

文章编号: 1001- 2486(2010) 03- 0048- 05

增强景象匹配鲁棒性的灰度变换技术研究*

刘晓春, 于起峰, 雷志辉

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 高可靠高精度的景象匹配技术是自导航飞行器图像制导技术的核心和关键所在, 文章对匹配图像的灰度畸变进行了研究, 提出了基于直方图相似变换灰度畸变校正技术, 提高了景象匹配定位的准确性和可靠性。由于外部成像条件和成像传感器本身存在差异, 匹配图像往往存在较大灰度畸变, 使得实时图和基准图在灰度域存在较大不一致, 从而影响景象匹配可靠性。文章通过对匹配图像进行直方图的相似变换, 将匹配图像直方图调为一致, 有效消除了匹配图像灰度差异, 调整后图像间的直方图相似系数均在 0.95 以上。通过 10 300 次独立真实外场景象匹配定位试验, 证明本文基于直方图的匹配图像灰度预处理方法可有效消除图像间的灰度差异, 减少匹配图像间由于灰度差异而产生的重复模式, 大幅提高景象匹配鲁棒性, 经过本文方法预处理后的匹配图像景象匹配成功率为 99.98%, 已满足工程实用对景象匹配算法高可靠性的要求。

关键词: 图像制导; 景象匹配; 直方图相似变换; 图像预处理

中图分类号: TP751.1 文献标识码: A

Researches Into Gray Value Transform to Improve Scene Matching Robustness

LIU Xiao-chun, YU Qi-feng, LEI Zhi-hui

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

Abstract: Scene match arithmetic which has high dependability and precision is the most important factor of image navigation for independent navigation aircraft. The current study has researched into gray distortion of scene match images, and brought forward the emendation method based on the histogram similar transform which can improve the veracity and reliability of scene matching arithmetic. For different external condition and imaging apparatus, there are many gray differences in images participating in scene match, which will affect the scene match robustness seriously. Via adjusting the histogram of scene match images to make them identical, this research eliminated the gray distortion. As a result, the scene match images histogram similar coefficients were all more than 0.95. 10 300 true outfield scene matching orientation experimentations have testified that the pretreatment method for gray images based on histogram can effectively eliminate the gray distortion and decrease the repetitious patterns caused by gray distortion. The success ratio of scene match has reached the level of 99.98%, which has met the high dependability need of projects.

Key words: image navigation; scene match; histogram similar transform; image preprocess

鲁棒景象匹配方法是图像制导技术的核心与关键所在^[1-2]。然而在实际应用中, 基准图像和实时图像由于是不同传感器在不同成像距离、不同光照条件、不同大气传输条件下获取的, 导致匹配图像存在较大非线性灰度畸变, 直接影响灰度域景象匹配算法的可靠性^[3]。直方图是图像灰度分布密度函数的近似表达式, 直方图可以反映出图像的一些重要灰度统计特性。一般当匹配图像灰度差异较大时, 直方图差异也较大; 而当直方图分布比较一致时, 匹配图像间的灰度畸变往往也较小^[4]。

基于以上分析, 文章通过对直方图进行相似变换, 将匹配图像直方图分布和形状调整为一致, 从而达到消除灰度畸变的目的, 提高景象匹配算法的鲁棒性。

* 收稿日期: 2009- 12- 11

作者简介: 刘晓春(1983—), 男, 博士生。

1 直方图相似变换方法

1.1 直方图定义及统计方法

直方图是一维的离散函数, 它表示数字图像每一灰度级与该灰度级出现的概率的对应关系。在实际应用中, 对灰度级为 k 的离散图像 $f(m, n)$, 设图像的灰度值为 $r_0, r_1, r_2, \dots, r_{k-1}$, 则其对应的概率 $p(r_i)$ 为:

$$p(r_i) = \frac{\text{灰度为 } r_i \text{ 的像素数}}{\text{图像上总的像素数}} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, k-1) \quad (1)$$

图像直方图和像素坐标不存在一一对应关系, 因此它不能直接反映图像内容, 但是通过对它进行分析, 可以得到图像灰度统计信息^[5]。

1.2 直方图相似系数

图像直方图可以看作一个维数为图像灰度级的一维向量。因此, 采用向量夹角即可描述直方图相似性, 定义如下:

$$r = \frac{\langle A_m - A \quad B_m - B \rangle}{\|A_m - A\| \|B_m - B\|} \quad (2)$$

