

基于粒子群的视距估算方法

陈 霞, 李俊山, 李建华

(第二炮兵工程大学 402 室, 陕西 西安 710025)

摘 要: 提出了一种视距估算的粒子群方法. 通过对现有的目标视距估算方法进行详细分析, 在确保精度的基础上, 给出了其中一些较复杂参数的求取方法, 并通过确定目标与所处背景的实际温差 ΔT_0 , 以及目标本身的空间频率 f 这两个较难求取的参数范围, 引入粒子群概念, 最终确定目标在相应的分辨概率情况下的最远被探测距离. 仿真实验表明, 该方法能够缩小目标最远探测距离范围, 提高计算精度, 同时该方法也可以用于任何目标的最远距离探测.

关键词: 视距估算; 粒子群; 温差; 空间频率

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)11-0068-04

Visual Range Prediction Based on PSO

CHEN Xia, LI Jun-shan, LI Jian-hua

(402 Depart of the Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: A algorithm of visual range prediction based on PSO is proposed in this paper. Firstly, the existing method of visual range prediction is analyzed in detail, and the getting method of some complex parameter is obtained based on assuring precision. Then, the PSO is imported by confirming the temperature difference of target and background, and the spacial frequency of target, which is hard to calculated. Finally, the farthest detecting distance of target is obtained in corresponding identification probability. Experimental results show that the method can reduce the detecting distance range of target, improve the algorithm precision. Meanwhile, the method also can used to any target.

Key words: visual range prediction; particle swarm optimization; temperature difference; spacial frequency

1 引言

目标的红外探测和识别技术是以其红外辐射特性为基础的. 在战场中, 红外制导和红外成像制导武器对目标的发现、识别和跟踪主要依据目标与背景的红外辐射对比特性及其成像特征. 相反, 如果不想被这类红外制导武器探测到, 就需要根据气象参数和红外探测系统参数来进行目标的最远被探测距离的确定, 即目标的视距估算, 以评估目标的安全距离, 达到红外隐身的目的.

一般的目标被探测的最远距离估算方法, 都是以红外热像仪的成像系统性能参数, 结合目标及其背景的红外辐射特性来计算的. 由于在计算中红外

热像仪系统性能参数众多, 且极其复杂. 因此, 给计算带来了很大的难度.

本文在分析原有目标视距估算公式基础上, 利用公式中参数的各个关系, 采用粒子群算法, 改进了计算过程中的繁琐问题, 并精确了目标被发现的最远距离范围.

2 总的基本原理

对于目标被发现距离的计算与两个因素有关: 一是红外热像仪系统本身的性能. 二是取决于大气条件和目标的特性.

对于红外热像仪来说, 根据微光下的视觉探测理论, 只有当图像的信噪比大于阈值信噪比时, 信号

才能被探测到。

由于人眼对目标探测、识别的不确定性和随机性,通常的视距估算都是被盖以概率的方式来表达,通常计算某目标被发现的距离,其前提都是建立在发现概率为 50% 的基础上的。

Johnson 准则^[1-2]提出了观察等级,它是一种把人眼视觉和系统性能结合起来的一种视觉能力划分方法。同时提出了等效条带图案,把它和观察等级联系起来。分为了三级:即发现、识别和辨认。不同的观察等级所需的条带数是不同的。

其中,不同识别准则下的概率可用下式计算^[3]:

$$p = \frac{(n_0/n_{50})^E}{1 + (n_0/n_{50})^E} \quad (1)$$

$$E = 2.7 + 0.7(n_0/n_{50}) \quad (2)$$

式中, n_0 为实际条件下目标符合条件的观察所要求的可分辨线对数; n_{50} 为不同识别准则下的 50% 概率下 Johnson 准则所对应的可分辨线对数。图 1 即表示为不同识别准则下的概率三维图,其中七条线分别表示从 $n_{50} = 1$ 到 $n_{50} = 7$ 的不同识别准则下的探测概率,方向为 Z 轴值从 0 到 1。

