

10-18-2021

An Equivalent Method of UAV Simulating High-altitude Reconnaissance Equipment Optical Imaging

Jiangang Tu

1. Training Base of Army Engineering University, Xuzhou 221004, China; ;

Xu Cheng

1. Training Base of Army Engineering University, Xuzhou 221004, China; ;

Wang Hui

1. Training Base of Army Engineering University, Xuzhou 221004, China; ;

Zenghui Shen

2. Beijing Zhong Ke Zhi Yi Science and Technology Co., Ltd, Beijing 100084, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

An Equivalent Method of UAV Simulating High-altitude Reconnaissance Equipment Optical Imaging

Abstract

Abstract: Aiming at the situation that the actual image of enemy reconnaissance equipment is difficult to be obtained, and the process of using similar equipment of our army is complicated and expensive in the detection of the camouflage effect of our important military targets, *an equivalent detection method of using the UAV aerial photography to generate the high-altitude optical reconnaissance images is proposed. The number of pixels in the equivalent image is determined by comparing the acquisition height and the optical imaging device's parameters of the UAV and the high-altitude reconnaissance equipment. The compressed pixel value is calculated through the interpolation. The pixel value is corrected according to the atmospheric transmission loss model and the equivalent high-altitude reconnaissance image is finally obtained. The comparison experiments show that the gray scale similarity between the original image and the equivalent generated image is 92.87%, which proves the feasibility of the method.*

Keywords

UAV, high-altitude reconnaissance, camouflage effect detection, equivalent simulation

Recommended Citation

Tu Jiangan, Xu Cheng, Wang Hui, Shen Zenghui. An Equivalent Method of UAV Simulating High-altitude Reconnaissance Equipment Optical Imaging[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(10): 2511-2517.

无人机等效模拟高空侦察设备光学成像方法

涂建刚¹, 徐成^{1*}, 汪辉¹, 沈增辉²

(1. 陆军工程大学 训练基地, 江苏 徐州 221004; 2. 北京中科智易科技有限公司, 北京 100084)

摘要: 针对我军地面重要军事目标伪装效果检测中敌军侦察设备实际图像难以获得、动用我军类似设备流程复杂且费用较高的现状, 提出了一种利用无人机航拍然后生成高空光学侦察图像的等效检测方法。通过对比无人机和高空侦察设备的采集高度以及光学成像设备参数, 确定等效后图像的像素点个数; 通过插值得到像素点压缩后的像素值; 根据大气传输损耗模型对像素值进行修正, 得到等效后的高空侦察图像。对比实验表明: 原始图像与等效生成图像灰度相似度为 92.87%, 证明该方法可行。

关键词: 无人机; 高空侦察; 伪装效果检测; 等效模拟

中图分类号: TN203; TP391

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 10-2511-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0500

An Equivalent Method of UAV Simulating High-altitude Reconnaissance Equipment Optical Imaging

Tu Jiangang¹, Xu Cheng^{1*}, Wang Hui¹, Shen Zenghui²

(1. Training Base of Army Engineering University, Xuzhou 221004, China;

2. Beijing Zhong Ke Zhi Yi Science and Technology Co., Ltd, Beijing 100084, China)

Abstract: Aiming at the situation that the actual image of enemy reconnaissance equipment is difficult to be obtained, and the process of using similar equipment of our army is complicated and expensive in the detection of the camouflage effect of our important military targets, an equivalent detection method of using the UAV aerial photography to generate the high-altitude optical reconnaissance images is proposed. The number of pixels in the equivalent image is determined by comparing the acquisition height and the optical imaging device's parameters of the UAV and the high-altitude reconnaissance equipment. The compressed pixel value is calculated through the interpolation. The pixel value is corrected according to the atmospheric transmission loss model and the equivalent high-altitude reconnaissance image is finally obtained. The comparison experiments show that the gray scale similarity between the original image and the equivalent generated image is 92.87%, which proves the feasibility of the method.

