

# 从激光扫描数据中进行建筑物特征提取研究

李必军<sup>1</sup> 方志祥<sup>1</sup> 任 娟<sup>2</sup>

(1 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘要:** 提出了一套基于建筑物几何特征的信息挖掘方案, 并具体介绍了研究中采用的一些原理、方法与实用算法, 从而可以直接从激光扫描数据中提取建筑物的平面外轮廓信息。利用本方案对车载激光扫描系统获取的城市建筑物试验数据进行了具体的处理, 并给出了三维建模和可视化表达结果。

**关键词:** 激光扫描; 数据挖掘; 特征提取; 三维建模

**中图法分类号:** P208; TP751

随着 GIS 向三维领域的不断发展, 三维城市模型的研究近年得到了飞速的发展, 人们在三维对象建模、基于影像的对象重构以及数据获取方面进行了较深入的研究, 其中以对数据获取的研究最为深入广泛。三维城市模型的构建需要真三维的空间数据和真实影像数据, 而现在二维 GIS 中除了二维空间数据之外, 并不具备第三维几何数据和纹理特征, 如何获取这些数据成了一个难点。

激光扫描测量技术是最近发展迅速的一种新技术<sup>[1~18]</sup>, 已成为空间数据获取的一种重要技术手段, 特别是机载激光扫描系统发展得很快<sup>[1, 2, 5, 10, 14, 16~18]</sup>, 如瑞典的 TopEye 机载系统、加拿大 Optech 公司的 ALTM1020GG 系统、美国的 Fli-Map1 系统等都已经用于快速获取大面积三维地形数据。基于地面的激光扫描系统可用于城市三维重建和局部区域空间信息获取, 目前正引起广泛的关注, 是激光扫描技术发展的一个重要方向<sup>[1, 2, 5, 8, 15, 16, 19]</sup>。同传统的测量手段相比, 激光扫描技术有自己独特的优势: ①数据获取速度快, 实时性强; ②数据量大, 精度较高; ③主动性强, 能全天候工作; ④全数字特征, 信息传输、加工、表达容易。

不过, 激光扫描仪 (laser scanner, LS) 所获得的数据是由全离散的矢量距离点构成的“点云 (points cloud)”, 它的每一个像素所包含的是一个

距离值和一个角度值。距离图像本身蕴含了丰富的特征信息, 可以直接构建高精度的 DEM; 但它又没有任何明显的形体信息和拓扑关系信息, 使得目前必须与其他传感器如 CCD 等结合使用, 因而大多作为快速获取高精度 DEM 数据的一种重要技术<sup>[2, 5, 7, 9, 10, 14]</sup>。

为此, 日本东京大学的 Dinesh 研究了直接从距离影像中提取相关几何特征 (如道路、建筑物等) 和纹理的相关算法及各种模板等。基于地面的激光扫描技术的理论及其应用<sup>[11~18]</sup> 的研究也取得了一些成果。作者对车载激光扫描系统的激光数据处理进行了深入研究, 通过对规则人造物体 (道路、建筑物) 的扫描试验, 提出了直接从距离影像数据中挖掘相关几何特征的新方法。

## 1 基本原理

直接利用激光扫描数据实现目标三维重建需要解决的主要问题是提取目标特征点, 如边界点、转角点等, 由特征点构建特征线和特征面, 从而重建三维目标。本文主要研究具有以下特征的规则建筑物: ①建筑物立面基本垂直于地面; ②建筑物表面基本平滑; ③建筑物转角基本为直角。

采用的研究方案是: 首先根据已知信息对原始观测值进行概算, 将地形数据与地物数据分离;

其次对地物数据进行滤波,去除测量噪声、遮挡物如树木等影响,得到建筑物数据;再次,根据建筑物自身特征,对连续扫描的激光测量断面进行整体匹配纠正,得到建筑物特征点和二维平面特征;

