

航空序列图像的特征模型提取及追踪

季 健 昂海松

(南京航空航天大学航空宇航学院微型飞行器研究中心, 南京 210016)

摘 要 针对航空序列图像中模型没有任何先验知识且图像中的景物在不断刷新的情况, 首先将图像分割成独立的区域, 利用改进的 Canny 算子提取分割区域所包含的边缘, 同时提出了区域特征比较因子, 在此基础上给出了有效的特征模型提取和追踪方法, 并分析了如何通过特征模型在航空序列图像中的移动来估计无人飞行器的飞行轨迹。通过对实际拍摄到的航空序列图像进行分析, 表明本文的方法是有效的, 对由航空序列图像的分析来估计无人飞行器的飞行轨迹提供了良好的基础。

关键词 航空序列图像 模型提取 模型追踪 飞行轨迹估计

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)06-0749-06

Model Extraction and Tracking of Aerial Sequential Images

Ji Jian, ANG Hai-Song

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, College of Aerospace Engineering,
Micro Air Vehicle Research Center, Nanjing 210016)

Abstract The analysis of aerial sequential image is of significant importance to estimating the flight path of the unmanned air vehicle. In condition that there is no priori knowledge on the model and the scenes in the aerial sequential images change continuously, first the images are filtered because of a large amount of noise. Second, the image is segmented into regions by analysis of the gray histogram, then the edge elements covered by the segmented regions are extracted by the improved Canny operator. In order to extract the model effectively, the concept of region feature comparison factor is proposed. Furthermore, the approach based on this concept to extract the suitable model is presented. And, due to robustness and low computational complexity of the matching method based on the hausdorff distance, it is used to resolve the model tracking in each frame of sequential images. Simultaneously, the model is updated in the process of the tracking on account of the model degradation in the aerial sequential images. In addition, on the basis of the projection principle of the camera, it is analyzed how to estimate the flight path of the unmanned air vehicle via the motion of the model in the aerial sequential images. After an experiment using the real aerial sequential images, it is demonstrated that the model extraction and tracking approach is feasible. It provides the foundation for the estimation of flight path of the unmanned air vehicle by use of the aerial image sequence.

Keywords aerial sequential images, model extraction, model tracking, flight path estimation

1 引 言

当前, 序列图像分析在很多领域得到了广泛的应用, 例如监控、空中侦察以及利用序列图像进行基于图像的导航等。在现有关于序列图像的分析中一类是关于图像中运动物体的跟踪^[1], 其首先运用仿

射背景运动配准方法来确定序列图像中的运动物体, 然后通过基于模型的匹配方法寻找运动物体在后续图像中的位置; 另一类是从序列图像中寻找某一特定静态目标, 如通过对序列图像中静态标志物的分析来引导机器人从某一位置走向该标志物所在的位置^[2]; 还有一类是利用序列图像中天空与地面的特征差别来估计无人飞行器飞行过程中的水平姿

态角^[3]。而本文是通过分析航空序列图像的分析来估计无人飞行器在空中的飞行轨迹,这是对于无人飞行器的导航控制具有特殊意义的新探索。本文所分析的航空序列图像是无人飞行器在空中飞行时由固定在无人飞行器上的摄像机所拍摄得到的,其特点是:由于摄像机相对于地面在不停地运动,图像中的景物在相隔一段时间后就要完全被刷新,因此特征模型的提取和追踪并不针对图像中某一特定的“运动”目标物,也不针对某一特定的静态目标体,所分析的图像中的目标体也没有任何先验特征和数据。然而,模型选取的好坏对于模型的跟踪又有着很大的影响。因此本文研究的是一有效的特征模型提取和跟踪的方法。如何根据特征模型在航空序列图像中的移动来估计无人飞行器的飞行轨迹,是一种新的航空序列图像分析方法。

2 特征模型的选取

2.1 图像预处理

由于摄像载体飞行器的运动变化,获得的图像具有很大的脉冲噪声,因此首先采用中值滤波来消除图像中的噪声,因为中值滤波在消除噪声的同时保留了图像中的尖锐边缘。

2.2 图像分割

为了减少图像分析量,获得序列图像的快速特征提取,首先对图像做区域分割以确定作重点处理的区域块。运用直方图技术和区域分割技术将图像分割成独立的区域。以 Π 表示整个图像区域, $\Pi_i, i=1,2,\dots,n$ 表示图像中除背景区域外的一个个独立区域,其满足以下条件:

- (1) $\Pi_1 \cup \Pi_2 \cdots \cup \Pi_n \in \Pi$;
- (2) $\Pi_i \cap \Pi_j = \emptyset, i, j=1,2,\dots,n, i \neq j$ 。

