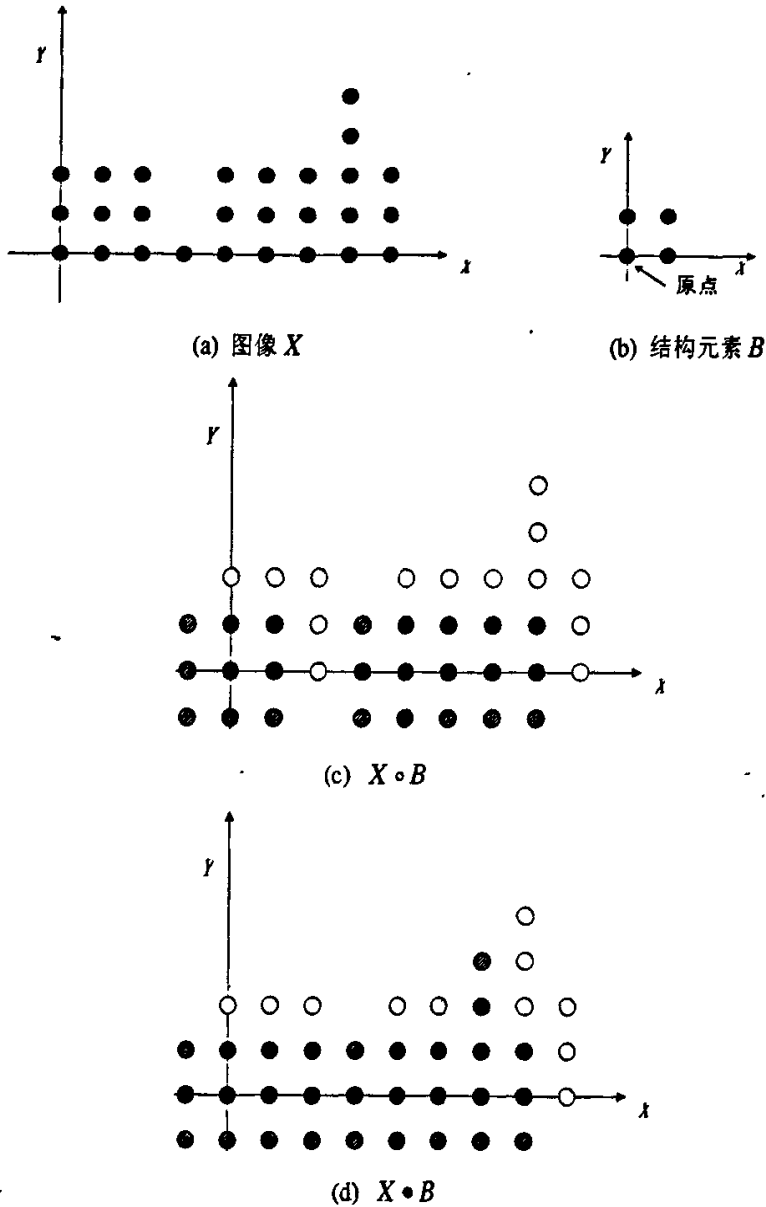


图 3.3.3.3 开、闭运算几何解析

3.3.4 结果讨论

实验中本文分别使用中值滤波法和形态学滤波法对原始图像进行滤波处理。输入图像的大小为 150×100 。图 3.3.4.1 的 a 和 b 分别表示中值滤波和形态学滤波使用的滤波窗口，其中带*号的点为滤波窗口原点。为了提高中值滤波的速度，本文使用了前述的快速算法。对于基于灰度的形态学滤波，本文使用图 3.3.4.2 所示的滤波处理过程。

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1^* & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(a)

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1^* & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

(b)

图 3.3.4.1 滤波窗口

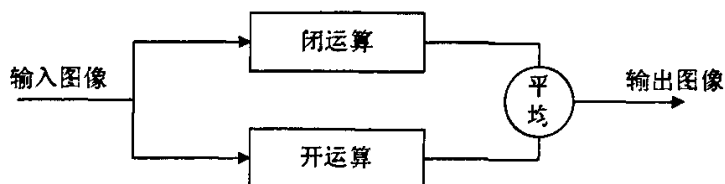
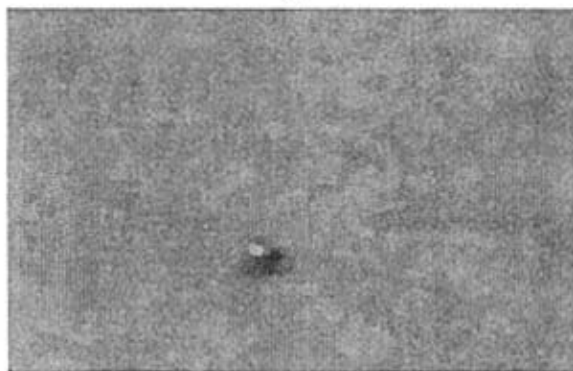


图 3.3.4.2 形态学滤波图

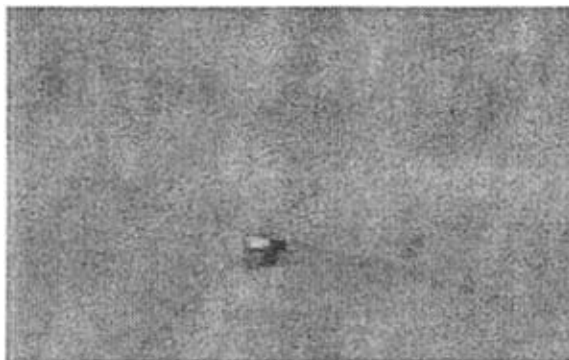
图 3.3.4.3 的(a)、(b)、(c)分别为原始图像、中值滤波图像和形态学滤波图像。从图中可以对比看出处理后的效果。



(a)



(b)



(c)

图 3.3.4.3 预处理结果

表 3.3.4.1 给出了图像滤波前后 SNR 的统计特性。信噪比计算使用如下的公式：

$$SNR = \frac{B - T}{\sigma} \quad (3.3.4.1)$$

其中： T 代表目标部分的平均灰度； B 代表背景部分的平均灰度， σ 代表图像灰度的标准差。从表 3.3.4.1 可以看出，中值滤波和灰度形态学滤波的方法都能够起到抑制图像的噪声，增强目标信噪比的作用。比较中值滤波和形态学滤波两种方法，形态学滤波的方法更优，而且由于形态学滤波算法具有并行执行结构，易于 DSP 芯片并行执行性能的发挥。因此在接下来处理中将选用形态学滤波对图像进行预处理。

表 3.3.4.1 图像滤波前后统计特性

图像类型	信噪比(SNR)	图像灰度标准差
原始图像	6.4526	6.4060
中值滤波后图像	7.5016	6.2554
灰度形态学滤波图像	8.0651	6.4872

3.4 图像分割

摄像机拍摄到的画面一般由多个目标组成，这些目标反映在图像中就是众多的区域，每个区域可以理解成具有某种意义的最小单元。图像分割的任务就是把图像分成互不交迭的有意义的区域，以便进一步的处理、分析和应用。分开的区域一般是图像中系统感兴趣的目标。分割的精度程度影响甚至决定了系统的性能。

由于地标与背景的灰度值相差较大，本文将采取自适应阈值分割的方法。图像阈值分割是一种广泛使用的图像分割技术。它利用了图像中要提取的目标与其背景在灰度特性上的差异，把图像视为具有不同灰度级的两类区域（目标和背景）的组合，分割时选取一个合适的阈值，以确定图像中的每一个像素点应该属于目标还是背景区域，产生相应的二值图像。

常用的阈值选取方法包括：最大类间方差法、最佳熵法、矩不变法、模糊聚类法和极小误差法等。由于最大类间方差法具有算法简单，易于实现且计算量小等优点，所以我们选用最大类间方差来确定图像二值化的阈值^[18]。

3.4.1 最大类间方差法

最大类间方差法是由 Otsu^[40]提出来的经典的非参数、无监督自适应阈值方法，它是在判别式分析与最小二乘法原理的基础上推导出来的，不需要其它的先验知识，因而适用范围很广。它通过最大化判别函数，选取最佳阈值。

设一幅灰度图像的灰度值为 $[0, 1, 2, \dots, L-1]$ 级，灰度级为 i 的像素点数为 n_i ，图像的总像素数为：

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} n_i \quad (3.4.1.1)$$

计算归一化的直方图：

$$p_i = n_i / N \quad (3.4.1.2)$$

$$\sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (3.4.1.3)$$

计算图像灰度均值 μ_T ：

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i * p_i \quad (3.4.1.4)$$

设图像灰度值的集合用阈值 T 来划分，分成两组： T 以上的和 T 以下的，即根据门限 T 划分为 C_1 和 C_2 两类： $C_1: \{0, 1, 2, \dots, T\}$ 和 $C_2: \{T+1, T+2, \dots, L-1\}$ 。最大类间方差法就是根据 C_1 和 C_2 两类的平均方差与各组方差的比值为最大确定阈值 T 。

C_1 和 C_2 类的出现概率及均值分别定义为：

$$\omega_1(T) = \sum_{i=0}^T p_i = \omega(T) \quad (3.4.1.5)$$

$$\omega_2(T) = \sum_{i=T+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega(T) \quad (3.4.1.6)$$

$$\mu_1(T) = \sum_{i=0}^T i * \frac{p_i}{\omega_1(T)} = \frac{\mu(T)}{\omega(T)} \quad (3.4.1.7)$$

$$\mu_2(T) = \sum_{i=T+1}^{L-1} i * \frac{p_i}{\omega_2(T)} = \frac{\mu_T - \mu(T)}{1 - \omega(T)} \quad (3.4.1.8)$$

其中, $\omega_1(T)$ 和 $\omega_2(T)$ 是各类出现的概率, 而 $\mu_1(T)$ 和 $\mu_2(T)$ 为各类内均值。 C_1 和 C_2 类的方差分别定义为:

$$\sigma_1^2(T) = \sum_{i=0}^T (i - \mu_1(T))^2 * \frac{p_i}{\omega_1(T)} \quad (3.4.1.9)$$

$$\sigma_2^2(T) = \sum_{i=T+1}^{L-1} (i - \mu_2(T))^2 * \frac{p_i}{\omega_2(T)} \quad (3.4.1.10)$$

则 C_1 和 C_2 类内方差 $\sigma_w^2(T)$ 为:

$$\sigma_w^2(T) = \omega_1(T)\sigma_1^2(T) + \omega_2(T)\sigma_2^2(T) \quad (3.4.1.11)$$

则 C_1 和 C_2 类间方差 $\sigma_b^2(T)$ 为:

$$\sigma_b^2(T) = \omega_1(T)(\mu_1(T) - \mu_T)^2 + \omega_2(T)(\mu_2(T) - \mu_T)^2 \quad (3.4.1.12)$$

设分离度为 $\eta(T)$, 则

$$\eta(T) = \left[\frac{\sigma_b^2(T)}{\sigma_w^2(T)} \right] \quad (3.4.1.13)$$

从 0 到 $L-1$ 之间遍历式(3.4.1.13), 找到使式(3.4.1.13)最大的 T 值即为分割的阈值。

3.4.2 分割结果

下面的图 3.4.2.1 是对形态学滤波处理后的图像使用上面的最大类间方差法进行分割所得结果。从结果图可以看出, 除了分割出的目标外, 图像中还有一些杂点, 这些杂点将对下一步的轮廓跟踪造成影响, 导致信标点的误识别, 在后续的处理中将去除这些杂点。

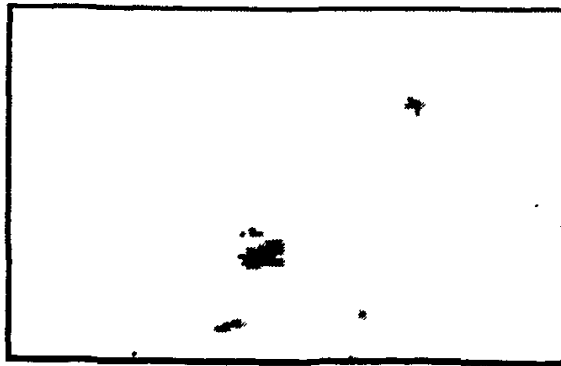


图 3.4.2.1 分割结果

3.4.3 形态学处理和孔洞消除

由上述分割算法的处理结果来看,由于目标较小和存在噪声的干扰,分割的图像中除了需要的目标外,还存在一些孤立的点、孤立的小区域、小间隙和孔洞,这些都会对下一步的轮廓跟踪造成影响,导致信标点的误识别。因此需要将孤立的点、小区域去除,将小间隙连接起来,同时将小孔洞填充。由前述介绍的二值图像形态学的介绍可知,适当选取形态运算子和滤波窗口能够很好的排除杂点,消除物体内部的细小空隙。所以为了给后续的轮廓跟踪工作创造更好的条件,本系统选择了形态学滤波方法中的二值图像的膨胀和腐蚀方法来完成上述功能。系统实现中使用式(3.4.3.1)表示的窗口进行形态学滤波操作。

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4.3.1)$$

经过形态学处理后,一些小的干扰区域已经被去除,小的间隙也已经被连接,小的孔洞也已经被填充,但是目标内部可能仍然会有相对较大的孔洞存在。为了将这些孔洞区域填充,首先计算各个连通的孔洞区域的面积,当某个孔洞区域面积小于某个阈值时,就将这些区域改为属于目标部分。目标内部出现大的孔洞区域一般是因为目标物体的灰度分布相差太大。图 3.4.3.1 是处理后的结果,可以看见属于目标的部分都被识别出来了,目标的边缘也比较清晰,这样在下一步的轮廓跟踪中,就能辨认出信标点的边界点,找到信标点在屏幕上准确的坐标位置。

