

2008年中国信息技术应用 学术研讨会论文集

◎ 孙 平 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

2008 年中国信息技术应用 学术研讨会论文集

主 编 孙 平

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是中国信息产业商会信息技术应用分会的重要学术载体,共收集了120篇学术论文,内容涉及信号与数据处理、电路与系统、计算机技术与应用、网络理论与技术、信息安全技术等,反映了近年来国内信息技术研究与应用的新的学术成果,内容丰富,涉及面广,专业性强,是国内研究信息技术及其应用的重要参考文献。

本书适合于高等院校信息科学技术领域的师生,IT类科研机构的专家、学者,信息科技相关政府主管部门的管理者以及企事业单位技术信息技术应用的实践工作者学习、借鉴和参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

2008年中国信息技术应用学术研讨会论文集/孙平主编. —北京:电子工业出版社,2009.1
ISBN 978-7-121-07879-8

I. 2… II. 孙… III. 计算机应用—学术会议—文集 IV. TP39-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第183548号

责任编辑:董亚峰

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:北京季峰印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:880×1230 1/16 印张:43.25 字数:1300千字

印 次:2009年1月第1次印刷

定 价:160.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:
(010) 88254883。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

21 世纪以来,信息技术不断创新,信息产业持续发展,信息技术应用不断深入,信息化成为全球经济社会显著特征,并逐步向一场全方位的社会变革演进。广泛应用、高度渗透的信息技术正孕育着新的重大突破,信息技术应用也成为当今世界发展的大趋势,成为推动经济社会变革的重要力量。

信息技术在我国国民经济和社会各领域的应用效果日渐显著。农业信息服务体系不断完善;应用信息技术改造传统产业不断取得新的进展,能源、交通运输、冶金、机械和化工等行业的信息化水平逐步提高;传统服务业转型步伐加快,信息服务业蓬勃兴起;金融信息化推进了金融服务创新,现代化金融服务体系初步形成;电子商务发展势头良好,科技、教育、文化、医疗卫生、社会保障、环境保护等领域信息化步伐明显加快。

大力推进信息技术应用,是覆盖我国现代化建设全局的战略举措,是贯彻落实科学发展观、全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会和建设创新型国家的迫切需要和必然选择。但是,我国信息技术应用水平不高,与先进国家相比存在较大差距。在整体上,应用水平落后于实际需求,信息技术的潜能尚未得到充分挖掘,在部分领域和地区应用效果不够明显;信息技术自主创新能力不足,核心技术和关键装备主要依赖进口;信息安全问题仍比较突出;数字鸿沟有所扩大;国内不同地区、不同领域、不同群体的信息技术应用水平和网络普及程度很不平衡,城乡、区域和行业的差距有扩大趋势。

为贯彻落实《2006—2020 年国家信息化发展战略》,及时反映和交流信息技术在经济社会各领域广泛应用的最新学术研究成果,中国信息产业商会信息技术应用分会开展了“2008 年中国信息技术应用学术研讨会”征文活动。征文活动共收到论文 500 余篇,经过严格评审,精选出优秀论文 120 篇,内容涵盖信息技术发展与应用的诸多领域,以促进我国信息技术应用的学术交流与借鉴。

