

6-5-2020

Behavior Simulation of Virtual Object Based on Physical Property

Yunbin Yang

Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621999, China;

Liangli He

Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621999, China;

Huaiyu Zhang

Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621999, China;

Lifan Wei

Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621999, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Behavior Simulation of Virtual Object Based on Physical Property

Abstract

Abstract: At present, because of the complexity and real-time requirement, the modeling and simulation method proposed in virtual assembly and maintenance based on physical property is difficult to apply. The development actuality of modeling and simulation method based on physical property is simply investigated. *Product hierarchy information model and its implementation method are established, and fast modeling method based on physical property is presented. Behavior property description of virtual object using matrix is established and behavior property of virtual object is depicted in cases of grasp/placement, movement and drop. Behavior simulation method including force input method and force feedback method is analyzed. Behavior simulation and its engineering application are demonstrated based on an actual engineering example.*

Keywords

physical property, behavior simulation, virtual object, virtual reality

Recommended Citation

Yang Yunbin, He Liangli, Zhang Huaiyu, Wei Lifan. Behavior Simulation of Virtual Object Based on Physical Property[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2747-2752.

基于物理属性的虚拟对象行为仿真研究

杨云斌, 何良莉, 张怀宇, 韦力凡

(中国工程物理研究院总体工程研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 目前虚拟装配/维修研究中提出的基于物理属性的建模与仿真方法由于求解复杂性和仿真实时性的要求, 较难在实际仿真过程中得到应用。简要分析了虚拟仿真中基于物理属性的建模与仿真研究的现状。提出了产品层次信息模型及其实现方法, 给出了基于物理属性快速建模方法。建立了通过矩阵来描述虚拟对象行为特性的方法, 据此给出抓取/放置、移动和意外跌落情况下虚拟对象的行为特性描述。分析了虚拟对象的行为仿真方法, 包括力的输入方法与力反馈的方法, 结合一个具体工程示例, 给出了产品行为特性仿真及其工程应用。

关键词: 物理属性; 行为仿真; 虚拟对象; 虚拟现实

中图分类号: TP391.9; TH122 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 11-2747-06

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201711021

Behavior Simulation of Virtual Object Based on Physical Property

Yang Yunbin, He Liangli, Zhang Huaiyu, Wei Lifan

(Institute of System Engineering, CAEP, Mianyang 621999, China)

Abstract: At present, because of the complexity and real-time requirement, the modeling and simulation method proposed in virtual assembly and maintenance based on physical property is difficult to apply. The development actuality of modeling and simulation method based on physical property is simply investigated. *Product hierarchy information model and its implementation method are established, and fast modeling method based on physical property is presented. Behavior property description of virtual object using matrix is established and behavior property of virtual object is depicted in cases of grasp/placement, movement and drop. Behavior simulation method including force input method and force feedback method is analyzed. Behavior simulation and its engineering application are demonstrated based on an actual engineering example.*

Keywords: physical property; behavior simulation; virtual object; virtual reality

引言

虚拟装配和虚拟维修是解决复杂产品装配性和维修性分析、评估和优化的重要手段, 但目前虚拟装配和维修仿真中大都没有考虑产品的物理

属性的影响, 仅基于几何样机的装配和维修模拟方法得到仅是一种理想上的评估结果^[1]。由于没有考虑产品、资源的物理属性因素, 而这些因素会导致组件被刮擦、质心偏移和干涉等问题; 严重影响基于虚拟装配和虚拟维修仿真对装配性和维修性评估的有效性, 限制了虚拟装配和虚拟维修技术的工程应用^[2]。

目前基于物理属性的虚拟装配和维修仿真技术研究逐步出现, 文献[3]提出了一种将装配几何



收稿日期: 2016-04-28 修回日期: 2016-07-18;
基金项目: 中国工程物理研究院科学技术发展基金
(2009A0203011);
作者简介: 杨云斌(1970-), 男, 四川德阳, 硕士, 高工, 研究方向为数字样机技术及其应用; 何良莉(1982-), 女, 四川绵阳, 硕士, 工程师, 研究方向为数字样机技术及其应用。

