

文章编号 1004-924X(2002)06-0573-05

# 一种实时成像跟踪系统的研究

张思芳,李正明

(江苏大学 电气信息工程学院,江苏 镇江 212013)

**摘要:**为了提高系统的实时性,提出了基于高速数字信号处理器 TMS320VC5410DSP 的图像识别跟踪系统,并给出了成像跟踪的原理图和结构框图,重点论述了波门电路的设计。整个系统由视频采集模块、图像处理模块、实时显示模块、伺服机构等模块组成。还对系统中图像预处理、图像分割、特征提取目标识别、目标跟踪等采用的算法进行了阐述,最后通过实验进行仿真并给出仿真结果图,实验结果与理论相符,表明本系统是可行和有效的。

**关键词:**成像跟踪;实时图像处理;图像分割;DSP;波门

**中图分类号:** TN911.73 **文献标识码:** A

## 1 引言

随着计算机和信息技术的飞速发展,成像跟踪技术在科学研究、工业生产中的应用越来越广泛,它已经发展成为一门独立的有强大生命力的学科。在导弹导引、火力控制、卫星测控等方面有着广泛的应用前景。成像跟踪以其技术先进、性能卓越、跟踪精度高等特点而备受关注。随着集成电路向着大规模、超大规模、甚大规模芯片发展。数字图像处理技术在硬件结构上也发生了重大的变化,特别是 DSP 技术的飞速发展。目前带有 DSP 芯片的实时图像处理应用系统应用越来越广泛,这种系统大都采用模块化与开放式的主从分布式系统结构,系统主机采用通用计算机,高速运算处理单元采用基于 DSP 芯片构成的作为数据处理的从机,这种结构即充分利用了主机拥有的硬、软件资源,又有很好的灵活性,具有较高的性能价格比,从而成为 DSP 芯片应用系统中一种良好的构成体系<sup>[1]</sup>。

## 2 系统组成与工作原理

图 1 是成像跟踪系统结构框图。目标信号由摄像头经过视频采集模块采集转换后,经过图像

处理模块处理,产生波门中心与目标中心的偏移信号。一方面,偏移信号通过波门控制电路和采集后的信号叠加并在监视器上显示;另一方面,偏移信号通过驱动电路使伺服机构产生控制信号带动控制台上的摄像头把目标拉回视野,从而完成跟踪任务。同时监控计算机也可以通过人工干预的方法设置波门的位置。

整个系统涉及到两个关键部分:波门控制电路,DSP 图像处理与跟踪。DSP 图像处理与跟踪采用一个 TMS320VC5410DSP 芯片,它采用了程序和数据空间分开的哈佛结构,片内共有 8 条总线,高度并行性的算术逻辑单元 ALU,专用硬件逻辑,片内存储器,片内外设和高度专业化的指令集,使该芯片具有功耗小,高度并行,速度高,操作灵活等特点。它主要完成整个系统多种算法的控制与运算<sup>[2-3]</sup>。

波门控制电路的主要功能是完成波门的设置,实际上它是一个地址发生器见图 2。DSP 发出预置脉冲(/PRESET)给波门电路,并将预置值置入行脉冲计数器。在场同步脉冲 VSYNC 上升沿到来时启动行脉冲计数器开始计数,当刚好扫描到波门开始的前一行位置时,向 DSP 发出中断请求,这时 DSP 将预置值置入点时钟计数器,并从行同步脉冲 HSYNC 上升沿开始点时钟计数,当扫描到波门开始位置时,产生列地址信号,将列

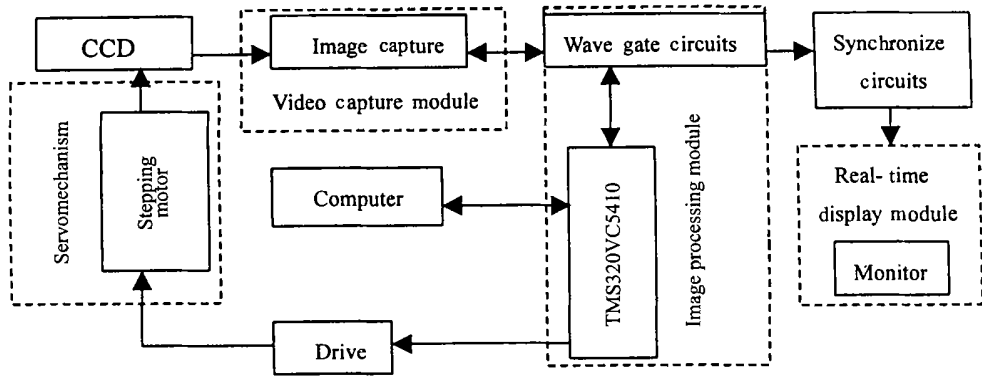


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Block diagram for the system constitution.

