

软件学报 *Software* *Journal of*

中国科学院软件研究所 主办
中国计算机学会
科学出版社 出版

Sponsored by Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences
and the China Computer Federation

Published by Science Press

Beijing China

ISSN 1000-9825



Journal of Software

Editor-in-Chief

LI Ming-Shu(李明树) *Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences (CAS), China*

Associate Editors-in-Chief

Yao, Andrew C. *Tsinghua University, China*

JIN Zhi(金芝)(Executive AEIC) *Peking University, China*

Editorial Board

Björner, Dines, *Technical University of Denmark, Denmark*

CHEN Ke-Fei(陈克非), *Shanghai Jiaotong University, China*

Chin, Francis Yuk-Lun, *University of Hong Kong, China*

Clarke, Edmund M., *Carnegie Mellon University, USA*

DAI Guo-Zhong(戴国忠), *Institute of Software, CAS, China*

DONG Yun-Mei(董韪美), *Institute of Software, CAS, China*

FENG Deng-Guo(冯登国), *Institute of Software, CAS, China*

FENG Yu-Lin(冯玉琳), *Institute of Software, CAS, China*

Graham, Ronald L., *University of California at San Diego, USA*

HE Xin-Gui(何新贵), *Peking University, China*

HUANG Tao(黄涛), *Institute of Software, CAS, China*

JU Jiu-Bin(鞠九滨), *Jilin University, China*

Krieg-Bruckner, Bernd, *Universitat Bremen, Germany*

LI De-Yi(李德毅), *Institute of Electronic System Engineering, China*

LI Guo-Jie(李国杰), *Institute of Computing Technology, CAS, China*

LI Hua(李华), *Institute of Computing Technology, CAS, China*

LI Jian-Zhong(李建中), *Harbin Institute of Technology, China*

Li, Kai, *Princeton University, USA*

LI Lei(李磊), *Sun Yat-Sen University, China*

Li, Ming, *University of Waterloo, Canada*

LI Wei(李未), *Beijing University of Aeronautics and Astronautics, China*

LI Xuan-Dong(李宣东), *Nanjing University, China*

LIN Chuang(林闯), *Tsinghua University, China*

LIN Hui-Min(林惠民), *Institute of Software, CAS, China*

LIU Chun-Nian(刘椿年), *Beijing University of Industry, China*

LIU Ji-Ren(刘积仁), *Northeastern University, China*

LU Ru-Qian(陆汝钤), *Institute of Mathematics, AMSS, CAS, China*

LU Wei-Ming(陆维明), *Institute of Mathematics, AMSS, CAS, China*

LÜ Jian(吕建), *Nanjing University, China*

MEI Hong(梅宏), *Peking University, China*

Motiwalla, Juzar, *National University of Singapore, Singapore*

PENG Qun-Sheng(彭群生), *Zhejiang University, China*

QIAN Hua-Lin(钱华林), *Computer Network Information Center, CAS, China*

SHI Bai-Le(施伯乐), *Fudan University, China*

SHI Chun-Yi(石纯一), *Tsinghua University, China*

SUN Jia-Guang(孙家广), *Tsinghua University, China*

SUN Zhong-Xiu(孙钟秀), *Nanjing University, China*

TAN Tie-Niu(谭铁牛), *Institute of Automation, CAS, China*

TIAN Jie(田捷), *Institute of Automation, CAS, China*

WANG Ji(王戟), *National University of Defense Technology, China*

WANG Shan(王珊), *People's University of China, China*

WANG Xiao-Yun(王小云), *Tsinghua University, China*

WU Jian-Ping(吴建平), *Tsinghua University, China*

XU Zhuo-Qun(许卓群), *Peking University, China*

YANG Fu-Qing(杨芙清), *Peking University, China*

ZHANG Bo(张钹), *Tsinghua University, China*

ZHAO Qin-Ping(赵沁平), *Beijing University of Aeronautics and Astronautics, China*

ZHENG Nan-Ning(郑南宁), *Xi'an Jiaotong University, China*

ZHENG Wei-Min(郑纬民), *Tsinghua University, China*

ZHOU Chao-Chen(周巢尘), *Institute of Software, CAS, China*

ZHOU Long-Xiang(周龙骧), *Institute of Mathematics, AMSS, CAS, China*

ZHOU Zhi-Hua(周志华), *Nanjing University, China*

Zhu, Hong, *Oxford Brookes University, UK*



软件学报

(Ruanjian Xuebao)

第 21 卷增刊
2010 年 12 月

目 次

HHME 2009 会议推荐优秀文章

在线修正的人脸姿态跟踪算法及交互应用	胡银焕 安国成 张凤军 戴国忠 (1)
嵌入模糊逻辑的上下文存储与查询机制	叶 剑 李锦涛 高晓芳 朱珍民 刘金刚 (12)
一种非觉察式的睡眠行为识别方法	苗 强 周兴社 於志文 倪红波 (21)
面向多用户交互桌面的界面管理系统	吴晨俊 史元春 索 岳 (33)
融合多模信息感知的低功耗行为识别	齐 娟 陈益强 刘军发 孙 卓 (39)
基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统	滕东兴 汪恭正 熊金泉 王宏安 戴国忠 (51)

Chinagraph 2010 会议推荐优秀文章

三次 ω -Bézier 曲线的形状分析	吴晓勤 韩旭里 (60)
插值边界曲线的 NURBS 近似极小曲面设计	吴花精灵 王国瑾 (67)
基于特征线素的三维建筑表意性建模	吴康乐 张宏鑫 李嫒姝 钱博磊 (75)
基于骨架的高效模型观察方法	杨利明 王文成 (86)
基于三角域上二次 V 系统的曲面模型分析	马 辉 林艾静 宋瑞霞 路海明 (94)
基于人眼视觉感知的场景明暗适应动态过程模拟	王章野 张 繁 王作省 邹少芳 廖继渊 崔晓燕 彭群生 (111)

ChinaVR 2010 会议推荐优秀文章

MTDriver:一种改进的多点触摸桌面工具包	谭国富 刘佳升 戴志军 张凤军 王宏安 戴国忠 (123)
交互式机器人建模与仿真系统	黄 立 姜晓红 熊 华 潘志庚 (133)
联合作战想定中基于描述任务逻辑的任务规划	张 巍 曾 亮 张 会 李思昆 (140)