Keywords: UAV, high-altitude reconnaissance, camouflage effect detection, equivalent simulation

引言

我军面临的战场可见光侦察威胁日益严峻。国外部分尖端光学侦察设备的分辨率已达到 0.1 m, 对我军目标特征信息的识别能力大幅提升, 对我军

战场伪装工作也提出了更为严峻的挑战^[1-2]。为提升我方伪装效果, 需进行国外可见光侦察设备侦察背景下的伪装效果检测评估。但由于敌军侦察设备实际图像难以获得、动用我军类似设备流程复杂且费用较高, 无法大规模地进行真实有效的伪装效果

收稿日期: 2020-07-18 修回日期: 2020-09-28

第一作者: 涂建刚(1979-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为装备在役考核。E-mail: 1609301242@qq.com

通讯作者: 徐成(1987-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为装备保障。E-mail: 472299060@qq.com

评估^[3-4]。因此,本文提出一种在已知某高空侦察设备的侦察高度与设备参数情况下,通过无人机低空拍摄图像等效生成高空侦察图像方法,并通过实验验证了该方法的可行性。在高空侦察设备可见光侦察图像等效生成方面的现有成果主要集中在等效距离测算、等效方法研究等方面。

王冰等^[5]开展了机载可见光侦察系统的最大探测距离地面等效试验方法研究,实现了用地面定点探测等效空间动态检测,减小了伪装效果检测的费用支出。梁冬明等^[6]开展了可见光侦查系统作用距离等效推算分析研究,提出了一种利用已知实验条件下的实测数据等效计算其他实验条件下侦察系统可见光侦察的作用推算方法。邓建军等^[7]进行了减小观察距离的光学伪装效果等效检测,以相同目标在我方侦察设备和敌方侦察设备侦察下的发现概率为基本数据,得出了在保持相等的发现概率的基础上,我方低精度的侦查设备的观测距离求解方法。顾有林等^[8]提出了一种基于光学遥感成像模拟的伪装效果检测方法,通过地物光谱数据库进行反射率转换获得地面反射率图像,利用大气传输损耗进行修正,等效得到卫星遥感输出图像。

上述研究成果还存在一些不足之处。例如,以目标发现概率为基准进行后续等效计算时,只考虑了高度这一个影响因素,没有考虑到实拍过程中其他的影响因素;以地物光谱数据通过反射率转换得到图像再进行等效计算时,由于原始图像本身并不是直接拍摄所得,导致在后续的计算中容易出现误差传递的累积。因此,本文在现有成果研究的基础上,先通过对比无人机和高空侦察设备的采集高度以及光学成像设备参数,确定等效后图像的像素点个数;然后通过线性插值得到像素点压缩后的像素值;最后根据大气传输损耗模型对像素值进行修正,最终得到等效后的高空侦察图像。

1 等效高空侦察图像生成方法

通过无人机搭载光学影像采集设备在某一高

度进行拍摄,经过图像拼接,得到初始图像;根据无人机拍摄的高度和设备分辨率,计算等效后的高空侦察图像的像素点个数;根据像素点压缩后的分布,通过逐点插补的方式进行敌方侦察设备图像像素值填充;依据大气传输损耗模型对像素值进行修正,得到最终的等效侦察图像。

1.1 图像像素点等效

空间分辨率反应的是图像像元与实物尺寸的对对应关系,如图1所示。

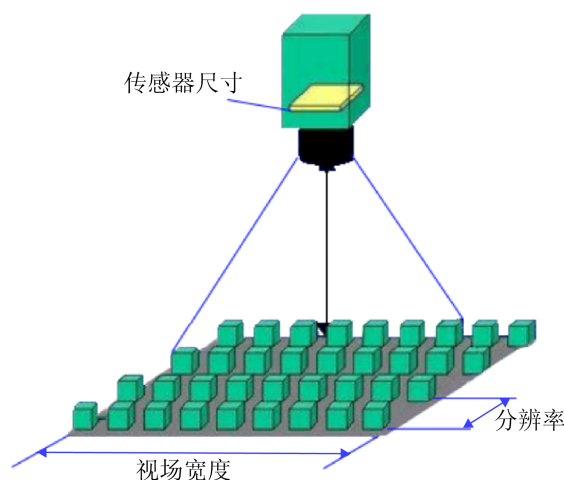


图1 设备成像示意图

Fig. 1 Equipment imaging diagram

等效后图像的生成首先要考虑图像有多少像素点 $PX_A \times PX_B$ 。每个像元之间的距离(即传感器上的各像素点之间的距离)为 R' ,由此可以计算出等效后图片的尺寸为 $(PX_A \cdot R') \times (PX_B \cdot R')$ 。