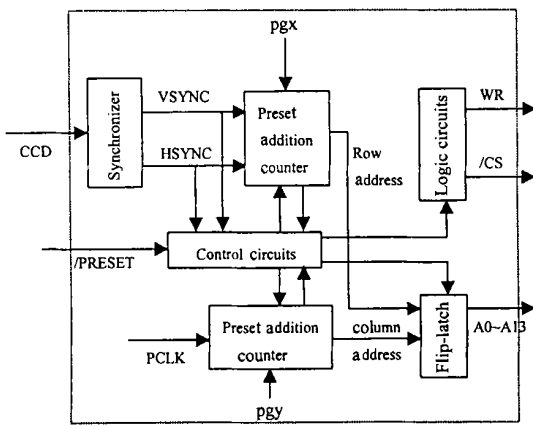


图 2 波门设计电路

Fig. 2 Wave gate circuits.

地址信号与行加法计数器产生的行地址信号组合经过锁存形成 A0-A13。波门电路采集数据完毕。波门电路立即向 DSP 发出中断请求,请求 DSP 对图像数据进行处理。

### 3 系统设计

ATR 算法是运动目标识别跟踪系统的关键技术之一。本系统采用经典模式算法,它由四部分组成:预处理、图像分割、特征提取与选择、目标预测与跟踪(如图 3)。

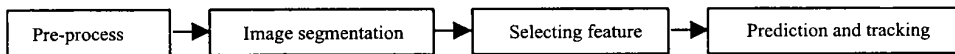


图 3 成像跟踪主要步骤

Fig. 3 Main steps of image tracking.

#### 3.1 图像预处理

在目标图像识别中,降低噪声,提高图像的信噪比是重要的。CCD 获取目标图像后,就进入了图像预处理阶段。预处理的目的是滤除噪声,增强有用信息,改善图像的质量。中值滤波平滑是一种既能有效衰减噪声,又能使边缘受影响少的方法。将一个包含有奇数个像素的窗口 A 在图像上依次移动,在每一个位置上对窗口内像素的灰度值由小到大排列,然后将位于中间的灰度值作为窗口中心像素的输出值。中值滤波可表示为

$$g(i, j) = \underset{A}{\text{median}}[f_A(i, j)], \quad (1)$$

上式中,  $\underset{A}{\text{median}}$  表示在 A 窗口下取中间值;  $f_A(i, j)$  表示以像素  $(i, j)$  为中心的 A 窗口下的各个灰度值。

#### 3.2 图像分割

在这个阶段主要目的是把待识别的目标图像从原始图像中分离出来。图像分割是依据一定的阈值将目标图像从背景中分割出来的过程,它通常是成像跟踪算法中必须首先解决的一个重要环节,它包括阈值计算和目标分割两个过程<sup>[4-5]</sup>。

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}, \quad (2)$$

上式中  $f(x, y)$  为原图像,  $g(x, y)$  为分割后的二值图像。阈值的选取有固定阈值和自适应阈值两种方法,考虑到本系统目标是飞行物,采用自适应阈值法。具体算法为:设置波门时常设内外两重门,内波门紧紧套住目标,外波门的设置是在内波门基础上的进一步放大,其放大倍率是根据目标的大小自行调节的,用来采集背景灰度值。假设内波门为目标区,在内外波门之间的区域为背景区,分别计算目标区和背景区的灰度均值和方差,然后由其计算出自适应阈值。

$$T = K_1 m_B + K_2 D_B + K_3 (m_T - m_B), \quad (3)$$

上式中,  $T$  为阈值,  $m_B$ 、 $D_B$  为背景的均值和均方差,  $m_T$  为目标的均值,  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  由实验获得。图 4(a)、4(b)为一波门图像分割前后的效果。



图 4(a) 分割之前图像

Fig. 4(a) Pre-segmentation



图 4(b) 分割后的图像

Fig. 4(b) Post-segmentation.

