

文章编号 1004-924X(2007)06-0957-09

基于视觉的低空跟踪系统

丁卫, 龚振邦, 谢少荣, 邹海荣

(上海大学 机电工程与自动化学院 精密机械系, 上海 200072)

摘要: 构建了一个以无人飞行器为载体的基于视觉的低空跟踪系统。该系统由地面站和机载模块两部分组成, 构建了机载自动跟踪与地面人工干预两个并联的控制回路; 采用了基于灰度直方图的自适应容忍度多阈值分割算法, 并在此基础上采用了基于双重子窗口的动态聚类目标提取方法; 用目标的形心脱靶量作为云台的控制参数, 根据目标的运动趋势对速度参数进行调整。系统通过用鼠标对监控视野中心的坐标替换目标的形心脱靶量实现机载自动跟踪和地面人工干预的平滑切换; 保留不同照度下目标的灰度阈值, 使得运动区域在阴影下也能被分割。经过 2~3 次的聚类迭代, 较精确地计算出目标的形心位置, 排除了干扰目标的影响, 系统的处理速度达到 15 frame/s。结果表明, 上述算法和方法是可行的, 系统具有较大的实用性。

关键词: 低空跟踪; 并联控制回路; 多阈值分割算法; 双重子窗口; 动态聚类; 脱靶量

中图分类号: V556; TP242.6 **文献标识码:** A

Vision-based low altitude tracking system

DING Wei, GONG Zhen-bang, XIE Shao-rong, ZOU Hai-rong

(*Department of Precision Machinery, School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China*)

Abstract: A vision-based low altitude tracking system mounted on an unmanned aerial vehicle is established. The system is composed of ground station and on-board module, and constructed two parallel control loops; automatic tracking control loop and manual intervening control loop. The multi-threshold segmentation algorithm with adaptive tolerance based on gray-level histogram is presented, and a object dynamic clustering algorithm with double sub-windows is analyzed. The pan and tilt head are controlled based on the miss distance of the object centroid. The system can switch smoothly from one control loop to another as the miss distance is replaced by the coordinates of the mouse relative to the center of the monitor view. The motion is segmented even in the shade by several appended thresholds for varying illumination. The object centroid position is obtained correctly through 2~3 iterations in the process of dynamic clustering, and the disturbance of other objects is removed. The system can produce good tracking results at a frame rate of 15 frame/s. The results show that the algorithms and methods are available, and the system has a certain extent practicability.

Key words: low altitude tracking; parallel control loop; multi-threshold segmentation algorithm; double sub-windows; dynamic clustering; miss distance

收稿日期: 2006-09-22; **修订日期:** 2007-01-07.

基金项目: 上海市科学技术委员会国际合作项目 (No. 045107031); 教育部高等学校重点学科建设项目 (No. Y0102); 上海市重点学科建设项目 (No. BB67)

1 引言

空中监视在很多突发应急事件中起着重要的作用,有着十分广阔的应用前景,如搜救、边防巡逻、交通监控、森林防火等等,但是绝大多数的空中监视任务都是依赖有人驾驶的飞行器完成的^[1]。无人飞行器是一个可以携带多种有效载荷的空中移动平台,能够协助操作人员完成一系列的任务,随着无人飞行器的研究发展,很多原来依赖于有人驾驶飞行器完成的任务逐渐由无人飞行器来完成。鉴于无人飞行器的低成本以及良好的机动性,基于无人飞行器的空中监视成为当前无人飞行器应用研究的热点之一。

近年来,各国都开展了大量的基于视觉的动态场景监控方面的研究,主要是针对一定范围内的动态场景进行监控,研究的结果表明,基于视觉的动态场景自动监控的通用框架主要包括以下几个步骤:环境建模、运动分割、运动目标分类、跟踪、行为的理解和描述、人员的识别,以及为了扩大监控的范围及避免遮挡现象的多摄像头数据融合等^[2]。基于无人飞行器的空中监视也属于视觉监控的范畴,其主要涉及到通用框架中环境建模、运动分割和目标跟踪等三个部分。其中环境建模的目的是构造和更新环境模型,实质上是更新背景模型,由于 3D 场景重构困难,目前的研究主要集中在像平面上 2D 环境模型的更新。针对不同的相机运动方式提出了相应的建模方法,例如固定的相机动态地恢复、更新背景,纯转动的相机通过构造全景图来构建背景^[3],移动的相机通过运动补偿构建临时背景^[4]。而运动分割的目的是分割对应于移动目标的运动区域,主要有减背景法、时间差分法和光流法等^[5],其中时间差分法比较适合于摄像机固定监控场景,比如智能交通系统等^[6],光流法在摄像机运动存在的前提下也能检测出独立的运动目标,但是大多数的光流计算方法相当复杂,如何通过改进算法来提高收敛速度,满足实时要求,是目前需要解决的问题^[7]。目前目标跟踪方法主要有四类:基于区域的跟踪、基于主动轮廓的跟踪、基于特征的跟踪和基于模型的跟踪等等,其中基于区域的跟踪算法简单,运动区域的形心位置,即形心脱靶量^[8]是靶框和云台的主要控制参数。

