

文章编号: 1672-8785(2014)06-0036-04

三视场小口径星图的仿真

刘 帅¹ 王 铎¹ 孙腾飞²

(1. 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125000;

2. 92819 部队, 辽宁 大连 116600)

摘 要: 红外波段可探测到足够多用以导航的星体。受限于客观条件, 白天无法获取大量的星空图像。为了加快三视场恒星检测、星点定位和星图识别等算法的开发及算法性能的全面测试, 需要研究三视场全天时星图的仿真方法。研究并建立了三视场天空辐射模型、系统噪声模型和恒星成像模型, 设计并运行了三视场星图的生成软件。结果对加快算法的开发及算法性能的全面测试具有重要意义。

关键词: 三视场; 星图仿真; 天空背景; 系统噪声

中图分类号: TP311.5 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.06.007

Simulation of Small-caliber Star Image with Three Field-of-view

LIU Shuai¹, WANG Duo¹, SUN Teng-fei²

(1. Army 92941, Huludao 125000, China; 2. Army 92819, DaLian 116600, China)

Abstract: Enough stars for navigation can be detected at infrared wavelengths. Limited by the objective conditions, large quantity of star images can not be obtained in the daytime. To accelerate the development and performance testing of the algorithms for three field-of-view star detection, star point location and star pattern recognition, a method for simulating all-time three field-of-view star images should be studied. The models of three field-of-view sky radiation, system noise and star imaging are established. The software for generating three field-of-view star maps is designed and operated. The result obtained is of importance to the acceleration of development and full performance testing of related algorithms.

Key words: three field-of-view; star simulation; sky background; system noise

0 引言

目前, 在白天利用星敏感器测星可探测到的星数有限, 无法满足导航需求。红外波段可探测到足够多用以导航的星体。利用红外波段在白天探测恒星, 国外已进行实验并取得一定的实验结果^[1-3]。但受限于客观条件, 采用近红外多视场探测器同时对不同天区进行恒星探测时^[4], 白天尚不能获取大量的星空图像。为了

加快三视场恒星检测、星点定位、星图识别等算法的开发及算法性能的全面测试, 需要研究三视场全天时星图的仿真方法。

1 恒星像点的仿真模型

恒星是点目标光源, 像面星的能量分布近似为二维高斯分布:

$$I(x, y) = \frac{I_0}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

收稿日期: 2014-03-30

作者简介: 刘帅(1985-), 男, 河南太康人, 助理工程师, 主要研究方向为测控技术与信息处理。

E-mail: yanghan1129@sina.com

式中, I_0 是和星等相关的数值; x_0 、 y_0 是星体在星图中的精确位置即 Pt_{Img} 的 x 、 y 分量; σ 为星斑的高斯半径即二维高斯分布的方差。

恒星每差一个星等, 其辐照度差 2.512 倍。在拟采用的生成星表中, 最高星等为 6.5, 最低星等为 -1。星等从 1 到 6 辐照度相差刚好 100 倍。如果采用 matlab 仿真平台开展研究, 只能支持 8bit、256 灰度级。由于对比度不到 10:1, 可以采用线性星等模拟方法来模拟星等, 即

$$I_i = K \times (6.5 - m_i) + I_{min} \quad (2)$$

式中, I_{min} 为最大的 6.5 星等恒星的灰度值; I_i 为第 i 颗 m 星等恒星的灰度值; K 为比例系数。

2 天空背景亮度的仿真模型

首先, 明确所采用的计算方法及其定义。

视星等为 m 的恒星, 其辐射的出射度为 $F_m = F_0 \cdot 2.512^{-m}$ 。 F_0 为零星等的大气层外辐射的出射度, 其值为 $1.387 \times 10^{-9} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ [5]。

m 星等、天空背景温度为 t 的恒星的背景对比度 (以下简称对比度) 为 [6]

$$C_m(\lambda, t) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_m(\lambda, t) T(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H) Fun(\lambda) d\lambda}{2\pi \{1 - \cos[\theta/2N]\} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H) Fun(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

