

基于均值偏移算法的目标跟踪系统及其在 Blackfin 上实现^①

梁来朋^{1,2}, 黎福海¹, 王 健², 徐考基³

¹(湖南大学 电气与信息工程学院, 长沙 410082)

²(93756 部队 电子教研室, 天津 300131)

³(天津大学 电气与自动化工程学院, 天津 300072)

摘 要: 描述了一个以 Blackfin DSP 为核心的图像实时采集和高速处理的运动目标跟踪系统设计。实践了一种快速匹配的均值偏移(Meanshift)跟踪算法, 给出了在复杂背景下跟踪汽车的试验结果。实验证明该系统性能可靠, 跟踪效果较好, 并有较高的实时性。

关键词: Blackfin DSP; 目标跟踪; Meanshift; 实时性

A Meanshift-Based Moving Object Tracking System and Its Implementation on Blackfin

LIANG Lai-Peng^{1,2}, LI Fu-Hai¹, WANG Jian², XU Kao-Ji³

¹(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

²(Electronics Department, 93756 Units, Tianjin 300131, China)

³(Institute of Electrical Engineering & Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In this paper, a real-time moving object tracking system of high-speed image sampling and processing with Blackfin DSP as the core component is presented. An algorithm of object-tracking based on Meanshift is implemented. At last, the experimental results under a complicate background are also shown. It is proved to be a reliable, effective and high real-time.

Key words: Blackfin; target tracking; meanshift; real-time

1 引言

智能视频监控及机器人视觉在家居、军事上均有广泛的应用, 对运动目标的实时跟踪是其中的重要部分。目前, 运动目标跟踪技术主要有^[1]:

基于区域的跟踪, 先初始化跟踪目标, 再运用相关算法, 在后续图像中跟踪目标。该算法的优点是性能稳定, 目标未遮挡时跟踪精度高, 缺点是目标变形或遮挡时跟踪精度下降。

基于特征的跟踪, 与前者相比, 该算法使用目标整体作为相关对象, 主要优点是能解决目标部分遮挡的问题, 特征容易捕捉, 不足之处是处理重叠和非相关结构的干扰时能力较差。

基于活动轮廓的跟踪, 该算法利用前几帧的先验形状信息来建立下一帧的目标形状模型, 可以从整体

上识别物体, 在物体变形、局部被遮挡的情况下, 仍具有较强的鲁棒性, 但对跟踪的初始值相当敏感, 要求被跟踪物体具有清晰轮廓, 自动跟踪初始化比较困难。

基于模板的跟踪, 是通过目标模型与图像数据间的匹配来跟踪目标的, 这种方法需要先验知识来描述目标模型。与其他跟踪方法相比, 该算法在遮挡或其他运动物体干扰时鲁棒性较好, 跟踪时只需建立模型, 其结构、运动约束等先验知识都会自动融合, 目标运动方向突变时, 跟踪仍然有效。其缺点是需要构造模型, 使计算代价提高, 且模型的质量高低直接影响跟踪的精度和稳定性。

此外还有其它一些常用的目标跟踪方法, 如基于粒子滤波的目标跟踪, 基于卡尔曼滤波的目标跟踪,

① 收稿时间:2011-01-21;收到修改稿时间:2011-03-01

基于 Meanshift 的目标跟踪等。基于 Meanshift 的目标跟踪法是一种基于模板匹配的跟踪方法,由于其简单、快速、无需参数和快速模式匹配的特性而得到广泛的应用。

本文从技术研究的角度,对目标跟踪进行了具有现实意义的探索,研究构建了基于 Blackfin 和 Meanshift 算法的,实现简单、成本较低的跟踪系统^[2]。

2 Blackfin DSP

Blackfin 系列芯片的基础是 ADI(Analog Devices) 和 Intel 公司联合开发的微信号架构(MSA),它将一个 32 位 RISC 型指令集和双 16 位乘法累加(MAC)信号处理功能与通用型微控制器所具有的易用性组合在一起,这种组合使得 Blackfin 能够在信号处理和控制系统中都很好地发挥作用。Blackfin 533 是 Blackfin 系列中的一款高性能视频处理芯片。其主频最高达 600MHz,内核包含两个 16 位乘法器,两个 40 位累加器,两个 40 位 ALU,四个视频 ALU 及一个 40 位移位器,两套数据地址产生器(DAG)为同时从存储器存取双操作数提供地址,每秒可处理 1200M 次乘加运算,并专门针对高速数据吞吐集成了并行外围接口(PPI),有适用于音视频应用的一组外设接口,具有大量针对视频的专用指令,可以并行处理多条指令^[3]。

