

文章编号: 1003-501X(2007)01-0027-05

智能目标检测与跟踪系统的设计与实现

郝志成^{1,2}, 朱 明¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为了实现复杂背景下对任意目标的智能检测与稳定跟踪, 设计了基于双 DSP 结构的集视频处理、云台运动控制于一体的实时电视跟踪系统。系统采用模块化硬件结构, 并提供直接用户接口可使系统脱离上位机独立工作。同时改进了目标识别算法, 提出一种基于区域分割的相关模板提取方法。利用自适应空域滤波器分割出目标区域, 再用二次投影法快速提取目标, 并以模板评价函数为准则实时更新模板。具有模板自适应性强, 目标判断准确, 跟踪鲁棒性好等优点。外场实验表明, 在目标变化和有物体遮挡干扰的情况下, 系统能准确提取任意指定目标, 并保持连续稳定的跟踪。

关键词: 目标跟踪; 自适应模板; 双 DSP 结构; 模块化设计; 目标识别

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Design and implementation of target intelligent detecting and tracking system

HAO Zhi-cheng^{1,2}, ZHU Ming¹

(1. Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: To achieve the intelligent detection and steady tracking to an arbitrary target in the complex background, a real-time tracking system was designed, in which two DSPs were used in order to detach the data processing function from the control function. The hardware structure was modularized and a Direct User Interface (DUI) was designed so that the system could work independently without the upper computer. Furthermore, a new algorithm for extracting correlation template was proposed: Firstly, applied an adaptive special filter to partition the target area, and then extracted the target accurately using two-projection method. The template was updated according to its evaluative function so that it had good adaptability and robust capability to the target. The field experiments show that although target is changeful or covered, the system can still extract it accurately and keep tracking it steadily.

Key words: Target tracking; Adaptive template; Two DSP structure; Modularization design; Target recognition

引 言

目标的智能检测与跟踪是现代图像处理领域一个重要研究方向, 特别是在复杂场景下对任意指定目标的稳定跟踪不仅在军事上有重要意义, 而且在民用上, 如机器人、交通监控等众多领域也有广泛的应用前景。在目前的电视跟踪系统中, 采用的跟踪算法有质心算法、相关算法、多模算法以及基于参数运动模型跟踪算法等多种算法。其中相关跟踪由于实现简单, 跟踪精确, 具有较好的选通跟踪能力和一定的抗背景干扰能力, 使其成为最常用的算法。

收稿日期: 2006-06-10; 收到修改稿日期: 2006-09-21

基金项目: 中国科学院二期创新基金资助项目(复杂背景下目标跟踪策略和算法研究)(C05T02Z)

作者简介: 郝志成(1978-), 男(汉族), 辽宁大石桥人, 博士研究生, 主要从事信号检测、数字图像处理和模式识别方面研究。

E-mail: hzc972513@tom.com

1 目标检测

实现电视跟踪系统的智能化,首先要做到系统对任意指定目标的自动检测,即自动提取大小适中的相关匹配模板。模板选的过大,就会包容大量的背景信息,致使匹配精度下降;模板选的太小,又会丢失目标信息,产生错跟的现象,因而最适合的相关模板就是目标的外接矩形。

1.1 目标区域分割

所谓任意目标检测就是在开始跟踪的第 k 帧时,只知道目标位置信息 (x_0, y_0) , 没有目标形状、大小等其他信息,这就决定了跟踪系统对目标不具有任何先验知识。假设第 k 帧图像为 $f(x, y)$, $I_f(x, y)$ 是利用 Sobel 算子提取的边缘图像,选取合适的阈值 T_e 对 $I_f(x, y)$ 二值化^[1], 得到二值图像 $S_f(x, y)$:

$$S_f(x, y) = \begin{cases} 1 & I_f(x, y) \geq T_e \\ 0 & I_f(x, y) < T_e \end{cases} \quad (1)$$

由于背景环境中可能有干扰物体存在,要准确地从图像中检测出目标就必须对得到二值图像 $S_f(x, y)$ 进行区域分割以剔除图像中的干扰背景。图 1(a)中,汽车是需要跟踪的目标物体,将旁边的树木视为干扰背景。因为已知 (x_0, y_0) 是目标内一点,所以目标 $O_{\text{target}}(x, y)$ 存在的最大概率区域为以 (x_0, y_0) 为中心的邻域 $\Omega(x, y)$ ^[2]。

$$\begin{aligned} O_{\text{target}}(x, y) &\subset \Omega(x, y) \\ \Omega(x, y) &= \{(x, y) : \|(x, y) - (x_0, y_0)\| < \delta\} \end{aligned} \quad (2)$$

