

系统工程理论与应用

——贵州省系统工程学会第七届学术年会论文集

SYSTEMS ENGINEERING THEORY AND APPLICATION

VII

王红蕾 陈建中 © 主 编
贵州省系统工程学会



贵州大学出版社
Guizhou University Press

系统工程理论与应用 7

——贵州省系统工程学会第七届学术年会论文集

SYSTEMS ENGINEERING VII THEORY AND APPLICATION

王红蕾 陈建中 © 主 编

贵州省系统工程学会



贵州大学出版社
Guizhou University Press

图书在版编目（C I P）数据

系统工程理论与应用. 7 / 王红蕾 , 陈建中主编

. -- 贵阳 : 贵州大学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5691-0072-3

I. ①系… II. ①王… ②陈… III. ①系统工程—文集 IV. ①N945-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第272906号

系统工程理论与应用 7

主编 / 王红蕾 陈建中

出版人：闵 军

责任编辑：但明天 方国进

装帧设计：陈 艺

出版发行：贵州大学出版社（贵阳市花溪区贵州大学北校区内）

印 刷：贵阳精彩数字印刷有限公司

成品尺寸：185 毫米 × 260 毫米

印 张：17.5

字 数：353 千字

版 次：2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-5691-0072-3

定 价：45.00 元

版权所有 侵权必究

本书若出现印装质量问题，请与出版社联系调换

电话：0851-85981027

目 录

01 / 理论探索

贵州省农业资源海量信息管理平台设计研究 / 王小宇, 周忠发, 黄登红, 张勇荣, 吴跃	003
基于多尺度非局部代价聚合的立体匹配算法研究 / 王飞, 王林, 张儒良	009
混合动力挖掘机的研究现状与技术趋势 / 张钧星	016
基于实景的自动监控报警系统设计与实现 / 吴跃, 周忠发, 黄登红, 王小宇, 崔亮	027
基于多智能体的人工股票市场模型框架研究 / 余鹏	037
卧式数控车床 Z 轴进给系统的优化设计 / 林炜民	050
不可延期交货情形下零部件库存系统控制策略 / 贺庆仁, 史冉冉	059
一种改进的 SLIC 超像素分割算法 / 程远菲, 王林	068
智能机床发展调研报告 / 穆康奇, 李少波	073

02 / 应用技术

基于区块链存证的 PPP 信任机制研究 / 王红蕾, 袁帅	089
氧化铝智能工厂信息系统架构研究 / 王春江, 邵芳, 高应波	095
基于 ARMA 模型的黄金挂钩型理财产品定价研究 / 王雅琪, 金良琼	102
自适应粒子群算法在配送中心选址问题中的应用 / 龙圣杰, 吴有富	108
电网企业全面风险管理体系建设探索——以中国南方电网为例 / 龙前朋	116
基于优化的 PCA 和 SVM 人脸识别 / 卢昌义, 王林, 张儒良, 黄成泉	128
基于改进 GRNN-MIV 指标筛选算法及其在区域经济评价体系中的应用研究 / 吕亚楠, 吴有富, 刘衍民	139