限于时间、条件和水平,本论文集难免存在错误和疏漏,欢迎读者批评指正。

中国信息产业商会信息技术应用分会
二〇〇八年十一月十八日

2008 年中国信息技术应用学术研讨会论文集

编审委员会

主 任：朱鹏举

副主任：张云卿

委 员：朱鹏举 张云卿 孙 平 卢光明 丁 伟 杨 静 林志远

主 编：孙 平

副主编：卢光明 丁 伟 杨 静 林志远

编 辑：孙 平 卢光明 丁 伟 杨 静 林志远 吕 力 张影川

储 青 苏 强 朱 林 张 月 傅甜甜

目 录

第 1 部分 信号与数据处理

高光谱影像端元自动提取与快速光谱角度制图	陈 伟 余旭初 杨国鹏 王 鹤 (3)
基于模板的三维点云拼接技术	刘 伟 刘先勇 袁建英 (10)
视频序列中的运动目标检测	于 海 赵合计 (17)
AR 模型谱估计方法在虚拟频谱仪中的应用	李海玲 鲁芳丽 郑海昕 (22)
中值滤波的并行算法设计与多线程实现	朱金花 陈 勇 (28)
基于航空图像的简化二维 OTSU 结合区域 增长分割方法研究	李 明 杨令宾 (33)
基于径向基函数与三角 Bèzier 曲面的稀疏数据曲面拟合方法	韩舒然 晁永国 张培如 (37)
基于数据挖掘的电力系统故障模式分析	何月顺 杜 萍 丁秋林 (41)
滑动平均的灰色模型 GM(1,1) 在水泥产量预测中的应用	游俊慧 滕少华 (45)
基于 MSNN 的大米外观品质检测及其 MATLAB 实现	孙国祥 汪小昆 刘璎琪 何国敏 (54)
基于软硬件特性可修计算机系统解的存在唯一性	乔 兴 马 丹 包树新 朱广田 (60)
基于运动补偿的视频闪烁去除	吴 刚 张然然 郝鹏翼 丁友东 (66)
圆形特征点的亚像素边缘定位方法研究	陈 菲 杨兆军 李桢楠 武晓杰 (72)
一种增量聚类算法的设计与实现	孟海东 王淑玲 郝永宽 (78)
中文短信分析及其语言模型研究	邓 舒 王小捷 (83)
自相关基音检测算法在音乐哼唱检索系统中的应用研究	杨国田 马永芬 (89)
一种基于模糊聚类的微弱点状目标并行跟踪算法	廉兴科 艾斯卡尔·艾木都拉 (95)
资本市场混沌预测研究	殷惠嘉 徐珠君 郑醒尘 (101)
基于聚类算法高校图书馆阅览室数据分析	宋宇辰 房宜锋 王 威 卢胜利 (108)
基于移动 Agent 的网格资源模糊聚类	郭 东 胡 亮 赵 阔 郭冰心 (113)
一种新的子空间聚类算法	乐耀佳 (119)
粗糙格的性质	方 刚 (125)
基于许可的动态授权算法研究	张冬雯 裴 兴 石柱菊 (129)
基于熵值法的组合智能算法对国家外汇储备的研究	林 权 侍相宇 (134)
提供 Web Service 的开放系统性能随机涨落问题的一个模型	张乃岳 潘 劲 张学燕 (141)
基于 RS+GIS 的滑坡基本信息快速提取	李 松 王治华 华后强 (145)
多目标规划的公共交通系统最优路径算法	许延鑫 熊能平 (151)
中国 CPI 时间序列的 R/S 分析	于怀武 高德智 刘 涛 黄玉梅 (156)
故障灰诊断算法及其应用研究	张明虎 张 骥 朱 森 于小娟 齐 磊 (158)

描述汉字轮廓特征的模糊编码方法及其应用	刘冰彬 (162)
基于 QuickBird 影像的漳江口红树林群落信息提取研究	张东水 王钦敏 张伟 汪小钦 兰樟仁 李 峰 梁海军 (166)
图书馆信息系统的熵理论探讨	任福珍 李卫东 (172)
疲劳驾驶中 Hough 变换椭圆检测的眼睛定位算法	杨秋芬 桂卫华 胡磊生 (176)
面向多方案智能决策支持的多样化知识推理机制研究	魏红芹 (183)
某机载瞄准系统精度测试技术	何红丽 左益宏 赵彩英 冯巧宁 (188)
基于 Allan 方差的 MEMS 误差建模及其粒子滤波	任亚飞 柯熙政 (193)
一种基于类别的改进 KNN 文本分类方法	刘海峰 姚泽清 汪泽焱 刘守生 (199)
WCDMA 系统中一种新的自适应信道估计	郝玉改 张庆荣 苏红卫 (205)
自回归数据流排队队的灵敏度估计	王福祥 张 军 (211)
薄板粘接质量超声检测信号的建模与特征提取	高志奇 (217)
稀疏表示及其在欠定语音盲分离中的应用	王国鹏 刘郁林 罗颖光 (222)
基于多小波的图像处理	王秀碧 (230)
基于软细分和嵌入式的光栅莫尔条纹信号处理方法的研究	常 丽 张晓强 (234)
移动机器人中的多传感器信息融合技术	潘 杰 王丽霞 (239)
一种基于 Out-Tree 任务图的软件人任务分配算法	曾广平 熊海涛 (247)
一种新颖的雷达网干扰资源分配算法	涂拥军 李 静 (256)
GA 和 BP 交替优化神经网络及其在手写体汉字识别中的应用	陈章辉 黄小晖 陈鹏飞 任文艺 李文龙 (261)
PCNN 与 ICMNN 在图像处理中的性能分析	徐光柱 马义德 刘 鸣 任 东 石勇涛 (267)
一种改进的基于 Rao-Blackwellized 粒子滤波器的 SLAM 算法	马 岩 李秀智 崔平远 屠鹤华 (273)
一种特种作业人员受照剂量评价特征属性选取方法	张清辉 慕晓冬 张阳子 杨 楠 (281)