本文介绍了一种以无人飞行器为载体的基于视觉的低空跟踪系统,用于协助操作人员对地面可疑车辆进行长距离的跟踪监视。为保证跟踪过程的实时性、可靠性以及可操作性,系统采用机载板内自动跟踪控制回路和地面站—机载板间人工干预控制回路并联的构架体系,保证人工干预和自动跟踪平滑切换,并采用简单有效的跟踪算法保证跟踪的实时性和可靠性。

2 跟踪系统构架

该系统的目的是协助操作人员对地面可疑车辆进行长距离的跟踪监视。在整个跟踪过程中,通过跟踪系统将操作人员和被跟踪目标联系起来,摄像机采集被跟踪目标的图像,经机载图像处理和控制模块下传至地面站,并在 PC 机上显示。操作人员通过 PC 机发射控制参数,经机载图像处理和控制中心控制云台运动。该系统的开发主要涉及三个方面的因素:操作人员、视觉跟踪系统和被跟踪目标。

操作人员:为了保证操作人员能够方便快捷的搜寻并锁定被跟踪目标,系统必须具备面向操作人员的友好的人机界面,并能保证在自动跟踪过程中,操作人员可以随时介入进行人工干预,做到人工干预和自动跟踪平滑切换。

视觉跟踪系统:为了保证跟踪的实时性,一种办法是采用高性能的硬件,提高计算的速度;另外一种办法就是采用简单有效的跟踪算法,减少计算量,并且采用合理的架构,尽可能地减少无线通信的数据量,有效地避免通信带宽的限制。

被跟踪目标:监控的场景是动态的、大范围的,没有足够的先验知识可以利用,而且光照是变化的,存在建筑物、树木阴影的影响,同时车身表面光照反射也不均匀,并且还可能存在树木等障碍物的部分遮挡等不利因素。所有这些不利因素都有可能发生,因此图像处理算法必须具有鲁棒性,能够有效地处理这些不利因素。

该系统以无人飞行器为载体,因此其构架包括两大部分:机载部分和地面站部分,如图 1 所示。其中机载部分包括四个模块:自带云台的摄像机、图像处理和控制中心、图像无线发射模块和数据无线传输模块;地面站部分也包括四个模块:PC 机、图像采集卡、图像无线接收模块和数据无

线传输模块。根据数据的流向,该系统包括两个控制回路:

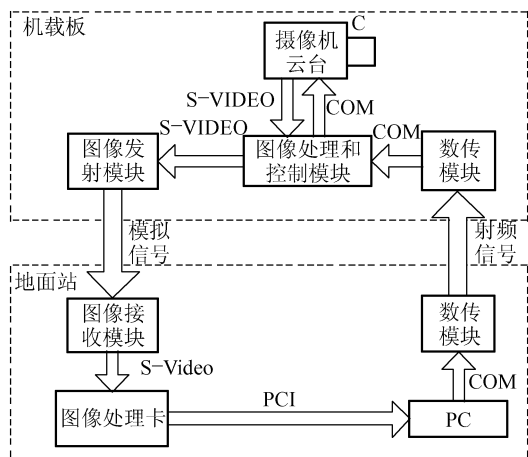


图1 视觉跟踪系统构架

Fig. 1 Framework of visual-tracking system

(1)机载控制回路:数据在机载板内流动,数据流向为:摄像机采集被跟踪目标的图像,经机载图像处理和控制在模块处理,根据处理的结果产生云台的控制命令,控制云台运动,使摄像机跟踪并锁定目标。该控制回路在自动跟踪状态下工作。