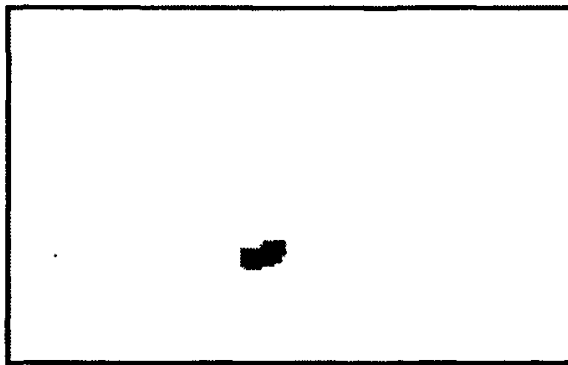


图 3.4.3.1 滤波和孔洞消除后图像

3.5 轮廓跟踪

经过图像的二值化处理,信标点的灰度值变为 0,背景的灰度值为 255。为了找到屏幕上这六个信标点的中心坐标位置,可以对二值图像中的信标点进行轮廓跟踪。在跟踪的过程中通过对边缘点位置的比较找出信标上下左右四个方向上的边界点,即

可得到信标点的中心位置。

3.5.1 概述

在模式识别领域, 图像的形状特征是特征提取的重要指标。在很多情况下只有知道了图像的形状特征, 才能直观地或定量地对图像进行分析。而边界轮廓的确定又是研究形状特征的前提, 也是计算机对图像识别的前提。所谓跟踪就是给定一个目标的图像序列, 通过跟踪目标物体的轮廓, 在图像中找出感兴趣的部分, 例如物体随时间变化的形状和当前的位置等一些重要信息^[23]。

3.5.2 常用的轮廓跟踪算法

目前轮廓跟踪的算法很多, 比较典型的有“爬虫”法、目标邻域边界跟踪法^[10]、光栅扫描法等。下面对这几种方法的原理进行简要的介绍:

A. 爬虫法

爬虫法是边界跟踪最常用的一种方法, 它采用如下规则进行处理。

- 靠近边界任取一点作为起始点, 每次只前进一步, 步距为一个像素;
- 跨步由背景区进入目标区后各步向左转, 直到穿出目标区为止;
- 跨步由目标区进入背景区后各步向右转, 直到穿出背景区为止。围绕目标物循环一周后, 便会回到起始点, 那么所走过的轨迹便是对象物的轮廓。

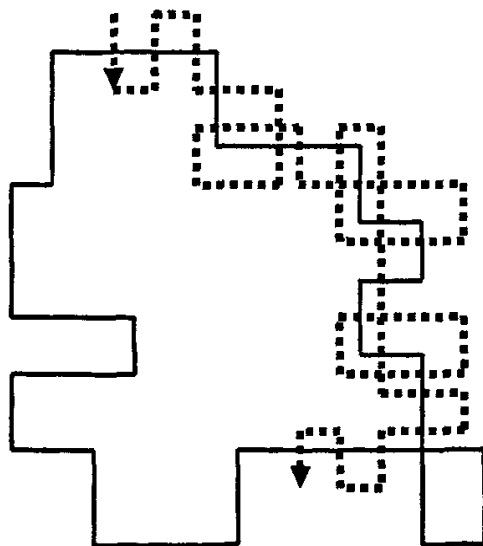


图 3.5.2.1 爬虫法确定目标边界

如上图 3.5.2.1 所示, 这种方法在遇到对象物的形状不太规则时会存在如下问题:

- 目标某些小的凸出部份可能被迂回过去;
- “爬虫”可能会掉进陷阱, 即围绕某个局部封闭的区域重复爬行, 回不到起始点;

B. 目标邻域边界跟踪法

在二值图像中, 像素 (m,n) 的上下左右存在邻接的像素 $(m,n-1)$, $(m,n+1)$, $(m-1,n)$, $(m+1,n)$ 。这四个像素称为像素 (m,n) 的四邻接, 再加上对角线方向上的四个像素, 即像素 $(m-1,n-1)$, $(m-1,n+1)$, $(m+1,n-1)$, $(m+1,n+1)$, 就构成了像素 (m,n) 的八邻接。

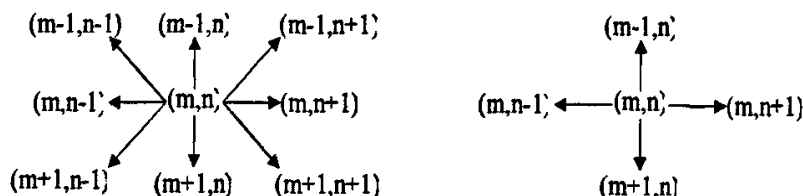


图 3.5.2.2 八邻接和四邻接定义

目标邻域边界跟踪的基本方法是: 首先按照从上到下, 从左到右的顺序搜索, 找到的第一个黑点(二值化后目标的灰度值为 0, 背景为 255)一定是最左上方的边界点, 记为 A。从这个边界点开始, 定义开始的搜索方向为左下方、下、右下、右。A 点的这四个方向的邻点至少有一个是边界点, 记为 B。接着从 B 开始找起, 按照左、左下、下、右下、右、右上、上、左上的顺序找相邻点中的边界点 C。如果 C 就是 A 点, 则表明已经绕物体的四周转了一圈, 程序此时结束。否则从 C 点继续按照左、左下、下、右下、右、右上、上、左上的顺序寻找下一个边界点, 直到找到 A 为止。而判断某个点是不是边界点很容易: 如果它的上下左右四个邻点都是黑点则此点不是边界点, 否则认为这点为边界点。轮廓跟踪的示意图如下:

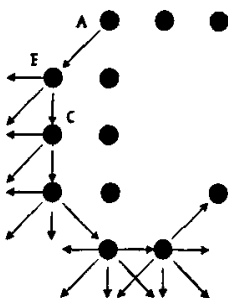


图 3.5.2.3 轮廓跟踪示意图

这种方法的不足之处也是在遇到对象物不太规则, 有单像素连通区域, 则会出现死循环的现象。

C. 光栅扫描法

对于光栅扫描法, 它是采用设定一定的阈值对图像多次进行行扫描和列扫描来跟踪的方法。它的缺点是要不断调整阈值, 而且扫描严重依赖于光栅扫描的方向性, 还要多次行扫描、列扫描配合使用。由于阈值选择的盲目性和行扫描、列扫描次数的不

确定性, 因此很难得到目标物的准确轮廓^[10]。

3.5.3 本系统采用的轮廓跟踪算法

由于地标是人为设置的, 地标上的信标点是圆球状的发光体, 与背景灰度值的区别较明显, 所以能得到比较理想的二值图像, 多数情况下分割的形状也近似于圆形。但受光照、天气等自然环境的影响, 二值化后图像中信标点的形状可能会出现一些不规则的情况, 以上几种常用的轮廓跟踪算法在遇到物体轮廓不太规则的时候会出现一些问题, 因此本系统采用目标邻域边界跟踪算法, 并在此基础上对算法进行一些改进, 使其对形状较复杂的物体也能顺利进行轮廓跟踪。

普通的目标邻域边界跟踪算法每次在搜索下一个边界点的时候, 都是按照左、左下、下、右下、右、右上、上、左上的顺序来判断的, 而改进后的算法对每次搜索的起始点作了新的规定, 其主要原理如下:

图像中的任一点总有 8 个点和它相邻, 即 8 邻域点。如图 3.5.3.1 所示。设定目标点正上方的点为 0 邻域点, 按逆时针方向 8 邻域点分别标为 0 邻域点、1 邻域点、2 邻域点、……、7 邻域点。它们相对目标点的坐标分别为(0, -1)、(-1, -1)、(-1, 0)、(-1, 1)、(0, 1)、(1, 1)、(1, 0)、(1, -1)。

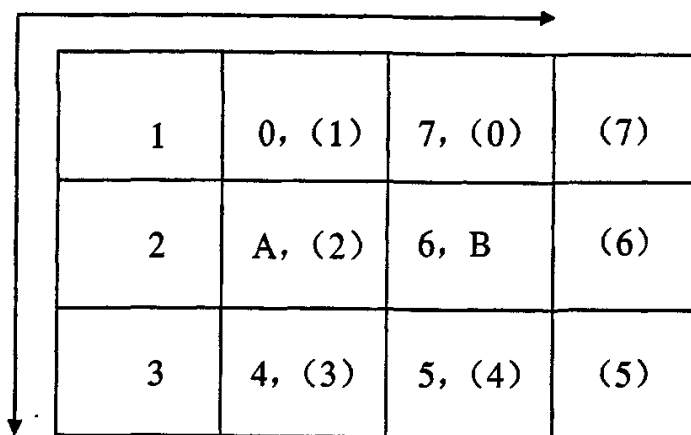


图 3.5.3.1 目标点及其八邻域点

显然, 互为邻域点的两个点符合这样的规律: 当 A 点为 B 点的邻域点时, B 点必是 A 点的按八进制计算($X + 4$)结果的个位数表示的邻域点。

例如, 在图 3.5.3.1 中, B 是 A 的 6 邻域点; 反过来, A 点是 B 点的 2 邻域点。

如果互为邻域的两个点都是对象边界点, 我们称它们为互为目标边界邻域点。

依据二值图像及八邻域点的这些性质, 改进后的目标邻域边界跟踪算法执行步骤如下:

1) 确定起始点。根据光栅扫描, 按从上到下, 从左到右的顺序搜索, 直到找到第

- 一个黑点, 存储其坐标值并记为 P_0 ;
- 2) 从 P_0 点的 0 邻域点开始, 逆时针方向研究其 8 邻域点值, 找到第一个像素值为 1 的点, 存储其坐标值并记为 P_1 。本方法中称 P_0 为 P_1 的第一目标边界邻域点;
 - 3) 以后每步都从刚找到点的第一目标边界邻域点的下一邻域点开始搜索, 寻找下一目标边界邻域点;
 - 4) 循环步骤 3), 直到 P_n 的第一目标边界邻域点为 P_0 且 P_{n+1} 的第一目标边界邻域点为 P_1 时, 跟踪结束。

例如, 在图 3.5.3.1 中当由 A 点找到目标点 B 点后, B 点的下一目标边界邻域点的寻找是从 B 点的第一边界目标邻域点 A 点(B 点的第 (2) 邻域点)的下一邻域点即第 (3) 邻域点开始搜索。

可以看出, 采用这种方法可以有效的避免死循环和遗漏小凸部, 而且也不会停留在单像素连通的点上, 一次循环就可以准确找到对象物的轮廓。

由于该方法能够记忆上一目标邻域点, 寻找下一目标邻域点时不必对八邻域点全部搜索, 这种智能性大大地缩短了边界跟踪时间。

3.6 本章小结

对浮空平台上 CCD 摄像机拍摄到的地标画面进行图像处理的目的是通过对信标点的轮廓跟踪, 找到屏幕中信标点的坐标位置。

由于原始图像信噪比较低, 在分割前需要对图像进行滤波处理。滤波处理可以减弱图像中存在的噪声。提高后续图像分割的质量。本章比较了中值滤波和灰度图像的形态学滤波方法。

为了对图像进行二值化处理, 分割出地标以便下一步的轮廓跟踪, 本文使用了阈值分割的方法, 并用最大内间方差的方法来确定阈值。在分割后, 需要对二值图像进行滤波, 去除杂点和小孔, 最后使用改进的目标邻域边界跟踪方法来获取信标点的位置。由于地标是人为设置的, 在理想的环境下与背景的灰度值相差较大, 二值化后再经形态学处理得到的图像效果是比较好的, 信标的边缘也较光滑。但受自然环境的影响, 二值化后的信标形状可能不太规则, 所以本系统采用的目标邻域边界智能跟踪算法不但可以对比较光滑较为规则的物体, 也可以对一些含有单像素连通域的复杂目标实现轮廓跟踪。

4 地标定位算法

4.1 概述

当地标在视场范围内时,通过轮廓跟踪,可以得到六个信标点的位置数据,但这组数据还没有与地标上的六个信标点(A、B、C、D、E、F)一一对应起来。地标定位就是为了分析这六个位置数据分别属于哪个信标点,确定屏幕上信标点各自的坐标位置。在地标中间设置的E、F这两个信标点,是为了在定位时便于分析A、B、C、D四个点的逻辑位置关系。

在实际工作状态中,由于地标很大,当浮空平台发生幅度较大的晃动后,地标的一部份就会偏出视场,通过轮廓跟踪找到的信标点很可能只有五个、四个或者更少。在这种情况下,系统希望能继续对地标定位,则需要与前一帧的位置数据进行对比分析。

本节将就各种可能出现的情况介绍如何分析它们的逻辑位置关系,从而使轮廓跟踪得到的位置数据与地标的各信标点对应起来,即确定它们各自在屏幕上的位置。

4.2 地标定位原理

如图4.2.1所示,由于A、B、C、D这四个信标点的位置关系是对称的,为了确定它们的坐标位置,又设置了E、F这两个信标点以便于根据它们之间的逻辑位置关系准确找到各自的坐标位置。E是整个地标的中心点,F为E、B两个信标点的中点。

