

文章编号: 1001-9014(2009)01-0035-03

基于相位一致性变换的红外图像区域匹配算法研究

郭龙源, 卢阿丽, 杨静宇

(南京理工大学 计算机科学与技术系, 江苏 南京 210094)

摘要: 由于红外图像具有高噪声、低分辨率的特点, 这使得在红外图像中使用基于区域的匹配方法很难取得较好的视差图. 在分析了经相位一致性变换后图像的特征后, 提出了一种基于区域的匹配方法. 即先对图像进行相位一致性变换, 再利用变换后图像进行区域匹配. 试验结果表明, 相位一致性变换后的新图像, 噪声得到了较好的抑制, 特征更加明显. 对变换后的图像采用区域匹配的方法, 可以得到较好的匹配效果.

关键词: 计算机视觉; 相位一致性; 区域匹配; 红外图像

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

INFRARED IMAGE REGION MATCHING ALGORITHMS BASED ON PHASE CONGRUENCY TRANSFORMATION

GUO Long-Yuan, LU A-Li, YANG Jing-Yu

(Department of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science
and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Infrared images have higher noise and lower resolution than visible images. This makes it more difficult to achieve a better disparity image in infrared images by using the method based on region matching. After analyzing the phase congruency transformed image, a new region matching method was presented. First, the images were transformed by phase congruency. Next, the images were matched based on region correlation. The experimental result indicates that the noise of images is restrained and the feature is more distinct after phase congruency. The better matching results can be obtained after we use the region correlation on the changed images.

Key words: computer vision; phase congruency; region matching; infrared image

引言

随着对红外技术的不断深入研究, 它被应用到越来越多的领域中^[1-3], 对红外图像立体匹配的研究也得到了发展. 红外图像和可见光图像相比, 噪声高, 分辨率低. 高噪声使图像平滑性变差, 低空间分辨率意味着纹理和统计特性的丢失. 这使得基于区域的匹配方法很难在红外图像中使用.

因此, 现在红外图像视差匹配都采用基于特征的方法, 并且采用何种方法可以提取更加稳定和精确的特征是主要的研究方向^[4]. 由于相位一致性使图像边缘的检测不再受光照强度的影响, 且适用于阶跃形边缘和屋脊型边缘的检测, 因此近年来, 相位一致性理论及方法得到了广泛关注和研究. 其中,

Kovesi^[5] 提出滤波器采用 Log-Gabor 小波取代高斯滤波器; Mulet-Parada 等人^[6] 和 Myerscough 等人^[7] 把相位一致性理论扩展到三维空间, 提出基于运动图像的相位一致性检测图像特征的方法; 为了改进边缘定位精度, 提高运算速度, 肖志涛等人^[8] 提出了基于对称相位一致性的方法.

但以上文章都将注意力集中在如何改进相位一致性以便更好获得图像的特征上, 而本文则利用相位一致性变换后的图像进行区域匹配, 直接获得稠密的视差图. 本文首先介绍相位一致性和变换的计算方法; 然后论证了变换后的图像可以进行区域匹配; 接着给出了费用函数, 并在视差匹配过程中利用视差梯度约束减少误匹配率; 最后进行了实验验证并得出结论.

收稿日期: 2008-02-21, 修回日期: 2008-06-18

基金项目: 国防基础研究项目基金(J1500C002)

作者简介: 郭龙源(1973-), 男, 福建龙岩人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为计算机视觉、模式识别与人工智能.

Received date: 2008-02-21, revised date: 2008-06-18

1 相位一致性

相位一致性是一种检测图像特征的方法. 它不是基于灰度梯度, 而是假定图像中傅里叶分量相位最一致的点为特征点. 使用相位一致性标识感兴趣特征, 其重要特点是无需对波形进行任何假设, 只是在傅里叶变换域里简单地按相位一致的顺序寻找特征点. 各种各样的特征类型都可使得相位一致性高的点出现, 包括阶跃、线、屋顶以及马赫带等.

