



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2016
05
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像自动聚类 P574



第21卷第5期（总第241期）
2016年5月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院
主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文
编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会
邮政信箱 北京9718信箱
邮 编 100101
电子信箱 jig@radi.ac.cn
电 话 010-64807995
网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)
印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

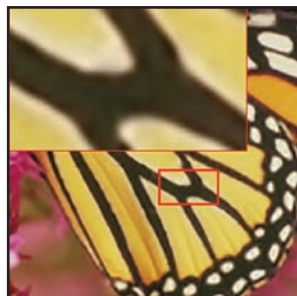
Title inscription: Song Jian Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

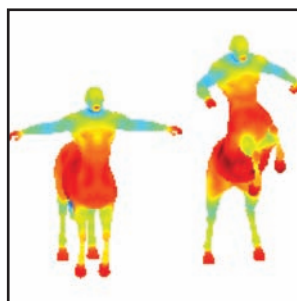
Editor-in-Chief LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China
Zip code 100101
E-mail jig@radi.ac.cn
Telephone 010-64807995
Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)
Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

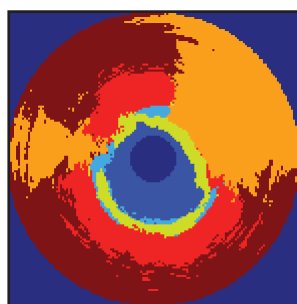
CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ
国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元



利用双通道卷积神经网络的
图像超分辨率算法(第556页)



融合特征描述约束的3维
等距模型对应关系计算(第
628页)



结合先验形状信息和序贯学
习的心血管内超声外弹力膜
检测(第646页)

综述

中国图像工程: 2015

章毓晋 533

图像处理和编码

基于代价敏感Adaboost目标跟踪

薛一哲, 王拓 544

利用双通道卷积神经网络的图像超分辨率算法

徐冉, 张俊格, 黄凯奇 556

图像分析和识别

局部均匀模式描述和双加权融合的人脸识别

任福继, 李艳秋, 许良凤, 胡敏, 王晓华 565

K步稳定的鞋印花纹图像自动聚类

王新年, 舒莹莹 574

空间约束混合高斯运动目标检测

董俊宁, 杨词慧 588

图像理解和计算机视觉

分层信息融合的物体级显著性检测

李波, 金连宝, 曹俊杰, 冷成财, 卢春园, 苏志勋 595

结合区域协方差分析的图像显著性检测

张旭东, 吕言言, 缪永伟, 郝鹏翼, 陈佳舟 605

前景判别的局部模型匹配目标跟踪

刘大千, 刘万军, 费博雯 616

计算机图形学

融合特征描述约束的3维等距模型对应关系计算

杨军, 闫寒, 王茂正 628

一类加权有理插值样条曲面及局部约束控制

刘植, 肖凯, 陈晓彦, 江平, 谢进 636

医学图像处理

结合先验形状信息和序贯学习的心血管内超声外弹力膜检测

林慕丹, 杨丰, 梁淑君, 赵海升, 黄铮, 崔凯 646

遥感图像处理

局部显著特征下的光学遥感图像舷靠舰船检测

李轩, 刘云清, 卞春江, 毛博年 657

长时序高光谱图像清晰度影响因素分析

尚任, 黑保琴, 李盛阳, 覃帮勇, 张九星 665

基于变差函数的中高分辨率SAR影像农村建筑区提取

林晨曦, 周艺, 王世新, 刘文亮, 田野, 张燕楠 674

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

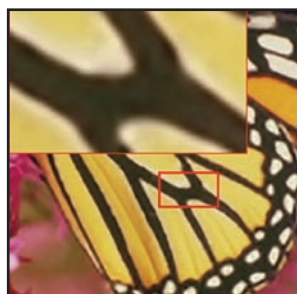
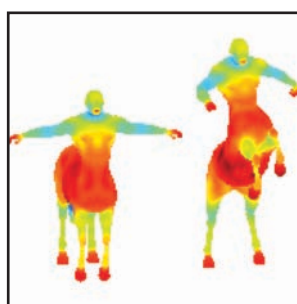
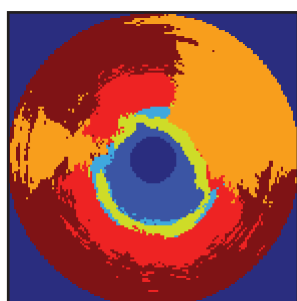


Image super-resolution using two-channel convolutional neural networks(P556)



Calculation of correspondences between three-dimensional isometric shapes with the use of a fused feature descriptor (P628)



External elastic membrane border detection based on for intravascular ultrasound images(P646)

Review

Image engineering in China: 2015	
Zhang Yujin	533

Image Processing and Coding

Object-tracking method based on improved cost-sensitive Adaboost	
Xue Yizhe, Wang Tuo	544
Image super-resolution using two-channel convolutional neural networks	
Xu Ran, Zhang Junge, Huang Kaiqi	556

Image Analysis and Recognition

Face recognition method based on local mean pattern description and double weighted decision fusion for classification	
Ren Fuji, Li Yanqiu, Xu Liangfeng, Hu Min, Wang Xiaohua	565
K-steps stabilization based on automatic clustering of shoeprint images	
Wang Xinnian, Shu Yingying	574
Moving object detection using improved Gaussian mixture models based on spatial constraint	
Dong Junning, Yang Cihui	588

Image Understanding and Computer Vision

Object level saliency detection by hierarchical information fusion	
Li Bo, Jin Lianbao, Cao Junjie, Leng Chengcai, Lu Chunyuan, Su Zhixun	595
Image saliency detection using regional covariance analysis	
Zhang Xudong, Lyu Yanyan, Miao Yongwei, Hao Pengyi, Chen Jiazhou	605
Foreground discrimination in local model-matching tracking	
Liu Daqian, Liu Wanjun, Fei Bowen	616