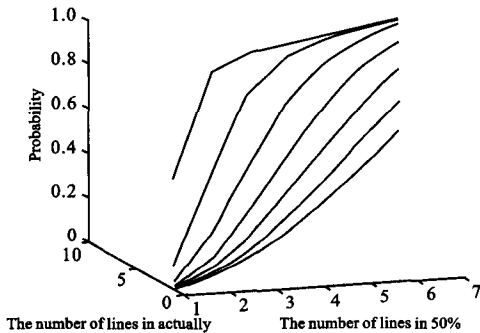


图 1 不同识别准则下的概率三维图

视距估算的一般步骤如下:

- (1) 计算目标面积的均方根、目标和环境的红外辐射对比度。
- (2) 计算红外辐射对比度和距离的关系。
- (3) 对于面目标来说,对四条纹假设为 50% 的识别概率,并计算目标被识别的最小条纹数。
- (4) 求出距离热像仪为 R 处的目标的空间频率 F ,并求出 MRTD 作为距离的函数。
- (5) 最终求出目标被探测到的最远距离与发现概率的关系。

因此,对于空间频率为 f 的目标,它与背景的表现温差 ΔT ,即目标与背景的实际温差 ΔT_a 经过大气衰减并通过红外探测系统后的温差,应大于或者等于红外探测系统的最小可分辨温差 $\text{MRTD}(f)$ 。同时,目标相对于系统的张角 θ ,应大于等于观察等

级所要求的最小视角。人眼通过热成像系统才能观察到目标。即:

$$\begin{cases} \Delta T = \Delta T_a \cdot \tau_a(R) \geq \text{MRTD}(f) \\ \frac{1}{2f} = \theta \leq \frac{H}{RN_e} \end{cases} \quad (3)$$

式中, H 为目标高度; N_e 为不同观察等级所要求的目标等效条带数。满足上述两式的最大距离 R 即为面目标的作用距离。

根据文献[4],可进一步计算为如下的表达式:

$$\begin{cases} \Delta T_a \cdot \tau_a(R) \geq 3.170 \sqrt{\frac{D}{mR}} \frac{\text{NETD}(f)^{\frac{3}{2}} \alpha}{h} \\ R \leq 2fHN_e \end{cases} \quad (4)$$

式中, D 为仪器观察的目标短边投影尺寸; m 为目标的长宽比; NETD 为噪声等效温差; α 为成像系统瞬时视场角; h 为仪器总传递函数,其具体表达式如下:

$$h = \exp(-2\pi^2 \sigma^2 f^2) \cdot \frac{\sin(\pi f/f_c)}{\pi(f/f_c)} \cdot [1 + (2f/f_c)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

式中, σ 为系统特性参量,取 0.15。 f_c 为空间截止频率, $f_c = 1/\alpha$ 。

3 主要参数计算

3.1 目标与背景的温差计算

本节主要用基于红外图像的方法来计算目标与背景的表现温差。对于红外图像,目标与背景的对比度 C 为图像中目标与背景的灰度之比。即:

$$C = \frac{\sum_{x_1}^{x_2} \sum_{y_1}^{y_2} g_t(x, y) - \sum_{x_3}^{x_4} \sum_{y_3}^{y_4} g_b(x, y)}{\sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} g(x, y)} \quad (6)$$

由于实验用的红外热像仪的分辨率为 640×480 ,所以 $x_{\max}$ 为 640, $y_{\max}$ 为 480,在红外图像中某一区域搜索该区域内灰度最大值和灰度最小值,并使其两点位置的距离限制在某一范围内。

由于红外热像仪焦平面上接收到的总的辐射功率 P 为

$$P(\Delta\lambda) = \epsilon \frac{A_0 A_s}{\pi} \frac{\cos\theta_0 \cos\theta_s}{l^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M d\lambda \quad (7)$$

式中, A_0 为接收系统中入射光瞳面积, ϵ 为目标材料整个光谱段的比辐射率, $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M d\lambda$ 为黑体在一定范围

