

一种嵌入式实时跟踪系统的设计与实现^{*} · 实用设计 ·

尹传历^{1,2}, 刘冬梅^{1,2}, 宋建中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】设计了一种视频跟踪器,它以高性能 DSP 芯片 TMS320VC5416 作为中央处理器,结合现场可编程门阵列(FPGA)构成外围电路逻辑控制,搭建了硬件跟踪平台,并在此系统中实现了用 Kalman 滤波估计目标位置和 Mean Shift 算法跟踪的目标位置自适应加权求和,作为目标最终跟踪结果的跟踪算法,有效减少了相同颜色背景的干扰。实验结果表明,本系统具有良好的跟踪性能,满足实时性要求。

【关键词】Kalman 滤波; 彩色特征; Mean Shift 算法; 视频跟踪系统

【中图分类号】TP391.4

【文献标识码】A

Design and Realization of Embedded Real-time Tracking System

YIN Chuan-li^{1,2}, LIU Dong-mei^{1,2}, SONG Jian-zhong¹

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

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

【Abstract】The designed video tracker takes TMS320VC5416 as the center processing chip, and realizes the logic control of periphery circuit based on FPGA. The self-adopted weighted sum of the target locations estimated by Kalman filter algorithm and tracked by Mean Shift is used to obtain the final tracking results. And this new algorithm could effectively reduce the background interference with same color. The experimental results show that this system could track targets well and meet the real-time requirements.

【Key words】Kalman filter; color feature; Mean Shift algorithm; video tracking system

1 引言

电视跟踪是计算机视觉领域的重要研究课题,被广泛应用于光电火控^[1]、电视制导^[2]、智能交通、安全监控等领域。近几年,基于颜色特征的目标跟踪成为研究的热点^[3]。Comaniciu 等人提出的结合加权直方图的 Mean Shift^[4]算法,采用核的无参估计,有效解决了目标变形和部分遮挡的问题,且实时性好。但是,当背景中出现相同颜色干扰物体或目标被遮挡时,容易使跟踪失败^[5]。

笔者在 Mean Shift 跟踪算法基础上,对搜索窗口进行 Kalman 滤波目标状态预测,并采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320VC5416 作为中央处理器,结合 Altera 公司的可编程门阵列 FPGA 芯片 EP1K100QC208 构成外围电路逻辑控制,搭建了高速电视跟踪平台,实现了对目标的实时稳定跟踪。

2 跟踪平台设计

硬件系统主要由图像采集与转换模块、图像与结果显示模块、DSP 图像处理模块、接口逻辑与时序控制模块、存储器模块和通信接口模块组成,其原理框图如图 1 所示。

系统工作过程如下:系统上电后,DSP 从外部

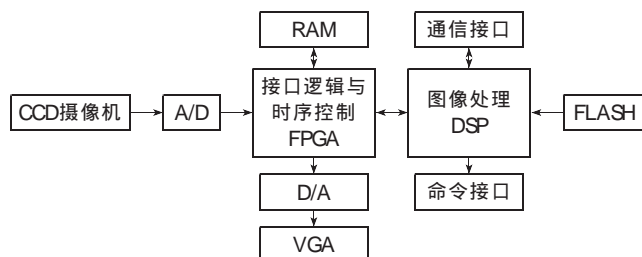


图 1 实时跟踪系统硬件框图

FLASH 中调 load 用户程序到内部程序空间,bootload 成功后用户程序执行。在 ADC 转换一场图像数据的同时,FPGA 将 A/D 转换后的图像与上一场 DSP 传输来的以文字和图形描述的跟踪结果叠加起来,再经过 D/A 转换,通过 VGA 接口输出显示。FPGA 在 A/D 采集完一场数据后向 DSP 发送一次硬件中断 HI (Hardware Interrupt),DSP 接到 HI 中断后,首先启动 EDMA 通道通过 FPGA 中 I/O 接口从外部缓存 RAM 中读取这场图像数据,图像传输完成后启动一次软件中断 SI (Software Interrupt)。在软件中断 SI 服务程序中,DSP 根据图像数据进行目标检测和跟踪,再将这一场跟踪结果以文字及图形的形式送给 FPGA。如此反复进行,直到命令接口停止键按下或目标丢失。

