

doi: 10.7690/bgzdh.2013.12.005

基于形态学与灰度模态分析的阴影去除方法

赵蓓蕾, 吴亚婷, 李强

(西南科技大学信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对采集图像中物体附近可能会形成阴影而造成干扰的问题, 提出一种利用形态学修复方法和经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)技术实现阴影去除与目标图像的准确提取的方法。采用背景差分和二值图像形态学修复方法检测出含有目标及其阴影的区域, 利用经验模态分解方法对该检测区域的灰度直方图曲线进行处理, 获取灰度模式变化信息, 将搜寻到关于目标及其阴影分割的双阈值水平, 结合到形态学修复以实现阴影区域的去除, 并以汽车及行人图像处理的实验进行验证。实验结果证明: 图像中的目标阴影得到有效去除, 该方法具有良好的适应性, 能够获得准确的目标检测效果。

关键词: 阴影去除; 数学形态学; 灰度模态分析; 双阈值

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

Shadow Removal Method Based on Morphology and Grayscale Mode Analysis

Zhao Beilei, Wu Yating, Li Qiang

(School of Information Engineering, Southwest University of Science & Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: A fusion analysis method was explored for the shadow interference problem near the objects in the image. The mathematical morphology and empirical mode decomposition (EMD) were adopted to achieve the shadow removal and accurate extraction of the target image. The background subtraction and mathematical morphology were applied for the binary image, and to detect the region which contained the target and its shadow. Then, the empirical mode decomposition method was utilized to acquire the grayscale mode information from the gray histogram curve of detection region. Hereafter, the dual-threshold level could be found to distinguish the target and its shadow, the morphological technology was combined to repair the binary image. Finally, the shadow was removed. The images of car and pedestrian was tested to prove the result. The experimental results showed that the shadow of target in images could be removed effectively. The proposed method is well adaptable, and it can achieve the accurate target detection purpose.

Key words: shadow removal; mathematical morphology; grayscale mode analysis; dual threshold

0 引言

目标检测与提取是数字图像处理中的重要研究问题, 涉及目标的分析、识别及跟踪等工作。由于受到环境及光照因素的影响, 所采集图像中物体附近可能会形成阴影, 从而造成对目标分析的干扰, 故需要采取有效措施来消除图像中的目标阴影。整体上看, 现有方法主要利用目标的光照模型、阴影特征来去除阴影^[1]。基于模型的方法需要建立关于场景、光照和目标的先验知识, 使得该方法难以应用于时变场景^[2]。基于特征的方法是利用与背景、目标的光学区别特征来提取出阴影区域, 这些特征包括纹理、颜色、几何、亮度及小波系数等信息^[3-4]。进一步地, 可将模型分析与特征分析进行融合, 在建立背景统计模型的基础上通过对图像特征的综合处理来分割出阴影^[5-6]。此外, 双边滤波^[7]、自适应阴影评估^[8]、模糊马尔可夫随机场优化^[9]等先进信号处理方法也在阴影检测与去除中得以应用。需要

注意的是, 复杂特征提取及其阴影处理算法将会增加计算量, 一定程度上降低了这些方法的适应性。

光照是导致阴影的直接诱因, 同一场景在不同光照条件下所形成的阴影会有所不同。为降低光照干扰, 可将采集图像转换为与光照无关的灰度图像, 利用灰度统计等特征信息实现阴影去除^[10-11]。笔者在现有研究基础上采用背景差分方法检测出目标的大致区域, 再利用形态学修复方法和经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)技术针对该区域灰度直方图挖掘出目标及其阴影的灰度阈值信息, 进而实现阴影去除与目标图像的准确提取。

1 原理与方法

1.1 背景差分

要去除目标阴影, 首先需要实现目标及其阴影的区域检测。背景差分方法则是一种有效的运动目标检测技术, 该方法通过对含有运动目标的

收稿日期: 2013-07-17; 修回日期: 2013-08-14

基金项目: 国防基础科研计划资助项目(12zg6103)