相位一致性是在频率域上的测度值, 是一个无量纲的量. 它的值从 1 降到 0, 表示从显著特征降到无特征, 并且相位一致性对图像的亮度和反差具有不变性, 可以检测出包括边缘特征和线特征在内的多种图像特征. 这使得其适合应用在红外图像的处理中. Kovesi 提出的二维信号的相位一致性计算公式为:

$$PC_2(x) = \frac{\sum_n W(x) [A_n(x) \Delta \Phi(x) - T]}{\sum_n A_n(x) + \varepsilon}, \quad (1)$$

其中, $\Delta \Phi(x) = (\cos(\Phi_n(x) - \bar{\Phi}(x)) - 1 \sin(\Phi_n(x) - \bar{\Phi}(x)))$, A_n 和 Φ_n 分别表示 x 处第 n 项振幅和相角, $W(x)$ 表示频率展开的权重因子; ε 是一个小常数, 为了避免分母为零; T 表示噪声能量, 公式只考虑超过 T 的能量; $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示当其中的计算结果为正则等于原值, 否则为 0.

2 相位一致性变换

对图像所有像素都利用公式(2)进行计算, 得出相应的相位一致性系数值, 称为对图像的相位一致性变换. 由这个系数值生成的一个新的灰度图像, 称为相位一致性变换图像.

公式(1)计算的是某点一个方向上相位一致性的值, 本文中像素的相位一致性系数定义为:

$$M = \frac{1}{2}(c + a + \sqrt{b^2 + (a - c)^2}), \quad (2)$$

其中: $a = \sum (PC(\theta) \cos(\theta))^2$,

$$b = 2 \sum (PC(\theta) \cos(\theta))(PC(\theta) \sin(\theta)),$$

$$c = \sum (PC(\theta) \sin(\theta))^2,$$

其中 $PC(\theta)$ 表示在 θ 方位时相位一致的值, 求和是所有方向值的和. 本文中方向数为 6, 滤波器组数为 4. 变换后图像的灰度值范围是 0 ~ 1, 效果如图 1 (b) 所示.

相位一致性变换原来都是用来提取特征的, 即

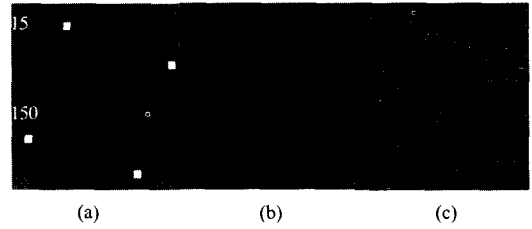


图 1 (a) 红外图像 (b) 相位一致变换图 (c) canny 图 (红外图像图中 15 和 150 行用黑线标出)

Fig. 1 (a) Infrared image (b) phase congruency transformed image (c) canny image (The 15th and 150th are lined out with black lines in infrared image)

变换后设置合适的域值, 将其转换为二值图, 就如 canny 等边缘检测算法的结果一样. 是否可以将相位一致性变换后的图像直接进行基于区域的匹配呢? 下面对其可行性进行讨论.

我们知道, 相位一致性的值域是 0 ~ 1 的连续区域, 从 0 ~ 1, 颜色从黑色过度为白色, 所以变换后的值可以生成新的灰度图. 并且从 0 ~ 1 表示从无特征到显著特征, 保留并更加突出了原图的特征.

从整体效果上看, 图 1 分别显示了红外原图, 相位一致性变换后的图像和 Canny 提取的特征图. 相位一致性变换后的图像和原图比, 前者的前景特征更加明显, 模糊的背景变得较平滑. 和 Canny 提取的特征图比, Canny 特征图仅保留了边沿的信息, 其他非边沿点的信息全部丢失. 而相位一致性变换后的图像不仅保留了特征, 还保留了其他非特征点的信息. 所以, 利用 Canny 的特征图只能进行基于特征点的匹配, 而经相位一致性变换的图具有进行基于区域匹配的可能. 总之, 从整幅图像看, 相位一致性变换既增强了特征又保留了原来的一些非特征点的信息.