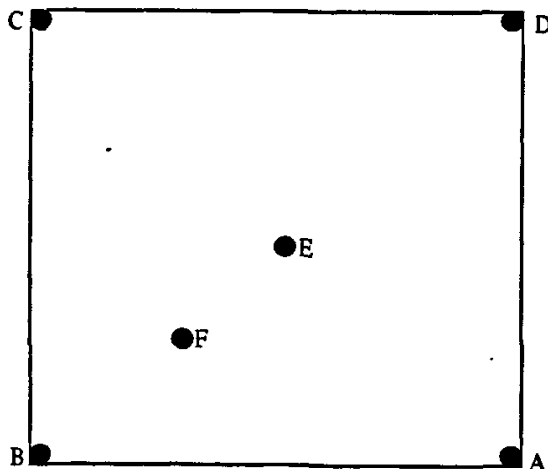


图 4.2.1 地标模型图

当有一个或两个信标点偏出视场时,由于前后两帧的时间间隔很短,信标点的位置变化不会很大,所以仍然可以通过与前一帧各点位置的对比分析进行定位。但摄像

机距地标很远，拍摄到的地标画面如图 4.2.2 所示（该图为实验中摄像机拍摄到的地标画面截图），屏幕上信标点彼此间的象素间距很小，尤其是信标 B、E、F 之间。

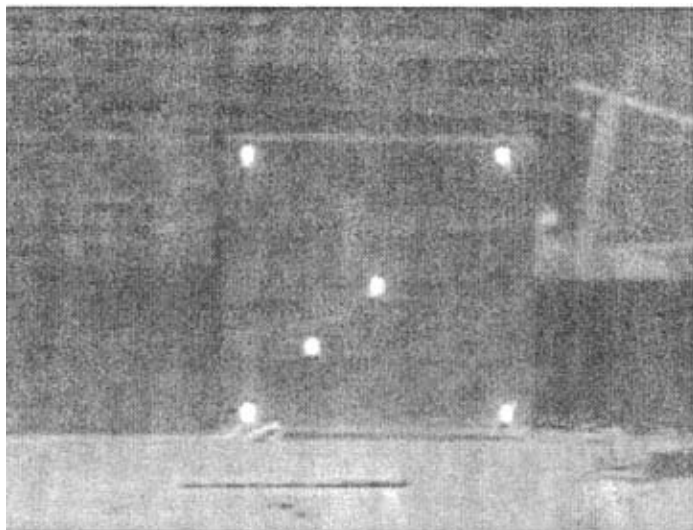


图 4.2.2 实验中拍摄到的地标

所以有信标点偏出视场后，A、C、D 各自的位置可以通过与前一帧位置的比较得到。而对信标 B 的定位，很可能与 E、F 混在一起，就只能采用信标点之间的位置关系对 B、E、F 进行分析。

如果浮空平台晃动幅度过大，导致两个以上的信标点移出，则地标定位将不能继续进行，需要等到六个信标点在场内后再重新开始定位。

下面几个小节将就视场内有六个信标点、五个信标点以及四个信标点的情况详细分析地标定位的原理。

4.2.1 六点定位原理

在浮空平台比较稳定的状态下，六个信标点都会在场内，轮廓跟踪后就会得到六个位置数据。屏幕坐标系的原点在左上角，信标在水平方向上的位置为 X ，在垂直方向上的位置为 Y ，其定位的原理如下：

A. 信标点 E 定位：

无论视角怎么变化，E 点始终位于水平方向上 X 最小的点 m 和最大的点 n 的中间，如图 4.2.1.1 所示。点 m 、 n 可以通过比较六个位置数据的大小得到。所以用这两个点就可以计算出 E 点的理论计算位置，再在剩下的四个位置数据(除 m 和 n)中找到与计算值最接近的即为 E 点的坐标位置。

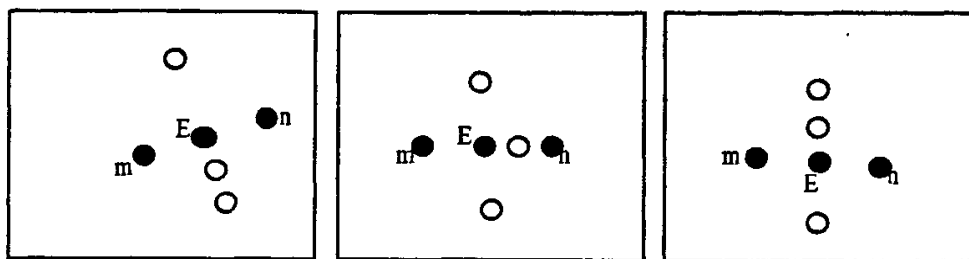


图 4.2.1.1 信标点 E 定位原理图

B. 信标点 F 定位:

在排除掉 E, m, n 这三点后, 如图 4.2.1.2 所示, F 点一定是剩下三个点中位于 Y 方向中间的那个点, 所以在剩下的三个位置数据中 Y 值居中的即为信标点 F 的坐标位置。

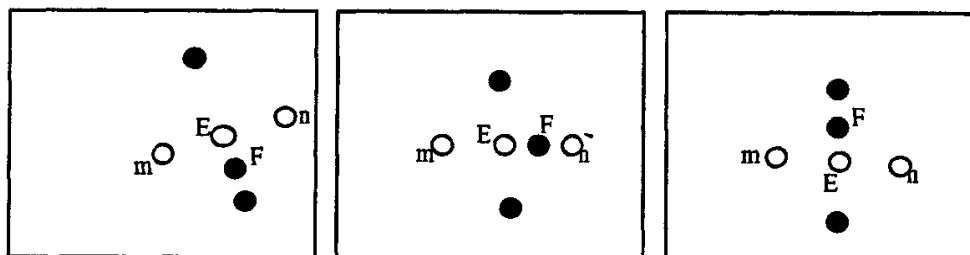


图 4.2.1.2 信标点 F 定位原理图

C. 信标点 B 定位:

已知 E, F 点的位置, 则可根据 E、F、B 这三点固有的位置关系 (F 为 E、B 的中点) 求出 B 点的计算位置, 再在剩下的四个位置数据 (即除开 E、F 点) 中找出与计算值最接近的即为信标点 B 的坐标位置。如图 4.2.1.3 所示。

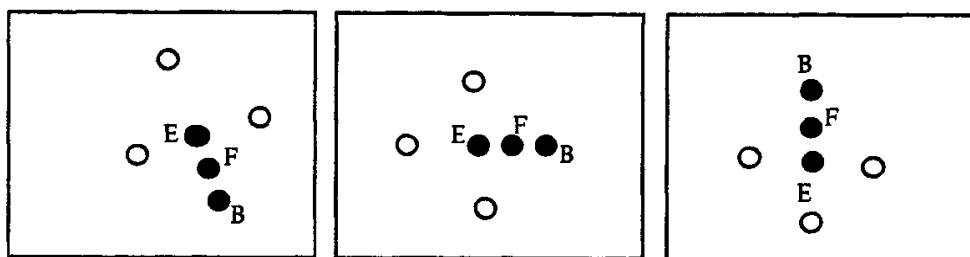


图 4.2.1.3 信标点 B 定位原理图

D. 信标点 D 定位:

与确定 B 点方法一致, 已知 E, B 点的位置则可求出 D 点的计算位置 (E 为 B、D 的中点), 再在剩下的三个位置数据 (即除开 E, F, B 点) 中找出与计算值最接近的即为 D 点的坐标位置。

E. 信标点 A、C 定位:

根据 A、C 点与 B 点的位置关系来确定剩下的两个点哪个是 A 哪个是 C。如图

4.2.1.4 所示, 如果 A, C 两点都在 B 点的上方 (Y 值都比 B 小), 则 X 值小的是 C, 大的是 A 点。如果 A, C 两点都在 B 点的下方 (Y 值都比 B 大), 则 X 值小的是 A, 大的是 C 点。如果 A, C 两点一个在 B 的上方一个在下方, 则判断 B 点是在左还是右, 如果 B 点在 A、C 点的左边, 则在下方 (Y 值大的) 为 A, 在上方的为 C。如果 B 点在右, 则在下方的为 C, 在上方的为 A。

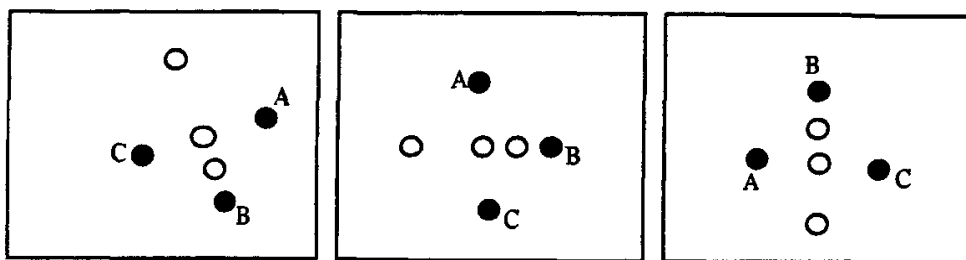


图 4.2.1.4 信标点 A、C 定位原理图

4.2.2 五点定位原理

由于浮空平台的晃动, 如图 4.2.2.1 所示, 视场内常常只有五个或四个信标点 (即有一个或两个信标点偏出视场)。针对不同的情况, 应采取不同的定位方法来确定出 A、B、C、D 四个信标的位置。

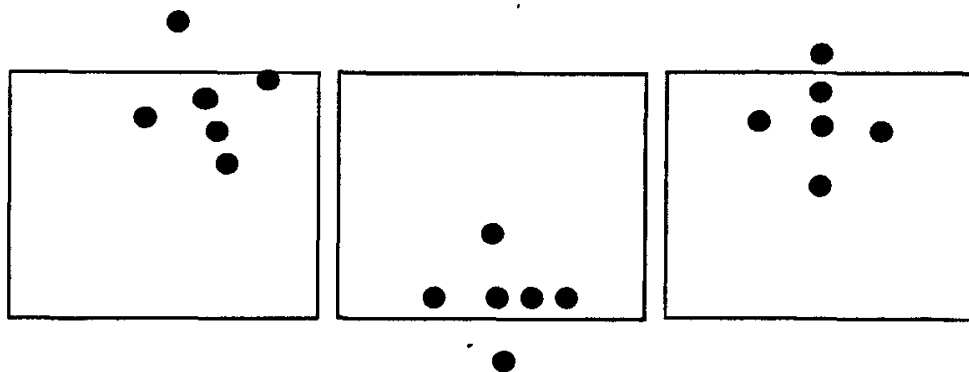


图 4.2.2.1 有一个信标点偏离视场

浮空平台上的地标处理机是在得到地面监控人员的命令后才开始进行图像处理。监控人员通过传到地面的画面来判断地标是否都在视场内, 如果都在才向浮空平台发出开始的命令。所以最开始视场内应有六个信标点, 用上节的六点定位算法即可确定 A、B、C、D 的位置。当有一个信标点偏离视场时, 可以分析前一帧六个信标点的位置找出是哪个信标距离屏幕边缘最近, 最近的那个就是刚移出的信标点。而移出视场的信标点只可能是 A、B、C、D 其中的一个 (A、B、C、D 在地标的四个角上)。找到是哪个偏离视场后, 与前一帧的位置数据进行对比分析, 即可确定剩下三个信标点的位置。表 4.2.2.1 给出了不同信标点偏离后的定位原理。

表 4.2.2.1 五点定位原理

信标点 A 偏离	信标 C,D 只需同前一帧各自的位置进行对比, 找出最近的即可定位, 在剩下的几个点中离信标 D 最远的就是 B。
信标点 B 偏离	信标 A,C,D 只需同前一帧各自的位置进行对比, 找出距离最近的即可定位
信标点 C 偏离	原理与信标 A 偏离时一样
信标点 D 偏离	信标 A,C 只需同前一帧各自的位置进行对比, 找出最近的即可定位, 在剩下的几个信标点中离 A、C 的中点 (E) 最远的就是信标 B

当视场内由四个信标点变为五个, 即有一个信标点又移回了视场时, 应先找到是哪个信标点重新回到视场内了 (原理见表 4.2.3.1), 再继续用五点定位原理进行定位。

4.2.3 四点定位原理

当视场内只有五个信标点时, 如果继续有信标点移出, 视场内就只剩下四个信标点。如图 4.2.3.1 所示。

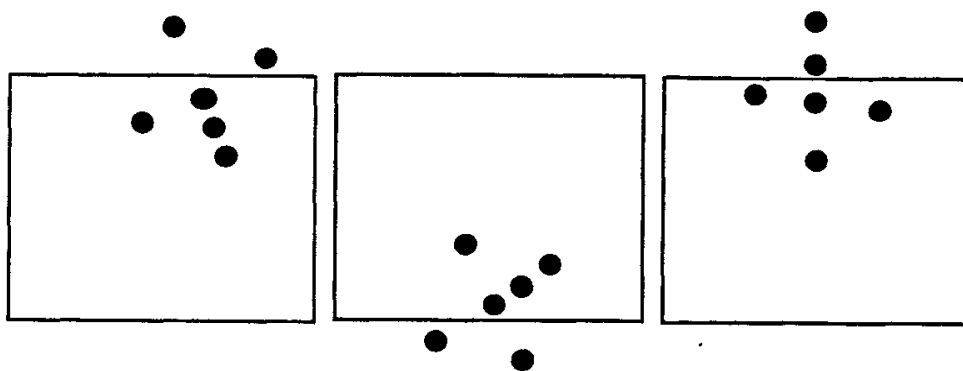


图 4.2.3.1 有两个信标点偏离视场

同五点定位原理一样, 先要找出偏离视场的是哪两个信标点。首先移出视场的信标点, 在五点定位时就已经判断出了, 接下来要分析的是第二个偏离视场的信标。同寻找第一个移出视场的信标一样, 在移出视场后的上一帧中分析信标点与屏幕边缘的位置关系。表 4.2.3.1 说明了如何找出第二个偏离的信标点。