作者简介: 赵蓓蕾(1989—), 女, 河南人, 硕士研究生, 从事数字图像分析与识别研究。

当前图像与先验背景图像做差分运算来获取目标区域^[12-13], 即

$$D(x, y) = |F(x, y) - B(x, y)| \quad (1)$$

式中: F 表示含有目标的当前帧; B 表示背景帧, D 表示获得的差分结果。为突出检测区域, 可针对差分结果进一步做二值阈值化处理, 从而提取出当前帧图像中与先验背景差别较大的像素区域, 并将该区域作为目标检测区域, 即

$$R(x, y) = \begin{cases} 1, & D(x, y) \geq T \\ 0, & D(x, y) < T \end{cases} \quad (2)$$

式中: R 表示含有目标区域的二值化图像; T 为所设置阈值。

1.2 形态学修复

对目标检测来说, 上述背景差分与二值阈值化处理方法容易使目标区域图像出现断裂和孔洞现象, 为解决这个问题, 可采用数学形态学分析方法实现二值图像的修复。

数学形态学方法结合图像的几何特征, 利用预先定义的领域结构元素在待处理像素位置上对二值图像进行特定的逻辑运算, 去除图像中不相干的结构, 从而达到针对图像的有效分割及修复的目的。针对具体的形态学操作, 图像中目标及其阴影的修复过程主要涉及膨胀、腐蚀、开/闭运算以及区域填充^[14-15]。

假设有图像集合 A 、结构元素集合 B 和像素位移 z 。膨胀操作是将与待处理像素区域连接的背景像素合并进来, 从而使得图像呈现向外的扩大现象, 其定义为

$$A \oplus B = \{z | [(B)_z \cap A] \subseteq A\} \quad (3)$$

腐蚀操作是将待处理像素区域的边界消除, 从而使得图像呈现向内的缩小现象, 其定义为

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (4)$$

结合膨胀与腐蚀这 2 种基本操作, 还可实现复合形态学运算。针对同一个结构元素, 对图像先进行腐蚀操作, 再进行膨胀操作, 形成开运算, 即

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (5)$$

该运算可将图像中的细小突出部分消除, 并将狭窄间断部分断开。相应地, 对图像先进行膨胀操作, 再进行腐蚀操作, 则形成闭运算, 即

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (6)$$

该运算可对图像中的细小空洞部分进行填充, 并将狭窄间断部分连接。一般地, 通过开/闭运算,

可使得处理对象的轮廓趋于光滑。

区域填充操作是为了解决二值图像中形成的孔洞问题, 该操作以对对象像素集合 Z 的膨胀、求补和交集运算为基础, 通过迭代处理来实现, 即

$$Z_k = (Z_{k-1} \oplus B) \cap A^c \quad (k=1, 2, 3, \dots) \quad (7)$$

其中, 结构元素 B 是对称的, A^c 为 A 的补集, 且当 $Z_k = Z_{k-1}$ 时结束该迭代处理。

1.3 经验模态分解

通过前述处理, 将二值图像处理结果与原始图像进行映射, 即可获取相应的检测区域, 且该区域包含了目标图像及其阴影^[16]。那么, 对该检测区域做灰度直方图分析, 挖掘出目标与阴影的灰度阈值关系, 便可实现目标与阴影间的分割。

经验模态分解是一种具有多尺度、自适应时频分辨能力的非线性分析方法, 该方法能提取出隐含在信号内部的局部特征信息, 为评价图像中目标与阴影的灰度信息提供了便利。与传统的小波多尺度分析方法相比, EMD 方法无需设置小波母函数等先验知识, 仅根据信号自身特点将信号分解成多个内在模态函数 (intrinsic mode function, IMF) 分量, 且这些 IMF 分量表征了信号中的固有振荡模式信息。

针对信号 $x(t)$, EMD 方法的分解过程以信号曲线的包络分析为出发点, 计算上、下包络曲线的均值 $m(t)$, 获取差值数据序列 $h(t) = x(t) - m(t)$ 。如果 $h(t)$ 不能满足 IMF 分量的生成条件, 则对该序列重复前面的处理, 直到第 1 个 IMF 分量 $f_1(t)$ 被分离出为止。再将 $f_1(t)$ 分量从原始信号 $x(t)$ 中剥离出来, 形成剩余数据序列 $r(t) = x(t) - f_1(t)$ 。然后, 将序列 $r(t)$ 当作信号 $x(t)$, 重复前面的处理, 直到所有 IMF 分量被分离出来为止。EMD 方法这种反复处理过程可看作是对 IMF 分量的筛选过程, 且对筛选得到的所有 IMF 分量和残余分量重构可复原出原始信号 $x(t)$, 有

$$x(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t) + r_n(t) \quad (8)$$

其中: $r_n(t)$ 表示分解残余分量; n 表示所分离出的 IMF 分量数目。根据此筛选过程, 分离出的 IMF 分量呈现频率的层次分布情况, 即各个 IMF 分量包含的频率成分是依次逐渐降低的^[17]。

