

基于 Contourlet 直方图的目标跟踪算法

郭文婷, 蔡念

(广东工业大学信息工程学院, 广东 广州 510006)

摘要:提出一种基于 Contourlet 直方图的目标跟踪算法。对图像先进行 Contourlet 变换, 并利用变换后的 Contourlet 系数建立 Contourlet 直方图, 将其作为 meanshift 算法的迭代参数来实现目标跟踪。实验结果表明, 本算法具有较好的鲁棒性, 能够在遮挡、小目标等情况下实现快速准确的跟踪。

关键词:Contourlet 直方图; 目标跟踪; 均值漂移

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.10.020

Object tracking based on contourlet histogram

GUO Wen-ting, CAI Nian

(School of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract:This paper proposes a target tracking algorithm based on Contourlet histogram. Contourlet histogram, which uses the Contourlet transform to extract image texture feature information, combined with meanshift algorithm is proposed for target tracking. Experimental results show that the proposed algorithm is robust for small targets, occlusion and can achieve fast and accurate tracking.

Key words:Contourlet histogram; object tracking; meanshift

1 引言

目标跟踪一直是计算机视觉研究的热点问题, 其应用领域有视频监控、人机用户接口、虚拟现实等。目标通常具有光照、遮挡、形变等特征, 如何选择合适的特征进行目标建模是目标跟踪中的关键问题。

建立直方图模型是对目标进行特征提取的一种常用方法, 通过对特征参数统计, 可以较方便地并计算当前目标与目标模型的相似度。颜色直方图是常用的一种直方图, 文献[1]~[3]利用普通直方图实现了在一定情况下对目标进行跟踪, 具有较强的实时性。可是, 普通颜色直方图仅仅利用了图像像素的统计特征, 未包含任何位置信息, 因此在目标遮挡、复杂背景和小目标的情况下跟踪效果较差。文献[4]~[6]将目标的空间位置信息与颜色信息融合, 建立目标的空间直方图进行目标跟踪, 克服了颜色直方图的诸多缺陷。但空间直方图需要统计像素

的位置信息, 因此计算量较大, 跟踪速度实时性较差。

Contourlet 变换具有多分辨率、局部定位性、各向异性等特点, 在对纹理特征的描述上具有较好的效果。文献[7]提出 Contourlet 直方图的概念, 根据 Contourlet 变换系数重建直方图, 主方向确定为能量最大的方向, 在当目标发生旋转形变时具有较好的鲁棒性, 且计算量比空间直方图少, 具有较好的实时性。

本文将 Contourlet 直方图思想引入 meanshift 跟踪框架下, 提出一种基于 Contourlet 直方图的目标跟踪方法, 以克服灰度直方图在遮挡和小目标情况下容易丢失的缺点, 以及空间直方图计算量较大的

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61001179); 国防“973”计划项目(No. 51323020203-2)资助。

作者简介:郭文婷(1986-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为目标跟踪与识别。E-mail:360373041@qq.com

收稿日期:2011-12-08; **修订日期:**2012-03-23

缺点。

2 基于 Contourlet 变换的纹理特征提取

Contourlet 变换具有多分辨率、局部定位性、各向异性等特点,在对纹理特征的描述上具有较好的效果。该变换是利用拉普拉斯塔形分解(LP)和方向滤波器组(DFB)实现的一种多分辨的、局部的、多方向的图像表示方法,继承了 Curvellet 变换的各向异性的多尺度关系。Contourlet 变换在三个尺度下对图像频域的分解时,每个尺度的方向子带数目以 2 倍递增,即 1,2,3 尺度下的方向子带数目分别为 2, 4,8 个。实际应用中,方向数一般随着尺度增大而增多。有关 Contourlet 理论具体参见文献[8]。Contourlet 分解的过程如图 1 所示。

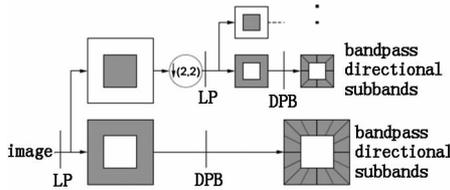


图 1 Contourlet 分解过程

将 Contourlet 直方图变换后子图的能量参数最大的方向定做主方向,并将其对应的分量排在首位。即使当目标图像发生旋转时,仍然具有相同的主方向,形成直方图时位置主方向不变,具体步骤如下^[7]:

(1) 将原图进行 2 级和 3 级 Contourlet 分解,一共得到 12 幅 Contourlet 变换子图 W_m 。

(2) 对每幅子图系数矩阵求得能量 E_m , 选取同尺度下能量最大的子图使其排列在第 1 幅,其他子图依次循环按顺时针排列,得到 2 个尺度下的子带输出。

(3) 利用以下公式对每幅子图进行量化,得到二值矩阵:

$$I_m[i, j] = \begin{cases} 1 & W_m[i, j] \geq \nu_m \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

其中, ν_m 表示能量均值,并通过下采样获得大小相同的能量矩阵。

(4) 将每幅子图相对本子图相同存储位置点的值(0/1)合成 12 位二进制数,通道 0~3 为 2 级 Contourlet 分解按步骤(2)排列产生的 4 幅子图,通道 4~11 为 3 级 Contourlet 分解排列产生的 8 幅子图。

Contourlet 直方图生成的具体方法如图 2 所示,其中 T 代表 0/1 量化。对得到数据进行量化并统计。

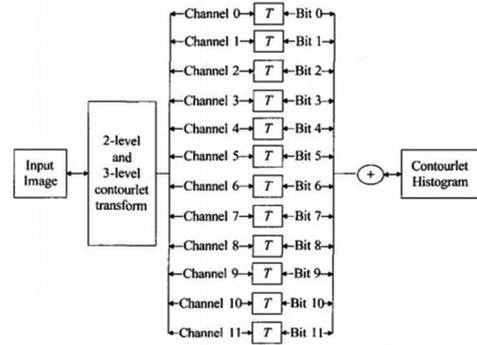


图 2 Contourlet 直方图生成方法

3 基于 Contourlet 直方图的 meanshift 跟踪算法

Meanshift 算法是基于模式匹配的目标跟踪算法,首先手动选取跟踪窗口,根据颜色直方图分布计算和函数加权下的目标模板。在后续跟踪帧中用同样方法得到选定区域的直方图分布。通过统计迭代算法使得每一个点向两个分布相似性最大的方向漂移^[9]。

在灰度直方图建模的基础上,采用 Contourlet 直方图进行特征提取,即利用第 2 节中的步骤(4)得到的 Contourlet 变换子图量化后组成的 12 位二进制数生成的矩阵,替代普通直方图中的像素灰度值,对目标模型和候选模型进行建模如式(2):

$$q_u(x_0, h) = C \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x_0 - x_i}{h}\right)^2 \delta[t(x_i) - u] \quad (2)$$

其中, $q_u(x_0, h)$ 为目标模板的 Contourlet 直方图, $u = 1, 2, \dots, M$; x_0 为 Contourlet 变换子图量化后组成的 12 位二进制数生成的矩阵的中心坐标; x_i 为第 i 个矩阵的坐标; h 为模板的大小; $t(x_i)$ 为目标模型矩阵,即上述二进制数生成的矩阵的 x_i 的数值; C 为归一化参数; $k(x)$ 为高斯核函数。当前帧选定区域同样按照式(2)建模得到 $p_u(x'_0, h)$ 。

基于跟踪目标和候选目标模型,搜索从前一帧中跟踪目标位置开始,在周围邻域利用均值矢量的梯度信息迭代过程完成目标定位。

$$x_1 = \sum_{i=1}^n X_i \omega_i g\left(\left\|\frac{x'_0 - x_i}{h}\right\|^2\right) / \sum_{i=1}^n \omega_i g\left(\left\|\frac{x'_0 - x_i}{h}\right\|^2\right) \quad (3)$$

式中, x_1 为新的位置, $g(x) = -k'(x)$ 为核函数的导数。 ω_i 为图像加权矢量如式(4):

$$\omega_i = \sum_{i=\sqrt{v}}^n \sqrt{\frac{q_u(x_0, h)}{p_u(x'_0, h)}} \delta[t(x_i) - u] \quad (4)$$

式中, $p_u(x'_0, h)$ 为当前帧目标矩形框选定区域的 Contourlet 直方图。

建模后按照 meanshift 算法进行迭代计算,最后得到目标中心。

整个跟踪算法的具体步骤如下:

(1) 在初始帧中手动选定包含目标的矩形窗口, 即被跟踪目标的目标区域;

(2) 按公式(2)计算得到起始帧中目标模板 M_0 的 Contourlet 直方图;

(3) 在当前帧 K 中按 meanshift 算法获得选定区域 S ;

(4) 按公式(2)计算区域 S 的 Contourlet 直方图;

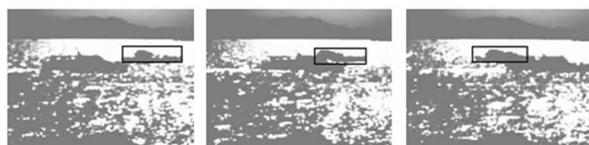
(5) 按公式(3)、公式(4)计算新的目标中心, 标定目标;

