

# 散堆物料体积测量系统

## The Volume Measurement System for Object of Arbitrary Stack

北京怀柔总装备部指挥技术学院测量控制系(101407) 周 辉 曾 峦

**【摘要】**介绍了利用计算机立体视觉技术对物体进行非接触测量的方法和系统。能省时省力地计算出任意堆放物体的形状、体积、状态和姿态等,具有很强的可靠性和实用性。

**关键词:**体积测量,非接触测量,计算机立体视觉技术,图像处理

**Abstract:** A method and system of noncontact measurement are presented. It used the technology of computer stereoscopic vision, and can easy calculate the object's shape, volume, state and so on. This system is very reliable and practical.

**Key words:** volume measurement, noncontact measurement, computer stereoscopic vision technology, image processing

在日常生活中常常会遇到无法接近或很难直接测量的目标或物体。例如一般火力发电厂燃煤费用占整个生产成本的 70% ~ 80%, 如何做好燃煤管理是电力部门生产经营管理的重要任务。然而, 储煤场实存量的常规测量手段十分落后, 需要先用推土机进行整形, 再进行人工丈量, 费时费力还不准确。为此我们研制了“散堆物料体积测量系统”, 实现了对物体的非接触自动测量, 能省时省力地计算出物体的形状、体积、状态和姿态等。

### 1 系统组成与基本功能

散堆物料是指形状为任意造型的物体, 也可以称为形状不规则的物体。认为物体在一个水平面上, 其顶部和四周均由多个数量不等的二次曲面连接构成。由基面和 5 个表面所限定的空间即为物体的体积。

该系统是用普通 CCD 摄像机和 PC 机构成的立体视觉测量装置, 其硬件组成如图 1 所示; 软件包含:

①数据采集: 模拟信号的采集, 图像信号数字化, 畸变校正, 摄像机标定;

②对应性求解: 边缘检测, 区域分割, 特征提取, 图像匹配, 稀疏三维信息恢复;

③体积计算: 二维插值, 体积占有与计算, 三维物体表面重构。

该系统主要用于不规则物体的体积测量, 也可以测量物体的姿态, 以及多个目标或物体的实时监测。主要特点: 用非测量摄像机作为观测器件, 以计算机立体视觉技术为基本模型, 实现对大规模物体的长距离非接触测量, 技术难度大, 使用简便, 测量精度高。

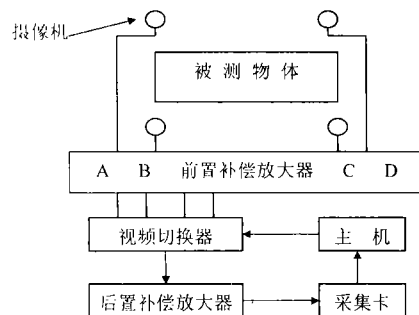


图1 散堆物料体积测量系统硬件结构示意图

### 2 技术特点

计算机立体视觉技术的基本原理是从两个(或多个)视点观察同一个景物, 获取不同视角下的二维图像信息, 再经过图像处理恢复成三维信息。该系统在传统的立体视觉技术的基础上, 进行了创新和突破, 并应用于工程实践。主要技术要点有: 采用预先畸变校正, 空间直线拟合, 直接线性变换, 平面三点控制循环迭代的方法进行摄像机内外参数标定; 采用模糊技术抑制噪声, 提高边缘提取的可靠性; 采用小波变换进行多分辨图像分割; 采用集平均技术与灰度浮点化技术抑制图像差异; 采用多子区域加权灰度重心法的亚像素级特征提取技术提取特征点; 采用变分辨率匹配方法和外极线定界及最佳相关线进行图像匹配, 恢复物体稀疏三维信息; 采用动态标定, 同态测量; 采用二维插值法进行物体形态的描述。

#### 2.1 摄像机模型与定标

根据光学针孔成像原理和双目视觉空间投影的几

何关系,可以得出被测物体距像平面的距离  $Z$  与视差  $D$  的关系:

$$Z = f(1 - \frac{2d}{D}) \quad (1)$$

式中,  $f$  为焦距,  $d$  为双目与中心线的间距。上式表明三维物体上某点在左右摄像机投影的视差隐含了该点的深度信息。对于俯视摄影方式,视差隐含该点的高度信息。三维物体表面每一点的高度信息已知,则可以描述物体形状,进行图像理解。双目视觉技术的工程应用就是获取和计算视差  $D$ 、进行图像理解与物体重构的过程。

