

文章编号: 1672-8785(2017)04-0044-05

# 一种基于卡尔曼的红外相机动态范围自适应调整算法

沈苏文<sup>1,2</sup> 林长青<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 卡尔曼算法在目标跟踪、风向预测、非均匀性矫正领域都有着广泛应用。提出了用卡尔曼算法进行线列相机扫描灰度值的预测。根据线列探测器的实时扫描, 得出了灰度直方图的变化, 并将这一过程归一化到卡尔曼公式中; 用递推法快速测出了下一时间灰度的统计分布, 间接预测了积分时间, 最终达到了红外线列探测器动态范围自适应控制的目的。采用多幅 8 bit 图像为不同场景提供仿真环境, 最终快速稳定地预测出了下一阶段的灰度分布统计图。结果为红外线列相机扫描提供了智能化解决方案。

**关键词:** 卡尔曼; 灰度分布直方图; 自适应调整

**中图分类号:** TN215 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.04.008

## An Adaptive Adjustment Algorithm for Dynamic Range of Infrared Camera Based on Kalman

SHEN Su-wen<sup>1,2</sup>, LIN Chang-qing<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Kalman algorithm is widely used in the fields of target tracking, wind direction prediction and nonuniformity correction. The prediction of scanning gray value of a linear array camera by Kalman algorithm is proposed. According to the real-time scanning of the linear array detector, the change in the gray level histogram is derived and normalized into Kalman's formula. The statistical distribution of next time gray level is measured quickly by a recursive method. The integration time is predicted indirectly. Finally, the adaptive control of the dynamic range of the linear infrared detector is achieved. Several 8 bit images are used to provide simulation environment for different scenes. Then, the gray level distribution statistics in next stage is predicted quickly and stably. The result provides an intelligent solution for the scanning of the linear array infrared camera.

**Key words:** Kalman; gray level histogram; adaptive adjustment

## 0 引言

星载红外线列相机智能化应用已成为空间红外探测的热门领域。根据卫星载荷对稳定性

的要求以及红外探测系统对实时性的要求, 运用的积分时间控制算法必须做到快速准确。在天基红外探测系统中引入智能化解决方案已经

**收稿日期:** 2017-02-22

**作者简介:** 沈苏文(1990-), 男, 江苏海门人, 硕士研究生, 主要研究红外线列探测器宽动态范围的提高。

E-mail: suwen\_shen@163.com

是国内外的热门研究方向。随着人工智能技术的不断发展, 民用领域内的机器学习、模式识别等热门技术成果将会被引入到天基红外探测领域中。

本文基于红外线列相机逐行扫描的特性, 以每帧图像相邻行之间的强相关性为切入点, 利用卡尔曼算法可预测未知状态和快速收敛等特点, 对下一行扫描的灰度值进行预测, 达到了良好的预测效果。

## 1 积分时间控制的卡尔曼过程

### 1.1 提高动态范围的主要方法

业界提高动态范围的方法有很多, 文献 [3] 主要将定标积分时间方法引入到了红外探测器的积分时间控制上。该方法主要先是对物体向外辐射的红外特征信号及与其对应的积分时间做定标处理, 然后建立一个查找表, 并将定标处理的数据存入其中。在下次对这幅场景成像时, 它会根据采集到的第一帧图像的信息来查找第二帧图像的积分时间, 从而达到自适应控制积分时间的目的。

文献 [1] 和 [4] 是采用多次曝光图像融合技术来提高图像的动态范围的。多次曝光图像融合方法就是结合不同曝光图像的互补信息, 并将其组成一个新图像, 从而获得场景更加可靠、全面、准确的图像评价。