第 2 部分 电路与系统

低噪声 CMOS 可变增益放大器设计	王 会 文光俊 蔡竟业 王永平 (289)
基于多栅技术的 2.5GHz 高线性度正交下变频混频器的分析与设计	周 岩 文光俊 蔡竟业 王永平 李学建 (294)
与 HIS 交融的医学影像建档和通信系统	黄书慧 钟金宏 黄 玲 (299)
DCT 原理及其在视频压缩编码中的实现	孙 娟 高泽华 赵荣华 李 蔚 寿国础 高峰 (304)
VHDL 设计中常见问题及解决方法	熊国海 胡兆伟 郑 东 (311)
基于 ESB 的电信综合管理平台的框架设计	罗长江 刘俊红 刘 炜 (317)
薄煤层综采工作面监控平台信息传输系统研究	王文星 孟国营 王文华 (322)
多媒体通信综述	张占军 梁 镇 (326)
基于嵌入式 Linux 的水质现场分析仪	赵学亮 史 云 冯苍旭 张 磊 (331)
基于嵌入式和人工神经网络的变压器绕组测试仪	刘 军 冯苍旭 时君伟 (336)
基于指静脉识别技术的考生身份认证系统	张永超 王 冠 (341)

基于 AOP 的工作流管理系统研究和设计	王新平	殷 旭	廖 斌 (346)
装备编码管理系统的设计与实现	代冬升	李会杰	李铮铮 (350)
微波谐振腔非电量检测的应用研究	陈 蕊	卢智远	樊永山 陈国强 吴志刚 (353)
基于波导法的管道内原油含水率测量研究	常 丽	李 磊	(359)