波段内的总辐射出射度, θ_i 和 θ_0 分别为小面元上某点和入射光瞳中心连线与小面元法线方向及光学系统的轴线方向夹角, A_i 为目标小面元的面积, l 为目标距相机距离。

利用上式和普朗克公式, 即可求出目标与背景的温差值与灰度值对比度的关系^[5-6]。

3.2 大气透过率的计算

随着距离的逐渐拉大, 目标与背景的红外辐射对比度由于大气衰减的影响也越来越减小, 因此, 结合光子在大气中运动的物理过程, 并根据文献[4], 得出大气透过率如表 1 所示。

表 1 等效海平面路程长度与大气透过率关系

Wave range/ μm	Sea level distance/km				
	0.2	0.5	1	2	5
3~5	0.843 0	0.798 6	0.751 1	0.701 8	0.625 1
8~12	0.995 8	0.987 6	0.978 6	0.957 5	0.921 3
	10	20	50	100	200
3~5	0.553 6	0.473 3	0.369 3	0.300 3	0.244 1
8~12	0.810 3	0.663 9	0.395 5	0.164 9	0.035 8

本文主要讨论在 8~12 μm 波段范围内的大气透过率与距离的关系, 如图 2 所示。

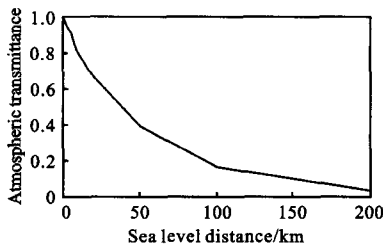


图 2 8~12 μm 波段范围内的大气透过率与距离的关系

对图 2 的数据进行非线性回归, 可求出大气透过率与距离的关系表达式为

$$\tau_a(R) = -3.179e^{-7}R^3 + 1.298 \times 10^{-4}R^2 - 1.805 \times 10^{-2}R + 0.994 4 \tag{8}$$

经误差计算分析, 其误差值不超过 5%。

4 基于粒子群的最远识别距离的估算

4.1 粒子群算法(PSO)

假设 d 维目标搜索空间, 有一个种群由 m 个粒子组成^[7]。其中的第 i 个粒子在空间里的位置为 $X_i = (x_{i1} \cdots x_{id})^T, i = 1, \cdots, m$, 飞行速度为 $V_i = (v_{i1} \cdots v_{id})^T$, 历次飞行中个体最优位置为 $X_i^{pbest} = (x_{i1}^{pbest} \cdots x_{id}^{pbest})^T$, 群体所有粒子最优位置为 X_g^{pbest} 。第 i 个粒子在每一次迭代中的速度和位置更新规则如

下:

$$V_i = \omega V_i + c_1 r_1 (X_i^{pbest} - X_i) + c_2 r_2 (X_g^{pbest} - X_i) \tag{9}$$

$$X_i = X_i + V_i \tag{10}$$

式中: c_1, c_2 为加速度系数, ω 为惯性权重。

对于求解的发现概率为 50% 情况下的识别距离, 需要得到最大值, 符合粒子群算法的优化规则, 并且能计算出精确的最远距离。

4.2 视距估算的粒子群算法

基于式(4), 本文是由温差值 ΔT_a 和空间频率 f 来决定最大探测距离。计算步骤如下:

Step1: 设置粒子迭代次数 N , 粒子数 m , 最小惯性权重 $\omega_{\min}$, 最大惯性权重 $\omega_{\max}$, 加速度系数 c_1, c_2 , 速度限制 $v_{\max}$, 以及初始最远距离 R_0 。

Step2: 随机生成 m 个 2 阶初始粒子群 $W_j (j = 1, 2)$ 以及相对应的 2 阶初始飞行速度矩阵 $V_j (j = 1, 2)$ 。

Step3: 分别根据式(4) 计算各个粒子的距离适应度值, 找到种群最优矩阵 W_g^{pbest} 以及粒子个体最优矩阵 W_j^{pbest} 。

Step4: 令 $i = i + 1$, 根据式(9) 与式(10), 完成粒子的速度和位置更新。返回 step3 继续, 直到 $i = N$, 运算结束, 输出最优解以及相应的 W_{opt} 。

