

引文格式: 任 超, 霍文虎, 张 茜, 等. 基于全景真三维技术的新型智慧城市时空信息基础设施探索[J]. 地理信息世界, 2017, 24(4): 8-13.

# 基于全景真三维技术的新型智慧城市时空信息基础设施探索

任 超<sup>1</sup>, 霍文虎<sup>2</sup>, 张 茜<sup>1</sup>, 张 旻<sup>2</sup>

(1. 北京市规划和国土资源管理委员会, 北京 100045; 2. 武汉华正空间软件技术有限公司, 湖北 武汉 430223)

## 作者简介:

任超(1974-), 男, 山西繁峙人, 处长, 硕士, 主要从事城市规划管理工作。

## E-mail:

rch@bjghw.gov.cn

收稿日期: 2017-06-29

**【摘要】**我国新型智慧城市的建设对城市时空信息基础设施提出了更高的要求, 迫切 need 加强包括大数据、云计算等新技术的深入应用。本文重点探讨基于多传感器技术(包括机载激光扫描技术、多角度倾斜摄影技术在内的航空摄影)和高度自动化后处理新技术的全景真三维技术特点及优势, 并以北京城市副中心为例, 探索基于全景真三维技术的智慧城市时空信息基础设施建设及其应用。实践表明, 全景真三维技术能够快速提供真实统一、高精度、多层次的城市模型数据, 为城市规划、建设、治理和运营提供了事半功倍的信息化手段, 是一种构建新型智慧城市时空信息基础设施的新思路。

**【关键词】**新型智慧城市; 全景真三维; 时空信息基础设施; 北京城市副中心

**【中图分类号】**P208

**【文献标识码】**B

**【文章编号】**1672-1586(2017)04-0008-06

## Exploration of the New Smart City Spatial Temporal Information Infrastructure Based on Panoramic Photorealistic 3D Image Technology

REN Chao<sup>1</sup>, HUO Wenhui<sup>2</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, ZHANG Min<sup>2</sup>

(1. Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102600, China;

2. Wuhan Huazheng Geospace Information Technology Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

**Abstract:** At present, the construction of new smart city in our country has put forward higher requirements for the urban spatial-temporal information infrastructure, and it is urgent to strengthen the application of new technologies, including big data and cloud computing. This paper mainly discusses the highly automated process and advantages of panoramic photorealistic 3D image technology, based on multiple airborne sensors technology including oblique photography system and airborne radar sensor. Furthermore, the application effect of panoramic photorealistic 3D image in urban planning field of Beijing city sub-center is introduced. The result shows that panoramic photorealistic 3D image technology can quickly provide real, unified, high-precision and multi-level urban 3D model data, and it will be an efficient technology for urban planning, construction, management and operation. In conclusion, panoramic photorealistic 3D image technology is a new idea for the construction of new smart city spatial-temporal information infrastructure.

**Key words:** new smart city; panoramic photorealistic 3D Image; spatial-temporal information infrastructure; Beijing city sub-center

## 1 新型智慧城市时空信息基础设施需求分析

### 1.1 必要性分析

随着我国现代化的不断推进, 新型智慧城市的建设也对城市时空信息基础设施提出了更高的要求。在2014年八部委发布《关于促进智慧城市健康发展的指导意见》, 指出建设智慧城市需要“统筹数字化城市管理信息系统、城市地理空间信息及建(构)筑物数据库等资源, 实现城市规划和城市基础设施管理的数字化、精准化水平大幅提升, 推动政府行政效能和城市管理水平大幅提升”, 并把城市三维构筑物数据库纳入到时空信

息基础设施中; 随后在2015年国务院颁布的《全国基础测绘中长期规划纲要(2015-2030)》中, 明确了我国要全面建成新型基础测绘体系, 到2020年要建立起高效协调的基础测绘管理体制和运行机制, 形成以基础地理信息获取立体化实时化、处理自动化智能化、服务网络化社会化为特征的信息化测绘体系; 2016年中共中央国务院印发《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》中也提出各级政府要强化城市规划工作、塑造城市特色风貌、推进城市智慧管理等要求。