第 3 部分 计算机技术与应用

基于 XML 的 XBRL 技术在银行业的应用方案研究	蔡雨涵	朱 娜 (367)
集成化测试与缺陷管理系统的研究与设计	季志平	黎晟沅 柳 青 (372)
面向对象软件的系统级 FMEA 方法研究	田 婕	董 威 齐治昌 (376)
引入动态社区模型的多代理知识获取系统	吴春旭	石 辉 何 俊 (384)
JIT 物流在设备管理的应用研究	匡奕珍	关洪军 (390)
连铸二次冷却基础自动化模拟系统	曹军民 王长松 紫红星 姚淑霞	张玉宝 金学伟 (395)
当代处理器仿真平台的比较与发展方向		孙冠毅 林秀琴 (399)
HLA 兼容性改造方法研究与应用实现	金 雷 茅 坪	叶宙英 李增容 (405)
基于 .NET 技术的科研项目信息管理系统的设计与实现	张 辉	张永波 石 磊 (411)
基于半升云模型的事物多因素综合评价	张冬变 石柱菊	彭 静 王建亮 (417)
基于知识库的收入保障体系结构研究	王 哲	宋茂强 何进才 (422)
软件 SA 分析技术中的线索表应用	严玉梅 曹耀钦	姜学鹏 鹿钰若 (427)
刀片服务器在石油勘探开发地震解释系统中的应用	杨晓云 刘宗环 张连雪 庄建军 韩建民	李淑英 (434)
虚拟机的设计与应用		吴洁明 喻 伟 (445)
基于 Virtools 的 3D 互动场景的设计与实现	滕英岩	张福艳 何宗刚 (449)
电脑建筑表现图中场景快速匹配方法研究		刘卫兵 (453)
基于桌面虚拟现实的实验动物屏障设施管理研究	王丽萍 魏久鸿 陈 建 李东哲	隋 岩 (457)
移动终端侧分词词典机制的研究	安宝贵	胡 玥 曾庆祥 (461)
基于 MATLAB 的 RFID 读写器信号仿真研究	蒋灵都 刘 禹	关 强 王庆林 (467)
基于支持向量机的航空发动机故障诊断研究综述	瞿红春	刘 杰 甘晚燕 (472)
虚拟现实技术在科普教育中的应用	宋乃亮	特荣夫 冯魁中 (476)
基于信息效能模型海战船舶安全管理决策研究	杨春周 战希臣	陈 曦 万 军 (481)
漳江口红树林可视化决策支持系统关键技术研究	张东水 王钦敏 李 峥 汪小秋 兰樟仁	张 伟 梁海军 (487)
基于 UML 的车载电台维修的虚拟仿真训练系统开发与设计	何 彬	叶 军 金 晶 (493)
利用远程教育资源——推进校本教研		张 毅 (498)
提高电子信息工程专业课程设计教学质量的研究	常 丽	杨静山 (501)
西部农村党员干部现代远程教育“村校结合”模式探讨——以贵州为例	汤正仁	张 勤 (505)
基于 ES 和 SVM 的某自行高炮火控系统故障诊断系统设计	段修生	单甘霖 王春平 (511)

第 4 部分 网络理论与技术

基于 Web2.0 的 SNS 网站盈利模式探讨	徐天威 乔 红 张 军 (517)
运动型无线传感器网络节点设计	吴 涛 杨 忠 夏玉亮 陈 卫 樊琼创 (524)
基于 php 的网上办公系统的技术研究与实现	曹 晶 张 媛 (530)
基于 Vitrtools 的虚拟实验室的设计与开发	特荣夫 宋乃亮 冯魁中 (534)
军事网络信息资源配置能力评价	张 琳 石 磊 许 鹏 范文新 (541)
网络中心战通信网络仿真软件的功能分析	葛洲峰 孟荣清 邱晓刚 (547)
基于模糊 Petri 网的无线自组网多速率敏感路由	王 琦 韩江洪 王青山 (552)
一种改进的无线局域网负载均衡机制	李 浩 高泽华 高 峰 赵荣华 李 蔚 寿国础 (558)
有色 Petri 网在舰艇 C4ISR 系统中的应用研究	朱 森 张明虎 (564)
CR 信息感知技术在无线传感器网络信道接入 控制中的应用研究	彭 艺 彭 杰 (570)
基于语义标注的 Web 服务发现机制	张 玮 刘 敏 严隽薇 (576)
Web2.0 导航创新设计研究——社会化导航设计研究	王 超 王晨升 (581)
面向服务架构石油企业信息系统集成解决方案研究	袁星煜 杨 进 董文汇 (590)
链路加权算法在光突发交换网络中的应用	杨 阳 高泽华 赵荣华 宁 帆 李 蔚 高 峰 (594)
缆桥系统同轴电缆多径反射模型	沈 悦 方 吉 蔡家麟 郑正奇 (601)
一种面向服务的协议描述语言及其实现	李 宁 马殿富 (607)

第 5 部分 信息安全技术

基于 Internet 的 CSCW 安全机制的研究	武仁杰 孙佰利 (617)
SOAP 的安全性扩展的研究与实现	曹兴旺 杨正球 (621)
多媒体加密算法中混合光学双稳模型的分析与优化	侯锋鑫 彭德巍 (627)
基于 Android 的行为加密应用系统研究	车 洵 宗 平 (632)
基于超混沌序列密码的视频流加解密	颜 婧 宣 蕾 国纪宁 (638)
基于混沌加密和小波变换的数字零水印算法	陈明建 刘春生 张剑云 (644)
基于硬件监控的嵌入式系统安全增强技术	王 翔 雷 伟 王 林 张 弛 郭 睿 刘志英 (650)
一种支持 CC 的安全需求建模语言——CC-UML	殷 磊 孔宪光 向 冬 (656)
网格计算安全及集成解决方案 GSI	朱晓星 刘学求 (664)
面向 ABAC 的属性证书签发系统研究与实现	赵 楠 郎 波 (669)
基于 XSLT 的 XML 安全研究	冯柳平 齐亚莉 (677)