之后,根据纠正信息对原始测量数据进行重新计算,得到反映建筑物表面几何特征的三维扫描坐标;最后对三维坐标进行建模与三维可视化处理。研究采用的数据处理流程见图1。

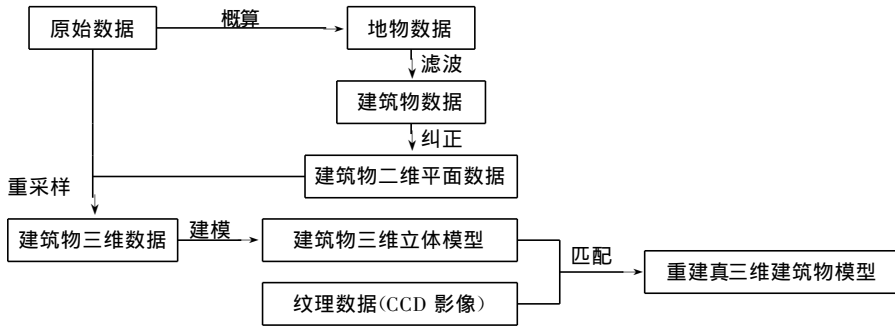


图1 激光扫描数据处理流程图

Fig. 1 Flow Chart of Processing Laser Scanning Data

## 2 数据处理算法

### 2.1 数据概算

数据概算的目的是为了将测量数据分离为地形数据与地物数据,并为后续处理提供基础数据。野外数据采集时,汽车运行轨迹是已知的:从一个基准点到另一个基准点, GPS 数据描述中间路线轨迹;激光扫描仪到地面的高度是固定不变的已知高度(不考虑汽车颠簸影响)。假定激光扫描仪中心轴始终垂直向下,根据上述已知信息确定的激光扫描仪姿态参数对原始数据进行坐标计算。地形数据与地物数据分离法则为:高度值小于仪器高度的点视为地形点数据;高度值大于仪器高度的点作为地物数据。

### 2.2 数据滤波

对地物数据滤波是为了去除测量噪声、遮挡物如树木等的影响,得到建筑物数据。实际测量过程中存在各种因素(如车辆颠簸、前端非目标物体的遮挡、目标物体的透明特征或激光穿透目标等)的影响,观测数据往往不是理想的结果。为了得到合理正确的目标物体形体信息,需要对观测数据进行滤波,剔除掉含有粗差的相关观测数据和无效形体数据,从而得到目标物体形体信息的最佳估值。笔者采用多种处理方法相结合:根据激光扫描回波信号强度辨别,回波信号强度低于阈值时,距离信号值无效;利用中值滤波,剔除奇异点;利用曲面拟合去除前端遮挡物。

### 2.3 建筑物平面特征点提取

从距离影像中挖掘几何形体特征最重要的就是探测特征点,根据特征点分析特征线和形体。

在离散点中挖掘线性信息的方法比较多,例如 Hough 变换、线性回归、分段线性拟合等<sup>[3, 14, 20, 21, 22]</sup>。本文提出了一种基于建筑物几何特征的信息挖掘方法,该方法分以下两步。

1) 求解所有测量断面中激光扫描仪到建筑物的垂直距离(扫描断面不垂直建筑物时,换算到垂直情况)。如图2,同一断面的扫描线和建筑物平面交线组成三角形  $\triangle OP_iP_j$ , 三角形两条边长度  $D_i, D_j$  及扫描夹角  $B$  已知,每个三角形都可求解出扫描仪到建筑物的垂直距离,暂称之为伪距。

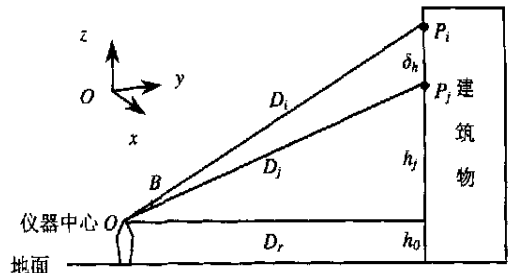


图2 距离求解

Fig. 2 Evaluating Distance

$$D_r^2 + (h_j + \hat{\delta}_h)^2 = D_i^2 \quad (1)$$

$$D_r^2 + h_j^2 = D_j^2 \quad (2)$$

式中,  $\hat{\delta}_h$  为建筑物上相邻两条扫描点之间的直线距离;  $D_r$  表示伪距;  $h_j$  为  $P_j$  相对于仪器  $O$  的高度,  $i \neq j, 0 < i, j \leq M$ ,  $M$  为一个断面总的扫描线数。

$$\hat{\delta}_h = \sqrt{D_i^2 + D_j^2 - 2D_iD_j\cos B} \quad (3)$$

由式(1)和式(2)得:

$$h_j = \left[ D_j^2 - D_i^2 - \hat{\delta}_h^2 \right] / (2\hat{\delta}_h) \quad (4)$$