由于实际情况下, 目标和背景的温差一般都限制在 0~100 $^{\circ}\text{C}$ 之间, f 值也限制在 $10^3 \sim 10^4$ 之间, 所以在粒子群算法中, 2 阶矩阵的范围分别设为 $[0, 100]$ 以及 $[10^3, 10^4]$ 。其他参数设置: $N = 100, m = 50, \omega_{\min} = 0.2, \omega_{\max} = 1.2, v_{\max} = 2.5, c_1 = 2, c_2 = 2, R_0 = 0$ 。

5 实验计算

5.1 最远识别距离的估算

图 3 所示为一辆正在水泥地上行驶的车辆。其中目标为车辆, 而背景为水泥地面, 选取车辆中红外辐射最大的部分也就是图像中选取的区域中灰度值最大的那部分, 即车辆的发动机舱, 选其一点的灰度值为目标的灰度值, 其红外辐射特性为目标的红外辐射特性。而选取其相邻水泥地面作为背景, 也就是图像中选取的区域中灰度值最小的那部分, 其灰度值为背景的灰度值, 其红外辐射特性作为背景的红外辐射特性。两处的灰度值的对比度也是该区域中灰度值对比度的最大值。

测试时热像仪和目标的垂直距离 20 m, 水平距离 20 m, 则直线距离为 28.28 m, 发动机舱的面积

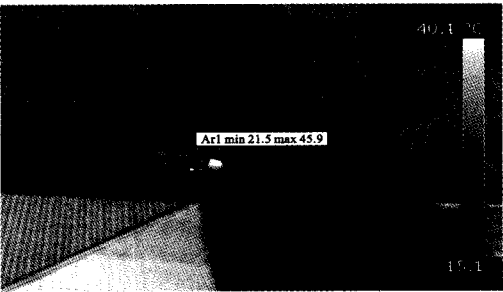


图3 目标与背景温差

为1 m×1.5 m.测得其发动机舱一点为温度的最大值45.9℃,水泥地面一点为温度的最小值21.5℃,即目标与背景的表现温差有24.4℃,由2.1节可近似计算出其实际温差为42.0℃.

本文实验中用到的红外探测仪器为FLIR620型红外热像仪,其用到的参数如表2所示^[8].

表2 红外热像仪参数

Parameter name	Value
Projected dimension/m	7.0×10^8
IFOV inapeak /rad	$0.181\ 8\times10^{-3}$
IFOV in level /rad	$0.227\ 2\times10^{-3}$
Space frequency/ Hz	2.42×10^7
Long ratio broad	1.5
NETD/ mK	65

根据3.2节计算,并基于Johnson准则,求出发现概率为50%的情况下,目标与背景温差在0.1~100℃之间的探测的最远距离与实际温差的关系如图4所示.

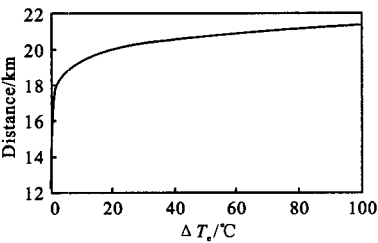


图4 探测距离与实际温差关系

最终,图3中的红外图像中目标车辆能被识别的最远距离为21.542 km.

5.2 不同探测概率下的目标的视距估算

另外,本文也算出了在不同的发现概率情况下的目标能被识别的最远距离与温差的关系.

根据Johnson准则,在不同的探测概率、不同的分辨等级中所要求的能分清的线对数也不同.具体数值如表3所示.

那么,得出的不同的发现概率下目标的最远探测距离与温差的关系也不相同.如图5所示,该图是表示发现概率分别为50%、80%、100%时的目标最远探测距离与温差的关系.