为了更清楚地比较相位一致性变换前后图像灰度的变化, 现分别取图 1 (a) 的第 15, 150 行的灰度值, 位置如图 1 (a) 中两条黑线所示, 从细节处考察变换后图像相比原红外图像的改善程度, 因为相位一致性变换后的值在 0 ~ 1 间, 为了便于比较, 将原红外图像的灰度值都除以 255, 将其值范围也转化到 0 ~ 1 间. 从图 2 中可以看出第 15 行处于背景中, 原来灰度值从左到右, 逐渐升高并且有微小的波动 (噪声), 经过变换后变成比较平坦接近 0 的值, 且小波动也减少了. 在 150 行, 每个峰值都代表经过一个白点 (特征点) 附近, 可以看出变换后的值在特征点边沿比原来灰度值变化更加显著, 且小波动也减少了.

从以上两行灰度值的变化可以知道, 通过对相位一致性变换前后的灰度值分析, 变换后红外图像

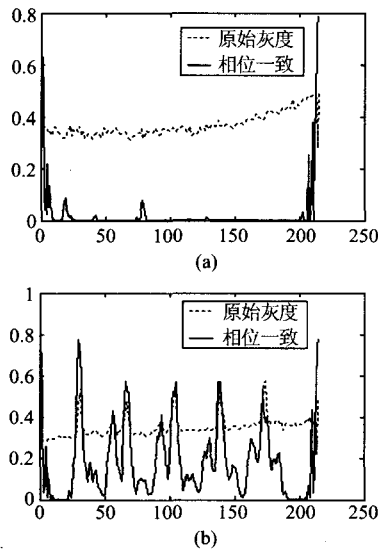


图2 红外图像原始灰度值和相位一致性变换值的比较图 (a)15行 (b)150行

Fig. 2 The comparison of images between the intensity of infrared image and the value of phase congruency transformed (a) the 15th line (b) the 150th line

保留了原来图像的信息,特征点得到增强,噪声得到抑制.从整幅图像到局部的分析都表明,经过相位一致性变换的图像具备了基于区域匹配的可能.

3 图像匹配算法

本文算法主要过程是,将红外图像进行维纳滤波去噪,并调整灰度值,再进行相位归一化变换,对变换后的图像进行区域匹配,同时采用视差梯度约束,完成稠密视差图.费用函数采用 SAD,简单的 SAD(Sum of Absolute Differences)算法的费用函数为:

$$SAD(x, y, k) = \sum_{\xi, \eta \in w} |f_r(x + \xi, y + \eta) - f_l(x + \xi + k, y + \eta)|, \quad (3)$$

其中 f_l, f_r 分别表示左右灰度图像,本文中 f_r 表示相位一致性变换后的图像, w 为匹配窗口, k 为搜索范围.当 $SAD(x, y, k)$ 最小时,左右两个像素就为最佳匹配对.

然而直接进行区域匹配,还是达不到很好的效果,本文借鉴视差梯度的约束原理,在边缘特征点,一般视差变化较大,有较大的视差梯度值,因此采用较大的搜索范围;在非边缘的平滑区一般视差变化是连续的,因此采用较小的搜索范围.从而整体上,通过约束减少了搜索冗余,提高了算法速度.另外,由于搜索范围减少,对于纹理区域的匹配,可以减少重复出现的最优匹配点的个数,从而可以减少误匹配率.

根据这个原理,变换后的图像灰度值在 0~1 之间,且越接近 1 的像素越具有边沿特征点的性质.因此,只要确定合适的阈值,将图像分成特征点和非特征点,再按不同类型点确定搜索范围,就可以实现约束,提高匹配的正确率.