第 1 部分

信号与数据处理

高光谱影像端元自动提取与快速光谱角度制图

陈伟¹ 余旭初¹ 杨国鹏¹ 王鹤²

(1 信息工程大学 测绘学院, 郑州 450052; 2 北京望神州科技有限公司, 北京 100020)

摘要: 本文提出的基于 ATGP 和 N-FINDR 的高光谱影像端元自动提取方法, 在保证结果精度和稳定性的基础上避免了全搜索策略 N-FINDR 算法的庞大计算量。另外还提出了一种快速光谱角度制图 (FSAM) 算法, 在匹配效果等同于 SAM 的前提下大大减少了计算量。本文算法可对缺乏先验知识的高光谱遥感影像实现全自动非监督端元提取与快速光谱角度制图, 通过对两幅高光谱影像的实验证明了本文算法的可靠性。

关键词: 高光谱影像; 自动目标生成 (ATGP); N-FINDR 算法; 快速光谱角度制图 (FSAM)

Automatic Extracting Endmembers from Hyperspectral Imagery and Fast Spectra Angle Mapping

Chen Wei¹ Yu Xuchu¹ Yang Guopeng¹ Wang He²

(1 Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052; 2 Digital LandView Technology Company Limited, Beijing 100020)

Abstract: This paper bring forward a automatic method to extract endmembers from hyperspectral imagery based on ATGP&N-FINDR, which can avoid huge calculational quantity as a result of use exhaustive search N-FINDR algorithm as well as keep results precise and steady. In addition, it presents a fast spectra angle matching mapping(FSAM) algorithm, which decrease computation cast on the premise that matching effect is similar to SAM. The procedure given in this paper realizes automatic unsupervised endmembers extracting and fast spectra angle mapping for hyperspectral imagery that be short of priori informations. By experimenting on two hyperspectral imagerys, the reliability of algorithms is validated.

Keywords: hyperspectral imagery; automatic target generation process(ATGP); N-FINDR algorithm; fast spectra angle mapping(FSAM)

1 引言

端元提取不仅是使用线性混合模型 (LMM) 对高光谱影像进行混合像元分解的重要步骤, 而且可以为光谱匹配分类提取参考光谱。N-FINDR^[1-3]算法因其参数设置容易、非监督以及效果较好的特点在端元提取中得到广泛的应用。然而 N-FINDR 算法在实现过程中考虑到计算的速度通常不采用全搜索的策略, 因此初值的选择就变得非常重要。本文提出的方法利用自动目标生成 (ATGP)^[4]算法对 N-FINDR 算法进行改进, 首先利用 ATGP 采用从原始数据集中提取一组预选光谱, 其中以很大的概率包含了影像中存在的端元, 在进行 ATGP 的同时利用 VD 算法估计端元的个数, 然后使用两次不同搜索策略的 N-FINDR 算法提取出最终端元, 避免了 N-FINDR 初值选择的随意性和搜索的盲目性提高了结果的可靠性和运算的效率。

2 算法背景介绍

2.1 线性混合模型

线性混合模型 (LMM) 是目前应用最为广泛, 国内外研究最为深入的一种解混模型^[9]。LMM 认为混合光谱中各个端元的丰度即贡献率, 就是该像元对应地面上各种地物所占的面积与总面积的比值。线性混合模型定义为:

$$\gamma = P f_0 + \varepsilon \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m f_i = 1 \text{ 且 } f_i \geq 0 \quad (2)$$

式 (1) 中: γ 是混合像元在 n 个光谱通道上测量得到的 n 维列向量; P 是 n 行 m 列的矩阵, 它的每一列代表一个端元向量; f_0 是 m 个端元丰度所组成的 m 维列向量; ε 为 n 维误差项。

