

实时 CCD 成像跟踪处理系统研究

苗常青, 汪 渤, 付梦印, 屈志超

(北京理工大学自动控制系, 北京 100081)

摘要:提出了基于高速数字信号处理器 TMS320C6415 的图像识别跟踪系统, 并给出了成像跟踪系统的原理图和结构图, 重点论述了采集系统和图像处理系统。在软件上采用矩不变阈值分割和基于梯度的自适应阈值分割提取目标, 采用投影特征的质心跟踪算法及基于线性微分拟合的记忆外推跟踪技术跟踪目标。实验结果表明: 该系统跟踪稳定可靠, 完全满足实时性要求。

关键词:电荷耦合器件; 实时图像处理; 成像跟踪; DSP

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0310-04

Real-time image tracking system for moving targets by CCD

MIAO Chang-qing, WANG Bo, FU Meng-yin, QU Zhi-chao

(Department of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The real-time image tracking system based on the DSP (TMS320C6415) for moving targets using charge coupled plane array imaging device (CCD) is discussed. The principle diagram and block diagram is given, and the image acquisition and image processing system are described. The moment-preserving thresholding method and the adaptive thresholding method based on gradient are used to pick up targets, and the mass centroid tracking algorithm based on orthogonal projection and linear-fitting predicting approach are used to track targets. The experimental results show that the algorithm is feasible and practical.

Key words: CCD; Real-time image processing; Imaging tracking; DSP

0 引言

随着电荷耦合器件(CCD)技术、数字图像处理技术以及 DSP 技术的发展, 成像跟踪技术得到了迅速的发展^[1]。作为图像探测器件, CCD 具有体积小、功耗低、图像质量高、灵敏度高、寿命长以及可靠性高等优点, 从而使由 CCD 技术与数字图像处理技术形成的成像跟踪系统有跟踪精度高、跟踪状态平稳、抗干扰能力强、分辨率高和成本低等特点。在卫星发射轨迹

跟踪、导弹末制导、火控系统目标自动跟踪以及工业自动化生产监视等领域中有广泛的应用前景。

本文介绍了一种基于面阵 CCD 的可见光成像跟踪系统。该系统主要由 CCD 摄像头、图像采集处理系统和跟踪系统三部分组成。工作时, 摄像头对被跟踪可见光目标进行几何成像, 位于输出像面的面阵 CCD 器件完成光电探测。图像采集系统采用 Philips 公司的增强型视频输入处理芯片 SAA7111A 将视频图像转换成一幅数字化图像并存于帧缓冲存储器内。

图像处理系统基于 TI 公司新近发布的 TMS320C6000 DSP 系列产品 TMS320C6415,该产品除了具有目前业界最高性能 DSP 的特点外,还是 TI 公司专为成像与视频处理而设计的。图像处理系统软件采用有效的分割识别算法,提取跟踪波门内的目标图像信号并解算出目标位置数据(目标中心相对转台视轴的方位与俯仰角误差)送到控制器。控制器输出控制信号加到跟踪转台上,使跟踪转台带着摄像机自动跟踪目标运动。

1 系统硬件组成

系统硬件主要由摄像头、图像预处理电路、图像采集系统、图像处理系统、图像监视器及跟踪机构等组成,如图 1 所示。

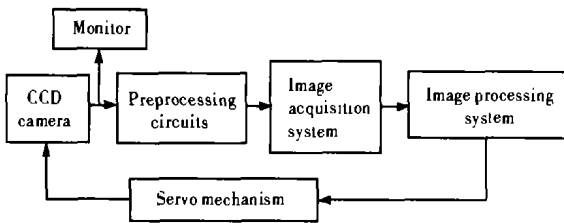


图 1 成像跟踪系统结构框图

Fig.1 Block diagram of image tracking system

1.1 摄像头

摄像头由光学成像装置、像探测器件 CCD 等构成。光学镜头、滤光片及自动光圈控制等构成了光学成像装置。

摄像头主要技术指标为:图像传感器为 1/3"CCD 像感器;像素数 512×512;连续变焦范围 200~20 mm;视场 13.68°×10.28°~1.375°×1.03°;相对孔径 1/4.5~1/16。

