

· 光电系统 ·

基于红外目标跟踪技术的实时视频采集系统设计

翟建芳¹, 赵振刚^{1,2}

(1.中国科学技术大学软件学院, 江苏 苏州 215123; 2.中国科学技术大学苏州研究院, 江苏 苏州 215128)

摘要:在对特定人员位置识别并实时跟踪进行视频采集的应用中,基于ARM9 S3C2410处理器并搭载CCD成像单元、红外波段滤光片和两自由度云台实现了一个全自动红外目标识别系统,在采集并分析红外图像样本基础上,设计了一种快速的图像二值化算法,通过自动分割、快速搜索比对等步骤,实现了对既定红外目标的实时检测和运动跟踪,该系统简单可靠,便于嵌入各类自动化应用设备。

关键词: 目标跟踪; 红外检测; 图像处理; 视频录制

中图分类号: TP273+.5

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-05-0015-05

Design of Real-Time Video Collecting System Based on Infrared Target Tracing Technology

ZHAI Jian-fang¹, ZHAO Zhen-gang^{1,2}

(1.School of Software Engineering, University of Science & Technology of China, Suzhou 215123, China; 2. Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science & Technology of China, Suzhou 215128, China)

Abstract: In the application of recognizing the position, tracing and video collecting in real time for a special person, a full-automatic Infrared target recognizing system is designed, which consists of a ARM9 S3C2410 processor, charge coupled device (CCD) imaging units, Infrared filter and 2 degrees of freedom pan tilt. A fast image binarization algorithm is designed based on collecting and analyzing Infrared image samples. Through automatic segmentation, fast searching and contrasting, the detection and motion tracing on known Infrared targets in real time are realized. The system is simple, reliable and easy to be embedded in automatic equipments.

Key words: target tracking; Infrared detection; image processing; video recording

红外目标跟踪是光电技术和计算机视觉中的经典问题,其基本任务可以描述为在视频序列中针对感兴趣的目标对象进行有效的位置、俯仰、速度等运动特征的确定或估计,国内外的研究机构在该领域都进行了广泛深入的研究^[1-3]。

随着电子化教学、网络会议等应用的日益推广普及,自动音视频录播系统应运而生^[4-6]。该类系统能自动锁定随时移动的讲演者画面,进行实时音视频数据采集,实现电子课堂的自动录制和备份,相

比较原来全人工方式的录播系统,省时省力,有着广阔的应用前景。

通过将红外目标跟踪技术引入自动录播系统,文中给出了一种视场耦合型双CCD视觉系统设计,基于数字图像处理技术对红外目标的图像进行二值化、自动分割处理,构造对既定目标区域的模板匹配算法,实现了对随时移动的讲演者实时跟踪和自动化视频采集。

1 系统设计

1.1 基本组成

系统由特定的红外光源、视场耦合型双CCD视频采集装置两部分组成。其中红外光源由信号发生器、红外LED组成,电池方式供电,笔者在文献[7]对具体的光源实现给出了详细描述。在使用时,将红外光源佩戴于讲演者的身体,随讲演人实时移动,成为持续工作的红外点光源。

视频采集装置基本组成如图1所示。可分为机身机械、执行电机、视场紧密耦合的双CCD光学部件三部分。机身包括下边的底盘和两侧的支架,支撑起整个系统的机电部件;执行电机用于驱动光学部件在水平、垂直两自由度内合成任意轨迹的运动,从而有效跟踪视场目标,其中水平方向的步进电机、主轴及其支撑轴承都固定在地盘顶面,水平电机沿某一方向运动时,通过传动皮带带动中轴旋转,进而调整CCD视场的移动。同理,垂直方向的步进电机带动CCD视场的上下旋转运动。高清CCD用于视频采集,由USB型CCD和红外滤光片组成的红外型CCD用于红外图像采集,两者相对位置固定不变。