2.3 区域内特征边缘的提取与扩展

图像中的特征主要有点、边缘以及区域。为了获得准确的追踪,利用的特征为区域所包含的边缘。因此,首先必须将每个区域所包含的边缘提取出来。近年来 Canny 算子^[4]由于其稳定性和对噪声的不敏感性受到了重视,本文采用该算子来提取区域所包含的边缘。对于一幅实际的图像,即使是很简单的景物中也包含有大量的不必要的细节,由于图像的细节是不稳定的,对于模型追踪这样的应用是不适用的,因此,在本文中应能够尽量地消除图像的细节。Canny 算子的第 1 步就是对图像进行高斯平滑,这

正好满足了本文的要求。将图像看作一个二维场,用 $I[i, j]$ 表示图像,图像 $I[i, j]$ 经过高斯平滑后的矩阵为 $S[i, j]$,然后计算图像的梯度矩阵。首先计算平滑后矩阵 $S[i, j]$ 的 x 方向和 y 方向的偏导数,分别为 $P[i, j]$ 和 $Q[i, j]$

$$P[i, j] = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$Q[i, j] = \frac{y}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

则图像梯度的幅值和方向分别为

$$M[i, j] = \sqrt{P[i, j]^2 + Q[i, j]^2}$$

$$\theta[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j])$$

图像的梯度矩阵 $M[i, j]$ 经过非最大值抑制后的梯度矩阵为 $N[i, j]$ 。

由于图像中物体形状的任意性以及噪声影响,通过区域分割所得区域不一定能完全包含一个典型物体的主要特征边界,因此如果边缘提取的操作被严格限制在区域之内,则可能出现该区域外属于区域内物体的部分边界不能被检测到,即部分连续边界被截断。因此,在 Canny 算子的 Hysteresis 技术^[4]基础之上,提出了一种区域内特征边缘扩展的改进方法。Hysteresis 技术的核心即在进行边缘连接时运用 2 个阈值 T_1 和 $T_2, T_1 > T_2$ 且 $T_1/T_2 \approx 2$,边缘大致起始于梯度大于或等于 T_1 的像素点,然后在其 3×3 邻域窗口中扩展到梯度大于或等于 T_2 的相连接的像素点,最后终止于灰度梯度小于 T_2 的像素点。而在寻找区域 $\Pi_i, i=1,2,\dots,n$ 所包含的边缘时,将该技术推广为

- (1) 任意一条边缘必须至少包含有一个像素点满足 $N(i, j) \geq T_1, N(i, j) \in \Pi_i$;
- (2) 任意一条边缘中的所有像素点都必须满足 $N(i, j) \geq T_2, N(i, j) \in \Pi'_i$;

(3) 任意一条边缘至少必须由大于或等于 m 个相连接的像素点组成,在这里 m 是最少允许的最小尺寸。其中,区域 Π'_i 与 Π_i 区域的中心重合,其范围是区域 Π_i 的 2 倍,这样在保证起始像素点在区域 Π_i 之内后,像素点的扩展可以在一个更大的范围内,从而保证了所提取特征模型的完整性。

2.4 特征模型的选取

由于本文研究的不是特定目标物的匹配,因此选取哪一块分割区域所包含的边缘作为模型,对于序列图像后续的匹配有很大的影响,如果区域所包含的边缘提取不理想,就会增加匹配的难度和不确定

定性。为了保证所选区域内的特征比较明显,提出了区域特征比较因子。为此,首先引用像素对比度的概念^[5]。

2.4.1 像素对比度的定义与数学描述

定义 在像素点的 8 邻域中,其梯度方向上的相邻 2 个像素点灰度差值的绝对值称为像素对比度。其数学描述如下:用 $Con(i, j)$ 表示像素点 (i, j) 的对比度, (y_2, x_2) , (y_1, x_1) 分别表示像素点 (i, j) 的 8 邻域中梯度方向上相邻 2 个像素点到中心点的位移。

$$(y_1, x_1) = \begin{cases} (0, 1) & \text{若 } \theta(i, j) \in [-22.5, 22.5] \\ & \text{或 } \theta(i, j) \in (167.5, 180) \\ & \text{或 } \theta(i, j) \in (-180, -167.5) \\ (-1, 1) & \text{若 } \theta(i, j) \in (22.5, 67.5] \\ & \text{或 } \theta(i, j) \in [-167.5, -112.5) \\ (-1, 0) & \text{若 } \theta(i, j) \in (67.5, 112.5] \\ & \text{或 } \theta(i, j) \in [-112.5, -67.5) \\ (1, 1) & \text{若 } \theta(i, j) \in (112.5, 167.5] \\ & \text{或 } \theta(i, j) \in [-67.5, 22.5) \end{cases}$$

