

从数字城市到智慧城市的理论与实践

李德仁, 邵振峰, 杨小敏

(武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)



摘要: 从总结数字城市建设和发展的成就出发, 基于智能传感器网和对地观测网等物联网新技术的浪潮, 探讨了数字城市发展到智慧城市的必然趋势和基础理论, 实践了智慧城市的相关典型应用, 并展望了未来智慧城市的美好前景。

关键词: 数字城市; 智能传感器网络; 对地观测网; 物联网; 智慧城市

中图分类号: P208

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 06-0001-05

1 数字城市的发展及成就

数字城市是城市地理信息和其他城市信息相结合、并存储在计算机网络上的、能供用户访问的一个将各个城市和城市外的空间连在一起的虚拟空间, 是数字地球的重要组成部分, 是赛博空间的一个子集。数字城市为城市规划、智能化交通、网格化管理和服务、基于位置的服务、城市安全应急响应等创造了条件, 是信息时代城市和谐发展的重要手段。数字城市发展至今取得了许多成就, 总结如下:

1.1 从二维城市到三维城市的跨越

地图是传统的表达、传输和研究地理信息的方式及载体, 数字地球和数字城市的出现打破了这一传统观念, 使人类在描述和分析地表空间事物的信息上, 获得了从二维到三维的突破性飞跃。三维城市模型是城市规划的重要手段, 目前已经用于军事、微气候研究、空气污染分析、无线电公司的定位设计、无线电信号传播、噪音传播分析和社会生态研究等各个领域。如图1所示的城市三维模型表达方式, a为泰州市地上三维图(人民公园); b为武汉市地上地下三维图。



(a)泰州市地上三维图(人民公园) (b)武汉市地上地下三维图

图1 城市三维模型

1.2 面向服务的新一代城市数字规划平台

数字城市的一个主要应用就是城市规划和设计, 数字规划平台是服务于数字城市的空间数据基础设施。

GIS与AutoCAD的一体化, 可以实现面向服务的新一代城市规划信息共享平台, 包括支持城市应急响应的数字规划平台和提供物流配送、房地产销售等支撑的三维规划平台。

1.3 基于数字城市的城市网格化管理与服务

网格化管理是指采用网格技术, 以单元网格为基本单位, 将城市行政区域划分成若干个网格状的单元, 单元网格明确各级地域责任人为辖区城市管理责任人, 由城市管理监督员对所分管的网格单元实施全时段监控, 从而实现对城市的分层、分级、全区域管理。城市网格化管理与服务系统通过综合运用数字城市相关技术, 使城市管理无缝化、精细化、人性化、科学化、透明化、高效化和客观公正化。

1.4 实现了城市实景影像的可视化和可量测

数字地球影像体系要求提供从遥远的太空到地面cm级的地球感知能力。移动测量系统(MMS)通过在机动车上集成GPS(全球定位系统)、CCD(影像、视频系统)、INS(惯性导航系统)或航位推算系统(电子罗盘/里程计)等先进的传感器和设备, 可以在车辆高速行驶中, 快速采集道路及道路两旁地物的空间位置数据、属性数据和城市实景影像(Digital Measurable Images)。可视、可量测、可挖掘的实景影像地图所包含的丰富地理、经济和人文信息是聚合用户数据和实现空间信息社会化服务的全新数据源^[4]。

1.5 基于数字城市的空间信息共享与服务

数字城市是城市空间信息集成的平台, 基于数字城市的空间信息共享与服务包括利用Web Service技术对各种空间信息资源进行注册和提供在线服务。对各种服务资源进行组合, 可以加工提取更高级的信息, 提供更智能化的服务。图2为数字泰州公共信息服务系统。

收稿日期: 2011-07-12

项目来源: 国家863计划重点资助项目(2009AA121404); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(111056)。