求解像素点 $PX_A \times PX_B$ 可以转化为以下数学问题。如图2所示:已知等效前(即无人机拍摄)的图片像素点为 $px_a \times px_b$,每个像元之间的距离为 r' ,飞行高度为 h 时分辨率为 r ,焦距为 f ,高空侦察设备的分辨率 R 和高度 H ,求等效后图像的像素点 $PX_A \times PX_B$ 。

根据无人机拍摄和高空侦察设备拍摄图像两者视场宽度相等这一关系,可得,在无人机传感器上的视场宽度等于高空侦察设备传感器上的视场宽度,因此有:

$$PX_A \times R' = px_a \times r' \quad (1)$$

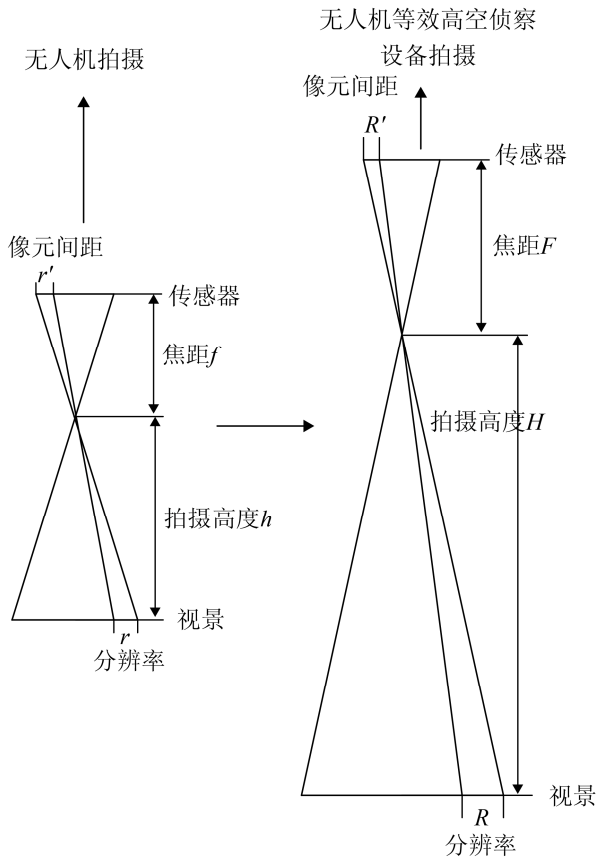


图 2 等效关系
Fig. 2 Equivalence

根据成像原理, 传感器上的像元间距可以由分辨率、焦距和物距(高度)求出:

$$R' / R = F / H \tag{2}$$

$$r' / r = f / h \tag{3}$$

带入式(1)可得:

$$PX_A / px_a = (h \cdot R \cdot F) / (H \cdot r \cdot f) \tag{4}$$

因此有:

$$PX_A = px_a \cdot (h \cdot R \cdot F) / (H \cdot r \cdot f) \tag{5}$$

令:

$$c = (h \cdot R \cdot F) / (H \cdot r \cdot f) \tag{6}$$

则通过比例 c 能够得到等效图像像素点个数, 进而为后续像素值的填充做好准备。

1.2 图像像素值填充

由于等效后一个像素点相当于多个像素点, 所以等效后的像素点的灰度值可以由其周围像素点灰度值进行插值得到^[9-10]。插值的基本思想是, 等效像素点越接近原图哪个像素点, 则像素点灰度值