### 3.3 特征提取与目标识别

完成目标图像的分割后,要计算每个目标的一组特征量,即目标特征提取。对分割出的目标,

本系统实时提取的目标特征有辐射分布特征、形状特征。

#### 1) 辐射分布特征:

分割区域中目标灰度与背景灰度相差越大,是目标的可能性就越大。

分割区域中应该具有高亮区,亮区占分割区比例越大,是目标的可能性就越大。

#### 2) 形状特征:

分割区域占空比越大,是目标的可能性就越大。当小于某一值时,则不可能是目标。

目标有一定的高宽比,高宽比越接近某一值成为目标的可能性就越大。当大于某值时,则不可能是目标。

利用以上四个模糊隶属度函数可以对分割区域确定一个置信度  $B$

$$B = (w_1 \mu_{RS} + w_2 \mu_{RT})(w_3 \mu_{RA} + w_4 \mu_{RB}), \quad (4)$$

式中

$$w_1 + w_2 = 1, \quad (5)$$

$$w_3 + w_4 = 1. \quad (6)$$

(4)式中  $\mu_{RS}$ 、 $\mu_{RT}$  为辐射分布特征,  $\mu_{RA}$ 、 $\mu_{RB}$  为形状特征,  $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 、 $w_4$  为隶属函数加权系数。当  $B \geq 0.5$  时分割区域是认为目标,当  $B < 0.5$  时分割区域认为不是目标<sup>[6-7]</sup>。

### 3.4 目标预测

在跟踪过程中,目标的位置按照自身的运动规律在不断的变换,目标的运动速度、加速度值也是时间的某种函数;目标大小也随着目标与跟踪系统之间的距离变化在不断的变化。这些变化量都是时间的函数  $f(t)$ , 可以用一定的曲线表示出来。我们可以用多项式逼近法去描述这个函数  $f(t)$ 。在适当短的一段连续时间内,  $f(t)$  可以用线性函数和平方函数的组合来逼近,即目标的运动可看作是直线运动和二次曲线运动的某种组合。本文将线性预测器和平方预测器组合起来预测  $k+1$  帧的值。设原函数  $f(x)$  在  $N$  个顺序时刻的测置值为  $f(t_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), 则

$$f(k+1) = W f_1(k+1) + (1 - W) f_q(k+1), \quad (7)$$

式中  $f_1(\cdot)$  为线性预测器表达式,  $f_q(\cdot)$  为平方预测器表达式,  $W$  为权函数,它体现了本次综合预测中对不同预测器的信赖程度。公式中记忆

点  $N$  的选取要视具体情况而定。当特征量的变化不是太快时,  $N$  值应选得稍大一些, 这样有利于抑制噪声的干扰; 若特征量变化甚快,  $N$  值应选用较小的值。实验表明, 预测算法中  $N$  的选择并非越大越好, 随着  $N$  的增大, 预测精度会下降。一般选择  $N = 5$ 。一般来说, 选用 2 点线性预测器有利于跟上机动性较高的目标, 选用 5 点平方预测有利于跟踪目标的曲线运动, 而且使得预测的目标运动轨迹比较圆滑, 有较强的抗干扰能力, 有利于系统的稳定。在图 5 中, “+”表示飞机的实际航线, “\*”表示利用综合预测算法的预测航线, 可以看出预测算法达到较好的效果。

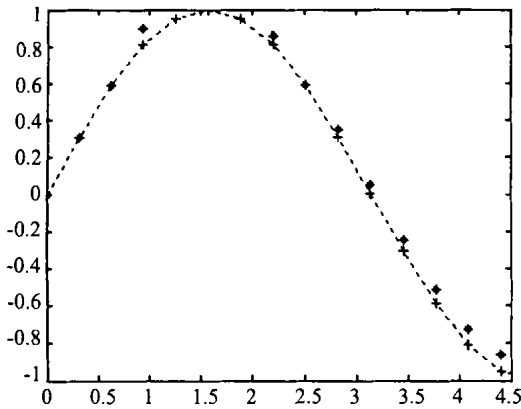


图 5 综合预测算法仿真  
Fig. 5 Results of simulation.

### 3.5 目标跟踪

目标跟踪基本上分为两种: 波门跟踪算法和相关跟踪算法。波门跟踪算法比较简单。有边缘跟踪、双边缘中心跟踪、区域平衡法跟踪和形心跟

踪算法。本系统考虑到背景较简单故采用波门跟踪模式工作, 又考虑到目标大小会随着运动发生变化, 故采用自适应波门。

本文采用质心算法求取目标的位置。设目标图像面积为  $A$ , 位于坐标点  $(x, y)$  处的像素的微面积为  $dA = dx dy$ , 在这像素内的光能量密度为  $(x, y) dx dy = (x, y) dA$ 。在整个目标区  $A$  内的总能量应为

$$M = \int_A (x, y) dA, \tag{8}$$

因此目标形心的坐标为

$$\begin{cases} x_c = \frac{M_y}{M} = \frac{\int_A x(x, y) dA}{\int_A (x, y) dA} \\ y_c = \frac{M_x}{M} = \frac{\int_A y(x, y) dA}{\int_A (x, y) dA} \end{cases}, \tag{9}$$