<http://www.china-simulation.com>

• 2747 •

约束自动映射为运动副约束的基于运动自由度分析的物理约束生成方法,提出了基于变刚度弹簧模型的装配力交互输入方法,并实现了位移输入与装配力输入的映射。文献[4]通过分析虚拟装配过程对零部件物理属性的需求,建立零部件物理属性模型,给出确定零部件各物理属性以及自由运动状态的方法,分析碰撞响应对运动状态的影响。研究虚拟装配系统中装配对象间的交互过程,使用多刚体系统动力学分析方法对零部件装配过程中的动力学以及运动学进行分析,给出装配对象的运动学与动力学方程。文献[5]为了建立逼真的带有物理属性的虚拟维修样机模型,采用对刚体部件物理属性的建模方法,对虚拟维修样机的刚体部件进行了建模,从模型几何数据的获取,物理属性模型的算法实现和仿真流程方面给出了建立虚拟维修样机物理属性模型的具体仿真过程。但上述文献提出了物理属性建模方法,由于求解复杂性和虚拟仿真实时性的要求,较难在

实际仿真过程中进行应用。本文在建立了零部件物理属性的详细描述同时,提出从几何模型下如何快速有效地实现物理属性建模。根据虚拟装配和维修仿真过程中虚拟对象的行为特性,提出了通过矩阵来描述虚拟对象的行为特性,以三个典型的虚拟操作来详细描述虚拟对象的行为特性,基于上述方法,结合实际的应用,通过具体的实例说明考虑物理属性的虚拟对象仿真在实际工程设计中的应用。

1 物理属性建模

1.1 产品信息模型

在虚拟装配和维修仿真过程中,产品层次信息模型是装配/维修仿真的基础^[6]。根据产品设计中装配过程的具体特征,分析装配仿真过程中对于产品数字模型的信息需求,建立产品层次信息模型,如图 1 所示。

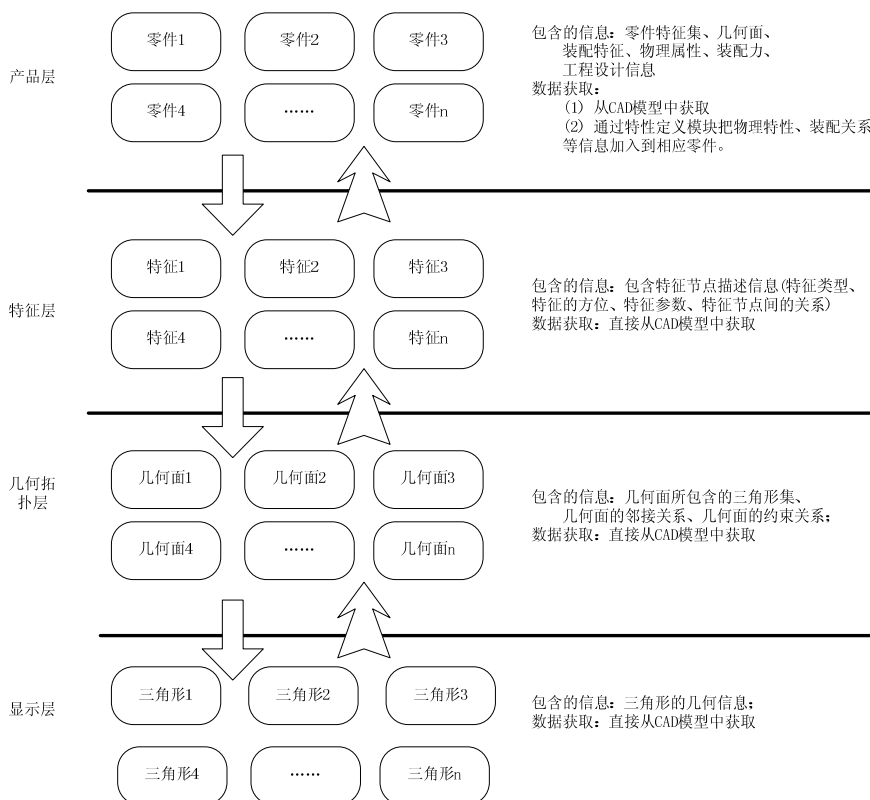


图 1 产品层次信息模型

Fig. 1 Product hierarchy information model

产品层次信息模型是在设计模型库的基础上, 采用二次开发技术, 实现从 CAD 模型中提取零件的几何信息和拓扑信息, 如对基于 UG 的 CAD 模型, 采用其二次开发接口 NX/OPEN 开发零件信息转换模块, 该模块打开一个 NX 模型文件, 先判断模型是单个零件还是装配体, 如果是单个零件就遍历该零件的 B-rep 输出几何参数; 然后离散成多边形输出成所需要的格式, 如果模型是装配体, 则递归遍历子装配直到单个零件为止。