据此特性,设计了矩形空域滤波器 $RECT(\frac{x-x_0}{M}, \frac{y-y_0}{N})$, 以此来定义邻域 $\Omega(x, y)$ 的大小, 即

$$\Omega(x, y) = S_f(x, y) \bullet RECT(\frac{x-x_0}{M}, \frac{y-y_0}{N})$$

$$\text{其中 } RECT(\frac{x-x_0}{M}, \frac{y-y_0}{N}) = \begin{cases} 1, & \|x-x_0\| < M, \|y-y_0\| < N \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (3)$$

空域滤波器大小的选择非常关键。滤波器太大,邻域 $\Omega(x, y)$ 内会包含许多干扰背景,给后续的目标提取带来困难;滤波器太小,会使目标部分信息丢失,导致匹配精度下降。确定 M_T 和 N_T 的准则如下:如果以 (x_0, y_0) 为中心的某最小滤波器内二值图像包含了大于既定阈值的边缘点,则认为该滤波器为最佳滤波器,而滤波器内邻域 $\Omega(x, y)$ 即为目标存在的最大概率区域。令 M, N 为变量,寻找最佳空域滤波器的准则可表示如下:

$$RECT(M^*, N^* | x_0, y_0) = \min\{(\sum S_f(x, y) \bullet RECT(\frac{x-x_0}{M}, \frac{y-y_0}{N})) > T_r\} \quad (4)$$

式中 $M_0 - \Delta M < M < M_0 + \Delta M$, $N_0 - \Delta N < N < N_0 + \Delta N$; M_0, N_0 为变量的初始值, $\Delta M, \Delta N$ 为搜索半径, M^*, N^* 为最佳滤波器的长和宽, T_r 为既定阈值,图 1(b)为利用公式(4)分割出的目标区域 $\Omega(x, y)$ 。实践证实,该方法能够找到理想目标存在最大概率区域,公式(4)不是唯一可用的准则,其他(如最大区域方差法^[3])准则有待于进一步研究。

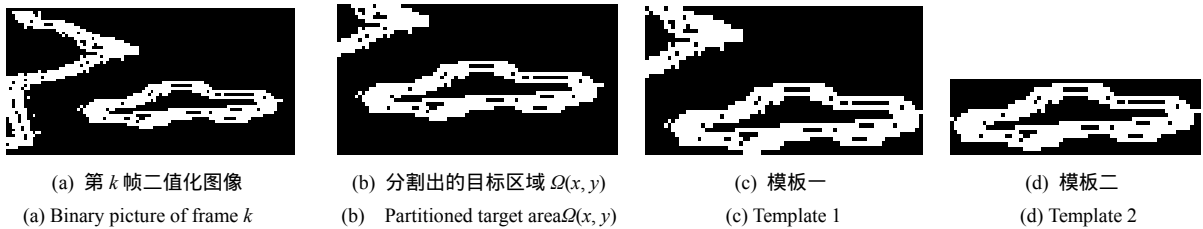


图 1 目标提取结果示意图

Fig.1 Results of target extracting

1.2 目标精提取

经过目标区域分割后,跟踪目标已从背景中初步分离出来,需要对目标进行精提取以确定目标的准确边界。投影法是最简单而有效的方法,它算法简单,计算量小,而且投影法对边缘图像质量要求不高,即使目标的边缘不连通也不会影响提取结果。

可以看到图 1(b)中 $\Omega(x, y)$ 区域的左上角仍有一部分干扰背景。如果在 $\Omega(x, y)$ 内简单地使用投影法就会得到模板一,而模板图像中将这部分背景也包含进来,所以对提取算法做一下改进——采用二次投影法。

首先,利用公式(4)求出目标存在的最大概率区域 $\Omega(x, y)$,将二值图像 $S_f(x, y)$ 在 $\Omega(x, y)$ 范围内分别向 x 轴和 y 轴方向做投影(例如向 x 轴方向投影,则将图像的列向量相加),得到 x 方向和 y 方向的一维投影向量,用适当的阈值截取,得到一次投影的左右边界(x_l, x_r)和上下边界(y_u, y_d)。用同样的方法,将 $S_f(x, y)$ 在区域 $\{x, y | x_l \leq x \leq x_r, y_u \leq y \leq y_d\}$ 内再分别向 x 轴和 y 轴方向做一次投影,这样就可以将一次投影图像中的干扰背景(如图 1(c)中模板一左上角的树冠)滤掉,从而得到准确的目标图像 $O_{\text{target}}(x, y)$ (图 1(d)中模板二)。图 2 给出了一次投影法和二次投影法分别在 x, y 方向投影曲线比较。