$$(y_2, x_2) = (-y_1, -x_1)$$

所以像素点 (i, j) 处的对比度则定义为

$$Con(i, j) = |I(i + y_1, j + x_1) - I(i + y_2, j + x_2)| \quad (1)$$

2.4.2 区域特征比较因子的定义与数学描述

定义 区域中所包含的处于物体边缘上的像素点对比度的平均值,称为区域特征比较因子,其数学描述如下:

RC 表示区域特征比较因子, $EPNum$ 表示区域中所包含的处于边缘上的像素点的数目, $B[i, j]$ 表示图像在经过边缘提取后的二值图像。 (R_l, R_l) 表示区域 Π_l 的左上角的坐标值, (R_b, R_r) 表示区域 Π_l 的右下角的坐标值,则区域 Π_l 的特征比较因子为

$$RC = \frac{\sum_{i=R_l}^{R_b} \sum_{j=R_l}^{R_r} B[i, j] Con[i, j]}{EPNum} \quad (2)$$

区域特征比较因子大的区域,其边缘特征越明显,而该区域内边缘提取的效果越好,因此选取区域特征比较因子大的区域所包含的边缘作为模型。

3 特征模型的追踪和无人飞行器飞行轨迹的估计

由特征模型的追踪来反映无人飞行器的运动是

本文的主要目标,因此在确定特征模型后,需进一步在后续图像中实现快速准确的匹配,找出模型在后续图像中的对应位置。

3.1 搜索策略

在这里,采用基于 Hausdorff 距离的搜索策略来搜索特征模型^[6]。Hausdorff 距离是描述 2 组点集之间相似程度的一种度量,它是 2 个点集之间距离的一种定义形式:假设有 2 组点集 $A = \{a_1, \dots, a_p\}$, $B = \{b_1, \dots, b_q\}$, 则这 2 个点集之间的 Hausdorff 距离定义为

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A))$$

其中,

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$$

$$h(B, A) = \max_{b \in B} \min_{a \in A} \|b - a\|$$

$\|\cdot\|$ 是距离范数(如: L_2 或 Euclidean 距离)。它相对于二值化相关技术来说有更好的鲁棒性,能够有效抵制噪声的影响,因为 Hausdorff 距离测量的是一种相似程度,而不要求模板像素点与图像像素点之间具有一一对应关系。

3.2 动态图像中特征模型的更新与置换

随着外部条件的变化以及噪声的影响,相隔几帧的 2 幅图像包含特征模型的区域可能会产生明显的变化,因此如果在后续的图像中全部利用由第 1 帧图像提取出来的模型,可能会得不到正确的匹配结果。因此,采用动态提取模型的方法,即在一幅图像中寻找对应的模型后,就将该模型提取出来,作为下次匹配的模型。运用这样的特征模型提取方法提高了匹配的可靠性。

进一步,当原特征模型逐渐“走出”图像(匹配特征消失),根据上述模型提取的方法及时选取新的特征模型,称之为“特征模型更新”。另外,在确定了模型在前几幅图像中的位置之后,可以预测模型在下幅图像中的大概位置,从而可缩小搜索空间,提高搜索速度。

3.3 无人飞行器运动轨迹的估计

对于基本作水平飞行的(巡航状态)无人飞行器,在确定出特征模型在序列图像中的移动轨迹后,可以根据该轨迹和摄像机成像原理来估计无人飞行器的飞行轨迹。摄像机成像原理图如图 1 所示。其中, (X, Y, Z) 表示以摄像机的光学中心为原点的摄像机坐标系。设点 p 为地面上的一个点,点 P 为点 p 在摄像机成像平面上的投影,则 2 个时刻成像点

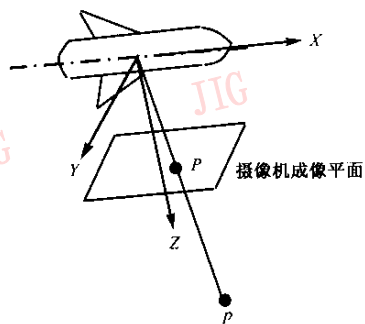


图1 摄像机成像原理图

P 的位置分别为

$$\begin{cases} X_P = f \frac{X}{Z} \\ Y_P = f \frac{Y}{Z} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} X'_P = f \frac{X'}{Z'} \\ Y'_P = f \frac{Y'}{Z'} \end{cases} \quad (4)$$