式 (2) 是丰度非负和总和为 1 的约束条件。

使用残差 ε 或均方根误差 RMS 作为 LMM 的评价标准, RMS 的定义如下:

$$\text{RMS} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

从凸面几何学的角度可对线性混合模型做出如下的解释: 高光谱数据云在其特征空间中形成一个凸面单形体 (convex simplex), 单形体是指在 D 维空间中最简单的形状, 如二维空间中的三角形, 三维空间中的三棱锥等, 我们以两个波段三个端元的情况来说明问题, 如图 1。通常认为端元应该位于单形体的端点上, 而位于凸面单形体内或其表面上的点就被认为是混合像元, 本文算法借助这一特点结合 ATGP 的原理和 N-FINDR 算法进行端元提取。

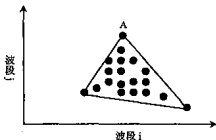


图 1 2 波段 3 个端元

2.2 自动目标生成算法 (ATGP)

ATGP 基于 Harsanyi 和 Chang 等人提出的正交子空间投影 (OSP)^[5, 8] 的思想, 通过反复迭代的方式得到一组预选端元, 其具体过程如下。

1. 按 $d_0 = \arg\{\max_s s^T s\}$, 其中 s 为光谱矢量, 从原始高光谱数据集选择模最大的光谱矢量作为初始目标 d_0 。设 $n=1$ 和 $U_0 = [d_0]$, 并构造投影矩阵:

$$P_{U_0}^\perp = I - U_0(U_0^T U_0)^{-1} U_0^T \quad (4)$$

2. 在第 n 次迭代中将 $P_{U_{n-1}}^\perp$ 作用于高光谱数据集的每一条光谱矢量得到第 n 个目标 d_n 满足:

$$d_n = \arg\{\max_s [(P_{U_{n-1}}^\perp s)^T (P_{U_{n-1}}^\perp s)]\} \quad (5)$$

此时 $U_{n-1} = [d_1, d_2, \dots, d_{n-1}]$ 是在第 $n-1$ 次迭代中得到的目标光谱矩阵。值得注意的是, d_n 应该是原始数据集中相应位置的光谱矢量而不是经过投影变化后的矢量

3. 当 $n < p$ 时, 其中 p 为预先设定的预选端元的个数, 设 $U_n = [U_{n-1}, d_n]$, 继续第二步进行第 $n+1$ 次

迭代, 否则跳出循环, 执行下一步。

4. 循环结束, 得到 p 个预选端元 $\{d_0, d_1, d_2, \dots, d_s\} = \{d_0, U_n\}$ 。

3 使用 N-FINDR 提取最终端元

根据凸面几何学理论, 端元位于高光谱数据云形成的单形体的角点上, N-FINDR 算法正是基于以上的理论, 通过寻找高维空间中单形体体积最大的矢量集合来寻找高光谱数据集中的端元。N-FINDR 算法需首先对原始数据集降维, 降维后的数据维数 D 应该满足 $D=N-1$, 其中 N 为预先设定的端元个数。实验中我们采用的是最小噪声分离 (MNF) [10] 变换对原始数据集进行降维, MNF 变换后的数据各维之间去除了相关性并且按照信噪比降序排序, 取前 $N-1$ 维进行端元提取。

3.1 使用 VD 确定端元个数

端元个数 N 的设定通常需要对原始数据有一定的先验知识, 本文中我们采用基于 OSP 的 Virtual Dimensionality (VD)^[6] 方法来估计原始数据的端元个数, 从而避免了对先验知识的依赖。根据 VD (OSP) 算法原理以及 ATGP 进行端元预选的过程设计了以下算法流程。

1. 在第 $n-1$ 次 ATGP 之后得到预选端元矩阵 U_{n-1} , 令 $E_n = [d_0, d_1, d_2, \dots, d_{n-1}]$ 。

2. 利用 E_n 作为端元对原始数据集进行最小二乘分解, 得到每条光谱的丰度向量 $\{f_1, f_2, \dots, f_M\}$, 其中 M 为原始数据集中光谱总条数。