CIDE 2010 会议推荐优秀文章

三维人体的草绘建模方法	张尧焯 孙正兴 李 毅 刘 凯 宋沐飞 (149)
一种基于三维骨架化的人体姿势估计方法	刘宏志 吴中海 李 超 王 洋 (158)
视点选择 Benchmark 的设计与应用	杨利明 韩红雷 (165)
基于 SOM 特性和 PCA 索引的三维运动检索(英文)	李玉梅 张 强 魏小鹏 姚书磊 (173)
三维网格的边界强度分割算法(英文)	孙晓鹏 纪燕杰 魏小鹏 (183)

基于维密度和聚类的散点图(英文)	唐 磊 李学庆 刘 洋 (194)
基于异构特征组效应的图像人物和动作标注方法	邵 健 赵师聪 (205)

HPCC 2010 会议推荐优秀文章

BLAS 库在多核处理器上的性能测试与分析	陈少虎 张云泉 张先轶 程 豪 (214)
不完全标记的多个并行事务踪迹的“剥离”	满君丰 李长云 文志诚 温向兵 (224)
基于判例构造的并行作业性能预测	张伟哲 张宏莉 张元竞 (238)
基于延迟隐藏因子的 GPU 计算模型	袁 良 张云泉 龙国平 王 可 张先轶 (251)
三维位错动力学并行算法与程序研制	刘 旭 曹小林 张广财 沈卫超 吴国清 (263)
一类基于迭代空间条块的并行有限差分 Stencil 算法	张纪林 狄 鹏 蒋从锋 张 伟 徐向华 万 健 任永坚 (270)
一种基于迭代聚类的并行应用性能分析方法	朱 鹏 李 巍 李云春 (284)
一种面向软件管理内存层次的简易数据分块方法	刘 勇 陆林生 何王全 (290)

ICPCA 2010 会议推荐优秀文章

移动社交网络中的隐私设计	谈 嵘 顾君忠 杨 静 林 欣 陈 鹏 乔哲峰 (298)
一种用于上下文推理的带反馈的自适应模糊 Petri 网模型	文赛平 朱珍民 叶 剑 (310)
三维 AD-HOC 网络地理信息路由算法	汪 芸 苏 瀚 房鼎益 (318)
一种基于负载平衡树的多网关节点数据汇集路由算法	王潜平 徐 琴 王 珂 赵 彦 (330)
OFDMA 协同网络中基于 QoS 保证的资源分配算法	邱 琳 宋美娜 宋俊德 (341)
面向股票新闻的情感分类方法	高 旻 周 莉 张 勇 邢春晓 孙一钢 朱先忠 (349)
面向互联网新闻的在线事件检测	付 艳 周明全 王学松 栾 华 (363)

Contents

Special Issue on HHME 2009

- 1 Face Tracking Based on Online Modifying under Complex Postures and Interactive Applications
HU Yin-Huan, AN Guo-Cheng, ZHANG Feng-Jun, DAI Guo-Zhong
- 12 Embedding Fuzzy Logic in Context Storing and Querying
YE Jian, LI Jin-Tao, GAO Xiao-Fang, ZHU Zhen-Min, LIU Jin-Gang
- 21 Unobtrusive Method for Sleeping Behavior Recognition in Bed
MIAO Qiang, ZHOU Xing-She, YU Zhi-Wen, NI Hong-Bo
- 33 UI Management System on Multi-User Interactive Tabletop
WU Chen-Jun, SHI Yuan-Chun, SUO Yue
- 39 Power-Efficient Activity Recognition Based on Multi-Modal Information Sensing and Fusion
QI Juan, CHEN Yi-Qiang, LIU Jun-Fa, SUN Zhuo
- 51 Visual Analytic System Based on Interaction History On-Line Tracking Mechanism
TENG Dong-Xing, WANG Gong-Zheng, XIONG Jin-Quan, WANG Hong-An, DAI Guo-Zhong

Special Issue on Chinagraph 2010

- 60 Shape Analysis of Cubic ω -Bézier Curve
WU Xiao-Qin, HAN Xu-Li
- 67 Designing Approximate Minimal NURBS Surfaces with Boundaries Interpolation
WU Hua-Jing-Ling, WANG Guo-Jin
- 75 Fe-Wires: An Approach of Expressive 3D Architecture Modeling
WU Kang-Le, ZHANG Hong-Xin, LI Yuan-Shu, QIAN Bo-Lei
- 86 Skeleton-Based Viewing Method for Efficient Understanding of 3D Models
YANG Li-Ming, WANG Wen-Cheng
- 94 Surface Model Analysis Based on Quadratic V-System in Triangular Domain
MA Hui, LIN Ai-Jing, SONG Rui-Xia, LU Hai-Ming
- 111 Human-Eye Visual Perception Based Simulation of Dynamic Process of Light and Dark Adaptation
WANG Zhang-Ye, ZHANG Fan, WANG Zuo-Sheng, ZOU Shao-Fang, LIAO Ji-Yuan, CUI Xiao-Yan, PENG Qun-Sheng

Special Issue on ChinaVR 2010

- 123 MTDriver: An Improved Multi-Touch Table Toolkit
TAN Guo-Fu, LIU Jia-Sheng, DAI Zhi-Jun, ZHANG Feng-Jun, WANG Hong-An, DAI Guo-Zhong
- 133 Research and Implementation of Interactive Robotics Modeling and Simulation System
HUANG Li, JIANG Xiao-Hong, XIONG Hua, PAN Zhi-Geng
- 140 Task Planning Based on the Description Logic of Tasks in Joint Operation Scenarios
ZHANG Wei, ZENG Liang, ZHANG Hui, LI Si-Kun

Special Issue on CIDE 2010

- 149 A Method of Sketch-Based Human Body Modeling
ZHANG Yao-Ye, SUN Zheng-Xing, LI Yi, LIU Kai, SONG Mo-Fei
- 158 A 3D 2-Subiteration Thinning Algorithm for Human Pose Estimation
LIU Hong-Zhi, WU Zhong-Hai, LI Cao, WANG Yang
- 165 Viewpoint Selection Benchmark Design and Application
YANG Li-Ming, HAN Hong-Lei
- 173 3D Motion Retrieval Measure Based on SOM Feature and PCA Index
LI Yu-Mei, ZHANG Qiang, WEI Xiao-Peng, YAO Shu-Lei
- 183 3D Mesh Segmentation Based on Boundary Strength
SUN Xiao-Peng, JI Yan-Jie, WEI Xiao-Peng
- 194 Dimensional Density and Clustering in Scatterplots
TANG Lei, LI Xue-Qing, LIU Yang
- 205 An Approach for Human and Motion Word Annotation with the Grouping Effect of Heterogeneous Features