国内一些专家和学者在研究新型智慧城市基础理论时指出, 智慧城市是城市全面数字化基础之上建立的

可视化和可量测的智能化城市管理和运营,包括城市的信息、数据基础设施以及在此基础上建立网络化的城市信息管理平台与综合决策支撑平台<sup>[1]</sup>。为满足城市创新型的运营和应用需求,新型智慧城市时空信息基础设施建设的相关支撑技术必须解决可视化、可量测等问题,对三维建模的理论及工程实践方法提出更高要求。

## 1.2 支撑技术分析

三维数字城市模型在数字城市地理空间框架建设中,既是新颖生动的亮点、更是技术升华的结晶,越来越为人们所重视,越来越多的城市开展了三维建模和应用<sup>[2]</sup>。但是面向智慧城市运行的物联网和传感网信息的有效承载,急需从外到内构建一个活生生的实时三维GIS<sup>[3]</sup>。具体来说,构建新型智慧城市时空信息基础设施的技术标准应该在强调真实性的前提下具备以下3个特征:

1) 可量测建模技术:可测量建模技术顾名思义,生产工艺严格按照摄影测量的工艺,在计算机中构建的模型长、宽、高和空间关系都严格符合测绘精度,最终成果是经过质量检查验收的合格数字产品<sup>[3]</sup>。

2) 结构化建模技术:中国工程院刘先林院士在全息三维技术论述中提到“过去我们对结构化认识不足,过去的三维往往是一张皮,没有结果,只有观看并获得感性认识,到专业部门应用后还需要重新进行结构化”,无法满足新型智慧城市的基本需要。因此,新型智慧城市建设的三维建模技术必须是结构化的,结构化首先要分层分类,其次是要有结构线,再次要有对象化,实体化<sup>[4]</sup>。

3) 自动化建模技术:自动化建模技术不仅解决了传统手段生产周期长,真实性差、海量数据无法及时有效处理的弊端和瓶颈,还解放了大量劳动力,使时空信息基础设施的构建成本和预算大大降低。近年来,倾斜摄影测量和激光扫描测量等高新技术的精度与速度都有了明显的提高,大量的研究致力于地物(尤其是人工地物)的三维自动重建,且依据分辨率、精度、时间和成本等的不同,已有许多适宜的技术方案可供选择<sup>[5]</sup>。可以说,自动化建模技术的突破和创新已经成为新型智慧城市发展的主要方向,为时空信息基础设施的构建提供了有力的技术支撑。

在当前形势下,新型智慧城市时空信息基础设施必须要依托新的技术手段,为城市构建一个真实、时效性强、高精度和对象化的三维环境,这样才能够对新型智慧城市中承载的大数据进行精确定位,并进行大数据挖掘和精确分析,提升信息表现力和价值,最终满足现代城市日新月异的发展变化。

## 2 全景真三维关键技术的创新发展

### 2.1 全景真三维关键技术组成

全景真三维技术是华正公司研发的全球第一套基于多传感器航飞采集、快速处理的自动化数据生产工艺,该工艺充分结合多角度倾斜摄影和机载激光扫描等多传感器航测技术的优势,是一种创新型的摄影测量融合机制,为新型智慧城市时空信息基础设施的构建提供了全新的解决方案如图1所示。



图1 全景真三维生产流程

Fig.1 Panoramic photorealistic 3D image production process

该生产工艺实现了多角度倾斜影像数据、机载激光点云数据高效解算合成处理,最终高度自动化生产真三维模型。与传统建模手段相比,主要解决以下关键技术:

#### 2.1.1 基于LiDAR获得地物空间形状

全景真三维建模技术基于LiDAR获得地物空间形状,保证了建模精度和效率。机载激光雷达技术是在航空器上搭载集成了GPS、IMU以及数码相机等光谱成像设备的激光扫描仪扫描地物的技术,该技术可快速获取地表大范围、高精度的城市DEM和DSM等高程信息。大量理论研究表明,机载LiDAR系统在航高1 000 m的角点定位精度在0.3 m<sup>[6]</sup>,而在一些工程实践中表明,应用常见的机载LiDAR系统生产的DEM产品通过野外实测检测点统计其中误差为 $\pm 0.12$  m<sup>[7]</sup>。这样的技术优势很好地保证了

