文章编号:1001-5078(2014)07-0749-03 ·红外技术及应用·

# 微缩场景下红外成像系统点目标作用距离研究

陈绍炜,任 磊,孟祥禄
(西北工业大学,陕西 西安 710072)

**摘 要**:作用距离是红外成像系统性能的重要指标,对系统的设计具有决定性作用。在微缩场景下对红外成像系统进行测试,节省人力物力,节省资源,将成为日后的一个趋势。本文介绍了微缩场景下红外成像系统点目标作用距离的估算模型,提出了基于实验室实测数据的修正方法,使用 MATLAB 软件进行了仿真,得到了修正后的计算公式。经检验,修正后的公式能够较准确地估算微缩场景下红外点目标作用距离。

**关键词**:微缩场景;红外;作用距离
**中图分类号**:TN219 **文献标识码**:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2014.07.009

# Infrared imaging system's operating range for point target under miniature scenes

CHEN Shao-wei,REN Lei,MENG Xiang-lu
(Northwestern Polytechnical University,Xi'an 710072,China)

**Abstract**:Operating range is an important index of infrared imaging system,and it plays a decisive role for the system design. The estimation model of point target operating range under miniature scenes is introduced,the revised method is presented based on the measured data,it is simulated by MATLAB,and the revised formula is obtained. Upon examination,the revised formula can accurately estimate point target operating range of infrared imaging system under miniature scenes.

**Key words**:miniature scenes;infrared;operating range

## 1 引 言

红外成像系统在夜间或不良气候下作战时的目标搜索跟踪、瞄准、红外制导等方面的应用显示出红外成像探测的巨大优越性。点目标作用距离是红外成像系统性能的一个重要指标,因此,对红外成像系统点目标作用距离的研究也变得重要起来。

通常对红外成像系统性能的检测都是在飞机实际飞行的情况下,通过加挂吊舱的方式对红外产品的性能进行检验。然而,随着关键技术的发展与进步,红外产品的研发周期大幅缩短,不同型号的吊舱的研制周期也不断缩短。然而飞机实际飞行的成本和费用昂贵,耗费人力、物力资源大,因此提出了微缩场景的概念,在微缩场景下对红外成像系统性能进行测试,不仅节省人力物力,节省资源,而且这将成为日后的一个趋势。

所谓的微缩场景,就是把飞机实际飞行的场景按比例缩小到五六百米的小型试验场内,利用转台模拟飞机实际飞行时对光电系统的扰动。在微缩场景下,可以模拟空对空、空对地、地对空等多种情况,对红外成像系统进行测试。

在微缩场景下红外成像系统性能检测的试验方法和数据处理方法可以部分沿用传统的飞机实际飞行场景下的方法,但是会存在一些差异,如何处理这些差异,如何处理微缩场景下光电吊舱的测试数据,这些是本文研究的关键。

**作者简介**:陈绍炜(1970-),男,副教授,硕士,主要从事航空电子相关技术研究。
**收稿日期**:2014-01-07;**修订日期**:2014-01-28

由于点目标作用距离是系统本身性能、目标特性、大气环境等多项因素的函数,因此没有统一、准确的数学计算方法。本文基于目标、背景和大气环境的特征参数,建立理论模型,从而给出实际场景下红外成像系统点目标作用距离的计算公式,提出了微缩场景下利用实验室实测数据对该公式进行修正的方法,并使用 MATLAB 软件进行仿真。

## 2 实际场景下点目标作用距离计算

红外成像系统的作用距离是指在一定大气条件下,对特定目标发现、识别、分辨的最大距离,也称作视距。

实际上,任何目标都是具有一定大小的,绝对意义上的点目标是不存在的。但是当目标的系统张角很小,远小于系统的瞬时视场时,可以近似看成是点目标。对于点目标,不能分辨其细节,所以从能量的观点出发,只要目标能量足够大,信噪比达到或大于阈值信噪比,红外成像系统就可以探测到目标。