表 4.2.3.1 分析移出的信标点

信标点 A 首先偏离	只可能是信标 B、D 再移出。B、D 中离屏幕边缘近的就是移出的信标
信标点 B 首先偏离	只可能是信标 A、C、F 再移出。A、C、F 中离屏幕边缘近的就是移出的信标
信标点 C 首先偏离	只可能是信标 B、D 再移出。B、D 中离屏幕边缘近的就是移出的信标
信标点 D 首先偏离	只可能是信标 A、C 再移出。A、C 中离屏幕边缘近的就是移出的信标

在找到移出视场的两个信标点后,对每种情况进行分析即可对信标点定位。表 4.2.3.2 说明了任意两个信标点偏离视场后的定位原理。

表 4.2.3.2 四点定位原理

信标点 A、B 偏离	信标 C、D 只需同前一帧各自的位置进行对比,找出最近的即可定位,在剩下的球中离 D 最近的就是信标 E,再通过 C、D、E 球的位置关系定位出 A、B
信标点 B、C 偏离	原理同 A、B 偏离时一样
信标点 C、D 偏离	信标 A 只需同前一帧的位置进行对比,找出最近的即可定位,在剩下的球中离 A 最近的就是 E,最远的是 B,再通过 A、B、E 的位置关系定位出 C、D
信标点 D、A 偏离	原理同 C、D 偏离时一样
信标点 B、F 偏离	A、B、C 只需同前一帧各自的位置进行对比,找出最近的即可定位

4.3 地标定位算法流程

前面对各种情况下采用的地标定位算法的原理进行了说明,下面给出整个定位算法的流程图,如图 4.3.1 所示。

当地面监控人员发出开始命令后,图像处理才开始进行,所以处理的第一帧图像中应有六个信标点,以上的流程图就是以这个为前提设计的。其中 Pre_number 代表上一帧轮廓跟踪到的信标点个数, X_lost 表示该信标有没有偏离视场(X 代表 A、B、C、D、E、F 中的任意一个)。

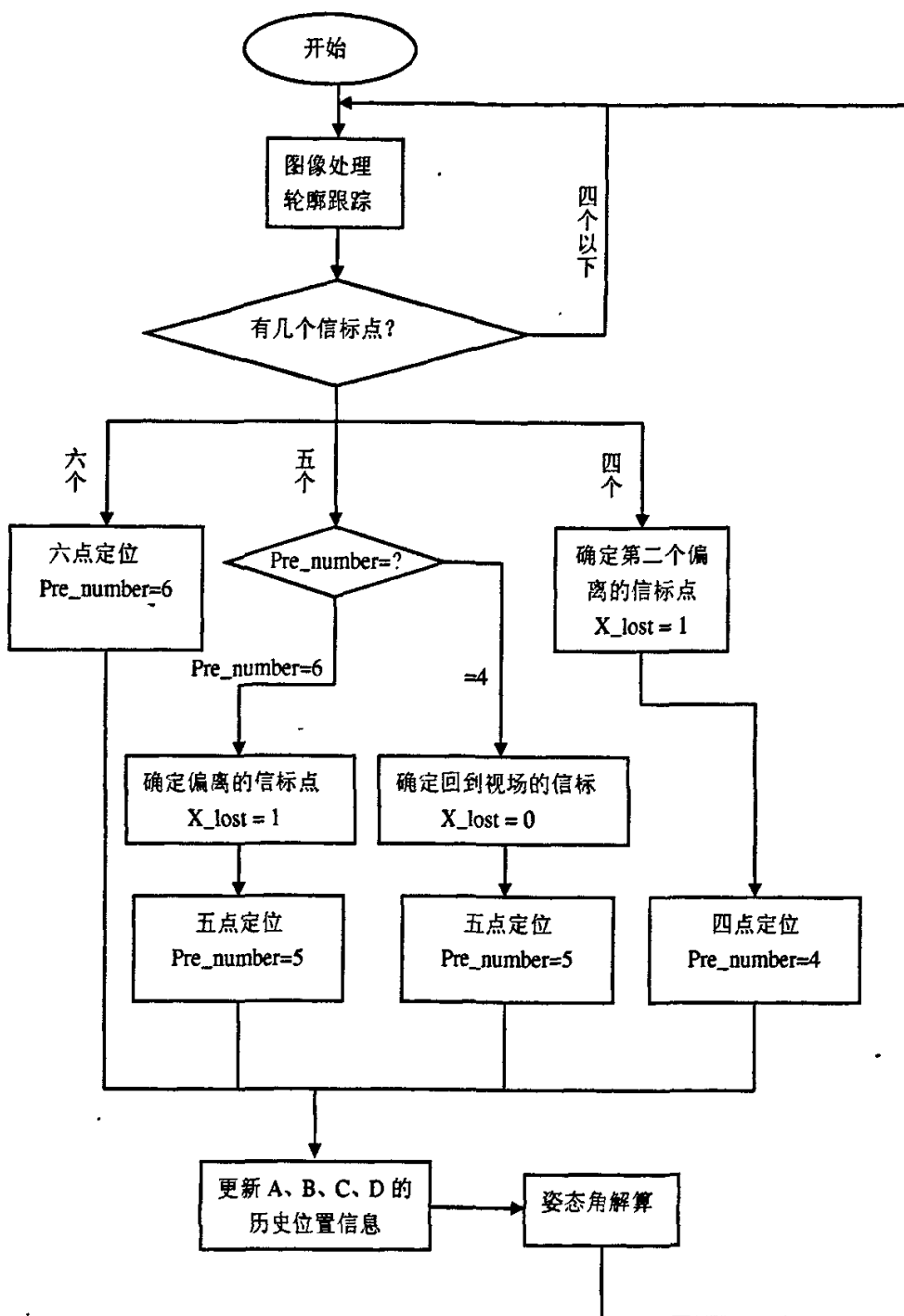


图 4.3.1 地标定位算法流程图

4.4 本章小结

在浮空平台受到干扰而出现剧烈晃动的情况下，CCD 所能拍摄到的信标点可能只有五个、四个或者更少。本章根据可能出现的不同情况，设计了地标定位算法。只

要视场内不少于四个信标点，该算法都能很好的确定地标的位置。

5 姿态角解算

5.1 概述

具有浮空观测平台的火控系统利用浮空平台上的装置来测定目标坐标。因此其核心问题在于浮空器的位置坐标和姿态的精确测量,只有实现了浮空器的位置坐标和姿态的精确测量,具有浮空观测平台的火控系统才是可行的,具有浮空观测平台的火控系统在浮空反导中的优势才能发挥出来。

浮空平台姿态角的解算是基于地标在 CCD 中的成像几何关系。地标被固定安放在地面上,随着浮空平台三个姿态角(航向角、横滚角、俯仰角)的不断变化,地标上的六个信标点在 CCD 中的成像位置就会不断变化,前面的整个图像处理过程和地标定位就是为了找到地标在 CCD 中的成像位置。由于地标在大地坐标系中的位置、浮空平台到地面的距离、CCD 的焦距等参数都是已知或可测的,所以根据地标在 CCD 中成像模型的角度关系即可解算出浮空平台的三个姿态角。

5.2 解算原理和步骤

5.2.1 坐标系

为了说明如何解算浮空平台的三个姿态角,先定义坐标系。

A. 大地坐标系

大地坐标系 $O-x^0y^0h^0$, 采用我军高炮用的标准坐标系: O 为地面坐标测定仪位置, x^0 指南、 y^0 指东、 h^0 指上。记 T 为浮空器, M 为目标, P_i 为地面地标, $i=1,2,\dots,m$, 如图 5.2.1.1 所示。

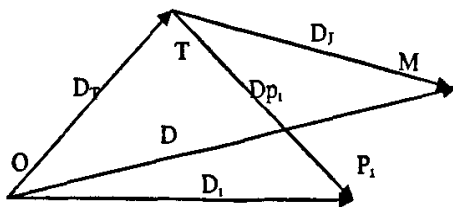


图 5.2.1.1 浮空器 T 在大地坐标系中的表示

$D_T = (D_T, \beta_T, \varepsilon_T)^T$ 为平台的距离矢量, 其直角坐标: $X_T = (x_T, y_T, h_T)^T$, 其中:

$$\begin{cases} x_T = D_T \cos \varepsilon_T \cos \beta_T \\ y_T = D_T \cos \varepsilon_T \sin \beta_T \\ h_T = D_T \sin \varepsilon_T \end{cases} \quad (5.2.1.1)$$

面固定地标 P_i , $i=1,2,\dots,m$, 在大地坐标中的表示 $D_i = (D_i, \beta_i, \varepsilon_i)$ 为地标距离矢

量, 其直角坐标 $X_i = (x_i, y_i, h_i)$ 。

$$\begin{cases} x_i = D_i \cos \varepsilon_i \cos \beta_i \\ y_i = D_i \cos \varepsilon_i \sin \beta_i \\ h_i = D_i \sin \varepsilon_i \end{cases} \quad (5.2.1.2)$$

B. 浮空器坐标系

浮空器坐标系 $T-x_T^0 y_T^0 h_T^0$ 相对大地坐标系平移量为 X_0 , 而转动量为

偏航角 λ (正向 $h^0 = x^0 \times y^0$)

俯仰角 α (正向 $y^0 = h^0 \times x^0$)

横滚角 γ (正向 $x^0 = y^0 \times h^0$)

同时规定: 当 $X_0 = 0$, $\lambda = \alpha = \gamma = 0$ 时, $T-x_T^0 y_T^0 h_T^0$ 与 $O-x^0 y^0 h^0$ 完全重合。

在浮空器坐标系中目标的距离矢量为 $D_j = (D_j, \beta_j, \varepsilon_j)^T$ 为目标的距离矢量, 其直角坐标表示为:

$$X_j = (x_j, y_j, h_j)^T, \text{ 且有 } \begin{cases} x_j = D_j \cos \varepsilon_j \cos \beta_j \\ y_j = D_j \cos \varepsilon_j \sin \beta_j \\ h_j = D_j \sin \varepsilon_j \end{cases} \quad (5.2.1.3)$$

浮空器坐标系中地标的距离矢量为 $D_{pi} = (D_{pi}, \beta_{pi}, \varepsilon_{pi})$, 其直角坐标表示

$$X_{pi} = (x_{pi}, y_{pi}, h_{pi})^T, \text{ 且有 } \begin{cases} x_{pi} = D_{pi} \cos \varepsilon_{pi} \cos \beta_{pi} \\ y_{pi} = D_{pi} \cos \varepsilon_{pi} \sin \beta_{pi} \\ h_{pi} = D_{pi} \sin \varepsilon_{pi} \end{cases} \quad (5.2.1.4)$$

上述诸式中, $i = 1, 2, \dots, m$ 。

C. 坐标转换

考虑到浮空器的平移 X_T 与旋转 $(\lambda, \alpha, \gamma)$, 目标 M 在大地坐标系中的坐标 X 与在浮空器坐标系中的坐标 X_j 的关系为:

$$\begin{aligned} X = (x, y, h)^T &= B X_j + X_T \\ X &= B_\lambda B_\alpha B_\gamma X_j + X_T \end{aligned} \quad (5.2.1.5)$$

式中:

$$B_\lambda = \begin{bmatrix} \cos \lambda_j & -\sin \lambda_j & 0 \\ \sin \lambda_j & \cos \lambda_j & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.2.1.6)$$

$$B_{\alpha} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (5.2.1.7)$$

$$B_{\lambda} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (5.2.1.8)$$

而

$$B = \begin{bmatrix} \cos \lambda \cos \alpha & \cos \lambda \sin \alpha \sin \gamma - \sin \lambda \cos \gamma & \cos \lambda \sin \alpha \cos \gamma + \sin \lambda \sin \gamma \\ \sin \lambda \cos \alpha & \sin \lambda \sin \alpha \sin \gamma + \cos \lambda \cos \gamma & \sin \lambda \sin \alpha \cos \gamma - \cos \lambda \sin \gamma \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (5.2.1.9)$$

5.2.2 地标的设置

设置地面固定地标 P_i , $i=1,2,3,4$, 如图 5.2.2.1 所示。

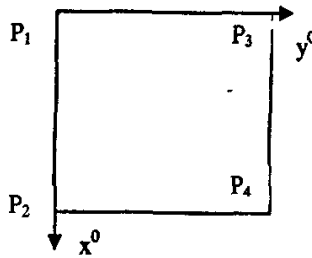


图 5.2.2.1 地标设置示意图

$$\begin{cases} X_{P1} = (x_{P1}, y_{P1}, h_{P1}) \\ X_{P2} = (x_{P2}, y_{P2}, h_{P2}) \\ X_{P3} = (x_{P3}, y_{P3}, h_{P3}) \\ X_{P4} = (x_{P4}, y_{P4}, h_{P4}) \end{cases} \quad (5.2.2.1)$$

上述诸式表明: P_1, P_2, P_3, P_4 应为一边南北放置的、等高正方形的四个顶点。可以证明: 只用其中任意三个点, 即可独立的检测出二组浮空器的姿态角 $(\lambda, \alpha, \gamma)$ 。多出一个顶点 (如 P_4), 可得到浮空器姿态角另两组等精度的独立测量值, 为提高测量精度提供了条件。又, 本方案求得的浮空器之 $(\lambda, \alpha, \gamma)$ 是相对 P_1, P_2, P_3 三点所形成的、以 $\overline{P_1 P_2}$ 为基准方向之平面的姿态角, 在保证 $\overline{P_1 P_2}$ 和 $\overline{P_1 P_3}$ 为等长、正交矢量的前提下, 各点不须等高, 只要已知各点坐标, 浮空器相对大地的姿态角即可方便地换算出来。对