图 2 数字泰州公共信息服务系统

2 从数字城市到智慧城市

数字地球以空间位置为关联点整合相关资源(以地理信息系统和虚拟现实技术集成各类数据资源),实现了“秀才不出门,能知天下事”^[3]。物联网将与水、电、气、路一样,成为地球上的一类新的基础设施。当今世界,“数字地球”正向“智慧地球”转型,“智慧城市”孕育而生。世界将继续“缩小”、“扁平化”和“智慧”,我们正在迈入全球一体化和智慧的经济、社会和地球的时代。数字地球把遥感技术、地球信息系统和网络技术与可持续发展等社会需要联系在一起,为全球信息化提供了一个基础框架。而我们将数字地球与物联网结合起来,就可以实现“智慧的地球”。

2.1 智慧城市的出现

“智慧城市”的概念,最早起源于“智慧的地球”这一愿景。2008年11月,在纽约召开的外国关系理事会上,创立于1911年的目前全球最大信息技术和业务解决方案提供商国际商业机器公司(IBM)提出了“智慧的地球”这一理念。

所谓“智慧的地球”,实际上就是在各行各业中充分应用新一代的IT技术,把感应器嵌入和装备到全球各个角落,将电网、铁路、桥梁、隧道、公路等各种物体普遍连接,形成所谓“物联网”,再通过“互联网”将“物联网”整合起来,使人们能以更加精细和动态的方式管理生产和生活,实现全球的“智慧”状态。

作为“智慧的地球”的重要组成部分,“智慧城市”无疑是最关系民生的内容之一。智慧城市是数字城市与物联网相结合的产物,包含智慧传感网、智慧控制网和智慧安全网。智慧城市与智慧电网、智慧油田、智慧企业等,都是构成智慧地球的重要组成部分。智慧城市的理念是把传感器装备到城市生活中的各种物体中形成“物联网”,并通过超级计算机和云计算实现物联网的整合,从而实现数字城市与城市系统整合。通过智慧城市,可以实现城市的智慧管理及服务。简而言之,“智慧城市=物联网+互联网”。

2.2 智能传感器网络

现代信息技术的三大基础是传感器技术、通信技术和计算机技术,它们分别完成对信息的采集、传输和处理。传感器网络是由一定数量的传感器节点通过某种通信协议连接起来形成的测控系统,与通常的计算机网络相比,具有更好的容错性、实时性和对环境变化的自适应能力。随着传感技术、计算机软硬件技术、网络通信(包括无线和移动通信、卫星通信等)技术的进步,未来的传感器将构成价廉、大中小型相结合、无处不在的、接触或非接触的智能传感器网络。

智能传感器网络是使智能传感器处理单元实现网络通信协议,从而构成一个分布式智能传感器网络系统。在该网络中,传感器成为一个可存取节点,在该网络上可以对智能传感器数据和信息进行远程访问、对功能进行在线编程。2009年8月7日,温家宝总理在中科院无锡高新微纳传感网工程技术研发中心考察时指出,传感网是一个全新的技术领域,实现了物与物的互联而被称作“物联网”。

广义空间信息网格^[1]是指在网格技术支撑下空间数据获取、更新、传输、存储、处理、分析、信息提取、知识发现到应用的新一代空间信息系统。广义空间信息网格由智能传感器网络、基于网格计算的多传感器数据-信息-知识的智能处理系统。其中智能传感器网络是空间信息网格的数据输入系统,也是现代信息技术的三大基础之一^[2]。Neil Gross将传感器网络描述为“行星地球上附着的一层电子皮”。

在信息技术和传感器技术飞速发展的时代,每天都可以通过各种遥感传感器接收到信息量极为丰富的多源遥感数据源,这为遥感定量化、动态化、网络化、实用化和产业化及利用遥感数据进行城市各种资源的管理、动态监测和服务提供了数据保障。

2.3 物联网是工业化和信息化融合的产物

物联网(IOT)是近年来正在迅猛发展的一项技术,是通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通讯,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络^[5]。具体地说,就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中,并且被普遍连接,形成物联网。物联网实现了人与人、人与机器、机器与机器的互联互通。