基于组合权重的模糊 TOPSIS 方法在区域可持续发展中的应用研究
 / 张金磊, 陈建中 146

我国“汇改”对黄金避险能力影响的实证分析 / 杨华蔚, 刘炜, 邬超奇 158

贵州省贫困户分类的决策树算法 / 徐子卿 165

中心极限定理的随机模拟及福彩奖金总额估计 / 游贤菲 176

基于系统动力学的高校科研创新团队知识共享影响因素分析 / 彭妍杰, 王婷 184

03 / 应用经济

黔东南大数据产业发展的优劣势研究 / 王秀峰, 刘隽, 等 195

大数据背景下企业差异化战略制定三维原则模型 / 王振华 220

基于 Landsat 数据的土地利用变化类型空间转移研究——以贵州省
 龙里县为例 / 汤云涛, 周忠发, 陈全, 黄登红, 闫利会 227

网络扶贫成功案例及其对贵州的启示 / 陈寅雅 236

贵州省固定资产投资形成率分析 / 张瑞, 黄东兵 246

略论乡村旅游电子商务发展实践对贵州的启示 / 郭蓓 252

高原山区城市遥感大数据云平台构建研究 ——以贵阳市为例
 / 黄登红, 周忠发, 牛颖超, 闫利会, 李波 259

基于城镇、农业和生态三类空间的可利用土地资源评价——以贵州省
 盘州市为例 / 谭玮颐, 周忠发, 冯倩, 陈全, 闫利会 266

01

理论探索

贵州省农业资源海量信息管理平台设计研究^{*}

王小宇^{1,3}, 周忠发^{2,3**}, 黄登红^{1,3}, 张勇荣^{1,3}, 吴跃^{1,3}

1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵州贵阳, 550001

2. 贵州师范大学地理与环境科学学院 / 喀斯特研究院, 贵州贵阳, 550001

3. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州贵阳, 550001

摘要: 针对当前农业资源信息数据存在体量大、种类多、价值密度低等诸多特点, 提出了综合应用 3S 技术、网络技术、数据库技术和时空信息大数据挖掘等技术, 以 C/S 和 B/S 混合应用模式设计, 采用 SOA 架构和 OGC 标准服务, 构建贵州省农业资源信息管理平台的农业资源大数据管理与应用服务的解决方案。该平台具备用户权限管理、查询统计、专题分析、图件输出与管理、网络信息填报、标准服务接口等功能模块, 为全面开展全省农业资源管理, 促进农业资源数据的高效管理、科学分析和创新运用奠定技术基础, 助力贵州省农业大数据发展, 服务大扶贫和农业产业脱贫攻坚部署。

关键词: 农业资源; 管理平台; GIS 与遥感; 海量数据

引言

贵州地貌以高原山地为主, 喀斯特地貌显著, 山多坡陡田少, 耕地破碎且分散, 水土流失严重。农业经济发展相对较滞后, 因而不能依靠传统的思维和常规路径发展农业。近年来, 随着社会经济发展, 贵州高度重视农业的发展, 并在“十三五”规划中提出了贵州省特色现代山地高效农业的发展路径。^[1] 由“粗放型”农业向运用遥感技术、计算机网络技术、地理信息技术等高新技术的“精细型”现代农业转变。随着农业信息化的推进, 各类农业资源信息都在增加, 农业资源管理工作面临着新的发展形势和机遇。^[2] 因此, 资源的合理开发和可持续利用更是受到人们的关注。

在大农业发展以及现代山地高效农业发展的背景下, 亟须变革农业资源数据管理方式和挖掘数据价值方式。如何加快建设一个适应现代农业科学研究的多样化、标准

^{*} 基金项目: 贵州省科技计划“基于北斗卫星的山地高效农业产业园区智能管理系统开发与应用”(黔科合 GY 字〔2015〕3001), 贵州省高层次创新型人才培养计划——“百”层次人才(黔科合平台人才〔2016〕5674), 国家遥感中心贵州分部平台建设(黔科合计 Z 字〔2012〕4003)(黔科合计 Z 字〔2013〕4003)。

^{**} 王小宇, 女, 贵州遵义人, 硕士研究生, 地理信息系统与遥感, 电子邮箱 wxy3885@sina.com。通信作者: 周忠发, 贵州遵义人, 教授, 博导, 地理信息系统与遥感, 电子邮箱 fa6897@163.com。

化、规范化的现代化数据库系统以及海量农业资源信息管理平台是一个迫切需要研究和解决的核心问题。^[3-5]WebGIS 在很多领域得到了迅速普及,其中在农业领域和区域农业可持续研究方面表现突出,以现代科学网络技术为支撑,通过各种农业资源数据库和地理信息系统的应用,使农业资源地理信息系统的功能更先进,应用更全面,其次在土地的农作物适宜性评价、农业经济与环境评价和农业病虫害防治等领域也进行了深入的探索。^[6]农业资源信息管理平台不仅可实现农业资源信息数据的动态实时管理和监测的空间业务智能应用,还可以形成一套可复制推广的农业资源时空信息聚合管理和数据价值挖掘技术体系,同时,可广泛服务于精准农业、区域农业可持续发展、土地的农作物适宜性评价、农业生产管理与潜力评价、农业生态系统监测等领域。