表3 Johnson 准则

Probability	Discovery	Recognition	Distinguish
1.0	3	12	24
0.95	2	8	16
0.8	1.5	6	12
0.5	1	4	8
0.3	0.75	3	6
0.1	0.5	2	4
0.02	0.25	1	2

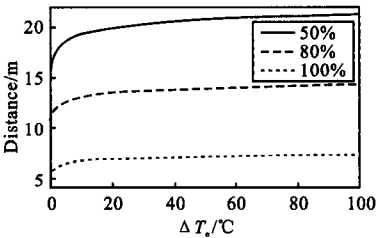


图5 不同发现概率下的探测距离与温差关系

可以看出,对于本文中特定型号的红外热像仪来说,其对目标探测到的最远距离在相应的发现概率基础上是随着温差的增加而逐渐增加的,但是也是仅限于4~22 km之间.

6 结束语

本文在分析原有目标视距估算方法的基础上,提出了一种基于粒子群算法的目标视距估算方法.该方法有效地解决了原有公式中的参数求解繁琐问题,并且提高了目标被探测到的最远距离的计算精度,缩小了最远距离范围.但是本文仅限于最远发现距离的求取,对于识别和辨认,还要看具体目标本身的结构特性.

参考文献:

[1] 李升才,周广恩,赵宝升.一种基于图像处理技术的视距估算方法[J].光子学报,2006,35(3):477-480.
[2] Hadar O, Rotman S R, Kopeika N S. Thermal image target acquisition probabilities in the presence of vibrations[J]. Infrared Phys Technol, 1995, 36(3): 691-702.
[3] 张敬贤,李玉丹,金伟其.微光与红外成像技术[M].北京:北京理工大学出版社,1995. (下转第75页)

- ry, 2003, 49(7):1673-1690.
- [4] 王映民,孙韶辉. TD-LTE 技术原理与系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [5] 王映民,孙韶辉. TD-LTE-Advanced 移动通信系统设计[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [6] Seijoon Shim, Jin Kwak, Heath R, et al. Block diagonalization for multi user MIMO with other cell interference[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(7):2671-2681.
- [7] Jia Liu, Krzymien W A. A novel nonlinear joint transmitter receiver processing algorithm for the downlink of multiuser MIMO system[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(4):2189-2204.
- [8] Zhang Jun, Chen Runhua, Andrews J G, et al. Coordinated multi cell MIMO systems with cellular block diagonalization[C]//Asilomar Conference on Conference Record of the Forty-First Signals, Systems and Computers. New Orleans, 2007:1669-1673.
- [9] Hadisusanto Y, Thiele L, Jungnickel V. Distributed

base station cooperation via block diagonalization and dual decomposition[C]//IEEE Global Telecommunications Conference, New York, 2008:1-5.

作者简介:



梁学俊 男, (1979-), 博士. 研究方向为宽带移动通信、天线和电磁辐射.

杨夏喜 女, (1982-), 博士. 研究方向为无线通信测试技术.

吴伟民 男, (1970-), 副教授. 研究方向为移动通信协议、无线传感网络协议.

吴震 男, (1967-), 高级工程师. 研究方向为虚拟化测试技术、电磁兼容.

(上接第 71 页)

- [4] 唐成波. 红外热成像系统性能评估技术研究[D]. 南京:南京理工大学, 2005.
- [5] 曹华梁. 全天候户外景象长波红外成像建模与合成[D]. 武汉:华中科技大学, 2005.
- [6] 江照意. 典型目标场景的红外成像仿真研究[D]. 杭州:浙江大学, 2007.
- [7] 徐洪涛. 非正交联合对角化的罚函数粒子群算法[J].

控制与决策, 2011, 27(2):317-320.

- [8] FLIR systems. User's manual of FLIR reporter[M]. New York: FLIR corporation, 2008.

作者简介:

陈霞 女, 博士研究生. 研究方向为红外辐射特性.