采用 MODTRAN 软件分析计算不同视场恒星的背景对比度随太阳天顶角、载体平台指向的变化情况。

选取中纬度夏季大气模式, 在无风无雨、不考虑云层因素、使用乡村模式和能见度为 23 km 的前提下, 以 1995 年的 355 ppmv 二氧化碳含量为基准, 针对不同的太阳天顶角、平台方位角和天顶角计算分析恒星的背景对比度的变化情况。根据对比度及恒星的辐射强度得到背景辐射强度。太阳天顶角、平台方位角和天顶角的定义参照文献 [7]。

主要计算分析恒星 - 背景的对比度随太阳天顶角、平台方位角、平台 x 方向俯仰角和平台 y 方向俯仰角的变化。

图 1、图 2、图 3 和图 4 分别给出了上述条件下 6 星等恒星与天空背景的对比度变化。

据此, 建立同时刻三视场背景辐射的数据库。在给定时间和平台姿态 (即太阳天顶角和平台各角度) 的情况下, 可查表得到背景辐射强度

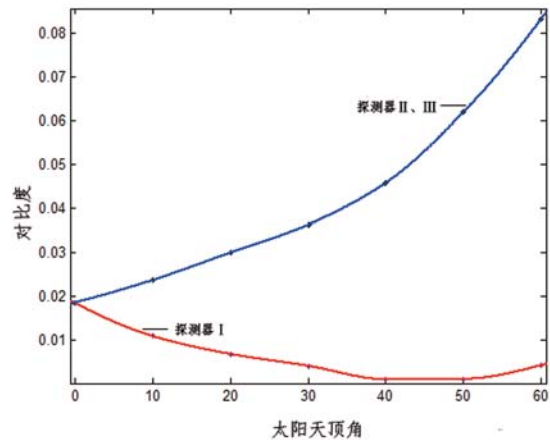


图 1 对比度与太阳天顶角的关系

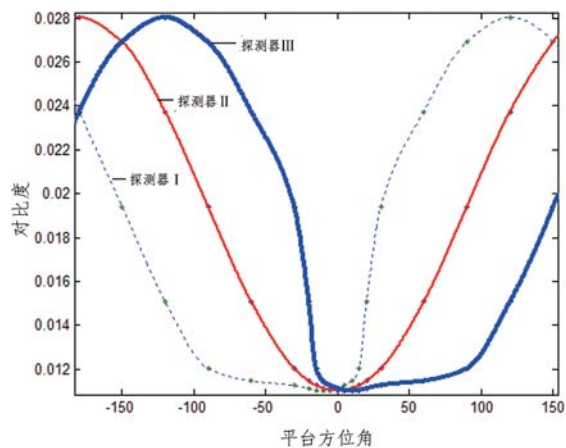


图 2 对比度与平台方位角的关系

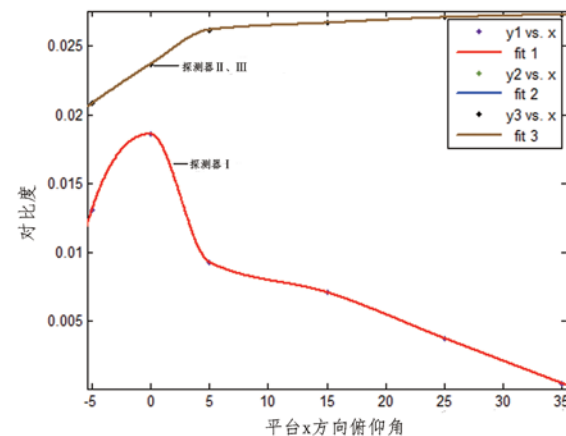


图 3 对比度与平台 x 方向俯仰角的关系

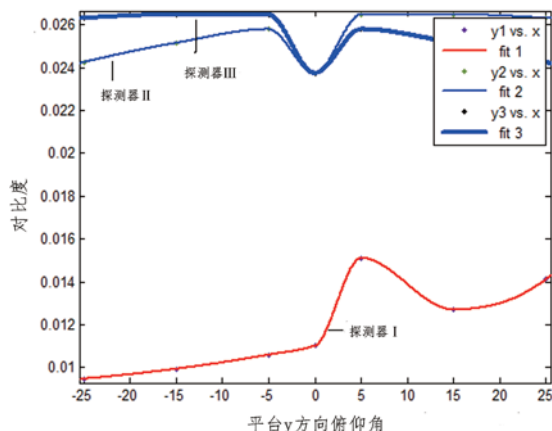


图 4 对比度与平台 y 方向俯仰角的关系

及三个视场的对比度关系,由此确定各个视场的背景灰度均值。

3 成像系统噪声建模

三视场探测系统采用小口径测星。获取的星图背景起伏小,主要噪声为天空随机散射的噪声、其它星光的干扰和 CCD 探测器的噪声等。利用短波红外相机获取不同条件下的实际星空图像,从中截取一组“平坦”背景区域的子图像来分析系统的噪声参数,建立相应条件下的背景噪声模型。