文献 [6] 在获取图像积分时间的过程中引入了 LMS 算法, 该文首先提取并分析扫描图像的灰度值, 然后通过 LMS 算法预测下一阶段的积分时间。

综上所述, 提高图像动态范围的主要方法为通过控制积分时间和对已有的图像进行融合两种思路, 目前主要有三种方法。第一种方法根据定标来确定积分时间, 其运用场景比较局限, 只适合于背景比较单一的环境, 并且在成像前需要进行大量的定标工作, 在陌生场景下不能达到高可靠的实时性, 不利于星载红外探测器的应用。第二种方法为图像的后期处理过程, 该方法虽然也能提供高动态范围的图像, 但最终的

结果还得依赖于前端提供的图像质量。第三种方法采用自适应技术通过 LMS 算法对下一时刻的积分时间进行预估, 该方法必须有先验值作为参照, 方能发挥 LMS 算法的特点, 且由于 LMS 算法本身的收敛速度比较慢 [7], 很难被用于实时性要求较高的航天遥感领域。

## 1.2 原理介绍

### 1.2.1 概述

本文从自适应角度针对线列相机的扫描特点引入卡尔曼过程。以线列相机行扫描获得的灰度值的特征为调整的依据, 结合卡尔曼算法, 给出调整的方法, 将卡尔曼过程引入到红外线列相机的积分过程中。具体的思想如图 1 所示。

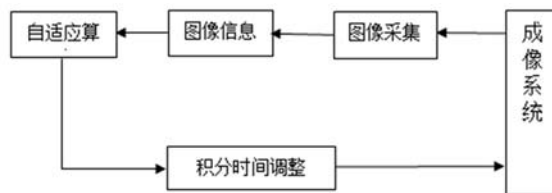


图 1 方法原理图

### 1.2.2 灰度值特征调整的原理

本原理以 8bit 灰度级图像为参照, 将动态范围定义为该图像中最大亮度与最小亮度的比值。动态范围越大, 比值就越大, 即在灰度级图像中尽可能覆盖 0~255 之间的所有灰度级。当曝光时间不够时, 图像的暗部细节会比较模糊; 当曝光时间过多时, 图像的亮处细节会比较模糊, 合适的曝光时间能使图像变得更加清晰。

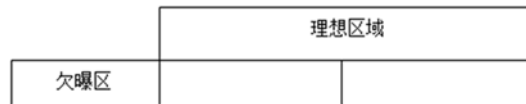


图 2 欠曝状态

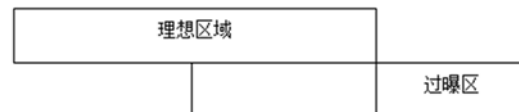


图 3 过曝状态

通过以上分析, 尽量减少过曝光和欠曝光的区域, 得到宽动态范围的图像。对于卡尔曼过程, 通过自适应的方法将扫描一行得到的灰度值

覆盖在 0~255 之间, 达到减少过曝光区和欠曝光区的目的。

### 1.2.3 积分控制的卡尔曼过程<sup>[2]</sup>

根据卡尔曼的预估—校正算法, 给出卡尔曼的时间更新方程和状态更新方程。

时间更新方程为

$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + BU_{k-1} \quad (1)$$

$$\hat{P}_k = A\hat{P}_{k-1}A^T + Q \quad (2)$$

状态更新方程为

$$K_k = \hat{P}_k H^T (H\hat{P}_k H^T + R)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k + K_k(Z_k - H\hat{x}_k) \quad (4)$$

$$\hat{P}_k = (I - K_k H)\hat{P}_k \quad (5)$$

一帧图像中相邻两行像素值比较接近, 其灰度分布直方图的分布特性趋近, 根据式 (1), A 的取值为 1。要估计 K 时刻实际的 0~255 像素值统计, 根据式 (4), 首先要根据 K-1 时刻 0~255 之间的实际像素统计值, 再通过 K 时刻实际测量

到的像素统计值分布, 通过式 (4) 来估算 K 时刻 0~255 之间的像素统计值, 在不断循环迭代的过程中不断更新式 (3) 和式 (5) 中的卡尔曼增益和协方差。根据上一状态便可快速预测出下一状态的方法, 达到对下一次积分的像素统计值进行实时预测的目的。