1. 关键技术研究

以地理网格方法为指导,综合应用 3S 技术、网络技术、数据库技术和时空信息大数据挖掘等技术。^[7]采用现代 SOA 架构软件工程方法和 OGC 标准服务,基于 B/S 和 C/S 混合模式架构的农业标准数据库,依托软硬件支撑环境,充分利用数据库服务器在网络应用程序方面的强大支持功能,构建贵州省农业资源信息管理平台,实现农业资源信息数据的动态实时管理和监测的空间业务智能应用。摸清农业资源底数,满足相关行业和业务部门提供全方位的农业资源信息数据和基础地理信息数据共享、服务共享、应用共享等不同层次的服务需求。为农业资源持续高效利用和现代农业安全生产服务,提高相关部门的管理和决策水平。

1.1 海量数据预处理

运用地理信息技术与遥感技术,通过数据抽取和修整,从现有地理国情普查成果数据中提取园地地块数据,结合最新影像并与农村土地确权数据镶嵌,进行几何纠正和数据匹配,生成园地专题数据。提取修整地理国情普查成果数据中耕地数据,基于农村土地确权数据、地理国情普查数据和国土二调数据,并与园地地块数据以及其他涉农面状数据融合拼接,再通过空间匹配算法识别不同数据集中的同名实体,统一数据空间基准、语义编码等,融合生成农用地地块底图数据,作为农业资源调查工作的地理底图和农业资源信息统计填报基础。

1.2 农业资源信息数据库设计

农业资源信息数据库设计采用统一的时空数据描述框架与多时态空间数据存储与检索技术,将农业资源普查的空间矢量数据、空间属性数据、文本数据、遥感影像数据等多种异源异构异时,农业静态和动态数据成果进行多源空间数据无缝集成。该数据库不仅可以为农业资源信息管理平台提供方便、及时、准确的信息,而且直接关系

到管理平台的各部分能否紧密结合在一起，以及如何相互结合。

1.2.1 农业资源数据分析

近年来，农业相关部门根据各自工作需要，对部分资源开展了阶段性调查、监测及评价工作，积累了大量相关资料数据，诸如农村土地确权数据、地理国情普查数据、国土二调数据、农产品质量检测数据等。尽管大多数农业数据实现了计算机存储，但数据的标准化、统一化、完整性等仍有很大欠缺，因此可将数据分为基础空间矢量数据、空间属性数据、文本数据、遥感影像数据、图片视频数据等类型。

1.2.2 数据库内容

根据农业资源数据类型，将基础空间矢量数据、空间属性数据、文本数据等普查成果数据进行集成，构建农业资源信息数据库，通过自然资源子数据库、社会经济子数据库和其他专题子数据库三大专题子农业资源信息数据库从三个方面进行分类处理，如图 1 所示。