机载激光雷达技术在城市建模方面的精度和效率优势。

### 2.1.2 真实统一的建模技术

全景真三维建模技术通过倾斜摄影采集、同时从一个垂直、四个倾斜等五个不同的角度采集影像,可以将用户引入到符合人眼视觉的真实直观世界,一次飞行可以获取三维模型需要的全部纹理数据,可大大提高三维模型的真实性和完整性,后处理流程中严格按照摄影测量工艺进行,保证了模型纹理空间位置的精确性,配合由激光点云自动生成的高精度的三维MESH网模型,使得自动纹理映射的结果与真实环境完全一致。

同时,全景真三维建模技术对城市地物没有歧视,不存在模型分级的概念,所有模型的生产工艺标准均能够保持一致。这样可以从技术角度上保证包括模型种类、精度、纹理精度以及模型效果等指标的一致性,保证客观、完整、真实地还原城市风貌。

### 2.1.3 单体化建模技术

全景真三维技术采用了高精度的激光点云作为模型MESH网构造的数据源,因此,经过点云滤波处理,可以区分地面、植被、建筑物等信息。复杂的城市环境中一般按以下设定的规则来区分各类对象:

- 1) 裸露地面:点云中不连续特征点水平邻域内的局部最低点最有可能是裸露地面点;
- 2) 植被:植被点的第一重回波与最后一重回波的高度差大于某个阈值;
- 3) 建筑物:不连续特征点可能是建筑物边缘点;
- 4) 不确定对象:可能包括小汽车、地面上的堆放物以及天井中无法确定类别的区域。

该生产工艺保证了后期满足对象化、单体化的真三维建模。基于单体化的数据也是专业化应用的前提和基础。

### 2.1.4 高度自动化工艺

全景真三维技术生产流程中关键的建模和纹理映射工艺,完全采用华正自主研发的软件算法实现,避免人为因素对模型精度造成的影响同时保证了自动化生产的效率。经过实际工程项目测算,与基于CAD的三维城市建模方法相比,生产效率可以提高数十倍。

## 2.2 全景真三维关键技术进展

基于倾斜摄影技术的真三维建模技术已经成为

三维地理信息系统发展的重要方向,目前国内外倾斜摄影技术相关应用已比较普及。很多单位采用包括Bentley公司的ContextCapture,法国空客公司的StreetFactory等软件,对倾斜影像进行快速、全自动处理,自动生成城市三维建模,而国内对倾斜航空摄影测量技术的研究尚处于早期阶段,在倾斜影像的信息挖掘与行业应用等方面还需进一步地探索与试验<sup>[8]</sup>。在当前形势下,华正全景真三维技术是对国际相关领域研究的一次突破,与单纯基于倾斜摄影技术自动化建模技术不同,创新点主要包括以下几个方面的进展。

### 2.2.1 建模原理进展

基于倾斜影像匹配生成真三维模型和全景真三维基于激光扫描(LiDAR)+倾斜影像生成真三维模型这两类技术,其本质就在于构建模型MESH网的原理不同:

一是以国外Smart3D、StreetFactory为代表的倾斜影像匹配技术,是根据摄影测量基本原理,从大重叠率的倾斜影像立体像对中,利用同名点匹配方式,通过数学运算生成三维点云,在此基础上构建三角网模型。

二是以华正全景真三维影像为代表的LiDAR+倾斜影像技术,是利用激光扫描地物,通过激光测距原理获取可靠性较高的三维点云数据,在此基础上构建三角网模型。

### 2.2.2 建模结构进展

相关工程项目应用经验表明,尽管StreetFactory快速地生成了高精度的实景三维模型,但这个模型是通过整体构网选择最佳视角贴纹理而生成,是一个整体的大场景模型,并不是面向对象的分层数据<sup>[8]</sup>。由于这类匹配算法生成真三维模型实际上是生成分区块带纹理的MESH网,只能满足“一张皮”的可视化效果,后期很难进行专业化管理和应用;全景真三维自动建模技术充分利用多传感器各自的优势,在前期通过激光点云数据提取、分类等处理流程,后期数据成果实现了分层、单体化和对象化,保证后期专业级GIS应用的需要。