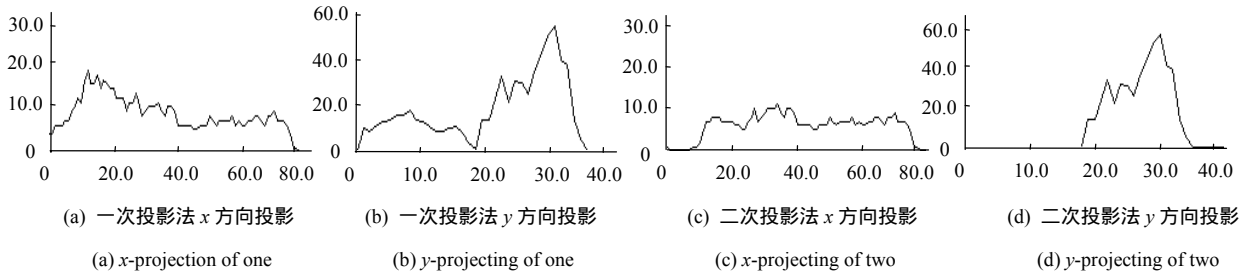


图 2 两种投影法投影曲线比较

Fig.2 Curve comparison of two projection algorithms

从投影曲线中可以看出,二次投影法可以更加精确的得到目标轮廓边界,滤除背景图像。该方法虽然简单有效,但必须在目标区域分割的基础上进行,用其将波门图像中的大部分背景滤掉,否则将很难从复杂背景中准确地提取目标模板。

2 模板更新机制

在图像相关跟踪系统中,模板的更新机制是一个非常重要的技术关键。传统进行模板修正的做法是将模板与当前帧的最佳匹配区加权求和^[4],由于这种策略并没有区分目标和背景,因而波门内变化的背景将会大大降低匹配的精度。此外,传统的模板更新算法中,模板的大小和形状是保持不变的,而实际上,目标的形状和尺度总是在发生变化。针对这些问题,以最佳匹配点图像与模板的相关值作参考构造模板评价函数,再用评价函数结合当前模板形状和尺度的变化情况来决定是否更新模板,并在模板更新时引入前面的目标检测过程,先将背景和目标分离开,进而有针对性地更新模板。

2.1 模板评价函数

相关匹配就是在当前帧图像中搜索与模板图像相同或最相似的部分,通常用相关函数 r 来衡量它们之间的相似度。为了减少运算量,可用平均绝对差 $d(\text{MAD})$ 近似代替 r 。

$$d(u, v) = \frac{1}{KL} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L |X_{ij} - Y_{i+u, j+v}| \quad (5)$$

X 是目标模板图像,大小为 $K \times L$, Y 是搜索区图像, (u, v) 是当前匹配子块图在搜索区中的位置。 d 越小表示图像与模板匹配的越好,而最小值 d_{\min} 处就是模板与图像的最佳匹配点,即相关函数的峰值。对 d_{\min} 进行归一化,得到归一化相关值 D ,其取值范围 $0 \leq D \leq 1$ 。我们构造模板评价函数如下:

$$\Delta D_i = D_i - D_{i-1} \quad i = 1, 2, 3 \cdots \quad (6)$$

式中 D_i 为第 i 帧图像与模板最佳匹配点上的归一化相关值, D_0 表示模板更新时图像与模板的相关值,所以恒有 $D_0 = 0$ 。

2.2 模板更新准则

更新模板首先要基于一点假设,即相邻两帧图像中目标不会发生很大的位移和变形,而这一假设通常也是合理的。模板评价函数是计算前一次匹配峰值和当前匹配峰值的差值 R_i ,而 R_i 只有落在某一区间内的时候才能对模板进行刷新。即

$$D_1 < \Delta D_i < D_2 \quad (7)$$

公式(7)表示:当 $\Delta D_i < D_1$ 时,认为当前图像与模板匹配的很好,目标几乎没有变化,所以没有必要更新模板以免发生错误;而当 $\Delta D_i > D_2$ 时,当前图像目标区与模板相比发生了很大变形,认为有物体遮挡目标,也不能更新模板以免错跟遮挡物。这里的 D_1 和 D_2 一般是通过实验获得的经验值。其中 D_1 的取值要特别注意:若 D_1 取值太大,目标变形很大,产生了累积误差,新模板和目标产生了很大的差距,这是由于变模板构造对于目标有滞后性引起的;若 D_1 取的过小,会导致模板变换过于频繁,目标在某一帧产生跳跃时会造成很大误差,这是由场景对目标的滞后性引起的。