3. 按照式 (6) 计算 $OSP(n)$:

$$OSP(n) = E_n \bar{f}_n \bar{f}_n^T E_n^T + E_n^T R_n E_n \quad (6)$$

其中 $\bar{f}_n = (1/M) \sum_{i=1}^M f_i$, R_n 为噪声协方差矩阵, 近似的也可忽略 $E_n^T R_n E_n$, 实验中我们按照

$$OSP(n) = E_n \bar{f}_n \bar{f}_n^T E_n^T$$

4. 重复 1 到 3 步计算得到 $OSP(n+1)$ 。

5. 按照式 (7) 计算 ξ , 如果 ξ 小于预先设定的阈值 ε 则停止循环得到 $OSP(n)$ 的结果为 n , 否则继续。实验中我们设 $\varepsilon = 10^{-4}$ 。

$$\xi = \left| \frac{OSP(n+1)}{OSP(n)} - \frac{OSP(n)}{OSP(n-1)} \right| \quad (7)$$

根据我们的经验, 一幅遥感影像中端元的个数很少有少于 4 个的情况, 因此在实验中我们从第三次 ATGP 完成后开始计算 VD (OSP), 这可减少相当的计算量。

3.2 N-FINDR 算法提取最终端元

通过 VD (OSP) 我们得到了端元个数的估计 N , 然后采用 MNF 对原始数据进行变换, 取变换后的前 $N-1$ 个波段得到 $\{e_1, e_2, \dots, e_M\}$ 。从 M 个向量中取任意 N 个组成矩阵, 见式 (8)。

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ e_1 & e_2 & \dots & e_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

根据式 (9) 计算由这 N 个向量作为顶点在 $N-1$ 维空间中组成的单形体体积, 体积最大的那组向量就是原始数据的端元。

$$Volume(V) = \frac{1}{(N-1)!} abs(|V|) \quad (9)$$

可见如果采用全搜索策略, 体积计算的次数将是 C_M^N 次, 而实际影像的 M 是十分庞大的, 因此经典的和改进的 N-FINDR 算法考虑到计算效率都没有采用完全搜索的策略。使用非完全搜索策略的缺点是初值的选择对算法的结果有很大的影响^[7], 使用全搜索的策略能克服这一缺点, 然而庞大的计算量使其无法在

实际中得到应用。

针对上述问题本文设计了如下的算法。

1. ATGP 提取预选端元以及 VD (OSP) 估计端元个数。
2. 利用 MNF 将数据降维至 N-1 维。
3. 采用全搜索策略的 N-FINDR 算法从 p 个预选端元中提取 N 条向量作为下一次 N-FINDR 的初值, 体积计算次数为 C_p^N , 实验中我们设 $p=2N$ 。
4. 以全搜索 N-FINDR 的结果为初值, 根据非全搜索策略的 N-FINDR 思想, 采用如以下伪代码所示的流程对整块数据进行端元选择, 其结果为最终端元。

```
for 每条影像中的光谱 j
  for 每个端元 i
    if (Volume( $V'_j$ ) > Volume( $V$ ))
       $V \leftarrow V'_j$ 
```

```
return V
```

野值点广泛存在于高光谱影像数据中, 要避免将野值点选入端元集中。野值点通常和其周围的点具有较小的相关性, 根据这一特点综合考虑计算的复杂度我们以待测点为中心开辟一个 $r \times r$ 的窗口, 以式 (10) 计算向量间的广义夹角余弦值作为相似性度量, 其中 b 为波段数。在此窗口中如果有大于 t 个像元与中心像元的光谱夹角余弦大于阈值 $\cos(\theta)$ 则认为中心像元不是噪声。我们在实验中将参数设置为: $r=11$, $t=10$, $\theta=3$ 。

$$\cos(A) = \frac{\sum_{i=1}^b L_i I_i}{\left(\sum_{i=1}^b L_i^2\right) \left(\sum_{i=1}^b I_i^2\right)} \quad (10)$$