(6) 返回步骤(3), 直到跟踪目标移出跟踪范围。

4 实验结果及对比分析

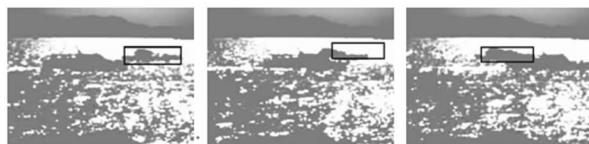
本文实验在 Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU T6570 2.10 GHz 和内存 2 G 的 PC 机上使用 matlab 进行仿真实验。在图像序列第一帧中手动选取跟踪目标的参考目标模型。使用的实验视频为红外目标图像, 分别采用基于 Contourlet 直方图的 meanshift 跟踪算法 (contourlet histogram based object tracking, CHBOT), 基于普通直方图的 meanshift 跟踪算法 (histogram based object tracking, HBOT) 和基于空间直方图的 meanshift 跟踪算法 (spatial histogram based object tracking, SHBOT) 进行目标跟踪。

视频 1 序列图像数 160, 每帧图像大小 384×288 。该视频红外目标较大, 出现较严重的前遮挡情况。由图 3 可以看出, 在未发生遮挡之前, 三种算法基本可以跟踪到目标, 但是在发生遮挡之后, HBOT 发生了严重的目标丢失, 而 CHBOT 和 SHBOT 均能实现较稳健的跟踪。



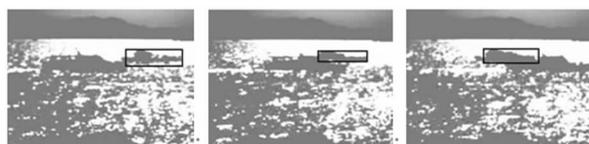
Frame 25 Frame 58 Frame 130

(a) 基于 Contourlet 直方图跟踪



Frame 25 Frame 58 Frame 130

(b) 基于普通直方图跟踪



Frame 25 Frame 58 Frame 130

(c) 基于空间直方图跟踪

图 3 视频 1 跟踪结果

视频 2 序列图像数 200, 每帧图像大小 320×240 , 该视频摄像角度会发生变换, 跟踪目标为小目标, 且目标会发生一定的形变。从图 4 中可以看出, HBOT 在 95 帧时发生目标的完全丢失现象, 而 CHBOT 和 SHBOT 在整个跟踪过程中均能够稳健跟踪目标。



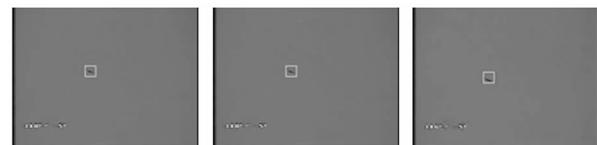
Frame 43 Frame 95 Frame 160

(a) 基于 Contourlet 直方图跟踪



Frame 43 Frame 95 Frame 160

(b) 基于普通直方图跟踪



Frame 43 Frame 95 Frame 160

(c) 基于空间直方图跟踪

图 4 视频 2 跟踪结果

为进一步验证本文的算法的有效性 与 稳健性, 对 CHBOT, HBOT 以及 SHBOT 进行了跟踪误差比较分析 (如图 5、图 6 和表 1 所示)。本文采用的误差为每帧真实目标中心位置 l 与跟踪的目标位置 l' 之间的欧氏距离 $e = \sqrt{(l_x - l'_x)^2 + (l_y - l'_y)^2}$ 。

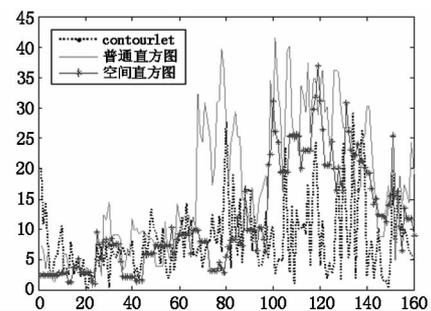


图 5 视频 1 跟踪误差对比

由图 5 和表 1 可以看出, HBOT 在跟踪目标发生遮挡后丢失; 虽然 CHBOT 和 SHBOT 均能有效跟踪到目标。HBOT 和 SHBOT 因为采用图像的颜色信息作为主要特征, 而因此当目标发生遮挡时, HBOT 会发生目标丢失; 而因为空间直方图融合了目标的空间位置信息, 因此丢失现象不明显; CHBOT 主要利用图像的纹理信息进行跟踪, 而视频 1