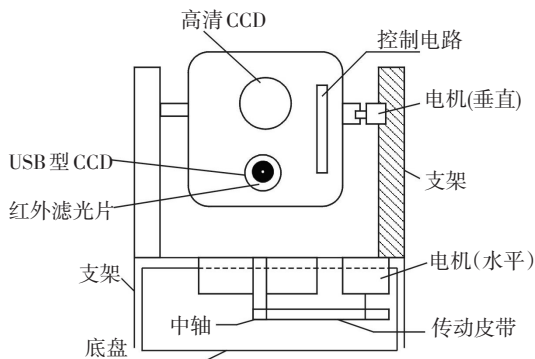


图1 视场耦合型双CCD视频系统基本组成

1.2 红外成像系统设计

通过对个人计算机通用配置的USB型摄像头进行加装凸透镜、红外滤光片的方式实现了红外成像系统。

选用凸透镜作为物镜,将视场范围内的光源,映射成光线系统内的实像,同时,凸透镜的汇聚特性增强了后续传感器单位感应面积上的光强,提高了系统的光感能力。

如图2所示, P 为红外光源,和凸透镜中轴的垂

直距离记为 H ,设凸透镜的焦距为 f ,直径为 D ,物距为 u ,像距为 v 。位于 $2f$ 以外的红外点光源的发射光束经过凸透镜后,在透镜后 f 与 $2f$ 之间成一个实像 P' 。在透镜与像点之间放置一成像面,则透镜的出射光束会在成像面上投影成一个光斑,光束的横截面近似为圆形,记直径为 d ,如图2中 NN' 所示。

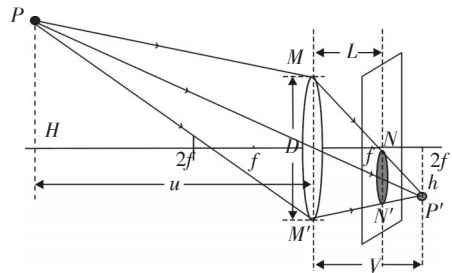


图2 红外点光源的成像光路

那么,当物距 u 与焦距 f 已知时,由透镜成像公式

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

可得像距为

$$v = \frac{fu}{u-f} \quad (2)$$

作透镜边缘光线(图2中虚线)构成出射光束剖面三角形 $P'MM'$ 和 $P'NN'$,则 $MM' \parallel NN'$,可得两个三角形相似关系, $\triangle PNN' \cong \triangle P'MM'$,从而得出

$$\frac{NN'}{MM'} = \frac{d}{D} = \frac{v-L}{L} \quad (3)$$

进一步可推导出光斑直径为

$$d = \frac{(v-L)D}{L} \quad (4)$$

将式(2)结果代入式(4),从而得

$$d = \frac{fu - L(u-f)D}{fu} \quad (5)$$

设光斑中心坐标与凸透镜中轴垂直距离为 a ,则得到

$$a = \frac{HL}{u} \quad (6)$$

由透镜的绕圆不变形可知,此光路推算也具有三维空间的旋转不变性,适用于整个视场,式(5)可用于推算光源离红外成像系统的远近,进而确定CCD的调焦设置,式(6)用于计算被跟踪目标在视场中距离中心点的偏离情况,进而调节执行电机的驱动节拍。

为匹配红外光源的波段,且滤除环境中其他可见光的干扰,采用透光峰值为940 nm的红外滤光片进行光线的预处理。红外滤光片特性见图3。

性较好,而且对光斑质心坐标的计算精度要求不高,但使用嵌入式计算机作为系统控制的核心,计算和存储资源有限,图像处理的实时性压力较大,因此采用质心法来获得光斑的中心坐标,既可以满足特征区域的定位,又节省了计算资源。无论哪种算法,基本流程都包括对图像进行滤波处理、图形分割、二值化,然后提取特征区域的边缘信息等步骤。

2.2 基于平滑窗的图像二值化

由2.1节可知,理想的成像条件下,红外目标成像区域和背景色之间有良好的聚类特性,但受环境光的影响,实际使用中,在背景及红外光斑边缘区域会有较大的数值突变,形成噪声,图像滤波的目的是去除噪声毛刺,二值化的目的是区分特征区域,对图像数据中 R 、 G 、 B 三个分量中的大于某阈值的区域强制赋值为255,标识为白色,其余区域赋值为0,标识为黑色,进一步可得到光斑的轮廓用于下一步处理。