3 系统硬件结构

本系统采用的视频解码芯片型号为 SAA7113,支持多种视频信号格式,其功能是对复合的视频信号作 A/D 转换为 8 位数字信号,同时输出行同步信号和场同步信号。采用 3.3V 供电,需外接 24.576MHz 晶体,内部具有锁相环,产生 LLC(line-locked system clock output)信号及其二分频信号 LLC2(频率为 13.5MHz)。其中 LLC2 信号用于整个图像采集系统的同步,一个 LLC2 周期采集一个像素的图像数据。本系统采用的视频编码芯片型号为 SAA7121,内部有三个 10 位视频 D/A 转换器,可以将数字视频信号编码为 PAL 或者 NTSC 制式的模拟视频信号。

本系统主要由 Blackfin533 为核心的视频采集、图像处理及显示电路构成,两个 SDRAM 中的一个用于存放程序,另一个用于存储编码过程中的原始图像、参考帧及其他数据,其原理结构如图 1 所示。摄像头采集的模拟视频信号经 SAA7113 视频芯片转化为

YUV 格式的数字视频信号,此信号由 Blackfin533 的并行外部接口进入 Blackfin533 进行压缩,压缩后的图像数据存入一片 SDRAM 中。待操控平台选择待跟踪目标后,Blackfin533 芯片就可以从另一片 SDRAM 中调入需要的数据参与算法运算。然后,运算处理后的数据交与视频输出模块 SAA7121 转换为模拟视频信号输出给显示设备。

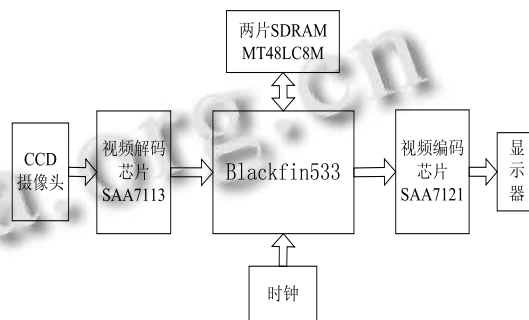


图 1 图像处理系统硬件框图

Blackfin533 提供了专用的并行外设接口(PPI)用于图像数据传输,配合 DMA 使用可以提高数据传输的中断处理能力,减少 DSP 的资源消耗,使 DSP 内核可以专注于后端数据处理。Blackfin533 不含 I2C 总线,故使用通用 I/O 口 PF0 和 PFI 对寄存器进行设置^[4]。完整的系统还包括 Blackfin533 的配置电路、时钟电路以及复位电路等,它们的性能直接影响系统的稳定性^[5]。

4 Meanshift 算法

有关 Meanshift 的目标跟踪方法, D. Comanicu 等人做了大量的研究工作,证明了 Meanshift 算法迭代的收敛性^[6]。Meanshift 算法是一种半自动化的核密度梯度估计跟踪算法,它的优点是设计思想简单,运算复杂度也不高。首先选定目标,计算核函数加权下的跟踪窗口中的直方图分布,假设 $\{y_i\} \ i=1, \dots, n$ 为目标区域中各个像素的位置,目标中心为 x_0 。则目标的直方图分布为 $\hat{p} = \{\hat{p}_u\} \ u=1, \dots, m$ 。其中

$$\hat{p}_u(x_0) = C \sum_{i=1}^n G \left(\left\| \frac{y_i - x_0}{h} \right\|^2 \right) \delta[b(y_i) - u] \quad (1)$$

其中, C 为归一化系数,使得 $\sum \hat{p}_u = 1$ 。G 为核函数,可取 Epanechnikov 函数或高斯函数,实际跟踪中高斯函数具有更好的鲁棒性,本文取高斯核函数。m 为特征空间中特征值的个数,特征空间采用 HSV 色彩空间