当某帧图像满足模板更新条件时,首先利用前面的目标检测方法在图像中检测出目标边界,构造新的模板,然后对新、旧模板的形状和大小进行比较。根据图像序列的帧间相似性,如果新模板的形状和大小的改变都超过某一阈值,则认为目标提取错误,放弃新模板,仍使用旧模板,这样可进一步保证准确可靠地更新模板图像。

3 跟踪系统的硬件实现

本文设计了一种以双 DSP 为核心处理器,集视频处理、云台运动控制、摄像机自动调节于一体可多路视频输入的实时跟踪控制系统。其核心板卡采用模块化硬件结构,并采用了流水线和并行处理技术。主控制器选用 1 片 TMS320C2000DSP,实现外部中断处理、芯片配置、串口通信及直接用户接口等宏观控制管理,跟踪模块选用高速 DSP 芯片 TMS320C6416,完成目标的自动识别、模板更新与相关跟踪;图像预处理模块及外围逻辑电路由 Altera 公司的大规模 FPGA 器件 ACEX 1K 实现^[5],此外,在 FPGA 中还集成了双口 RAM 和字符叠加等功能扩展模块。其硬件结构框图如图 3 所示。

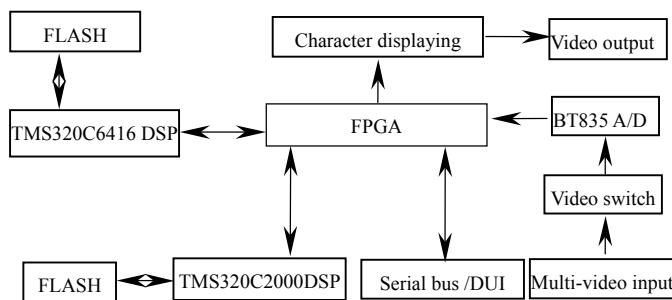


图 3 跟踪系统硬件结构框图

Fig.3 Hardware structure diagram of tracking system algorithms

3.1 系统工作原理

如图 3 所示,跟踪系统的工作原理为:首先,从 CCD 输入的模拟视频信号首先经过一个多路选择器,被选中的视频信号经过箝位、滤波、放大等处理后分成两路:一路经字符叠加后直接送到监视器,用来观察系统工作情况;一路通过视频解码芯片 BT835 将模拟视频信号转换成标准 8 位数字视频信号。视频 ADC 采用的是 BT 公司的 BT835 视频解码芯片,它 A/D 转换速度快,具有多种输出格式:即可产生标准 8 位灰度信号,也可产生 16 位 YUV 彩色信号,并可同时分离出视频行场同步信号。量化后的图像数据在 FPGA 内进行数字图像预处理,预处理包括中值滤波和图像积累,可有效地抑制颗粒噪声,并可以增强运动目标的边缘和高梯度细节,提高图像的信噪比。

经过预处理后数字图像通过 FPGA 内的双口 RAM 读入跟踪模块,在 DSP 内部完成目标自动捕获、相关匹配、运动轨迹预测等功能,并计算出目标的脱靶量。系统中选用高速 DSP 芯片 TMS320C6416 作为核心数据处理器^[6]。C6416 的时钟频率高达 600MHz,运算速度达到 5760MIPS(每秒百万条指令)。C6416 将原有的 VelociTI(甚长指令字)结构扩展为 VelociTI.2,总体性能比 C62xx 提高了 10~15 倍。C6416 采用两级高速缓存,片内存储容量达 1Mbyte,可省却外扩图像帧存储器,从而节省了板卡空间。

3.2 工作模式扩展

以往跟踪系统中最常见的工作模式是通过串行总线接口实现上位机监控系统与跟踪系统之间的通信:

监控中心向板卡发出命令字对跟踪方式(如相关跟踪或形心跟踪)、目标指定、视场大小、视频切换等进行控制;板卡则将目标脱靶量信息反馈给监控中心用以控制云台转动。但是,在许多环境中(如机载或箭载)现场无微机或不易建立上位机监控系统,因此除了上述通用串口模式外,系统中还扩展了一种更加方便的接口模式——直接用户接口模式(Direct User Interface, 简称 DUI)。在没有上位机监控中心的情况下,用户可以通过跟踪板卡上的鼠标接口外挂鼠标,进行控制操作。并且通过建立在监视器字符显示区上一个友好、直观的用户菜单实现对跟踪方式、视场大小、视频切换等的选择。同时,在 DUI 模式下,跟踪板卡的串行接口可以直接连接到云台的伺服系统,DSP 中的云台自动控制模块将被启动并将目标脱靶量整合,脱离上位机直接控制云台的转动。这种接口模式,提高了系统的灵活性,使之可在没有监控中心的条件下独立完成跟踪任务,同时也大大简化了跟踪设备的复杂度。

4 实验结果及讨论

本文设计的智能目标检测与跟踪系统已成功进行了多次外场实验,示例中被跟踪目标为一辆黑色轿车。实验中参数取值: $T_r=0.85M$ (M 为二值图像中边缘点总数), $D_1=0.2$, $D_2=0.45$ 。图 4 给出了实际的跟踪结果,图中外层白框为跟踪波门,内层白框为模板图像。

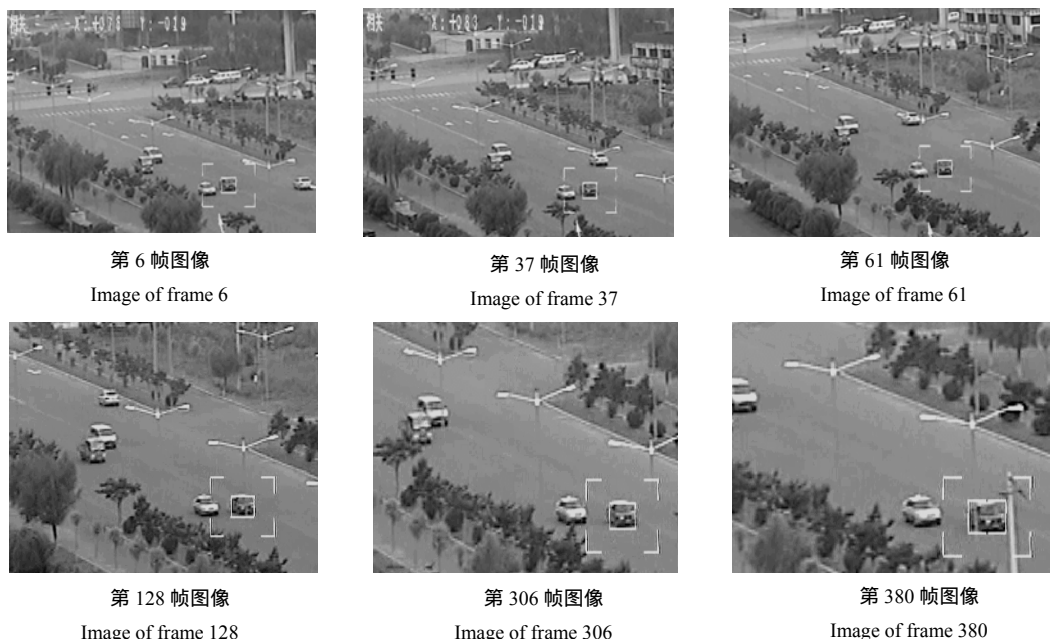


图 4 对任意指定目标的跟踪结果

Fig.4 Tracking results for arbitrary target

由实验结果可以看出,当目标大小和形状发生变化时,模板图像可随之作自动调整。并且该系统不仅能对简单背景下的目标汽车进行稳定跟踪,即使在有其它汽车干扰的情况下也能保证准确跟踪目标。

结束语

针对复杂背景中的任意指定目标,本文提出一种基于目标区域分割的智能目标检测方法,能够快速准确的分离背景和目标,并构造出模板评价函数以确定模板更新时机,使模板能够自适应目标的变化。同时设计了基于双 DSP 结构硬件系统来实现它。该系统体积小、速度快,集视频处理、云台运动控制于一体,而且扩展的 DUI 接口使跟踪系统能适应各种不同的现场环境,并使设备的检测和调试更加方便。外场实验证明,跟踪系统能长时间稳定地跟踪目标并具有一定的抗遮挡能力,但在大面积遮挡情况下,目标还是会丢失。因此,如何解决遮挡问题将是以后研究的重点。