其中: $r \in [-1, 1]$, A_i, B_i 表示直方图向量第 i 个元素值, A, B 表示直方图向量均值。该系数将直方图相似性进行了量化, 便于对变换效果进行定量比较。

1.3 灰度相似变换

1.3.1 基于直方图的灰度相似变换

将图像灰度分布密度函数表示为 $p_u(u)$, 定义如下:

$$p(u) = \frac{1}{Area} \iint_D p_u(u) dx dy \quad (3)$$

D 表示图像定义域, $Area$ 表示区域 D 的面积。对图像 f 和 z 做变换, 其灰度分布密度函数表示为 p_f, p_z 由 (3) 式灰度分布密度函数的定义可知变换式为^[4]:

$$\begin{cases} s = \int_0^f p_f(x) dx \triangleq T[f] \\ v = \int_0^z p_z(x) dx \triangleq G[z] \end{cases} \quad (4)$$

对变换图像 s 和 v , 有

$$p_s(s) = p_v(v) = 1 \quad (5)$$

(5) 式证明如下:

$$p_s(s) = p_f(f) \left. \frac{df}{ds} \right|_{f=T^{-1}[s]} \quad (6)$$

又因为

$$\frac{ds}{df} = p_f(f) \quad (7)$$

可得

$$p_s(s) = 1 \quad (8)$$

同理, 可得

$$p_v(v) = 1 \quad (9)$$

(5) 式给出了图像 f 和 z 直方图相似变换关系式:

$$z = G^{-1}[v] = G^{-1}[T(f)] \quad (10)$$

通过以上分析, 可得直方图相似变换实现方法:

- (1) 统计基准图 f 和实时图 z 直方图向量;
- (2) 选取基准图 f 或实时图 z 的直方图作为基准向量;
- (3) 由式(10)建立实时图灰度级到基准图灰度级的变换关系。

1.3.2 基于灰度统计信息的相似变换

假设基准图 f 和实时图 z 灰度级存在如下对应关系:

$$ag_f + b = g_z \quad (11)$$

此时,可利用匹配图像对应像素建立方程组,利用最小二乘的方法迭代求解变换系数^[6],但是,该方法存在实时性差等问题。为了克服这个问题,文章提出了利用图像灰度均值和方差一步直接求解变换系数的新方法,有效提升了实时性,同时由于采用的是图像灰度统计信息,算法的抗干扰能力也得到了提升。以 mean 表示均值, std 表示方差,公式推导如下:

$$\begin{aligned} \text{mean}(g_z) &= \text{mean}(a \times g_f + b) = a \times \text{mean}(g_f) + b \\ \text{std}(g_z) &= \text{std}(a \times g_f + b) \\ &= \sqrt{\frac{\sum [a \times g_f + b - \text{mean}(a \times g_f + b)]^2}{n-1}} \\ &= a \times \sqrt{\frac{\sum [g_f - \text{mean}(g_f)]^2}{n-1}} \\ &= a \times \text{std}(g_f) \end{aligned} \quad (12)$$

因此有

$$\begin{cases} a = \frac{\text{std}(g_z)}{\text{std}(g_f)} \\ b = \text{mean}(g_z) - \frac{\text{std}(g_z)}{\text{std}(g_f)} \times \text{mean}(g_f) \end{cases} \quad (13)$$