自然资源子数据库：主要包括水资源、农用地资源、气候资源、生物资源等图表数据。

社会经济子数据库：主要包括蔬菜、水果、茶园、畜牧等专题数据的矢量分布、面积以及相关图表信息以及农业合作社以及农业龙头企业的生产和销售基本信息等。

其他专题子数据库：包括园区范围及其他信息、极贫乡镇的产业布局等数据信息。

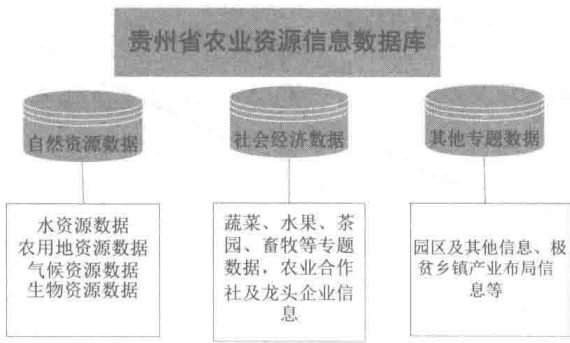


图 1 贵州省农业资源信息数据库

2. 农业资源信息管理平台设计

2.1 C/S 结构模式

系统涉及分散用户的人机交互，包括各种数据的组织与存取以及多种业务数据处理等工作，因此系统总体设计结合 C/S 和 B/S 模式的工作原理和结构特点，采用 C/S 和 B/S 混合架构模式。^[8]C/S 模式由客户端和服务端组成。服务器具有数据采集、控制和客户端通信的功能，客户端包括与服务器通信和用户界面模块。用户通过农业资源

客户端提供的应用界面,发出请求,可以查询农业基础信息、分类统计的农业资源信息、专题信息等,具有响应时间短,实时性好等特点。

2.2 B/S 结构模式

B/S 模式由浏览器、Web 服务器和数据库服务器组成。浏览器为用户提供农业资源信息的查询、分析统计等界面,根据用户需求向 Web 服务器提出请求;Web 服务器执行相应程序与农业资源信息数据库服务器连接;数据库服务器执行数据操作并将运行结果提交给 Web 服务器,Web 服务器利用 HTTP 协议将结果显示在 Web 浏览器上。B/S 模式结构分工明确,在逻辑上各自独立,如图 2 所示。

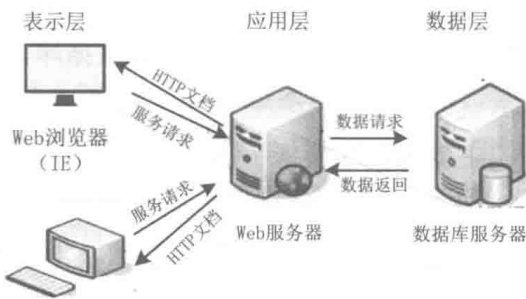


图 2 农业资源信息 B/S 结构模式

3. 农业资源信息管理平台功能设计

通过农业资源信息数据库建设,基于 C/S 和 B/S 混合架构模式,建立农业资源监测体系,构建贵州省农业资源信息管理平台。该平台的主要功能模块主要包括用户权限管理模块、查询统计模块、专题分析模块、图件输出与管理模块、网络信息填报模块、标准服务接口模块、系统维护管理模块等。

(1) 用户权限管理模块

该模块主要用于对(省、市/州、县、乡)用户和角色进行管理,对不同级别的部门添加用户和角色,设定每个用户和角色拥有的操作权限,包括用户登录权限和资源访问权限的设置、用户管理等功能。

(2) 查询统计模块

该模块主要提供地理信息、农业资源信息、农业技术及管理信息的查询。通过 GIS 功能设计,提供形象直观、易操作的使用功能,包括地理信息的放大、缩小、全图显示、测量等功能。多级查询功能设计,可按行政区(省、市/州、县、乡)多角度进行农业资源数据查询,查询结果可以图表等多种方式展示。统计汇总功能设计,按统计类型、统计的类别等条件进行农业资源信息数据分类汇总统计,统计结果以图表等多种方式展示。

(3) 专题分析模块

针对不同部门的决策需要,利用农业资源信息数据库中各项农业指标数据及相互之间的逻辑关系,依托地理大数据挖掘技术,构建农作物产量预估评价模型,根据农作物数据,可对某一区域或全省的作物产量加以预估。对各县农业资源禀赋和农业生产规模,开展资源承载力评价。此外还可对农业产业调控进行分析评价,为农业产业发展、现代农业示范园区建设等工作提供数据支撑和科学决策。