(2)系统控制回路:数据在机载板和地面站之间流动,包括数据下传和数据上传。其中下传数据为图像数据,摄像机采集被跟踪目标的图像,经机载图像处理和控制在模块、机载图像无线发射模块、地面站图像无线接收模块、图像采集卡等,下传到PC机上显示和存储。上传数据为控制参数:操作人员通过PC机发送控制命令,经地面站数据无线传输模块、机载数据无线传输模块、机载图像处理和控制在模块等,控制云台运动,使摄像机跟踪锁定目标。跟踪过程中,数据下传通道始终处于工作状态,下传图像数据;而数据上传通道仅在人工干预状态下工作。在人工干预状态下,地面站上传的控制参数将替代机载控制回路中相应的控制参数,实现人工干预与自动跟踪平滑切换。

3 跟踪系统软件算法

根据第二部分跟踪系统构架可知,该系统的软件要完成两大主要任务:一是通过图像处理提取被跟踪的目标;二是根据图像处理的结果控制云台运动,使摄像机能够锁定目标,并实时获取云台的姿态,计算出目标的方位,为飞行器跟踪目标

提供控制参数。

3.1 图像处理

通常基于视觉的监控系统是通过建立环境模型来分割运动区域的。该系统是以无人飞行器为载体的低空视觉跟踪系统,由于无人飞行器具有良好的机动性,运动的速度快,范围大,系统无法像固定相机和纯转动相机那样建立背景模型;又因为是低空跟踪,摄像头视野有限,通过运动补偿构建临时背景也很困难。因此该系统无法像其他监控系统那样建立环境模型。考虑到系统是用于跟踪地面可疑车辆的,对可疑车辆具有一定的先验知识,操作人员可以基于这些先验知识在监控视野内直接提取被跟踪目标,而将其他背景都作为干扰因素考虑。

3.1.1 运动分割

由于操作人员对可疑车辆具有先验知识,该系统采用两级运动分割方法直接提取跟踪目标。首先采用子窗口在像平面上分割出包含有运动目标的一个区域,然后在这个区域内用多阈值法进行运动区域分割。

子窗口分割:很多监控系统都用子窗口跟踪目标,本系统建立了一个跟踪靶框,当可疑目标出现在监控视野时,操作人员用鼠标拖动跟踪靶框击中目标。系统仅需对跟踪靶框区域进行图像处理,可以减少计算量,保证系统的实时性。

多阈值分割:灰度阈值分割是最简单的分割方法之一,其计算量小,速度快,而且不论目标区域是静止的还是运动的都能被分割出来。阈值分割基于两个基本假设:一是被跟踪目标与背景有较明显的灰度差别,二是被跟踪目标的灰度在一定范围之内变化。由于该系统的跟踪目标是车辆,车身表面对光的吸收反射是不均匀的,同时车身各部分的颜色也可能不同,同一辆车有可能存在多个灰度区域;再者,跟踪是在室外环境进行的,前述2D模型的不利因素如光照变化,阴影等也将影响到运动区域的分割,当车辆进出建筑物的阴影或者树木的阴影时,车身的亮度都会在一定程度上发生变化,甚至是跳跃性的变化,因此,该系统采用多阈值分割。操作人员在系统跟踪的过程中可以根据车辆的灰度变化随时增补分割的阈值,以保证运动区域在灰度变化的情况下也能被完整地提取出来。多阈值计算如公式(1):

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \in D_1 \\ 1 & f(i, j) \in D_2 \\ 1 & f(i, j) \in D_3 \\ \wedge \\ 1 & f(i, j) \in D_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (1)$$

其中 D_i 是一个灰度子集, 如公式(2):

$$D_i = f(i, j), Z_i - \epsilon_L \leq f(i, j) \leq Z_i + \epsilon_R, \quad (2)$$

其中 Z_i 是操作人员用鼠标在跟踪视野内选取目标上的一个像素点的灰度值。 ϵ 是容忍度, 容忍度选取合适, 可以保证相应灰度的运动区域尽可能完整地分割出来。系统采用的是基于跟踪靶框灰度直方图的容忍度自适应调整方法, 基于直方图的计算可以减少计算量^[9]。

首先对直方图进行平滑处理, 采用相邻直方图元素局部平均。如公式(3):

$$h_f'(z) = \frac{1}{2K+1} \sum_{i=-K}^K h_f(z+i), \quad (3)$$

其中 z 是像素的灰度值, K 为一常量, 代表平滑所使用的邻域的大小。

其次, 如图 2 所示, Z_C 是鼠标在跟踪视野内选取的像素的灰度值, 从这个值出发, 分别向两侧搜索, 找到与之左右相邻的局部最小值, 其间距 ϵ_L 和 ϵ_R 即该灰度值的左右容忍度。如公式(4):

$$\epsilon = \epsilon + 1 \quad f(z \pm \epsilon) \geq f(z \pm (\epsilon + 1)), \quad (4)$$