由摄影几何模型和中心投影成像方程,可以形成空间物点与其在成像平面上的直接线性变换 DLT 参数方程,设  $L_1, L_2, \dots, L_n$  为 DLT 参数,则有:

$$I + \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} = 0 \quad (2)$$

$$J + \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} = 0 \quad (3)$$

空间物点坐标  $(X, Y, Z)$  的求解精度不仅取决于像面坐标  $(I, J)$  的精度,而且取决于投影关系的 DLT 参数精度。摄像机精确定标的内容就是通过精确标定控制点场、控制点像面的位置,进行直接线性变换,用误差校正拟合迭代算法求解  $L_1, L_2, \dots, L_n$  的过程。该系统中,应用非测量摄像机在畸变图像修正条件下,像面点定位精度为 0.2 个像素,工程标定精度达到 1/3 000,标定距离为 4 000 mm,标定精度达国内先进水平。

## 2.2 图像分割与特征提取技术

图像物体的边缘是指图像中强度突变的部位,它常常意味着一个区域的终结和另一个区域的开始。因为有时单凭一条粗略的边缘就能识别出是某类物体,所以,边缘检测在图像分析和识别中作用很大。边缘检测的方法是考察像素邻域内的变化规律,并利用其规律构造边缘检测算子,而后进行模糊判决。常用的边缘检测算子有:梯度算子、Sobel 算子、拉氏算子、Kirsch 算子等等。另外,从 Marr 小波函数与高斯函数的关系入手,分析了 Marr 小波变换对信号歧异点的响应特性,通过构造二维 Marr 小波,实现了图像的小波变换分解。分解后的零交叉点位置对应着图像的边缘点。

区域分割是按照一定的规则将图像分成若干部分或子集的过程。通常将分割方法归纳为基于边缘检测的方法和基于区域增长的方法两大类。前者是基于不连续性原理检测出物体的边缘,将图像分成若干区域;后者是基于相似性原理,将具有同一灰度级或相同组织结构的像素聚集在一起,形成不同区域。区域分割的大小,既要考虑能获取足够的信息量,保证运算的可靠性;又要顾及物体表面起伏的影响,避免过大的几何

精度损失。工程应用中可以取边长为 31 个像素的正方形为区域分割的尺寸。在不进行物体表面起伏调制的情况下,当且仅当灰度方差、平均值、特征分布满足条件时,该区域为特征区域。

图像匹配是立体测量技术的关键内容,是在两幅二维图像中找出对应于三维空间同一物点的对应点,又称对应性求解。图像匹配算法根据所选择的基元不同大致可以分为两类:其一是基于图像灰度的匹配。假设左、右图像对应点小邻域内具有相似的灰度分布,计算两张图像相应窗口内灰度的相关性和相似性,认为在相关和相似程度最大时的窗口中心点为对应点;其二是基于图像特征的匹配。这种方法主要针对图像是特征信息(如边界点、角点、线段、交点等)进行匹配。对于无角点和显著边缘点等简单属性特征的图像,通常选用不重叠区域灰度特征匹配方法。图像区域分割尺度、特征点提取的稳定性、精确性直接影响到匹配的准确性和精确性。

从分析传统方法入手,结合各种图像环境因素和工程实践,提出了一种特征质量评估准则和基于区域灰度中心的亚像素级特征提取技术。这是在实践中摸索出来的,基于图像统计特性的特征提取技术。对于分割后的区域,以像素归一化亮度值为灰度密度函数,区域的灰度重心可以用区域图像的零次矩和一次矩描述。根据不同的特征点灰度选用不同的加权系数,与像素的归一化亮度值构成密度函数,区域的加权灰度重心为特征点,匹配精度可达 0.3 个像素。通过二次抛物线内插,匹配精度可达 0.15 个像素。

实践证明:传统方法提取特征点的平均稳定性概率为 96.94%,稳定特征点遵循  $(0.44, 0.52)$ — $(0.4905, 0.4908)$  的二维正态分布;亚像素方法提取特征点的平均稳定性概率为 99.42%,稳定特征点遵循  $(0.202, 0.236)$ — $(0.185, 0.221)$  的二维正态分布。

## 2.3 歧异点的消除与物体稀疏三维信息恢复

受光照条件、物体几何形状与物理特性、噪声干扰畸变、摄像机特性以及投影参数等因素影响,同一空间物点在不同图像上的投影存在差异。由于投影差异的存在使两幅图像的对应关系出现多义性,克服多义性提高匹配可靠性的有效途径是利用各种先验知识导出的消除歧异点的约束准则。该系统使用的约束准则:外极线约束,视差一致性约束,物体形态约束。