中的 H、S 信息, m 为 $16 \times 16 = 256$ 级, h 为核函数的带宽, 一般设为跟踪窗口的一半, δ 为 Kro-necker 函数, $b(y_i)$ 为像素 (y_i) 对应的特征值。其后的跟踪过程就是在序列图像中通过迭代寻找与目标 $\hat{p}(x_0)$ 最为相似的候选区域 $\hat{q}(x)$, 相似性度量采用 Bhattacharyya 系数。目标模型的概率分布 $\hat{p}(x_0)$ 与候选区域概率分 $\hat{q}(x)$ 布的 Bhattacharyya 系数为

$$\rho(x) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(x_0) \hat{q}_u(x)} \quad (2)$$

对应的迭代公式为

$$x_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i w(y_i) G\left(\left\|\frac{y_i - x_0}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n w(y_i) G\left(\left\|\frac{y_i - x_0}{h}\right\|^2\right)} \quad (3)$$

x_1 为新的目标中心位置, 其中

$$w(y_i) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u(x)}{\hat{p}_u(x_0)}} \delta[b(y_i) - u] \quad (4)$$

其中, $w(y_i)$ 为权重函数。迭代过程就是以 x_0 为起点, 不断计算(3)式, 以两个模型相比颜色变化最大的方向移动, 直至 Bhattacharyya 系数最大时即定位为目标最终中心位置, 便停止迭代, 因此该算法优于一般的全局搜索算法。

在实际的目标跟踪中, 目标姿态和角度、环境光线都存在变化, 需要在跟踪过程中的不断调整核函数的带宽大小以适应目标尺度变化, 尽量保证被跟踪目标处于核窗范围之内。根据之前 Meanshift 算法描述, 对于一个给定的目标模型, 当前帧中目标的位置可以通过比较原位置与估计邻域距离大小获得。当目标尺度随时间变化时, 可以采用核函数带宽重定位来适应目标尺度的变化^[7]。可用 h_{pre} 定义原帧中的带宽, 用 $h = h_{pre}$, $h = h_{pre} + \Delta h$, 以及 $h = h_{pre} - \Delta h$ 三种带宽值作为候选参考值, 运行目标定位算法三次, 获得三个 Bhattacharyya 系数, 取最大的系数所对应的带宽值作为当前帧的最佳带宽 h_{opt} , 根据经验, 我们取 $\Delta h = 0.1 h_{pre}$ 为拟合尺度。为了避免尺度收敛过拟合, 当前帧的带宽通过如下方程式进行修正:

$$h_{new} = \lambda h_{opt} + (1 - \lambda) h_{pre} \quad (5)$$

此处默认的 λ 是 0.1。需要注意的是 h_{new} 序列包含了未来迭代过程中, 目标尺度动态变化的重要信息。Bhattacharyya 系数的最大化过程实际上可以认为是匹配滤波的过程, 事实上, 公式(2)代表目标模板矢量和候选目标矢量之间的相关系数, 均值偏移过程即是寻找相关系数的局部最大值。

5 试验结果与结论

图 2 是在复杂背景下跟踪汽车的实验中采集的不同时刻的两幅图像的相关跟踪效果。经测试, 系统运算速度快(平均每帧图像的处理在 15ms 内完成), 且稳定性好, 适用于对实时性要求较高的运动目标跟踪。该跟踪算法可与多种目标检测方法相结合实现自动跟踪, 如帧间差分方法、背景差分方法、背景模型方法以及光流法等^[8]。



(a) 第 1 帧图像



(b) 第 50 帧图像

图 2 不同时刻的跟踪图像

本文以 Blackfin533 为数据处理核心, 使用一种自适应的均值偏移算法实现了一个完整的目标跟踪系统。其特点是硬件结构易于实现、成本低、能耗低、算法耗时少和跟踪快, 具有较高的实际应用价值。

(下转第 169 页)