Computer Graphics

Calculation of correspondences between three-dimensional isometric shapes with the use of a fused feature descriptor	
Yang Jun, Yan Han, Wang Maozheng	628
Weighted rational interpolation spline surfaces and local constraint control	
Liu Zhi, Xiao Kai, Chen Xiaoyan, Jiang Ping, Xie Jin	636

Medical Image Processing

External elastic membrane border detection based on sequential learning and prior shape information for intravascular ultrasound images	
Lin Mudan, Yang Feng, Liang Shujun, Zhao Haisheng, Huang Zheng, Cui Kai	646

Remote Sensing Image Processing

Inshore ship detection method in optical remote sensing images using local salient characteristics	
Li Xuan, Liu Yunqing, Bian Chunjiang, Mao Bonian	657
Analysis of factors influencing clarity of hyper spectral images in long time series	
Shang Ren, Hei Baoqin, Li Shengyang, Qin Bangyong, Zhang Jiuxing	665
Variogram-based rural build-up area extraction from middle and high resolution SAR images	
Lin Chenxi, Zhou Yi, Wang Shixin, Liu Wenliang, Tian Ye, Zhang Yannan	674

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)05-665-09

论文引用格式: Shang R, Hei B Q, Li S Y, Qin B Y, Zhang J X. Analysis of factors influencing clarity of hyper spectral images in long time series[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(5): 665-673. [尚任, 黑保琴, 李盛阳, 覃帮勇, 张九星. 长时序高光谱图像清晰度影响因素分析[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(5): 665-673.] [DOI:10. 11834/jig. 20160514]

长时序高光谱图像清晰度影响因素分析

尚任^{1,2}, 黑保琴¹, 李盛阳¹, 覃帮勇¹, 张九星¹

1. 中国科学院太空应用重点实验室 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100094;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: **目的** 清晰度是评价对地观测成像仪影像数据质量的典型指标之一, 可以反映成像仪对地物边缘变化的敏锐程度。已有的对地观测成像仪在轨测试及图像质量评价方法研究中, 往往关注遥感影像清晰度是否达标, 或监测其变化趋势, 未对清晰度变化影响因素进行深入探讨。针对这一问题, 本文主要对长时间序列的成像仪成像清晰度的变化以及影响因素进行探讨。**方法** 以天宫一号高光谱成像仪短波红外谱段 0 级数据作为研究对象, 首先利用改进的基于边缘检测的清晰度算法计算出影像的清晰度, 其次将各影像数据对应的成像仪工程参数进行筛选, 然后利用 Apriori 算法对长时间序列高光谱影像的清晰度与成像时刻的工程参数进行关联规则挖掘, 利用最小支持度阈值和最小置信度阈值筛选出强关联规则, 并附加提升度和余弦对强关联规则进行验证, 最后结合 3 维散点图对影响清晰度的主要因素进行定量分析。**结果** 经大量测试数据表明, 天宫一号高光谱成像仪短波红外谱段影像清晰度较好, 影响清晰度的主要因素有太阳高度角、拍摄积分时间以及平台稳定性(包括俯仰角、偏航角和滚动角的稳定性)。太阳高度角与图像清晰度呈正相关关系, 即当太阳高度角大于 65° 时, 影像清晰度较高, 当太阳高度角小于 30° 时, 影像清晰度较低; 平台稳定性与图像清晰度呈正相关关系, 即当太阳高度角大于 30° 且小于 65° 时, 平台稳定性高倾向于得到清晰度较高的图像, 平台稳定性低倾向于得到清晰度较低的图像; 拍摄积分时间与图像清晰度呈负相关关系。**结论** 基于关联规则挖掘的长时序高光谱图像清晰度影响因素分析方法是一种有效的分析方法, 可以挖掘出与影像清晰度强关联的工程参数。后续可扩大工程参数范围, 利用此分析方法进一步研究遥感图像其他指标与工程参数的关联关系。

关键词: 清晰度; 长时序; 关联规则挖掘; 高光谱图像; 工程参数; 影响因素

Analysis of factors influencing clarity of hyper spectral images in long time series

Shang Ren^{1,2}, Hei Baoqin¹, Li Shengyang¹, Qin Bangyong¹, Zhang Jiuxing¹

1. Key Laboratory of Space Utilization, Technology and Engineering Center for space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Objective The clarity of remote sensing images is one of typical evaluation indicators for assessing the image quality of Earth-observation payload. The sharpness degree of imaging payload can be determined from the changing gray values at the edge of objects. Currently however, studies on orbit tests of Earth-observation payload and quality evaluation

收稿日期: 2015-10-30; 修回日期: 2016-01-13

基金项目: 中国科学院国防科技创新基金项目(Y3140111WN)

第一作者简介: 尚任(1991—), 女, 中国科学院空间应用工程与技术中心电子与通信工程专业在读硕士研究生, 主要研究方向为空间数据处理。E-mail: shangren0104@163.com

