

# 基于生物视觉的地面目标识别与跟踪锁定

朱宪伟, 于起峰

(国防科学技术大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘 要:** 图像中待攻击目标的自动识别与跟踪锁定是图像制导的基本任务, 也是图像制导技术的难点所在。由于获得图像的角度和位置的不同, 同一目标在不同图像中会有较大的变形, 如何正确地识别出该目标是至今未能很好解决的问题。相比之下, 人和动物在复杂的环境中, 几乎在各种角度和位置的情况下, 均可以可靠地识别出目标, 并能完成对该目标的跟踪锁定。因此生物视觉的工作机理成为了当前学者研究的热点, 在继承和发展了当前国际上该领域的最新研究成果的基础上, 实现了生物视觉原理下的目标识别与跟踪算法, 经过大量真实图像的试验, 证明了该算法的鲁棒性。

**关键词:** 生物视觉; 感受野; 仿射模型; 目标识别; 目标跟踪

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007- 2276(2007) 06- 0977- 03

## Ground target recognition and tracking based on biological vision

ZHU Xian-wei, YU Qi-feng

(College of Aerospace and Material Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The target recognition and tracking in image is the basic task and the choke point in image-guidance technology. Because of different position and angle of view, the same object may have serious deformation in images, so how to recognize the one is not well resolved. Comparatively, the people and animals, almost at all angle and position of view, it is easy to recognize and track it, so biological vision becomes a hot research domain. Inherit the newest research result in biological vision, the algorithm based on biological vision to recognize and track the target is implemented. After tested by many frames of real image, it can be shown that the algorithm is robust.

**Key words:** Biological vision; Receptive field; Affine model; Target recognition; Target tracking

### 1 生物视觉原理

经过生物学试验研究得知, 灵长类动物的视皮层存在许多柱状组织结构, 该柱状组织垂直于表层, 称为超柱。每一个超柱又由对应所有朝向的微柱组成。每一个微柱由很多单细胞组成, 这些单细胞的朝向相同、尺度不同, 不同的超柱用来处理不同窗口上的图像, 一个超柱就是一个基本的处理单元<sup>[1-3]</sup>, 如图 1 所示。

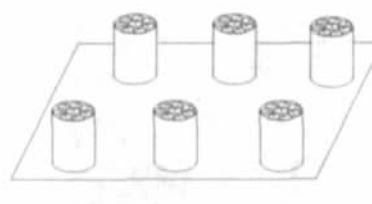


图 1 视皮层内的超柱组织

Fig.1 Hyper columns organization in visual cortex

每一个单细胞对局部的光强图像有一个响应, 该

收稿日期: 2007- 02- 01; 修订日期: 2007- 04- 08

作者简介: 朱宪伟(1979-), 男, 江苏沛县人, 博士生, 主要从事图像处理与精密测量等方面的研究。Email: zhuxianwei\_2008@sina.com

导师简介: 于起峰(1958-), 男, 山东威海人, 教授, 博士, 主要从事精密光测的数字图像分析研究。Email: yuqifeng@vip.sina.com

图像在超柱内就被一组响应值所描述。这一组值称为超柱向量。超柱向量是视觉信息的重要提取,与原始的光强模式相比,数据量大大降低。它仅以合适的比例和选定的方向保留了一定空间频率段内局部对比信息,排除了空间高频率和低频率成分附加的亮度变化。生物学试验发现,Gabor 滤波器可以很好地近似单细胞的感受野函数<sup>[4]</sup>(在光强刺激下的传递函数),由此建立数学模型。选取二维 Gabor 函数作为单细胞的感受野函数,调整 Gabor 函数的方向确定一组朝向。一个局部图像与  $n$  个 Gabor 模板分别做内积,得到的一个  $n$  维向量作为超柱向量。从 Gabor 函数的频域来分析,也容易得出用超柱向量来描述目标图像相比原始的光强模式的优势。这是因为 Gabor 函数在频域里正是一个带通滤波器,通过调整 Gabor 函数的朝向,可以提取目标在不同朝向上指定频带内的信息,而将其他不关心的信息全部滤除。其中 Gabor 函数就是一个被高斯函数调制的正弦或余弦函数,其数学形式为:

$$g^i(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{x_1^2}{\sigma_x^2} - \frac{y_1^2}{\sigma_y^2}} e^{i\omega x_1} \quad (1)$$