(4) 图件输出与管理模块

通过对数据混合交叉分析、多维度的探索式分析,形成可视化的评价结果。对农业资源各类专题图件制作与输出,提供按照行政区、图幅等多尺度范围和任意比例尺度的农业资源制图输出以及地图进行打印等功能。

(5) 网络信息填报模块

融合农村土地确权数据、地理国情普查数据、国土二调数据等成果数据,形成标准统一的空间地理单元矢量化地图,开展涵盖水、土、气、生物资源等农业资源数据的录入,根据不同数据指标的变化规律定期更新,以保证数据的时效性。分级登录填报,各级账号登录后,系统自动识别账号级别,并显示本区域内相关空间数据和需要填报的数据表格,填报数据时,各空间地理单元和填报指标对应,下一级空间地理单元自动汇总至上一级空间地理单元。

(6) 标准服务接口模块

聚合农业资源信息专题数据和基础数据,共享外部服务 OGC 标准接口,为农业资源普查填报系统及其他相关现代高效农业信息化平台提供基础地图接口。

(7) 系统维护管理模块

提供系统管理的可视化工具,协助系统管理员有效地管理农业资源信息管理平台及资源信息数据库数据,包括系统操作日志管理、系统帮助、系统数据备份和恢复功能。

4. 结语

随着农业信息技术的不断发展,传统的农业信息管理方式已被具有新技术、新思维的现代农业管理替代。建设贵州省农业资源信息管理平台,将现有的地理空间数据资源与空间信息紧密相连,把现有的数据资源同地理信息系统有机融合,探索和研发多维、智能和动态的数据库和管理平台,将其作为信息窗口向政府职能部门提供基于地理空间的信息服务,具有重大的意义。高效、直观地为农业提供统计调查和预测分析,加大农业先进实用技术的推广应用,为建设“云上贵州”“天空地数字农业”的管理和发展、信息资源共享提供实用和坚实的基础。

参考文献

- [1] 黄婧, 史琼, 欧国武, 等. 贵州现代山地高效农业发展的困境与对策 [J]. 贵州农业科学, 2015, 43(8): 275-279.
- [2] 刘天奎, 刘世洪, 崔运鹏. 基于 B/S 结构的农业数据挖掘系统的研究 [J]. 农机化研究, 2011, 33(11): 178-182.
- [3] 赵赏, 钟凯文, 孙彩歌. GIS 技术在农业领域的应用 [J]. 农机化研究, 2014(4): 234-237.
- [4] 齐永奇, 王全平. 农业资源信息系统的设计与实现 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 349-351.
- [5] 王飞剑, 罗义兵, 郝香山, 等. 基于 B/S 结构的农业空间信息管理系统设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 2034-2039.
- [6] 刘宗敏. 基于 WebGIS 的河北省农业资源信息系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [7] 吴炳方, 张森, 曾红伟, 等. 大数据时代的农情监测与预警 [J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1027-1037.
- [8] 鲍雪亚, 赵强, 顾德英. 基于 B/S 和 C/S 混合架构的远程监控系统 [J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(3): 590-593.

基于多尺度非局部代价聚合的立体匹配算法研究^{*}

王飞, 王林, 张儒良^{**}

贵州民族大学数据科学与信息工程学院, 贵州贵阳, 550025

摘要: 为了进一步提升非局部代价聚合立体匹配算法获得的视差图质量, 本文将多尺度引入到非局部代价聚合中, 提出了一种基于多尺度非局部代价聚合的立体匹配算法。首先通过强度+梯度方法来计算匹配代价, 接着利用多尺度非局部代价聚合获得各尺度的匹配代价, 然后采取“赢者通吃”的策略计算视差, 最后使用左右一致性检测和双边加权中值滤波进行视差细化。实验结果表明, 该算法有效地提升了视差图质量, 获得了令人满意的视差图效果, 具有很好的应用价值。