因此,

$$D_r = \sqrt{D_j^2 - h_j^2} \quad (5)$$

理想状态下,同一断面的所有伪距都应该相等,并表示扫描仪到建筑物的垂直距离结果,然而实际中存在不可避免的影响因素,必须对这些伪距进行判别。研究采用基于统计学基础上的 Pauta 准则、信息熵粗差探测法<sup>[3]</sup>和最小二乘法,在粗差探测和粗差剔除的基础上确定每一个断面的伪距总体估值。据此估值确定每个断面的垂足点,依照此法则就可求出所有垂足点。

2) 对激光测量断面进行整体匹配纠正。将所有垂足点顺序连接,采取曲线拟合手段计算出光滑曲线上的曲线点,对这些曲线点进行探测,从中提取出客观表达目标物体形体变化的特征点,最后以这些特征点为界进行直线拟合和形体信息挖掘,从而得到表示建筑物二维平面特征的点与线。经过处理的点、线,由于顾及了建筑物的整体特征,因此可以更好、更正确的表达建筑物的平面特征。其算法描述大致如下。

① 选取一奇数集合  $M_1 = 2m + 1 \leq N$  ( $M_1$  为选取的子集,  $m$  为子集半径,  $N$  为集合中数据点总数目), 即对于数据链中每一个点, 取出其前面的  $m$  个点和后面的  $m$  个点组成一个邻域集合, 记为  $S_i = \left\{ \left[ x_{i-m}, y_{i-m} \right], \left[ x_{i-m+1}, y_{i-m+1} \right], \dots, \left[ x_{i+m-1}, y_{i+m-1} \right], \left[ x_{i+m}, y_{i+m} \right] \right\}, 0 \leq i \leq N$ 。然后计算下面各式:

$$X_1 = \sum_{j=0}^{m-1} x_{i-j}, Y_1 = \sum_{j=0}^{m-1} y_{i-j} \quad (6)$$

式中,  $(X_1, Y_1)$  是其前面  $m$  个点的重心坐标。

$$X_2 = \sum_{j=0}^{m-1} x_{i+j}, Y_2 = \sum_{j=0}^{m-1} y_{i+j} \quad (7)$$

式中,  $(X_2, Y_2)$  是其后面  $m$  个点的重心坐标。

$$\alpha_1 = f(X_1, Y_1, x_i, y_i) \quad (8)$$

式中,  $\alpha_1$  为  $(X_1, Y_1)$  到  $(x_i, y_i)$  的方向角值。

$$\alpha_2 = f(x_i, y_i, X_2, Y_2) \quad (9)$$

式中,  $\alpha_2$  为  $(x_i, y_i)$  到  $(X_2, Y_2)$  的方向角值。

② 根据预先给定的阈值来判定该点是否为特征点, 具体方法如下。

分别求解  $(X_1, Y_1)$  与  $(x_i, y_i)$  及  $(x_i, y_i)$  与  $(X_2, Y_2)$  之间的距离:

$$D_i = \sqrt{(X_1 - x_i)^2 + (Y_1 - y_i)^2} \quad (10)$$

$$D_j = \sqrt{(x_i - X_2)^2 + (y_i - Y_2)^2} \quad (11)$$

如果  $\hat{q} = |D_i - D_j| \leq \epsilon_d$ , 并且  $\hat{q} = |\alpha_1 - \alpha_2| \leq \epsilon_a$ , 说明点  $(x_i, y_i)$  是可疑特征点。

③ 重复步骤①和②, 把所有的观测数据点处理完毕。

④ 二次计算这些可疑特征点, 得到最终的特征点(每一直线段端点)。然后以这些特征点为界划分原始观测值, 把在每段内的原始观测数据作直线拟合, 根据拟合结果反过来修正原始观测点的距离值。

