

文章编号: 1672-8785(2011)05-0027-05

基于 TOPSIS-AHP 法的红外航空成像 侦察相机综合评价

宋萌萌 赵 梅 周伟兴 杨明权

(空军航空大学特种专业系, 吉林长春 130022)

摘 要: 根据红外航空相机的成像原理, 提出了相机评估指标。通过层次分析法 (AHP) 求解得到各指标的权重向量, 并运用逼近理想解排序法 (TOPSIS) 对相应指标进行计算, 最后通过实例验证了该方法的可行性。计算结果表明, 空间分辨率和温度分辨率是红外航空相机敏感度最高的两类指标, 为今后相机的研制与改进提供了参考方向。

关键词: TOPSIS 法; 红外航空成像侦察; 相机; 评价指标

中图分类号: V271.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.05.006

Comprehensive Evaluation of Aerial Imaging Reconnaissance Camera Based on TOPSIS-AHP Algorithm

SONG Meng-meng, ZHAO Mei, ZHOU Wei-xing, YANG Ming-quan

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: According to the imaging principle of an aerial infrared camera, the indexes for evaluating a camera are proposed. Then, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to get the weight vector of each index and the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) is used to calculate the corresponding indexes. Finally, the feasibility of this method is verified in some examples. The calculation result shows that space resolution and temperature sensitivity are the two most sensitive indexes of an aerial infrared camera. This work is helpful to the development and improvement of aerial infrared cameras in the future.

Key words: TOPSIS method; aerial infrared imaging reconnaissance; camera; selection indexes

0 引言

军事情报历来都是决定战争胜负的关键因素。最近的几场局部战争表明, 谁掌握了第一手情报资料, 谁就掌握了战争的主动权。航空成像侦察是获得战地军事情报的重要手段之一, 它既可克服地面侦察设备受地球曲率和地形障碍物的视线限制, 又可弥补卫星侦察在细节和

时效上的不足, 在支持全球军事行动和国家安全任务上起着非常重要的作用^[1]。目前, 红外成像侦察已经成为航空成像侦察的一个重要方面。它具有全天时、视场宽、隐蔽性好、烟雾穿透能力强以及能在一定程度上识别伪装目标等特点, 已经在航空侦察上得到了广泛应用, 成为可见光侦察和合成孔径成像雷达侦察的必要补充。

收稿日期: 2011-03-18

作者简介: 宋萌萌(1988-), 男, 山西晋城人, 硕士研究生, 主要研究方向为航空装备建设与发展。

E-mail: smm112@163.com

评价侦察装备有助于了解其能力和不足,明确其在作战中的使用价值,为指挥员在作战中作出决策提供参考依据,也为提高侦察装备的作战效能创造条件^[2]。如何评价航空相机的效能,对其作战效能进行合理、科学的评价成为摆在我们面前的重要课题。检验航空相机的最佳手段当然是实战^[3],但从现在的情况来看还不太现实。因此,对航空相机进行深入研究以检验其作战效果,做好实战前的准备是非常必要的。

目前用于优选方案的多指标评价方法主要包括灰色层次分析法、逼近于理想解的排序方法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)、灰色关联分析法、神经网络分析法、模糊评价法和指数加权法等。为了实现最终评价结果的准确性,通常可以采取两种措施:一方面,应尽可能地运用原始数据,减少评价结果数据处理过程中的主观色彩;另一方面,运用数学模型进行综合、科学的评价,从最大程度上抵消评价过程中人为因素的影响^[4]。TOPSIS 法可以很好地解决上述两个问题,而且相对于传统的多目标评价方法,其原理简单,可同时多个对象进行评价,具有计算快、结果清晰、评价客观和计算原理科学等特点,可以有效提升红外航空侦察的科学性和准确性。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 适用于复杂的武器系统^[5],具有较高的可信度,可为 TOPSIS 法权重判定提供依据。

1 红外航空成像的工作原理及相机评价指标的选取

1.1 红外航空成像的工作原理

红外航空成像主要采用光机扫描成像原理^[6]。光学系统先将景物的红外辐射汇集起来,再通过光谱滤波和光机扫描将其聚焦在探测器阵列上。探测器将强弱不等的辐射信号转换成相应的电信号,然后经过放大和视频处理,形成视频信号,并在同步扫描的显示器上显示出景物的热图像。信号经模数转换后以数字化逐行