Special Issue on HPCC 2010

- 214 Performance Testing and Analysis of BLAS Libraries on Multi-Core CPUs
CHEN Shao-Hu, ZHANG Yun-Quan, ZHANG Xian-Yi, CHENG Hao
- 224 Stripping Multiple Parallel Transaction Footprints with Incomplete Tokens
MAN Jun-Feng, LI Chang-Yun, WEN Zhi-Cheng, WEN Xiang-Bing
- 238 Parallel Job Performance Prediction Based on the Case Reconstruction
ZHANG Wei-Zhe, ZHANG Hong-Li, ZHANG Yuan-Jing
- 251 A GPU Computational Model Based on Latency Hidden Factor
YUAN Liang, ZHANG Yun-Quan, LONG Guo-Ping, WANG Ke, ZHANG Xian-Yi
- 263 Parallel Algorithm and Software of Three-Dimensional Dislocation Dynamics
LIU Xu, CAO Xiao-Lin, ZHANG Guang-Cai, SHEN Wei-Chao, WU Guo-Qing
- 270 A Parallel Finite Difference Stencil Algorithm Based on Iterative Space Alternate Tiling
ZHANG Ji-Lin, DI Peng, JIANG Cong-Feng, ZHANG Wei, XU Xiang-Hua, WAN Jian, REN Yong-Jian
- 284 An Iterative Clustering Based Approach for Parallel Performance Analysis
ZHU Peng, LI Wei, LI Yun-Chun
- 290 Easy Data Tiling Method for Software-Managed Memory Hierarchies
LIU Yong, LU Lin-Sheng, HE Wang-Quan

Special Issue on ICPCA 2010

- 298 Designs of Privacy Protection in Location-Aware Mobile Social Networking Applications
TAN Rong, GU Jun-Zhong, YANG Jing, LIN Xin, CHEN Peng, QIAO Zhe-Feng
- 310 A Feedback Adaptive Fuzzy Petri Net Model for Context Reasoning
WEN Sai-Ping, ZHU Zhen-Min, YE Jian
- 318 A Geographic Surface Routing Algorithm in 3D Ad Hoc Networks
WANG Yun, SU Han, FANG Ding-Yi
- 330 Multi-Gateway Nodes Data Collected Routing Algorithm Based on Load Balancing Tree
WANG Qian-Ping, XU Qin, WANG Ke, ZHAO Yan
- 341 QoS Aware Resource Allocation Algorithm in OFDMA Cooperative Network
QIU Lin, SONG Mei-Na, SONG Jun-De
- 349 Sentiment Classification for Stock News
GAO Yang, ZHOU Li, ZHANG Yong, XING Chun-Xiao, SUN Yi-Gang, ZHU Xian-Zhong
- 363 On-Line Event Detection from Web News Stream
FU Yan, ZHOU Ming-Quan, WANG Xue-Song, LUAN Hua

《软件学报》投稿指南

《软件学报》是一本刊登计算机软件各领域原创性研究成果的期刊,所刊登的论文均经过严格的同行专家评议。《软件学报》主要面向全球华人计算机软件学者,致力于创办与世界计算机科学和软件技术发展同步的以中文为主的“中文国际软件学术期刊”,为全球华人同行提供学术交流平台。《软件学报》创刊于 1990 年,由中国科学院软件研究所和中国计算机学会联合主办,已被 EI Compendex, INSPEC, Abstracts Magazine, Mathematical Review, Zentralblatt MATH 等国际数据库收录。

《软件学报》注重刊登反映计算机科学和计算机软件新理论、新方法和新技术以及学科发展趋势的文章,主要涉及理论计算机科学、算法设计与分析、系统软件与软件工程、模式识别与人工智能、数据库技术、计算机网络、信息安全、计算机图形学与计算机辅助设计、多媒体技术及其他相关的内容。

投稿要求

1. 来稿必须是原创性论文,要求结构完整、论点明确、论据可靠、论证合理、层次分明、可读性强。
2. 本刊长期征集长文,长文的长度至少在 15 页以上,侧重于鼓励科学工作者在结合国家需求、把握世界科学前沿的基础上,在重要研究领域或新学科生长点上开展深入、系统的创新性研究工作;鼓励有重大创新、有新观点和见解、可推动或丰富该领域的研究与发展。有关长文的详细要求,请登陆我刊网站了解。
3. 投稿应具有合法性,即不存在抄袭、剽窃、侵权等不良行为。如发现上述不良行为,本刊将据实通知作者所在单位的最高领导层,并不再接受第一作者的投稿。作者文责自负,本刊不承担连带责任。
4. 来稿应未在任何正式出版物上刊载过,且不允许一稿多投。本刊不接受任何语种的翻译稿。

写作要求

1. 稿件请用 Word 编辑排版,排版格式可参考本刊网站上提供的写作模板和近期《软件学报》。
2. 作者应将自己的研究工作有所启发、帮助和教益的国内外文献列出,以示对同行工作的尊重和补充。参考文献应查新、查全并在文中明确标引,且与国内外同类工作进行详细讨论和比较。

投稿方法

1. 请通过《软件学报》网站<http://www.jos.org.cn>“在线投稿”一栏进行投稿。
2. 投稿分配编号之后,系统将不提供稿件更新功能,请作者务必谨慎投稿,做到清稿定稿。

作者须知

1. 为联系顺畅,请在“在线投稿”时详细提供联系人的联系方式(包括通讯地址、邮编、E-mail 地址和联系电话等),审稿期间联系方式如有变化,请及时通知编辑部。
2. 我刊网站上提供了“稿件处理流程”,作者可以通过该流程图了解稿件的处理程序和相关规定。同时还列举了作者在投稿过程中经常遇到的一些问题,建议作者在投稿之前仔细阅读。
3. 为保障作者权益,本刊将采取必要措施以加速审稿流程。稿件一般在 6 个月内给出审稿结果,并尽可能提前给出评审意见。若审稿时间超过 6 个月,作者在通知编辑部并得到确认回复之后可自行处理投稿。
4. 通过初审的投稿作者需提交投稿声明,并请遵守投稿声明中的有关规定。不拟刊登稿件,将有评审意见提供给作者。
5. 作者在投稿时请注明是否为 CCF 会员,若是会员,请注明会员号。凡第一作者为 CCF 会员者,文章在发表时将享受 85 折版面费优惠(会员身份状态以发表时的状态为准)。
6. 从 2009 年我刊对录用待发表文章实行提前在线出版,在线出版是我刊正式出版的形式之一,详细说明请见我刊网站通知。稿件在线出版之后,仍将安排在印刷版出版。印刷版出版之后,将一次性给付稿酬(印刷版、光盘版和网络版稿酬),并赠送样刊。目录页和印刷版文章的原版可从我刊网站下载并打印。

