

一种新的飞机红外图像灰度量化方法

方甲永^{1,2}, 童中翔², 谢娟³

(1. 空军工程大学装备管理与安全工程学院, 陕西 西安 710051; 2. 空军工程大学航空航天工程学院, 陕西 西安 710038;
3. 西安工业大学材料与化工学院, 陕西 西安 710032)

摘 要:针对飞机红外图像仿真中灰度量化存在的问题,提出一种基于自动低频增益限制的飞机红外图像灰度量化方法。首先分析了飞机红外图像仿真中存在的灰度量化问题,通过研究红外成像导引头处理高动态增益的自动低频增益限制电路原理,提出一种基于自动低频增益限制的红外图像灰度量化方法。以某型飞机的红外图像进行仿真验证,相对于以往的均匀量化方法,本文提出的灰度量化方法,可有效适应飞机高动态范围的红外辐射亮度,生成的红外图像可清晰地反映飞机的高温和低温辐射特征。

关键词:红外图像;灰度量化;自动低频增益限制;灰度直方图

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2016.04.009

New gray quantization method of aircraft infrared image

FANG Jia-yong^{1,2}, TONG Zhong-xiang², XIE Juan³

(1. Equipment Management and Safety Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;
2. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an, 710038, China;
3. School of Materials and Chemical Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: Aiming at the problem of gray level quantization for aircraft infrared image, a method of gray level quantization for aircraft infrared image based on automatic low frequency gain limiting (ALFGL) is proposed. Firstly, the problems of gray level quantization are analyzed. According to the research of ALFGL circuit, a new gray level quantization method is proposed. The infrared image simulation results indicate that the proposed method can adapt to the high dynamic range of infrared radiation, and the infrared image can reflect the high and low temperature radiation characteristics clearly.

Key words: infrared image; gray level quantization; automatic low frequency gain limiting; gray histogram

1 引言

红外制导隐蔽性好、精度高、可昼夜作战、不受无线电干扰的影响,是精确制导武器普遍采用的一种制导手段^[1-2]。红外制导导弹已成为对空武器中最重要的、最有效和最具威慑力的装备,是地面防空、战斗机和武装直升机的必备武器^[3]。红外成像制导仿真是研究红外成像制导的一种有效的手段,而

目标、背景、干扰的红外图像的仿真是红外成像制导仿真的重要组成部分^[4-5]。飞机红外图像可以从实际飞行实验测量也可以通过理论分析计算。实际飞行测量可以得到飞机真实飞行状态下的飞机辐射特性,但是,在飞机高空高速飞行条件下,外场实验获取红外辐射数据的费用昂贵,耗时较长,且受不同成像条件的影响严重。红外图像的仿真,可以生成具

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61203134; No. 61172083)资助。

作者简介:方甲永(1983-),男,讲师,在读博士后,主要研究方向为飞行器红外辐射仿真理论与技术。

收稿日期:2015-06-21; **修订日期:**2015-07-16

有较强真实性的各种复杂环境下的红外图像,从而满足相关研究的需要^[6]。目前国内外相关文献针对飞机红外图像的仿真开展了许多研究^[7-8]。飞机红外图像仿真中,灰度等级的量化是实现红外图像展现的关键步骤,以往的相关文献认为两者是线性关系,从而采用均匀量化的量化方法^[9-10]。而飞机辐射亮度的动态范围远远超过了目前灰度等级 256 的动态范围,如果采用均匀量化法,那么生成的红外图像只能反映飞机高温区域的辐射特征,而忽略了低温的细节特征。为了使红外图像的仿真更贴近真实的红外成像导引装置,本文参照红外成像导引头处理高动态范围的自动低频增益限制电路,提出一种基于自动低频增益的飞机红外图像灰度量化方法,该方法在保留高频特征的前提下,对低频特征进行压缩,从而最大限度的保留飞机红外图像特征。仿真结果说明,相对于以往的均匀量化方法,通过本文提出的红外图像灰度量化方法生成的红外图像,可有效反映飞机蒙皮、尾喷口和尾焰的辐射特征。