同理, 还可以在跟踪视野内选取其他相应的像素, 并根据其阈值计算相应的容忍度, 例如 Z_C', ϵ_L' 和 ϵ_R' , 从而实现多阈值分割。

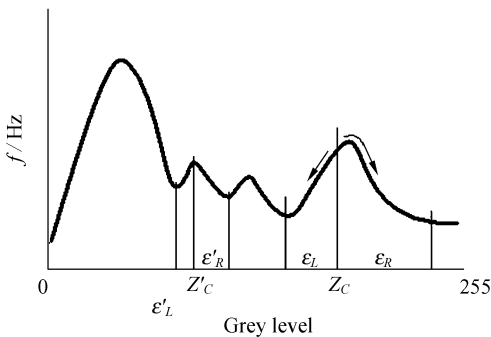


图 2 跟踪靶框灰度直方图

Fig. 2 Gray-level histogram of sub-window

当车辆存在两个以上较大面积的灰度区域时, 操作人员可以在跟踪视野内选取不同灰度区域的像素来增加新的阈值; 同样, 当车辆驶入阴影

时, 操作人员可以根据车身的灰度变化增选新的阈值。在有限的跟踪时间内, 环境的光照强度比较稳定, 因此目标灰度的变化基本上是固定的, 保留相应的阈值可以保证具有多个灰度区域的目标在有阴影的环境中仍能被完整地分割出来。该系统可以保留 6 个阈值。在跟踪过程中, 每一帧的跟踪靶框的灰度直方图是变化的, 虽然保留了多个阈值, 但是如果相应的容忍度为零, 则该阈值所起的作用微乎其微, 而其他容忍度不为零的阈值起着主要的分割作用, 因此, 每一帧都要根据灰度直方图就每一个阈值计算相应的容忍度, 以保证运动区域始终能够被有效地分割出来。

总之, 采用基于灰度直方图的自适应容忍度的多阈值分割算法在存在阴影的环境中能够有效地分割运动区域。

3.1.2 目标跟踪

运动区域形心的确定: 运动分割提取相应的运动区域后, 系统将对运动区域进行跟踪。系统在像平面内跟踪运动区域的实质就是使跟踪靶框始终锁定运动区域, 因此, 必须计算出运动区域在像平面内的位置, 通过计算跟踪靶框内运动区域的形心来确定运动区域在像平面内的位置。

计算运动区域的形心, 首先要计算运动区域的面积, 在二值图像中, 最简单的计算面积的办法是统计运动区域的像素面积, 如公式(5)。

$$N = N + 1 \quad f(i, j) = 1, \quad (5)$$

计算出运动区域的像素面积后, 运动区域的形心计算如式(6)。

$$\begin{cases} m_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} i^p j^q f(i, j) \\ x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \\ y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \\ x_c = \frac{1}{N} \sum i \\ y_c = \frac{1}{N} \sum j \end{cases} \Rightarrow \quad (6)$$

系统将上一帧跟踪靶框内运动区域的形心作为当前帧跟踪靶框的中心位置, 再计算当前帧跟踪靶框内运动区域的形心, 并将其作为下一帧跟踪靶框的中心位置。如此反复定位使跟踪靶框在像平面内始终锁定目标, 从而实现对象平面内运动区域的跟踪。

目标跟踪预测:在跟踪实验中发现,跟踪靶框并不总是能够很好地跟踪目标。在目标加速和减速的过程中,跟踪靶框有时会丢失目标,其原因在于当前帧跟踪靶框的中心位置是基于上一帧跟踪靶框内运动区域的形心确定的,而不是当前帧跟踪靶框内运动区域的形心,为此可以根据前两帧跟踪靶框内运动区域的形心来预测当前帧跟踪靶框内运动区域的形心的位置。假设连续三帧的跟踪靶框内的运动区域的形心变化是均匀的,这样当前帧跟踪靶框内运动区域的形心可以根据式(7)由前两帧跟踪靶框内运动区域的形心预测得,并将其作为当前帧跟踪靶框的中心位置,保证跟踪靶框能够较好地跟踪目标。

$$\begin{cases} X_{k+1} = 2 \times X_k - X_{k-1} \\ Y_{k+1} = 2 \times Y_k - Y_{k-1} \end{cases}, \quad (7)$$