匹配后一一对应的特征点集和目标点集通过摄影几何关系定位成相应物体表面特征点的三维信息,形成物体稀疏三维信息恢复文件。

## 2.4 物体形状描述

物体形态描述包含两个内容:物体体积计算和物体重构。

# 一种新颖的便携式数字化超声波探伤仪

## A New Type of Portable Digitized Ultrasonic Flaw Detector

南京航空航天大学测试工程系(210016) 王敬东 王晓蕾 李永敏 徐桂华

**【摘要】**超声波探伤仪的数字化是超声波探伤发展的迫切需要。结合实际研制开发工作,介绍了数字化超声波探伤仪的软硬件设计方案、系统组成、功能特点,并对探伤信号的高速采集技术进行分析,同时给出了适合应用的解决方案。

**关键词:**测试系统,无损检测,超声波探伤,单片机应用

**Abstract:** It is urgently required to digitize ultrasonic flaw detector to meet the development of ultrasonic flaw detecting. According to the practical research, the paper introduces the design methods of digitizing ultrasonic flaw detector, the composition of system, the characteristic of system. In the meantime, the paper also analyses the technology of high speed data acquisition of the echo signals and provides the solution of adapted application.

**Key words:** measuring system, non-destructive testing, ultrasonic flaw detecting, application of microcontroller

超声波探伤是无损检测的一种重要方法,广泛应

用于铁路机车检修、船舶制造、压力容器检测等众多领域。传统超声波探伤仪类似于早期的示波器,只能简单地显示回波信号波形,测量结果只能通过数网格进行人工读数并需经过许多中间计算环节才能得到最终结果,所以测量精度低,误差较大,测量过程复杂;探伤波形也不易保存,难以作进一步分析;另外,根据超声波探伤工艺,检测某工件前需在特定的标准试块上对探伤仪进行初始调节。因此,每台探伤仪每次外出探伤只能检测一种工件,工作效率较低。

针对以上问题,运用微处理器、微电子技术等先进技术研制数字化、智能化的新型超声波探伤仪已是无损探伤领域的迫切希望,本文结合我们研制的一种数字化超声波探伤仪,介绍系统的构成及其相关技术。

### 1 系统构成

该数字化超声波探伤仪采用单片机检测技术,系统由主、从 CPU 及相应功能模块组成,如图 1 所示。

主、从 CPU 均采用 8031 单片机。其中,主 CPU 及相关模块用于采集、存储探伤回波波形并根据探伤工

物体体积计算:计算体积最常用的工具是二重积分  $\iint f(x, y) dx dy$ 。但是,对于不规则物体,很难找到物体整体的  $f(x, y)$ ,不便直接用积分求解。针对实际问题,我们采用体积单元占有阵列近似物体的体积。所谓体积是指物体 5 个表面和基面所限定的空间,体积单元占有法就是用单位体积单元填充这个空间,而填充的个数即为物体的体积。用这种方法计算体积的最大逼近误差为 2‰。

物体重构:即重建物体的表面。物体稀疏三维信息恢复文件仅包含了物体表面特征点的三维信息,不能准确描述物体的外部特征,必须通过插值,得出物体表面网格点三维信息。本系统采用的是空间三角形插值法。

### 3 工程应用实例及结果

“散堆物料体积测量系统”于 1997 年 10 月 9 日通

过专家鉴定,鉴定测试物体是碎石堆,测试结果如表 1 所示。其误差包含:求解体积的误差、计算机计算误差和图像处理产生的误差。

表 1 体积测量结果				单位: m <sup>3</sup>
形状	标称值	测量值	绝对误差	相对误差
四棱台	2.344	2.331	-0.013	-0.55%
减 0.165 自然滑落	2.179	2.182	0.003	0.14%
减 0.231 任意造型	2.113	2.119	0.006	0.28%

由表 1 可知,计算精度较好。因此,采用这套系统求解体积简便实用,具有较高的应用价值。

本系统的两种类型——移动型(1997 年 8 月)和固定型(1998 年 8 月)已在华北电力局滦河发电厂投入正常运转,测量精度小于 1%,重复误差小于 5‰。

#### 参考文献

- 王润生. 图像理解. 国防科技大学出版社, 1995
- 钟玉琢等. 机器人视觉技术. 国防工业出版社, 1994

(收稿日期: 1998-09) □

北京艾讯公司 IDAM 分散式数采系统 电话: (010) 62614177, 62614178