通过求解得到的 a 和 b 即可建立匹配图像间的灰度变换查找表,进行灰度畸变校正。

2 直方图相似化试验结果及分析

图1是两幅前下视匹配图像及对应的直方图,其中上图是基准图,由吊舱相机事先获取,下图是实

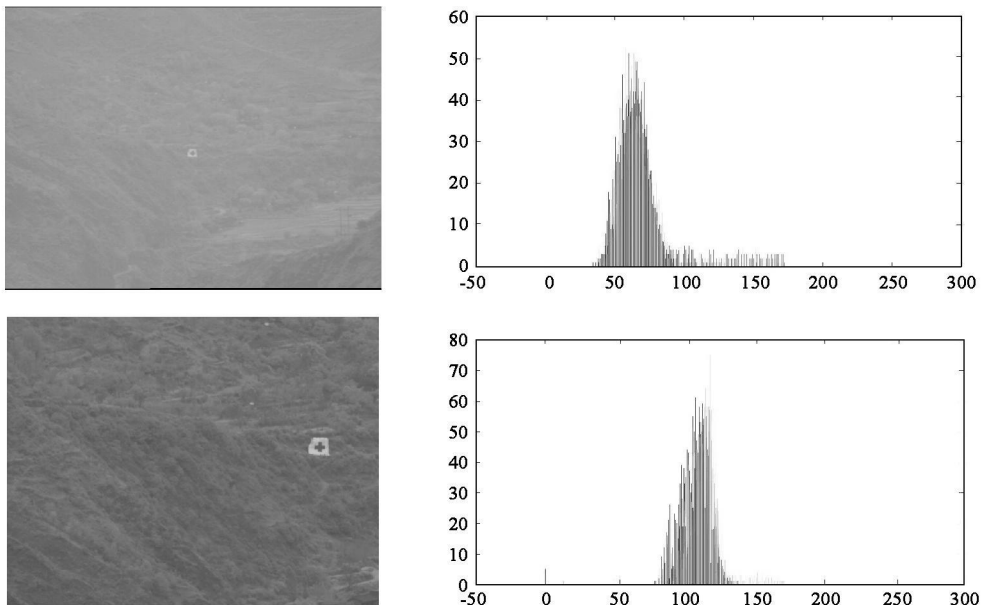


图1 不同距离不同光照条件不同传感器下的图像及对应直方图

Fig. 1 Images under the conditions of different distance, different illumination and different transducer and their histogram

时图像, 由机载相机实时获取。由于成像距离、光照条件、成像时间以及成像传感器的不同, 两幅图像存在较大灰度畸变, 其所对应的直方图在分布位置和形状上也存在较大差异。根据(2)式计算得到的直方图相似系数仅为 0.12, 如果直接进行景象匹配, 通过 10 300 次独立匹配实验统计得到的成功率仅为 35.62%, 远没达到工程实用要求。

以实时图为基准, 将基准图向实时图变换, 处理结果如图 2 所示。可以看出, 经文章方法处理后, 匹配图像灰度畸变得到大抑制, 根据(2)式计算出的直方图相似度为 0.98, 通过 10 300 次独立匹配实验统计得出的成功率为 99.98%。

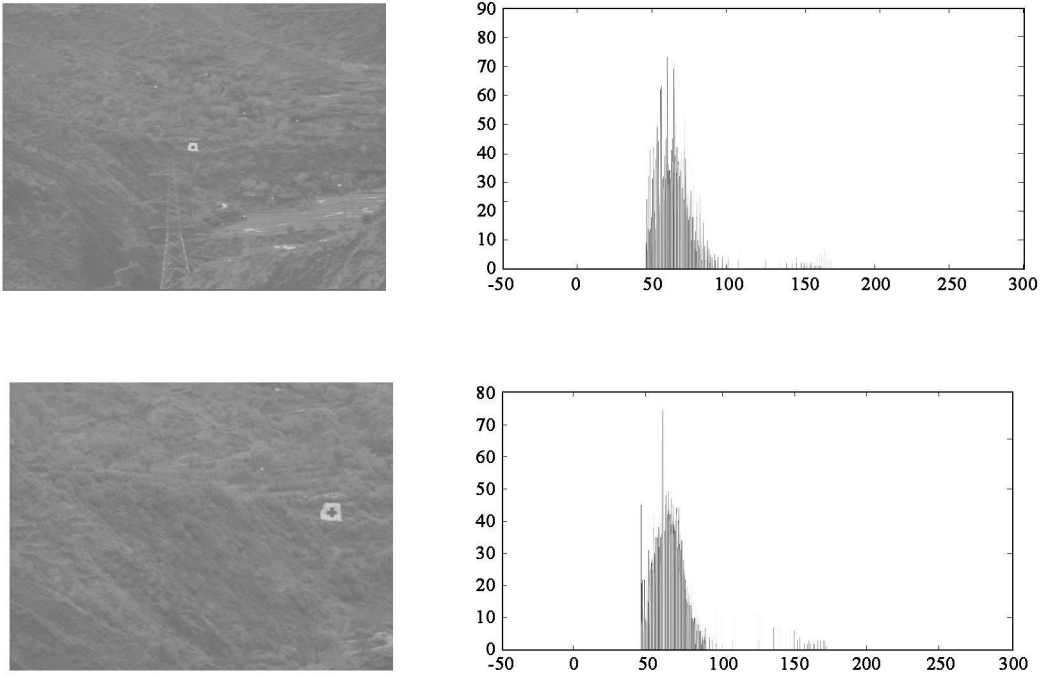


图 2 直方图相似变换后的匹配图像及对应直方图

Fig. 2 Scene Match images preprocessed by Histogram similar transform and their histogram