## 2.4 建筑物三维数据获取

根据建筑物的总体纠正信息对原始测量数据进行重采样, 就可得到反映建筑物表面几何特征的三维扫描坐标, 主要是正确获得建筑物的立面几何信息。算法为: 根据二维平面信息, 将激光扫描仪到建筑物的垂直距离作为已知值, 重新对原始数据进行坐标计算。与坐标概算不同, 重采样结果顾及了建筑物的整体特征, 对测量数据进行了整体匹配与纠正, 并有效地补偿了数据采集过程中的部分误差(包括扫描仪中心轴本身并不垂直向下)。由式(2), 有:

$$h'_i = \pm \sqrt{D_i^2 - (D'_r)^2} \quad (12)$$

式中,  $0 < i \leq M$ ,  $h'_i$  是第  $i$  个测点纠正后的高度值;  $D_i$  是实测距离;  $D'_r$  是计算距离; 测点在激光探头水平面以下时  $h'_i$  为负。

$$H_i = h'_i + h_0 \quad (13)$$

式中,  $H_i$  是第  $i$  个扫描点的相对地面高度;  $h_0$  为激光探头  $O$  相对于地面的高度。将以上计算结果换算到实际坐标系统中即完成重采样计算。

## 2.5 三维建模与可视化

通过上述有关计算, 已经得到了最终的三维重采样点, 并以此作为建模点直接参与三维建模。一般情况下, 三维建模策略是对这些数据重采样点构成 TIN, 采用真实感图形计算的方法分别进行三角面片的划分镶嵌, 确定视点和观察方向, 进行图形变换、可见面识别、亮度和色彩计算及纹理映射等处理过程<sup>[23, 24]</sup>。

# 3 试验方案及结果

## 3.1 系统方案

试验采用车载激光扫描系统进行。该系统是一个多传感器集成的自动化采集系统, 包括 DG-PS、CCD、LS、控制系统等。LS 搭载在车顶上, 在平坦地面时, 车顶平台基本水平, 扫描仪中心线基本铅直。数据采集过程中, 汽车前进速度为 10km/h。本系统采用的 LS 为奥地利 RIEGL 产品 LMS-Q140i-80, 主要特性如表 1。

所有传感器在室内标定完成; 试验地选在一个比较平整的场地上, 试验建筑物为比较规则的

方形建筑; GPS 确定汽车运行轨迹, 激光扫描仪直接对建筑物连续进行逐面扫描, 如图 3; CCD 直接获取目标纹理信息。扫描过程中不对 LS 进行姿态测量与控制, 扫描范围为仪器中心水平线  $\pm 40^\circ$ ; 处理结果可转成 AutoCAD 的 dxf、obj 格式, 也可导入专业建模工具 3DSMax 进行处理。

表 1 RIEGL 产品性能指标  
Tab.1 Specifications of RIEGL

项 目	主 要 指 标
扫描机制	旋转棱镜
扫描角	$\pm 40^\circ$
扫描速度	< 40
角度输出精度	$0.036^\circ$
测程	2~700m, 与反射率有关
测距精度	$\pm 5\text{cm}$ 对应测程 700m 或 $\pm 2.5\text{cm}$ 对应测程 350m
激光波长	近红外 0.9 $\mu\text{m}$
工作温度	-10 $^\circ\text{C}$ ~50 $^\circ\text{C}$

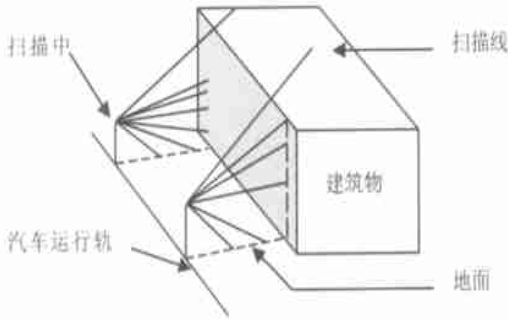


图 3 激光扫描示意图

Fig.3 Sketch Map of Laser Scanning

### 3.2 试验结果及分析

试验中选取一幢形体比较规整的建筑物, 采用车载激光扫描系统对建筑物一侧(图 4 所示 CCD 影像显示了其中一部分)进行了激光扫描测量, 利用本文算法处理后得到建筑物一侧的二维平面特征。图 5 是对建筑物一侧进行扫描数据处理后的结果。图 5 中, 1 所示的框是有效的数据区域; 4 所指向的点是探测到的特征点; 2 和 3 所示的框内明显无效的特征探测点通过人机交互删除。