2 飞机红外图像数字化仿真方法

2.1 飞机红外图像仿真计算方法

飞机红外辐射图像的仿真计算流程如图 1 所示。

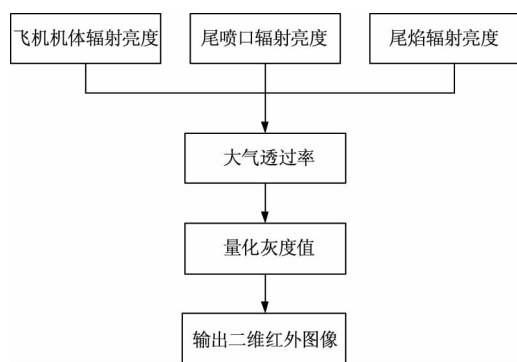


图1 飞机红外辐射图像的仿真计算流程

Fig. 1 Simulation flow of the aircraft infrared radiation image

飞机的红外辐射源主要包括蒙皮、尾喷口和尾焰,三个辐射源红外辐射的机理不同,因此其红外辐射亮度的计算也不相同,关于各辐射源辐射亮度的计算方式可参阅课题组成员的相关文献^[11-13]。计算除辐射亮度后,为了在计算机屏幕上显示辐射图像,还必须把辐射亮度转化为灰度等级,目前相关文献认为两者是线性关系,从而采用均匀量化的过程。其计算过程如下:

1) 确定上下限,对于具有 256 个灰度等级的导引头而言, $G_{\min} = 0, G_{\max} = 255$;

2) 找出一帧中的最大、最小辐射亮度值,分别为 $L_{\max}$ 和 $L_{\min}$;

3) 计算每级灰度对应的辐射间隔:

$$r = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}}$$

4) 计算各辐射值 L 对应的量化灰度值:

$$G = \frac{L - L_{\min}}{r} + G_{\min}$$

2.2 灰度量化方法存在的问题

飞机辐射亮度的动态范围远远超过了目前灰度等级 256 的动态范围,如果采用均匀量化法,那么生成的红外图像只能反映飞机高温区域的辐射特征,主要为飞机的尾喷口的红外辐射,如果想要同时保留机体红外辐射特征和尾喷口的辐射特征,就必须采用一定增益控制方式。在真实的红外成像导引头中也存在这种情况,为了同时保留高温和低温的特征,采用了自动增益电路设计。由于经典的自动增益控制和对数压缩等技术的限制,会使被摄取景物中细节受到影响,而且这种方法难以提供超音速导弹跟踪所要求的快速时间相应。因此红外成像导引头为了解决这个问题,在电路设计中采用了自动低频增益控制技术 (Automatic Low Frequency Gain Limiting, ALFGL)^[14]。电路的作用是限制信号中相当于高温的低频部分,而增强反映景物细节的高频分量,从而扩展了系统的动态范围。而对于飞机辐射亮度的数字化量化方法可以借鉴这种方式。

3 自动低频增益控制原理

当目标辐射亮度的范围超过灰度等级范围时,线性增益的方式是通过整体压缩辐射亮度的大小,这必然会造成红外辐射细节特征的损失。而自动低频增益的工作原理示意图如图 2 所示,它只对低频进行压缩,而对高频(细节特征)部分不进行压缩。在图 2 中,针对信号分为 a、b、c、d、e 五个部分,对于 b、c、e 部分,信号的大小在电平范围 $A +$ 和 $A -$ 之间,因此信号直接馈向输出端。信号的 d 部分和 a 部分超出了电平范围,对于无增益的处理方式,这 d 部分的信号和 a 部分的信号将会被忽略掉。如果按照图像灰度均匀化的量化准则,即线性增益控制的方式,那么所有的目标辐射特征都要线性的压缩,这样 a、b、c、d、e 部分的高频特征将会被压缩,尤其是

当 d 部分和 a 部分的动态范围远大于 A + 和 A - 的动态范围时,目标辐射的细节特征将会被大幅压缩,从而淹没在高辐射强度的信号中。而自动低频增益只是对超过 A + 和 A - 部分的低频进行局部压缩,而对 d 部分和 a 部分的高频细节特征不进行压缩。因此这种方法主要是保持高频详情,对局部低频的平均值进行限制。