联系电话: 010-62562563 E-mail: jos@iscas.ac.cn 网址: <http://www.jos.org.cn>
通讯地址: 100190 北京 8718 信箱 中国科学院软件研究所 《软件学报》编辑部

本刊实行在线出版的通知

为了加快出版速度,提高传播时效,促进学科发展,本刊对审查通过待发表的文章实行在线出版。录用文章在完成版式和内容的编辑加工及校对之后将在我刊网站上提前在线出版。在线出版,亦称网上预发表,指的是在印刷版出版之前,文章的电子版本在网上提前发表,除没有年、卷、期、页码之外,其内容与印刷版完全一致,在线出版视同为文章正式出版,是本刊正式出版的形式之一,其内容的著作权同样受相关法律法规保护。

论文在线出版之后,仍将安排在印刷版上出版,并在印刷版每篇文章的首页标明在线出版时间(published online 年-月-日)。

引用本刊在线出版的文章内容请注明其 URL 或 DOI,引用方式见“在线出版版权声明”。为保护本刊及著作权人的合法权益,提醒使用者在使用在线出版的文章时,应正确引用和注明文献出处,并且不得侵犯本刊及著作权人依法享有的其他权利。否则,本刊将授权相关律师事务所依法追究侵权人的法律责任。

在线出版版权声明和在线出版论文请见: http://www.jos.org.cn/ch/online_press.aspx

软 件 学 报

Ruanjian Xuebao

(月刊, 1990 年创刊)

第 21 卷 增刊 2010 年 12 月

Journal of Software

(monthly)

(Started in 1990)

Vol.21 Supplement Dec. 2010

编 辑 《软件学报》编辑部
(北京 8718 信箱 邮编 100190)
电话: 010-62562563
E-mail: jos@iscas.ac.cn
<http://www.jos.org.cn>

主 编 李明树
主办单位 中国科学院软件研究所 中国计算机学会
主管单位 中国科学院

出 版 科 学 出 版 社
(北京东黄城根北街 16 号 邮编 100717)

印 刷 北京北林印刷厂
总发行处 《软件学报》编辑部
订 购 处

Edited by Editorial Board of Journal of Software
(P.O.Box 8718, Beijing 100190, P.R.China)
E-mail: jos@iscas.ac.cn
<http://www.jos.org.cn>

Editor-in-Chief: LI Ming-Shu

Sponsored by Institute of Software, The Chinese Academy of
Sciences and China Computer Federation

Published by Science Press (16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China)

Printed by Beijing Bei Lin Printing House

Generally and Domestically Distributed by Editorial Board
of Journal of Software

ISSN 1000-9825
CN 11-2560/TP

京新出报刊(2010)z620 号

©2010 Journal of Software(版权所有)

定价: 40.00 元

公 开 发 行

视点选择 Benchmark 的设计与应用^{*}

杨利明^{1,2+}, 韩红雷^{1,2,3}

¹(中国科学院 软件研究所 计算机科学国家重点实验室,北京 100190)

²(中国科学院 研究生院,北京 100049)

³(中国传媒大学 动画学院,北京 100024)

Viewpoint Selection Benchmark Design and Application

YANG Li-Ming^{1,2+}, HAN Hong-Lei^{1,2,3}

¹(State Key Laboratory of Computer Science, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

²(Graduate University, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

³(Animation School, Communication University of China, Beijing 100024, China)

+ Corresponding author: E-mail: ylm@ios.ac.cn

Yang LM, Han HL. Viewpoint selection benchmark design and application. *Journal of Software*, 2010, 21(Suppl.):165–172. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/10018.htm>

Abstract: Viewpoint selection is an important research field in computer graphics, which analyses a model and generates viewpoints. These viewpoints fit well with human preferences, and contain as much as possible salient model features. But until now, the evaluation of viewpoint selection results has not yet been quantized. This paper designs and implements a quantized viewpoint selection benchmark. At first, it collects human viewpoint selection results of 30 persons observing 45 models, and defines the standard-human-viewpoint of each model according to these results. Then, it analyzes the consistence and stability of human viewpoint selection. At last, it implements five (three kinds) representative viewpoint selection algorithms, analyze and compare their results with standard-human-viewpoints. It also analyzes the performance differences between each kind of algorithm dealing various types of models. The experimental results show that human viewpoint selection has good consistence and stability, and differs on various types of models. All tested algorithms don't have great performance difference, but mutual information based method and viewing plane feature measurement method are a little better than others. Each kind of algorithm performs best at different type of models.

Key words: viewpoint selection; benchmark

摘 要: 视点选择是图形学的一个重要研究方向,它通过分析模型特征,计算得到符合人类观察习惯并包含更多模型重要信息的视点.近年来,人们提出了很多视点选择算法,然而对这些算法结果的评价仍然停留在感性阶段.设计实现了一个视点选择 Benchmark,对视点选择结果进行量化分析:首先,采集 30 个测试者对 45 个模型的视点选择结果,借以确立真人视点选择的基准视点;接着,以基准视点为参考,分析真人视点选择的一致性和稳定

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60773026, 60873182, 60833007 (国家自然科学基金)

Received 2010-07-20; Accepted 2010-11-03

性;最后,应用5个(共3类)代表性的算法进行视点选择,并比较其结果与基准视点的差别,得到各视点选择算法的质量及时间效率.实验结果表明,真人视点选择整体具有较好的一致性和稳定性,但对不同特征类型模型,一致性的表现有较大差异;已有视点选择算法对45个测试模型的结果整体差异不大,相对来说,基于互信息的方法和视平面上特征计算的方法较好,各类视点选择算法对不同特征类型模型结果互有优劣.

关键词: 视点选择;对比基准

视觉是人类探索世界的一个重要途径,视点选择通过生成一些有意义、易于理解的观察角度,帮助人们更加高效地通过视觉来获取信息^[1,2].文献[3-5]文针对人的认识和感知进行了一系列实验,结果表明大多数人倾向于从相似的视点来观察同一个模型,文章将这类视点称为 Canonical View.根据文献[3-5]的研究,Canonical View 通常都是模型的三视图视点(three quarter view),具有较高的稳定性,包含了尽可能多和显著的模型特征.视点选择即是通过分析模型的几何及语义特征,选择好的、尽可能符合人类观察习惯的视点,帮助人们更快更好地获取模型的信息.