当无人机在空中处于水平飞行状态时,相邻2帧图像之间摄像机的角度变化很小,高度也基本上保持不变,可以认为 $Z \approx Z'$,则相邻2帧图像之

间摄像机相对于点 p 的位置变化为

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{Z}{f} \Delta X_P \\ \Delta Y = \frac{Z}{f} \Delta Y_P \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可以看出 (X_P, Y_P) 的变化反映了摄像机相对于地面的位置变化,由于摄像机固定在无人机飞行物上,且本文中的无人飞行器的尺寸较小,因此可以认为摄像机的位移就是无人飞行器的位移。

4 实验结果与分析

选取一段无人机在空中处于巡航状态时所拍摄的视频图像,并从中捕获连续的24帧图像。该视频图像中的景物包括一架停放在地面的飞机、建筑物以及草坪等(如图2所示)。对该序列图像进行特征提取和跟踪的结果如图3所示。在第1帧图像(图2(a))中提取了模型,如图3(a)所示,该模型为停放在地面上的飞机。图3(b)为该模型在第7帧图像中根据匹配结果提取出来的新模型。图3(c)、(d)分别表示了这2个模型在第2帧图像(图2(b))和第8帧图像(图2(d))中的匹配结果。



(a) 第1帧图像



(b) 第2帧图像



(c) 第7帧图像



(d) 第8帧图像

图2 序列图像

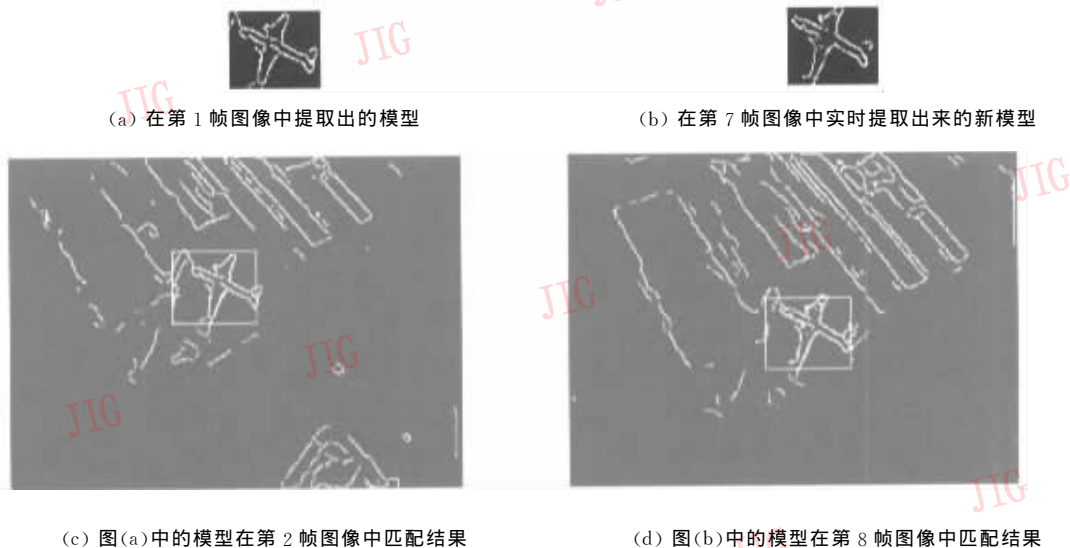


图 3 图 2 序列图像特征模型的提取和跟踪

该模型在 24 幅图像中的位置如表 1 所示,表中数据为模型在匹配后,其中心位置在图像中对应的位置,括号中的第 1 个数据为像素的 x 坐标,第 2 个数据为像素的 y 坐标。

表 1 特征模型位置变化追踪结果

图号	(x,y)	图号	(x,y)	图号	(x,y)
1	(296,177)	9	(376,284)	17	(459,396)
2	(302,185)	10	(387,293)	18	(464,415)
3	(316,198)	11	(403,305)	19	(464,419)
4	(316,205)	12	(425,330)	20	(468,427)
5	(316,214)	13	(432,340)	21	(463,434)
6	(331,234)	14	(436,354)	22	(459,439)
7	(279,244)	15	(447,377)	23	(444,445)
8	(353,259)	16	(449,379)	24	(456,449)

利用三次 B 样条曲线拟合表 1 中的数据,可以清楚地看出提取的模型在该组图像中移动的轨迹,如图 4 所示。由该轨迹根据式(5)就可以估算出无人飞行器相对于地面的飞行轨迹,基本上与该轨迹的趋势保持一致。