为了加快图像滤波和二值化处理的速度,设计了一种基于平滑窗的滤波与图像二值化两步合一的算法,步骤如下:

(1) 初始化大小为 $n \times n$ 的方形滤波器 $h(n, n)$,滤波器自适应调节系数 α ,二值化比例计数器 α_i , $i \in (0, 4)$,灰度阈值 $\beta = 128$, $\beta_{low} = 0$, $\beta_{high} = 255$;

(2) 使用滤波器 $h(n, n)$ 以步长为 n 遍历图像,设 A 为图像中某一像素点,行坐标为 x ,列坐标为 y ,取像素点 $A(x, y+n/2)$, $B(x+n/2, y)$, $C(x+n, y+n/2)$ 及 $D(x+n/2, y+n)$;

(3) 分别比较像素点 A 、 B 、 C 、 D 的灰度值与阈值的大小,若灰度值大于阈值,则归于集合 P ,否则归为集合 Q ;

(4) 对滤波器 $h(n, n)$ 覆盖区域,按集合 P 、 Q 中四个特征点坐标所占比例将像素点归类,如 $P=\{A, B\}$, $Q=\{C, D\}$,则有像素点

$$n_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } j > i - x + y \\ 0 & \text{if } j > i - x + y \end{cases} \quad (7)$$

集合 P 所占滤波器面积相应比例计数器 α_i 加1,同时用 P 中最小值更新 β_{high} ,用 Q 中最大值更新 β_{low} ;

(5) 重复步骤(2)~步骤(4),直至遍历图像;

(6) 统计步骤(4)中比例分布,其中 α_0 代表集合 P 为空的次数, α_1 代表集合 P 占25%的次数,依此

类推, α_4 代表集合 Q 为空集的累加计数,理想的滤波器大小为 P 、 Q 各占一半,即 α_2 最大,故调整滤波器大小自适应调整为

$$n = \begin{cases} 1 + \frac{0.5 - \frac{\alpha_2}{\sum_{i=0}^5 \alpha_i}}{0.5} \times n & \text{if } \frac{\alpha_2}{\sum_{i=0}^5 \alpha_i} < 0.5 \\ \frac{0.5}{\frac{\alpha_2}{\sum_{i=0}^5 \alpha_i}} \times n & \text{if } \frac{\alpha_2}{\sum_{i=0}^5 \alpha_i} > 0.5 \end{cases} \quad (8)$$

二值化的阈值 β 更新为 $(\beta_{low} + \beta_{high})/2$ 。

相比较逐像素遍历图像,该算法不仅节省了滤波处理的时间,二值化的理论效率也提高了 n 倍,在图像区域聚类性较好的场景中,通过牺牲精度的代价节省了运算开销,该方法可以推广到其他类似的处理场景中,具有工程化方面的实用价值。

2.3 基于递归搜索的目标检测

考虑到环境可见光中的红外成分也会投影在CCD的成像面进而形成噪声,二值化处理后将会形成多个特征区域,因此需要从多个光斑区域中检测出有效的目标区域。

首先要标记出二值化后的连通区域,即将图像中符合某种连通规则的像素标识为同一目标,设计合适的数据结构记录相应连通区域的属性,常用的连通规则有4邻域、8邻域或 m 邻域连通等,需要统计的属性包括像素点数和质心等。

目前已有许多文献介绍连通标记算法,由于在2.2节二值化步骤中的先验知识,采用局部邻域算法可以快速有效进行标记^[9-10],具体过程为:

(1) 在二值化后标记为“1”的区域中进行划分,每个子区域选取一个“种子点”;(2) 根据二值化过程中滤波器的大小 n 选择邻域值,如 n 小于12则采用4邻域,否则采用8邻域;(3) 从该像素点出发向周围邻域扩展,若像素为二值化的“1”则写入临时标记,更新该连通区域的边界坐标;(4) 根据红外图像样本的先验知识,若搜索过程中发现边界数值过大,超过最大红外光源光斑,则将该区域设置“脏”标记;(5) 遍历各区域后,合并等价连通区域,将属于同一目标的多个区域临时标记修正为同一标记。