3.1.3 目标聚类

在跟踪过程中,当跟踪靶框内只有被跟踪目标时,运动区域对应于被跟踪目标,当跟踪靶框内存在有其他的与被跟踪目标具有相似灰度的干扰目标时,运动区域由被跟踪目标和干扰目标两部分组成。由于干扰目标的影响,通过计算运动区域的形心位置来确定下一帧跟踪靶框的中心位置,时常会导致跟踪靶框偏离被跟踪目标,进而导致被跟踪目标的丢失。为此,在跟踪的初始阶段,可以通过调整摄像头的焦距使得被跟踪目标宽度尽可能大于跟踪靶框的宽度的1/2,从而保证被跟踪目标相对其一侧的干扰目标在面积上始终保持优势,如图3所示。

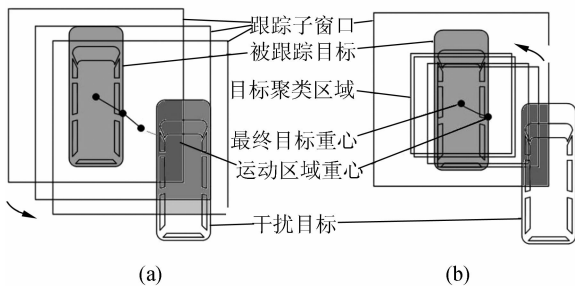


图3 目标聚类示意图

Fig. 3 Object clustering

在跟踪过程中,各个目标相对聚集,并且互不重叠,因此可以采用基于双重子窗口的动态聚类法对运动区域进行目标聚类,精确计算出目标的位置。

动态聚类法必须具备初始聚类中心、距离准则函数和聚类结果评价准则函数等三个基本要点^[10]。

初始聚类中心:选择跟踪靶框内运动区域的形心作为目标聚类的初始聚类中心 O ;

距离准则函数:根据跟踪靶框内运动区域的面积来确定距离准则函数,假设运动区域的面积为 $4L^2$,设计一个边长为 $2L$ 的正方形区域,正方形的中心与聚类中心重合,在正方形内再次分割运动区域,并计算该运动区域的形心,因此,距离准则函数是判断跟踪靶框内运动区域的像素 P 是否位于正方形内,如公式(8):

$$\begin{aligned} J_o &= J_x I J_y \\ J_x &= (X_o - L < X_p < X_o + L) \\ J_y &= (Y_o - L < Y_p < Y_o + L), \quad (8) \end{aligned}$$

评价准则函数:判断目标聚类后正方形内运动区域的形心是否与聚类中心重合。

目标聚类的具体步骤:

- (1) 计算跟踪靶框内运动区域的形心,并将其作为目标聚类的初始聚类中心;
- (2) 根据距离准则函数 J_o 进行目标聚类;
- (3) 计算正方形内运动区域的形心,如果该形心与聚类中心重合转第四步,如果该形心与聚类中心不重合,则将该形心作为新的聚类中心,转第二步;
- (4) 目标聚类结束,依据此形心预测下一帧跟踪靶框的中心位置。

因为跟踪靶框内被跟踪目标和干扰目标各自相对聚集,互不重叠,并且被跟踪目标宽度尽可能大于跟踪靶框宽度的1/2,这样被跟踪目标对一侧的干扰目标在面积上始终保持优势,从而保证跟踪靶框内运动区域的形心在被跟踪目标和干扰目标之间偏向被跟踪目标一侧。又由于跟踪靶框内包含运动区域和背景区域,因此根据跟踪靶框内运动区域的面积设置的新的正方形区域要比跟踪靶框小,并且该正方形的中心与跟踪靶框内运动区域的形心重合,所以正方形区域内仍然是被跟踪目标在面积上占优势,正方形内运动区域的形心仍然偏向被跟踪目标一侧,通过动态聚类,正方形区域逐渐向被跟踪目标方向移动,直到其中心与被跟踪目标的形心重合。

通过目标聚类能够较精确地求得被跟踪目标的形心。当有干扰目标进入跟踪靶框时,干扰目

标在面积上处于劣势,这时如果不进行目标聚类,如图 3(a)所示,跟踪靶框将逐渐向干扰目标方向滑动,二者的面积将达到平衡,甚至干扰目标占优势,从而导致跟踪目标的切换;采用目标聚类后,如图 3(b)所示,正方形将逐渐向被跟踪目标移动,直到正方形内运动区域的形心与正方形的中心基本重合,从而将干扰目标排除在正方形之外,较精确地得到被跟踪目标的形心。

以跟踪靶框内运动区域的面积为依据设置的正方形区域相当于在跟踪靶框子窗口内设置了一个小的子窗口,构成双重子窗口,从而保证了目标聚类的正确性,能够比较精确地计算出目标的形心。