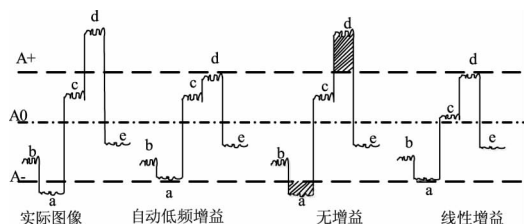


图2 自动低频增益限制工作原理示意图

Fig. 2 The working principle of ALFGL

4 基于自动低频增益的红外图像量化方法

参照自动低频增益的电路实现原理,本文设计了基于自动低频增益的红外图像量化方法,其实现流程如下:

(1)按照红外辐射亮度计算公式,计算战斗机的红外辐射亮度 $L_k (k = 1, 2, \dots, M)$, 其中 M 为辐射亮度的总体数量。

(2)统计每个亮度的个数 $h(L_k) = N_k$, N_k 为第 k 个亮度值的数量。以辐射亮度的大小 L_k 为横坐标,以每个亮度对应的数量 N_k 为纵坐标,绘制辐射亮度的直方图曲线,曲线示意图如图3所示。

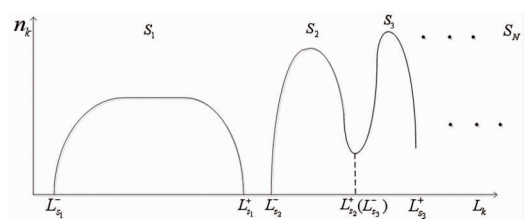


图3 辐射亮度直方图曲线示意图

Fig. 3 The gray histogram schematic diagram

(3)在直方图中搜索红外辐射亮度的凸集合 $S_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 搜索之前需要对直方图曲线进行滤波,以避免因为小的干扰引起的小突起进入凸集合。

(4)计算每个凸集合包含红外辐射亮度数量的多少,即 $F(S_i) = \sum h(L_{S_i})$, 选取数量最大的凸集 $S_m (F(S_m)) = \max(F(S_i))$ 。

(5)设置自动低频增益的最大通过亮度为:

$L_{S_m}^+$, 最小通过亮度水平为: $L_{S_m}^-$, 对于红外辐射亮度范围 $L_{S_m}^- \leq L \leq L_{S_m}^+$, 其灰度等级为:

$$G = 255 \times (L - L_{S_m}^-) / (L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-) \quad (1)$$

(6)对于红外辐射亮度大于凸集 S_m 的集合 $S_l (L_{S_l} > L_{S_m})$, 其灰度等级计算公式为:

$$G = 255 \times (L - L_{S_l}^+ + L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-) / (L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-) \quad (2)$$

如果 $L_{S_l}^+ - L_{S_l}^- > L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-$, 则灰度等级计算公式:

$$G = 255 \times (L - L_{S_l}^-) / (L_{S_l}^+ - L_{S_l}^-) \quad (3)$$

(7)对于红外辐射亮度小于凸集 S_m 的集合 $S_l (L_{S_l} < L_{S_m})$, 其灰度等级计算公式为:

$$G = 255 \times (L - L_{S_l}^-) / (L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-) \quad (4)$$

如果 $L_{S_l}^+ - L_{S_l}^- > L_{S_m}^+ - L_{S_m}^-$, 则灰度等级计算公式:

$$G = 255 \times (L - L_{S_l}^-) / (L_{S_l}^+ - L_{S_l}^-) \quad (5)$$

5 仿真案例

为了验证本文所设计灰度量化方法的有效性,首先按照2.1节描述的飞机红外图像仿真计算方法,采用传统的均匀量化方法仿真计算的飞机红外辐射数字化图像如图4所示,从图中可以看出,由于尾喷口的红外辐射亮度较大,因此湮没了机体和尾焰的红外辐射特征。基于低频自动增益图像量化方法仿真计算的数字图像如图5所示,相对于图5,可清晰的观察出飞机整体的高温和低温辐射特征,其详细计算过程如下:

(1)首先统计绘制辐射亮度的直方图曲线如图6所示,因为辐射亮度的数量较大,因此纵坐标进行了取对数压缩。

(2)从图6可见,红外辐射亮度共有3个凸集合 $S_i (i = 1, 2, 3)$, 统计每个凸集 S_i 的红外辐射数量为: $F(S_1) = 2951$, $F(S_2) = 15621$, $F(S_3) = 337$, 因此 S_1 为数量最大的凸集。

(3)设置自动低频增益的最大通过亮度为: $L_{S_m}^+ = L_{S_2}^+ = 60$ 最小通过水平为: $L_{S_m}^- = L_{S_2}^- = 16$ 。

(4)对于凸集 S_2 , 其灰度等级利用公式(1)计算, $G = 255 \times (L - L_{S_2}^-) / (L_{S_2}^+ - L_{S_2}^-)$ 。

(5)对于凸集 S_1 , $L_{S_1}^- = 0.2$, $L_{S_1}^+ = 5.8$, $L_{S_1}^+ - L_{S_1}^- < L_{S_2}^+ - L_{S_2}^-$, 因此利用公式(4)计算灰度等级: $G = 255 \times (L - L_{S_1}^-) / (L_{S_2}^+ - L_{S_2}^-)$ 。

(6) 对于凸集 S_2 , $L_{S_1}^- = 61$, $L_{S_1}^+ = 227$, $L_{S_3}^+ - L_{S_3}^- > L_{S_2}^+ - L_{S_2}^-$ 因此利用公式(3)计算灰度等级:
 $G = 255 \times (L - L_{S_3}^-) / (L_{S_3}^+ - L_{S_3}^-)$ 。

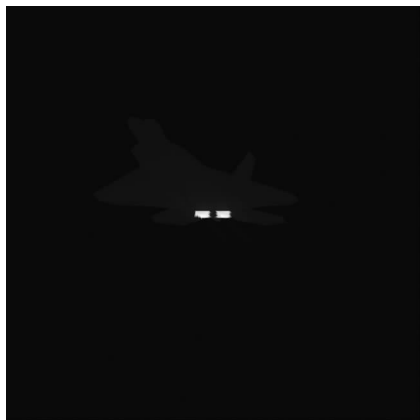


图4 均匀量化的数字化仿真图像

Fig. 4 The simulation image based on uniform quantization



图5 基于低频自动增益限制量化的数字化仿真图像

Fig. 5 The simulation image based on ALFGL

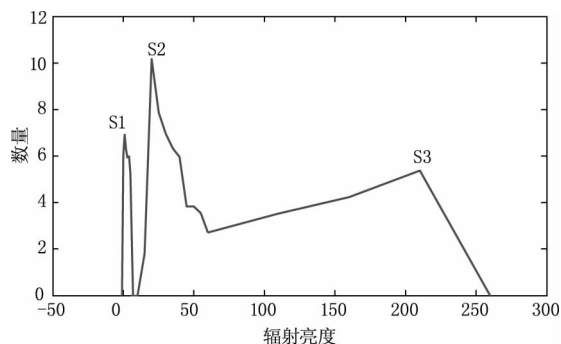


图6 辐射亮度直方图曲线

Fig. 6 The gray histogram curve

6 结 论

飞机红外图像仿真计算的真实性,直接影响红外成像制导的研究可信性。因此,本文通过研究真实红外成像导引头处理高动态范围红外图像的自动

低频限制电路原理,提出一种基于自动低频增益的灰度量化方法,相对于均匀量化方法,该方法更贴近真实的导弹红外成像原理,并且通过仿真结果证明,利用该方法生成的红外图像可清晰反映飞机的高温 and 低温辐射特征。

参考文献:

- [1] LIN Wuwen, XU Jin, XU Shilu. Development trend of IR detection technology[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(9): 840-843. (in Chinese)
林武文, 徐锦, 徐世录. 红外探测技术的发展[J]. 激光与红外, 2006, 36(9): 840-843.
- [2] WANG Chaozhe, TONG Zhongxiang, LU Yanlong, et al. Study on the airplane's infrared radiation characteristics [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(9): 996-1001. (in Chinese)
王超哲, 童中翔, 芦艳龙, 等. 飞机红外辐射特性及其探测技术研究[J]. 激光与红外, 2011, 41(9): 996-1001.
- [3] LI Chenghua. Study on advanced IR guided missile countermeasures [J]. Electro-optic Technology Application, 2003, (04): 8-11. (in Chinese)
李程华. 先进红外制导导弹对抗方法研究[J]. 光电技术应用, 2003, (04): 8-11.
- [4] Zuo Y P, Zhang J Q. Review of simulation in infrared imaging system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 31(5): 432-436.
- [5] Ge W, Cao D J, Hao H X. Application of IR control and guidance technology in precise attack weapons [J]. Acta Armamentarii, 2010, 31(2): 117-121.
- [6] Wang Y Z. Biomimetic staring infrared imaging omnidirectional detection technology [J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(27): 3073-3080.
- [7] WU Xiaozhong, TENG Peng, LU Yi, et al. Calculation and simulation of infrared radiation about some jet aircraft [J]. Infrared Technology, 2008, 30(12): 727-731. (in Chinese)
吴晓中, 滕鹏, 鲁艺, 等. 喷气式飞机红外辐射仿真计算[J]. 红外技术, 2008, 30(12): 727-731.
- [8] LI Yan. Study of the computer emulation for dynamic infrared images [J]. Journal of Inner Mongolia University, 2009, 40(1): 107-112. (in Chinese)

- 李琰. 动态红外图像的计算机仿真技术研究口[J]. 内蒙古大学学报:自然科学版, 2009, 40(1): 107 - 112.
- [9] WANG Xuewei, ZHANG Weiguo, SHEN Tongsheng, et al. Computer generation of dynamic infrared images of a plane[J]. Infrared and Laser Engineering, 1999, 28(2): 21 - 24. (in Chinese)
- 王学伟, 张卫国, 沈同圣, 等. 飞机目标动态红外图像的计算机生成[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(2): 21 - 24.
- [10] LI Jianxun, TONG Zhongxiang, WANG Chaozhe, et al. Calculation and image simulation of aircraft infrared radiation characteristic[J]. Journal of China Ordnance, 2012, 33(11): 1310 - 1318. (in Chinese)
- 李建勋, 童中翔, 王超哲, 等. 飞机目标红外特性计算与图像仿真[J]. 兵工学报, 2012, 33(11): 1310 - 1318.
- [11] LI Jianxun, TONG Zhongxiang, WANG Chaozhe, et al. Calculation and simulation on infrared radiation of hot jet from engine[J]. Spectroscopy and Spectral Anylysis, 2013, 33(1): 7 - 13. (in Chinese)
- 李建勋, 童中翔, 王超哲, 等. 发动机热喷流红外辐射计算与仿真[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(1): 7 - 13.
- [12] CHAI Shijie, Li Jianxun, TONG Zhongxiang, et al. Modeling of IR seeker for Air-to-air Missile and Anti-interference simulation[J]. Journal of China Ordnance, 2014, 35(5): 681 - 690. (in Chinese)
- 柴世杰, 李建勋, 童中翔, 等. 空空导弹红外导引头建模与抗干扰仿真[J]. 兵工学报, 2014, 35(5): 681 - 690.
- [13] WANG Chaozhe, TONG Zhongxiang, LIU Yongzhi, et al. Evaluation method of stealth aircraft's infrared radiation measurement[J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41(11): 2891 - 2897. (in Chinese)
- 王超哲, 童中翔, 刘永志, 等. 隐身飞机红外辐射特性测试评估方法探讨[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(11): 2891 - 2897.
- [14] ZHONG RENhua. The IR seeker of aerodynamic missile[M]. Beijing: China Aerospace Press, 2009: 427 - 428. (in Chinese)
- 钟任华. 飞航导弹红外导引头[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2009: 427 - 428.