从 Kamada 和 Kawai 在 1988 年^[1]提出图形学中第一个视点选择算法以来,这方面的研究已经进行了很多,如投影面积^[6]、视点熵^[7]、Mesh Saliency^[8]、模型语义信息^[9]、视点相关曲率^[10]、视点互信息^[11]和深度场稳定性^[12]等.然而,研究者几乎都没有给出这些算法效果的量化评价,表现为:

- (1) 没有对比标准模型库.每个算法使用不同的模型进行视点选择实验,造成不同算法之间难于比较;
- (2) 没有真人视点选择的数据.视点选择的结果最终要由人来判断其优劣,但这些研究并没有给出这方面的结果;
- (3) 没有量化的比较标准.研究者往往只使用图片给出视点选择结果,以及类似“好的”、“符合人类观察习惯的”、“重要性高的”等感性描述.

本文设计并实现了一个视点选择 Benchmark,量化地分析和比较了不同的视点选择方法(包括真人和算法自动选择),并将结果应用于视点选择算法的改进.我们设计了一套真人视点选择系统,包括真人视点选择数据采集工具和标准模型库,用于记录测试者对每个模型的视点选择结果.有些类似的研究^[3-5]没有对测试模型进行分类分析,忽视了真人和算法对不同特征类型模型在视点选择上是有差异的.而我们按两种方法对模型进行了分类:其一,按人的认知习惯,将模型分成人体模型、动物模型、CAD 模型、交通工具等类型;其二,按模型的特征,将模型分成有分枝、无分枝、表面光滑、表面皱褶等类型.另外,已有的视点选择方法仅仅关注视点位置,而忽略了模型向上方向(model upright direction),导致生成一些上下颠倒的视点选择结果,而我们的系统对真人视点选择的模型向上方向也进行了记录和分析.

本文方法的主要流程:采集真人视点选择数据作为标准数据(ground truth),确定每个模型真人视点选择的基准视点;以基准视点为参考,量化分析真人视点选择的特征;将不同算法生成的视点选择结果与基准视点进行比较.

本文的主要贡献有:(1) 采集了真人视点选择的标准数据;(2) 计算得到每个测试模型真人视点选择的基准视点;(3) 分析了真人视点选择的一致性和稳定性,以及对不同特征类型模型的差异;(4) 通过对5个(共3类)有代表性的视点选择算法和基准视点的比较,分析了各算法的效果,以及在不同特征类型模型上的表现;(5) 对比了各算法的时间效率,找到了影响效率的原因.

1 相关工作

人脑怎样表达三维模型?如何选择模型观察角度能够帮助大脑更好地掌握模型信息?这些问题的研究意义重大,吸引了众多研究者.文献[13-16]提出了基于组件的识别(recognition-by-components),认为人脑将三维模型表达为组成该三维模型且视点无关的组件,而文献[16-19]认为人脑将模型表达为多角度多方向视点组成的 Aspect-Graph.文献[5]中通过实验证明了人对模型的识别和了解受视点位置的影响很大.文献[4]中证明了对很多模型大多数人倾向于选择相似的角度来观察.Blanz^[3]将这类视点称为 Canonical View,并分析其特征:具有较

好的稳定性,包含了尽可能多和显著的特征。

视点选择方法大致可以分为两类:基于模型语义信息的方法和基于模型几何信息的方法。基于模型语义信息的方法^[9,20,21]通过分析模型的语义信息,或基于人工训练的机器学习方法来选择视点;基于模型几何信息的方法只分析模型的面积、曲率、深度场等特征来选择视点。基于模型语义信息的方法通常都需要交互或者人工训练,无法全自动选择视点;而基于模型几何信息的方法基本无需人工交互,可以全自动进行,能满足更多应用需求。有鉴于此,本文只讨论全自动的基于模型几何信息的视点选择方法。

1981 年 Kamada 和 Kawai^[1]提出了图形学中第一种视点选择算法,针对线框模型,通过投影退化面片的数目来衡量视点好坏。后续的方法很多,比如,文献[6]提出基于投影面积大小和可见面片数目综合权衡的视点选择方法,文献[7,22]将整体投影面积的度量扩展为每个面片的投影面积特征,提出了视点熵方法(viewpoint entropy),文献[8]计算模型每个顶点在多个尺度下的高斯加权曲率,以此为依据度量该顶点的重要程度,再用每个视点的可见顶点重要性之和来度量视点好坏,文献[10]将模型可见顶点的法向投影到视平面上,定义一个视点相关曲率并统计其分布特征度量视点的好坏,文献[12]分析比较各视点模型深度场的稳定性,将与其他视点的深度场差异最小的视点作为最佳视点,文献[11]建立各视点与各面片投影面积之间的信道,定义各视点的互信息来度量视点的好坏。文献[20]通过模型多种几何信息综合选择视点,但该方法结合了人工训练的内容,并且训练结果只能应用于同类模型。所有这些方法都仅关注视点的位置,忽略了模型向上方法的选择。仅文献[21]提出了确定人造物体向上方向的方法,通过一个训练集分析人造物体在平面上站立面的特征函数,再应用于一般人造物体分析其向上方向。

据我们了解的文献,目前还没有关于真人视点选择和算法视点选择的量化分析。比如:人们对模型进行视点选择时,选择的视点到底相似到什么程度?差异分布情况怎样?是不是对所有模型都具有相同统计特征?在不同特征类型的模型上有什么表现差异?不同视点选择算法结果的好坏怎样排序?不同视点选择算法应用于不同特征类型模型时有怎样的差异?本文通过适当的方法采集真人视点选择数据并加以分析,在一定程度上回答了这些问题。

当前基于模型几何信息的方法主要可以分为 3 类:基于投影面积方法、基于曲率方法和基于深度场方法。本文实现了其中有代表性的 5 种算法,基于投影面积方法:视点熵(viewpoint entropy)^[7,22]、视点互信息(viewpoint mutual information)^[11];基于曲率方法:Mesh Saliency^[8]、视平面特征计算(viewing plane feature measurement)^[10];基于深度场方法:深度场稳定性(depth field stability)^[12]。然后,使用不同的算法对测试模型进行视点选择,将各自结果与基准视点进行比较,并分析了各算法在不同特征类型模型上的优劣,以及时间消耗的差异及原因。

2 Benchmark 设计与实现

这一部分要考虑的内容主要有:标准模型集合的选择、数据采集工具的设计、数据采集对象(测试者)的选择与数据采集、真人数据的分析、视点好坏的量化比较标准和各视点选择算法的特点分析等等。

2.1 数据准备

Benchmark 设计的第一项重要内容就是选择哪些模型作为标准测试对象,这些模型需要满足如以下一些要求:覆盖不同的模型类型且有一定的代表性,符合各视点选择算法对模型的要求,模型可以被分成不同类型,各类模型特征有较大变化。结合这些需求,我们主要从 Princeton Shape Benchmark^[23]中挑选适当的模型,再加上各视点选择算法在发表时用到的模型,总共选择了 45 个。并对这些模型按两种方法对进行分类,其一按人的认知习惯,将模型分成人体模型、日用物品、卡通造型、动物、建筑、CAD 模型、交通工具共 7 类;其二按模型的特征,将模型分成有分枝、无分枝、表面光滑、表面皱褶、有分枝且表面光滑、有分枝且表面皱褶、无分枝且表面光滑和无分枝且表面皱褶共 8 类。

为了采集真人对这些模型视点选择的结果,我们设计了一个交互工具来模拟 Trackball 操纵模型。数据采集时,我们让测试者根据下面的提示选择模型观察角度,并记录测试者选择的视点位置及模型向上方向:

- (1) 有人说出这个模型的名字,比如“马”,你在脑中浮现的马的观察角度;

- (2) 如果要给该模型拍照,你所选择的拍照角度;
- (3) 如果你在论文中使用该模型,你展示时选择的角度.