4 试验验证

在 MATLAB 环境下,对本项目采集的红外图像进行视差匹配实验,实验前所有图像都预先进行了维纳滤波去噪和灰度调整.图 3 显示了两组红外图像视差匹配结果,表 1 显示了两种算法误匹配率.可以看出,直接以灰度为匹配基元的区域匹配方法,有更多的误匹配,特别在弱纹理处.比如,第一组标定板周围的背景,第二组的路面等处.并且 SAD 算法误匹配率是本文算法的 2 倍左右.

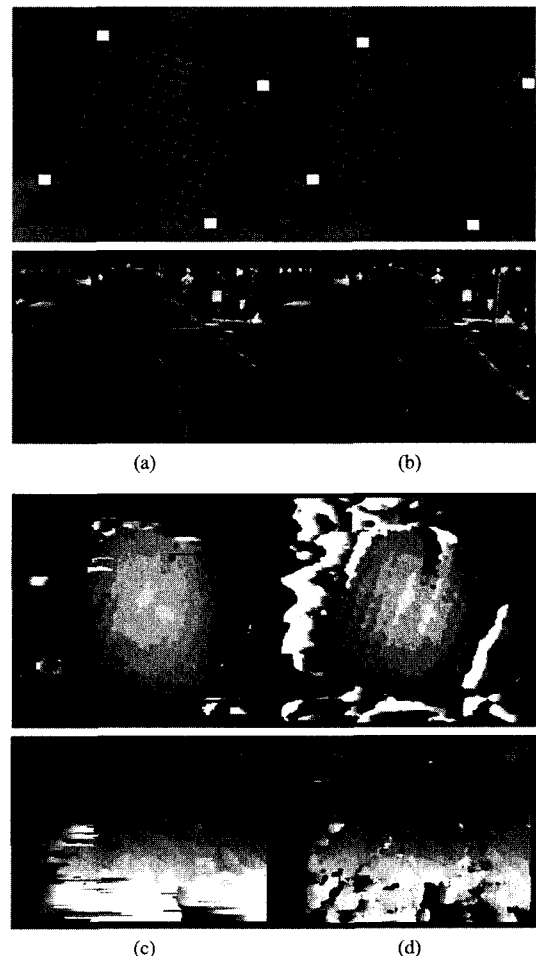


图3 视差匹配效果比较图 (a)红外图像(左) (b)红外图像(右) (c)本文算法 (d)SAD

Fig. 3 The comparison of disparity images (a) IR image (left) (b) IR image (right) (c) the proposed algorithm (d) SAD

(下转第 45 页)

$$+ \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_{NIS}^2 + 2(\sigma_{TFOV}^2 + \sigma_{VTWno}^2) + \sigma_{NIS}^2 + \sigma_{VSWno}^2}$$

$$= 0.88\% \quad (11)$$

5 结语

作为量化应用的凝视型地球辐射探测仪,准确地辐射标定是确保仪器能够准确使用的关键环节。传统的短波红外通道标定通常使用的外场标定方法或积分球标定办法均有局限,本文提出了先用黑体标定凝视型地球辐射探测仪全波探测通道,继而用全波通道标定积分球,得到积分球的短波辐射总量,再用标定好的积分球对凝视型地球辐射探测仪短波探测通道进行标定的办法,提高了短波探测通道的定标精度,为仪器的量化应用建立了基础。

REFERENCES

- [1] Kyle H L, Hickey J R, Ardanuy P E, *et al.* The nimbus earth radiation budget (ERB) experiment: 1975 to 1992 [J]. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 1993, **74**, 815—830.
 [2] Barkstrom B R. Earth radiation budget measurements-Pre-ERBE, ERBE, and CERES [J]. *Proc. of SPIE*, 1990,

1299, 52—60.

