

仿真条件下贝努利试验的匹配概率估计方法

王 鹏¹, 孙继银¹, 王 薇²

(1. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; 2. 二炮驻七零四所代表室, 北京 100076)

摘 要:前视红外景象匹配算法性能评价是一个亟待解决的问题。主要研究了匹配概率这一重要算法性能评价指标的估计方法。通过对环境影响因素在红外实时图像上噪声、模糊、放缩和旋转等效应的仿真,进行贝努利匹配试验,估计出单帧图像的匹配概率,并根据单帧图像与部分序列图像匹配概率的关系,计算得到部分序列图像的匹配概率。本文的研究成果为评价前视红外景象匹配算法性能提供了一种有效的新方法。

关键词:前视红外;匹配概率;贝努利试验;矩估计

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.02.021

Matching probability estimation based on Bernoulli trial on simulation condition

WANG Peng¹, SUN Ji-yin¹, WANG Wei²

(1. The Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China;

2. The Second Artillery Representative Office in 704 Institution, Beijing 100076, China)

Abstract: Evaluation of forward looking infrared (FLIR) scene matching algorithm is a problem pressing for solution. This paper focuses on the estimation of matching probability, which is an important indicator of algorithm evaluation. Noise, blur, resizing and rotation of the infrared image, caused by surrounding factors, are simulated. Bernoulli trial is implemented to estimate the matching probability of single image. And then matching probability of partial image sequence is calculated according to the relationship between matching probability of single image and that of the partial image sequence. This paper presents a new method for effective evaluation of FLIR scene matching algorithm.

Key words: FLIR; matching probability; Bernoulli trial; moment estimate

1 引 言

景象匹配是一种有效的无人飞行器制导和定位方法,在很多领域都有广泛的应用。前视红外景象匹配是在传统的下视可见光景象匹配上发展起来的新技术,因其作用距离远、天候适应能力强,正受到广泛关注,目前已经有很多国内学者提出了针对地面复杂背景下固定目标的前视红外景象匹配算法^[1-2],如何对这些算法进行科学合理的评价,以筛选出性能优良的算法是一个亟待解决的难题。

景象匹配算法的性能评价指标包括匹配概率、匹配精度、匹配速度和匹配适应性等^[3],匹配

概率一般的计算方法是在一定速度和一定精度要求下,通过大量匹配实验得出的正确匹配次数和总匹配次数之比,它是最重要的评价指标。针对传统下视可见光景象匹配,理论和实验都得出了多种匹配概率的估计方法^[4-5],而目前常用的前视红外景象匹配概率估计方法都是在序列图像上运行算法,计算正确匹配帧数与序列总帧数之比,但从稍后

作者简介:王 鹏(1984-),男,助理工程师,博士生,主要研究方向为前视红外景象匹配技术。E-mail: wangpeng19840411@163.com

收稿日期:2011-06-13

的分析中可以看出,实用的前视红外景象匹配末制导并不是在整个序列上运行匹配算法。前视红外景象匹配的以下三个特点决定了必须探索新的匹配概率估计方法:

(1)匹配概率估计方法都离不开对基准图像和实时图像的分析,但两者在下视可见光和前视红外景象匹配中的地位发生了转变。下视可见光景象匹配一般采用“大基准图,小实时图”,而前视红外景象匹配正好相反;

(2)在下视可见光景象匹配中,基准图像和实时图像差异较小,采用灰度相关算法可以得到较好地匹配定位效果,在估计匹配概率时可以利用灰度相关程度^[6],而前视红外景象匹配的基准图像和实时图像是异源图像,为了解决异源图像相似度低的问题,很多前视红外景象匹配算法是基于图像特征的。这一特点决定了匹配概率估计时不能仅依靠灰度相关程度;

(3)前视红外景象匹配实时图像形成一组距目标由远及近的序列,在匹配过程中可以利用帧间信息,而下视可见光景象匹配更强调单帧实时图像与基准图像正确匹配,这使得两种方式下的匹配算法执行过程有较大差异,因此也需要有不同的匹配概率计算方法。

本文首先分析了前视红外景象匹配算法在单帧图像和部分序列图像上匹配概率的估计方法,然后通过对仿真条件下贝努利匹配试验结果进行统计,解决了匹配过程中“关键帧”匹配概率的计算问题,最后通过单帧图像与部分序列图像匹配概率的关系,进一步探讨了部分序列图像匹配概率的估计。

2 单幅图像的匹配概率

前视红外实时图像序列为准确的目标跟踪提供了条件,且跟踪算法不需要预先制备基准图像,在可靠性和运算速度上都优于匹配算法,所以实用的前视红外景象匹配往往将二者结合,即匹配算法只解决“关键帧”的目标定位问题,多数情况下依靠邻近帧的相似性进行跟踪。张义广^[7]设计了一种典型地面目标的识别算法,该算法采用了跟踪策略,在进行第一次匹配得到目标的位置后,转入跟踪,当跟踪进入到设定距离后,再次进行匹配,如此循环执行,直至末制导阶段结束。显然,在末制导执行过程中,匹配算法在“关键帧”上的匹配概率是衡量算法性