结合图像灰度直方图信息, 对其进行 EMD 处理后, 获得的 IMF 分量可描述目标和阴影的灰度变化程度。那么, 选取合适的 IMF 分量来做分析, 利用 IMF 分量所表征的内在模式变化信息, 估计出阴

影在检测区域中的高、低灰度阈值水平。进而通过该双阈值处理方式^[18]，采用形态学修复操作实现图像阴影的准确去除。

2 实验与分析

利用上述方法对视频监控环境中的目标进行检测，消除目标阴影，准确提取出目标图像。实验过程中，视频图像由带有摄像功能的数码相机采集，获取监控环境下的背景图像帧和目标图像帧，并分别对太阳光照射下的汽车、行人目标的阴影去除进行测试。

2.1 汽车阴影去除

针对汽车目标监控环境进行拍摄，采集到的图像序列如图 1(a)(b)所示，其中，图 1(a)为背景图像帧，图 1(b)为前景目标图像帧，从图 1 中可以看出，目标图像中存在明显的阴影区域。对 2 幅原始图像进行灰度化处理，利用差分方法将目标图像帧中的背景信息消除，再利用二值化阈值处理方法获取目标检测的大致区域，如图 1(c)所示。由于二值化阈值处理方法的单一性，使得该检测区域存在一定的干扰和缺失，故需要对该阈值分割结果进行修复操作。利用形态学分析方法获得的修复效果如图 1(d)所示，从图 1 中可以看出，检测区域形成了一个连通的整体，其中的干扰得以去除且缺失部分得以弥补。将修复后的二值检测区域与灰度目标图像进行映射，即可获得相应的检测区域，如图 1(e)所示。从检测效果上看，虽然前景图像中的汽车目标被提取出来，但是其阴影也随之被提取。为去除检测区域的阴影影响，对汽车及其阴影的灰度直方图信息进行 EMD 分析，通过灰度曲线的内在模式变化估

计阴影的高、低阈值水平，进而在此双阈值设置的基础上完成阴影去除和汽车目标检测。

检测区域中，汽车及其阴影的灰度直方图曲线如图 2 所示，且无法直接从此直方图中获取阴影的灰度阈值信息。对此直方图进行 EMD 处理，获得的 IMF 及其残余分量如图 3 所示，从图 3 中可以看出，前 2 个 IMF 分量包含的是高频信息，后续的 IMF 分量包含的是低频信息。由于图像中阴影的灰度信息变化相对较小，那么，这些信息就主要分布在低频 IMF 分量上。选取第 3~6 项 IMF 分量进行重构的结果如图 4(a)所示，再对重构信号进行微分处理的结果如图 4(b)所示；并且，微分信号中的过零点与重构信号中的峰值点、谷点相对应。根据直方图谷点原理^[19]，其谷点描述了图像中灰度变化的边界信息。为搜寻到表征阴影边界的谷点，对微分信号中的过零点选取规则进行限定。通过分析阴影区的统计特征，在天气晴好的情况下，阴影区域的灰度值在 20~105 之间^[20]。限定当过零点左边邻近存在单调下降且小于-100 的数值时，该谷点则为获得的阴影阈值点。从微分曲线分析来看，所获得的阴影高、低阈值点分别为 98 和 50。以此双阈值为依据，去除阴影的二值化图像如图 1(f)所示，从图 1 中可以看出，虽然汽车阴影得以抑制，但仍然遗留有部分阴影边缘，另外，汽车中与阴影灰度信息重合的部分图像也被消除。为弥补阴影阈值分割后的缺陷，利用形态学分析方法进行修复，从而获得汽车的二值化检测区域，如图 1(g)所示。最后，将此二值化目标区域映射至原始采集图像，便可得到汽车目标的检测结果，如图 1(h)所示，从检测结果来看，所采用方法有效去除了汽车阴影。