式中: 
$$\begin{cases} x_1 = x\cos(\theta) + y\sin(\theta) \\ y_1 = -x\sin(\theta) + y\cos(\theta) \end{cases} \quad (2)$$

$\sigma_x$  和  $\sigma_y$  是尺度参数;  $\omega$  是频率参数;  $\theta$  确定了 Gabor 函数的朝向;  $g^i(x,y)$  是复数形式,由奇偶两部分组成,奇部分表示高斯函数调制正弦函数,偶部分表示高斯函数调制余弦函数。图 2 为一组 Gabor 模板,可以用这样一组 Gabor 模板来作为一个超柱。其中上面 18 个是奇模板,下面 18 个是偶模板。

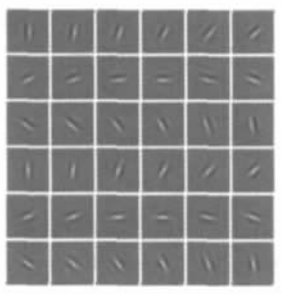


图 2 一组 Gabor 模板

Fig.2 Group of Gabor templates

## 2 基于生物视觉原理的目标匹配识别技术

### 2.1 方法综述

用超柱向量描述图像,可以将对图像的匹配转化

为对超柱向量的匹配问题。同一目标不同时刻、不同位置在视觉系统中成的图像肯定是不同的,而生物系统能够识别出这是同一个目标,在于生物通过调节单细胞的感受野函数,始终维持着该目标的超柱向量。在计算机实现上,采用同样的方法通过对 Gabor 函数的变换来实现生物视觉的这一功能,就可以解决二维景象匹配的问题。实际应用中,通常在导弹上预先存储一幅参考图像,并指定了待攻击目标在参考图像中的位置,在导弹飞行时,弹载相机不断捕获图像,在捕获到含有待攻击目标时,完成对目标的匹配,确定目标当前的位置。显然参考图像和导弹飞行时获得的图像分别是在不同时刻、不同角度、不同位置获得的,此时两幅图像虽然包含同一个目标区域,但该目标区域在两幅图像中可能有很大的变形,同时也受到噪声和光照的影响。如何将两幅图像中同一个目标区域匹配起来,是导弹完成目标识别的根本任务。

首先做两个假设,第一,地面近似为一个平面,第二,目标成像模型为中心投影模型。由于参考图像一般通过卫片获得,距离地面非常远,可以近似认为地面是一个平面。导弹实时获得的图像也可以近似这样认为,显然第一个假设是基本合理的。第二个假设是摄像测量的基础,也是合理的。已知投影矩阵如下:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \\ m_5 & m_6 & m_7 & m_8 \\ m_9 & m_{10} & m_{11} & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $X, Y, Z$  表示大地坐标系下目标的坐标;  $u, v$  表示该目标在图像内所成像的坐标。

假定相机拍摄到的地面是平面,可以认为所有的目标点  $Z=0$ ,此时投影矩阵可以简化为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_4 \\ m_5 & m_6 & m_8 \\ m_9 & m_{10} & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = M_2 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

同一个目标点在另一幅图像中坐标为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_4 \\ m_5 & m_6 & m_8 \\ m_9 & m_{10} & m_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = M_2 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

同一目标点在这两幅图像中的坐标就存在下列变换:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = M_2 M_1^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

显然这两幅图像对应一个射影变换, 具有如下形式:

$$\begin{cases} u = \frac{r_{11}u + r_{12}v + r_{13}}{r_{31}u + r_{32}v + 1} \\ v = \frac{r_{21}u + r_{22}v + r_{23}}{r_{31}u + r_{32}v + 1} \end{cases} \quad (7)$$

定义  $f(x,y)$  和  $f(x,y)$  为两个角度获得的两幅图像, 它们的射影变换关系为:

$$f(x,y) = A(\rho) \circ f(x,y) \quad (8)$$

式中:  $A(\rho)$  为射影变换算子;  $\rho$  为 8 个射影变换参数。以超柱向量之间的欧氏距离作为匹配评价准则, 如果  $f(x,y)$  和  $f(x,y)$  是同一块区域, 则必然可以通过最小化距离来得到变换参数, 从而实现图像之间的匹配。