关键词: 立体匹配; 多尺度; 非局部代价聚合; 视差计算; 视差细化

引言

计算机视觉是一个非常重要的研究领域, 它包括图像采集、处理、分析和理解等方法。^[1] 计算机视觉技术尝试使用各种数学方法模拟复杂的视觉环境。计算机视觉的目的之一是根据一幅或多幅图像定义人类所看见的世界, 并重建其属性, 如照明、形状和颜色分布。双目立体视觉是计算机视觉领域的一个重要研究方向。双目立体视觉主要利用水平放置的两台摄像机获取被测物体的左右视图, 通过计算左视图中的点在右视图中的对应点的坐标差值, 从而计算物体的三维信息。双目立体视觉被广泛应用于自动驾驶、无人机导航、行人检测与跟踪、虚拟现实、三维重建等领域。^[2]

立体匹配是双目立体视觉中的重要环节。在进行立体匹配时, 大多数立体匹配算法需要执行 4 个步骤: ①代价计算 (Cost Computation), ②代价聚合 (Cost Aggregation), ③视差计算或优化 (Disparity Computation/Optimization), ④视差细化 (Disparity Refinement)。立体匹配算法主要分为三大类: 全局立体匹配算法、半全局立体匹配算法和局部立体匹配算法。全局立体匹配算法主要有动态规划、置信传播^[3]、图割^[4]等。全局立体匹配算法通常会跳过代价聚合步骤而重视差计算, 其通过构建全局能量函数, 使用最小化全局能量函数获得最优视差值。由于全局立体匹配算法需要对图像从

^{*} 基金项目: 深圳市基础研究(自由探索)科技创新基金项目——面向大规模嵌入式双目视觉产品的超分辨率立体视觉匹配的快速算法研究, 贵州民族大学科研基金资助项目(16yjsxm043)。

^{**} 王飞, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理、模式识别。王林, 教授, 主要研究方向: 图像处理、模式识别。张儒良, 教授, 主要研究方向: 图像处理、模式识别。

整体上分析和处理，其速度往往比较慢。半全局立体匹配算法最早是由 Hirschmuller^[5]提出的，称之为 SGBM 算法。SGBM 算法实际上是一种改进的动态规划算法，其具有较高的精确性。SGBM 算法由四个部分构成：采用互信息计算像素的匹配代价、匹配代价聚合、视差选择和左右一致性检测、中值滤波。在 SGBM 算法的基础上，Chen^[6]等人通过半全局能量优化提出了一种新颖的快速 SGBM 算法，在该算法中能量函数通过图像分割技术来优化，涉及的像素仅仅是位于区域边界上的像素，这既减少了构造图像中顶点的数量又提高了效率。Hermann^[7]等人提出了迭代的半全局立体匹配算法，其主要思想是引入半全局距离图的数据结构保存迭代中间结果的置信信息，利用距离图降低视差搜索空间。局部立体匹配算法主要通过代价聚合来获得视差，使用像素点周围的局部信息估计视差，以获得视差的局部最优解。Yoon^[8]等人提出 ASW（Adaptive Support Weight）算法，该算法采用类似双边滤波器的权重函数和较大的局部窗口进行代价聚合，该算法在 Middlebury 数据集上的计算精度接近或优于部分全局算法。Hosni^[9]等人通过计算彩色空间的像素间的最短路径来获得加权重，以改善自适应权重的局部算法的性能。Hosni^[10]等人在其后续的工作中进一步把引导滤波器（Guided Filter）^[11]引入到自适应权重的局部算法中，将代价聚合过程建模为对代价体的联合滤波。与双边滤波器相比，引导滤波器能大大减少代价聚合的计算量。Mei^[12]等人采用动态的十字区域^[13]进行代价聚合，逐行更新代价体，该算法在 Middlebury 数据集上获得了较好的效果。Yang^[14]提出 NL（Non-Local）算法，该算法采用最小生成树（Minimum Spanning Tree，MST）表示图像，在保证近似常数复杂度的情况下实现了非局部代价聚合，其时间性能较好。本文考虑到人眼视觉系统是在不同尺度上处理接收到的视觉信号，模拟人眼视觉系统由粗到精（Coarse To Fine，CTF）的处理过程，将多尺度引入到非局部代价聚合中，提出基于多尺度非局部代价聚合的立体匹配算法，进一步提升视差图质量，获得更好的视差图效果。