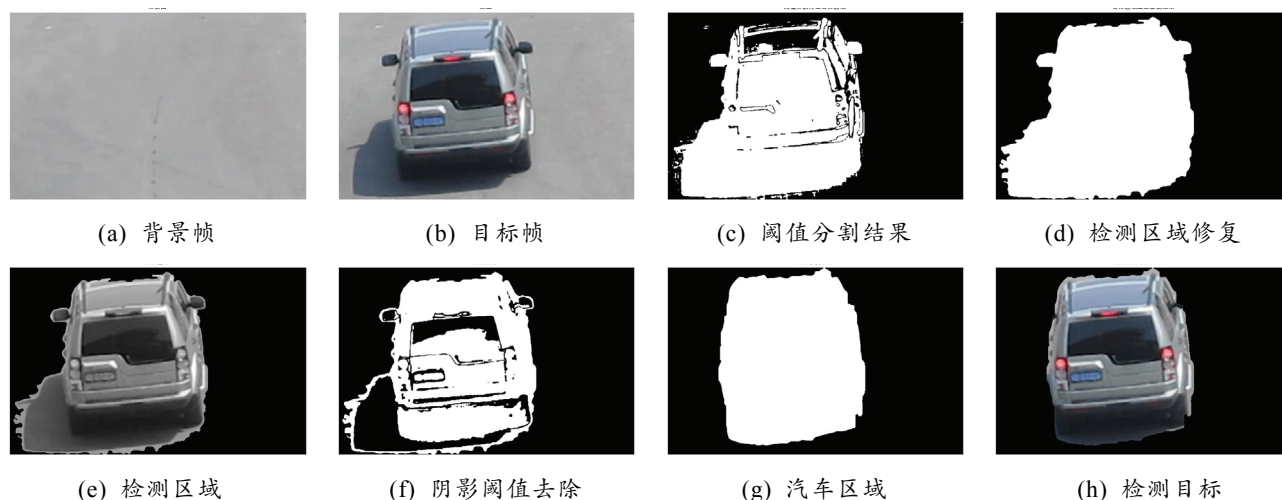


图 1 汽车阴影去除实验过程

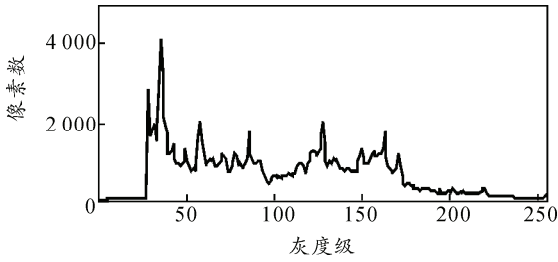
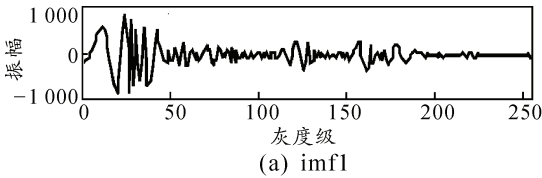
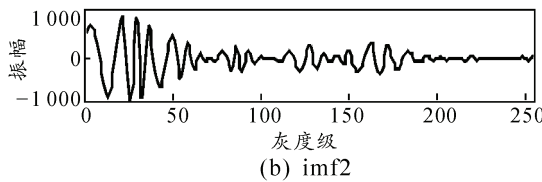