1.2 基本物理量描述

零部件物理属性包括: 材质、质量、质心、转动惯量、模型、位姿、速度、加速度、动量、动能等, 可用以下形式化语言描述零件的物理模型:

```
struct PhysicalModel{
    int_geometrical_model_id; // 零件几何模型
    int part_material_id; //零件材质
    float part_mass; //零件质量
    float[3] part_centroid; //零件质心
    force* part_force; //零件所受外力
    float[3] part_position; //零件位置
    float[4] part_orientation; //零件方向;
    float[3] part_ling_velocity; //线速度
    float[3] part_angle_velocity; //角速度
    float[3] part_line_acceleration; //线加速度
    float[3] part_angle_acceleration; //角加速度
    float[3] part_line_momentum; //线动量
    float[3] part_angle_momentum; //角动量
    float part_energy; //动能
    float part_time; //时间
}
```

1.3 物理属性建模

物理属性建模是在产品层次信息模型的基础上, 把仿真过程中需要用到的物理属性参数通过交互式定义来实现。图 2 是直接在虚拟仿真环境中二次开发实现, 实现物理属性交互式定义的示

例, 可通过交互式方定义零部件的质量、质心、摩擦系数等物理属性参数, 以数据库或数据文件方式进行存储与访问, 在仿真过程中通过访问数据库或数据文件来获取相关信息。

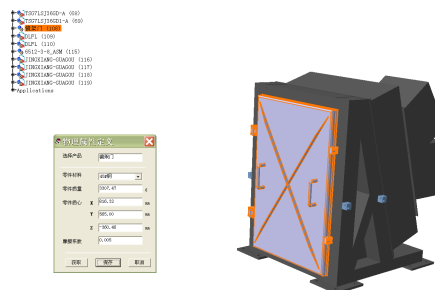


图 2 物理属性交互式定义
Fig. 2 Physically attributes definition

2 虚拟对象行为仿真

2.1 虚拟对象行为特性描述

一个物体行为具有三个平移自由度和三个旋转自由度, 为了更好的描述一个物体在空间的行为特性, 采用如下矩阵形式来描述其行为约束特征, 见图 3。

$$\begin{bmatrix} T_{X \min} & T_{Y \min} & T_{Z \min} \\ T_{X \max} & T_{Y \max} & T_{Z \max} \\ R_{X \min} & R_{Y \min} & R_{Z \min} \\ R_{X \max} & R_{Y \max} & R_{Z \max} \end{bmatrix}$$

图 3 行为约束特征矩阵
Fig. 3 Matrix of behavior characteristic

(1) 当某个轴向的平移最小值大于最大值时, 表示虚拟对象可沿该轴自由移动, 旋转自由度类似, 为了统一描述, 假定一个自由度最小值为 1, 最大值为-1 时, 可沿该轴自由移动或自由旋转, 如 $T_{X \min}=1$, $T_{X \max}=-1$, 表明虚拟对象可沿 X 轴自由移动。

(2) 假定一个自由度最小值 0, 最大值为 0 时, 虚拟对象不能沿该轴移动或绕该轴旋转, 如 $R_{Y \min}=0$, $R_{Y \max}=0$, 表明虚拟对象绕 Y 轴的旋转自由度被约束。

(3) 当一个自由度的最小值与最大值描述为一个区域时, 说明能沿该轴移动或绕该轴旋转, 但移动和旋转被限定在一定区域, 如 $T_{X \min}=-10$,

$T_{x_{\max}}=5$, 表明虚拟对象可沿 X 轴自由移动, 移动区域被限制在 $[-10, 5]$ 这个区域内。

针对虚拟对象的物理属性, 主要考虑了几种典型装配操作和意外情况下的虚拟对象的物理行为, 包括自由落体运动、平面运动和绕轴旋转运动, 主要针对实际装配中的意外操作, 装配体的平面运动和抓取/放置物体的绕轴旋转运动:

(1) 自由落体运动: 当操作者移动虚拟对象, 由于意外物体被突然释放, 虚拟对象的运行简化为自由落体运动来描述, 当物体做自由落体运动时, 其三个平移自由度和三个旋转自由度都没有约束, 其约束矩阵见图 4(a)。

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

(a) 自由落体运动 (b) 沿 Z 轴滑动 (c) 绕 Z 轴旋转

图 4 三种典型操作的虚拟对象行为描述

Fig. 4 Behavior matrix of three typical virtual assembly manipulations

(2) 平面运动: 在装配过程中, 当一个装配体在外力作用下沿直线在另一个装配体表面滑动。当虚拟对象沿某一方向滑动时, 其两个平移自由度和三个旋转自由度都被约束, 假设其滑动方向为 Z 方向, 其约束矩阵见图 4(b);

(3) 绕轴旋转运动: 在装配仿真过程中, 当我们双手抓取/放置虚拟对象时, 虚拟对象的运动

可简化为绕轴旋转运动, 假设其绕 Z 轴旋转, 其约束矩阵见图 4(c)。

2.2 虚拟对象行为仿真

由于目前的虚拟装配环境不具备力输入设备, 采用将位移和方位输入变换为力输入来实现虚拟环境中操作作用力的输入方法^[3], 即基于弹簧模型来建立位移输入与装配力输入之间的映射关系。将位移输入变换为物理量(力)的输入是实现虚拟环境中装配力交互输入的捷径。通过位置传感器可获得各个采样时刻虚拟对象的位置与方向, 假设第 i 时刻的位置为 P_i , 角度为 A_i , 第 $i+1$ 时刻的位置为 P_{i+1} , 角度为 A_{i+1} 。这样可计算虚拟对象的速度与角速度可由公式(1)计算获得。

$$\begin{aligned} V_{i+1} &= \frac{(P_{i+1} - P_i)}{(t_{i+1} - t_i)} \\ \omega_{i+1} &= \frac{(A_{i+1} - A_i)}{(t_{i+1} - t_i)} \end{aligned} \quad (1)$$

同时计算获得虚拟对象的位移量 $M_{i+1} = P_{i+1} - P_i$, 然后通过弹性系数表来计算装配力的大小。在装配力作用下, 基于运动学与动力学方程来求解虚拟对象的位移和方位, 从而根据两个位移的匹配程度来确定弹性系数的选取是否合理, 最终输出虚拟对象的行为, 虚拟对象行为仿真的实现流程见图 5, 其中弹性系数的选取是否合理的阈值大小根据实际的仿真对象、虚拟外设的性能参数等来确定, 可通过多次实验来确定。

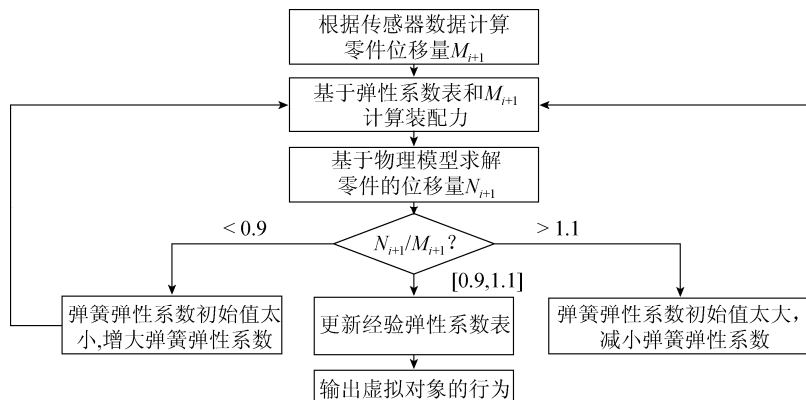


图 5 虚拟对象行为仿真

Fig.5 Behavior simulation of virtual object

在力反馈方面, 一般通过力反馈设备方式反馈给操作者, 但由于虚拟环境中暂无力反馈设备, 决定在仿真过程中通过数据、图表等形式以视觉方式反馈给操作者。通过视觉方式实现力反馈, 虽然不能以真实方式把力的大小和方向反馈给操作者, 但可让操作者通过图表方式实时了解力的大小和方向, 对装配力要求严格的装配操作仿真尤为重要。