物联网是以感知为目的的“物物互联”,已成为“智慧地球”的核心部分^[6]。美国START-IT杂志和M2M杂志将物联网市场分为6大支柱应用,分别为遥

感监测、远程通信与信息处理、智能服务、传感器网络、RFID和远程控制等^[7]。物联网的具体用途还遍及智能交通环境保护、政府工作、公共安全、平安家居、智能消防、工业监测、老人护理、人生健康、花卉栽培、水系监测、食品溯源、敌情侦查和情报搜集等应用领域中。借助物联网的发展,人类可以提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。

2.4 全IP网络架构的物联网

IP规定了计算机在因特网上进行通信时应当遵守的规则,任何厂家生产的计算机系统只要遵守IP协议就可以与因特网互联互通。未来的网络将是全IP网络,全IP能无缝集成各种接入方式,将宽带、移动因特网和现有的无线系统都集成到IP层中,通过一种网络基础设施提供所有通信服务,并为运营商带来许多好处,如节省成本,增强网络的可扩展性和灵活性,提高网络运作效率,创造新的收入机会等。

物联网由统一的编码系统、智能传感器网以及信息网络系统组成。智能传感器网是物联网的数据采集和事务监督系统,它利用各种仪器设备实现对静止或移动物体的自动识别,并进行数据交换。信息网络系统由本地网络和全球互联网组成,是实现信息管理、信息流通的功能模块。

全IP网络架构的物联网集智能传感网、智能控制网、智能安全网的特性于一体,真正做到将识别、定位、跟踪、监控、管理等智能化。国际电联曾预测,未来世界是无所不在的物联网世界,到2017年,将有7万亿传感器为地球上的70亿人口提供服务,通过集成有线光纤、城域网、局域网以及用户的固定/游牧/移动式应用,构建一个无处不在的网络基础设施。

3 智慧城市的基础理论

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。智慧城市的理论是智慧城市应用和实践的基础。

3.1 智慧城市的特征

把数字城市和物联网结合起来的所形成的智慧城市将具备以下一些特征^[3]:

1)“智慧城市”是基于物联网的智能城市。物联网就是“物物相连的互联网”,其核心与基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展的网络,它将网络用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间,相互之间可以进行信息的交换和通讯^[5]。物联网的3个

基本特征:全面感知:即利用RFID、传感器、二维码等随时随地获取物体的信息;可靠传递:通过各种电信网络与互联网的融合,将物体的信息实时准确地传递出去;智能处理:利用云计算,模糊识别等各种智能计算技术,对海量的数据和信息进行分析和处理,对物体实施智能化的控制。

2)“智慧城市”面向应用和服务。无线传感器网络是无线网络和数据网络的结合,与以往的计算机网络相比,它更多的是以数据为中心。由微型传感器节点构成的无线传感器网络则一般是为了某个特定的需要设计的,与传统网络适应广泛的应用程序不同的是,无线传感器网络通常是针对某一特定的应用,是一种基于应用的无线网络,各个节点能够协作地实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息,并对这些数据进行处理,从而获得详尽而准确的信息,将其传送到需要这些信息的用户。

3)“智慧城市”与物理城市融为一体。在无线传感器网络当中,各节点内置有不同形式的传感器,用以测量热、红外、声纳、雷达和地震波信号等,从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多人们感兴趣的物质现象。传统的计算机网络以人为中心,而无线传感器网络则是以数据为中心。

4)“智慧城市”能实现自主组网、自维护。一个无线传感器网络当中可能包括成百上千或者更多的传感器节点,这些节点通过随机撒播等方式进行安置。对于由大量节点构成的传感网络而言,手工配置是不可行的。因此,网络需要具有自组织和自动重新配置能力。同时,单个节点或者局部几个节点由于环境改变等原因而失效时,网络拓扑应能随时间动态变化。因此,要求网络应具备维护动态路由的功能,才能保证网络不会因为节点出现故障而瘫痪。