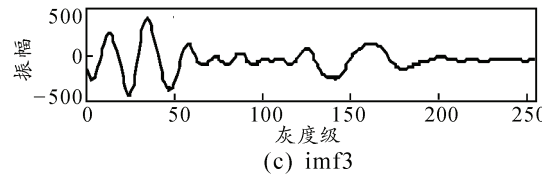
图 2 汽车及其阴影检测区域的灰度直方图



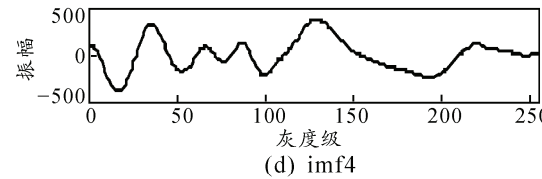
(a) imf1



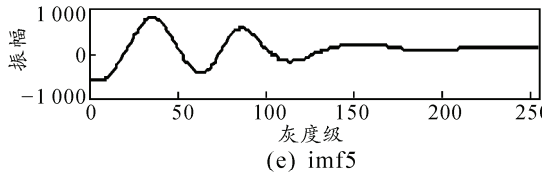
(b) imf2



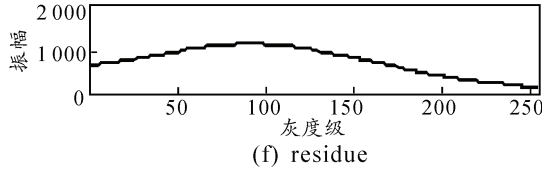
(c) imf3



(d) imf4

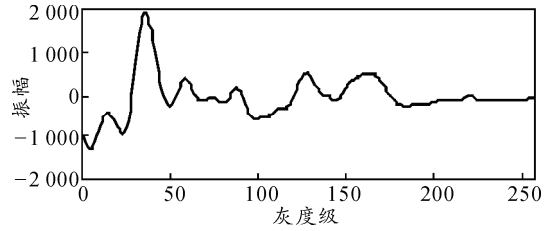


(e) imf5

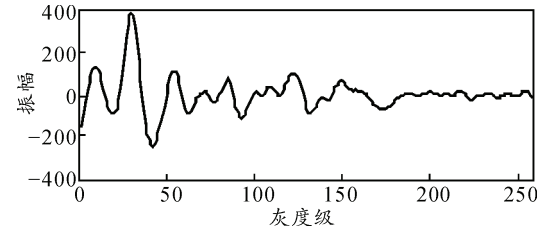


(f) residue

图 3 检测区域灰度直方图的 EMD 分解结果



(a) 低频 IMF 分量的重构信号



(b) 重构信号的微分处理结果

图 4 所选择 IMF 分量的模式变化信息

2.2 行人阴影去除

针对行人目标监控环境进行拍摄，采集到的图像序列如图 5(a)(b)所示，其中，图 5(a)为背景图像帧，图 5(b)为含有阴影的前景目标图像帧。与前述汽车阴影去除过程类似，提取出二值化阈值后的大致检测区域如图 5(c)所示，利用形态学方法修复的二值检测区域图像如图 5(d)所示，映射到前景灰度目标图像帧后的检测效果如图 5(e)所示，从图 5 中可以看出，检测区域中包含了行人目标及其阴影。

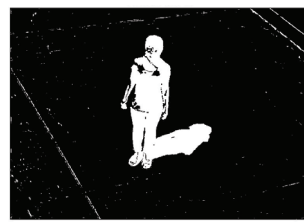
对行人及其阴影的灰度直方图信息进行 EMD 分析，得到 7 个 IMF 分量，选取其中的第 3~6 项低频 IMF 分量进行重构，并对重构信号进行微分处理。通过微分信号搜寻表征阴影灰度阈值水平的谷点，获得的阴影高、低阈值点为 97 和 46，则对检测区域进行双阈值处理后的二值化图像如图 5(f)所示。利用形态学方法获得的行人目标区域如图 5(g)所示，然后将此二值化行人区域映射至原始采集图像，便可得到行人目标检测结果，如图 5(h)所示，从检测结果来看，所采用方法有效去除了行人阴影。