P_4 而言, 也仅要求 $\overline{P_4P_2}$ 和 $\overline{P_4P_3}$ 等长正交。严格要求的仅仅是上述的等长、正交。

5.2.3 航向角 λ 的解算

地标 P_i 在大地坐标系中的坐标 X_{P_i} 与其在浮空器坐标系内的坐标 X_{Q_i} 间有如下之

关系 $X_{Q_i} = B^{-1} X_{P_i} - B^{-1} X_T$

$$= \begin{bmatrix} \cos \lambda \cos \alpha & \sin \lambda \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \cos \lambda \sin \alpha \sin \gamma - \sin \lambda \cos \gamma & \sin \lambda \sin \alpha \sin \gamma + \cos \lambda \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma \\ \cos \lambda \sin \alpha \cos \gamma + \sin \lambda \sin \gamma & \sin \lambda \sin \alpha \cos \gamma - \cos \lambda \sin \gamma & \cos \alpha \cos \gamma \end{bmatrix} \cdot (X_{P_i} - X_T) \quad (5.2.3.1)$$

式中 X_T 为浮空器在大地坐标系中的位置, 又 X_{Q_i} 在浮空器坐标系的 $O-x_t^0 y_t^0$ 平面上的正交投影如图 5.2.3.1。

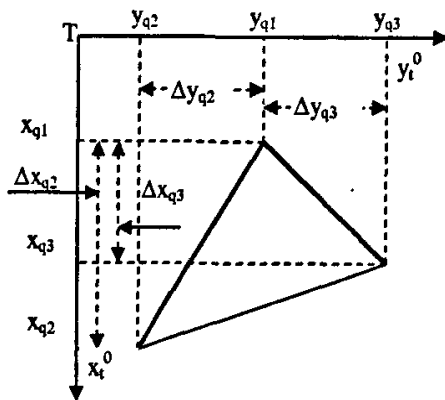


图 5.2.3.1 X_{Q_i} 在浮空器坐标系平面上的正交投影

显然有:

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{q2} \\ \Delta y_{q2} \\ \Delta h_{q2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{q2} - x_{q1} \\ y_{q2} - y_{q1} \\ h_{q2} - h_{q1} \end{bmatrix} = B^{-1} \begin{bmatrix} x_{P2} - x_{P1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = B^{-1} \begin{bmatrix} \Delta x_P \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.2.3.2)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{q3} \\ \Delta y_{q3} \\ \Delta h_{q3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{q3} - x_{q1} \\ y_{q3} - y_{q1} \\ h_{q3} - h_{q1} \end{bmatrix} = B^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta x_P \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.2.3.3)$$

解之, 得

$$\begin{cases} \Delta x_{q2} = \cos \lambda \cos \alpha \Delta x_p \\ \Delta y_{q2} = (\cos \lambda \sin \alpha \sin \gamma - \sin \lambda \cos \gamma) \Delta x_p \\ \Delta x_{q3} = \sin \lambda \cos \alpha \Delta x_p \\ \Delta y_{q3} = (\sin \lambda \sin \alpha \sin \gamma + \cos \lambda \cos \gamma) \Delta x_p \end{cases} \quad (5.2.3.4)$$

式中 Δx_p 为地面地标基线长, Δx_{q2} , Δy_{q2} , Δx_{q3} , Δy_{q3} , 为地面地标基线在浮空器坐标系 $T-x_T^0 y_T^0$ 平面上的投影。显然有:

$$\tan \lambda = \frac{\Delta x_{q3}}{\Delta x_{q2}} \quad (5.2.3.5)$$

规定:

$$\tan \theta = \psi \quad (5.2.3.6)$$

则有 θ 之主值:

$$\begin{cases} \theta = \tan^{-1} \psi \\ \theta \in (-\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (5.2.3.7)$$

故当: $|\Delta x_{q2}| \geq |\Delta x_{q3}|$ 时, 有:

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{\Delta x_{q3}}{\Delta x_{q2}} \quad \Delta x_{q2} > 0 \quad (5.2.3.8.a)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{\Delta x_{q3}}{\Delta x_{q2}} + \pi \times \text{sign}(\Delta x_{q3}) \quad \Delta x_{q2} < 0 \quad (5.2.3.8.b)$$

式中:

$$\text{sign}(\Delta x_{q3}) = \begin{cases} 1 & \Delta x_{q3} > 0 \\ -1 & \Delta x_{q3} < 0 \end{cases} \quad (5.2.3.9)$$

而当: $|\Delta x_{q2}| < |\Delta x_{q3}|$ 时有:

$$\lambda = -\tan^{-1} \frac{\Delta x_{q2}}{\Delta x_{q3}} - \frac{\pi}{2} \quad \Delta x_{q3} > 0 \quad (5.2.3.10.a)$$

$$\lambda = +\tan^{-1} \frac{\Delta x_{q2}}{\Delta x_{q3}} + \frac{\pi}{2} \times \text{sign}(\Delta x_{q2}) \quad \Delta x_{q3} < 0 \quad (5.2.3.10.b)$$

5.2.4 俯仰角 α 与横滚角 γ 的解算

由于航向角 λ 求解问题在上面已经做了详细的分析说明, 这里假定航向角 λ 已

知。在 CCD 视场足够的情况下,可以初步分析地标在 CCD 上的成像位置和大小与浮空器的俯仰角和横滚角有关。显然地标在 CCD 上的成像位置和大小与浮空器的坐标变化也有直接关系。这里,将导出浮空器坐标和姿态与 CCD 上成像的一般关系。图 5.2.4.1 为地标在 CCD 平面上的成像关系简化图。假定 P_i 为地标点, P' 为地标在 CCD 上的像, O' 为地面坐标系原点;假定像距 $\overline{ON} = n$, 在定焦系统中, n 应为常数。平台当前高度为 $\overline{OO'} = h$, 地标点 P_i 的像到 CCD 图像中心的像素数为 k_i 个, 像素间距为 Δs 。

图 5.2.4.2 为地标在 CCD 平面上成像示意图。

依靠地标在 CCD 上的成像,配以目标坐标测定,可以分四个步骤来决定俯仰角 α 和横滚角 γ 。

首先,求取地标 P_i 到光组坐标系原点 O 的矢量同光轴 L 的夹角 Ψ_i 。由图知

$$\operatorname{tg} \Psi_i = \frac{k_i \Delta s}{n} \quad (5.2.4.1)$$

$$\cos \Psi_i = \frac{k \Delta s}{\sqrt{n^2 + (k_i \Delta s)^2}} \quad (5.2.4.2)$$

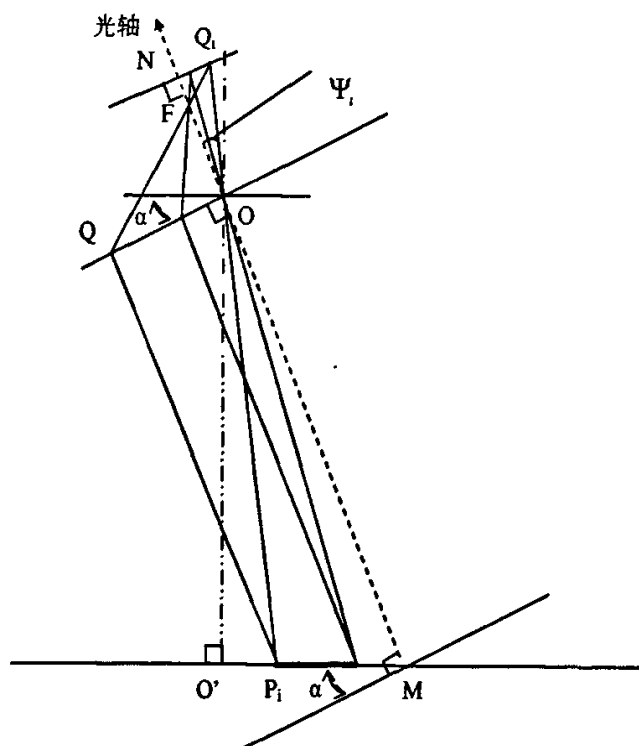


图 5.2.4.1 一般情况下地标在 CCD 成像几何关系简化图

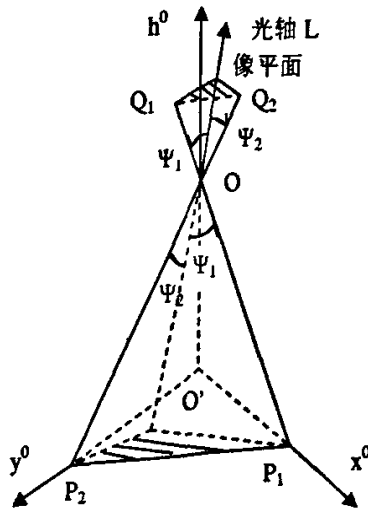


图 5.2.4.2 地标在 CCD 平面成像几何关系图

然后, 求取地标 P_i 到光组坐标系原点 O 的矢量的方向余弦。在大地坐标系中

$$P_i = (x_{pi}, y_{pi}, h_{pi})^T \quad (5.2.4.3)$$

$$O = (x_0, y_0, h_0)^T \quad (5.2.4.4)$$

记 $\overrightarrow{P_iO}$ 在大地坐标系中, 相对轴 x^0, y^0, h^0 的三个方向余弦分别为 $C_i = (c_{xi}, c_{yi}, c_{hi})^T$, 则有

$$\begin{cases} c_{xi} = \frac{1}{D_i}(x_0 - x_{pi}) \\ c_{yi} = \frac{1}{D_i}(y_0 - y_{pi}) \\ c_{hi} = \frac{1}{D_i}(h_0 - h_{pi}) \end{cases} \quad (5.2.4.5)$$

其中,

$$D_i = \sqrt{(x_0 - x_{pi})^2 + (y_0 - y_{pi})^2 + (h_0 - h_{pi})^2} \quad (5.2.4.6)$$

再求光轴 L 的方向余弦 L_x, L_y, L_h 。选两个地标 P_1 和 P_2 , 见图 5.2.4.2。记 $\overrightarrow{OP_1}$ 和 $\overrightarrow{OP_2}$ 的方向余弦为 C_1 与 C_2 , 则有如下方程组

$$\begin{cases} c_{x1}L_x + c_{y1}L_y + c_{h1}L_h = \cos \Psi_1 \\ c_{x2}L_x + c_{y2}L_y + c_{h2}L_h = \cos \Psi_2 \\ L_x^2 + L_y^2 + L_h^2 = 1 \end{cases} \quad (5.2.4.7)$$

又, $\overline{OP_1}$ 和 $\overline{OP_2}$ 不平行, 故 $\begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} c_{x1}, c_{h1} \\ c_{x2}, c_{h2} \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} c_{y1}, c_{h1} \\ c_{y2}, c_{h2} \end{pmatrix}$ 至少有一个是满秩的, 不妨设第一个是满秩的, 则有

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} L_x \\ L_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \cos \Psi_1 - c_{h1} L_h \\ \cos \Psi_2 - c_{h2} L_h \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} L_x, L_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_x \\ L_y \end{pmatrix} + L_h^2 = 1 \end{cases} \quad (5.2.4.8)$$

即

$$(\cos \Psi_1 - c_{h1} L_h, \cos \Psi_2 - c_{h2} L_h) \begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix}^{-T} \begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \cos \Psi_1 - c_{h1} L_h \\ \cos \Psi_2 - c_{h2} L_h \end{pmatrix} + L_h^2 = 1 \quad (5.2.4.9)$$

记

$$B = \left[\begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{x1}, c_{y1} \\ c_{x2}, c_{y2} \end{pmatrix}^T \right]^{-1} \quad (5.2.4.10)$$

代入式(5.2.4.9), 则有,

$$(\cos \Psi_1, \cos \Psi_2) B \begin{pmatrix} \cos \Psi_1 \\ \cos \Psi_2 \end{pmatrix} - 2(\cos \Psi_1, \cos \Psi_2) B \begin{pmatrix} c_{h1} \\ c_{h2} \end{pmatrix} L_h + (c_{h1}, c_{h2}) B \begin{pmatrix} c_{h1} \\ c_{h2} \end{pmatrix} L_h^2 + L_h^2 - 1 = 0 \quad (5.2.2.11)$$

记

$$\begin{cases} a = (c_{h1}, c_{h2}) B \begin{pmatrix} c_{h1} \\ c_{h2} \end{pmatrix} + 1 \\ b = -2(\cos \Psi_1, \cos \Psi_2) B \begin{pmatrix} c_{h1} \\ c_{h2} \end{pmatrix} \\ c = (\cos \Psi_1, \cos \Psi_2) B \begin{pmatrix} \cos \Psi_1 \\ \cos \Psi_2 \end{pmatrix} - 1 \end{cases} \quad (5.2.4.12)$$

则有

$$L_h = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (5.2.4.13)$$

式中, 正负号易于根据象限判断。

将式(5.2.4.13)代入式(5.2.4.8)即可解出 L_x, L_y , 从而求出光轴之方向数

$$L_i = (L_x, L_y, L_h)。$$

最后,可以决定平台俯仰角 α 和横滚角 γ 。由

$$\begin{cases} \cos \lambda \sin \alpha \cos \gamma + \sin \lambda \sin \gamma = L_x \\ \sin \lambda \sin \alpha \cos \gamma - \cos \lambda \sin \gamma = L_y \\ \cos \alpha \cos \gamma = L_z \end{cases} \quad (5.2.4.14)$$

式中, λ 为已知航向角。

以 $\sin \lambda, \cos \lambda$ 分别乘式(5.2.4.14)的第一、第二式,再相减得

$$\sin \gamma = \sin \lambda L_x - \cos \lambda L_y \quad (5.2.4.15)$$

再以 $\cos \lambda, \sin \lambda$ 分别乘式(5.2.4.14)的第一、第二式,再相加得

$$\sin \alpha \cos \gamma = \cos \lambda L_x + \sin \lambda L_y \quad (5.2.4.16)$$

