

从数字地球到智慧地球

李德仁¹ 龚健雅¹ 邵振峰¹

(1 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:分析了数字地球的发展及其取得的成就,探讨了伴随着 IT 技术、通信技术和传感器技术的发展而出现的传感器网络和物联网这一新的基础设施,设计了基于全 IP 架构的物联网的平台框架和典型应用,并展望了从数字地球发展到智慧地球的趋势和美好前景。

关键词:数字地球;传感器网络;物联网;智慧地球;数据服务;功能服务

中图法分类号:P208

1 数字地球及其取得的成就

美国前副总统阿尔·戈尔在 1998 年提出数字地球时,就勾勒出一个诱人的虚拟地球景象,使真实地球作为一个虚拟地球进入了互联网,使普通老百姓甚至小孩子都能方便地运用一定的科学手段了解自己所能了解的有关地球的现状和历史,既能获得自然方面的信息,如地形、地貌、地质构造、山脉河流、矿藏分布、气候气象等,又能获得人文方面的信息,如经济、文化、金融、人口、交通、风土人情等^[1]。这个虚拟的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”(see everything on Web),见彩色插页 I 图 1。

数字地球是一个无缝的覆盖全球的地球信息模型,它把分散在地球各地的从各种不同渠道获取到的信息按地球的地理坐标组织起来,既能体现出地球上各种信息(自然的、人文的、社会的)的内在有机联系,又便于按地理坐标进行检索和利用。数字地球是信息化的地球,它包括全部地球资料的数字化、网络化、智能化和可视化的过程。其核心思想是用数字化手段整体性地解决地球问题,并最大限度地利用信息资源。数字地球从数字化、数据构模、系统仿真、决策支持一直到

虚拟现实,是一个开放的复杂的巨系统,是一个全球综合信息的数据系统工程。数字地球的特点是空间性、数字性和整体性,它有自己的理论体系、技术体系、应用体系、工程体系,在这样的数字地球上,世界各国共同建立了 GEOS(globe earth observation system of systems)系统,提出了十年行动计划,旨在从 9 个方面支持社会可持续发展:① 减少自然或人为灾害所造成的生命财产损失;② 了解环境因素对人类健康和生命的影响;③ 改善对能源资源的管理;④ 了解、评价、预测以及适应气候变异与变化;⑤ 了解水循环,改善水资源的管理;⑥ 改善气象信息、天气预报与预警;⑦ 提高对陆地、海岸、海洋生态系统的保护与管理;⑧ 支持可持续农业,减少全球荒漠化;⑨ 了解、监测和保护生物多样性。

下面从十多年的发展来总结一下数字地球所取得的主要成就。

1.1 数字地球实现了从二维到三维的跨越

地图长期以来被认为是表达、传输和研究地理信息的最佳方式或载体,然而近年来这一观念已被打破了。数字地球作为一个三维的地球信息模型,便被认为是迄今为止人类掌握地球表面信息最好的方式。它的出现使人类在描述和分析地表空间事物的信息上获得了一次飞跃——从二维到三维的突破。彩色插页 I 图 2 为泰州市人民公园精细真三维模型。

1.2 数字地球实现了对地球多分辨率和多时态的观测与分析

数字地球是用数字方式为研究地球及其环境的科学家尤其是地学家服务的重要手段。地壳运动、地质现象、地震预报、气象预报、土地动态监测、资源调查、灾害预测和防治、环境保护等无不需要利用数字地球,而且数据的不断积累最终将有可能使人类能够更好地认识和了解生存和生活的这个星球,运用海量地球信息对地球进行多分辨率、多时空和多种类的三维描述将不再是幻想。彩色插页 I 图 3 为北京市基于遥感影像的违章建筑动态监测示例性成果。可以看出,抓紧建立城市规划动态监测系统,基于数字地球相关技术,加强对城市规划建设情况的动态监管,具有重要的现实意义。

1.3 数字地球实现了基于图形和基于空天地一体化实景影像的可视化和可量测

数字地球的提出推动了基于图形和基于影像的空间数据的三维可视化。基于图形的三维可视化可用于三维 GIS 的空间分析,如通视路径选择、噪声和污染模型分析。贴上真实纹理的三维地形和城市模型可用于景观分析、构成虚拟地理环境和数字文化遗产。基于影像的三维实景影像模型可构成大面积无缝的立体正射影像和沿街道的实景影像,用于可视化和由用户自主实施的“按需测量”^[2]。两种方法的有机结合可弥补网络电子地图的不足,可直接向公安、市政、交通、导航、LBS 等行业提供满足需要的高精度的地图数据、全要素信息以及 cm 级分辨率的影像数据,这种“可视、可量、可挖掘”的近景影像数据即被称为可量测的实景影像,它与网络电子地图产品相结合,可搭建一个以正射影像和实景影像为主要共享数据源的“影像地球”。可量测实景影像连同立体像对前方交会算法一起放在网上,任何终端上的用户即可按自己的需要进行量算和解译。彩色插页 I 图 4 为集成数字正射影像(DOM)、数字可量测影像(DMI)和数字线划图(DLG)的数字城市浏览功能。

1.4 数字地球实现了基于 Web Service 的空间信息共享与智能服务

Web Service 技术是当今信息领域应用最广泛的一种信息服务技术。地球空间信息领域利用 Web Service 技术可以对各种空间信息资源进行注册,并提供在线服务,包括地球空间信息资源注册服务、传感器服务、空间信息传输服务、空间数据服务、空间信息处理服务、空间信息资源组合服务、空间信息服务质量、空间信息智能搜索服务、