3 应用示例

虚拟现实环境采用 BARCO Galaxy DLP 投影仪和 PowerWall 显示屏幕, 支持三通道立体显示, 图形发生器是 DELL T7500 工作站+Quadro Plex 可视化图形服务器, VR 外设包括 CrystalEyes 液晶眼镜、六自由度 FOB 跟踪器和 NeoWand 六自由度三维交互设备等^[7]。利用 FOB 跟踪 NeoWand 的位姿数据, NeoWand 作为输入控制设备实现直接操作和系统控制。在虚拟对象的物理属性建模和行为特性仿真研究的基础上, 开发了一个虚拟对象行为仿真系统, 并在一个镜框组件的组装与安装过程中得到应用。

3.1 意外跌落

在进行镜面组件的安装过程中, 为了在已经规划好的几条路径中选择较优的路径, 通过考虑物理属性, 对这几条路径进行分析, 其中几条路径都满足人机工程、干涉检测等要求, 但是在发生意外情况下, 只有一条路径可避免装配工具或零部件由于意外发生自由落体后对镜面的影响, 图 6 是一个由于装配工具螺丝刀意外跌落的装配该过程仿真分析。通过求解虚拟对象的运动轨迹, 分析在实际装配过程中由于异常情况可能影响的零部件, 特别是对安全性要求较高的装配流程, 可进行充分的仿真验证。

3.2 抓取与放置

在没有考虑物理属性的装配仿真中, 在抓取物体仿真过程中看起来可行的操作而在实际操作出现干涉与碰撞现象发生, 图 7 就是考虑物理属

性的抓取过程, 由于装配流程中没有对装配力的大小和抓取位置进行规定, 抓取后门出现摆动现象, 门与镜架发生了碰撞。

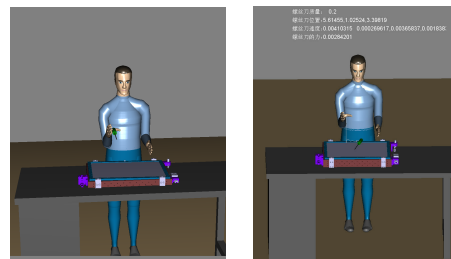


图 6 虚拟对象意外跌落

Fig. 6 Accidental falling simulation of virtual object

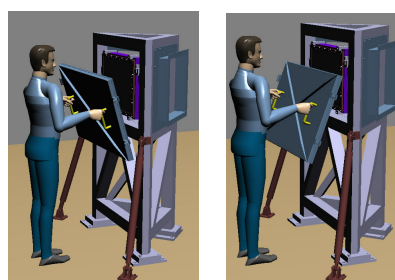


图 7 抓取虚拟对象仿真

Fig. 7 Grasping virtual object simulation

如果没有考虑物理属性, 在产品放置过程中不能进行稳定性分析, 从而与实际过程出现很大的差异, 图 8 是一个虚拟对象的放置仿真, 由于放置后产品不稳定性, 导致产品跌落, 对人员的安全性和产品的质量都带来影响。在规划放置产品的路径时, 通过该系统进行稳定性分析仿真, 可保证产品放置后的稳定性。

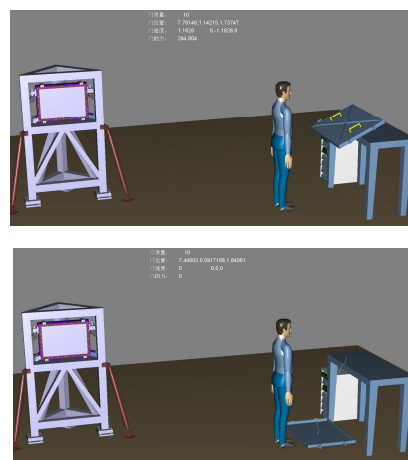


图 8 放置虚拟对象仿真

Fig. 8 Placing virtual object simulation

4 结论

基于物理属性的虚拟对象行为仿真研究提出了快速的虚拟对象物理属性建模方法,提出了通过矩阵来简单、直观地描述虚拟对象的行为特性。采用弹簧模型实现虚拟环境中操作作用力的输入方法,提出通过数据或图表方式以视觉方式来实现力反馈的方法,较好地解决了虚拟环境中的力的输入与反馈,以上研究已在实际应用中得到验证。考虑了产品的物理属性的虚拟对象行为研究,使虚拟装配仿真和虚拟维修仿真能更加真实地模拟实际装配过程,从而提高了虚拟装配和维修仿真的有效性。