3.2 智慧城市的架构

智慧城市的核心是以一种更智慧的方法通过利用以物联网、云计算等为核心的新一代信息技术来改变政府、企业和人们相互交往的方式,对于包括民生、环保、公共安全、城市服务、工商业活动在内的各种需求做出快速、智能的响应,提高城市运行效率,为居民创造更美好的城市生活。从功能角度来看,智慧城市的架构应包含4个层次:1)物联网设备层,该层是智慧地球的神经末梢,包括传感器节点、射频标签、手机、个人电脑、PDA、家电、监控探头等;2)基础网络支撑层,该层是泛在的融合的网络通信技术保障,体现出信息化和工业化的融合,包括无线传感网、P2P网

络、网格计算网、云计算网络；3) 基础设施网络层，该层包括 Internet 网、无线局域网、3G 等移动通信网络；4) 应用层，该层包括各类面向视频、音频、集群调度、数据采集的应用。图 3 为智慧城市的架构图。

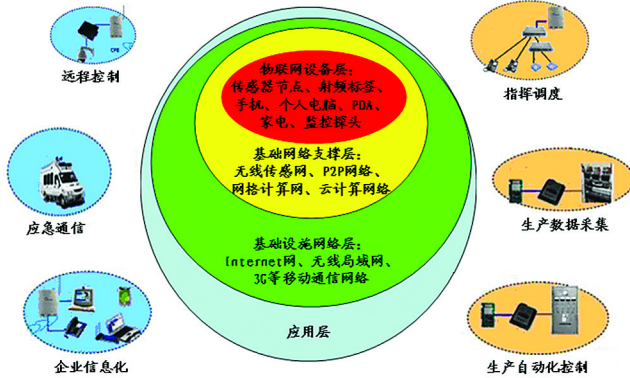


图 3 智慧城市的架构图

3.3 智慧城市的模型

智慧城市的模型可以用 ISGBP 模型进行描述，ISGBP 模型由 5 个部分组成：分别是公共基础设施 (Infrastructure)、服务 (Service)、政府 (Government)、企业 (Business)、公众 (Public)。政府、企业、公众是城市的主体，他们三者通过智能服务进行协调形成良好的互动，从而降低行政成本，提高综合效益。ISGBP 模型强调智能服务的核心地位，将服务进一步分为：数据服务、功能服务和模型服务，并提出了基于物联网的智能服务的概念。

在这个模型中，更加强调政府、企业、公众三者的协作，它们通过基于物联网的智能服务形成良好的互动。如图 4 所示的武汉智能城市模型是全要素、全时段、全覆盖的智能化的城市管理和和谐新模式，它依赖智能化的手段，围绕提供优质高效的服务，充分调动政府、企业（社会单位）、市民（社区）三者之间的和谐互动，实现城市管理智能化与行业管理网格化的结合，实现条块资源整合与联动，建立政府监督协调、企业规范运作、市民广泛参与的联动机制。

在该模型中公共基础设施 (I) 是物，政府 (G)、企业 (B) 和公众 (P) 是人，这四者之间存在多种相互关联的关系，如：G-I 关系、B-I 关系、P-I 关系、G-B 关系、G-P 关系、B-P 关系、B-B 关系、P-P 关系等，这些关系都是通过智能服务进行关联，每种关系在模型中都表现成一系列具体的服务，而各种具体的服务之间又可能相互组合形成更高层次的服务和更复杂的关系，最终形成一个立体交叉的智能服务体系。