2.2 量化度量标准

为了分析真人视点选择的特征,比较真人与算法视点选择的差异,我们从真人视点选择数据中选出一个视点作为真人视点选择的基准视点.基准视点要与所有真人选择视点的差异尽可能小,能够代表真人视点选择的倾向.然后以此为基础,分析真人视点选择的特征,比较真人与算法视点选择的差异.最后分析比较算法视点选择的时间效率及影响因素.

2.2.1 真人视点选择基准视点

对给定模型,我们选择所有真人选择视点中与其他视点差异最小的视点作为基准视点,具体做法如下:

- (1) 定义真人视点的方向为模型包围球球心与视点连线的方向,计算两两真人视点方向之间夹角的大小.
- (2) 对每个真人视点,统计与其夹角小于给定阈值 α 的视点数量,计为 $M1, M2, \dots, Mn, n$ 是真人视点的数量(即测试者的数量).
- (3) 取最大 $Mi(i=1, 2, \dots, n)$ 对应的视点作为该模型的基准视点.

从上面的方法可以知道,该视点与尽可能多的其他视点的夹角都小于 α ,处于所有真人选择视点的中心位置,能够代表较多测试者的视点选择倾向.

2.2.2 真人视点选择一致性与稳定性

在定义好基准视点之后,我们以此为基础,分析真人视点选择的特征,包括一致性和稳定性.所谓一致性是指真人选择视点是否如文献[3-5]所述——大多数人会选择相似的观察角度;而稳定性是指对不同模型及不同类型的模型是否表现一样.

对于给定模型,以其包围球球心与真人视点位置的连线方向为视点方向,以基准视点的方向为标准,计算其他真人视点与基准视点的夹角大小,并以这些夹角的平均值来衡量真人视点选择对该模型的一致性,夹角平均值越小,说明一致性越高.对所有模型计算其各自夹角平均值的大小,记为 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ (k 为模型数目).然后,以 $\theta_1, \dots, \theta_k$ 的平均值大小衡量真人视点选择的整体一致性,而以其标准差衡量真人视点选择的稳定性.同样,我们用该方法来衡量模型向上方向的一致性和稳定性,当然,模型向上方向本身就是一个矢量,不需要以包围球球心为参考.

以上一致性和稳定性分析将所有测试模型作为一个整体来考虑,为了更精确地分析真人视点选择在不同类型模型上的特征,我们对每个模型分类分别分析其一致性和稳定性.这个方法同样也应用于分析对比算法视点选择在不同类型模型上表现.

2.2.3 视点选择算法评价

在上面两节中,我们定义了真人视点选择基准视点、整体及不同模型分类上的一致性和稳定性,在这一节中,我们以此为标准和参考,分析评价不同算法视点选择的结果.对给定算法,计算其结果与真人选择基准视点的夹角大小,以其平均值大小来衡量算法好坏,平均值越小,表示算法视点选择的结果越接近真人视点选择.然后计算每个模型分类中算法视点选择结果与真人选择基准视点的夹角平均值,衡量该算法对哪种模型类型最有效,以及给定模型类型应该采用哪种算法.算法的时间性能也是算法评价的一个重要方面,所以最后我们统计各个算法的计算时间,及对不同类型模型的计算时间,分析不同视点选择算法时间性能的影响因素.

3 实验及结果

3.1 真人视点选择基准视点

依据第 2.2.1 节描述的方法,我们计算了全部 45 个模型的基准视点.部分模型的基准视点如图 1 所示,从图 1 中我们可以看出,正如文献[3-5]中所述,对于大部分模型,真人选择的视点都近似于三视图视点,能够看到模型多方面的特征,同时展示了模型最重要、特征最丰富的部分.在接下来的实验中,我们以这些视点为基准,量

化分析真人视点选择的一致性和稳定性,并比较算法视点选择与真人视点选择的差异.

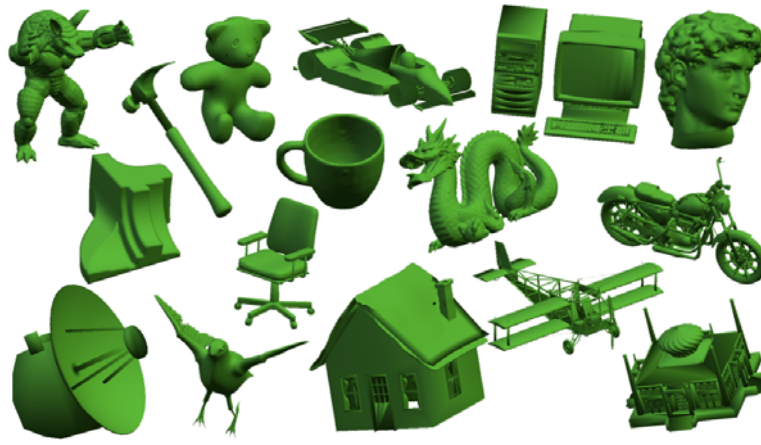


图 1 真人视点选择的基准视点

3.2 真人视点选择一致性

以上一节中的真人选择基准视点为标准,按第 2.2.2 节中的方法,计算所有模型真人视点选择的一致性为 36 度,标准差为 18 度.由这个结论可知,对于所有模型,真人选择的视点具有较好的一致性,所选择的视点与基准视点的平均差异比较小,而且非常稳定.同样,我们对模型向上方向也做如此分析,得到的一致性为 28 度,标准差 13 度.该结果比视点位置更加集中,分布也更加稳定,这表明人对模型向上方向的选择相比视点位置的选择更加一致,此结论可作为视点选择算法将来研究的分析和对比基准.