中的红外目标图像虽然没有丰富的纹理信息,但在边缘信息上比较丰富,其稳健性稍优于 SHBOT。

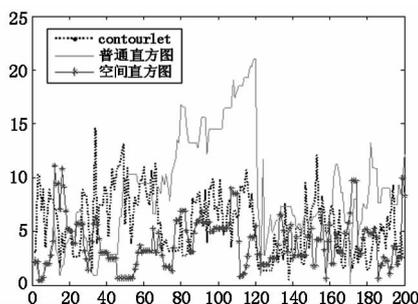


图 6 视频 2 跟踪误差对比

由图 6 和表 1 可以看出,HBOT 在跟踪小目标时发生了严重丢失现象,而 CHBOT 和 SHBOT 更能有效地跟踪小目标。因目标太小,颜色信息不能够完全反应出图像的特征,基于普通灰度直方图不能实现很好的跟踪;空间直方图融合了图像的空间位置信息,因此具有较好的跟踪性能;而该目标内部纹理信息较少,SHBOT 比 CHBOT 稍稳健,但 Contourlet 直方图仍然可以利用图像边缘信息跟踪,且在主方向具有旋转不变性的特征,因此当目标发生旋转时,CHBOT 仍然具有较好的鲁棒性,优于 HBOT。

表 1 跟踪误差均值和方差

		CHBOT	HBOT	SHBOT
视频 1	均值	8.34	16.76	11.54
	方差	5.91	10.97	8.42
视频 2	均值	5.71	8.43	3.99
	方差	2.90	4.98	2.26

为证明本文算法的实时性,本文对 CHBOT, HBOT 和 SHBOT 三种跟踪算法的每秒跟踪的平均帧数进行了统计,结果如表 2 所示。

表 2 跟踪速度对比(帧/s)

		CHBOT	HBOT	SHBOT
视频 1		2.19	3.04	0.56
视频 2		3.25	4.11	1.96

由表 2 可以看出,因 HBOT 只作灰度值的像素个数统计,计算量较少,跟踪速度最快;SHBOT 由于要统计计算直方图的三维信息(像素的个数,坐标均值和坐标的协方差矩阵),而 Contourlet 直方图只需要先对图像进行 Contourlet 变换,再统计计算 Contourlet 系数的一维特征信息,因此 CHBOT 的跟踪速度优于 SHBOT 的跟踪速度。

总之,HBOT 的跟踪虽然速度快,但是跟踪效果较差。而在跟踪效果基本相同的情况下,CHBOT 的跟踪速度优于 SHBOT 的跟踪速度,且具有较强的鲁棒性。

5 结 论

本文提出一种基于 Contourlet 直方图的目标跟踪方法。对目标模型计算 Contourlet 直方图,采用 meanshift 算法框架作为基本跟踪算法,并实现红外目标的跟踪。实验结果表明,该算法能够较稳健可靠地跟踪红外目标,在目标部分遮挡以及小目标跟踪的情况下,亦具有良好的跟踪性能,在鲁棒性和速度优于基于普通直方图和空间直方图的 meanshift 跟踪算法。

参考文献:

- [1] Amir Babaeian, Saeed Rastegar. Mean-shift-based object tracking with multiple features [J]. System Theory, 2009: 68 - 72.
- [2] Collins R T. Mean-shift blob tracking through scale space [C]. CVPR, 2003, 2: 234 - 240.
- [3] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(5): 564 - 577.
- [4] S T Birchfield, S Rangarajan. Spatiograms versus histograms for region-based tracking [C]. CVPR, 2005: 1158 - 1163.
- [5] Stanley T Birchfield, Sriram Rangarajan. Spatial histograms for region-based tracking [J]. ETRI, 2007, 29(5): 697 - 699.
- [6] Cai Nian, Zhang Nan. Infrared target tracking in sea clutter background based on spatiograms [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(8): 910 - 916. (in Chinese)
蔡念,张楠. 基于空间直方图的海杂波背景下红外目标跟踪 [J]. 激光与红外, 2010, 40(8): 910 - 916.
- [7] Tian Xiaochen, Yang Dong. Image retrieval method based on color and Contourlet histogram [J]. Computer Engineering, 2010, 36(1): 224 - 227. (in Chinese)
田小忱,杨东. 综合颜色和 Contourlet 直方图的图像检索方法 [J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 224 - 227.
- [8] Minh N Do, Martin Vetterli. Contourlets: a directional multiresolution image representation [C]. ICIP, 2002, 1: 357 - 360.
- [9] Cheng Y. Mean shift mode seeking and clustering [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(8): 790 - 799.