(下转第 45 页)

3 结 论

本文采用 APGD 方式在自行设计的电极板平面上产生出一薄层的低温等离子体,依据其具有的光、声、热辐射特性,分别利用光栅单色仪、噪音计和无接触式测温计对 APGD 放电产生的等离子体的光辐射、声辐射及热辐射特性进行了测量分析。

数据处理结果表明,光谱面积积分平均值和光谱最高峰值平均值随 APGD 加载功率变化均呈线性增加关系,放电噪音声强和热辐射也与加载功率基本上呈线性增强关系,电极板的结构(电极条布置情况)会影响 APGD 的辐射强度。

研究结果说明在获得沿面 APGD 的辐射特性与加载功率之间的关系后,通过它来控制等离子体的产生量是可行的。这为有效地利用 APGD 低温等离子体提供了一种简便的途径,也为深入研究 APGD 等离子体,寻找 APGD 等离子体特性参数的表达方式奠定了基础。

参考文献：

- [1] ROTH J R. **Industrial Plasma Engineering - Volume 2 : Applications To Nonthermal Plasma Processing**[M]. Bristol and Philadelphia, London : Institute of Physics Publishing , 2001.
- [2] 管井秀郎. 等离子体电子工程学[M]. 张海波, 张 丹. 北京 : 科学出版社, 2002.
SUGAI Hideo. **Plasma Electronic Engineering**[M]. ZHANG Hai-bo, ZHANG Dan. Beijing : Science Press , 2002.
- [3] 任兆杏, 丁振峰. 低温等离子体技术[J]. 自然杂志, 1996, **18**(4) : 201-207.
REN Zhao-xing , DING Zhen-feng. Low Temperature Plasma Technology[J]. **Journal of Ziran** , 1996 , **18**(4) : 201-207.
- [4] 李成榕, 王新新. 大气压下的辉光放电[J]. 高电压技术, 2002, **28**(12) : 41-43.
LI Cheng-rong ,WANG Xin-xin. Atmospheric Pressure Glow Discharge (APGD)[J]. **High Voltage Engineering** ,2002 ,**28**(12) :41-43.
- [5] 张 锐, 刘 鹏, 詹如娟. 大气压辉光放电研究现状及应用前景[J]. 物理, 2004, **33**(6) : 430-434.
ZHANG Rui ,LIU Peng ,ZHAN Ru-juan. Status and Application Prospects of Atmospheric Pressure Glow Discharge Studies[J]. **Physics** , 2004 , **33**(6) : 430-434.
- [6] 林 麒, 任庆磊. 常压空气辉光放电等离子体光辐射特性试验[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, **44**(5) : 621-624.
LIN Qi , REN Qing-lei. Investigation in Radiation characteristic of Atmospheric Pressure Glow Discharge Plasma in Air[J]. **Journal of Xiamen University (Natural Science)** , 2005 , **44**(5) : 621-624.

~~~~~  
(上接第 31 页)

#### 参考文献：

- [1] PELIE. Feature Detection Algorithm Based on A System Model[J]. **Proceedings of IEEE** , 2002 , **90**(1) : 78-93.
- [2] CASTLEMAN K R. **Digital Image Processing**[M]. New Jersey : Prentice Hall , Inc , 1996.
- [3] 张天序. 复杂图像序列的自适应目标提取和跟踪方法[J]. 电子学报, 1994, **22**(10) : 46-53.  
ZHANG Tian-xu. An Adaptive Approach to Object Extraction and Tracking in Complex Image Sequences[J]. **Acta Electronica Sinica** , 1994 , **22**(10) : 46-53.
- [4] 周 晓, 任仙怡. 仿射模型目标跟踪中的一种模板修正策略[J]. 中国图象图形学报, 2002, **11**(7) : 1171-1175.  
ZHOU Xiao , REN Xian-yi. Template Update Method in Target Affine Tracking[J]. **Journal of Image and Graphics** , 2002 , **11**(7) : 1171-1175.
- [5] ACEX 1K Programmable Logic Device Family Data Sheet[Z]. Altera Incorporated , 2001.
- [6] TMS320C6000 Code Composer Studio Manuals[Z]. Texas Instruments Incorporated , 2001.
- [7] ZHONG Y , JAIN A K , DUBUISSON J M. Object Tracking Using Deformable Templates[J]. **IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence** , 2000 , **22**(5) : 544-549.