更进一步地,我们按两种不同方法将模型进行分类.首先,按人的认知习惯,将模型分为人体模型、日用物品、卡通造型、动物、建筑、CAD 模型、交通工具这 7 类.其结果如图 2 所示,横坐标依次为各分类,纵坐标为角度.其次,按模型的特征,将模型分为有分枝且表面光滑、有分枝、有分枝且表面皱褶、表面光滑、表面皱褶、无分枝且表面光滑、无分枝和无分枝且表面皱褶等八类.其结果如图 3 所示,横坐标依次为各分类,纵坐标为角度.由图 2、图 3 可知,人在对不同特征类型模型进行视点选择时,视点位置一致性的差异比较大.按人的认知习惯分类中,人对相对接近自然物体形状的模型(人体模型、日用物品、卡通造型、动物)有较高的一致性,而对人造模型(建筑、CAD 模型、交通工具)一致性较低.按模型特征分类中,人对有分枝的模型有较高的一致性,而对无分枝模型一致性较低.视点位置的稳定性在各分类上的差别较不明显.在模型向上方向的选择上,所有模型类型的数据都一样,这更进一步的表明,人选择模型向上方向时的一致性要比选择视点位置时高,而且更加稳定.

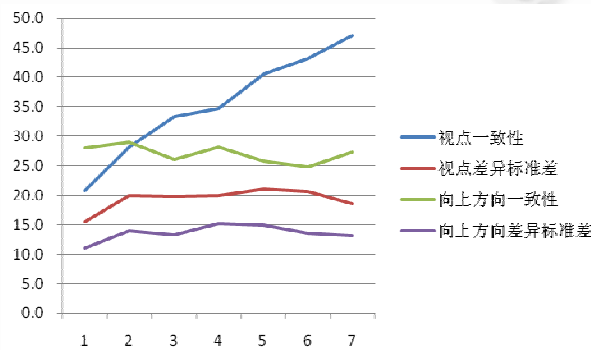


图 2 按人的认知习惯分类的真人视点选择数据,横坐标依次为人体模型、日用物品、卡通造型、动物、建筑、CAD 模型、交通工具.纵坐标为角度

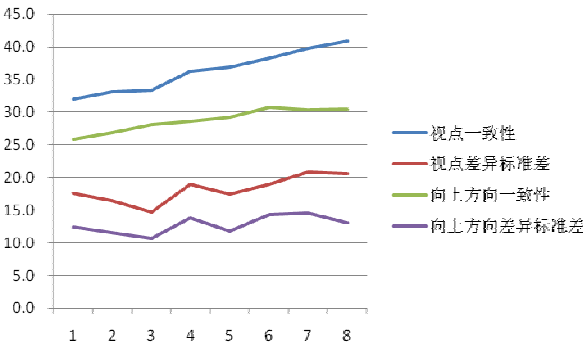


图3 按模型特征分类的真人视点选择数据,横坐标依次为有分枝且表面光滑、有分枝、有分枝且表面皱褶、表面光滑、表面皱褶、无分枝且表面光滑、无分枝和无分枝且表面皱褶,纵坐标为角度

3.3 视点选择算法评价

我们实现了有代表性的5种(共3类)视点选择算法,基于投影面积方法:视点熵(viewpoint entropy)^[7,22]、视点互信息(viewpoint mutual information)^[11];基于曲率方法:Mesh Saliency^[8]、视平面特征计算(viewing plane feature measurement)^[10];基于深度场方法:深度场稳定性(depth field stability)^[12]。为了方便,5种算法在下文中分别用VE,VMI,MS,VPFM,DFS来表示。我们使用这5种算法对所有45个模型进行了视点选择,然后与真人视点选择的基准视点进行比较,以算法选择视点与基准视点的夹角大小平均值来衡量算法的好坏及接近真人选择视点的程度。按人的认知习惯分类,其结果见表1,第2行是对所有模型分析的结果,第3~9行是对不同模型类型分析的结果。按模型特征分类,其结果见表2,第2行是对所有模型分析的结果,第3~10行是对不同模型类型分析的结果。

表1 按人的认知习惯分类,算法视点选择结果与基准视点差异

视点选择方法	VE	VMI	MS	VPFM	DFS
视点平均差异角度	62.0	46.0	54.7	48.3	51.8
人体模型	54.4	48.0	43.9	39.8	43.3
日用物品	70.8	42.3	51.9	49.2	52.6
卡通造型	58.4	51.4	57.4	34.7	50.5
动物	66.8	34.8	60.0	56.9	60.0
建筑	59.8	48.2	47.4	42.7	48.8
CAD模型	48.7	43.5	52.8	55.4	57.2
交通工具	68.9	41.3	55.4	53.0	45.9

表2 按模型特征分类,算法视点选择结果与基准视点差异

视点选择方法	VE	VMI	MS	VPFM	DFS
视点平均差异角度	62.0	46.0	54.7	48.3	51.8
无分枝	62.6	46.9	54.1	46.5	51.3
有分枝	58.4	45.2	55.5	49.3	52.3
表面光滑	59.7	45.0	55.2	48.0	52.1
表面皱褶	65.9	47.7	53.9	48.8	51.4
无分枝且表面光滑	67.6	45.5	55.4	49.1	51.8
无分枝且表面皱褶	61.4	47.4	52.8	46.4	49.6
有分枝且表面光滑	57.0	43.2	56.9	47.8	51.8
有分枝且表面皱褶	69.9	48.0	54.9	51.0	53.0

从表1和表2我们可以看出,这些视点选择算法对模型集进行视点选择的平均表现差异不大。相对来说,VMI和VPFM方法的结果较好,而VE方法的结果较差。按人的认知习惯分类,不同类视点选择算法没有明显的优劣趋势。然而,按模型特征分类,基于投影面积的方法VE和VMI对有分枝且表面光滑的模型,能够取得较好

的平均结果;基于曲率的方法 MS 和 VPFM 对无分枝且表面皱褶的模型,能够取得较好的平均结果;而基于深度场的方法无明显趋势.对有分枝模型,各方向的投影面积差异较大,基于投影面积的方法能够更好的分析其特征;而此时如果模型表面有皱褶,仅通过投影面积无法分析这些特征,有可能导致不好的结果.对表面皱褶模型,基于曲率的方法能够更好的分析其特征;而此时如果模型有分枝,仅曲率特征无法分析各方向分枝投影的差异,有可能导致不好的结果.总的来说,没有哪类或者哪个算法对所有模型类型都能取得最好结果,根据模型特征类型,同时考虑模型投影面积和曲率的方法可能是以后的发展方向.