^{*} 国家自然科学基金资助项目(6037062)

2.1 图像采集及显示部分

视频 A/D 采用 Philips 公司的视频解码芯片 SAA7111A, 将 CCD 摄像机输出的复合模拟视频信号转换为标准的 YUV422 格式的数字视频信号, 并在 FPGA 的控制下存储在 RAM 中, 同时产生行同步信号 HS、场同步信号 VS、奇偶场标志信号 RTS0 和像素时钟信号 LLC2。RAM 采用 ISSI 公司的 IS61LV12816, 其容量为 128 Kbyte×16。在图像采集过程中, 每场图像的大小为 512×256, 即每行采集 512 个像素, 每场(奇场或偶场)采集 256 行, 而 SAA7111A 输出的每场图像分辨率为 720×288, 因此, 需要通过像素延时模块选择每行中间的 512 个像素, 通过行延时模块选择每场中间的 256 行。

经 A/D 转换后的数字图像信号: 一路存储到 RAM 中; 另一路在 FPGA 的控制下与 DSP 发送来的图形和字符进行叠加。D/A 的芯片型号为 AL250, 通过 VGA 接口接到显示器上。

2.2 DSP 图像处理部分

本系统采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320VC5416 作为中央处理器, 它是整个图像采集处理系统的核心, 其主要任务是从 RAM 中读取一场图像, 并利用图像处理算法对图像进行目标检测、跟踪等处理。TMS320VC5416 的运算能力达 160 MI/s(兆指令/秒), 采用改进的哈佛总线结构, 具有 3 个多通道缓冲串行接口(MCBSP)和 1 个主机接口(HPI), 外部存储器的寻址能力高达 8 MB, 是一款高性能、低价位、低功耗的 16 位定点数字信号处理器。

2.3 接口逻辑与时序控制

这里, 采用 Altera 公司的 EP1K100QC208 作 FPGA 器件。FPGA 可在系统编程, 逻辑控制方面实现灵活配置, 主要实现以下功能: A/D 和 DSP 访问 RAM 时进行地址译码及 RAM 的片选、读写控制; A/D 和 DSP 对 RAM 访问的轮流切换, 保证同一时刻二者之中只能有一个对 RAM 进行访问操作; A/D 转换时序和逻辑控制; 控制编码芯片 AL250 的工作时序; 将原始数字图像数据和输出显示用的图形信号进行叠加; 作为通用输入输出接口对其他接口进行控制等。

3 基于 Kalman 滤波器和 Mean Shift 的跟踪算法

3.1 Kalman 滤波器

假设目标的运动状态参数为某一时刻目标的位置、速度和加速度^[9]。

根据文献[7], 定义 Kalman 滤波器在 k 时刻的系统状态为 $x_k = (s_0^k, s_1^k, s_0^k, s_1^k, s_0^k, s_1^k)$, 其中: s_0^k, s_1^k 分别代表目标在 x 方向和 y 方向的位置; s_0^k, s_1^k 分别代表目标在 x 方向和 y

方向的速度; s_0^k, s_1^k 分别代表目标在 x 方向和 y 方向的加速度。根据图像匹配, 只能得到目标的位置, 定义在 k 时刻的观测量 $y_k = (s_0^k, s_1^k)$, s_0^k, s_1^k 表示匹配得到的目标在 x 方向和 y 方向位置。