能的重要依据。

在单帧图像进行多次匹配试验时,可以认为每一次试验结果是随机的且互不影响。引入离散型随机变量 ξ 表示试验结果,将正确匹配和误匹配分别记为1和0, ξ 服从零-壹分布,设单帧图像匹配概率为 p ,则 ξ 的分布密度为:

ξ	0	1
概率	$1-p$	p

为了对单帧图像匹配概率 p 这一参数进行估计,设 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 为总体 X 的一个样本,若其中有 n_1 次正确匹配,则 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{n_1}{n}$,即为单帧图像正确匹配的频率,另一方面, $E\xi = \sum_i a_i p_i = p$,采用矩估计法对参数 p 进行估计,则有:

$$\hat{p} = \bar{X} = \frac{n_1}{n} \quad (1)$$

又因为 $E(\hat{p}) = E(\bar{X}) = E(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p = p$,故 $\hat{p}$ 是 p 的无偏估计。综上,单帧图像的匹配概率是通过一个样本中单帧图像正确匹配的频率来估计的。

3 部分序列图像的匹配概率

在实时图像序列中的一定范围内,场景内容变化不明显,把这些图像称为部分序列图像。在最初进行匹配和跟踪算法失效转入匹配时,往往不是一次匹配就可以准确定位目标,需要在部分序列图像上进行连续多次匹配,以捕获并定位目标。因此,部分序列图像的匹配概率也是衡量匹配算法的重要指标。

可以认为部分序列图像的匹配概率是一致的,即部分序列图像中单帧图像正确匹配概率全都为 p 。假定部分序列图像的帧数为 n ,根据二项概率公式, n 在次重复独立匹配试验中正确匹配次数为 k 的发生概率为:

$$P_n(k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (k=0,1,2,\dots,n) \quad (2)$$

那么,正确匹配次数大于等于 k ,即部分序列图像匹配概率 $P_{\text{seq}} \geq \frac{k}{n}$ 的发生概率为:

$$P_n(K) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad (3)$$

由以上分析可知,当单帧图像匹配概率已知情况下,对于部分序列图像的匹配概率得到的结果是“匹配概率大于等于某个值以某种概率成立”,这样的结果已经能为评价匹配性能评价提供参考。单帧图像匹配概率既是直接的匹配算法性能评价指标,同时也是部分序列图像上匹配概率计算的基础,下面通过仿真条件下的贝努利匹配试验进行估计。

4 仿真条件下匹配概率估计

在进行前视红外景象匹配制导和定位过程中,实时图像、基准图像和匹配算法是影响匹配结果的三个要素,其中基准图像和匹配算法在线下已经确定的,只有线上采集的实时图像会随着环境的改变而变化,这会使匹配结果出现随机变化。实验通过对环境因素在实时图像上的效应进行仿真,使匹配结果发生随机变化,以此计算出单帧图像正确匹配的频率作为匹配概率的估计值。

场景中影响红外实时图像准确匹配的因素很多,例如成像器噪声、失焦、实时图像与基准图像空间位置和角度的偏差、气动光学效应、大气中的云层、雨、雾等,涉及多个领域,难以准确量化,这里并不直接模拟这些因素,而是通过它们在实时图像中的效应来进行仿真实验。这里将实时图像中的效应归结为四种:噪声、模糊、放缩和旋转。其中,噪声分为高斯噪声和椒盐噪声,高斯噪声模拟包括热噪声、散粒噪声、光子噪声等在内的常见噪声,椒盐噪声模拟的是红外探测器非均匀性带来的盲元和脉冲噪声;模糊分为高斯模糊和运动模糊,高斯模糊主要模拟光学成像系统的低通特性和大气湍流模糊、气溶胶模糊、气动光学效应引起的层流流场模糊和湍流流场模糊、高温红外窗口模糊等,运动模糊主要模拟成像器在积分时间内运动而造成图像模糊;放缩和旋转主要用来模拟实时图像与基准图像之间相对位置和角度的偏差。

实验中采用了飞行试验中采集的一个红外实时图像序列,将序列第一帧作为原图,原图像大小为 320×256 ,目标大小为 984 像素。对原图像施加如表 1 所示不同强度的处理,按表 1 中从上至下顺序进行组合后(注意表中放大和缩小、顺时针和逆时针旋转不能同时出现),得到 64 幅处理后的图像,