### 2.2.3 建模精度进展

目前基于匹配技术自动建模生产还存在一定的技术局限,如张平、刘怡、蒋红兵在“基于倾斜摄影测量技术的“数字资阳”三维建模及精度评定”中提到三维模型成果中存在某些区域无法构建三角网,致使三维模型缺失或失真等问题,这些区域主要是水体、密集高楼



处、立交桥、植被密集处的建筑物或路面等,导致这些区域无法构建正确的三维模型的原因主要是:①影像的缺失;②纹理特征不明显等<sup>[9]</sup>。这种情况造成匹配的结果具有很大的不确定性、随机性,匹配出来的三角网不能满足地物结构定位精度的要求。可以说国内倾斜摄影测量技术仍处于实验和推广阶段,还存在一些因素限制其发展<sup>[10]</sup>。

笔者曾对我国某城市同时选取两套技术路线生成的同区域的DSM数据进行了测试(按1:1 000要求作业),测试结果表明基于匹配的DSM(共统计22 828个匹配点)高程差大于0.4 m的点占了30%以上,而基于LIDAR生成的DSM(共统计23 000个点)95%以内的点的高程误差小于或等于0.2 m。通过对比发现,由匹配技术生成的三维模型背后的三角网并不能满足其相应比例尺的定位精度标准。

总之,全景真三维技术采用多传感器技术,严格按照航空摄影测量的相关标准,能够提供单体对象化的数据,满足数据单体挂接属性,并进行专业的三维空间分析,这些特点更加适合于新型智慧城市规划、国土、公安等专业应用。截止2016年,包括北京城市副中心、西安市、成都市、苏州市、大连市、宜昌市、遂宁市、泉州市、洛阳市等近20个地市已初步应用以“真实、高精度、高效、对象化”等为特点的全景真三维技术。

### 3 北京城市副中心全景真三维时空信息基础设施探索

#### 3.1 技术路线

按中共中央政治局组织召开《研究部署规划建设北京城市副中心和进一步推动京津冀协同发展有关工作》的会议精神,北京市2016年需重点落实北京城市副中心城市设计方案,并要求北京城市副中心首先要摸清家底,能保证城市设计工作随时可使用真实的城市三维现状空间数据,全方位观察和分析城市立体形态,并为后期智慧城市建设提供精细化、动态化、客观、真实的时空信息基础设施。

因此,该项目依托机载多角度倾斜摄影和机载激光扫描,利用自动化全景真三维技术构建了北京城市副中心及周边地区305 km<sup>2</sup>真三维单体化数据模型,最终为北京城市副中心提供真实、完整、高精度、多层次三维

立体城市规划空间地形数据体系,全景真三维影像生产流程图如图2所示。

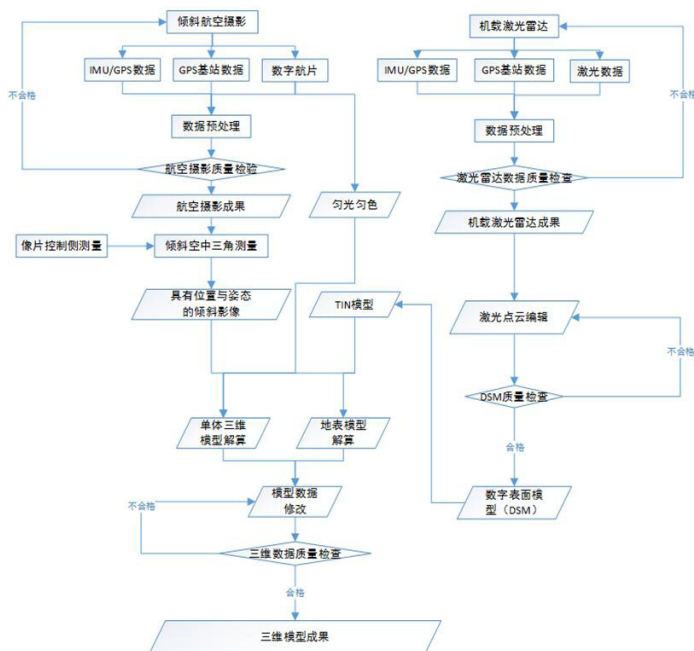


图2 全景真三维影像生产流程图

Fig.2 Panoramic photorealistic 3D image work flow

#### 3.2 主要成果

北京城市副中心项目截止2016年9月底共获取约305 km<sup>2</sup>机载三维激光雷达(LiDAR)点云和倾斜航空摄影影像;像片控制点共374个,LiDAR精度检核参考面10个。后期经过空三加密、影像匀光匀色、点云数据处理、真三维数据生产、加工、质检等环节共花费55天完成了测区范围内高精度DEM、DOM和真三维数据成果。