如果红外成像系统的瞬时视场为 $\alpha \times \beta$,目标在一定距离上的实际张角为 $a \times b$。对于点目标,$a \leqslant \alpha$, $b \leqslant \beta$,由于目标只有在 $a \times b$ 角度内起作用,所以还必须对 NETD(噪声等效温差)进行修正,修正后的噪声等效温差为[1]:

$$\mathrm{NETD_P} = \frac{\alpha\beta}{ab}\mathrm{NETD} \tag{1}$$

若目标观察方向的正交截面内投影面积为 $S$,目标与红外成像系统的距离为 $R$,目标与背景的温差为 $\Delta T_0$,则[2]:

$$ab = S/R^2 \tag{2}$$

温差 $\Delta T_0$ 经大气衰减后成为 $\Delta T$,则:

$$\Delta T = \Delta T_0 \tau_a \tag{3}$$

式中,$\tau_a$ 为大气透过率。

如果要在阈值信噪比下探测到目标,必须使:

$$\Delta T = \mathrm{SNR} \cdot \mathrm{NETD_P} \tag{4}$$

式中,SNR 为阈值信噪比。

因此[3]:

$$\Delta T_0 \tau_\alpha = \mathrm{SNR} \cdot \mathrm{NETD} \cdot \frac{\alpha\beta R^2}{S} \tag{5}$$

整理可得系统点目标作用距离公式[4]:

$$R = \sqrt{\frac{\Delta T_0 \tau_\alpha S}{\mathrm{SNR} \cdot \mathrm{NETD} \cdot \alpha\beta}} \tag{6}$$

式中,$\alpha$ 为水平瞬时视场;$\beta$ 为垂直瞬时视场;$R$ 为作用距离;$S$ 为目标面积;SNR 为阈值信噪比;$\Delta T_0$ 为目标与背景温度差;$\tau_\alpha$ 为目标与红外热像仪之间的大气透过率;NETD 为噪声等效温差。

## 3 红外辐射的大气衰减

红外辐射在通过大气时,由于受到大气的吸收、散射或反射的影响,会引起衰减。红外辐射在大气中的衰减,主要体现在大气的吸收和散射两个方面。

红外辐射通过大气的透射比 $\tau_\alpha$ 可表示为[5]:

$$\tau_\alpha = e^{-ps} \tag{7}$$

式中,$p$ 为大气衰减系数;$s$ 为通过大气路程的长度。

通常情况下[6]:$p = \alpha + \gamma$;$\alpha$ 是吸收系数,表示大气中分子的吸收导致的红外辐射衰减系数;$\gamma$ 是散射系数,表示大气中分子、雾霾等的散射导致的红外辐射衰减系数。两者均与所处经度、所处纬度、传输距离、距地面的垂直高度、红外辐射的波长、大气压力、季节、气候、温度、湿度、倾斜路程天顶角的变化等有关。准确的计算大气透过率很复杂,普遍采用 LOWTRAN 软件进行计算。

## 4 微缩场景下点目标作用距离计算修正

微缩场景下点目标作用距离的计算可以部分沿用实际场景下点目标作用距离的计算公式,但需做部分修正。

由于大气透过率使用 LOWTRAN 软件计算,不可能对大气透过率的所有影响因素做完全准确的输入和评估,得到的大气透过率值与实际值相比仍然有较大的偏差。所以修正后的计算公式主要针对大气透过率做修正。

点目标作用距离计算公式的修正模型如下:

$$R = \sqrt{\frac{\Delta T_0 (m\tau_\alpha + n) S}{\mathrm{SNR} \cdot \mathrm{NETD} \cdot \alpha\beta}} \tag{8}$$

其中,$m$,$n$ 表示待定系数。

将公式(8)进行变形,得到公式(9)如下:

$$\frac{R^2 \alpha\beta \cdot \mathrm{NETD} \cdot \mathrm{SNR}}{\Delta T_0 S} = m\tau_\alpha + n \tag{9}$$

令:

$$Y = \frac{R^2 \alpha\beta \cdot \mathrm{NETD} \cdot \mathrm{SNR}}{\Delta T_0 S} \tag{10}$$

则:

$$Y = m\tau_\alpha + n \tag{11}$$

将微缩场景下的试验数据带入公式(10)中,得到 $Y$ 值。采用 MATLAB 曲线拟合函数 nlinfit 对公式(11)做曲线拟合,得到待定系数 $m = m_0$,$n = n_0$。

修正后的微缩场景点目标作用距离计算公式为:

$$R = \sqrt{\frac{\Delta T_0 (m_0\tau_\alpha + n_0) S}{\mathrm{SNR} \cdot \mathrm{NETD} \cdot \alpha\beta}} \tag{12}$$