通信作者: 黑保琴, 高级工程师, E-mail: heibq@csu.ac.cn

of remote sensing images focus mostly on whether the clarity values of the remote sensing images reach a certain standard. Very few of these studies conduct further analysis on the factors influencing the clarity of a remote sensing image. To address this issue, we assessed the clarity values of short-wave infrared (SWI) images of Tiangong-1 hyper-spectral payload in a long time series and analyzed the influencing factors on clarity. **Method** First, we calculated clarity using an improved clarity algorithm, which is based on image-edge detection. Then, the corresponding Tiangong-1 hyperspectral payload engineering parameters of the remote sensing images were obtained. Finally, association rule mining was performed using the typical Apriori algorithm on the clarity values of the SWI images of Tiangong-1 hyperspectral payload in the long time series and their corresponding engineering parameters. The association rules were viewed as alternative strong association rules when their supporting and confidence measurements exceeded the set minimum thresholds. Only the alternative strong association rules verified by the addition of the lift interest and cosine interest measurements could be adopted. The influencing factors on the clarity of the SWI images of Tiangong-1 hyper spectral payload were analyzed using the strong association rules and three-dimensional scatter plots. **Result** After testing a considerable amount of data, the results show that the clarity values of the SWI images of Tiangong-1 hyperspectral payload are good. The influencing factors on the clarity of the SWI images of Tiangong-1 hyperspectral images include solar angle, integral time, and platform stability (including the stability of pitch, yaw, and rolling angles). Solar angle is positively correlated with clarity. When the solar angle is larger than 65° , the clarity values tend to be higher, but when the solar angle is less than 30° , the clarity values tend to be lower. When the solar angle is larger than 30° and less than 65° , platform stability is positively correlated with clarity. Integral time has a negative relationship with remote sensing image clarity. **Conclusion** The method of analyzing the factors influencing the clarity of SWI images of Tiangong-1 hyperspectral payload in a long time series is feasible and effective. The relationships between the clarity values of the SWI images of Tiangong-1 hyper-spectral payload and their corresponding engineering parameters have been identified. The scope of engineering parameters should be expanded to identify quantitative and more significant relationships. Furthermore, the association rule mining method could be helpful in analyzing the influencing factors for other remote sensing image evaluation indicators.

Key words: clarity; long time series; association rules; hyper spectral images; engineering parameters; influence factors

0 引言

遥感影像的清晰度是指遥感影像中地物边缘变化的敏锐程度^[1],是衡量遥感影像数据辐射质量优劣的重要指标^[2]。国内外主要对地观测成像仪对遥感影像清晰度的评价体现在成像仪在轨测试数据质量评价中。美国 Landsat 系列、EOS 系列等卫星的遥感图像数据评价指标均包括调制传递函数^[3-5],其中美国国家航空航天局 NASA 制定了数据连续性任务,对多光谱观测数据(如 TM 影像^[4]、MODIS 影像^[5]等)的大量连续历史记录进行分析。法国的 SPOT 系列卫星在轨测试数据质量评价中也包含与图像清晰度相关的指标^[6]。国内的资源系列^[7-8]、环境减灾系列^[9]等卫星的在轨测试内容包括遥感影像部分指标测定,但更侧重于工程参数的测量。我国灾难监测星座 DMC(disaster monitoring constellation)小卫星的辐射性能评价中包含调制传递函数指标,增加了对图像综合质量的评定^[10]。但

由于这些研究仅限于评价清晰度相关指标是否达标,或是分析其变化趋势,并没有进一步探究卫星平台或是成像仪内部影响遥感图像清晰度变化的因素。

遥感影像清晰度作为天宫一号高光谱成像仪数据质量评价体系中必不可少的指标,提出对长时间序列 0 级遥感影像清晰度与影像对应的工程参数进行关联规则挖掘的方法,分析导致高光谱影像清晰度变化的主要影响因素。本文实验数据完备,经数据预处理,基于关联规则挖掘的长时序高光谱图像影像因素分析方法可有效地得到具有工程价值和研究意义的高光谱图像清晰度变化主要影响因素。

1 研究方法

1.1 数据预处理

数据预处理包括遥感影像的裁剪、清晰度指标的提取、工程参数数据的筛选以及关联规则挖掘后图像清晰度以及与之强关联的工程参数的归一化处理。

由于实验遥感图像数据行数较多, 未经裁剪的图像不利于图像清晰度算法的批处理。为保证裁剪后的图像能够代表原始图像, 实验所用的每一轨实验图像数据至少裁剪出3幅子图像, 以子图像求得清晰度的均值代表一轨图像的清晰度。

研究所用的清晰度算法是通过改进基于边缘提取的清晰度算法^[11-13]得到的, 适用于包含条带噪声的实验数据。该算法在计算边缘点8邻域的加权梯度时, 当且仅当最大加权方向是竖直方向上的两个邻域时计算梯度矢量。设置最大搜索距离为3个像素, 依次计算该方向上相邻像素间的梯度值, 然后计算边缘锐度。边缘锐度的计算公式^[12]为

$$E(x) = \frac{\sum [G_i(x)]^2}{[\sum G_i(x)]^2} \quad (1)$$

式中, $E(x)$ 是边缘点 x 的边缘锐度值, $G_i(x)$ 是点 x 处沿 i 方向的梯度值。选取实验数据参考波段, 求得的整幅图像清晰度值即是所有参考波段边缘点边缘锐度的均值。该算法对于计算有条带噪声影响的图像清晰度有较好的准确性与适应性。

由于工程参数数目众多, 包括温度参数、平台参数、时间参数、电参数等, 大部分参数在成像仪在轨运行三年内未发生变化, 或与图像清晰度无明显关联关系, 因此筛选工程参数是长时序高光谱图像清晰度影响因素分析方法的重要环节。

关联规则挖掘后, 为规范图像清晰度以及与图像清晰度有强关联关系的工程参数、增大变化幅度, 对图像清晰度以及与之强关联的工程参数做归一化处理, 值域均变为 $[0, 100]$ 。将归一化后的图像清晰度以及与之强关联的工程参数作为进一步影响因素分析研究的实验数据。

归一化公式为

$$n_x = \frac{p_x - \min}{\max - \min} \times 100 \quad (2)$$

式中, n_x 为参数 x 归一化后的值, p_x 为参数 x 归一化前的值, $\max$ 和 $\min$ 分别代表原参数值的最大值和最小值。

1.2 量化属性的多维关联规则挖掘

关联规则挖掘是数据挖掘领域的重要研究方向之一^[14]。关联规则是形如 $A \Rightarrow B[\text{sup}, \text{con}]$ 的蕴含式, 规则的支持度 (sup) 和置信度 (con) 是规则兴趣度的两种度量, 分别反映规则的有用性和确定

性^[15]。同时满足最小支持度阈值和最小置信度阈值的规则称作强规则。多维关联规则是涉及两个或多个谓词的关联规则^[15]。在多维关联规则挖掘中, 搜索频繁谓词集。