## 2 仿真结果及其分析

### 2.1 样本数量的选定

上文介绍了积分时间的判断依据和算法原理, 明确了积分时间对于动态范围的影响<sup>[5]</sup>。根据红外线列探测器的扫描特性, 一次行扫的样本数量的随机性比较大, 在地球盘面和宇宙背景的边界等处, 灰度分布变化将会比较剧烈, 不利于快速收敛。本节利用 MATLAB 仿真探讨在卡尔曼算法下输出趋于稳定的样本。

图 4 是单列为 256 像元的探测器进行 N(N=1、2、3、4、5、6) 行扫描后获得的二维图像, 图中纵轴为一次扫描样本点的数量, 横轴为扫面次数。

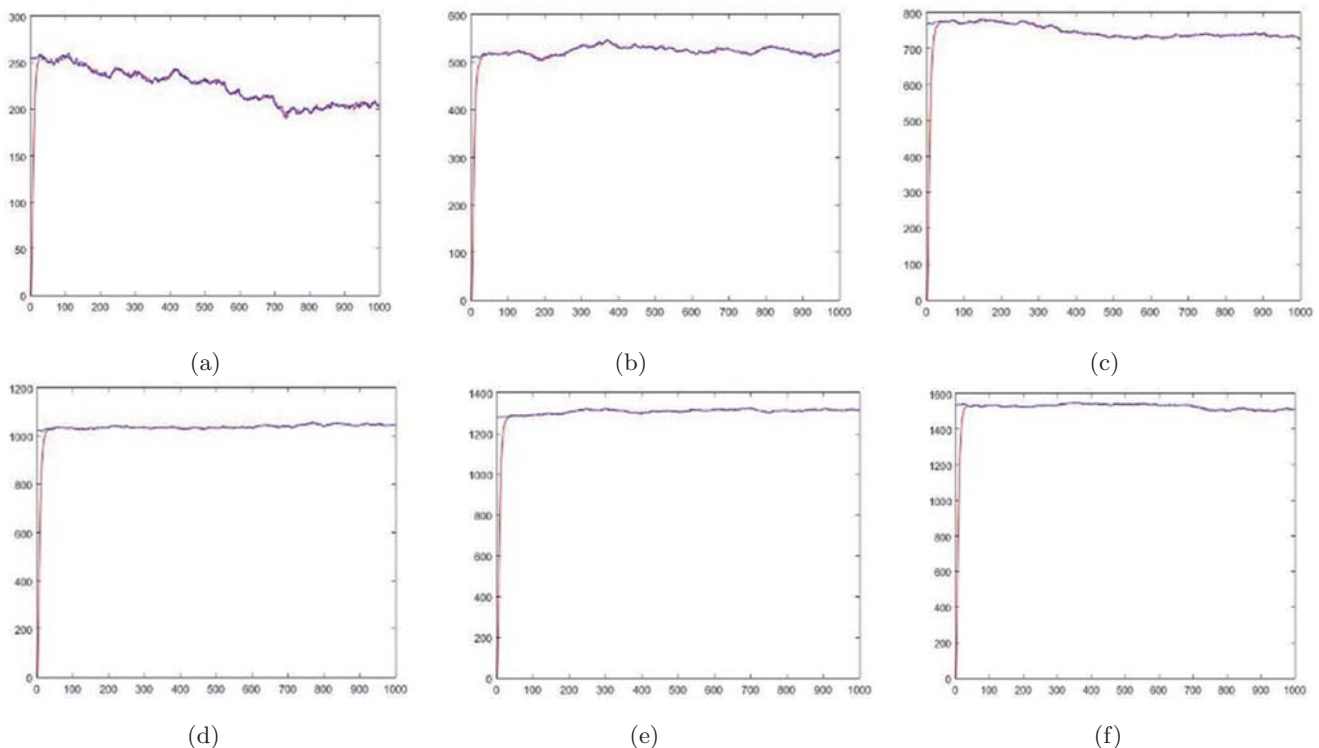


图 4 扫描不同像素点预测

由仿真可以得到,一次扫描的样本点越多,得到的预测值将会更加稳定。当  $N$  大于 3 时,卡尔曼预测的稳定度将会大大提高,这对将来把卡尔曼算法实际运用于线列相机中时的选型工作有很大的参考意义。