4 智慧城市典型应用的设计和实现

智慧城市通过 IP 地址整合相关资源，使城市的运

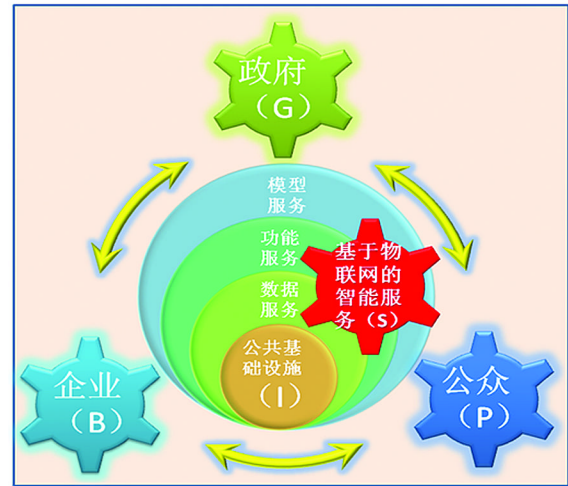


图 4 智慧城市模型

转更加智能化。智慧城市给城市的各行各业都带来了更有意义的、崭新的发展契机，这里列出一些具体的典型应用和实践。

1) 基于智慧城市的网格化管理与服务。智慧城市可以更有效地实现城市网格化管理和服务。例如，武汉市有 200 多万个部件设施，800 多万人，每年超过 60 万件事情，我们可以通过智能采集数据、智能分析，将些部件设施、人口、事件进行有效的管理和服

2) 基于智慧城市的智能交通。智能交通系统通过对传统交通系统的变革，提升交通系统的信息化、智能化、集成化和网络化，智能采集交通信息、流量、噪音、路面、交通事故、天气、温度等，从而保障人、车、路与环境之间的相互交流，进而提高交通系统的效率、机动性、安全性、可达性、经济性，起到保护环境，降低能耗的作用。又如，泰州市基于车载移动传感器，采集了 1100 多 km 全市可量测实景影像和 4 万个兴趣点，同电子地图、正射影像一起，面向服务架构发布成公众服务，为老百姓和游客的衣食住行提供更便捷的服务，如图 5 所示。



图 5 泰州市面向公众服务的可量测实景影像服务

3) 基于智慧城市的远程医疗服务。基于智慧城市的远程医疗服务能够实现：视频服务，比如远程诊断、远程培训和远程视频会议等；短信服务，比如即时通信；信息实时取得服务，比如医学研究资料库实时使用；多媒体数据库服务，比如电子病历和影像处理等；

无线城域网接入，比如紧急救护无线通信；无线局域网接入，比如医院内部通信等；端到端的系统集成应用。图6为基于智慧城市的远程医疗服务系统。

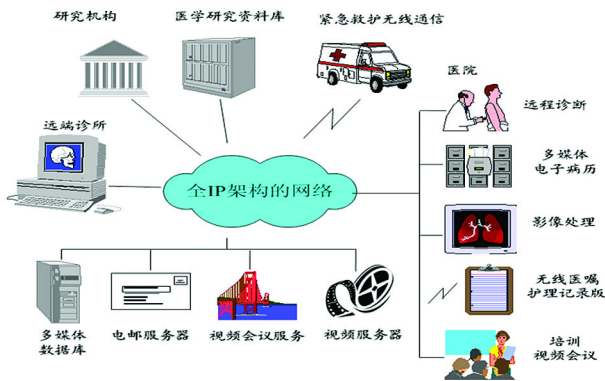


图6 基于智慧城市的远程医疗服务

4) 基于智慧城市的数字家庭应用。数字家庭是以计算机技术和网络技术为基础，各种家电通过不同的互连方式进行通信及数据交换，实现家用电器和其他家用品之间的“互联互通”，不论我们在室内还是在户外，通过物联网和各种接入终端，可以让每个家庭都能感受到智慧地球的信息成果。

5) 基于智慧城市的城市公共安全服务。城市公共安全服务也是智慧城市的典型应用之一，基于智慧城市建立的城市公共安全服务可以有效实现住宅小区、交通设施、校园、城市工地等的安防监控。图7为基于智慧城市的城市公共安全服务。