使用本文的算法, N-FINDR 体积计算的次数降低到 $C_p^N + M \cdot N$, 远远小于全搜索策略的 C_M^N , 与非全搜索策略的 N-FINDR 相比保证了结果的鲁棒性, 增加的计算量也在可承受的范围之内。

4 快速光谱角度制图法 (FSAM)

光谱角度制图 (SAM), 是按照等式 (10) 计算两条光谱矢量间的广义夹角余弦来决定两者的匹配程度。经典的 SAM 需要计算影像中 M 条光谱矢量与 N 条参考光谱间的夹角, 本文设计的 FSAM 算法通过计算得出阈值的上下限, 从而使影像光谱只需与满足阈值条件的参考光谱进行匹配, 与经典 SAM 相比能显著减少计算量, 具体算法流程描述如下。

1. 计算端元集的均值向量并转化为单位向量作为参考向量 RV, 并预设光谱角度阈值 ϕ 。实验中我们设 $\phi=3$ 。

2. 按照 $b_i = \left\langle \frac{E_i}{\|E_i\|}, RV \right\rangle$, 计算得到一个 N 个元素的数组 B, 其中 $\langle *, * \rangle$ 为两条向量的点乘, E_i 为第 i

个端元, RV 为参考向量, N 为端元个数。

3. 对于影像中每条光谱向量 X_i 计算

$$a'_{\min} = \langle X_i, RV \rangle - \sqrt{2(1 - \cos(\phi))}$$

$$a'_{\max} = \langle X_i, RV \rangle + \sqrt{2(1 - \cos(\phi))}$$

4. C 为一个含有 N 个零元素的数组, 对于满足 $a'_{\min} < b_i < a'_{\max}$ 的情况令 $C_i = 1$, 计算 $\text{sum}C = \sum_{i=1}^N C_i$ 。

5. 如果 $\text{sum}C = 1$, 则此时有且仅有一个 $C_k = 1$, 将 X_i 分配给第 k 类。

6. 如果 $1 < \text{sum}C < N$, 计算 X_i 与每个对应 $C_i = 1$ 的 E_i 的夹角余弦, 并将 X_i 分配给余弦值最大的那类。
7. 如果 $\text{sum}C = N$ 或 $\text{sum}C = 0$, 计算 X_i 与每个 E_i 的夹角余弦, 并将 X_i 分配给余弦值最大的那类。

5 实验分析

根据本文提出的算法原理, 基于 Matlab7.0 开发环境编写了实现代码, 对两幅高光谱影像进行了端元自动提取和 FSAM 实验。

实验数据一: PHI 成像光谱仪 1999 年 9 月获取的江苏省常州市影像, 光谱范围 $0.42 \sim 0.85 \mu\text{m}$, 共 80 波段, 从原始影像中选择一块 200×200 像元的数据进行实验。实验区域三波段合成假彩色图像如图 2 所示, 波段为: R=60, G=40, B=20。



图2 常州地区假彩色影像

实验数据二: 由 AVIRIS 成像光谱仪获取的美国内华达州 Cuprites 矿区影像, 大小 400×350 , 光谱范围 $1.99 \sim 2.48 \mu\text{m}$, 共 50 波段 (原始数据 172~221 波段)。实验区域三波段合成假彩色图像如图 3 所示, 波段为: R=183, G=193, B=207。



图3 矿区假彩色影像

实验一: 使用本文提出的算法对影像进行端元提取, 我们在实验中设 ATGP 预选端元的个数为 VD (OSP) 结果的两倍, VD (OSP) 算法对两幅影像得出的端元个数估计分别为 5 和 8, 最终端元的在影像中的位置分别如表 1 和表 2 所示。

表1 常州地区影像端元位置

端元 1	端元 2	端元 3	端元 4	端元 5
183/37	10/45	178/81	179/22	94/172

表2 矿区影像端元位置

端元 1	端元 2	端元 3	端元 4
84/290	34/337	327/182	285/256
端元 5	端元 6	端元 7	端元 8
252/142	231/193	142/166	49/280

实验二: 使用端元作为参考光谱对两幅高光谱影像进行 FSAM 和 SAM, 两幅影像的 FSAM 与 SAM