3.2 云台控制

摄像机固定在云台上,通过云台运动带动摄像机偏转和俯仰实现对目标的跟踪。通常云台有两种控制方式:速度控制和位置控制。其中位置控制比较精确,但是存在一个不利因素就是云台接收指令后在未达到指定位置的运动过程中不接收下一条指令,中途不能改变云台的运动状态。该系统云台采用速度控制,随时可以调节云台运动的速度和方向,保证摄像机始终能够跟踪上目标。

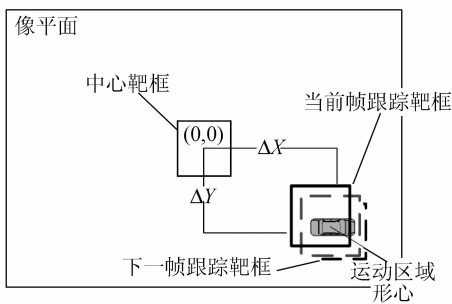


图 4 像平面内目标跟踪

Fig. 4 Object tracking in image plane

系统以目标形心脱靶量作为云台运动的控制依据,如图 4 所示,该系统设置了一个中心靶框和一个跟踪靶框,系统仅对跟踪靶框进行图像处理,并计算目标的形心位置,根据目标相对于中心靶框的中心(即摄像机光学系统视轴)的脱靶量控制云台运动的速度和方向,其中水平方向的脱靶量 ΔX 近似地确定云台偏转速度 V_x ,垂直方向的脱靶量 ΔY 近似地确定云台俯仰速度 V_y ,如公式(9)所示,其中 V 是经过修正的云台的运动速度。

当两个靶框重合时,说明摄像头瞄准了目标。

$$\begin{cases} V_x = \Delta X \times V \\ V_y = \Delta Y \times V \end{cases}, \quad (9)$$

考虑到其他一些因素的影响,云台的速度参数需要根据公式(10)进行修正。

$$V = k_D k_L k_Z V_0, \quad (10)$$

其中 V_0 是云台运动速度的基值; k_D 是像平面上目标运动方向的修正因子; k_L 是像平面上目标到视野中心的距离修正因子; k_Z 是摄像机焦距修正因子。

当目标在像平面上的运动方向是远离像平面中心时,系统将自动调整目标运动方向修正因子 k_D ,提高云台的运动速度,反之,降低云台的运动速度,确保摄像机能够追上目标。

当目标位于像平面的边缘位置时,系统将自动调整距离修正因子 k_L ,提高云台的运动速度,避免目标跑出视野范围,反之,降低云台的运动速度,避免跟踪靶框被甩离跟踪目标而导致跟踪目标丢失。

当目标过大或者过小需要调整摄像机的焦距时,系统将自动调整焦距修正因子 k_Z ,以控制云台的运动速度。当摄像机的焦距调大后,摄像机镜头的视角相应地缩小,如图 5 所示。调焦前和调焦后,目标在像平面上移动相等的距离,对应到实际场景中是不同的距离。当焦距调大后,目标在实际场景中移动的距离相应地缩小了;反之,目标在实际场景中移动的距离相应地增大了。因此,调大焦距以后,相应地要调低云台的运动速度,避免目标飞出跟踪视野。 k_Z 可以按照公式(11)做近似调整。

$$k_Z = \frac{K_{\max} + 1 - K}{K_{\max} + 1}, \quad (11)$$

其中 K_{\max} 是摄像机最大放大控制系数; K 是实际的放大控制系数。

速度参数的各项修正因子以及速度的基值是相互关联的,如果基值取得比较大,各项修正因子就相应的缩小,反之,各项修正因子就相应的放大,具体的取值范围可以通过实验来确定。

此外,当摄像机锁定目标后,系统进入自主跟踪状态,系统实时地获取云台的姿态。基于航空光电侦察平台^[11]的惯性稳定作用,云台的方位角 α 对应于目标的方位,其俯仰角 β 对应于目标的距离,如图 6 所示,其中 H 是飞行器的飞行高度,

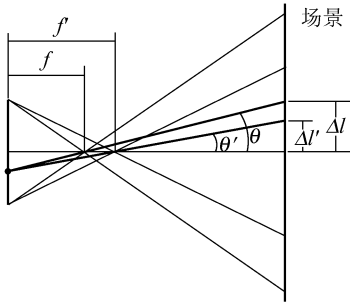


图 5 摄像机焦距修正因子的原理

Fig. 5 Principle of focus correction factor of camera

L 是目标到飞行器的水平距离。根据云台的方位角可以控制飞行器的航向,当云台的方位角增大时,说明目标在逐渐偏离飞行器的航向,飞行器应该向目标方向偏转以保证云台的方位角始终控制在一定的范围之内;同理,根据云台的俯仰角可以控制飞行器的速度,当云台的俯仰角减小时,说明目标在加速远离飞行器,飞行器应该加速追赶目标以保证云台的俯仰角始终控制在一定的范围之内,从而实现飞行器对目标的跟踪。