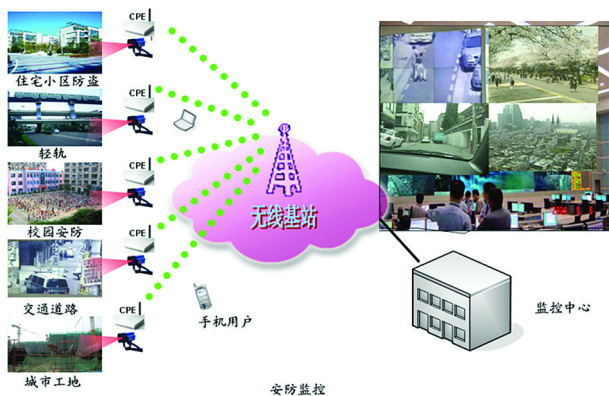


图7 基于智慧城市的城市公共安全服务

6) 智慧城市其他方面的典型应用。智慧城市其他方面的典型应用和实践还包括基于智慧城市的户外流

媒体服务和基于智慧城市的城市应急联动响应系统等方面的应用。未来的智慧城市将能够实现便民利民、消除城乡差距、提升政府效率、促进经济发展以及治安安防等的全面智能化。

5 结 语

数字城市 (Cyber City) 为城市规划、智能化交通、网格化管理和服务、基于位置的服务、城市安全应急响应等创造了条件，是信息时代城市和谐发展的重要手段，数字城市加上物联网可走向智慧城市，智慧城市支持人与人、人与机器、机器与机器的参与和沟通，提供面向 IP 的灵性服务。本文总结了数字城市的总体架构、发展以及所取得的成就，围绕智能传感器网络和物联网，提出了顺应数字地球到智慧地球的发展趋势，数字城市必将发展到智慧城市的趋势。本文设计了基于全 IP 架构的物联网的平台框架，实践了基于智慧城市的相关行业的典型应用，展望了未来数字城市的美好前景。

参考文献

- [1] 李德仁,沈欣.论智能化对地观测系统[J].测绘科学,2005,30(4):9-11
- [2] 李德仁.论广义空间信息网格和狭义空间信息网格[J].遥感学报,2005,9(5):513-520
- [3] 李德仁,龚建雅,邵振峰.从数字地球到智慧地球[J].武汉大学学报:信息科学版,2010,35(2):127-132
- [4] 李德仁,胡庆武.基于可量测实景影像的空间信息服务[J].武汉大学学报:信息科学版,2007,32(5):377-380,418
- [5] 刘强,崔莉,陈海明.物联网关键技术与应用[J].计算机科学,2010(6):1-4
- [6] 李清泉,李必军.物联网应用在GIS中需要解决的若干技术问题[J].地理信息世界,2010(5):7-11
- [7] Antonio J. Jara,Miguel A. Zamora ,Antonio F. G. Skarmeta. An Internet of Things-based Personal Device for Diabetes Therapy Management in Ambient Assisted Living (AAL)[J]. Pers Ubiquit Comput, (2011) 15:431-440

第一作者简介：李德仁，中国科学院院士，中国工程院院士，国际欧亚科学院院士，武汉大学教授、博士生导师，主要从事以遥感 (RS)、全球卫星定位系统 (GPS) 和地理信息系统 (GIS) 为代表的空间信息科学与多媒体通讯技术的教学和科研工作。

Theory and Practice from Digital City to Smart City

by LI Deren

Abstract This paper summarized the achievements in construction and development of the Smart City based on the wave of Internet of things including smart sensor networks and earth observation networks. This paper probed the inevitable trends and the basic theories of the development from Cyber City to Smart City, at the same time, this paper implemented the typical applications of the Smart City and also predicted the wonderful prospect of it.

Key words Cyber City ,smart sensor network , earth observation network , IOT , Smart City (Page:1)

Transformation of Geographic Information Service Manner in Information Era

by LUO Minghai

Abstract Analyze the changes and improvements of geographical information demands of government management, industry application, public life and knowledge dissemination under the information age, put forward the development direction of digital, multiple, systematic, open, integrated and intelligent geographical information service, discuss the emphases of geographical information service system, includes information surveying production system, abundant geographical information data system, scientific geographical information management system, perfect geographical information sharing system and effective geographical information application system, and indicate the historical opportunity and profound influence of geographical national conditions monitoring to surveying and geographical information industry.