支持度 (sup) 计算公式为

$$\text{sup}(A \Rightarrow B) = P(A \cup B) = \frac{\text{sc}(A \cup B)}{ic} \quad (3)$$

式中, $\text{sc}(A \cup B)$ 表示 $A \cup B$ 的支持度计数, ic 表示频繁谓词总计数。

置信度 (con) 计算公式为

$$\text{con}(A \Rightarrow B) = P(B | A) = \frac{\text{sc}(A \cup B)}{\text{sc}(A)} \quad (4)$$

关联规则挖掘算法采用经典 Apriori 算法^[16], 该算法是有效的可扩展的频繁模式挖掘^[15]和生成规则方法, 面向的频繁模式是布尔频繁项集。针对实验数据特点, 每个谓词在规则中仅出现一次, 称作维间关联规则^[15]。经预处理的图像清晰度和工程参数数据均是离散值, 需将离散值量化, 进而转化为布尔值, 才可作为多维关联规则挖掘 Apriori 算法的输入。研究使用自定义的概念分层, 在挖掘之前完成离散值和布尔值的转化。在算法中使用 Apriori 性质需要两步, 连接步和剪枝步^[15]。连接步中, Apriori 算法通过逐层搜索, 候选产生发现频繁项集, 即 k 项集用于搜索 $(k+1)$ 项集。剪枝步中, Apriori 算法满足反单调性, 即频繁谓词的所有非空子集也必须是频繁的, 由此可以提高频繁项集逐层产生的效率。为减少所产生的规则数量, 并且发现更有意义的规则, 采用基于统计显著性和相关分析 (cor) 的附加兴趣度度量来补充支持度-置信度框架, 扩充成如下形式的相关规则 $A \Rightarrow B[\text{sup}, \text{con}, \text{cor}]$, A, B 表示频繁谓词。余弦^[17]是很好的附加兴趣度度量, 具有零不变性^[15], 即余弦在数据集中包含零事务 (即不包含任何考察谓词集的事务) 情况下不受影响。当规则的余弦度量在 $(0.5, 1]$ 区间内, 表示规则呈正相关关系; 当余弦在 $[0, 0.5)$ 区间内, 表示规则呈负相关关系。但当余弦在 0.5 附近时, 无法确定规则的相关性, 需增加提升度^[18]作为附加的检测加以补充^[15]。关联规则的提升度大于 1 表示规则是正相关的, 提升度等于 1 表示规则涉及的谓词相互独立, 提升度小于 1 表示规则是负相关的。

对于一条关联规则 $A \Rightarrow B$, 余弦 ($\cos$) 计算公式为

$$\cos(A, B) = \frac{P(A \cup B)}{\sqrt{P(A) \times P(B)}} \quad (5)$$

提升度(lif)计算公式为

$$lif(A, B) = \frac{P(A \cup B)}{P(A)P(B)} = \frac{sup(A \cup B)}{sup(A)sup(B)} \quad (6)$$

2 数据介绍

天宫一号高光谱成像仪短波红外谱段光谱范围是 $1 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 共 64 个有效波段, 空间分辨率 20 m, 光谱分辨率 23 nm, 幅宽 10 km。一轨图像的大小是 $n \times 500 \times 64$, 行数 n 的取值一般为 3 000 ~ 7 000, 取值根据角位置变化, 500 是列数, 64 是有效波段数。0 级产品采用 BIL 内部读写, 即按行保存。每个像素 12 bit, 两个字节存储, 灰度值的范围是 $[0, 2^{12} - 1]$ 。根据 DN 值光谱曲线(见图 1), 选取光谱谷峰附近的 30、15、50 波段, 及其各自前后两个波段, 即 29 ~ 31、14 ~ 16、49 ~ 51 共 9 个波段为清晰度参考波段。

研究的实验数据是天宫一号高光谱成像仪短波红外波段 2012 年 4 月至 2014 年 12 月的 65 景运动补偿相同、无云、白天拍摄的 0 级遥感图像数据及其图像对应的工程参数数据, 2012 年共 16 幅, 2013 年共 23 幅, 2014 年共 26 幅。图 2 为实验遥感图像数据 30、15、50 波段两幅合成图像示意图, 可以看出图像主要噪声是条带噪声。数据量总计超过 40 GB, 选取的图像数据观测时间分布均匀, 数据时间示意

如图 3 所示, 图像数据的获取时间已标注在图 3 中。

工程参数包括温度参数、平台参数、时间参数、电参数等。重点研究平台参数中的平台姿态和位置参数(如俯仰姿态角、偏航姿态角、滚动姿态角等)、平台位置参数(经纬度、太阳高度角等); 时间参数(如数据包时间、拍摄积分时间等)。