本研究采用 AutoCAD 或专业建模工具 3DSMax 进行建模, 并将 CCD 纹理数据与建筑物三维模型匹配, 利用场景编辑软件 CVREdit 实现建筑物的三维可视化。图 6 是试验建筑物的三维场景(图 5 上下反向后就是图 4 正面一侧平面图), 与图 4 对应, 图 6 中道路及树木用模拟数据生成。



图 4 建筑物东侧 CCD 影像

Fig.4 Eastward Image of Building

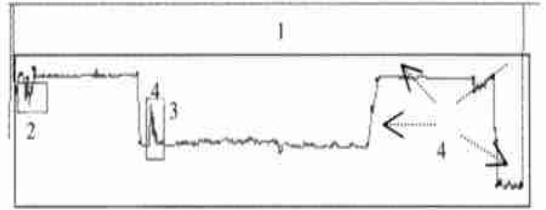


图 5 建筑物东侧的特征点探测结果

Fig.5 Result of Eastward Detecting Feature Points of Building



图 6 建筑物东侧三维场景

Fig.6 Eastward 3D Scene of Building

图 5 表明本文方案能够提取建筑物的平面特征。以上算法可以自动提取绝大多数的特征点, 但也有少数特征点的判断需要人机交互式处理。从数据处理结果来看, 本算法保证了建筑物总体结构的完整性, 但建筑物的细节信息丢失, 特别是对建筑物立面几何纹理不能很好表达。

## 4 结 语

本文对用车载激光扫描系统获取的建筑物的三维信息特征提取进行了研究, 提出了直接从未经姿态改正的距离影像中挖掘几何信息的方法, 该方法能够把握建筑物的总体信息(边界、转角等), 并能够从中提取二维平面特征和三维建模信息, 从而进行相关的三维重建。今后还需要对以下问题做进一步的研究: 建筑物的细节(窗户、门廊等)信息与测量误差的识别; 不规则建筑物边界及立面信息的提取等。