则状态方程为

$$x_k = \Phi x_{k-1} + w_{k-1} \quad (1)$$

式中: x_k 为 k 时刻状态; x_{k-1} 为 k-1 时刻状态; Φ 为状态转移矩阵, w_{k-1} 是零均值且独立的噪声矢量。

测量方程为

$$y_k = Hx_k + v_k \quad (2)$$

式中: H 为测量矩阵; v_k 是零均值且独立的噪声矢量。

3.2 Mean Shift 跟踪算法

Mean Shift 是一种利用概率分布的梯度寻找分布峰值的鲁棒性高的非参数估计方法^[9]。根据文献[5], 设 $x_i, i=1, \dots, n$ 是 d 维空间 R^d 的有限集合, 对 x_i 的分布 $f(x)$ 的多变量核估计 $\hat{f}(x)$ 为

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_V(x - x_i) \quad (3)$$

式中: V 为 d×d 的带宽矩阵; $K_V(x)$ 是带宽为 V 的多变量核。

在 x 处的 Mean Shift 矢量 $m(x)$ 定义为

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \varepsilon_i g\left(\left|\frac{x - x_i}{h}\right|^2\right)}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i g\left(\left|\frac{x - x_i}{h}\right|^2\right)} - x \quad (4)$$

式中: ε_i 为权重; $g(\cdot)$ 为梯度核; h 为核函数的窗口宽度。

$m(x)$ 总是指向 $f(x)$ 增长最快的方向, 沿着 $m(x)$ 的方向移动核函数的中心位置就可找到临近的模式匹配位置。

待选目标相似度 $\hat{p}(s)$ 用 Bhattacharyya 系数表示两个概率分布的相关性, 其离散估计表达式为

$$\hat{p}(s) = \sum_{u=1}^L \sqrt{\hat{p}_u(s) \hat{q}_u} \quad (5)$$

式中: L 为像素量化等级; $\hat{p}_u(s)$ 为待选目标灰度为 u 的核函数直方图值; \hat{q}_u 是灰度为 u 的核函数直方图值。

4 结合了自适应加权求和的跟踪算法

在实际跟踪状态下, 由于 Kalman 滤波器估计在目标突然转向或速度明显变化时是不可靠的, 与真实值有较大差距。而 Mean Shift 算法在背景中出现相同颜色干扰物体或目标被全部遮挡时, 容易跟踪失败。故本文采用两

种算法自适应权值结合的方法。

其公式如下

$$p(x, y) = \partial \cdot p_m(x, y) + (1 - \partial) \cdot p_k(x, y) \quad (6)$$

式中: $p_m(x, y)$ 为 Mean Shift 算法跟踪结果; $p_k(x, y)$ 为 Kalman 滤波器预测结果; ∂ 为比率因子。

通过 (5) 式相似度系数 $\hat{\rho}(s)$ 自适应调节, 当运用 Mean Shift 算法得到当前帧检测的目标直方图与目标接近时, 相似度系数大, 运动目标的最终的跟踪结果就倾向于 Mean Shift 算法跟踪结果。反之, 当目标被干扰或被遮挡时, 相似度系数小, 运动目标的最终的跟踪结果就倾向于 Kalman 滤波器估计结果。

具体实现步骤如下:

第一步: 初始化, 即在第一次使用 Kalman 滤波器时要对滤波器进初始化, 将 x_0 赋初值为目标的初始位置和速度, 速度未知, 可设为零, 并记录当前图像时刻, 同时设状态的后验估计量误差的协方差 $P_0=0$;

第二步: Kalman 预测, 在新输入的每帧图像中进行匹配搜索之前, 记录与上一帧图像的时间间隔 t , 预测当前的目标运动状态 $x_{k|k-1}$;

第三步: 使用 Mean Shift 算法寻找最佳匹配位置;

第四步: 利用公式 (6) 计算出最终的跟踪结果;