时间性能是算法评价的另一个重要方面,我们统计了 5 种算法对各模型进行视点选择的时间消耗.各算法均取 200 个备选视点,视平面大小除 DFS 方法为 256×256 外,其余 4 个均为 512×512 .结果见表 3,5 种算法的时间差异非常巨大.时间最短的是 VE 和 VMI 两个基于投影面积的算法,这类算法计算简单,且计算过程可以直接用 GPU 加速,时间消耗非常少.而基于模型曲率的方法,VPFM 算法需要计算视平面上模型投影区域的曲率及其分布,MS 算法需要计算模型在三维空间的顶点曲率及在一定范围内的高斯加权,都需要更多的计算.VPFM 的时间消耗与视平面大小设定相关,MS 的时间消耗与模型的顶点面片数目相关.其中时间消耗最大的是基于深度场的 DFS 算法,该算法的复杂程度是 $O(N \times N)$, N 为备选视点数目.其每步计算需要合并生成一张 512×256 大小的 PGM 图片并用 bzip2 压缩,获得压缩文件的大小.在 200 备选视点情况下,需要生成超过 4 万张图片并压缩,这是一个非常耗时的过程.

表 3 5 种算法的平均时间消耗

视点选择方法 时间(秒)	VE	VMI	MS	VPFM	DFS
	1.28	1.34	63.3	34.2	659.1

4 总 结

我们设计了一个量化的视点选择 Benchmark.采集了 30 个测试者针对 45 个模型的视点选择数据,依此确立了每个模型的真人选择基准视点.以基准视点为参考,分析了真人视点选择时的一致性和稳定性.实验数据表明,对很多模型大多数人观察时喜欢选择相似的角度;同时,对不同的模型类型视点选择一致性有较大差异,人对较接近自然物体和有分枝的模型观察时,有更高的一致性.我们分析和比较了有代表性的 5 种(共 3 类)视点选择算法,并分析了在不同模型类型上它们的表现.结果表明,基于投影面积方法更适合处理有分枝且表面光滑的模型,而基于曲率方法更适合处理无分枝且表面皱褶的模型.最后,我们比较了 5 种视点选择方法的时间性能,并分析了导致时间效率差异的原因.

总的来说,我们实现了一个量化的视点选择 Benchmark,分析了真人视点选择的特征,比较了当前有代表性的 3 类视点选择方法.当然,目前我们的 Benchmark 还不够大,测试者和模型数据都不够多,参与比较的算法也不够全面.我们准备在未来工作中以本文已有的结论为基础,建立更大更全面更准确的视点选择 Benchmark.

致谢 感谢本文工作中参与数据采集的测试者,以及对文章修改提出建议的审稿专家.

References:

- [1] Kamada T, Kawa S. A simple method for computing general position in displaying three-dimensional objects. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1988,41(1):43–56.
- [2] Weinshall D, Werman M. On view likelihood and stability. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997,19(2): 97–108.
- [3] Blanz V, Tarr MJ, Bühlhoff HH. What object attributes determine canonical views. *Perception*, 1999,28(5):575–600.
- [4] Palmer S, Rosch E, Chase P. Canonical perspective and the perception of objects. *Attention and Performance IX*, 1981:135–151.
- [5] Tarr MJ, DJ. Kriegman. What defines a view? *Vision Research*, 2001,41(15):1981–2004.
- [6] Plemenos D, Benayada M. Intelligent display in scene modeling. New techniques to automatically compute good views. In: *Proc. of the GraphiCon'96*. 1996.

- [7] Vázquez PP, Feixas M, Sbert M, Heidrich W. Automatic view selection using viewpoint entropy and its application to image-based modelling. *Computer Graphics Forum*, 2003,22(4):689–700.
- [8] Lee CH, Varshney A, Jacobs DW. Mesh saliency. In: *Proc. of the SIGGRAPH 2005: ACM SIGGRAPH 2005 Papers*. New York: ACM, 2005. 659–666.
- [9] Sokolov D, Plemenos D. Virtual world explorations by using topological and semantic knowledge. *The Visual Computer*, 2008, 24(3):173–185.
- [10] Yang LM, Wang WC, Wu EH. Viewpoint selection by feature measurement on the viewing plane. *Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics*, 2008,20(9):1097–1103 (in Chinese with English abstract).
- [11] Feixas M, Sbert M, González F. A unified information-theoretic framework for viewpoint selection and mesh saliency. *ACM Trans. on Applied Perception*, 2009,6(1):1–23.
- [12] Vázquez PP. Automatic view selection through depth-based view stability analysis. *The Visual Computer*, 2009,25(5):441–449.
- [13] Marr D. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. New York: Henry Holt and Co., Inc., 1982.
- [14] Biederman I. Recognition-by-Components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, 1987,94(2):115–147.
- [15] Biederman I, Gerhardstein PC. Viewpoint-Dependent mechanisms in visual object recognition: Reply to Tarr and Bülthoff (1995). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1995,21(6):1506–1514.
- [16] Tarr MJ, Bülthoff HH. Image-based object recognition in man, monkey and machine. *Cognition*, 1998,67(1-2):1–20.
- [17] Koenderink JJ, van Doorn AJ. The internal representation of solid shape with respect to vision. *Biological Cybernetics*, 1979,32(4): 211–216.
- [18] Tarr M, Williams P, Hayward WG, Gauthier I. Three-Dimensional object recognition is viewpoint dependent. *Nature Neuroscience*, 1998,1(4):275–277.
- [19] Bülthoff HH, Edelman SY, Tarr MJ. How are three-dimensional objects represented in the brain? *Cerebral Cortex*, 1995,5(3): 247–260.
- [20] Vieira T, Bordignon A, Peixoto A, Tavares G, Lopes H, Velho L, Lewiner T. Learning good views through intelligent galleries. *Computer Graphics Forum*, 2009,28(2):717–726.
- [21] Fu H, Cohen-Or D, Dror G, Sheffer A. Upright orientation of man-made objects. *ACM Trans. on Graphics*, 2008,27(3):1–7.
- [22] Vázquez PP, Feixas M, Sbert M, Heidrich W. Viewpoint selection using viewpoint entropy. In: *Proc. of the Vision Modeling and Visualization Conf. 2001*. Stuttgart: Aka GmbH, 2001. 273–280.
- [23] Shilane P, Min P, Kazhdan M, Funkhouser T. The princeton shape benchmark. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Shape Modeling and Applications 2004*. 2004. 167–178.

附中文参考文献:

- [10] 杨利明,王文成,吴恩华.基于视平面上特征计算的视点选择.计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(9):1097–1103.



杨利明(1981—),男,湖南南县人,博士生,主要研究领域为计算机图形学。



韩红雷(1980—),男,博士生,讲师,主要研究领域为计算机图形学。