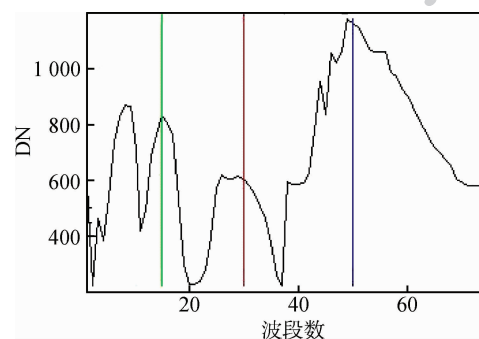


图 1 DN 值光谱曲线

Fig. 1 The spectrum curve of digital number



图 2 实验遥感图像示例

Fig. 2 Examples of testing remote sensing images

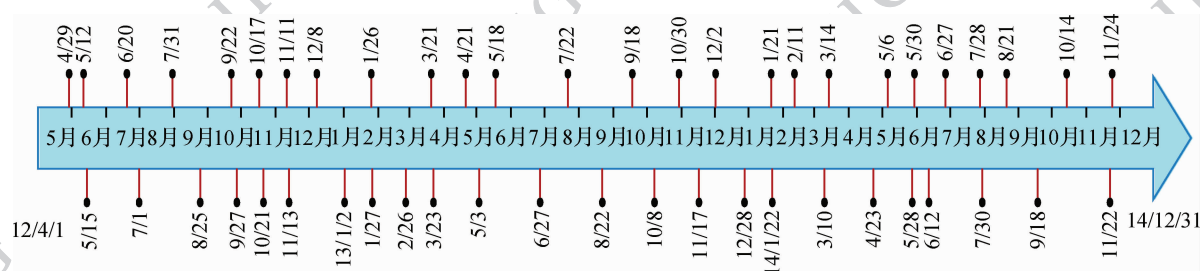


图 3 图像数据获取时间示意图

Fig. 3 The timeline of obtaining images

3 实验与分析

3.1 改进的清晰度算法分析

对于常规的清晰度算法, 条带的存在会降低清晰度评价算法的准确性。对于基于边缘的清晰度算

法, 条带主要影响边缘检测的精确程度。故改进算法的重点在于降低条带现象对清晰度结果的影响。

将一幅 $10\,000 \times 10\,000$ 的高分辨率遥感影像裁剪成 6 个大小为 500×500 子图像, 如图 4 所示。分别对这 6 幅图像均匀添加条带噪声。图 5 以其中一个子图像为例, 添加条带的数目 n 分别是 5、10、



图4 改进算法抗条带噪声干扰能力分析所用实验图像

Fig. 4 Test images of improved algorithm for strip noise resisting ability analyzing

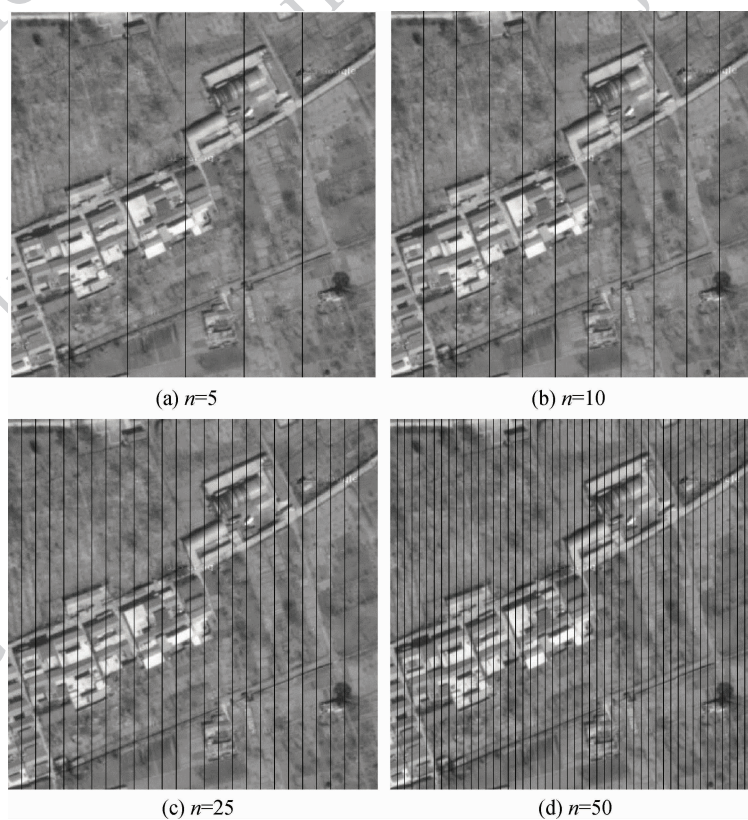


图5 抗条带噪声干扰能力分析所用实验图像添加条带噪声示意图

Fig. 5 Test images of adding strip noise for strip noise resisting ability analyzing

((a) $n=5$; (b) $n=10$; (c) $n=25$; (d) $n=50$)

25 和 50。利用分别添加不同程度条带噪声的 6 幅遥感图像对改进算法抗条带噪声干扰的能力进行验证。

分别利用原算法和改进算法对受不同程度条带噪声影响的实验图像计算清晰度,如图 6 和图 7 所示。图 6 和图 7 对比可以看出,改进算法对于不同程度条带噪声影响的遥感图像得到较为稳定的清晰度值,证明改进的清晰度算法具有较好的抗条带噪声干扰能力。

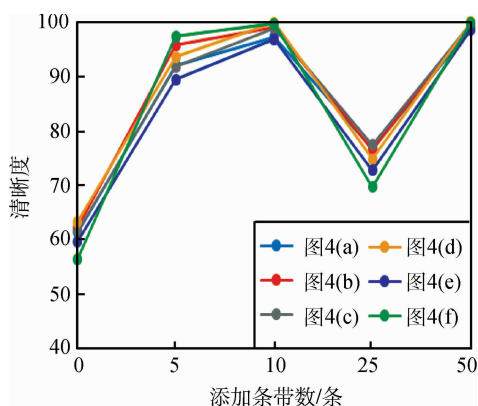


图 6 原清晰度算法散点图

Fig. 6 Scatter plot of the original clarity algorithm

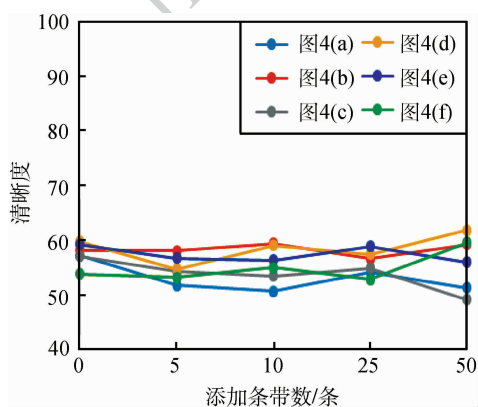


图 7 改进的清晰度算法散点图

Fig. 7 Scatter plot of the improved clarity algorithm

改进的清晰度算法在原算法具有良好的准确性、对不同覆盖类型地物的适应性基础上,保证了不同波段清晰度的稳定性,并有效的降低了条带对清晰度的相关性。因此,改进的基于边缘检测的清晰度算法能够真实地反映实验图像的清晰程度。