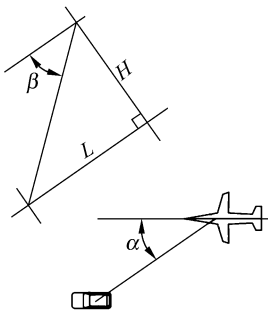


图 6 目标的相对方位和距离

Fig. 6 Relative orientation and distance of object

4 实 验

4.1 多阈值分割实验

基于直方图的自适应容忍度的多阈值分割算法主要是考虑到车辆进出阴影时车身灰度的变化。如图 7 所示,系统保留了两个灰度阈值,分别为 20 和 37,其中图 7(a)显示车辆在亮处,从直方图上可以看出灰度为 37 的阈值起主要的分割作用;图 7(b)显示车辆在阴影下,从直方图上可以看出灰度为 20 的阈值起主要的分割作用;图 7(c)显示车辆由亮处进入阴影时,从直方图上可以看

出灰度为 20 和 37 的两个阈值都起分割作用。因此,该算法在一定程度上保证了运动区域在光照变化的条件下也能被分割出来。

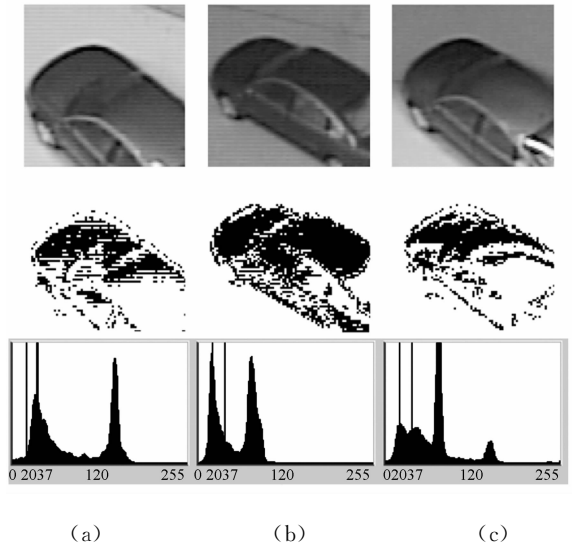


图 7 多阈值分割实验

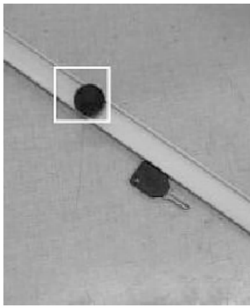
Fig. 7 Experiment of multi-threshold segmentation

4.2 目标聚类实验

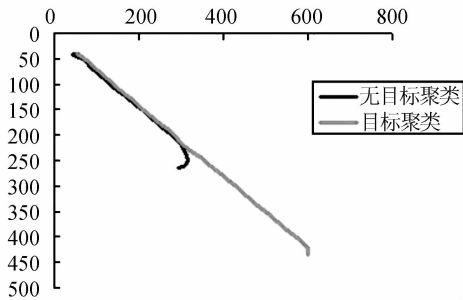
在有干扰目标的影响下,系统容易丢失目标,因此,采用基于双重子窗口的动态聚类算法排除干扰目标的影响。实验如图 8(a)所示,让一个小球沿滑槽从左上角向右下角做直线运动,在滑槽旁边放一个和小球的面积和亮度相近的干扰目标,先后采用有目标聚类和无目标聚类两种方式跟踪,分别记录跟踪靶框的跟踪轨迹,并绘成曲线如图 8(b)所示。有目标聚类时,跟踪靶框能够锁定目标从视野的左上角跟踪到右下角;而无目标聚类时,跟踪靶框遇到干扰目标后常常由被跟踪目标切换锁定到干扰目标上,跟踪轨迹中断于干扰目标处;说明该算法能够排除干扰目标的影响。