1.2 图像采集系统

图像采集系统主要是将摄像头输出的模拟复合信号转化成 DSP 芯片能处理的数字信号,然后将数据存入帧存储器中,其核心就是 A/D 转换,同时输出场同步和行同步信号。其采样精度、锁相精度、分辨率等指标直接影响数字图像的质量。本文采用 Philips 的增强型视频输入处理芯片 SAA7111A^[2]和 Altera 的复杂可编程逻辑(CPLD)EPM7128A,实现了对视频信号的实时采集。其中,视频解码芯片 SAA7111A 主要完成对模拟视频信号的数字化,把隔行扫描的全电视信号转换成 CCIR2601 格式的数字视频信号;EPM7128A

主要控制 SAA7111A 输出的数字视频数据在帧缓冲存储器中的存储。图像采集模块的结构如图 2 所示。

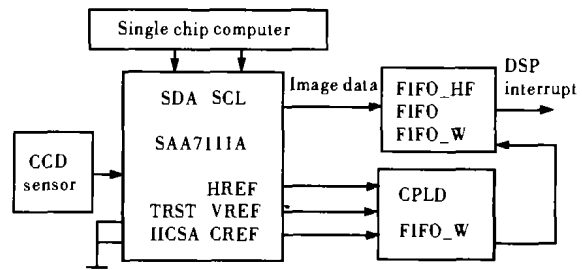


图 2 图像采集系统框图

Fig.2 Principle diagram of image acquisition system

1.3 图像处理系统

系统中图像处理模块以 TMS320C6415 为核心,主要功能是获取从图像采集芯片中传过来的数据并用有效的图像处理方法提取跟踪波门内目标图像信号并解算出目标位置数据(目标中心相对转台视轴的方位与俯仰角误差)送到伺服控制机构,如图 3 所示。

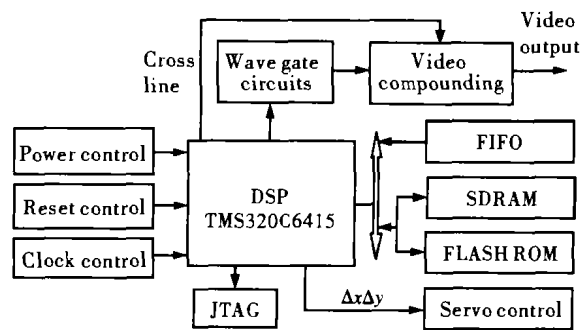


图 3 成像跟踪系统信息处理组成框图

Fig.3 Block diagram of information processing of image tracking system

TMS320C6415 是 TI 公司近期推出的新一代专为成像与视频处理而设计的 DSP 器件。它具有运行速度快(工作频率为 500 MHz),指令周期最快为 1.39 nm;运算能力高,内部同时集成了 2 个乘法器和 6 个算术运算单元;指令集不同,使用了 VelociTT 超长指令字(VLIW)结构等特点^[3,4]。

2 图像处理软件

本系统以 TMS320C6415 汇编语言为核心进行软件程序设计和编程,完成从视频图像的采集到运动目标跟踪定位的运算和处理,其处理流程如图 4 所示。

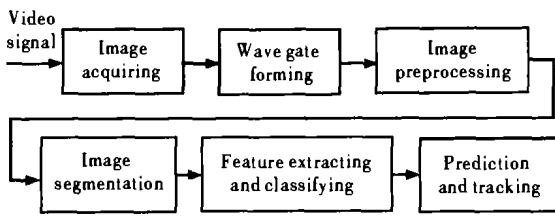


图 4 图像处理及跟踪软件设计流程

Fig.4 Main steps of image processing and tracking

2.1 跟踪波门设定

波门实际上是成像跟踪器真正的处理窗口,它小于视场,大于目标,可在视场内搜索目标并一直套住目标。由于目标在运动的过程中,距摄像机的距离由远及近,目标的大小随之由小到大发生变化,所以波门的大小必须随之自适应地同步变化。波门中心及波门尺寸应根据目标图像中心及图像尺寸进行预测决定。目标运动的轨迹可以用线性函数、平方函数等近似描述^[5];目标图像尺寸则通常用平方函数描述。本文采用 5 点平方预测算法,对目标进行预测外推。图像中心位置的 x 坐标为:

$$\hat{x}_q(t_{k+1}/t_k) = \frac{1}{5} \{9x(t_k) - 4x(t_{k-2}) - 3x(t_{k-3}) + 3x(t_{k-4})\}$$