3.2 高光谱图像清晰度影响因素分析

经统计,清晰度值超过 80 的图像占 77%,其中 2012 年占 75%,2013 年占 74%,2014 年占 80%,表明高光谱成像仪在轨 3 年来 0 级遥感影像清晰度指

标处在良好水平,故时间因素导致的仪器衰减对图像清晰度的影响不做重点研究。经过对长时间序列实验数据工程参数的筛选,将太阳高度角、相机拍摄积分时间以及拍摄期间俯仰角、偏航角、滚动角的稳定性作为影响因素分析的主要工程参数。故用于挖掘多维关联规则^[15]的 Apriori 算法的谓词共 6 个,包括清晰度以及太阳高度角、相机拍摄积分时间、拍摄时俯仰角、偏航角、滚动角的稳定性 5 个工程参数。

利用改进的清晰度算法得到的清晰度值域为 $[0, 100]$,实验图像清晰度值实际分布在 $(77, 92)$ 区间内。根据算法得到的图像清晰度结合目视解译,以 85 为分割点将图像清晰度量化的,即当目视解译判定图像清晰度较低时,算法得到的图像清晰度往往小于 85,目视解译判定图像清晰度较高时,算法得到的图像清晰度均大于 85。令图像编号为 X , $Cla(X, [77, 85])$ 代表清晰度相对较低的图像, $Cla(X, (85, 92])$ 代表清晰度相对较高的图像。

太阳高度角值域为 $[0^\circ, 90^\circ]$,根据拍摄时当地时间结合船下点经纬度,以 30° 太阳高度角作为分割点将图像量化,其中 $Sol(X, [0, 30^\circ])$ 代表较小的太阳高度角, $Sol(X, (30^\circ, 90^\circ])$ 代表较大的太阳高度角。相机拍摄积分时间值域为 $(0, 12)$,以实验图像的行数为依据,以 4.8 为量化分割值, $Int(X, [0, 4.8])$ 和 $Int(X, (4.8, 12])$ 分别代表较短的拍摄积分时间和相对较长的拍摄积分时间。根据对地观测载荷在轨测试对角度稳定性的判定标准,以 0.01° 为分割点对俯仰角、偏航角、滚动角的稳定性进行量化,将拍摄时变化不超过 0.01° 的角度视为稳定 (stable) 的角度,分别用 $Pit(X, stable)$ 、 $Yaw(X, stable)$ 和 $Rol(X, stable)$ 表示,大于 0.01° 视为有轻微抖动 (jitter) 的角度,分别用 $Pit(X, jitter)$ 、 $Yaw(X, jitter)$ 和 $Rol(X, jitter)$ 表示。其中,太阳高度角大于 30° 的实验数据占 60%;拍摄积分时间不大于 4.8 ms 的实验数据占 49%;拍摄时俯仰角、偏航角、滚动角的稳定性是平台稳定性的体现,与变化角度负相关,且拍摄时角度变化小于 0.01° 的俯仰角、偏航角、滚动角分别占 91%、86% 和 58%。

整合 2012 年 4 月到 2014 年 12 月间 65 幅高光谱成像仪短波红外波段图像,将以上经量化处理的图像清晰度、太阳高度角、拍摄积分时间、拍摄时俯

仰角、偏航角、滚动角的稳定性这6个谓词的所有布尔属性作为关联规则挖掘算法的输入^[19]。设置最小支持度阈值设置为30%, 最小可信度阈值设置为30%。表1不但列出关联规则的支持度和可信度, 而且给出附加兴趣度余弦和提升度的值。由于余弦具有零不变性^[15], 故以余弦为主要附加兴趣度量, 提升度度量在余弦值显示弱相关性或出现相互矛盾的关联规则时做补充判断。在表1中, 由于绝

大多数条件下平台是稳定的, 故出现关于俯仰角、偏航角稳定性的相互矛盾的强关联规则。在余弦值无法区分的条件下, 提升度度量可以给出明确的指示, 由此排除规则3、4和规则7、8; 其余规则余弦和提升度均显示了正相关关系。即太阳高度角、稳定的俯仰角、偏航角、滚动角与高清晰度图像有强关联关系, 长的拍摄积分时间与低清晰度图像有强关联关系。

表1 关联规则兴趣度度量结果

Table 1 The interest results of association rules

序号	规则	支持度/%	可信度/%	余弦	提升度
1	$Pit(X, stable) \Rightarrow Cla(X, (85, 92])$	46	51	0.70	1.07
2	$Cla(X, (85, 92]) \Rightarrow Pit(X, stable)$		100		
3	$Pit(X, stable) \Rightarrow Cla(X, [77, 85])$	42	46	0.60	0.80
4	$Cla(X, [77, 85]) \Rightarrow Yaw(X, stable)$		77		
5	$Yaw(X, stable) \Rightarrow Cla(X, (85, 92])$	43	50	0.67	1.05
6	$Cla(X, (85, 92]) \Rightarrow Yaw(X, stable)$		93		
7	$Cla(X, [77, 85]) \Rightarrow Yaw(X, stable)$	43	50	0.64	0.96
8	$Yaw(X, stable) \Rightarrow Cla(X, [77, 85])$		80		
9	$Rol(X, stable) \Rightarrow Cla(X, (85, 92])$	34	59	0.65	1.25
10	$Cla(X, (85, 92]) \Rightarrow Rol(X, stable)$		71		
11	$Sol(X, (30^\circ, 90^\circ]) \Rightarrow Cla(X, (85, 92])$	34	56	0.63	1.18
12	$Cla(X, (85, 92]) \Rightarrow Sol(X, (30^\circ, 90^\circ])$		73		
13	$Int(X, (4.8, 12]) \Rightarrow Cla(X, [77, 85])$	32	64	0.63	1.22
14	$Cla(X, [77, 85]) \Rightarrow Int(X, (4.8, 12])$		60		