图 3 是采用直方图均衡化处理得到的匹配图像, 可以看出, 匹配图像间的灰度畸变没有得到消除; 相反, 还损失掉了一些重要的灰度信息。直方图均衡化处理方法没有达到预期效果, 相对原始图像, 匹配成功率还下降 6.24% (10 300 次独立景象匹配实验统计)。

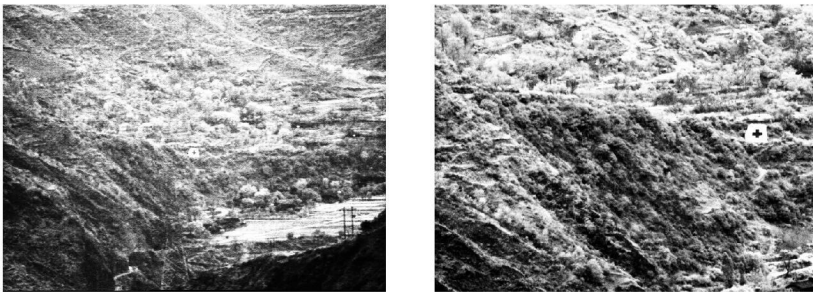


图 3 直方图均衡化处理的匹配图像

Fig. 3 Scene match images preprocessed by histogram equation

随机抽取的 3 组匹配图像进行灰度校正效果比较, 分别列出了原始匹配图像和直方图均衡化处理图像和直方图相似变换图像直方图相似度, 结果见表 1。

可以看出, 文章灰度相似变换处理后匹配图像直方图相似度均在 0.96 以上, 大大优于直方图均衡化处理结果, 直方图不管是位置还是分布形状都得到了明显改善, 肉眼已无法分辨出匹配图像间的灰度畸变。

表 1 直方图相似变化和直方图均衡化比较

Tab. 1 Compares of histogram similar transform and histogram equation

组数	原始匹配图像	直方图均衡化	直方图相似变换
1	0.0386	0.4540	0.9738
2	-0.1514	0.6019	0.9601
3	-0.1416	0.5070	0.9644

图4是随机选取一组实时图序列(575帧),左图是基准图像,右上为序列首帧图像,右下为序列末帧图像。对实时图和基准图进行灰度相似变换,然后在基准图全场范围内逐帧独立搜索匹配,将匹配定位结果画在基准图上,形成时间段运动轨迹。



图 4 序列图像匹配航迹

Fig. 4 The matching track of serial images

可以看出,运动轨迹平滑性很好,从而可以判断该组景象匹配正确率为 100%,并且精度较高。

3 结论

针对景象匹配图像间的灰度畸变,文章通过直方图信息和灰度统计信息对图像直方图形状进行一致化处理,使得匹配图像更“像”,从根本上解决了匹配图像灰度畸变对景象匹配鲁棒性的不良影响。通过 10 300 次真实图像独立景象匹配试验和大量比较分析,证明本文直方图相似变换可消除匹配图像间的灰度畸变,增加景象匹配算法的鲁棒性。本文方法可作为景象匹配的预处理方法,消除匹配图像由于成像内部和外部条件导致的较大灰度畸变,提高匹配算法的适应能力。

参考文献:

- [1] Schulz H W, Vosnann P. Towards Vision-Based Autonomous Landing for Small UAV: Hardware and Control Algorithms [J]. AIAA 2007- 2851, 2007.
- [2] Meingast M, Geyer C, Sastry S. Vision Based Terrain Recovery for Landing Unmanned Aerial Vehicles [J]. IEEE, 2007(3).
- [3] 邓志鹏,许丽敏,杨杰,等.基于直方图相关的图像灰度校正[J].红外与激光工程,2003,32(2):167-169.
- [4] 孙即祥.图像处理[M].北京:科学出版社,2004:151-154.
- [5] 王峰,邓方林.基于直方图约束的匹配图像改善方法[J].中国图象图形学报,2007,6(A):234-237.
- [6] 王岩松,阮秋琦.基于最小二乘影像匹配的畸变图像矫正算法研究[J].北方交通大学学报,2002,26(1):15-18.