## 2.2 试验结果

用上述方法进行了真实图像的试验, 结果如图 3 所示, 图中是 2 幅真实的航拍图像, 在左边图像内随机点取多个感兴趣的区域, 右边图像是匹配结果。在当前主流计算机上运行, 匹配一个点, 耗费时间 0.6 s 左右, 匹配结果比较理想。



图 3 实际图像匹配结果  
Fig.3 Matching result of real image

## 3 基于生物视觉原理的目标跟踪锁定技术

### 3.1 方法综述

神经生物学的试验研究发现, 生物视觉神经中的识别过程(决定目标的特征)与跟踪过程(决定目标的空间位置和运动)是分开的<sup>[5-6]</sup>。生物视觉对运动目标的跟踪不需要连续地检测到目标信号, 而仅仅通过神经感受野的适应性调节过程来保持序列图像中运动目标的信号, 这一适应性调节过程就是跟踪过程。因而生物视觉神经的跟踪过程是一种纯粹的跟踪过程。既然生物视觉对目标的跟踪如此简单, 那么如果能够模拟生物视觉的跟踪过程, 就能够很好地解决复杂背景中运动目标的跟踪问题。

传统的跟踪方法(如相关法)仅考虑目标的二维

平移<sup>[7]</sup>, 过度简化了由于运动而产生的图像变形。实际上, 目标非线性几何变形的一阶近似可以用一个仿射变换表示。由于仿射变换考虑了平移、旋转、缩放和剪切, 使得它可以作为一个适当的变换模型, 既保证了计算的精度, 又不至于过度简化。假定针对同一目标, 前一帧图像为  $f_1(u,v)$ , 后一帧图像为  $f_2(u,v)$ , 两帧图像中的目标区域存在一个仿射变换关系为:

$$\begin{cases} x = r_0 \cdot xu + r_1 \cdot xv + r_4 \\ y = r_2 \cdot xu + r_3 \cdot xv + r_5 \end{cases} \quad (9)$$

设两帧图像中目标区域的超柱向量分别为  $\rho^1$  和  $\rho^2$ , 通过数学推导得到超柱向量与上述 6 个仿射参数之间的表达式。这样就可以解析、求解这 6 个参数, 即得到了目标的新位置, 目标的连续跟踪得以实现。

### 3.2 试验结果

在草坪中放置了一辆玩具汽车, 在楼顶用相机拍摄汽车, 拍摄过程中有相机的摆动和变焦, 以此模拟相机接近目标过程, 图 4 是跟踪结果, (a)是初始化, (b)是第 300 帧的跟踪结果。

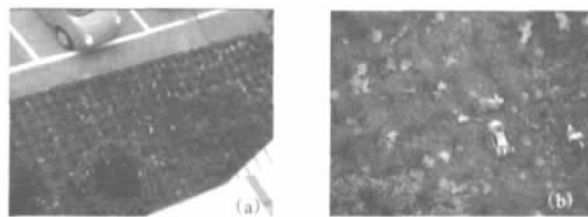


图 4 实际图像跟踪结果  
Fig.4 Tracking result of real image

保持相机的焦距不变, 手持相机向目标走近, 同时主动地旋转相机。其间人的走动会带来相机的晃动, 图 5 是跟踪结果, (a)是初始化, (b)是第 500 帧的跟踪结果。

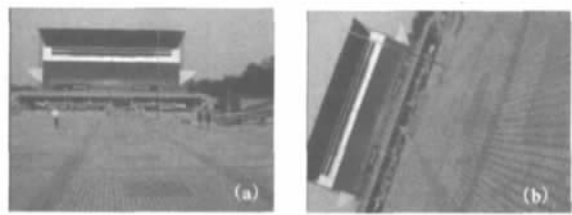


图 5 实际图像跟踪结果  
Fig.5 Tracking result of real image

## 4 结论

从匹配识别和跟踪锁定结果来看, 基于生物视觉  
(下转第 995 页)