为便于进一步的图像清晰度影响因素分析, 利用平台稳定性定量表示拍摄期间俯仰角、偏航角和滚动角的稳定性。首先, 将拍摄期间俯仰角、偏航角和滚动角的最大变化角度视为平台抖动角, 进行归一化处理, 使平台抖动角值域为 $[0, 100]$, 而平台稳定性的定量表示即是利用100减去归一化后的平台抖动角求得。图像清晰度、太阳高度角与拍摄积分时间均进行归一化处理, 使值域与平台稳定性同为 $[0, 100]$ 。故将实验数据转化为由归一化后的图像清晰度、太阳高度角、拍摄积分时间和平台稳定性组成的影响因素分析实验数据。

选取太阳高度角位于 $[0, 20]$ (约 $[0^\circ, 30^\circ]$) 与 $[80, 100]$ (约 $(65^\circ, 90^\circ]$) 区间内的共30条影响因素分析实验数据, 作如图8所示的3维散点图。图8中3维坐标点的颜色表示图像清晰度。可以看出, 位于 $[0, 20]$ 区间内的太阳高度角倾向于得到清

晰度较低的图像, 位于 $[80, 100]$ 区间内的太阳高度角倾向于得到清晰度较高的图像。经统计, 80%的影响因素分析实验数据满足以上结论。而图8中清晰度高的图像拍摄积分时间较小, 且与太阳高度角的相关系数达到-0.84, 表明拍摄积分时间与图像清晰度呈负相关关系。

平台稳定性反映了图像拍摄期间平台振动情况, 幅度较大的平台振动称为相移, 幅度较小的平台振动称为颤振^[20]。实验图像数据均经过运动补偿, 且运动补偿量相同, 减少了相移的影响, 此时影响平台稳定性的主要因素是颤振。选取太阳高度角位于 $(20, 80)$ (约 $[30^\circ, 65^\circ]$) 区间内的共35条影响因素分析实验数据, 作如图9所示的3维散点图。可以看出, 在太阳高度角适中条件下, 较高的平台稳定性易于得到高清晰度图像。经统计, 约81%的实验数据可以满足以上结论。

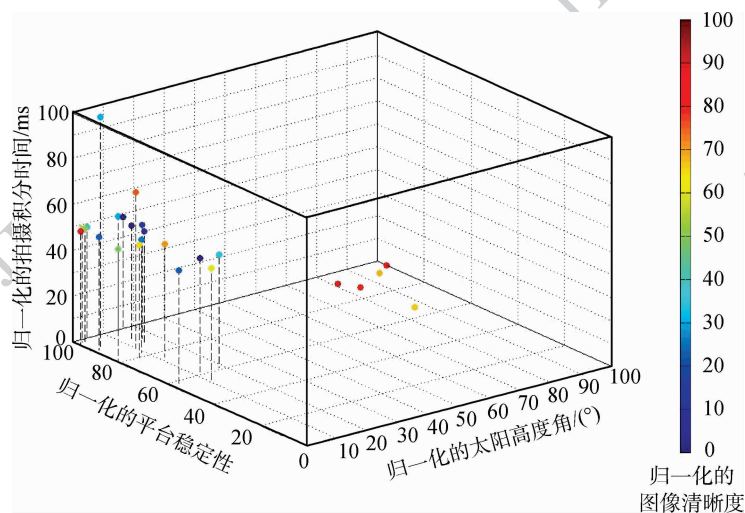


图8 图像清晰度3维散点1

Fig. 8 Three dimensional scatter plot one of clarity

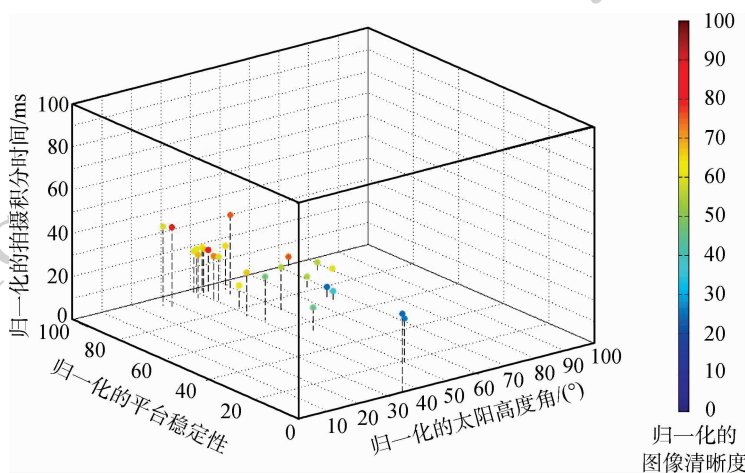


图9 图像清晰度3维散点2

Fig. 9 Three dimensional scatter plot two of clarity

4 结论

实验均匀选取三年来天宫一号高光谱数据及其工程参数数据,通过改进基于边缘提取的清晰度算法提高了对包含条带噪声图像的适应性,基于关联规则挖掘对遥感影像清晰度变化影响因素进行分析。经大量数据测试表明,图像清晰度与太阳高度角、拍摄积分时间、拍摄时俯仰角、偏航角和滚动角的稳定性有强关联关系。

太阳高度角与图像清晰度呈正相关关系,即当太阳高度角大于 65° 时,影像清晰度较高,当太阳高度角小于 30° 时,影像清晰度较低;平台稳定性(包括俯仰角、偏航角和滚动角的稳定性)与图

像清晰度呈正相关关系,即当太阳高度角大于 30° 且小于 65° 时,较高的平台稳定性易于得到清晰度较高的图像;拍摄积分时间与图像清晰度呈负相关关系。

为得到较高清晰度的高光谱图像数据,建议拍摄时尽量控制太阳高度角大于 65° ,避免在太阳高度角小于 30° 的条件下成像,保证合理的拍摄积分时间,并确保拍摄时俯仰角、偏航角和滚动角的变化幅度不大于 0.01° 。