然后要根据红外图像样本的先验知识逐个判断每个连通区域是否是红外光源的光斑,如图6所示。完成对图像的遍历扫描后找到右侧的长形区

域,并贴标签1,在遍历完这个区域后,发现宽和高不满足半径的最大最小范围,则继续遍历到左边的图形,当贴标签2遍历完之后,发现宽和高满足光斑的最大最小范围,则表示已经找到了光斑。

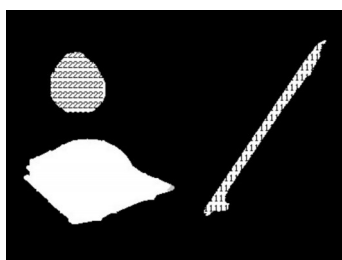


图6 连通区域标记示意图

实验过程中发现,基于先验知识的判断算法对于静止物体有很好的识别效果,但当红外光源移动较快时,会在成像面留下带拖尾的长条形光斑,而不是近似圆形,因此单纯依赖该算法虽然计算复杂度小,但很容易导致误判断,从而导致系统对光源的跟踪失步。通过加入前后帧时间相关性的运动预测,适当调节先验知识中光斑轮廓大小,可较好改善此问题。

3 八分法运动判决算法

在通过数字图像处理技术完成对目标区域的判断和运动检测后,基于系统决策可驱动水平和垂直两个方向的执行电机,组合出不同角度、不同速度的运动,实时调整系统姿态,完成对目标的连续跟踪。

运动决策的考量因素有实时性、平稳性两个方面,这最终取决于对图像中目标移动步长的选择,若步长过小,则跟踪实时性强,但运动频繁,产生视频画面“抖动”的现象;若步长过大,则容易产生被拍摄对象不居中的视觉效果。另一方面,也要考虑电机自身的频响特性,应选择颤动噪声较小的运动速度^[14-15]。

如图7所示,在图像中间取 $M \times N$ 的区域作为静止观察区,当红外光斑超出此区域后,系统才进行方向判决和运动,否则处于系统静止状态。在该区域之外,设计了八分法的运动规划,当系统感知到红外光斑偏离中心区域一定程度后,会驱动电机形成这八个运动方向的其中之一进行追踪。八个区域的划分取决于视频画面的比例和应用场景中红外光源的

移动范围,采用该方法的优势是将原本连续的运动决策空间离散化,减少了运动轨迹的可能性,通过阶梯式的运动使红外光斑逼近画面中心位置,减小系统计算量,继而减小画面的抖动。

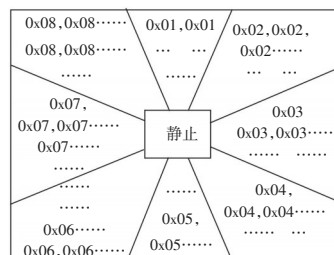


图7 八分法运动决策方向划分

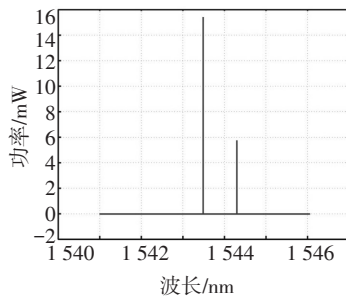
4 实验验证

以三星 S3C2410 ARM9 处理器为核心,通过 USB 端口连接红外系统的 CCD,选择通用 I/O 口连接步进电机驱动接口,系统主频 230 MHz,红外 CCD 分辨率为 320×240 ,平均每帧图像处理用时为 65 ms,实际视频采集效果截图如图8。CCD 视场始终跟随红外目标平滑移动,当红外光源信号被墙壁遮挡后系统能继续平稳旋转一定角度并停下,当红外目标光源重新出现时,系统及时回转并重新跟随红外目标。