越接近该点的像素灰度值, 相当于用距离作为权重进行加权线性插值。

具体过程如图 3 所示, 已知的红色数据点(Q_{11} , Q_{12} , Q_{21} , Q_{22})与待插值得到的绿色点(P)。现在需要根据已知函数 f_1 在 $Q_{11}=(x_1, y_1)$ 、 $Q_{12}=(x_1, y_2)$ 、 $Q_{21}=(x_2, y_1)$ 以及 $Q_{22}=(x_2, y_2)$ 4 个点的值, 得到未知函数 f_2 在点 $P=(x, y)$ 的值。首先在 x 方向进行线性插值, 得到 R_1 和 R_2 , 然后在 y 方向进行线性插值, 得到 P 。

x 方向的插值计算为:

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}),$$

$$R_1 = (x, y_1) \tag{7}$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}),$$

$$R_2 = (x, y_2) \tag{8}$$

通过第一步计算出的 R_1 和 R_2 在 y 方向上插值计算出 P 点像素值, 计算过程为:

$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \tag{9}$$

以此类推, 重复以上两步直到等效图像中的每个像素值填充完毕。

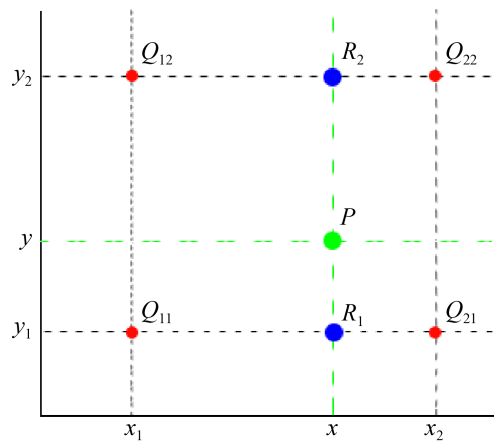


图 3 像素点插值
Fig. 3 Pixel interpolation

1.3 图像像素值大气传输损耗修正

光在经过大气传输时, 经过大气层中的某些气体分子的吸收、大气分子与气溶胶的散射以及由气象条件造成的衰减, 图像质量会降低。因此插值填

充后, 还需要考虑当时大气损耗的影响进行数值修正。

可见光经过大气衰减后, 无人机携带成像设备入瞳处的表观辐亮度 L_u^1 、地面辐亮度 L_e 、地面和无人设备之间的表观辐亮度 L_u^0 三者之间的转换关系可以综合表示为:

$$L_u^1 = \tau_u \cdot L_e + L_u^0 \quad (10)$$

式中: τ_u 为地面和无人机携带成像设备之间的总大气透射率。通过大气传输模型 ModTran 设置输入气象参数模式, 生成 Card 文件, 运行 Mod 计算程序, 可获取 τ_u 和 L_u^0 。

无人机携带设备传感器入瞳处的表观辐亮度同时可以用式(11)求得:

$$L_u^1 = [r_{\text{source}}(x, y) - b_{\text{source}}] / k_{\text{source}} \quad (11)$$

式中: b_{source} , k_{source} 分别为无人机携带设备的偏置和增益; $r_{\text{source}}(x, y)$ 为无人机拍摄图像的像素值。将式(11)带入式(10)可以计算得到地面辐亮度:

$$L_e = (L_u^1 - L_u^0) / \tau_u = \left\{ [r_{\text{source}}(x, y) - b_{\text{source}}] / k_{\text{source}} - L_u^0 \right\} / \tau_u \quad (12)$$

式中: 由于无人机飞行高度相对于高空侦察设备较低, 可以近似认为 $L_u^0 = 0, \tau_u = 1$,

因此可将式(12)简化为:

$$L_e = [r_{\text{source}}(x, y) - b_{\text{source}}] / k_{\text{source}} \quad (13)$$

同理, 高空侦察设备传感器入瞳处的表观辐亮度计算公式为:

$$L_h^1 = \tau_h \cdot L_e + L_h^0 \quad (14)$$

将式(13)带入式(14)可得高空侦察设备传感器

的入瞳处表观辐亮度为:

$$L_h^1 = \tau_h \cdot [r_{\text{source}}(x, y) - b_{\text{source}}] / k_{\text{source}} + L_h^0 \quad (15)$$