即

$$\tan \alpha = \frac{\cos \lambda L_x + \sin \lambda L_y}{L_z} \quad (5.2.4.17)$$

5.3 本章小结

通过前面几个小节的原理分析可以看出,在偏航角的解算中,主要是需要找出地面地标基线在浮空器坐标系 $T-x_T^0 y_T^0$ 平面上的投影,在横滚角和俯仰角的解算中,信标点 P_i 的像到 CCD 图像中心的像素个数 k_i 是解算的关键参数,因此找到信标点 in 摄像机中所成像的位置是至关重要的。前面几章所介绍的图像处理和地标定位正是为了确定信标点 in CCD 摄像机中所成像的位置。

6 浮空平台姿态测量系统集成

6.1 系统组成和结构

6.1.1 系统组成

姿态测量系统是具有浮空观测平台的分布式火控系统的主要子系统。第二章介绍了系统的重要组成部分高速图像处理平台,它主要负责图像信息的处理、地标定位和姿态角的解算。除了图像处理平台外,系统还有一些通讯和控制装置。下面给出系统的主要组成部分:

- A. 高速图像 DSP 处理平台(DAM6416P);
- B. 白光 CCD 总成;
- C. 无线视频传输装置(包括天线);
- D. 无线电台(包括天线);
- E. EARM 命令转接模块;
- F. 地面辅助监视器;
- G. 地面辅助控制装置;
- H. 人造地标。

6.1.2 系统结构

在上级发出姿态测量命令后,DSP 处理机通过对输入图像序列的处理,确定出信标点在屏幕中的坐标位置并解算出浮空平台的姿态角。同时,计算出的姿态角度值可经命令转接模块(ARM 系统)由无线电台传到地面的辅助监视器上,处理后的实时画面将输入无线视频传输装置,由它负责将图像传回到地面辅助监视器。地面辅助监视人员可以根据实时传回的图像进行人工干预,如向浮空观测平台上 DSP 处理机发出开始或解除测量的命令,纠正地标的误定位等。通过传回的图像情况还可以对浮空平台位置进行调整使地标尽可能都处于摄象机的视场范围内。系统结构如图 6.1.2.1 所示。下面将对各个模块的功能进行说明。

A. 图像获取模块

此模块负责拍摄系统所需的地标图像。在实验中系统使用 WATEC---902H 摄像头(焦距:12cm)。实际作战中,浮空平台在几千米的高空,摄像头的焦距会更大。

B. 图像处理模块

图像处理模块是本系统的核心部分,是测量浮空平台姿态的关键。该模块的功能是对拍到的地标画面进行一系列的图像处理。首先从图像获取模块获取序列图像,对

原始图像进行预处理去除噪声,然后二值化,再对二值图像中各个信标点进行轮廓跟踪。

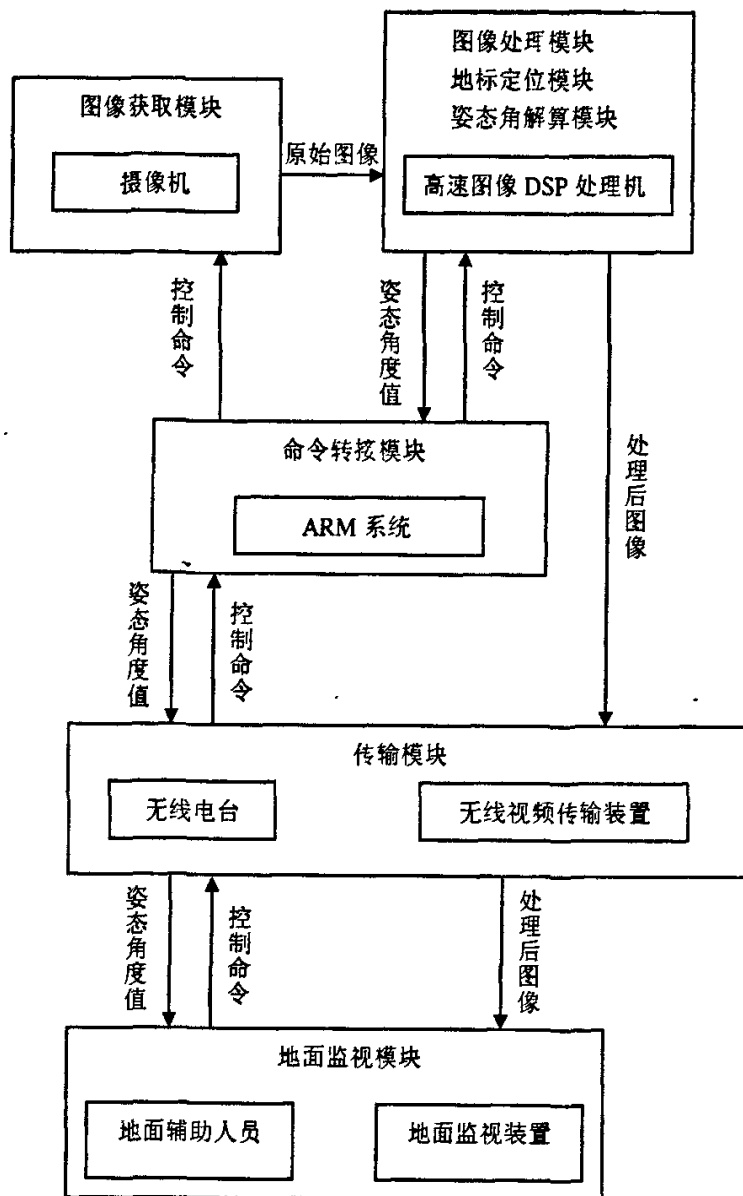


图 6.1.2.1 姿态角测量系统结构图

C. 地标定位模块

该模块负责对地标定位,使轮廓跟踪后得到的位置数据与地标上的各个信标点对应起来,即确定它们各自在屏幕上的位置。

D. 姿态角解算模块

此模块实际上和图像处理模块、地标定位模块是连在一起的,都是用同一个 DSP 进行处理。经地标定位模块处理后得到信标点各自的坐标位置,姿态角解算模块将解

算出浮空平台的三个姿态角。

E. 传输模块

传输模块可以分成负责传输图像的无线视频传输装置和负责传送姿态角度值以及控制命令的无线电台装置。图像处理模块处理后的图像序列可以实时的经过无线视频传输模块传输到地面辅助监视器。无线电台负责一方面将地面人员的控制命令传送给高速图像处理机和摄像机,干预系统的运行,另一方面需要向地面传送解算后得到的姿态角度值。

F. 地面监视模块

地面监视模块由地面监视器和地面监视人员组成。地面辅助监视器负责接收并显示浮空观测平台传输到地面的图像和浮空平台的姿态角度值,为地面辅助人员提供监视信息。地面监视人员可以发送命令给摄像机和图像高速 DSP 处理机。

G. 命令转接模块

此模块主要的功能是根据无线电台发过来命令的格式,判断该命令应该发给浮空观测平台上的哪个装置。ARM 系统的设计和程序的实现由其它的同学完成。

6.2 系统程序设计

图像处理模块、地标定位模块和姿态角解算模块都是以 TMS320C6416 DSP 芯片为处理核心的,因此该系统的程序必须移植到 TMS320C6416 DSP 上。整个系统程序可以分成以下几个模块:系统初始化模块、通讯模块、图像采集模块、图像处理算法、地标定位算法、姿态角解算算法和图像输出模块。如图 6.2.1 所示。

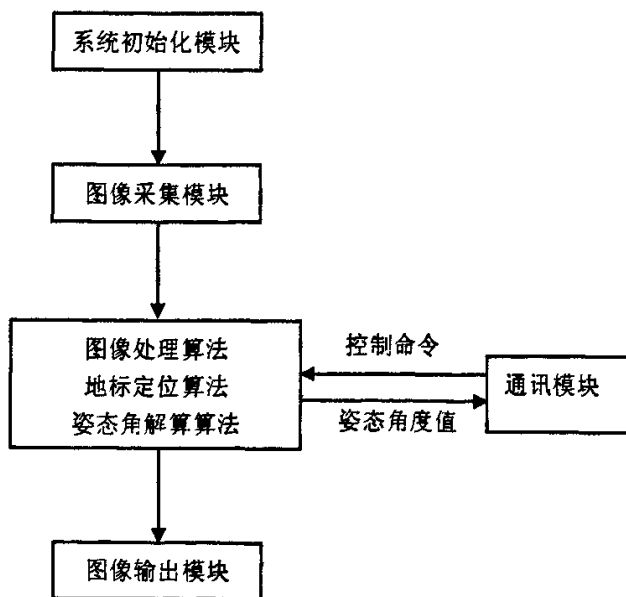


图 6.2.1 系统程序模块

6.3 系统试验和结果

6.3.1 试验方案

在野外选择一个长为 100 米的无遮挡通道, 人造地标和 CCD 成像设备的放置如图 6.3.1.1 所示, 人造地标在 CCD 摄像机所成图像经 DSP 处理即可得各信标点在图像中的对应位置, 选择其任意三个点解算出浮空平台姿态的角度值, 可以得到 4 组数据, 再利用统计方法得到最终结果。为了检验测得的姿态角的准确度, 摄像机被固连在经纬仪的望远镜筒上, 故经纬仪垂直方向角度对应于浮空平台的横滚角, 其水平方向角度变化对应于浮空平台的俯仰角。

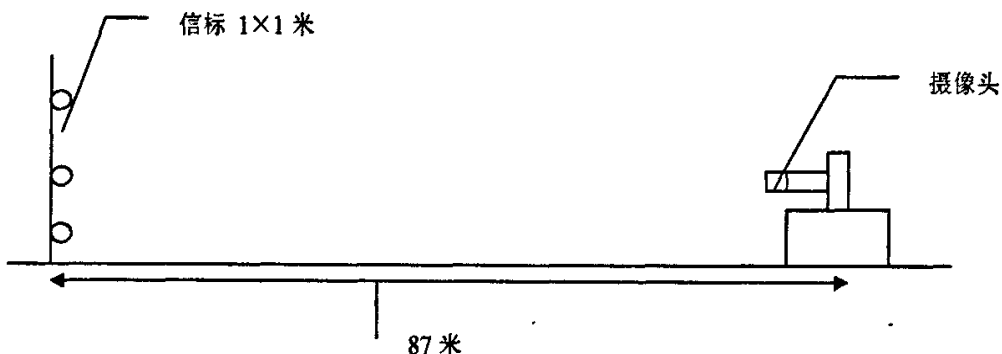


图 6.3.1.1 试验场景布置图

6.3.2 试验设备

- DT102C 电子经纬仪(最小显示读数 1 秒, 测角精度为 2 秒)
- WATEC---902H 摄像头(焦距: 12cm)
- 地标 (1m×1m 的木板, 上面嵌有六盏小灯, 如图 6.3.2.1 所示)
- DAM6416 图像处理平台(其 DSPs 芯片为 TMS320C6416)
- MDS EL705 数据传输电台(接收频率: 230MHz; 发射频率: 230MHz; 输出功率: 2W ; 波特率: 9600)
- SM20C0 微波图像传输系统——发射机(频率: 1100MHz)
- SM—微波天线(频段: 1.0—1.5 增益: 13.5—15.5dB)
- ESR—2080RF 卫星电视接收邻频调制一体机
- ARM 板(用于各种信号的控制)
- 计算机三台(联想启天系列计算机)。

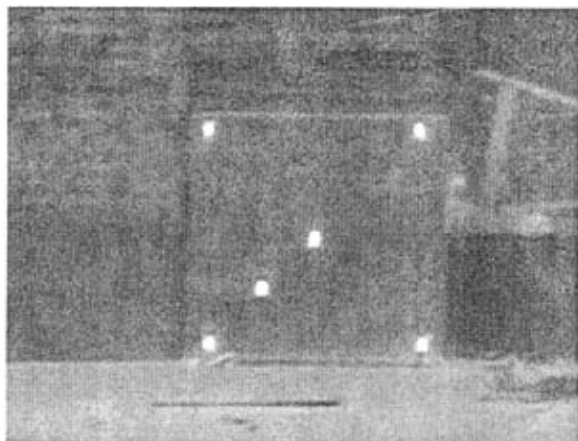


图 6.3.2.1 地标示意图

6.3.3 试验系统集成

按照试验方案的要求,将以上试验设备组合在一起模拟了一个完整的浮空平台姿态测量系统。

在距离地标大约 100 米的地方,模拟系统中的浮空观测平台,包括 CCD 摄像机、高速图像 DSP 处理机、ARM 系统以及各种传输设备。如图 6.3.3.1 所示。



(a)



(b)



(c)