图8 红外目标丢失与重现时的视频追踪画面

由实验结果可知,通过已实现的目标检测与跟踪算法,能连续稳定地调节高清 CCD 的视场方位和远近对焦,并能够有效抵抗目标信号短暂丢失的脉冲式干扰,满足实时视频采集的需求。



(b)单边带信号

图7 测试电路输出信号

4 结论

通过对ROF系统中调制方式进行分析,发现单边带调制可以更好地实现传输效果,闪耀光纤光栅凭借自身的特点,可以实现单边带调制,不仅可以滤除双边带中的一条边带,还可以使CSR为0 dB,可以很好地应用于ROF系统中达到很好的滤波效果,因此经过设计的闪耀光纤光栅可以应用在ROF系统中来提高信号传输的效率。

参考文献

- [1] Harada H, Sato K, Masayuki F. A radio-on-fiber based millimeter-wave road-vehicle communication system by a code division multiplexing radio transmission scheme[J]. IEEE Trans. Intelligent Transport. Syst, 2001, 2:165-179.
- [2] 杨湘云,胡薇薇,徐安士.毫米波ROF光通信系统中信

号传输色散影响的研究[J]. 北京大学学报, 2006, 42(3):401-405.

- [3] Erdogan T, Sipe J E. Tilted fiber phase gratings[J]. Journal of the Optical Society of America A, 1996, 13(2):296-313.
- [4] Lu Y C, Huang W P, Jian S S. Polarization sensitivities of demodulation techniques for tilted fiber Bragg grating refractometer[R]. Proc. SPIE(Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition), 2009, 7630:76300U.
- [5] Wu R, Liu Y Q, Zou J, et al. Fabrication of tilted long-period fiber gratings by CO₂ laser[R]. Proc. SPIE, 2011, 8307:83072D.
- [6] YIN Guo-lu, LOU Shu-qin, LI Qi, et al. Theory analysis of mode coupling in tilted long period fiber grating based on the full vector complex coupled mode theory[D]. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 2012.
- [7] YANG Long, NING Ti-gang, Li Jing, et al. The optimization design of tilt-spectral fiber Bragg grating and its application in SSB modulation based radio over fiber system[D]. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, 2011.
- [8] Ma J X, Yu J, Yu C X, et al. Fiber dispersion influence on transmission of the optical millimeter-waves generated using LN-MZM intensity modulation[J]. J. Lightwave Technol, 2007, 25 (2007): 3244-3256.
- [9] Lim C, Attygalle M. Analysis of optical carrier-to-sideband ratio for improving transmission performance in fiber-radio links[J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech, 2006, 54: 2181-2187.

(上接第19页)

5 结论

在设计了红外点光源和视场耦合型双CCD结构的基础上,通过USB型CCD和凸透镜实现了一种低成本的红外成像方案,继而提出了一种快速的图像滤波和二值化处理算法,通过递归式的连通区域边缘定位和特征比对,实现了对特定目标的实时检测和跟踪,实现了视频采集的全程自动化,目前该系统已应用于电教化教室的自动录播平台中,单个摄像机可替代原有分别固定在多个角度的摄像机群的功能,使用成本大幅降低,且系统小巧灵活,在安防、工业自动化等领域也有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 尤天来,周海徽.红外目标跟踪技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2011.10(21):140-142.
- [2] 宋新,沈振康,王平,等. Mean shift在目标跟踪中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(9):1405-1409.
- [3] Forsyth D A, Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [4] 赵强,王国珍. 探求高校精品课程教学录像的摄制思路[J]. 中国医学教育技术, 2008, 2:62-64.
- [5] 黄山涯,陈磊. 录播教室的功能设计及其建设[J]. 实验室研究与探索, 2010(10):378-380.
- [6] 刘陕军. 录播系统在网络课程制作中的应用[J]. 创新科

(下转第64页)

不同方面进行了分析。但研究仅仅局限于光脉冲的产生机制研究,有很多关键技术还有待解决,比如稳定性、调谐能力等。希望能够在上述成果的基础上,通过进一步的数值分析和仿真验证,提出可行的三角形光脉冲稳定输出的条件,简化调谐过程并进一步拓展三角形光脉冲的调谐范围,获得较为理想的三角形光脉冲输出。三角形光脉冲由于其特殊的时域形状,在全光信息处理技术中扮演着越来越重要的角色,也引起了业内广泛的关注。因此,稳定可靠、低成本的三角形光脉冲发生器具有进一步研究的价值。