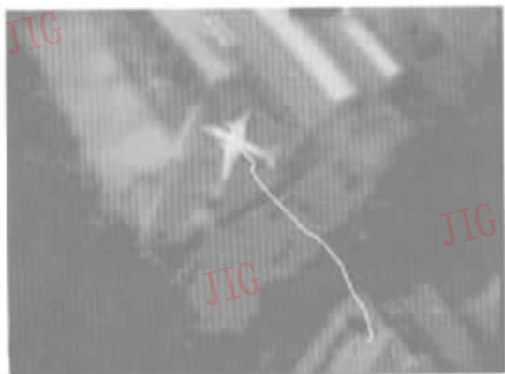


图 4 特征模型在序列图像中的移动轨迹

5 结 论

与一般的航空序列图像模型提取和跟踪问题不同,本文研究的是根据对航空序列图像的分析来估计飞行器的轨迹。由于对于所要提取的模型没有任何先验的知识,因此如何快速提取出有效的模型,并对其跟踪就比较复杂。本文利用改进的 Canny 算子提取出了分割区域所包含的边缘,提出了一种以区域特征比较因子为比较标准的模型选取方法,并利用 Hausdorff 距离匹配方法对模型进行跟踪识别。实验表明该方法十分有效,为无人飞行器的轨迹跟踪提供了一个新工具。

参 考 文 献

- 1 Daniel P Huttenlocher, Walter W Bell, Pedro F Felzenszwalb. Detection and Long Term Tracking of Moving Objects in Aerial Video [R]. Ithaca NY, USA, Computer Science, Cornell University, March 1999.
- 2 Daniel P Huttenlocher, Michael E Leventon, William J. Rucklidge. Visually-Guided Navigation by Comparing Edge Images [R]. Ithaca NY, USA, Algorithmic Foundations of Robotics, 1995:85~96.
- 3 Ettinger S M. Design And Implementation of Autonomous Vision-Guided Micro Air Vehicle[D]. Electrical and Computer Engineering, University of Florida, Florida, USA,2001.
- 4 Canny J F. A Computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):679~697.
- 5 Gerard, Medioni, Ramakant Nevatia. Matching images using linear features[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and

Machine Intelligence, 1984, 9(6):675~685.

- 6 Huttenlocher D P, Klanderma G A, Rucklidge W J. Comparing images using the Hausdorff distance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 9(15): 850~863.



昂海松 1947年生,教授,博士生导师。主要从事飞行器设计、图像处理、目标特性分析等方向的研究。



季 健 1977年生,南京航空航天大学在读博士研究生。研究领域为计算机图像、飞行器设计与导航技术。

HP UNIX 构架工作站 C8000

HP公司于2004年5月推出了HP工作站品牌中最高端的产品——C8000。

C8000采用的是HP自己研制的PA8800,标准机型是双路CPU,而最多可以扩展到四路,成为一台“四芯驱动”的工作站。CPU二级缓存为32MB,主版芯片组是zx1型,这也是HP首次在PA-RISC工作站产品中使用这款芯片组,与HP安腾工作站使用的芯片组相同。这样的配置使得C8000的系统带宽极高,运算能力非常出色。

为了满足图形图像领域的应用需求,C8000在图形显示方面采用AGP 8X图形显示接口,使用ATI FireGL系列的图形显示卡,可以支持多个显示器的图形图像显示。这样设计者可以从多个不同角度来观察图像制作过程中的动态变化,使创作过程成为一种享受。这款高端显示卡具有高容量,高速度的图形运算能力,可以满足大量复杂图形运算的需要。用C8000进行3D设计或其它工业设计时,可以轻松地完成建模,而且还能够使图形显示更加逼真。

C8000继续采用PA-RISC架构,HP-UX11i操作系统,C8000为传统的UNIX应用提供更高的性能。这款新的工作站的图形性能,处理器及存储器带宽比以前的型号高4倍,存储器时延则比以前低25%。系统支持16G的内存,并能承担极大的工作量。

HP C8000的低噪声冷却系统使该产品比同类工作站安静得多,当工作站以library-quiet模式工作时,噪声输出不到5贝尔;而在whisper-quiet模式下工作时,噪声只有4.2贝尔,这样设计主要是考虑到办公室的需要,因风扇的噪声往往会干扰工作者思考。

C8000机箱采用了免工具拆卸技术,提高了产品的易维护性。机箱前版上有两个USB2.0接口,在机箱后面版上还有2个USB,1个RJ45以及2个1394接口。