图 6.3.3.1 试验中的浮空平台地标处理系统

在距离浮空平台不远的地方,构建地面监控系统,用以接收图像处理后的画面和解算出的姿态角以及向浮空平台发出控制指令,如图 6.3.3.2 所示。

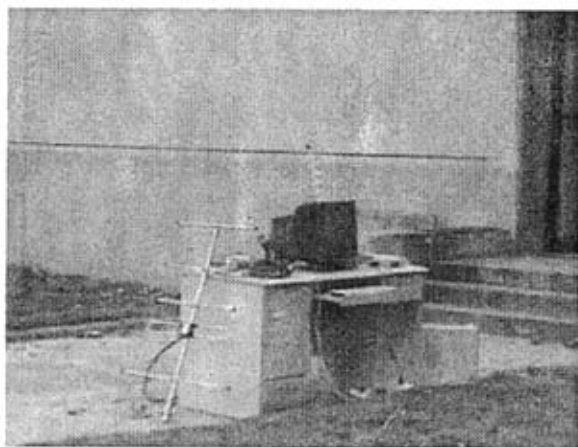


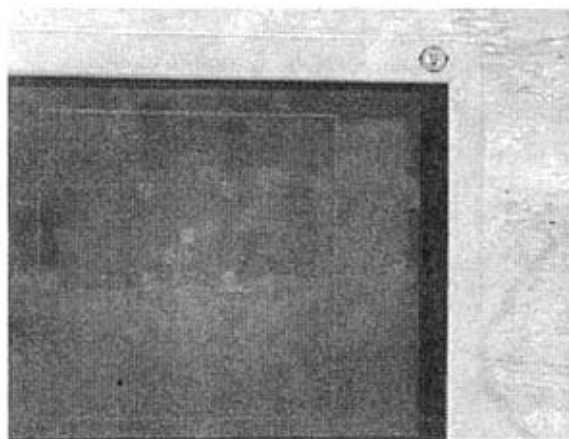
图 6.3.3.2 试验中的地面监控系统

6.3.4 试验结果

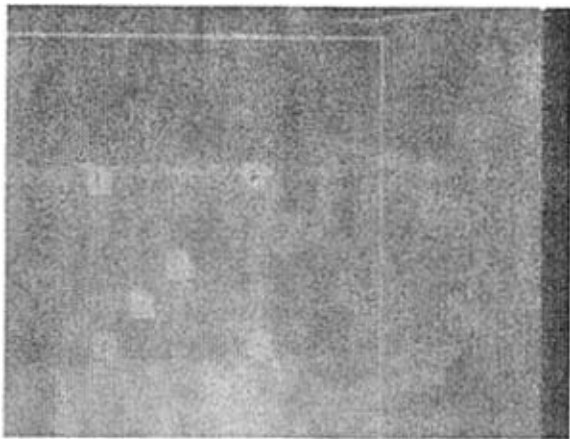
A. 试验中的实时画面

在试验中,为了排除野外环境的干扰,没有采用全屏处理的方式,而是设定了一个波门,只在波门内进行图像处理。图 6.3.4.1 是经过图像处理以及地标定位后得到的画面,图中围绕信标点的白框是依据轮廓跟踪后找到的信标点的上下左右四个边界点所画的。在 A、B、C、D 四个信标点上还分别用不同个数的小黑点表明地标定位的结果,从一个小黑点到四个分别表示信标 A、B、C、D。

浮空平台上 CCD 拍摄到的画面经过图像处理和地标定位后传输到地面监控系统上显示,经过解算得到的姿态角也由无线电台传到地面。在地面的监视器上可以同时看到地标定位后的画面以及三个姿态角度值。如图 6.3.4.2 所示。



(a)



(b)

图 6.3.4.1 地标定位图

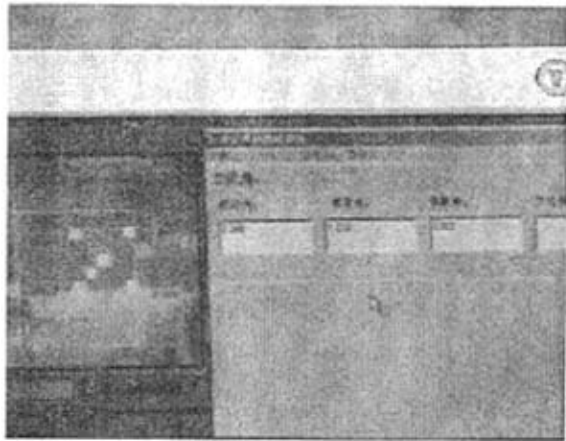


图 6.3.4.2 地面监视器上的画面

B. 试验数据

以下是所做的六组试验得到的姿态角数据, 前三组试验是保持偏航角和横滚角不变, 此时偏航角与横滚角误差是由俯仰角的改变而导致的牵连误差。后三组试验是保持偏航角和俯仰角不变, 此时偏航角与俯仰角误差是由横滚角的改变而导致的牵连误差。

➤ 试验 1: 通过调整经纬仪, 每次减小俯仰角 2 分=1/30 度, 得到测量数据如表 6.3.4.1 所示。

表 6.3.4.1 试验数据 1

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-1.808	-0.547	-0.017	-0.5038	-0.3813
-1.808	-0.5464	-0.0366	-0.5038	-0.4014
-1.89	-0.5454	-0.058	-0.5038	-0.4213

-1.832	-0.5452	-0.0729	-0.5038	-0.4413
-1.832	-0.5446	-0.09225	-0.5038	-0.4613
-1.832	-0.5440	-0.11155	-0.5038	-0.4813
-1.818	-0.5435	-0.12914	-0.5038	-0.5013
-1.818	-0.5428	-0.14859	-0.5038	-0.5213
-1.818	-0.541	-0.169	-0.5038	-0.5413
-1.832	-0.5417	-0.184	-0.5038	-0.5613
-1.832	-0.541	-0.2033	-0.5038	-0.5813
-1.818	-0.5405	-0.22164	-0.5038	-1.0013
-1.832	-0.54	-0.2377	-0.5038	-1.0213
-1.832	-0.5373	-0.2606	-0.5038	-1.0413
-1.832	-0.5387	-0.2773	-0.5038	-1.0613

- 试验 2: 通过调整经纬仪, 每次减小俯仰角 3 分=1/20 度, 得到测量数据如表 6.3.4.2 所示。

表 6.3.4.2 试验数据 2

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-2.27	-0.4691	0.31389	-0.5137	0.27
-2.27	-0.536	0.2888	-0.5137	0.24
-2.74	-0.5352	0.3647	-0.5137	0.23
-2.748	-0.536	0.2358	-0.5137	0.21
-2.29	-0.539	0.20579	-0.5137	0.18
-2.29	-0.54	0.1783	-0.5137	0.15
-2.29	-0.5451	0.1494	-0.5137	0.12
-2.29	-0.5426	0.12675	-0.5137	0.09
-2.25	-0.544	0.0921	-0.5137	0.06

- 试验 3: 通过调整经纬仪, 每次增加俯仰角 2 分=1/30 度, 得到测量数据如表 6.3.4.3 所示。

表 6.3.4.3 试验数据 3

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-1.818	-0.5388	-0.2768	-0.5038	-1.0363
-1.832	-0.53934	-0.25808	-0.5038	-1.0413
-1.832	-0.54	-0.237	-0.5038	-1.0213
-1.832	-0.54	-0.2177	-0.5038	-1.0013
-1.832	-0.54	-0.19849	-0.5038	-0.5813
-1.832	-0.54	-0.18558	-0.5038	-0.5613

-1.832	-0.542	-0.16628	-0.5038	-0.5413
-1.832	-0.542	-0.14531	-0.5038	-0.5213
-1.832	-0.543	-0.126	-0.5038	-0.5013
-1.801	-0.544	-0.1053	-0.5038	-0.4813
-1.8183	-0.545	-0.0859	-0.5038	-0.4613
-1.832	-0.545	-0.0729	-0.5038	-0.4413
-1.832	-0.5458	-0.05519	-0.5038	-0.4213
-1.832	-0.546	-0.03861	-0.5038	-0.4014

- 试验4: 通过调整经纬仪, 每次增加俯仰角 3 分=1/20 度, 得到测量数据如表 6.3.4.4 所示。

表 6.3.4.4 试验数据 4

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-2.29	0.545	0.0655	0.5137	0
-2.29	0.543	0.0962	0.5137	0.03
-2.27	0.542	0.1233	0.5137	0.06
-2.29	0.5417	0.1493	0.5137	0.09
-2.27	0.5419	0.1775	0.5137	0.12
-2.29	0.541	0.2067	0.5137	0.15
-2.27	0.54	0.2349	0.5137	0.18
-2.448	0.535	0.2647	0.5137	0.21
-2.29	0.536	0.2893	0.5137	0.24
-2.27	0.4691	0.31389	0.5137	0.27

- 试验5: 通过调整经纬仪, 每次减小横滚角 5 分=1/12 度, 得到测量数据如表 6.3.4.5 所示。

表 6.3.4.5 试验数据 5

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-1.832	0.18318	-0.19415	-0.1208	0
-1.832	0.11111	-0.19492	-0.1708	0
-1.818	0.0346	-0.19686	-0.2208	0
-1.832	-0.047	-0.19799	-0.2708	0
-1.832	-0.12604	-0.20041	-0.3208	0
-1.83	-0.21819	-0.20866	-0.3709	0
-1.818	-0.3189	-0.2092	-0.4208	0
-1.832	-0.54054	-0.22058	-0.4708	0
-1.832	-0.54064	-0.21743	-0.5208	0
-1.818	-0.54234	-0.21584	-0.5708	0

➤ 试验 6: 通过调整经纬仪, 每次增加横滚角 5 分=1/12 度, 得到测量数据如表 6.3.4.6 所示。

表 6.3.4.6 试验数据 6

偏航角 解算值	横滚角 解算值	俯仰角 解算值	横滚角 装定值	俯仰角 装定值
-1.832	-0.54225	-0.21799	-0.5708	0
-1.832	-0.54059	-0.21903	-0.5208	0
-1.83	-0.49358	-0.2172	-0.4708	0
-1.84	-0.32252	-0.21141	-0.4208	0
-1.832	0.21212	-0.20578	-0.3708	0
-1.847	-0.12919	-0.20039	-0.3208	0
-1.832	-0.04487	-0.20151	-0.2708	0
-1.847	0.03464	-0.19686	-0.2208	0
-1.832	0.11111	-0.19492	-0.1708	0
-1.847	0.18632	-0.19081	-0.1208	0
-1.83	0.2335	-0.1854	-0.0708	0

C. 试验数据分析

以下是六组试验的数据分析以及相关分析。

➤ 试验 1

数据分析:

表 6.3.4.7 试验 1 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		0.184 密位
横滚角误差	0.2147 密位	0.0278 密位
俯仰角误差	0.4725 密位	0.6364 密位

相关性分析:

表 6.3.4.8 试验 1 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	0.0031	0.2824
横滚角		1	-0.60984
俯仰角			1

➤ 试验 2

数据分析:

表 6.3.4.9 试验 2 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		1.9715 密位
横滚角误差	-0.1007 密位	0.2281 密位
俯仰角误差	0.2496 密位	0.3316 密位

相关性分析：

表 6.3.4.10 试验 2 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	0.1636	-0.5091
横滚角		1	0.5167
俯仰角			1

> 试验 3

数据分析：

表 6.3.4.11 试验 3 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		0.0882 密位
横滚角误差	-0.2125 密位	0.0249 密位
俯仰角误差	-2.0562 密位	0.5971 密位

相关性分析：

表 6.3.4.12 试验 3 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	-0.04938	0.003049
横滚角		1	-0.97848
俯仰角			1

> 试验 4

数据分析：

表 6.3.4.13 试验 4 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		0.5147 密位
横滚角误差	0.1096 密位	0.2185 密位
俯仰角误差	0.3160 密位	0.0671 密位

相关性分析：

表 6.3.4.14 试验 4 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	-0.0500	-0.1293
横滚角		1	-0.9806
俯仰角			1

➤ 试验 5

数据分析：

表 6.3.4.15 试验 5 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		0.0642 密位
横滚角误差	0.8040 密位	1.2527 密位
俯仰角误差	-1.1377-密位	0.0958 密位

相关性分析：

表 6.3.4.16 试验 5 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	-0.1921	-0.1293
横滚角		1	0.9806
俯仰角			1

➤ 试验 6

数据分析：

表 6.3.4.17 试验 6 数据分析

	系统误差	均方差
偏航角误差		0.0700 密位
横滚角误差	1.1233 密位	1.7070 密位
俯仰角误差	-1.1277 密位	0.1102 密位

相关性分析：

表 6.3.4.18 试验 6 相关性分析

	偏航角	横滚角	俯仰角
偏航角	1	-0.22721	-0.33083
横滚角		1	-0.9037
俯仰角			1

D. 试验结论

六组试验的综合误差:

表 6.3.4.19 试验结论

	系统误差	均方差
偏航角		0.8369
横滚角	0.4275	0.8741
俯仰角	0.8933	0.3867

注 1 综合系统误差采用绝对均值, 均方差采用几何均值。

注 2 因经纬仪仅有两个方向的读数, 无法提供偏航角的准确值, 偏航角的系统误差空缺。

结束语

在整个火控系统中,浮空平台姿态的测量是至关重要的。本文采用图像处理的方式,在地面设置地标,并对浮空平台拍摄到的地标画面进行图像处理以及地标定位,通过地标在摄像机中成像的几何模型解算出姿态角。

近几年来,对图像处理算法的研究很多,并已取得了很多的研究成果,然而由于硬件的限制,很多方法很难达到实时性的要求。随着 DSP/FPGA 芯片集成度和运算速度的提高,出现了大量基于 DSP/FPGA 的高速图像处理平台。在本系统中,使用了基于 TMS320C6416 的高速图像处理平台。TMS320C6416 的独特的芯片设计和丰富的硬件资源使得它在图像处理应用上能够获得卓越的性能。在算法方面,本文根据实际情况,在总结前人研究成果的基础上,采用了目标邻域边界智能跟踪法。该算法是将传统的目标邻域边界跟踪算法加以改进,对每次搜索的起始点作了新的规定。在地标定位方面,本文根据各种可能出现的情况设计了地标定位算法,使系统在地标偏出视场的情况下也能正常对地标定位。在选定图像处理平台和算法后,本文组建了浮空平台姿态测量系统。从理论分析和试验结果来看,本文提出的算法能够对二值图像中的信标点进行轮廓跟踪,实现地标准确定位,并解算出浮空平台的姿态角。但是,由于水平有限,研究时间短,系统还存在很多的缺陷,本课题的研究还存在很多需要改进和深入的地方。