图 5 为一帧白天获取的短波红外星图。在离视场边缘和恒星目标一定距离的范围内,选取矩形子图像作为估计背景噪声的样本。为了能够准确地估计噪声参数,需从序列图像中截取更多的样本子图像。经分析,噪声符合零均值高斯正态分布,如图 6 所示,噪声方差为 σ_{Bg} , 天空背景均值为 $Mean_{Bg}$ 。

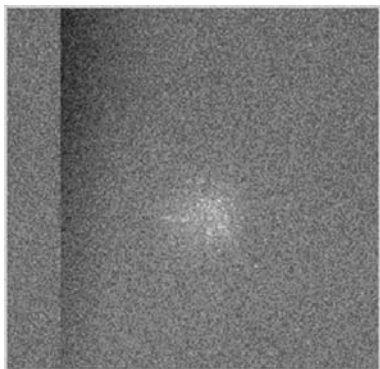


图 5 短波红外星图 (白天)



图 6 样本直方图

4 三视场星图的生成设计及仿真

星图中的每个像素点都由噪声信号、星体信号和天空背景信号叠加而成。分别对恒星、背景及噪声的特点进行分析计算,再进行综合分析建模:给出星表中恒星的位置,计算出 CCD 中恒星的质心位置 Pt_{mg} , 并进行显示。

假设已知时间信息、探测平台位置信息 $Loc(\lambda, \Phi, h)$ 、载体的姿态 $VecB = (yaw, pitch, roll)$ 、光学系统焦距 f_c 及安装参数 $AxiVeci = (CJ0i, CW0i)$ 、CCD 像素尺寸、旋转角 $FixAng_i$ (其中 $i=0, 1, 2$) 和子星表等。分别计算三个不同视场内提取的恒星集 $StarFovi$ 在 CCD 上的质心位置并将它们记录下来。其中由已知条件计算的恒星在 GCRS 中的位置与 CCD 视场中的位置关系参见文献 [8]。星图仿真的详细算法流程如下:

- (1) 结合光学系统的参数和 CCD 的安装参数,计算恒星在 CCD 上的位置;
- (2) 根据恒星像点的仿真模型及恒星的视位置,分别生成三视场恒星的像点图;
- (3) 根据视场间的对比度及视场背景的背景模型,生成三视场的背景图;
- (4) 在三视场无噪声的背景图中加入成像系统的随机噪声,生成三视场背景的仿真图像;
- (5) 将背景的仿真图像与恒星的仿真图像直接叠加。为防止饱和,进行灰度调整,显示输出三视场的仿真星图。