方式记录下来,或经电光转换记录到胶片上。

1.2 红外航空侦察相机评价指标的选取

评价指标是否合理直接影响到规划方案评价结果的科学性和准确性。指标选取应符合以下原则^[7]: (1) 综合性原则; (2) 可比性原则; (3) 定性和定量相结合的原则; (4) 独立性原则; (5) 层次性原则。

根据上述指标提取原则,为了对红外航空侦察相机进行科学评价,保证侦察任务的高效率完成,经过专家调查和部队实践证明,对红外相机的评价主要可从 6 个方面进行:相机的空间分辨率、相机的温度分辨率、相机的地面收容宽度(视场范围)、图像的存储传输延时、图像变形误差和环境适应性。其实,相机的体积和重量等指标对航空相机的评价也很重要。鉴于本文所研究的是已列装相机且已符合其载机平台要求,所以暂不考虑这类指标。

为了体现各指标之间的重要性差异,本文将采用 AHP 法给 6 个指标分配权重,最后运用 TOPSIS 法对相机进行综合评价,并给出最后的排序结果。

2 TOPSIS-AHP 方法的原理及步骤

2.1 TOPSIS 法与 AHP 法的原理

TOPSIS 法是一种简捷有效的多指标综合评价方法,亦称理想解法或距离法^[8]。它的基本思想是:基于归一化后的原始数据矩阵,找出有限方案中的最优方案和最劣方案,再分别计算各评价对象与最优方案和最劣方案间的距离,获得各评价对象与最优方案的相对接近程度,以此作为评估优劣的依据。

AHP 法是一种定性分析与定量分析相结合的多目标决策分析方法。它的主要思想是:根据研究对象的性质,将要求达到的目标分解为多个组成因素,并按因素间的隶属关系将其层次化,组成一个层次结构模型,最后经逐个层次分析,获得底层因素对于高层的重要性权值,或对其进行优劣排序。

2.2 TOPSIS 法与 AHP 法相结合的评价分析步骤^[5,7,9]

2.2.1 初始数据矩阵的构造及标准化

红外航空侦察相机的初始指标评价矩阵为

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & L & x_{1n} \\ M & O & M \\ x_{m1} & L & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, m 为待评价的相机数, n 为评价指标的个数, x_{ij} 为第 i 个评价对象在第 j 个指标下的评价值。由于选用的各个评价指标的量纲不同, 为了便于比较, 需对初始矩阵数据进行归一化处理, 从而得到标准化矩阵: $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。其中

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

2.2.2 计算各指标的权重

指标权重确定方法主要包括主观赋权法、客观赋权法以及组合赋权法等。这里采用主观赋权法中的层次分析法对各指标进行赋权。层次分析法的计算步骤如下:

(1) 确定指标权重标度, 建立判断矩阵。本文选取运用比较广泛的 1 ~ 9 标度。

(2) 求解判断矩阵。通过线性运算, 求得判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 和对应的特征向量 w_j 。各指标的权重就是 w_j 经过归一化后所得向量 w'_j 。

(3) 一致性检验。当人们对复杂事物的各因素采用两两比较时, 不可能做到完全一致的度量, 因此会存在一定偏差。为了提高评价的可靠性, 需对矩阵作一致性检验。检验算法为

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

当矩阵维数较大时, 还需要加以修正:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

式中, RI 为修正因子。针对不同维数, RI 的取值见表 1^[4]。当 $CR < 0.10$ 时, 所得权重向量有效; 反之则认为判断矩阵的一致性程度不能接受, 所得权重向量无效, 须对判断矩阵进行修正。

表 1 修正函数表

维数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2.2.3 构造加权的标准化规范化决策矩阵

$$R\omega = \begin{bmatrix} v_{11} & L & v_{1n} \\ M & O & M \\ v_{m1} & L & v_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & L & w_n r_{1n} \\ M & O & M \\ w_1 r_{m1} & L & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