4.3 跟踪实验

为测试整个系统的可行性,搭建了一个室内的跟踪实验平台,由一个空中滑动轨道和一个电机驱动的小车组成,小车可在轨道道上移动。跟踪系统机载部分安装在小车上,用一个地面遥控小车作被跟踪目标,实验结果如图 9 所示。该实验是在实验室内完成的,地面颜色,即背景较单一。除了照明变化外,基本上没有其他干扰。由于是基于多阈值的运动区域分割,照明变化的影响被限制在一定范围内。



(a)



(b)

图 8 目标聚类实验

Fig. 8 Experiment of object clustering



图 9 室内实验结果

Fig. 9 Indoor experiment result

此外,还在实际的交通场景中对系统进行了测试,摄像机固定在一个静止的平台上,只能做偏

转和俯仰运动。在目标沿道路从一端移动到另外一端的过程中,摄像机能够稳定地跟踪目标。在目标被路边的树木和电线杆部分遮挡时,系统也能很好的处理。实验结果如图 10 所示。



图 10 室外实验结果

Fig. 10 Outdoor experiment result

5 结 论

该系统主要用于协助操作人员跟踪可疑车辆,因此构建了机载自动跟踪和地面人工干预两个并联的控制回路,实现自动跟踪和人工干预平滑切换。同时,系统跟踪目标明确,采用基于灰度直方图的自适应容忍度的多阈值分割方法主动分割运动区域,确保在光线变化的情况下,能够比较完全地提取运动区域;在此基础上,采用基于双重子窗口的动态聚类目标提取方法,通常经过 2~3 次迭代,能够较精确地计算出目标的形心位置,有效地排除干扰目标的影响。此外,还对云台的控制参数进行修正,以保证系统跟踪的稳定性,系统的处理速度达到 15 frame/s,说明上述算法和方法是可行的,系统具有一定的实用性。

参考文献:

- [1] KONTITSIS M, VALAVANIS K P, TSOURVELOUDIS N. A UAV vision system for airborne surveillance [C]. *Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, New Orleans, USA: ICRA, 2004.*
- [2] HU W M, TAN T N, WANG L, *et al.*. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors [J].

- IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetic - Part C: Applications and Reviews*, 2004, 8(2): 334-352.
- [3] SHUM H Y, HAN M, SZELISKI R. Interactive construction of 3D models from panoramic mosaics [C]. *Proceedings of 1998 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Santa Barbara, CA: CVPR, 1998.
- [4] TIAN T Y, TOMASI C, HEEGER D J. Comparison of approaches to egomotion computation [C]. *Proceedings of the 1996 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, San Francisco, CA: CVPR, 1996.
- [5] SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. 图像处理、分析与机器视觉(第二版)[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision (second edition)* [M]. Beijing: Posts & Telecommunications Press, 2003. (in Chinese)
- [6] 王洪建,李志敏. 基于视频图像的车辆流量实时检测系统[J]. 光学精密工程,2005,13(增):222-226.
WANG H J, LI ZH M. Real-time measuring system based on vehicle flow video image [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(Supp.):222-226. (in Chinese)
- [7] 孙辉,赵红颖,熊经武,等. 基于光流模型的图像运动估计方法[J]. 光学精密工程,2002,10(5):443-447.
SUN H, ZHAO H Y, XIONG J W, *et al.*. Method of estimating image motion based on the optical flow model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(5):443-447. (in Chinese)
- [8] 朱明,鲁剑锋,胡硕. 采用DSP的电视测量跟踪器的研制[J]. 光学精密工程,2005,13(增):232-235.
ZHU M, LU J F, HU SH. Development of TV measuring and tracking system by using DSP [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(Supp.):232-235. (in Chinese)
- [9] 张旭光,孙巍,韩广良,等. 一种弹孔自动识别算法的研究[J]. 光学精密工程,2005,13(6):747-753.
ZHANG X G, SUN W, HAN G L, *et al.*. An automatic recognition algorithm for bullet holes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(6):747-753. (in Chinese)
- [10] 边肇祺. 模式识别(第二版)[M]. 北京:清华大学出版社,1999.
BIAN ZH Q. *Pattern recognition (second edition)* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. (in Chinese)
- [11] 范大鹏,张智永,范世珣,等. 光电稳定跟踪装置的稳定机理分析研究[J]. 光学精密工程,2006,14(4):673-680.
FAN D P, ZHANG ZH Y, FAN SH X, *et al.*. Research of basic principles of E-O stabilization and tracking devices [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4):673-680. (in Chinese)

作者简介:丁卫(1969—),男,江苏武进人,现在上海大学攻读博士学位,主要从事机器人技术与柔性自动化,机器视觉,模式识别等方面的研究。E-mail:ding_wei_hn@yahoo.com