参考文献

- [1] Parmigiani F, Ibsen M, Ng T T, et al. Efficient optical wavelength conversion using triangular pulses generated using a superstructured fiber bragg grating. 2008 Optical Fiber Communication Conference[C]// San Diego, CA, USA, 2008.
 - [2] Bhamber R S, Latkin A I, Boscolo S, et al. All-optical TDM to WDM signal conversion and partial regeneration using XPM with triangular pulses. The 34th European Conference on Optical Communication (ECOC 2008) [C]// Brussels, Belgium, 2008.
 - [3] Latkin A I, Boscolo S, Bhamber R S, et al. Optical frequency conversion, pulse compression and signal copying using triangular pulses. The 34th European Conference on Optical Communication (ECOC 2008) [C]// Brussels, Belgium, 2008.
 - [4] Latkin A I, Boscolo S, Bhamber R S, et al. Turitsyn doubling of optical signals using triangular pulses[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2009,126:1492-1496.
 - [5] 王华. 三角形光脉冲在正色散光纤中产生的实验研究[J].物理学报,2012,61(12):124-212.
 - [6] YE Jia, YAN Lian-shan, PAN Wei, et al. Photonic generation of triangular-shaped pulses based on frequency-to-time conversion[J]. Opt. Lett., 2011, 36(8): 1458-1460.
 - [7] Liu W, Gao L, Yao J P. Photonic generation of triangular waveforms based on a polarization modulator in a Sagnac loop. 2013 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP 2013) [C]//Alexandria, Virginia, USA, 2013:28-31.
 - [8] Liu W, Yao J. Photonic generation of microwave waveforms based on a polarization modulator in a Sagnac loop [J]. J. Lightw. Technol., 2014,31:1636-1644.
 - [9] Zhang F, Ge X, Pan S. Triangular pulse generation using a dual-parallel Mach-Zehnder modulator driven by a single-frequency radio frequency signal[J]. Opt. Lett.,2013,38(2): 4491-4493.
 - [10] Li W, Wang W, Zhu N. Photonic generation of radio-frequency waveforms based on dual-parallel mach-zehnder modulator[J]. J. Lightw. Technol., 2014,6(3).
 - [11] 李晶,宁提纲,裴丽. 基于谐波拟合产生周期性三角形光脉冲串的实验研究[J].物理学报, 2014, 63(15):154-215.
-
- (上接第46页)
- 技导报,2009(19):24.
 - [7] 赵振刚,吕建平. 单目红外目标跟踪机器人视觉系统设计[J]. 光电技术与应用,2008(11):48-53.
 - [8] Rafael C, Gonzalez, Richard E Woods. Digital Image Processing[M]. 北京:电子工业出版社,2011.
 - [9] 陈兴美,严壮志. 基于FPGA的红外光斑中心实时检测[J]. 红外与激光工程,2005(4):401-405.
 - [10] 刘舟平,张磊,郭晓亮,等. 提高红外光斑图像跟踪定位精度的新方法[J]. 中国激光,2010(1):186-189.
 - [11] 张新明,党留群,徐久成. 基于十字滑动窗口的快速自适应图像中值滤波[J]. 计算机工程与应用,2007,43(27):37-43.
 - [12] 徐正光,鲍东来,张利欣. 基于递归的二值图像连通域像素标记算法[J]. 计算机工程,2006,32(24):186-188.
 - [13] Chang F, Chen C, Lu C. A liner-time component-labeling algorithm using contour tracing technique[J]. Computer Vision and Image Understanding,2004, 93(2):317-327.
 - [14] 刘学东,贾玉林. 相关算法中跟踪稳定性问题的研究[J]. 红外与激光工程,1998,27(1):13-14.
 - [15] 张宇. 步进电机驱动噪音的消除方法[J]. 火控雷达技术,2000,29:25-27.