第五步: Kalman 更新, 求出 Kalman 滤波器增益系数, 更新后检验估计误差协方差。

5 实验结果

为验证本文设计的嵌入式跟踪系统的有效性, 从楼上对公路上行驶的汽车进行实时跟踪, 跟踪距离约为 70 m。其中目标搜索窗口最大为 160 像素 \times 120 像素, Mean Shift 算法最大递推次数 10。图 2 为此次实验的部分跟踪结果。目标车辆(白色汽车)行驶经过广告牌(广告牌为白色, 与目标车辆颜色相似), 被遮挡住了部分车身(图 2b~2c), 最后从遮挡物后驶出。其中: 黑色长方形方框为最终跟踪窗口, 曲线 1 为跟踪轨迹, 曲线 2 为 Kalman 滤波器估计结果。从图中可看出, 目标的跟踪基本上没有受到广告牌的影响, 跟踪窗口在整个过程中能准确覆盖到目标区域。且系统能达到实时工作, 跟踪速度为每秒 50 场, 对每一场图像进行处理, 计算跟踪结果, 跟踪精度为 ± 1 个像素。

6 小结

笔者实现了复杂环境下的目标嵌入式实时跟踪。设计了基于高性能 DSP+FPGA 的嵌入式目标跟踪平台, 并实现了用 Kalman 滤波估计目标位置和 Mean Shift 算

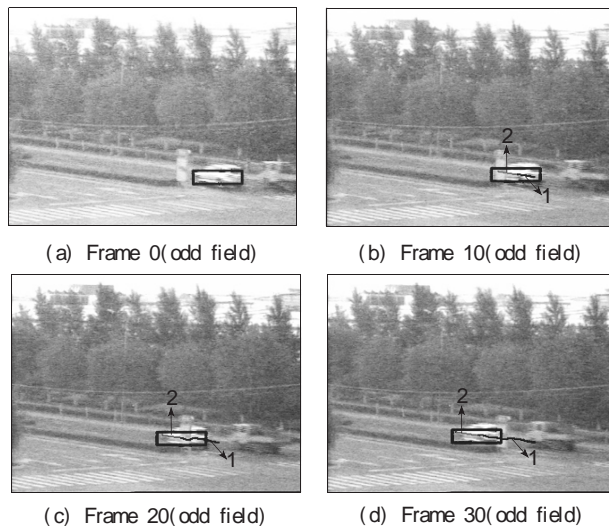


图 2 部分跟踪结果

法跟踪的目标位置自适应加权求和, 作为目标最终跟踪结果的跟踪算法。实验表明本系统能实现对目标的良好跟踪。

参考文献

- [1] 孙俊喜, 孙中森, 宋建中. 基于粒子滤波的目标实时跟踪系统[J]. 电视技术, 2007(3): 85-87.
- [2] 陈希林, 傅裕松, 尉润楷. 机载光电瞄准系统的现状及发展[J]. 红外技术, 2004, 26(2): 18-22.
- [3] COLLINS R T. Mean Shift blob tracking through scale space[C]// Proc. of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S.l.]: IEEE Press, 2003, 2: 234-240.
- [4] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Kernel-Based object tracking[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564-575.
- [5] 孙中森, 孙俊喜, 宋建中, 等. 一种抗遮挡的运动目标跟踪算法[J]. 光学精密工程, 2007, 3(5): 44-52.
- [6] YAN H Y, GUO L H, TAN Z J, et al. Tracking mobile target by composed Kalman leap prediction method [J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(2): 169-173.
- [7] WELCH G, BISHOP G. An introduction to the Kalman filter[D]. Chapel Hill: Department of Computer Science University of North Carolina, 2003.
- [8] FUKUNAGA K. Introduction to statistical pattern recognition [M]. New York: Academic Press, 1990.

作者简介:

尹传历(1979-), 博士生, 主要研究方向为模式识别、视频图像处理技术等;

宋建中(1942-), 研究员, 博导, 主要研究方向为模式识别与电视跟踪技术。

责任编辑: 刘伯义

收稿日期: 2007-11-08