加上原图像共得到一个 65 幅图像的样本。

表 1 对原图像施加的处理

Tab. 1 processing on original image

影响因素		强度
噪声	高斯噪声	均值 mean = 0, 方差 variance = 0.001
		均值 mean = 0, 方差 variance = 0.002
	椒盐噪声	噪声密度 density = 0.001
		噪声密度 density = 0.002
模糊	高斯模糊	滤波器大小 hsize = [3 3], 标准差 sigma = 1
		滤波器大小 hsize = [3 3], 标准差 sigma = 2
	运动模糊 (斜向右上 45° 方向)	运动长度 len = 2 pixel
		运动长度 len = 4 pixel
放缩	放大	放缩因子 scale = 1.01
		放缩因子 scale = 1.02
	缩小	放缩因子 scale = 0.99
		放缩因子 scale = 0.98
旋转	顺时针	旋转角度 angle = -0.5
		旋转角度 angle = -1
	逆时针	旋转角度 angle = 0.5
		旋转角度 angle = 1

由于目前公开的前视红外匹配算法不多,而且匹配算法不会影响本文对匹配概率估计方法的描述,这里仍然采用了 NCC 匹配算法,基准图像是从原始实时图像中截取的目标区域。依次取样本中所有图像进行匹配试验,匹配点误差在 3 个像素内,认为是正确匹配。在匹配结果中,有 61 幅正确匹配,4 幅误匹配。根据式(1),单帧图像匹配概率为:

$$\hat{p} = \frac{n_1}{n} = \frac{61}{65} = 93.8\% \quad (4)$$

假设序列中前 20 帧是一个部分序列,根据式(3)计算不同部分序列图像匹配概率 p 的发生概率 $P_n(K)$,计算结果如表 2 所示。

表 2 部分序列图像匹配概率

Tab. 2 matching probability of partial image sequence

部分序列图像 帧数 n	部分序列图像中 正确匹配帧数 k	部分序列图像 匹配概率 $p/\%$	发生概率 $P_n(K)/\%$
20	16	80	99.4
	17	85	96.8
	18	90	87.6
	19	95	64.6
	20	100	27.8

从表 2 可以看出,当单帧图像匹配概率为

93.8%时,前20帧匹配概率 $p \geq 80\%$ 的概率为99.4%,这说明在前20帧图像中采用匹配方式进行目标的捕获与定位是可行的。

5 总 结

本文通过设计仿真条件下的贝努利匹配试验,统计得出单帧图像的正确匹配频率作为匹配概率的估计值,并根据单帧图像与部分序列图像匹配概率的关系,计算部分序列图像匹配概率,为匹配算法的性能评价提供了新方法。文中环境影响因素在红外实时图像上效应的仿真还不够全面,全面准确的仿真将能够提供更多匹配试验样本图像,可以进一步提高单帧图像匹配概率估计的准确性。部分序列图像匹配概率计算公式只有在其中图像的单帧匹配概率大致相等时才适用,但单帧图像匹配概率会随着图像中目标显著性增强而逐渐增大,因此,使用时应注意适用范围。

参考文献:

- [1] Xiong Bin, Ding Xiaoqing, Wang Shenjin. Target recognition in forward looking infrared image based on 3D model [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(3): 344 - 350. (in Chinese)
熊斌,丁晓青,王生进. 基于三维模型的前视红外目标匹配识别方法[J]. 激光与红外, 2011, 41(3): 344 - 350.
- [2] Liu Jing, Sun Jinyin, Zhu Junlin, et al. FLIR scene matching algorithm for complex ground target [J]. Application Research of Computers, 2010, 27(1): 350 - 352. (in Chinese)
刘婧,孙继银,朱俊林,等. 复杂地面目标前视红外景象匹配算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(1): 350 - 352.
- [3] Li Yanjun, Zhang Ke. Scene matching and target recognition [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2009. (in Chinese)
李言俊,张科. 景象匹配与目标识别技术[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2009.
- [4] Wang Gang, Duan Xiaojun, Wang Zhengming. Research on acquisition probability and matching precision of scene matching systems based on area correlation of the image [J]. Journal of Astronautics, 2009, 30(3): 1237 - 1242. (in Chinese)
王刚,段晓君,王正明. 基于图像区域相关的景象匹配概率与精度研究[J]. 宇航学报, 2009, 30(3): 1237 - 1242.
- [5] Cao Guo, Yang Xin. The estimation of scene matching probability using Gabor filters and support vector machine [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(3): 485 - 489. (in Chinese)
曹国,杨新. 基于 Gabor 滤波器与支持向量机的景象匹配概率估计方法[J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(3): 485 - 489.
- [6] Yang Xin, Yang Xin. Approach to estimation of matching probability [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(3): 231 - 233. (in Chinese)
杨昕,杨新. 匹配概率估计方法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(3): 231 - 233.
- [7] Zhang Yiguang, Yang Jun, Zhu Xueping, et al. Uncooled Infrared Imaging Seeker [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2009. (in Chinese)
张义广,杨军,朱学平,等. 非制冷红外成像导引头[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2009.
- [8] Wu Yi, Li Yongle, Hu Qingjun. Applied mathematical statistics [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2005. (in Chinese)
吴翊,李永乐,胡庆军. 应用数理统计[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 2005.