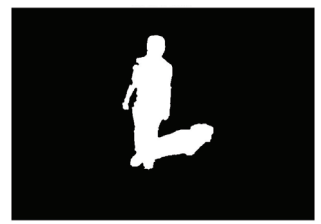
(a) 背景帧



(b) 目标帧



(c) 阈值分割结果



(d) 检测区域修复

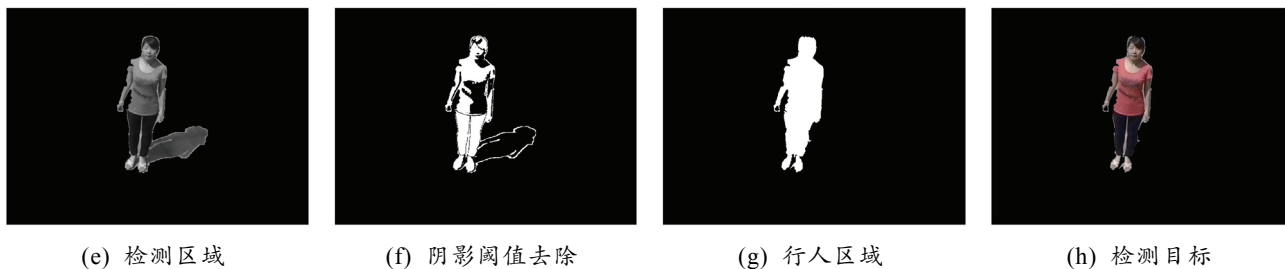


图5 行人阴影去除实验过程

3 结束语

实验结果表明：针对太阳光照射下的汽车和行人目标，所采用方法有效去除了汽车和行人附属的阴影区域，实现了目标的准确提取。相对现有的阴影去除方法来说，该方法无需构建监控环境的阴影模型，也无需提取色彩等复杂特征信息，仅利用图像灰度信息即可实现目标阴影的去除。另外，与传统的小波变换方法相比，EMD方法仅根据信号自身的局部时间尺度来实现信号的多尺度分析，克服了小波母函数的选择性问题的；所以，笔者采用的基于形态学和灰度模态分析的融合方法在图像阴影去除过程中具有良好的适应性，为后续的目标辨识等研究工作提供了极大的便利。

参考文献：

- [1] 王宏. 图像分割中阴影去除算法的研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学, 2008.
- [2] Hsieh JW, Hu Wenfong, Chang CJ, et al. Shadow elimination for effective moving object detection by gaussian shadow modeling[J]. *Image and Vision Computing*, 2003, 21(6): 505-516.
- [3] Sanin A, Sanderson C, Lovell BC. Shadow detection: a survey and comparative evaluation of recent methods[J]. *Pattern Recognition*, 2012, 45(4): 1684-1695.
- [4] 王萍, 王波. 基于小波系数及光学特征的车辆阴影检测[J]. *天津大学学报*, 2008, 41(2): 199-203.
- [5] 曹阳, 曲仕茹, 张飞, 等. 基于梯度统计和区域生长融合的运动车辆阴影检测方法[J]. *传感技术学报*, 2010, 23(3): 413-417.
- [6] 闻帆, 屈桢深, 闫纪红. 集成多特征信息的运动阴影检测[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2011, 43(5): 13-19.
- [7] Yang Qingxiong, Tan KH, Ahuja N. Shadow removal using bilateral filtering[J]. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2012, 21(10): 4361-4368.
- [8] Choi JM, Yoo YJ, Choi JY. Adaptive shadow estimator for removing shadow of moving object[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2010, 114(9): 1017-1029.
- [9] 柏柯嘉, 刘伟铭. 模糊马尔可夫随机场理论在阴影检测中的应用[J]. *中国图像图形学报*, 2010, 15(3): 409-416.
- [10] 刘富强, 李洲晖. 基于光照无关图的阴影去除方法[J]. *中国图像图形学报*, 2007, 12(10): 1837-1840.
- [11] 刘薇, 朱虹, 邓颖娜, 等. 基于统计特性与边缘特性融合的阴影检测方法[J]. *光子学报*, 2009, 38(7): 1872-1876.
- [12] Jung CR. Efficient background subtraction and shadow removal for monochromatic video sequences[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2009, 11(3): 571-577.
- [13] 李红伦, 李勃, 阮湘辉, 等. 基于背景减法的目标检测在 Matlab 中的实现方法[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(S2): 59-61.
- [14] Gonzalez RC, Woods RE. 数字图像处理[M]. 2版. 阮秋琦, 阮宇智, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2007: 423-435.
- [15] 马川, 冯德俊, 张丽. 结合阈值分割和数学形态学的建筑物阴影检测[J]. *测绘*, 2012, 35(4): 151-154.
- [16] 彭超, 毛征, 郑利革, 等. 基于图像行相关空中目标实时检测算法[J]. *兵工自动化*, 2012, 31(2): 40-42.
- [17] Huang NE, Shen Zheng, Long SR, et al. The empirical mode decomposition and the ilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. *Proceedings of the Royal Society of London, A*, 1998, 454: 903-995.
- [18] 胡建华, 徐健健. 基于双阈值的运动阴影检测算法[J]. *计算机应用*, 2006, 26(z2): 107-108.
- [19] 于东方. 基于阴影的遥感图像中建筑物自动提取方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [20] 刘鹏. 智能交通系统中的视频车辆检测与跟踪方法研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.