## 5 仿真分析

将表 1 中 7 组微缩场景下的试验数据基于公式(11)、(12)进行 MATLAB 曲线拟合,拟合得到 $m_0 = 2.466$, $n_0 = -1.184$。

因此,修正后的微缩场景点目标作用距离计算公式为:

$$R = \sqrt{\frac{\Delta T_0(2.466\tau_\alpha - 1.184)S}{\mathrm{SNR}\cdot\mathrm{NETD}\cdot\alpha\beta}} \tag{13}$$

表 1 公式修正前数据

| $\Delta T_0$ | $\tau_\alpha$ | $S$ | SNR | NETD | $\alpha$ | $\beta$ | 实测 $R$ 值 | 公式(6)推算的 $R$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.902 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.8 | 0.078 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 501 | 467.92 |
| 3.5 | 0.899 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.7 | 0.082 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 532 | 501.14 |
| 3.8 | 0.872 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.9 | 0.079 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 541 | 505.56 |
| 3.2 | 0.913 | $1.77\times10^{-4}$ | 3.0 | 0.081 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 497 | 460.94 |
| 3.7 | 0.904 | $1.77\times10^{-4}$ | 3.5 | 0.083 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 491 | 451.07 |

表 2 公式修正后数据

| $\Delta T_0$ | $\tau_\alpha$ | $S$ | SNR | NETD | $\alpha$ | $\beta$ | 实测 $R$ 值 | 公式(13)推算的 $R$ 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 0.902 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.8 | 0.078 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 501 | 502.42 |
| 3.5 | 0.899 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.7 | 0.082 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 532 | 537.06 |
| 3.8 | 0.872 | $1.77\times10^{-4}$ | 2.9 | 0.079 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 541 | 532.09 |
| 3.2 | 0.913 | $1.77\times10^{-4}$ | 3.0 | 0.081 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 497 | 498.31 |
| 3.7 | 0.904 | $1.77\times10^{-4}$ | 3.5 | 0.083 | $10^{-4}$ | $10^{-4}$ | 491 | 484.94 |

利用修正后的公式(13)对表 1 中的数据重新计算,计算结果如表 2 所示。比较表 1 中的“实测 $R$”值和“公式(6)推算的 $R$ 值”两列,可知在微缩场景下用公式(6)计算红外点目标作用距离有较大偏差;比较表 2 中的“实测 $R$”值和“公式(13)推算的 $R$ 值”两列,两列数值较为接近,可知微缩场景下使用公式(13)可较准确地估算红外点目标作用距离。

## 6 结束语

本文通过将实际场景下的红外点目标作用距离公式进行修正,得到微缩场景下红外点目标作用距离公式。经验证,修正后的公式能够较准确地估算微缩场景下红外点目标作用距离。

**参考文献:**


[1] WANG Jianxia. Study on detection distance to point target of the infrared image system[J]. Electronics Optics Control,2001,8(1):24 – 27. (in Chinese)
王建霞. 红外成像系统点目标探测视距研究[J]. 电光与控制,2001,8(1):24 – 27.

[2] WANG Juan,YANG Chunping,WU Jian. Range estimation of IR thermal imaging system using matlab[J]. Electronics Optics Control,2004,11(3):17 – 19. (in Chinese)
王娟,杨春平,吴健. 红外热像仪的作用距离估算[J]. 电光与控制,2004,11(3):17 – 19.

[3] ZHOU Gang. Analysis of target detection ability of infrared imaging system[J]. Modern Defence Technology, 2000,28(6):41 – 46. (in Chinese)
周刚. 红外成像系统对目标的探测能力分析[J]. 现代防御技术,2000,28(6):41 – 46.

[4] WU Hanping. Operating distance equation for infrared point target detect system based on temperature characteristic of detectivity and background influence[J]. Infrared Technology,2007,29(6):341 – 344. (in Chinese)
吴晗平. 红外点目标探测系统作用距离方程理论研究[J]. 红外技术,2007,29(6):341 – 344.

[5] 陈玻若. 红外系统[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.

[6] AN Chengbin,ZHANG Xining,CHEN Ying,et al. Calculation of function range of infrared imaging system[J]. Laser & Infrared,2010,40(7):716 – 719. (in Chinese)
安成斌,张熙宁,陈盈,等. 红外成像系统作用距离计算[J]. 激光与红外,2010,40(7):716 – 719.