- [3] Harries J E, Crommelynck D. The geostationary earth radiation budget experiment on MSG-1 and its potential application [J]. *Adv. in Space Res.*, 1999, **24**, 915—919.
 [4] Wielicki B A, Barkstrom B R, Harrison E F, *et al.* Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES): An earth observing system experiment [J]. *Bulletin of American Meteorological Society*, 1996, **77**, 853—868.
 [5] Lee III R B, Barkstrom B R, Smith G L, *et al.* The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) sensors and preflight calibration plans [J]. *J. Atmos. Ocean Technol.*, 1996, **13**, 300—313.
 [6] RONG Zhi-Guo, ZHANG Yu-Xiang, JIA Feng-Min, *et al.* On-orbit radiometric calibration of fengyun geostationary meteorological satellite's infrared channels based on sea-surface measurements in the south china sea [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (戎志国, 张玉香, 贾凤敏, 等. 利用南海水面开展我国静止气象卫星红外通道在轨辐射定标. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(2), 97—101.
 [7] PENG Guang-Xiong, HE Yu-Hua, LI Jing, *et al.* Study on cbers-2's CCD image cross calibration and atmospheric correction [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (彭光雄, 何宇华, 李京, 等. 中巴地球资源 02 星 CCD 图像交叉定标与大气校正研究. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(1), 22—25.

(上接第 37 页)

表 1 算法误匹配率统计表

Table 1 Results of algorithm mismatch ratio

图 像	标定板	马路
本文算法	16.3%	19.1%
SAD	34.2%	30.8%

5 结语

红外图像高噪声,低分辨率的特点,使得基于灰度的区域匹配方法很难取得较好的效果。本文采用相位一致性对图像进行变换,利用变换后的值代替像素灰度值作为匹配基元,并在匹配过程中采用视差梯度约束。试验结果表明,经相位一致性变换后形成的新图像,噪声得到了一定的抑制,图像的特征更加明显,可以采用区域匹配的方法。在匹配过程中采用视差梯度的约束,提高了算法的正确匹配率。另外,实验中使用的是经过标定满足极线约束条件的图像。在实际情况下,图像会有伸缩和旋转的问题而不满足极线约束。这种情况下,可以考虑将搜索范围从一维扩展到二维,但这将增加计算量。如何减少这种情况的计算复杂度将是今后研究的可能方向。

REFERENCES

- [1] SONG Xin, WANG Lu-Ping, WANG Ping, *et al.* IR target

tracking based on improved mean shift method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (宋新, 王鲁平, 王平, 等. 基于改进均值位移的红外目标跟踪方法. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(6): 429—432.

- [2] LIU Sheng-Peng, FANG Yong. Infrared image fusion algorithm based on contourlet transform and improved pulse coupled neural network [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (刘盛鹏, 方勇. 基于 Contourlet 变换和 IPCNN 的融合算法及其在可见光与红外线图像融合中的应用. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(3): 217—221.
 [3] LI You-Zhu, WANG Jian-Xun. Infrared thermography target detection between concrete structure and plant leaf [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李友竹, 王建勋. 混凝土结构物与植物叶片之红外热像探测研究. *红外与毫米波学报*), 2007, **26**(3): 182—186.
 [4] Hajebi K, Zelek J S. Dense Surface from Infrared Stereo [C]. *Applications of Computer Vision*, 2007. WACV 07. IEEE Workshop on Feb. 2007: 21—21
 [5] Kovese P D. Phase congruency: A low-level image invariant [J]. *Psychological Research*, 2000, **64**(2): 136—148.
 [6] Mulet-Parada M, Noble J A. 2D + T acoustic boundary detection in echocardiography [J]. *Medical Image Analysis*, 2000, **4**: 21—30.
 [7] Myerscough P J, Nixon M S. Temporal phase congruency [C]. *Image Analysis and Interpretation*, 2004, 6th IEEE Southwest Symposium on USA, 2004: 76—79.
 [8] Xiao Z, Yu M, Li Q, *et al.* Symmetry Phase Congruency: Feature Detector Consistent with Human Visual System Characteristics [C]. WAA2003. 2003: 381—386.