上述步骤完整地给出了星图计算的仿真过

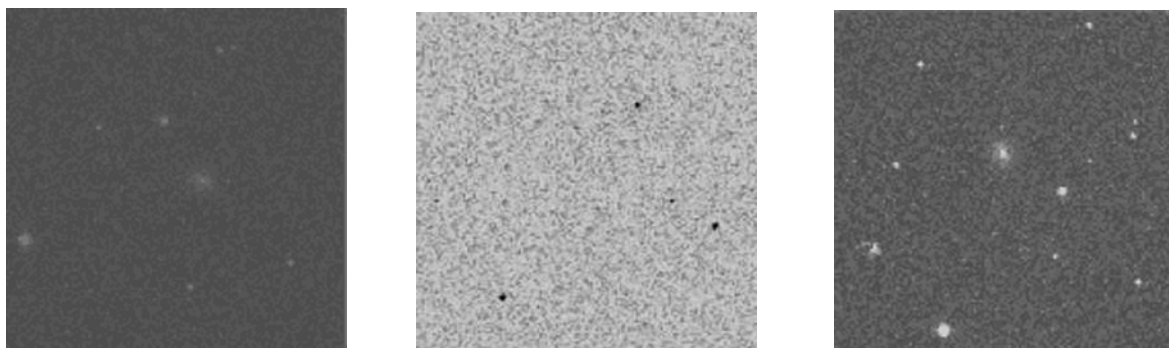


图 7 三视场的仿真星图

程。采用 Monte Carlo 方法, 随机产生平台姿态 $(-120, -60, 80)$ 。按仿真星图的生成步骤进行仿真, 得到 2012 年 6 月 23 日上午 10 时三视场的仿真星图, 如图 7(a)、(b)、(c) 所示。

5 结论

利用短波红外三视场昼夜的仿真星图可以加速星图识别算法的开发, 进行算法功能及性能测试并验证导航星选择的有效性。仿真星图需具备以下特点: (1) 同时显示三个不同视场的星图; (2) 星图背景的强度能够反映光轴指向的天空区域短波红外的辐射强度。针对 2MASS H 波段的点源星表筛选建立的星等小于或等于 6.5 的星图的子星表 (共筛选出 215490 颗 H 波段恒星)。研究并建立了三视场天空辐射模型、系统噪声模型和恒星成像模型。最后, 设计并仿真运行了三视场星图的生成软件。

参考文献

- [1] Nelson J E. Infrared Methods for Daylight Acquisition of LEO Satellites [D]. Ohio: Department of the Air Force Air University, 2004.
- [2] Cannata R F, Hansen R J, Costello A N, et al. Very Wide Dynamic Range SWIR Sensors for very Low Background Applications[C]. *Proceedings of SPIE*, 1999, **3968**:756-765.
- [3] Alexander C D, Swift W, Ghost K, et al. Design of a Daylight Star Camera System[J]. *Proceedings of SPIE*, 1999, **3779**: 47-54.
- [4] 韩艳丽, 王铎, 刘鑫伟. 近红外白天测星不同方位角背景辐射修正 [J]. *红外*, 2012, **33**(4):26-30.
- [5] Zhu Q X. Detection of Celestial Objects by CCD Camera in the Daytime and the Related Experiments [C]. *Opto-Electronic Engineering*, 1995, **22**(6):1-10.
- [6] 陈秀红, 魏合理, 余凯, 等. 星传感器白天观星对比度分析 [J]. *大气与环境光学学报*, 2008, **3**(1):28-34.
- [7] 韩艳丽, 王铎, 张健, 等. 近红外多视场白天测星分析 [J]. *红外与激光工程*, 2013, **42**(8):2202-2208.
- [8] 王铎. 全天时自主天文导航关键技术研究 [D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2013.

(上接第 19 页)

- [4] 苗秀梅, 张正茂. 窄脉冲激光探测电路分析与设计 [J]. *光电技术应用*, 2012, **27**(4): 30-33.
- [5] 周德力, 敖发良. 用于微光探测的高灵敏度接收机设计 [J]. *广西通信技术*, 2010, **20**(3): 28-32.
- [6] Sergio F. Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits [M]. New York: McGraw-Hill Companies, Inc, 2002.
- [7] 王晋雄, 刘力源, 李冬梅. 一种高增益宽频带的增

益自举运算放大器 [J]. *半导体技术*, 2010, **35**(10): 1007-1010.

- [8] 郭颖, 陈弈, 黄庚华, 等. 一种应用于高精度脉冲激光测距的自动增益控制方法 [J]. *激光与红外*, 2010, **40**(4): 345-348.
- [9] 葛晶晶. 基于 PCB 板的电磁兼容分析与改进 [D]. 太原: 中北大学, 2009.
- [10] 王志刚. 现代电子线路 (下册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.