计算出高空侦察设备传感器入瞳处表观辐亮度后, 可根据公式(11)得出入瞳处表观辐亮度和等效像素值以及设备增益和偏置之间的关系为:

$$L_h^1 = [r_{\text{target}}(x, y) - b_{\text{target}}] / k_{\text{target}} \quad (16)$$

式中: 只有 $r_{\text{target}}(x, y)$ 为最后的待求解, 即等效图片的像素值, 其余均已知或可由 ModTran 软件根据气象条件得到, 因此, 可由以式(17)求得:

$$r_{\text{target}}(x, y) = k_{\text{target}} L_h^1 + b_{\text{target}} = k_{\text{target}} \left\{ \tau_h \cdot [r_{\text{source}}(x, y) - b_{\text{source}}] / k_{\text{source}} + L_h^0 \right\} + b_{\text{target}} \quad (17)$$

式中: $r_{\text{target}}(x, y)$ 为等效设备图像像素值。

2 实验验证与等效效果分析

2.1 图像采集及等效处理

在中纬度夏季某天、温度 25℃、天气晴好、可视条件良好等条件下, 利用大疆无人机(500 m 的高空、空间分辨率 0.02 m)对目标进行侦察, 去等效对某高空侦察设备可见光侦察图像(10 000 m 空间分辨率为 0.8 m), 某高空侦察设备可见光侦察图像如图 4 所示。

首先, 利用大疆无人机对某一区域进行两次可见光侦察成像, 图像拼接后得到可见光侦察图像如图 5 所示。



图 4 某高空侦察装备可见光侦察图像

Fig. 4 Visible light reconnaissance image of a certain high-altitude reconnaissance equipment



图 5 无人机可见光侦察图像

Fig. 5 Visible light reconnaissance image of unmanned aerial vehicle

等效图像的计算流程为:

step 1: 等效图像像素点个数计算。

根据无人机可见光成像设备, 500 m 的空间分辨率 0.02 m, 根据式(6), 在焦距近似相等的情况下, 可以得到 $c=2$ 。则等效后图像与原图像相比, 原图的 2×2 个像元表现为 1 个等效后像元。已知拼接后的可见光图像尺寸为 2720×1210 , 因此, 等效后可见光图像尺寸为 1360×605 。

step 2: 像素值插值计算。

截取图像部分数据为 (8×6) 矩阵, 等效图像与原图像大小之比为 $1/2$, 则该部分原图像等效后大小为 4×3 , $F(3,2)$ 的位置为原图 $f(6,4)$ 的 $(-0.4, 0.4)$ 方向。在等效图像中的 $F(3,2)$ 位置像素值根据式(7)~(9)可得:

$$R_1 = (1-0.4) \cdot f(6,4) + (1-0.6) \cdot f(6,4-1) = 0.6 \times 89 + 0.4 \times 92 = 90.2$$

$$R_2 = (1-0.4) \cdot f(5,4) + (1-0.6) \cdot f(5,4-1) = 0.6 \times 88 + 0.4 \times 90 = 88.8$$

$$F(3,2) = (1-0.4) \cdot R_1 + (1-0.6) \cdot R_2 = 89.64 \approx 90$$

同理, 可得到等效图像其余像素值。

step 3: 根据气象条件进行修正。

根据天气条件, 利用 ModTran 大气传输模型, 选择无气溶胶、无云、输入波段范围等, 计算得到高空侦察设备的表观辐亮度 $L_h^0 = 1.334 \times 10^{-19}$, 高空侦察设备所在高度的大气透过率 $\tau_h = 0.7942$ 。已知我方无人机搭载设备增益为 6, 偏置为 0, 高空侦察设备增益为 6, 偏置为 0, 利用式(17)可以计算得到每个像素的值 $r_{\text{target}}(x,y)$, 以及经过大气传输损耗