### 3 结 论

介绍了复杂背景下提取特征块的方法,可以实时、准确地提取背景特征块,采用块匹配的运动估计方法估计背景的运动,配准差分检测目标,为后续识别与理解奠定基础。该方法直接提取背景特征块,与基于特征点的特征块提取方法相比,受图像对比度限制较小。实验结果表明,该算法不仅能有效地对较高对比度的地面背景下的运动目标进行检测,也能有效地检测到较低对比度的天空背景下的运动目标,具有较好的鲁棒性。

#### 参考文献:

- [1] HORN B K P, SCHUNK B G. Determining optical flow [J]. *Artificial Intelligence*, 1981, 17: 185- 203.
- [2] LIU Yong-xin, WEI Ping, HOU Chao-zhen, et al. A method

of moving visual object detection in image sequence under complex background [J]. *Computer Engineering and Applications* (刘永信, 魏平, 侯朝桢, 等. 复杂背景图像中检测运动目标的一种方法. *计算机工程与应用*), 2002, 38(23): 22- 24.

- [3] ZHAO Xiao-li, HAN Yan. Moving target detection in complex background [J]. *Journal of North China Institute of Technology* (赵晓丽, 韩焱. 复杂背景下运动目标的检测. *华北工学院学报*), 2005, 26(2): 149- 152.
- [4] KONG Gang, ZHANG Qi-heng, XU Jun-ping. Moving object recognition in complex environment [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument* (孔刚, 张启衡, 许俊平. 一种复杂背景下运动扩展目标识别算法. *仪器仪表学报*), 2005, 26(8): 712- 715.
- [5] LI Lu, SU Yong, ZHOU De-chao, et al. Detection of moving object detection in video sequence based on detection of space-time relativity [J]. *Journal of Detection & Control* (李路, 宿勇, 周德超, 等. 基于时空相关性检测的视频序列运动目标检测方法. *探测与控制学报*), 2005, 27(3): 52- 54.

(上接第 979 页)

原理的匹配和跟踪算法比以往的相关匹配和相关跟踪算法(以及该基础上的改进算法)有很大的优势。由于综合考虑了图像的多种变形,再结合神经生理学的最新发现,使得该算法从原理上突破了普通算法的限制。文中继承国际研究前沿上该领域的多种算法,将其实现并做了很多改进,最终在实际图像的匹配和跟踪上收到了良好的效果,该算法有望在图像制导技术发展中起到较大的推进作用。

#### 参考文献:

- [1] WEI Hui. A SOM network model for feature extraction by hyper columns architecture of primary visual cortex [J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)* (危辉. 视觉初级皮层区超柱结构的自组织适应模型. *浙江大学学报(工学版)*), 2001, 35(3): 258- 263.
- [2] ZHANG Guang-nian, YANG Jian-hua, WANG Guang-yu. Study on space transmission property of two model of Ganglion Cell receptive field [J]. *Journal of Capital Normal*

University (Natural Sciences Edition) (张光年, 杨俭华, 王光毓. 两种 GC 感受野模型的空间传输特性研究. *首都师范大学学报(自然科学版)*), 1997, 18(Supplement): 17- 21.

- [3] TSAO T, WEN Zhi-qing. Image-based target tracking through rapid sensor orientation change [J]. *Optical Engineering*, 2002, 41(3): 697- 703.
- [4] YANG Qian, QI Xiang-lin, WANG Yun-jiu. A neural network model of simple cell orientation selectivity receptive field [J]. *Science in China (Sciences C)* (杨谦, 齐翔林, 汪云九. 简单细胞方位选择性感受野组织形成的神经网络模型. *中国科学(C辑)*), 2000, 30(4): 412- 419.
- [5] HE Chao, ZHENG Y F, AHAL S C. Object tracking using the Gabor wavelet transform and the golden section algorithm [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2002, 4(4): 528- 538.
- [6] WU Xing, BHANU B. Gabor wavelet representation for 3-D object recognition [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(1): 47- 57.
- [7] WANG Ying-jin, ZHANG Gui-lin. New tracking method based on Kalman filter [J]. *Infrared and Laser Engineering* (汪颖进, 张桂林. 新的基于 Kalman 滤波的跟踪方法. *红外与激光工程*), 2004, 33(5): 505- 508.