Key words geographic information, public service, knowledge service (Page:6)

Application of D-InSAR in Extracting Information of Ground Deformation

by YU Jingbo

Abstract The basic principles of D-InSAR and D-InSAR data processing were introduced and then its application in extracting information of ground was explained by taking two-pass differential interferometry processing the ENVISAT image data from Bam earthquake and extracting and analyzing coseismic deformation field as an example.

Key words Differential interferometry , two-pass differential interferometry , Bam earthquake , ground deformation information (Page:9)

Network Structure and Position of HBCORS Reference Station

by YANG Huaxian

Abstract This article described the principles and CORS network structure optimization. Technical requirements were met HBCORS conditions with the minimum number of reference points, a reasonable distribution for maximum coverage, completed the design of HBCORS the network structure and location.

Key words HBCORS, reference station, RTK (Page:12)

Study on Integration Issue of Hubei Established CORS Reference Stations

by WEI Zhong

Abstract Continuous operational reference system is one of the infrastructures of spatial data, CORS system nationwide network is imperative. This article simply introduced the present situation of continuous operation of Hubei satellite positioning services system, discussed the main problems of Hubei CORS, and proposed the necessity of integration of provincial CORS and regional CORS. At last Hubei province integration schemes were studied, and Hubei actual situation was considered.

Key words HBCORS ,integrate ,reference station (Page:15)

Animal Epidemic Prevention Direct System Based on GIS

by CHI Shuwen

Abstract This paper focuses on the necessity of animal epidemic prevention direct system, and analyses the information of stockbreeding, gives the plan of establishment of database finally. From the point of view of stockbreeding modernization management, this paper makes the detailed analysis on the function of this system. At the end of the paper, the author proposes the method of data update.

Key words GIS, information construction, database (Page:17)

Hybrid Category Data Clustering through Partitioning Methods

by LIANG Hong

Abstract The usual clustering methods based on partitioning mainly process numerical data and it is lack of the clustering method that can deal with hybrid category data. Because of these problems, this paper integrates and improves the traditional and classical clustering methods those are k-means, k-medoids and k-modes in order to propose a method that can solve the cluster analysis about hybrid category data according to those traditional methods' characteristics. This paper's method converts all hybrid category data to same scale range between 0.0 to 1.0 in order to compute the dissimilarity according to the composite formula and updates each kind data of clustering centers independently.

Key words partitioning methods ; cluster analysis ; hybrid category data ,dissimilarity (Page:18)

Approaches and Principles to Improve the Efficiency of WebGIS

by ZHOU Jingchun

Abstract Obstacles to efficiency of WebGIS are classified as hardware environment and software environment. The article focused on the software environment and based on the three layers of GIS construction, point out some available optimizing approaches applied on the data layer, logical layer and transport layer and described respectively technical principles of these approaches. These approaches can be used assembly to improve the efficiency of WebGIS applications.

Key words WebGIS , efficiency , optimizing approaches , technical principles (Page:21)

Integration of Comprehensive Transportation Network in The Zhongyuan Urban Agglomeration

by LIU Jingyu

Abstract The development and improvement of the transport network system is a prerequisite and an important means for the construction of urban agglomeration. Using GIS technology, combined with the actual development of Central China Urban Agglomeration, and based on the evaluation of the accessibility of transport network, it showed that construction of the urban agglomeration should focus on the integrated transport network, and by improving the comprehensive services of transport network to meet the need of transport infrastructure networks.

Key words GIS , Zhongyuan Urban Agglomeration , transport network ,integration ,accessibility (Page:24)

Transformation of Aerial Exploration on the Basis of Geographic Information Collection Process

by ZHOU Zhicheng

Abstract This article described a fully digital photogrammetric workstations, digital transfer and HBCORS dynamic RTK painted large-scale topographic maps in the application of the measurement process produces aerial images and analysed of the traditional and new aerial technology advantages and disadvantages. It inquired into how to face a new aerial survey of the production process, improved the efficiency of topographic map inspection.