计算等效像素值, 最终的等效可见光侦察图像如图 6 所示。



图 6 等效后可见光侦察图像

Fig. 6 Visible light reconnaissance image after equivalent

2.2 等效效果分析

通过计算等效图像与某高空侦察设备图像的灰度特征、形状特征以及纹理特征, 计算综合相似度差值, 验证等效图像与相似程度^[11-12]。分别调用 Matlab 中 `imshow()`、`Edge()`和 `entropyfilt()`等函数分别提取该高空侦察设备的可见光侦察图像和无人机等效后的图像灰度特征、形状特征和纹理特征等数据, 并调用 Matlab 中相关系数函数, 比较等效图像与高空侦察实拍图像的相似度。结果如表 1 所示。

经专家咨询, 得到灰度特征、形状特征以及纹理特征的区间阈值、权重和评价分类如表 2 所示。其中综合相似度计算方法为加权求和, 计算过程为:

$$s = \sum_{i=1}^3 w_i \cdot s_i \quad (18)$$

根据表 1~2 结果, 计算得到等效可见光图像与该高空侦察设备的可见光图像的相似度为 0.8406, 最终等效评价得分为 82, 等级评定为良好。

表1 图像特征参数及其对比值

Tab. 1 Image feature parameters and their comparison values


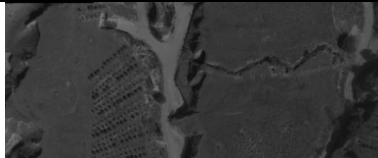




特征类别	特征数值		特征相似度
	某高空侦察设备侦察图像	无人机等效图像	
灰度特征			0.928 7
形状特征			0.751 4
纹理特征			0.841 4

表2 图像特征相似度区间及评分

Tab. 2 Image feature similarity interval and score

特征	灰度相似度(s_1)	形状相似度(s_2)	纹理相似度(s_3)	综合相似度(s)	效果评分
	$S \geq 95\%$	$S \geq 95\%$	$S \geq 95\%$	$S \geq 95\%$	优秀
图像特征相似度区间	$95\% > S \geq 80\%$	$95\% > S \geq 80\%$	$95\% > S \geq 80\%$	$95\% > S \geq 80\%$	良好
	$80\% > S \geq 65\%$	$80\% > S \geq 65\%$	$80\% > S \geq 65\%$	$80\% > S \geq 65\%$	一般
	$S < 65\%$	$S < 65\%$	$S < 65\%$	$S < 65\%$	差
权重	$w_1=0.286$	$w_2=0.286$	$w_3=0.428$		

从对比结果可以看出:

(1) 两者灰度和纹理相似度较高, 形状相似度较低。由于转换灰度特征图像时, 采用 `imshow(I,16)` 函数(I 为输入图像), 输出为 16 个灰度级的灰度特征图像; 而转换形状特征图像时, 采用 `Edge(I)` 函数, 输出相当于只有 2 个灰度级的二值特征图像, 与 16 个灰度等级相比, 丢失的特征较多。

(2) 两者综合相似度为 0.840 6, 部分原因为两者的拍摄时间不同, 当时的气象条件也不同, 仅仅靠软件难以完全还原当时的气象环境和其他因素, 因此相似度有差别。

3 结论

文章提出了一种利用我方无人机等效模拟高空侦察设备光学侦察的方法, 通过实验进行了可行

性验证, 结果表明:

(1) 利用该方法等效生成的图像与高空侦察设备图像相似度较高, 因此能够用来检验评估我军重要军事目标的伪装效果。

(2) 文章对于可见光的等效方法可以移植到高光谱、多光谱和热红外等其他侦察手段或设备, 结合各自的成像原理后可以采用类似的方法进行等效。

(3) 文章的等效方法能够用于部队的重要军事目标伪装效能检测评估活动中, 为检验我目标伪装性能提供便捷、经济的方法借鉴。

当然, 为今后规模化推广使用, 还需要考虑在等效计算时如何消除不同气候和背景的影响、如何调整优化等效模型和评价方法使得结果更加接近于高空侦察设备的真实图像。

参考文献:

- [1] 李新其, 叶喜发. 阵地伪装改造方案的动态规划优化方法[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(9): 26-29.
Li Xinqi, Ye Xifa. Dynamic Planning and Optimization Method of Position Camouflage Transformation Scheme[J]. Chinese Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(9): 26-29.
- [2] 舒兆国. 现代卫星电子侦察及其干扰技术[J]. 电子技术与软件工程, 2019(20): 98-99.
Shu Zhaoguo. Modern Satellite Electronic Reconnaissance and Jamming Technology[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2019(20): 98-99.
- [3] 沈泓, 曹国侯, 宁强, 等. 浅析遥感技术给国防工程伪装带来的挑战与机遇[J]. 中国地质调查, 2017, 4(3): 70-73.
Shen Hong, Cao Guohou, Ning Qiang, et al. Analysis of the Challenges and Opportunities Brought by Remote Sensing Technology to the Camouflage of National Defense Projects[J]. China Geological Survey, 2017, 4(3): 70-73.
- [4] 李佳坤, 李彦彬, 张海瑞. 防空导弹装备光学伪装效果评估[J]. 激光与红外, 2019, 49(5): 605-610.
Li Jiakun, Li Yanbin, Zhang Hairui. Evaluation of the Optical Camouflage Effect of Air Defense Missile Equipment[J]. Laser and Infrared, 2019, 49(5): 605-610.
- [5] 王冰, 成斌, 赵威, 等. 机载可见光侦察系统最大探测距离地面等效实验方法研究[J]. 光学与光电技术, 2013, 11(5): 62-64.
Wang Bing, Cheng Bin, Zhao Wei, et al. Research on the Ground Equivalent Experimental Method of the Maximum Detection Distance of the Airborne Visible Light Reconnaissance System[J]. Optics and Optoelectronics Technology, 2013, 11(5): 62-64.
- [6] 梁冬明, 张曼菊, 杨昊东, 等. 可见光侦察系统作用距离等效推算分析[J]. 现代电子技术, 2013, 36(1): 25-27.
Liang Dongming, Zhang Manju, Yang Haodong, et al. The Equivalent Calculation Analysis of the Range of Visible Light Reconnaissance System[J]. Modern Electronic Technology, 2013, 36(1): 25-27.
- [7] 邓建军, 高峰, 张琳. 基于减小观测距离的光学伪装效果等效检测[J]. 探测与控制学报, 2012, 34(3): 19-22.
Deng Jianjun, Gao Feng, Zhang Lin. Equivalent detection of Optical Camouflage Effect based on Reduced Observation Distance[J]. Journal of Detection and Control, 2012, 34(3): 19-22.
- [8] 顾有林, 乔延利, 易维宁, 等. 基于光学遥感成像模拟软件的伪装效果检测[J]. 兵工学报, 2008, 29(6): 678-682.
Gu Youlin, Qiao Yanli, Yi Weining, et al. Camouflage Effect Detection based on Optical Remote Sensing Imaging Simulation Software[J]. Acta Armamentarii, 2008, 29(6): 678-682.
- [9] 李爱琴. 基于室内场景图像的区域立体匹配算法的研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
Li Aiqin. Research on Regional Stereo Matching Algorithm based on Indoor Scene Image[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [10] 王建军, 黄晨, 陆长明. 空间目标的空基红外测量技术[J]. 飞行器测控学报, 2016, 35(3): 169-174.
Wang Jianjun, Huang Chen, Lu Changming. Space-based Infrared Measurement Technology for Space Targets[J]. Journal of Aircraft Measurement and Control, 2016, 35(3): 169-174.
- [11] 王朝卿, 沈小林, 李磊. 图像相似度计算算法分析[J]. 现代电子技术, 2019, 42(9): 31-34, 38.
Wang Chaoqing, Shen Xiaolin, Li Lei. Analysis of Image Similarity Calculation Algorithm[J]. Modern Electronic Technology, 2019, 42(9): 31-34, 38.
- [12] 李钦, 游雄, 李科, 等. 基于相似矩阵自适应加权的实景图像相似度计算方法[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(11): 1003-1011.
Li Qin, You Xiong, Li Ke, et al. Real-scene Image Similarity Calculation Method based on Adaptive Weighting of Similarity Matrix[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2017, 30(11): 1003-1011.