如图6所示,图中ab段曲线为温度在阈值范围内波动时风扇转速的变化情况。由图6可知,采用无阈值的调速策略时,温度波动时控制系统频繁对风扇进行调速,而采用阈值调速的则并不对风扇进行调速。从而避免了非稳态噪声的产生及不必要的电机磨损并提高了系统的稳定性。

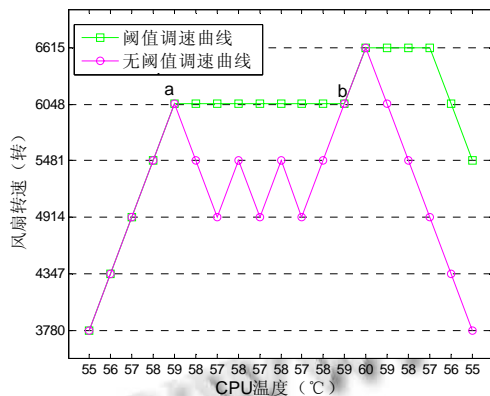


图6 有无阈值时风扇转速调节对比曲线

此外,对风扇系统进行了模拟故障试验。将MM_PWM强制全部为高或者低模拟故障情况,实验结果表明在故障情况下,风扇能全速运行从而保证刀片服务器的正常散热。

4 结论

本文设计的调速策略通过合理设置阈值范围,解决了温度小范围波动而导致风扇被反复调速的问题,从而避免了风扇被小范围反复调速而产生非稳态噪声及电机加速磨损等问题;结合PWM控制电路设计解决了当PWM输出出现故障而导致风扇系统崩溃的问

题,提高了系统的稳定性及可靠性。所设计的系统通过了各种环境实验,运行正常,已在销售的千余套产品中稳定运行一年以上。

参考文献

- 1 Wu XP, Mochizuki M, Nguyen T, et al. Low profile-high performance vapor chamber heat sinks for cooling high-density blade servers. 23rd Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM). San Jose, CA, 2007. 174-178.
- 2 Rangana TP, Leech P, Irwin D, et al. Ensemble-level power management for dense blade servers. Proc. of The International Symposium on Computer Architecture (ISCA). Boston, MA, 2006. 66-77.
- 3 张寰,陈剑.刀片服务器散热系统噪声实验研究.声学技术,2008,27(4):584-587.
- 4 龙庆伟,宋秀丽,毛洁.不同类型的噪声对作业工人听力损害的调查分析.医药论坛杂志,2006,27(18):77-78.
- 5 周建辉,杨春信,等.CPU空气强迫对流冷却系统设计.电子学报,2007,8:1592-1597.
- 6 章晓明,杜春燕,陆建德.HHPPC8245上的嵌入式Linux移植及VPN开发.计算机工程,2007,33(2):274-276.
- 7 章良锋,高晓丁,沈瑜.细纱机摇架微机自动检测系统可靠性设计.仪器仪表学报,2006,27(6):270-272.
- 8 谢海鹤,邹文栋,黄长辉,等.基于PWM比较放大的LD温控系统.仪器仪表学报,2009,30(7):1530-1534.
- 9 康华光,邹寿彬.电子技术基础数字部分.北京:高等教育出版社,2000.

(上接第209页)

参考文献

- 1 侯志强,韩崇昭.视觉跟踪技术综述.自动化学报,2006,32(4):603-617.
- 2 汪国有,姜远利,杨永祥.基于Blackfin DSP的实时视频采集接口设计与实现.计算机与数字工程,2006,34(1):125-128.
- 3 陈峰.基于Blackfin DSP的数字图像处理.北京:电子工业出版社,2009.11-12.
- 4 柳笛,黎福海,闫旭.基于Blackfin DSP的图像数据采集设计.计算机系统应用,2008,17(1):117-119.
- 5 张洁.Blackfin DSP在数据高速采集中的应用.电子测量技术,2006,30(2):133-134.
- 6 Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-Based Object Tracking. IEEE Trans. on Pattern analysis and Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003,25(5): 564-577.
- 7 顾凤嫄.基于MeanShift的视频跟踪算法研究.西安:西安电子科技大学,2009.
- 8 鲁一杰,赵攀,彭强,江永全.基于DSP的视频车辆实时检测系统的实现.计算机应用研究,2010,26(2):757-759.