式中 $\hat{x}_q(t_{k+1}/t_k)$ 为第 k 场外推到第 $k+1$ 场的预测值; $x(t_k)$ 、 $x(t_{k-2})$ 、 $x(t_{k-3})$ 和 $x(t_{k-4})$ 分别为第 k 场、第 $k-2$ 场、第 $k-3$ 场和第 $k-4$ 场的滤波值。

2.2 图像分割

图像分割的目的就是把目标从背景中分离开。它是成像跟踪系统中的关键部分,后续的所有算法都是基于分割以后的图像处理。为保证实时处理,本系统采用自适应分割技术,根据目标图像的灰度值变化,自动计算出分割阈值,实现各帧图像中目标与背景的有效分离。

2.2.1 搜索状态下目标分割算法

当在整个视场中进行分割时,本文使用矩不变自动阈值法求解,其基本思想是使阈值处理前后图像的矩保持不变。二维图像第 k 阶矩 m_k 定义^[6]为:

$$\begin{cases} m_0 = 1 \\ m_k = \frac{1}{MN} \sum_x \sum_y f^k(x,y) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{l-1} h(i) i^k = \sum_{i=0}^{l-1} p_i i^k \\ k=1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

式中 i 为灰度值; p_i 是灰度为 i 的像素在图像总像素

的比值。阈值化后图像变为只有 z_0 和 z_1 两个灰度值,且 $z_0 < z_1$, 用 p_0 、 p_1 表示这两个灰度值的像元比值,同样可以算出二值化后 k 阶矩 m_k' , 保持前三阶矩不变,有如下矩不变方程

$$p_0 z_0^i + p_1 z_1^i = m_i \quad (i=0, 1, 2, 3)$$

联立求解, 求出 p_0 后, 使 $p_0 = \sum_{i \leq T} p_i$ 成立, 则 T 就是所求的分割阈值。

2.2.2 跟踪状态下分割算法

在跟踪阶段,目标被波门套住,对目标的分割可在波门内或大于波门的一定窗内进行。为获得目标边界点的灰度信息,并由其来构成分割阈值,采用 3×3 的 Sobel 算子(如图 5 所示)检测出图像的边缘跳点。Sobel 算子表示为:

$$G_x = (C+2F+I) - (A+2D+G); G_y = (A+2B+C) - (G+2H+I)$$

其梯度幅值和方向角为:

$$|G| = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2}; \phi(x,y) = \arctan(G_x/G_y)$$

在波门内算出与每一像素点对应的 $|G|$ 和 $\phi(x,y)$, 然后取其中 $|G|$ 值最大的若干个点 (n) 排序, 舍去其中最大的 m 个点 (可能是噪声引起的突跳点), 则在梯度图中, 梯度阈值为这若干点 ($n-m$) 的梯度幅度的平均, 即 $T_G = \left| \frac{1}{n-m} \sum_{i=n-m+1}^n |G_i| \right| k$ (k 为比例常数, 一般取 $0 \sim 1/2$)。

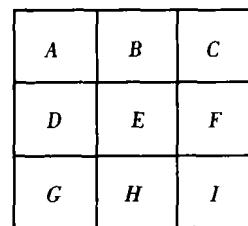


图 5 3×3 邻域像素

Fig.5 3×3 neighborhood pixels

然后在梯度图中, 选择高于梯度阈值 T_G 的边缘点为候选点, 以这些候选点作为位置索引, 在原图像中取得一组灰度样本点 $S(x,y)$, 则图像分割阈值为:

$$T = [0.95 + k_s] \left[\frac{\sum S(x,y) \times G(x,y)}{\sum G(x,y)} \right]$$

式中 $G(x,y)$ 为梯度幅值; k_s 为比例系数, 由目标区和背景区的均值、方差来确定。

2.3 目标特征提取及分类识别

完成目标图像分割后, 要计算每个目标的一组特

征量,即目标特征提取。目标的特征就是要反映目标属性的各种参数,它应具有对平移、比例、旋转等不敏感的特点。本系统中,选用目标的复杂度、长宽比、紧凑度及矩特征等。选择特征的原则应根据所识别目标的要求,尽量选择少的数目,以减少计算复杂度。