1. 多尺度非局部代价聚合的立体匹配

1.1 代价计算

代价计算步骤是整个立体匹配过程中的第一步，其目的是计算左右视图像素之间的相似程度。不同的代价函数往往对应不同的代价计算方法。比较常用的代价计算方法有强度 + 梯度方法、Census 变换方法、Census 变换 + 梯度方法等。本文采用强度 + 梯度方法进行代价计算。

本文将代价计算形式简化为一个函数映射 $f: \square^{W \times H \times 3} \times \square^{W \times H \times 3} \mapsto \square^{W \times H \times L}$ ，其中， W 表示图像的宽度， H 表示图像的高度，3 表示图像的颜色通道， L 表示视差水平（Disparity Levels）的数目。如果立体彩色图像对 $I, I' \in \square^{W \times H \times 3}$ ，那么根据等式 (1)

$$C = f(I, I') \quad (1)$$

可以得到代价体 (Cost Volume) $C \in \mathbb{R}^{W \times H \times L}$, 其表示所有可能视差水平的每个像素的匹配代价。对于 x_i, y_i 处的像素 $i = (x_i, y_i)$, 其在视差水平 l 处的代价可以表示为标量 $C(i, l)$ 。本文采用的强度 + 梯度代价计算方法可用等式 (2) 表示:

$$C(i, l) = (1 - \alpha) \cdot (\|I(i) - I'(i_l)\|, \tau_1) + \alpha \cdot (\|\nabla_x I(i) - \nabla_x I'(i_l)\|, \tau_2)_{\min} \quad (2)$$

其中, $I(i)$ 表示像素 i 的颜色向量, ∇_x 表示沿 x 方向的灰度梯度, i_l 表示视差为 l 时, i 在 I' 中对应的匹配像素, 即 $i_l = (x_i - l, y_i)$, α 表示颜色和梯度项的平衡因子, τ_1 表示颜色截断值, τ_2 表示梯度截断值。

1.2 非局部代价聚合

代价计算步骤中所得到的代价体通常为低信噪比信号, 代价聚合步骤的目的是提升信号的信噪比。受图像去噪中提升信噪比问题的优化建模方法^[15]的启发, 本文将代价聚合形式简化为加权最小二乘问题, 如等式 (3) 所示。

$$\tilde{C}(i, l) = \arg \left[\frac{1}{Z_i} \sum_{j \in N_i} K(i, j) \|z - C(j, l)\|^2 \right]_{\min} \quad (3)$$

其中, N_i 表示 i 的领域系统, $K(i, j)$ 表示相似性核函数, 其测量像素 i 和 j 之间的相似性, $\tilde{C}$ 表示去噪后的代价体, $Z_i = \sum_{j \in N_i} K(i, j)$ 表示归一化常量。该加权最小二乘问题的解如等式 (4) 所示。

$$\tilde{C}(i, l) = \frac{1}{Z_i} \sum_{j \in N_i} K(i, j) C(j, l) \quad (4)$$

本文中, 非局部代价聚合的相似性函数 $K(i, j) = \exp(-\frac{\Delta(i, j)}{\sigma_i})$, 其中, $\Delta(i, j)$ 表示基于图像构造的 MST 中像素 i 和 j 之间的距离, σ_i 是用来调节两个树节点相似性的常量。