2.2.4 确定理想解和负理想解

$$V^+ = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J'), (i = 1, 2, \dots, m) \right\}$$

$$V^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J'), (i = 1, 2, \dots, m) \right\} \quad (6)$$

式中, J 为效益型属性的下标集, J' 为成本型属性的下标集。 $J \cup J' = \{1, 2, \dots, m\}$ 。

2.2.5 计算每种相机方案到理想解的距离

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

式中, S_i^+ 为到正理想解点的距离, S_i^- 为到负理想解点的距离。

2.2.6 确定相对接近度

每种相机方案的评价值与最理想的评价值集合和最不理想的评价值集合之间的相对接近度为

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

2.2.7 按计算求得的相对贴近度进行大小排序, 并对评价对象进行排名

3 应用分析

为了更好地完成侦察任务, 现对四部红外航空相机 A、B、C、D 的系统进行综合评价。表 2 所示为载机平台在飞行高度为 1000m, 飞行速度为 800 ~ 900 km/h 情况下, 经实验调查对 4

部相机的 6 个方面进行评价的具体值, 这里的环境适应性表现为保证相机正常工作的温度适应范围。

表 3 所示为经归一化处理后得到的标准化数据矩阵。

表 2 相机评价情况表

相机	指 标					
	空间分辨率 /m	温度分辨率 /K	地面收容宽度 /m	记录传输延时 /h	图像变形误差 /%	环境适应性 / °C
A	1.5	0.33	252	0.8	21	-40 ~ 50
B	2.2	0.27	235	0.6	18	-45 ~ 55
C	1.9	0.37	283	0.7	16	-38 ~ 55
D	1.7	0.41	297	0.6	16	-37 ~ 55

表 3 标准化数据矩阵

相机	指 标					
	空间分辨率 /m	温度分辨率 /K	地面收容宽度 /m	记录传输延时 /h	图像变形误差 /%	环境适应性 / °C
A	0.205	0.239	0.236	0.296	0.296	0.240
B	0.301	0.196	0.220	0.222	0.254	0.267
C	0.260	0.268	0.265	0.259	0.225	0.248
D	0.233	0.297	0.278	0.222	0.225	0.245

运用层次分析法, 咨询专家对上述 6 项指标的重要性进行两两比较, 得出判断矩阵 (见表 4)。

表 4 权重判断矩阵

	a	b	c	d	e	f
a	1	1	5	3	6	4
b	1	1	4	3	5	3
c	1/5	1/4	1	1/2	1	1
d	1/3	1/3	2	1	2	1
e	1/6	1/5	1	1/2	1	1/2
f	1/4	1/3	1	1	2	1

然后利用 MATLAB 软件进行计算, 得出:

$$\lambda_{\max} = 6.0496$$

$$w_j = (0.6979, 0.6221, 0.1435, 0.2297, 0.1183, 0.1964)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0099$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.008 < 0.10$$

$$w'_j = (0.35, 0.31, 0.07, 0.11, 0.06, 0.10)$$

表 5 所示为加权后的标准化评价矩阵。

本例中, J 包括地面收容宽度和环境适应性; J' 包括空间分辨率、温度分辨率、记录传输延时和图像变形误差。最理想指标加权评价价值集合 V^+ 和最不理想评价价值集合 V^- 分别为

$$V^+ = (0.0718, 0.0610, 0.0195, 0.0244, 0.0135, 0.0267)$$

表 5 加权后的标准化评价矩阵

相机	指 标					
	空间分辨率 /m	温度分辨率 /K	地面收容宽度 /m	记录传输延时 /h	图像变形误差 /%	环境适应性 / °C
A	0.0718	0.0741	0.0165	0.0326	0.0178	0.0240
B	0.1054	0.0610	0.0154	0.0244	0.0152	0.0267
C	0.0910	0.0831	0.0186	0.0285	0.0135	0.0248
D	0.0816	0.0921	0.0195	0.0244	0.0135	0.0245