图像处理中的很多问题已经研究了很长时间,大量的新的解决方法被采用,越来越多的研究通过小波分析、纹理分析、神经网络和遗传算法等方法来实现。考虑算法的复杂性,这些方法一般很难直接应用于实时系统中。由于地标放置在比较友好的背景中,本系统采用一些基础的算法就能得到较好的图像处理效果。但在一些恶劣的自然环境下,这些算法可能就难以满足要求了。在今后的工作中,可以考虑对前面提到的一些复杂的新算法加以改进,使得它们能够适应实时系统的要求。在地标定位方面,本文只实现了有两个信标移出视场后的地标定位问题,如果地标偏出视场范围较大,系统就无法正常定位。所以,在以后的研究中,可以对地标或定位算法加以改进,也可以增加一些地面监视人员的辅助定位手段。

致 谢

首先我要感谢我的导师薄煜明教授。在我学习期间，他给予了我非常大的鼓励和帮助。在本硕士论文完成期间，他对我严格要求并给予了耐心的指导。他严谨的治学态度和治学精神、踏实的工作作风和平易近人的为人处事都是我学习的楷模。此次向薄教授致以衷心的感谢和敬意。

其次我要感谢教研室的各位老师，尤其是邹卫军老师，他给了我很多指导和帮助，让我能够顺利的完成此次论文。同时也感谢自动化系的各位老师，是他们教给我专业知识。没有他们的辛勤耕耘就没有我今天的成绩。在此向他们表示深深的敬意。在论文完成期间，和实验室一些同学探讨问题，互相学习，使我受益颇多，谢谢他们。

最后要感谢我的家人和朋友，在我这几年学习期间，无论是精神上还是生活上，他们都给予了我极大的理解、鼓励、关怀和帮助，感谢他们。

在此再次对所有帮助过我的老师、亲人和朋友表示衷心的感谢！

参考文献

- 1 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 2 吴晓波, 杨永琴. 图像测量技术的新应用二光学精密工程. 1998,6(3):10-15.
- 3 刘铁峰等. 基于 DSP 的高速数据采集与处理系统. 微处理机. 2000(5): 45-48.
- 4 樊来耀等. 基于多片 DSP 的并行数字图象处理系统. 西安电子科技大学学报. 1990(9): 54-62.
- 5 刘党辉等. DSP 芯片及其在图像技术中的应用. 测控技术. 2001(5): 16-19.
- 6 李真芳, 苏涛等. DSP 程序开发—MATLAB 调试及直接目标代码生成. 西安: 西安电子科技大学出版设, 2003.
- 7 彭启综, 管庆. DSP 集成开发环境—CCS 及 DSP/BIOS 的原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 8 王毅等. 多分辨率图像融合算法在 DSP 系统中的实现. 北京理工大学学报. 2001(12): 765-769.
- 9 吴建峰, 林强. 一种图像边缘检测的新算法. 福州大学学报(自然科学版). 2000,28(4): 26-28
- 10 崔凤魁, 张丰收等. 二值图像目标邻域点边界跟踪算法. 洛阳工学院学报. 2001(3): 22-24.
- 11 王新成. 高级图像处理技术. 北京: 中国科技技术出版社, 2001.
- 12 李方慧. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 13 王念旭等. DSP 基础与应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- 14 夏德深, 傅德胜. 现代图像处理技术与应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 1998.
- 15 Kenneth. R. Castleman 著, 朱志刚 等译. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- 16 M. Irani, et al. Detecting and Tracking Multiple Moving Objects Using Temporal Integration. Second European Conferm. On Computer Vision. 1992: 282-287.
- 17 R. Collins, et al. A system for video surveillance and monitoring: VSAM final report. Carnegie Mellon University, Technical Report: CMU-RI-TR-00-12. 2000.
- 18 罗希平, 田捷等. 图像分割方法综述. 模式识别与人工智能. 1999, 12(3):300-312
- 19 刘文萍, 董远, 贺利浩. 图像处理中的阈值选取方法. 数据采集与处理. 1995, 10(s): 16-20.
- 20 P. K. Sahoo, et al. A survey of thresholding techniques. Computer Vision, Graphics and

- Image Processing. 1988, 41(2): 233-260.
- 21 Canny J. A Computational Approach to Edge Derection. IEEE Trans on Patern Annalysis and Machine Intelligence. 1986,8(6): 679-698
 - 22 Horace H S, Shen Ding-gang. An affine-invariant active Contour model(AL-Snake) for model-based segmentation. 1998,16(2):135-146
 - 23 孙慧, 周红霞等. 图像处理中边缘检测技术的研究. 电脑开发与应用. 2002,15(10): 7-9.
 - 24 M Bertalmio, G Sapiro, G Randall. Morphing active contours. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000,22(7):733-737
 - 25 Gibson, JJ. Optical Motions and Transformations as Stimuli for Visual Perception. Psychological Review. 1957, 64(5): 288-295.
 - 26 J. Barron, D. Fleet, S. Beauchemin. Performance of optical flow techniques. International Journal of Computer Vision. 1994, 12(1): 42-77.
 - 27 S. Mallat, W L Hwang. Singularity detection and processing with wavelets. IEEE Transactions on IT. 1992, 38(2): 617-643.
 - 28 D. Casasent, J. S. Smokelin, A. Ye. Wavelet and Gabor transforms for detection. Opt Eng. 1992, 31(4): 1893-1898.
 - 29 C Xu, J L Prince. Generalized gradient vector flow external forces for active contours. Signal Processing, 1998,71: 131-139
 - 30 C. Tomasi and T. Kanade. Detection and tracking of point features. Carnegie Mellon University, Technical Report: CMU-CS-91-132. April, 1991.
 - 31 M. P. Dubuisson, S. Lakshmanan, and A. K. Jain. Vehicle Segmentation and Classification using Deformable Templates. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1996, 18(3): 293-308.
 - 32 Yu Zhong, Anil K. Jain, M. Dubuisson-Jolly. Object Tracking Using Deformable Templates. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2000, 22(5): 544-549.
 - 33 吴晓波. 图像边缘特征分析. 光学精密工程. 1999, 7(1): 59-63.
 - 34 王立功, 于甬华, 姜晓彤, 罗立民. 基于 Snake 模型的图像目标轮廓自动跟踪方法. 东南大学学报(自然科学版). 2003, 33(2): 215-218.
 - 35 Yun-Ting Lin and Yuh-Lin Chang. Tracking Deformable Objects with the Active Contour Model. ICMCS. 1997: 608.
 - 36 Tonissen S M, Evans R J. Performance of dynamic programming techniques for track before detect. IEEE Trans. on AES. 1996, 32(4): 1440-1450.

- 37 Yan Xiong, Jiaxiong Peng, et al. An Extended Track-before-detect Algorithm for Infrared Target Detection. IEEE Transactions. 1997, AES-33(3): 1087-1092.
- 38 郭治. 现代火控理论. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- 39 周寿军, 陈武凡等. 基于增强的粒子滤波算法的医学图像动态轮廓跟踪新方法. 第一军医大学学报. 2004, 24(6): 677-681.
- 40 N. Ostu. A threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics. 1979, 9(1): 62-66.
- 41 王广龙, 祖静, 张文栋. 微机械陀螺仪及其应用研究. 电子测量与仪器学报. 1999, 13(2): 30-34
- 42 阮晓东, 李世伦, 诸葛良等. 用立体视觉测量多自由度机械装置姿态的研究. 中国机械工程. 2000, 11(5): 571-573
- 43 徐卫明. 姿态测量与定位在高空间分辨率航空遥感和摄影中的应用. 《红外》月刊. 2002, (9): 7-15
- 44 孙仲康, 陈辉煌. 定位导航与制导. 北京: 国防工业出版社, 1987, 271—342.
- 45 赵小英, 黄凤荣. 多特征融合的目标识别与提取在空间定位中的研究. 河北工业大学学报. 2002, 31(4): 89-92
- 46 王亮, 胡卫明, 谭铁牛. 人运动的视觉分析综述. 计算机学报. 2002, 25(3): 225-237.
- 47 V Caselles, F Catte, T coll. A geometric model for active contours. Numerische Mathematic, 1993, 66: 1-31.

作者: 廖帅
学位授予单位: 南京理工大学

参考文献(47条)

1. 贾云得 机器视觉 2000
2. 吴晓波, 杨永琴 图像测量技术的新应用[期刊论文]-光学精密工程 1998(3)
3. 刘铁锋, 范征宇, 黄成军 基于DSP的高速数据采集与处理系统[期刊论文]-微处理机 2000(2)
4. 樊来耀 基于多片 DSP 的并行数字图像处理系统 1990(09)
5. 刘党辉, 沈兰荪 DSP芯片及其在图像技术中的应用[期刊论文]-测控技术 2001(5)
6. 李真芳, 苏涛, 黄小宇 DSP程序开发-MATLAB调试及直接目标代码生成 2003
7. 彭启综, 管庆 DSP集成开发环境-CCS及DSP/BIOS的原理与应用 2004
8. 王毅, 倪国强, 李勇量 多分辨图像融合算法在DSP系统中的实现[期刊论文]-北京理工大学学报 2001(6)
9. 吴剑锋, 林强 一种图像边缘检测的新算法[期刊论文]-福州大学学报(自然科学版) 2000(4)
10. 崔凤魁, 张丰收, 白露, 许荣海 二值图像目标邻域点法边界跟踪算法[期刊论文]-洛阳工学院学报(自然科学版) 2001(1)
11. 王新成 高级图像处理技术 2001
12. 李方慧, 王飞, 何佩琨 TMS320C6000系列DSPs原理与应用 2003
13. 王念旭 DSP基础与应用系统设计 2001
14. 夏德深, 傅德胜 现代图像处理技术与应用 1998
15. Kenneth R Castleman, 朱志刚, 石定机 数字图像处理 1998
16. M Irani Detecting and Tracking Multiple Moving Objects Using Temporal Integration 1992
17. R Collins A system for video surveillance and monitoring:VSAM final report. [Carnegie Mellon University Technical Report:CMU-RI-TR-00-12] 2000
18. 罗希平, 田捷, 诸葛婴, 王靖, 戴汝为 图像分割方法综述[期刊论文]-模式识别与人工智能 1999(3)
19. 刘文萍, 董远, 贺利浩 图像处理中的阈值选取方法 1995(zk)
20. P K Sahoo A survey of thresholding techniques 1988(02)
21. Canny J A Computational Approach to Edge Derection 1986(06)
22. Horace H S, Shen Ding-gang An affine-invariant active Contour model(AL-Snake)for model-based segmentation 1998(02)
23. 孙慧, 周红霞, 李朝晖 图象处理中边缘检测技术的研究[期刊论文]-电脑开发与应用 2002(10)
24. M Bertalmio, G Sapiro, G Randall Morphing active contours 2000(07)
25. Gibson JJ Optical Motions and Transformations as Stimuli for Visual Perception 1957(05)
26. J Barron, D Fleet, S Beauchemin Performance of optical flow techniques 1994(01)
27. S Mallat, W L Hwang Singularity detection and processing with wavelets 1992(02)
28. D Casasent, J S Smokelin, A Ye Wavelet and Gabor transforms for detection 1992(04)
29. C Xu, J L Prince Generalized gradient vector flow external forces for active contours 1998
30. C Tomasi, T Kanade Detection and tracking of point features. [Carnegie Mellon University, Technical Report:CMU-CS-91-132] 1991

31. [M P Dubuisson, S Lakshmanan, A K Jain Vehicle Segmentation and Classification using Deformable Templates](#) 1996(03)
32. [Yu Zhong, Anil K Jain, M Dubuisson-Jolly Object Tracking Using Deformable Templates](#) 2000(05)
33. [吴晓波 图像边缘特征分析](#)[期刊论文]-[光学精密工程](#) 1999(1)
34. [王立功, 于甬华, 姜晓彤, 罗立民 基于Snake模型的图像目标轮廓自动跟踪方法](#)[期刊论文]-[东南大学学报\(自然科学版\)](#) 2003(2)
35. [Yun-Ting Lin, Yuh-Lin Chang Tracking Deformable Objects with the Active Contour Model](#) 1997
36. [Tonissen S M, Evans R J Performance of dynamic programming techniques for track before detect](#) 1996(04)
37. [Yah Xiong, Jiaxiong Peng An Extended Track-before-detect Algorithm for Infrared Target Detection](#) 1997(03)
38. [郭治 现代火控理论](#) 1996
39. [周寿军, 陈武凡 基于增强的粒子滤波算法的医学图像动态轮廓跟踪新方法](#)[期刊论文]-[第一军医大学学报](#) 2004(6)
40. [N Ostu A threshold Selection Method from Gray-Level Histograms](#) 1979(01)
41. [王广龙, 祖静, 张文栋 微机械陀螺仪及其应用研究](#)[期刊论文]-[电子测量与仪器学报](#) 1999(2)
42. [阮晓东, 李世伦, 诸葛良, 骆涵秀 用立体视觉测量多自由度机械装置姿态的研究](#)[期刊论文]-[中国机械工程](#) 2000(5)
43. [徐卫明 姿态测量与定位在高空间分辨率航空遥感和摄影中的应用](#)[期刊论文]-[红外](#) 2002(9)
44. [孙仲康, 陈辉煌 定位导航与制导](#) 1987
45. [赵小英, 黄凤荣 多特征融合的目标识别与提取在空间定位中的研究](#)[期刊论文]-[河北工业大学学报](#) 2002(4)
46. [王亮, 胡卫明, 谭铁牛 人运动的视觉分析综述](#)[期刊论文]-[计算机学报](#) 2002(3)
47. [V Caselles, F Catte, T coll A geometric model for active contours](#) 1993

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1001237.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 1ddb7331-a9f6-463e-8d3d-9df20116ccf8

下载时间: 2010年9月15日