1.3 多尺度非局部代价聚合

文献^[14]中的 NL 算法主要是在图像最精细的尺度 (即原始图像) 上进行代价聚合, 而没有像人眼视觉系统那样采取 CTF 策略融合多尺度图像信息进行代价聚合。本文采用高斯金字塔对立体匹配的输入图像构建多尺度表示, 通过在多个尺度上单独进行代价计算获得多尺度代价体。等式 (3) 可以经过简单的推广, 以解决多尺度代价体。若给 C 添加上标 s , 表示不同尺度的代价体, 即 C^s , 其中, $s \in \{0, 1, \dots, S\}$ 表示比例参数, 则可将等式 (3) 表示为等式 (5)。

$$\tilde{v} = \arg \left[\sum_{s=0}^S \frac{1}{Z_i^s} \sum_{j^s \in N_i^s} K(i^s, j^s) \|z^s - C^s(j^s, l^s)\|^2 \right]_{\min} \quad (5)$$

其中， $Z_i^s = \sum_{j^s \in N_{i^s}} K(i^s, j^s)$ 表示归一化常量。 N_{i^s} 表示在尺度 s 时像素的邻域系统，即像素 i^s 周围的像素集合。等式 (5) 的解是通过独立地执行各尺度的代价聚合来获得的，如等式 (6) 所示。

$$\forall s, \tilde{C}(i^s, l^s) = \frac{1}{Z_i^s} \sum_{j^s \in N_{i^s}} K(i^s, j^s) C^s(j^s, l^s) \tag{6}$$

由于各尺度之间独立求解，没有保持多尺度视差响应的一致性。本文在等式 (5) 中引入了正则化项，以促使各尺度之间保持视差响应的一致性，如等式 (7) 所示。

$$\hat{v} = \arg \min_{\{z^s\}_{s=0}^S} \left[\sum_{s=0}^S \frac{1}{Z_i^s} \sum_{j^s \in N_{i^s}} K(i^s, j^s) \|z^s - C^s(j^s, l^s)\|^2 + \lambda \sum_{s=1}^S \|z^s - z^{s-1}\|^2 \right] \tag{7}$$

其中， λ 表示正则化常量， $\hat{v}$ 表示正则化后各尺度的代价聚合。

由于等式 (7) 的求解是凸优化问题，所以可通过求解优化目标的驻点来获得最优解。记 $F(\{z^s\}_{s=0}^S)$ 表示等式 (7) 中的优化目标函数，令 $\frac{\partial F}{\partial z^s} = 0$ ，则可得。

$$\begin{cases} (1+2\lambda)z^s - \lambda z^{s+1} = \tilde{C}^s(i^s, l^s) & s = 0 \\ -\lambda z^{s-1} + (1+2\lambda)z^s - \lambda z^{s+1} = \tilde{C}^s(i^s, l^s) & s \in \{1, 2, \dots, S-1\} \\ -\lambda z^{s-1} + (1+2\lambda)z^s = \tilde{C}^s(i^s, l^s) & s = S \end{cases} \tag{8}$$

因此，共有 $S+1$ 个线性方程，其可用等式 (9) 表示。

$$A \hat{v} = \tilde{v} \tag{9}$$

其中， A 是 $(S+1) \times (S+1)$ 的三对角常数矩阵，其逆矩阵 A^{-1} 总是存在。因此，经正则化后的各尺度的代价聚合如等式 (10) 所示。

$$\hat{v} = A^{-1} \tilde{v} \tag{10}$$

1.4 视差计算

视差计算步骤的目的是在代价计算、代价聚合的基础上构造优化目标，根据某种优化准则求解得到每个像素的视差。本文采用“赢者通吃”(Winner Take All, WTA) 策略计算视差。WTA 策略是在候选视差值中选择最优代价对应的视差值。对于参考图中的每一个像素点 i ，WTA 策略遍历 L 个候选视差值对应的匹配代价，选择最小匹配代价对应的视差值作为最终视差值，其具体形式可用公式 (11) 表示。

$$D_i = \arg \min_{d \in R} (\hat{C}_{i,d}^0) \tag{11}$$

其中， D_i 表示最优视差值， $R \in [1, L]$ 表示视差范围， $\hat{C}^0$ 表示最精细的代价体。

1.5 视差细化

视差细化的目的是进一步处理视差计算获得的视差图，以产生更好的视差图效果。本文采用左右一致性检测和双边加权中值滤波进行视差细化。