$$V^- = (0.1054, 0.0921, 0.0154, 0.0326, 0.0178, 0.0240)$$

红外相机的评价值与理想解和负理想解的距离分别为

$$S_i^+ = (0.0165, 0.0339, 0.0296, 0.0327)^T$$

$$S_i^- = (0.0381, 0.0324, 0.0183, 0.0259)^T$$

方案的评价值与理想解的相对接近度为

$$C_i = (0.6978, 0.4887, 0.3820, 0.4420)^T$$

按 C_i 的大小顺序对相机进行排序优选, 得出 $C_1 > C_2 > C_4 > C_3$ 。因此, A 相机为最优相机。

4 结论

根据部队实际和专家提供的经验, 本文运用 AHP 法计算出各指标的权重向量。通过对部队装备的 4 部相机的各项指标进行量化, 并采用 TOPSIS 法对其进行科学评价, 挑选出了最优相机, 为部队的进一步侦察决策提供了依据。数据分析结果表明, 空间分辨率和温度分辨率是红外航空相机敏感度最高的两类指标, 也可以说是相机的两个敏感性参数^[2]。这两类指标的

好坏直接决定了相机的优劣。A 相机在这两方面性能优异, 其贴进度 C 与其它相机相比优势明显。因此, 今后的相机研制与改进研究应主要以提高分辨率为主要方向。

参考文献

- [1] Global Airborne ISR Market 2008 - 2018 [Z]. Visiongain, 2008.
- [2] 郭齐胜, 鄧志刚, 杨瑞平, 等. 装备效能评估概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [3] 康炳峰. 战场侦察武器装备效能评估分析技术研究 [J]. 无线电工程, 2004, 34(1): 35-37.
- [4] 马强, 孙剑平. 基于 TOPSIS 的工程项目综合评价研究 [J]. 管理探索, 2008, 31(10): 24-27.
- [5] 张杰, 唐宏, 苏凯, 等. 效能评估方法研究 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [6] 范秀英. 热红外成像侦察设备 [M]. 长春: 空军航空大学, 2009.
- [7] 何霞, 远亚丽, 孙雪花. 利用 TOPSIS 法综合评价公路站场规划布局 [J]. 交通科技与经济, 2008, 10(4): 32-35.
- [8] Hwang C L, Yoon K. Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications [M]. Berlin: Springer Press, 1981.
- [9] 刘燕雯, 潘尔顺. TOPSIS 法在供应商评估中的应用 [J]. 工业工程与管理, 2004, 9(s1): 1-5.

新闻动态 News

日本丰桥技术大学研制出采用金纳米棒的创新型红外光电探测器

据 www.tut.ac.jp 网站报道, 日本丰桥技术大学的研究人员最近研制出一种在 Au 纳米棒表面采用等离子共振的创新型红外光电探测器。在 Au 纳米棒表面采用等离子共振可以增加肖特基势垒上激发的光电子的密度。这一技术显示出了其作为发展光通信用高效红外光电探测器的基础的潜力。

用于探测光和其他电磁能量的器件有热量计、超导器件以及用于光通信系统的光电二极管等。

现在, 典型的半导体器件包括肖特基势垒光电探测器。在这种光电探测器中, PN 结是不需要的。然而, 对于光通信系统, 提高 1.3 ~ 1.5 μm 波长范围的光电探测效率则是必须的。

日本丰桥技术大学的研究人员利用金纳米棒呈现的局域表面等离子体效应提高了肖特基光电二极管的光响应。最明显的是, 所希望的共振波长可以通过适当选择金纳米棒的尺寸获得。这样, 将肖特基势垒与金纳米棒相结合便有望成为生产高效率光电二极管的一种手段。

图 1 所示为用于测量金纳米棒肖特基光电二极管的光电流的实验装置。

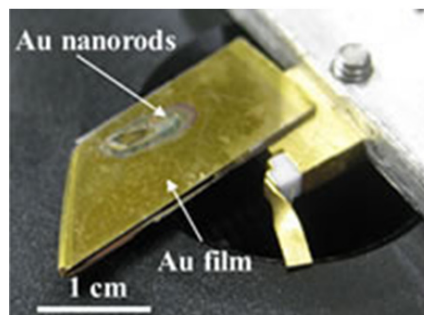


图 1 用于测量金纳米棒肖特基光电二极管的光电流的实验装置

□ 高国龙