## 2.2 仿真结果

本次仿真采用地面测试图像生成预测结果,针对两种不同的环境进行测试,分别生成了灰度分布直方图和预测图像,其中灰度值预测图的横轴为扫描次数,纵轴为每次预测的 0~255 之间灰度值总数。

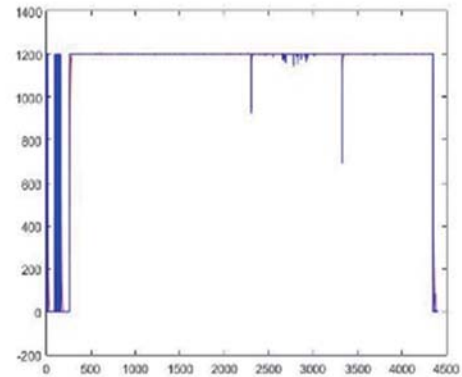
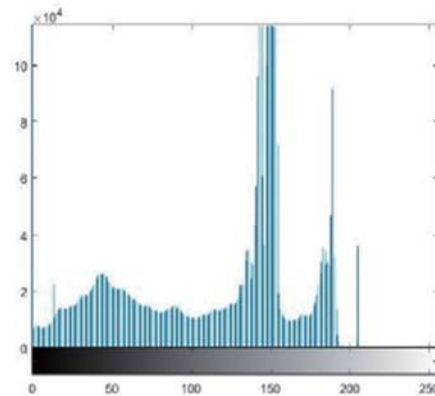


图 5 场景一灰度分布直方图及预测图

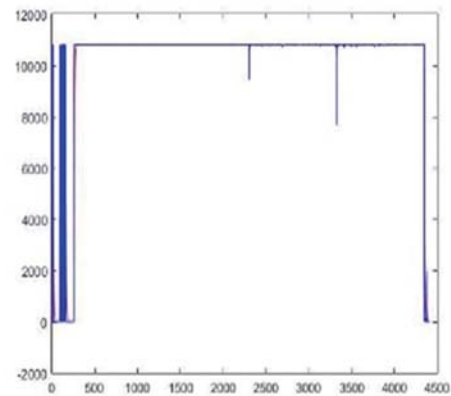
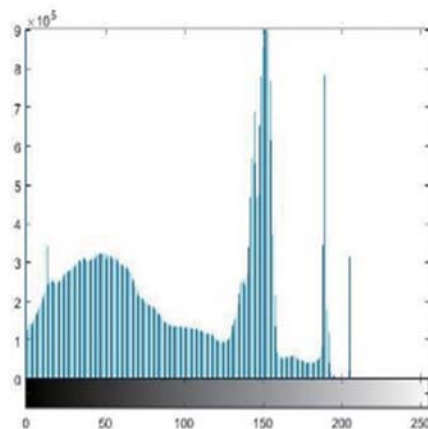


图 6 场景二灰度分布直方图及预测图

由图 4 和图 5 可以看出,引入的卡尔曼过程能稳定预测下一刻的灰度分布值数,并且能达到快速的收敛状态,整个过程都能通过自适应的方式进行控制,减少了大量的人工干预。将算法运用到相机后,能在行扫过程中不断优化最佳的积分时间,并在快速达到稳定后,得出下一时刻的灰度分布,分布基本上都集中在 0~255 之间。结果有利于图像明暗细节的清晰展现,充分挖掘了红外线列相机自身的潜力,提高了动态范围,能为后端的图像处理提供稳定可靠的数据,也为人工智能的星上运用提供了探索依据。