基于关联规则挖掘的长时序高光谱图像清晰度影响因素分析方法是一种有效的分析方法,可以挖掘出与影像清晰度强关联的工程参数。后续可扩大工程参数范围,利用此分析方法进一步研究遥感图像其他指标与工程参数的关联关系。

参考文献(References)

- [1] Wang Q J, Tian Q J. Quality evaluation of LISS3 image from IRS-P6 satellite[J]. Geography and Geo-Information Science, 2007, 23(3): 11-14. [王钦军, 田庆久. IRS-P6 卫星 LISS3 图像数据质量评价[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 11-14.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1672-0504. 2007. 03. 003]
- [2] Liu S, Wang M Z, Wu L, et al. A study on remote sensing image radiation quality metric model based on correlative factors [J]. Imaging Science and Photochemistry, 2014, 32(3): 238-250. [刘飒, 王明志, 吴亮, 等. 基于相关因素的遥感影像辐射质量度量模型研究[J]. 影像科学与光化学, 2014, 32(3): 238-250.] [DOI: 10.7517/j. issn. 1674-0475. 2014. 03. 238]
- [3] USGS, NOAA. Landsat 4 Data Users Handbook [M]. Wang X M, Trans. Beijing: Science Press, 1987. [USGS, NOAA. 陆地卫星 4/5 数据用户手册[M]. 王新民, 译. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [4] Mah G R, Garon H, Mott C, et al. Ground system architectures workshop 2014 Landsat 8 test as you fly, fly as you test[R]. USGS: The Aerospace Corporation with permission, 2014.
- [5] Guenther B, Xiong X, Salomonson V V, et al. On-orbit performance of the earth observing system moderate resolution imaging spectroradiometer; first year of data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1-2): 16-30. [DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00097-4]
- [6] Begni G, Henry P. SPOT image quality: 3 years of results with SPOT 1; the anticipated SPOT 2 performance[J]. Acta Astronautica, 1990, 21(6-7): 391-395. [DOI: 10.1016/0094-5765(90)90056-Q]
- [7] Ma X Z. Data analysis on in-orbit testing of Ziyuan 1-02C satellite [D]. Changchun: Jilin University, 2012. [马熹肇. 资源一号“02C”卫星数据在轨测试分析[D]. 长春: 吉林大学, 2012.]
- [8] Tang X M, Xie J F. On-orbit test and application analysis of ZY-3 satellite[J]. Geomatics World, 2013, 20(2): 37-40. [唐新明, 谢俊峰. 资源三号卫星在轨测试与应用分析[J]. 地理信息世界, 2013, 20(2): 37-40.]
- [9] Shen Z, Bai Z G. HJ-1A/1B satellites in-orbit performance evaluation[J]. Spacecraft Engineering, 2009, 18(6): 17-22. [沈中, 白照广. 环境减灾-1A、1B 卫星在轨测试性能评估[J]. 航天器工程, 2009, 18(6): 17-22.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1673-8748. 2009. 06. 003]
- [10] Chen Z C, Zhang B, Luo W F, et al. On-orbit performance assessment of Beijing-1 microsatellite sensors[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(3): 468-476. [陈正超, 张兵, 罗文斐, 等. 北京 1 号小卫星遥感器性能在轨测试[J]. 遥感学报, 2008, 12(3): 468-476.] [DOI: 10.11834/irs. 20080363]
- [11] Wang H N, Zhong W, Wang J, et al. Research of measurement for digital image definition[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 828-831. [王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 828-831.] [DOI: 10.11834/jig. 200407155]
- [12] Qin B Y. A study on quality evaluation system and methods of hyperspectral remote sensing data[D]. Beijing: University of the Chinese Academy of Science, 2014. [覃帮勇. 高光谱遥感数据质量评价体系及方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.]
- [13] Yang Z H, Li Y H, Li Q X, et al. Image definition criterion based on edge gradient feature[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(10): 35-36. [杨再华, 李玉和, 李庆祥, 等. 基于边缘特征提取的图像清晰度评价函数[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(10): 35-36.] [DOI: 10.3321/j. issn: 1002-8331. 2005. 10. 011]
- [14] Mao Y X, Chen T B, Shi B L. Efficient method for mining multiple-level and generalized association rules[J]. Journal of Software, 2011, 22(12): 2965-2980. [毛宇星, 陈彤兵, 施伯乐. 一种高效的多层和概化关联规则挖掘方法[J]. 软件学报, 2014, 22(12): 2965-2980.] [DOI: 10.3724/SP. J. 1001. 2011. 03907]
- [15] Han J W, Kamber M. Data Mining Concepts And Techniques [M]. Fan M, Meng X F, Trans. Beijing: China Machine Press, 2007. [韩家炜, 堪博. 数据挖掘: 概念与技术[M]. Han J W, Kamber M. 著. 范明, 孟小峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2007.]
- [16] Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules in large databases [C]//Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publ Inc, 1994: 478-499.
- [17] He J, Liu H Y, Du X Y. Mining of multi-relational association rules[J]. Journal of Software, 2007, 18(11): 2752-2765. [何军, 刘红岩, 杜小勇. 挖掘多关系关联规则[J]. 软件学报, 2007, 18(11): 2752-2765.]
- [18] Wang X X. Association rules mining based on the related interest measure[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2013. [王泉翔. 基于相关兴趣度的关联规则挖掘[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2013.]
- [19] Harrington P. Machine Learning in Action[M]. Li R, Li P, Qu Y D, Trans. Beijing: Post & Telecom Press, 2013. [Harrington P. 机器学习实战[M]. 李锐, 李鹏, 曲亚东, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2013.]
- [20] Sun Y. On-orbit platform jitter effect on image quality of high-resolution remote sensor[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences, 2013. [孙阳. 卫星平台在轨颤振对高分辨率遥感器成像质量影响的研究[D]. 长春: 中国科学院大学, 2013.]