上式中  $M_x$  表示相对于  $x$  轴的能量矩,  $M_y$  表示相对于  $y$  轴的能量矩。用计算目标形心的方法可以充分反映目标能量的分布状况。由于形心值是相对于目标面积归一化了的值, 因此, 形心值不再受目标面积及形状的限制。形心算法的输出值与目标实际偏离量成恒定比值关系。

波门的中心  $G(x_G, y_G)$  通常应和目标中心  $T(x_T, y_T)$  重合; 若目标在运动, 则波门位置和目标位置之间便有偏移, 偏移量为  $(x_{TG}, y_{TG}) = (x_T, y_T) - (x_G, y_G)$ 。使伺服机构动作趋使波门中心向目标中心方向移动, 以使  $(x_{TG}, y_{TG})$  趋于 0。

表 1 X 方向误差值

Table 1 Bias in X direction

Number	Value							
1-8	-0.0223	0.0026	0.0485	0.0679	0.0849	0.0985	0.1091	0.1159
9-16	0.1202	0.1210	0.1187	0.1140	0.1062	0.0968	0.0841	0.0720
17-24	0.0570	0.0422	0.0260	0.0106	-0.0055	-0.0211	-0.0501	-0.0621
25-32	-0.0735	-0.0831	-0.0920	-0.0987	-0.1032	-0.1062	-0.1071	-0.1062

表 2 Y 方向误差值

Table 2 Bias in Y direction

Number	Value							
1-8	- 0.0089	- 0.0200	- 0.0301	- 0.0395	- 0.0478	- 0.0550	- 0.0607	- 0.0643
9-16	- 0.0670	- 0.0678	- 0.0673	- 0.0656	- 0.0618	- 0.0575	- 0.0517	- 0.0455
17-24	- 0.0375	- 0.0297	- 0.0210	- 0.0117	- 0.0025	0.0060	0.0156	0.0244
25-32	0.0321	0.0404	0.0472	0.0531	0.0587	0.0625	0.0661	0.0685

## 4 结束语

在本设计系统中,以简单场景中的运动飞行器作为目标进行模拟仿真试验,CCD 图像的帧频为 25Hz,帧图像分辨率为 512 × 512 像素,每像素 8bit 量化(256 灰度等级)。从表 1,表 2 可以看出本系统运动目标的实际值与预测值的误差在允许

的范围内,并且系统能在干扰物短暂阻塞目标使图像目标瞬时丢失的异常情况下,继续跟踪并在干扰过后能重新获得被跟踪图像目标。实验表明,本系统具有较好的实时性,基本达到预期效果,同时,该系统具有灵活的结构,对不同结构的算法都有较强的适应能力,大大提高了信号处理的效率。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 戴明桢,周建江. TMS320C54X DSP 结构 原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [3] 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.
- [4] 裴继红,谢维信. 舰船红外成像目标实时识别跟踪算法研究[J]. 光电工程,1995,22(5):21-31.
- [5] 张云深,王玉. 红外成像跟踪技术的现状和发展[J]. 光学 精密工程,1994,2(3):52-55.
- [6] Betke M, Haritaoglu E, Davis S L. Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle[J]. *Machine Vision and Applications*, 2000, 12:69-83.
- [7] Gilbert A L, Gles M K, Flachs G M, et al. A Real-time Video Tracking System[J]. *IEEE Trans. PAMI*, 1980, 2(1): 47-56.

## Study of an image tracking system based on DSP

ZHANG Si-fang, LI Zheng-ming

(School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** In order to enhance the real-time traits, based on the DSP(TMS320VC5410), a real-time image recognizing and tracking system consisting of four modules is introduced in this paper. The algorithm includes image pre-processing, image segmentation, selecting feature and target tracking, which are explained in turn. At the same time, block diagrams of image tracking are given. Finally, the method is emulated with a computer, and the experimental results are found in accordance with theoretical ones, showing that the system is feasible and effective.

**Key words:** image tracking; real-time image processing; image segmentation; DSP; wave gate

作者简介:张思芳(1978-),男,福建省福州市人,江苏大学硕士生,主要从事图像处理研究。E-Mail:zhangsifang@163.net