参考文献:

- [1] 高巍. 基于物理属性的虚拟装配技术研究[D]. 西安电子科技大学, 2015: 22-36.
Gao Wei. Study on virtual assembly based on physically attributes[D]. Xi'an University of Electronic Science and Technology, pp. 22-36, 2015.
- [2] 杨云斌, 欧阳勇, 孙素梅, 等. 虚拟装配过程中不确定性因素分析[J]. 制造业自动化, 2011(5): 63-66.
Yang Yunbin, Ou Yangyong, Sun Sumei, et al. Analysis of uncertainty factors in virtual assembly process[J]. Manufacturing Automation, 2011(5): 63-66.
- [3] 刘振宇, 谭建荣. 基于物理模型的虚拟装配技术研究

究[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 823-828.

Liu Zhenyu, Tan Jianrong. Research on virtual assembly based on physically modeling[J]. Journal of Image and Graphic, 2003, 8(7): 823-828.

- [4] 郑轶, 宁汝新, 王军成. 基于物理属性的虚拟装配过程[J]. 中国机械工程学报, 2008, 44(7): 195-201.
Zheng Ti, Ning Ruxin, Wang Juncheng. Physically-based Virtual Assembly Process[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(7): 195-201.
- [5] 王晓光, 苏群星, 谷宏强. 虚拟维修样机中的刚体部件物理属性建模方法与实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(19): 6118-6121.
Wang Xiaoguang, Su Qunxing, Gu Hongqiang. Method and Implementation for Physically-based Modeling Rigid Body of Virtual Maintenance Prototype[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(19): 6118-6121.
- [6] 刘振宇, 谭建荣, 张树有. 面向虚拟装配的产品层次信息表达研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(3): 223-228.
Liu Zhenyu, Tan Jianrong, Zhang Shuyou. The Multi-Level Representation of Product Information for Virtual Assembly[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2001, 13(3): 223-228.
- [7] 何良莉, 魏发远, 王峰军. 虚拟布局/装配环境下的人机交互技术研究[J]. 机械设计, 2010, 27(5): 86-89.
He Liangli, Wei Fayuan, Wang Fengjun. Human-computer interaction in virtual layout/assembly environment[J]. Journal of Machine Design, 2010, 27(5): 86-89.

(上接第 2746 页)

- [12] 张庆河, 邹峥嵘, 余加勇. 遥感影像像素级融合方法比较研究[J]. 测绘工程, 2008, 17(4): 36-42.
Zhang Qinghe, Zou Zhengrong, Yu Jiayong. Research on the pixel fusion method of remote sensing image[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2008, 17(4): 36-42.
- [13] 李春华, 徐涵秋. 高分辨率遥感图像融合的光谱保真问题[J]. 地球信息科学, 2008, 10(4): 520-526.
Li Chunhua, Xu Hanqiu. Spectral Fidelity in High-resolution Remote Sensing Image Fusion[J]. Geo-information Science, 2008, 10(4): 520-526.
- [14] 徐涵秋. Landsat7 ETM+影像的融合和自动分类研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 186-194.
XU Hanqiu. Study on Data Fusion and Classification of Landsat 7 ETM+Imagery[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(2): 186-194.

- [15] 关元秀, 程晓阳. 高分辨率卫星影像处理指南[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
Guan Yuanxiu, Cheng Xiaoyang. Guidelines for high resolution satellite image processing [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [16] 王华斌, 李国元, 张本奎, 等. 资源三号卫星影像融合算法对比分析[J]. 测绘科学, 2015, 40(1): 47-51.
Wang Huabin, Li Guoyuan, Zhang Benkui, et al. Contrast and analysis of different fusion algorithms for ZY-3 satellite images[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(1): 47-51.
- [17] 李超, 朱满, 赵家平. 多源遥感影像融合效果的定量评价研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(3): 143-146.
Li Chao, Zhu Man, Zhao Jiaping. Research of Quantitative Methods for Evaluation of Multi-source Remote Sensing Image Fusion[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2010, 33(3): 143-146.