致谢:本研究得到了卢秀山教授、韩晓东副教授的大力支持。杨必胜博士提供了场景编辑 CVREdit 1.52 软件,在此一并感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Dinesh M, Ryosuke S. Auto-extraction of Urban Features from Vehicle-Borne Laser Data. Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications Ottawa, 2002
- 2 Zhao H J, Shibasaki R. Reconstruction of Textured Urban 3D Model by Ground-based Laser Range and CCD Images. IEICE Trans. Inf. & Syst., E83-D, 2001(7): 1 429~1 440
- 3 Huising E J, Gomes L M. Errors and Accuracy Estimates of Laser Data Acquired by Various Laser Scanning Systems for Topographic Applications. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998(53): 245~261
- 4 Erik N. Determination of Mean Tree Height of Forest Stands Using Airborne Laser Scanner Data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1997(52): 49~56
- 5 Zhao H J, Shibasaki R. Automated Registration of Ground-based Laser Range Image for Reconstructing Urban 3D-object. IAPRS, 1997(32): 27~34
- 6 Kraus K, Pfeifer N. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998(53): 193~203
- 7 Murakami H, Nakagawa K. Potential of an Airborne Laser Scanner System for Change Detection of Urban Feature and Ortho-image Development. JAPRS, Hong Kong, 1998
- 8 Axelsson P. Integration Sensors for Platform Orientation and Topographic Data Acquisition. Symposium on Digital Photogrammetry, Istanbul, 1998
- 9 Axelsson P. Processing of Laser Scanner Data-Methods and Algorithms. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998(53): 1~6
- 10 Tao C V. Innovations on Multi-sensor and Multi-platform Integrated Data Acquisition. Proceedings of the First International Symposium on Digital Earth, Beijing, 1999
- 11 李清泉, 李必军, 陈 静. 激光雷达测量技术及其应用研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 387~391
- 12 Li Q Q, Li B J, Li Y G, et al. 3D Modeling and Visualization Based on Laserscanning. Geographic Information Sciences, 2000, 6(2): 159~164
- 13 Li Q Q, Li B J, Chen J. 3D Spatial Data Acquisition and Modeling by Use of Laser Scanning. Dynamic and Multi-dimensional GIS. Joint ISPRS Commission Workshop, Beijing, 1999
- 14 Li B J, Li Q Q, Li Y G. 3D Levee Reconstruction Based on Integrated Laser Scanner, DGPS and CCD. The 3rd International Workshop on Urban 3D/Multi-Media Mapping, Tokyo, 2000
- 15 陈 静, 李清泉, 李必军. 激光扫描测量系统的应用研究. 测绘工程, 2001, 10(1): 49~52
- 16 Li Q Q, Li B J, Chen J. Research on Laser Range Scanning and Its Application. Geospatial Information Science, 2001, 4(1): 37~42
- 17 Li Q Q, Li B J. 3D Modeling and Visualization Based on Laser Scanning. Geomatics' 2000, Monterey, 2000
- 18 Li B J, Li Q Q, Chen J. 3D Mobile Mapping System for Road Modeling. The 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology, Cairo, 2001
- 19 李树楷, 刘少创. 机载/车载激光扫描测距/成像制图系统的新进展. 中国图像图形学报, 1999, 4A(2): 89~94
- 20 王清毅, 蔡 智, 邹 翔, 等. 部分数据缺失环境下的知识发现方法. 软件学报, 2001, 12(10): 1 516~1 524
- 21 周儒荣, 张丽艳, 苏 旭, 等. 海量散乱点的曲面重建算法研究. 软件学报, 2001, 12(2): 249~255
- 22 王福源, 叶英植. 线性回归中粗差的特征值判别法及其应用. 光子学报, 1996, 17(3): 273~277
- 23 李志林, 朱 庆. 数字高程模型. 武汉: 武汉大学出版社, 2001
- 24 田 越, 平西建. 基于曲线形状分析的三维表面识别. 中国图像图形学报, 1999, 4(8): 689~692
- 25 史玉峰, 靳奉祥, 王 健. 基于信息熵的测量数据粗差识别法. 测绘通报, 2002(2): 9~13
- 26 Wang Z Z. Principles of Photogrammetry. Wuhan: Press of WTUSM, 1990
- 27 Chen X, Murai S J. Integration of Image Analysis and GIS for 3D City Modeling. JAPRS, Hong Kong, 1998
- 28 徐逢亮, 李树楷. 基于激光测距的航空扫描影像中建筑物的自动提取. 遥感学报, 1999, 3(3): 171~174

第一作者简介: 李必军, 博士生, 讲师。主要研究利用激光扫描技术进行术空间信息获取的理论与应用。

E-mail: lee@wtusm.edu.cn

## Extraction of Building's Feature from Laser Scanning Data

LI Bijun<sup>1</sup> FANG Zhixiang<sup>1</sup> REN Juan<sup>2</sup>

(1 Research Center of Spatial Information & Digital Engineering, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

(2 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,  
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

**Abstract:** With the rapid development of digital earth and 3D GIS, the speedy capture of 3D spatial data and image data is becoming the bottleneck restricting its development. The system integrated laser scanning technology can realize almost real-time capture of spatial information although it has defects such as huge amount of dataset, discrete points with no topology relations, etc. In this paper an information mining method, by which the geometry features of urban buildings can be extracted directly from the original data captured by laser scanner, is proposed. The principles and algorithms adopted are presented. The method has succeeded to process the data derived from the vehicle-borne laser scanning system that is supported by the Project 863, to extract building features, to rebuild 3D models and to realize 3D visualization. Finally some conclusions are given.

**Key words:** laser scanning; data mining; feature extraction; 3D modeling

**About the first author:** LI Bijun, lecture Ph. D candidate. His researches are focused on theories and applications of spatial information capture. E mail: lee@wtusm.edu.cn

### 《武汉大学学报·信息科学版》编辑委员会

名誉主任: 宁津生

主任: 李德仁

委员: 毋河海 王新洲 刘 甬 刘经南 刘耀林 朱元泓 朱灼文

仲思东 张正禄 张祖勋 苏光奎 杜清运 杜道生 李建成

李清泉 郑肇葆 柳建乔 晁定波 龚健雅 舒 宁 詹庆明

主 编: 李德仁(兼)

副 主 编: 柳建乔(常务)