2.4 跟踪算法

跟踪算法以上述的处理过程为基础,确定被跟踪目标的中心位置偏差,然后转换为目标中心相对转台视轴方位与俯仰角误差,送转台伺服系统,驱动转台运动,保证被跟踪目标始终处于成像传感器的视场中心,实现对目标的实时自动跟踪。目标跟踪基本上分为波门跟踪算法和相关跟踪算法^[5-7]。本文采用自适应波门调整、质心和正交投影匹配相结合的跟踪方式。采用质心算法求取目标的位置,用质心偏差来表征目标的运动。在波门中,可将目标沿 X 和 Y 方向投影,目标的位置坐标可由下式计算:

$$x_m = \left(\sum_{0 \leq x \leq L} x g_x(x, y) \right) / \sum_{0 \leq x \leq L} g_x(x, y)$$

$$y_m = \left(\sum_{0 \leq y \leq L} y g_y(x, y) \right) / \sum_{0 \leq y \leq L} g_y(x, y)$$

第 $k-1$ 帧的目标坐标 (x_{mk-1}, y_{mk-1}) 与第 k 帧的目标坐标 (x_{mk}, y_{mk}) 之差即为位移视差:

$$\Delta x = x_{mk} - x_{mk-1} \quad \Delta y = y_{mk} - y_{mk-1}$$

由于外界环境的复杂多变和各种随机干扰的影响,在跟踪目标过程中,目标可能短时被遮挡或丢失,所以在设计跟踪算法时必须要考虑。文中介绍的预测外推算法就是用来防止被跟踪目标的丢失。

3 实验结果及分析

利用上述分割算法,对 CCD 采集的实时图像进行了实验,如图 6 所示。图中(a)为原始图像;(b)分割结果;(c)~(f)为第 1、50、100 和 200 帧图像。实验结果表明:利用文中方法得到的阈值分割图像,目标的轮廓已基本分割出来,为后续的认识跟踪工作打好了基础,而且所占用的时间(8 ms/帧)并不影响实时跟踪。结合跟踪软件,在背景比较均匀,能见度较好的情况下,用摄像头对实验小车进行了跟踪,如图 6 所示。在跟踪过程中,采用波门跟踪,同时结合 5 点平方预测算法,在波门内处理目标图像,结果表明随着场景的变化,系统能稳定可靠地跟踪目标。

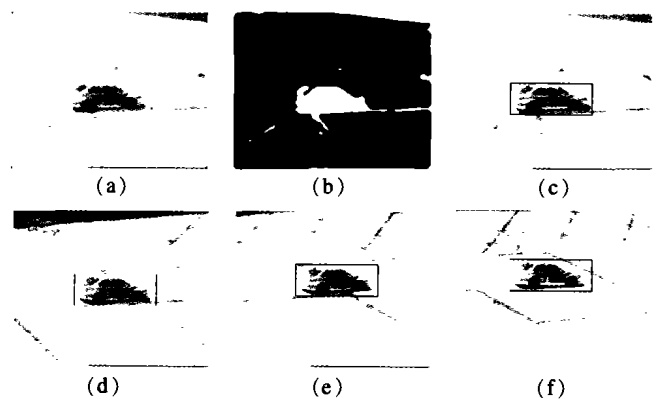


图 6 本文算法分割结果以及跟踪实验结果

Fig.6 Image segmentation and target tracking test results in the paper

4 结论

本文以 TMS320C6415 为核心,介绍了一种实时的 CCD 成像跟踪处理系统。用本文的算法对实际场景中的图像进行了跟踪处理试验,结果表明,在背景比较均匀,能见度较好的情况下,本系统不仅具有自动捕获目标、可靠跟踪和较高的抗干扰能力,而且在由于某种原因丢失目标时,系统可以预测跟踪,自动重新捕获目标。每一帧图从分割、识别以及给出跟踪参数,平均在 40 ms 以下,完全满足实时性要求。

参考文献:

- [1] Gilbert Alton L, Giles Michael K, Flachs Gerald M, et al. Real-time video tracking system[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, 2(1): 47-56.
- [2] Philips Semiconductors. SAA7111A Enhanced Video Input Processor[M]. Philips Semiconductors, 1998.
- [3] Texas Instruments Incorporated. TMS320C6x Peripheral Support Library Programmer's Reference[M]. Texas Instruments Incorporated, 1998.
- [4] 李方慧, 王飞, 何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [5] 杨宜禾, 周维真. 成像跟踪技术导论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [6] 王春平, 董淑棠, 朱元昌, 等. 基于 DSP 的实时电视跟踪系统设计与研究[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(12): 53-56.
- [7] 李尊民. 电视图像自动跟踪的基本原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.