目前,北京城市副中心范围内已建成包括地下综合管线、城市,规划和设计方案、项目建设BIM方案等在内的城市规划建设管理数据库。并初步形成以三维立体地形图为载体,通过三维立体报建、三维立体审批、三维立体验收的全流程模式,构建“城市设计三维图—设计方案三维图—施工图三维图—竣工图三维图”的新型智慧城市时空数据中心。

#### 3.3 重要作用

##### 3.3.1 提升城市设计水平的重要手段

首先真三维数据通过多传感器技术进行实时、非接触、自动化方式的数据处理和生产,注重对城市形体和空间环境的客观还原,排除了人为加工造成的失真和干扰,满足了城市设计工作对城市要素真实感知的要求。

其次,北京城市副中心城市设计工作的核心是对

物质空间及景观标志的处理,通过在三维的城市空间坐标中化解各种矛盾,并建立新的城市立体形态系统。依托真三维城市设计平台,可以使包括规划管理部门、规划设计单位、市、区政府和专家等多部门、多专业、多领域共同参与,在立体、真实、多专业成果高度融合的城市空间体系下进行城市设计,据统计,仅大运河沿岸七个规划设计方案的多部门会商,方案评审的效率就成倍提高,如图3所示。



图3 北京城市副中心各类空间形态

Fig.3 Various forms of urban space in Beijing city sub-center

### 3.3.2 精细化管理的技术保障

真三维数据为北京城市副中心规划工作提供了一种理想的载体和支撑体系,在计算机中看到的影像与真实世界一致,将用户引入完全符合人眼视觉的真实、完整、一致和高精度的直观世界,实现了城市规划和管理信息的高度融合,使用者可以足不出户即可了解到北京城市副中心的全局,为规划研究、规划编制、规划设计、规划审批和决策等提供统一的数字化助手,并为北京城市副中心土地开发、建设、规划和精细化管理提供科学有效的技术保障。

### 3.3.3 新型智慧城市建设的重要时空信息基础

全景真三维技术的深化应用将最终为北京城市副中心的治理和运营提供一种事半功倍的手段,为确定城市生长坐标,实现城市空间管理由平面转变到立体,由无序转变到有序,由静态上升到动态提供了新的思路。下一步北京城市副中心将在城市设计的基础上,逐步整合包括人口、法人、房产等基础普查信息,使多种类型、多种维度和多专业的数据统一管理成为可能,加深城市动态和静态信息的整合,满足城市管理所需要的人口、应急、消防、交通等应用和服务的要求。建设立足

规划,统筹服务“规划、建设、管理”三大环节,为城市副中心新型智慧城市提供重要的时空信息基础,最终实现全周期可视化动态监管、高效审批与科学决策,如图4所示。



图4 北京城市副中心新型智慧城市框架

Fig.4 New smart city framework of Beijing city sub-center

## 4 结束语

根据联合国的估测,世界发达国家的城市化率在2050年将达到86%,我国的城市化率也将达到72.9%<sup>[11]</sup>。新型智慧城市的发展必然是充分吸收整合了传统城市可持续发展模型、城市空间发展模型以及城市模拟仿真模型等理念,在反映城市形态、结构变化本质的土地空间扩张规律的基础上,通过对城市要素运行数据的动态监测、分析、整合与利用,实现对产业、交通、社区、文化、生态等城市各要素资源运行情况的动态模拟与协同配置<sup>[12]</sup>。通过全景真三维技术构建的统一时空信息基础设施能够解决当前城市三维建模手段的部分技术瓶颈,主要通过数据采集手段的创新,带动数据生产方式的创新,最终实现数据应用方式的创新。新型的时空信息基础设施将最终为转变城市发展方式和新型智慧城市提供重要的信息化支撑体系。