### 3 结论

主要针对红外线列相机的积分时间做了自适应的改进及探索。引入的卡尔曼过程能快速稳定地预测下一时刻积分的灰度分布值。充分发挥了卡尔曼算法的优点, 通过从前端减少人工干预的方式, 不断挖掘了红外线列探测器的潜力。另一方面, 它又能减少星上红外探测器的外围设备开销, 大大节省昂贵的卫星空间资源。

不过本方法还有一些不足的地方, 比如在进行卡尔曼预测之前还缺乏对未知且信息量巨大的场景进行分类的有效手段。这个问题的解决将有助于卡尔曼过程更快速地介入到积分预测阶段, 从而进一步提高星上红外探测器的灵敏度。

### 参考文献

- [1] 胡燕翔, 万莉. 大动态范围多曝光图像融合方法 [J]. *计算机工程与应用*, 2014, **50**(1): 153-155.
- [2] 彭丁聪. 卡尔曼滤波的基本原理及应用 [J]. *软件导刊*, 2009, **20**(11): 32-34.
- [3] 王锐, 邵晓鹏, 徐军, 等. 基于定标积分时间法提高红外成像系统动态范围的研究 [J]. *红外技术*, 2009, **31**(07): 381-385.
- [4] 陈浙泊. 高动态范围成像技术的研究 [D]. 浙江大学, 2009.
- [5] 李福巍, 张运强. 积分时间对红外焦平面成像系统的影响 [J]. *应用光学*, 2008, **29**(5): 727-730.
- [6] 陶坤宇, 李福巍, 周彦平, 等. 红外焦平面成像系统动态范围自适应技术研究 [J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(2): 265-269.
- [7] 李福巍. IRFPA 成像系统动态范围自适应调整技术研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2007.
- [8] 纪利娥, 杨风暴, 王志社, 等. 基于边缘与 SURF 算子的 SAR 与可见光图像配准方法 [J]. *应用光学*, 2013, **34**(5): 809-814.
- [9] 石雅箬. 改进的 SURF 图像配准算法研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [10] 赵振兵. 电气设备红外与可见光图像的配准方法研究 [D]. 保定: 华北电力大学, 2009.
- [11] Fischler M A, Bolles R C. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography [J]. *Communication of the ACM*, 1981, **24**(6): 381-395.
- [12] 卫建龙, 田铮, 延伟东, 等. 图像多尺度配准的小波域 SURF 算法 [J]. *计算机工程与应用*, 2014, **50**(21): 200-204.
- [13] Wang C, Li S, Shen Y, et al. Evaluation of Feature Detectors and Descriptors for Motion Detection from Aerial Videos [C]. Stockholm: 22nd International Conference on Pattern Recognition, 2014.
- [14] Mahmoud A M, Maras H H, Elbasi E. Measurement of Edge Detection Algorithms in Clean and Noisy Environment [C]. Kazakhstan: IEEE 8th International Conference on Application of Information and Communication Technologies, 2014.
- [15] 方经纬. 屋脊边缘检测算法研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [16] Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology [M]. Salt Lake: Academic Press, 1982.
- [17] 葛玉敏, 李宝树, 梁爽. 数学形态学在绝缘子图像边缘检测中的应用 [J]. *高压电器*, 2012, **48**(1): 101-104.
- [18] 李遨空, 张红梅. 基于数学形态学的图像处理技术应用研究 [J]. *光盘技术*, 2007, **20**(4): 54-55.
- [19] 张春美, 龚志辉, 孙雷. 改进 SIFT 特征在图像匹配中的应用 [J]. *计算机工程与应用*, 2008, **44**(2): 95-97.

(上接第 43 页)