下一步全景真三维技术将结合无人机、街景扫描等技术,逐步实现空地一体化、局部更新和全面更新相结合的数据生产方式,为新型智慧城市提供时效性更强、更真实、更精确、对象化程度更高的时空信息基础设施。可以预见,真三维新技术支持下统一城市时空信息基础设施最终将成为建设新型智慧城市的有力武器,促进政府机构改革和职能转变,用创新的手段促进城市治理水平的全面提高。

## 参考文献

- [1] 李德仁, 邵振峰, 杨小敏. 从数字城市到智慧城市的理论与实践[J]. 地理空间信息, 2011, 9(6): 3-4.
- [2] 宁振伟, 朱庆, 夏玉平. 数字城市三维建模技术与实践[M]. 北京: 测绘出版社, 2013.
- [3] 李永泉, 韩文泉, 黄志洲. 数字城市三维建模方法比较分析[J]. 现代测绘, 2010, 33(02): 33.
- [4] 刘先林. 城市三维建模的新方法[J]. 中国建设信息, 2011, 23: 23.
- [5] 朱庆. 三维GIS及其在智慧城市中的应用[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 153.
- [6] 索效荣, 王丽英. 机载LiDAR系统定位方程、误差分析与精度评定[J]. 测绘科学, 2011, 36(4): 117.
- [7] 余海坤, 李鹏, 吕水生, 等. ALS70机载激光扫描系统在基础测绘中的应用[J]. 测绘通报, 2011(8): 89.
- [8] 李德仁, 肖雄武, 郭丙轩, 等. 倾斜影像自动空三及其在城市真三维模型重建中的应用[J]. 武汉大学学报: 自然科学版, 2016, 41(6): 711.
- [9] 张平, 刘怡, 蒋红兵. 基于倾斜摄影测量技术的“数字资阳”三维建模及精度评定[J]. 测绘, 2014, 37(3): 115.
- [10] 杨国东, 王民水. 倾斜摄影测量技术应用及展望[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(1): 13-15.
- [11] 王朝晖, 谭华, 李颖. 智慧城市—信息基础设施上的智慧大集成[J]. 广东通信技术, 2013, 7(2): 28.
- [12] 曹阳, 甄峰. 基于智慧城市的可持续城市空间发展模型总体架构[J]. 地理科学进展, 2015, 34(4): 430-437.

## 《地理信息世界》征稿启事

《地理信息世界》是我国以推动测绘地理信息科技创新、技术创新为宗旨的具有权威性的国内外公开发行的中国科技核心期刊, 是中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊、《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、中国期刊全文数据库全文收录期刊、《CAJ-CD规范》执行优秀期刊, 全国优秀测绘期刊。

《地理信息世界》为双月刊, 大16开本, 每刊96页, 图文并茂, 全彩色印刷。

发 行: 国内外公开发行, 邮发代号: 80-902。

征稿内容: 国家有关测绘和地理信息产业、信息产业发展的方针、政策; 地球空间信息和地理信息系统的前沿理论与技术; 对地观测、空间定位、网络及数据库技术的应用; 地理信息工程、遥感、卫星导航定位最新研究成果; 测绘地理信息仪器装备技术成果和工程应用经验; 地理信息系统工程建设的技术总结与经验交流; 具有典型的项目总结; 代表学科发展方向的综合评论, 学术专著评介; 地理信息产品, 包括软件、硬件、数据产品、位置及导航、网络地图、地图出版、工程和房产测绘、互联网地图、IT产业的开发与服务; 地理信息技术人才培养、教育及科普活动; 国内外重大学术活动; 国家测绘地理信息局有关科技创新的重要活动报道, 其他与测绘和地理空间信息相关的内容和动态信息。同时征集测绘和地理信息科技创新有关的社会热点问题探讨、发展战略研究、重大工程项目实施、技术交流、经验总结等稿件。

稿件处理: 本刊发表论文及时, 在收到作者稿件3个月内给予能否刊登回复, 并及时刊登。投稿一律采用Word文档格式发送电子邮件。文稿一般6 000字左右为宜(含插图)。来稿请附详细地址, 联系方式(含手机和E-mail)。来稿一律不退, 3个月没有接到录用通知可自行处理。

欢迎各界踊跃赐稿!

E-mail: cagisgw@163.com

作者QQ群: 202301043

微信公众号: dlxxsj2017

《地理信息世界》编辑部