空间信息分发服务、空间信息可视化服务等。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。

数字地球作为一个空间信息集成平台,可以集成整合来自网络环境下的各种与地球空间信息相关的各种社会经济信息,然后又通过 Web Service 技术向社会和专业部门提供智能服务。彩色插页 I 图 5 是通过虚拟数字地球 GeoGlobe 集成来自 NASA 的每周地震观测数据。

采用 Web Service 技术可以将分布在全球范围内的空间数据和处理软件按照一定的工作流程聚合起来,通过远程访问和远程计算得到用户所需要的结果,直接提供空间信息或地学知识的服务^[3]。彩色插页 I 图 6 是基于 Web Service 技术将美国 NASA 和武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室的处理软件聚合起来,得到抽象服务链,然后转化为执行链并调用相应数据进行分布式计算,得到江西鄱阳湖地区的洪水淹没范围,直接展示在 GeoGlobe 上。

1.5 数字地球通过兴趣点实现了与非空间信息的关联,以服务全民

为更好地满足各类用户的需求,充实用户的参与感和创造力,可以把地球上的标志性建筑等公共兴趣点标注在数字地球网站上,同时提供用户个性化参与标注的功能。可以将与人们衣食住行有关的企业的位臵、图像和网站信息通过 Web 2.0 上传到网络上,人们可以查看兴趣点的卫星图像、地图、地形和 3D 建筑。如彩色插页 I 图 7 为基于实景影像标注的武汉市步行街上的鲁巷广场。

数字地球直接影响到人们的生活。人们常说的网上购物、电子货币、电子银行、电子商务等到时候已相当成熟和完善。GPS 与电子地图导航、Google Earth 和 Virtual Earth 等技术使人们更加真实和真正地身临其境地到达地球上任何一个想要到达的地方。但同时,数字地球服务从最初的基于单纯的符号、文字和二维地图上上升到三维、航空和地面多视角等多维位置服务,地理空间信息服务数据正朝着大信息量、高精度、可视化和可量测方向发展,对数据的生产、加工、服务内容和更新手段提出了自动化、实时化和智能化的更高要求。

2 传感器网络和物联网的出现及其发展

传感器网络是由一定数量的传感器节点通

过某种有线或无线通信协议联接而成的测控系统,这些节点由传感、数据处理和通信等功能模块构成,安放在被测对象内部或附近,通常尺寸很小,具有低成本、低功耗、多功能等特点。传感器网络与通常的计算机网络最大的不同在于,一个传感器网络节点由它的空间位置和传感器类型来共同确定,而一个普通的计算机网络节点只由一个惟一的标识符确定,而且传感器网络具有更好的容错性、实时性和对环境变化的自适应能力。与传统传感器和传统测控系统相比,传感器网络具有明显的优势。它采用点对多点的传感器总线甚至无线连接,大大减少了电缆连线,在传感器节点端即合并了模拟信号调理、数字信号处理和网络通信功能,节点具有自检功能,系统性能与可靠性明显提升,而成本明显缩减。

2.1 天-空-地一体化的智能传感器网络

2006年,Nature杂志发表封面论文——2020 Vision,它认为观测网将首次大规模地实现实时地获取现实世界的的数据,观测网是一个触及现实世界的计算科学,将是下一个科学前沿。

为不同应用目的而设计出的不同的遥感传感器对城市资源管理、动态监测服务具有不同尺度的探测能力,而信息技术和传感器技术的飞速发展极大地丰富了遥感数据源,每天都有数量庞大的不同分辨率的遥感信息从各种传感器上接收下来。这些高分辨率、高光谱的遥感数据为遥感定量化、动态化、网络化、实用化和产业化及利用遥感数据进行地球各种资源的管理、动态监测和服务^[4]。彩色插页Ⅱ图8是一个用智能手机实现城市网络化服务的例子,城市管理员用手机上传图片给监督中心,以实现及时维修井盖的过程。

笔者曾提出,广义空间信息网格是指在网络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^[5]。

随着传感技术、计算机硬、软件技术、网络通信(包括无线和移动通信、卫星通信等)技术的进步,在上述网格技术和网格计算环境下,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。

Neil Gross在“地球将附上一层电子皮”一文中对传感器网作了如下的描述:“在下一世纪(即

21世纪),行星地球将附上一层电子皮^[6],它用互联网作为骨架来支持和传输各种感知。这张皮被缝合在一起,它由上百万个嵌入式电子测量器件组成,包括恒温计、压力计、污染检测仪、摄影机、麦克风、葡萄糖传感器、各种心电图机和脑电图机等。它们将测量和监测城市和濒危物种、大气、舰船、公路和运输车队、人们的对话、身体乃至梦境^[4]。”

笔者认为,智能传感器网应当具有以下特点:

① 它是一个无处不在的、接触或非接触的、具有数据采集和通信功能的传感器网络;② 它具有一定的在线数据处理功能,以满足实时用户对数据加工、信息提取的实时要求;③ 智能传感器网络应融入全球计算机信息网格,能根据用户需求的不同级别合理地调配其资源,实现信息传输、智能控制和灵性服务^[5]。

2.2 物联网是工业化和信息化融合的产物

“物联网”的概念于1999年提出,最初的定义为“把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网联接起来,实现智能化识别和管理”。2005年11月17日,在突尼斯举行的信息社会世界峰会上,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU互联网报告2005:物联网》,正式提出了物联网的概念。物联网的定义是: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联接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。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。

20世纪80年代,以计算机技术、通信技术为代表的现代信息技术已取得突破性进展,信息技术和信息产业已成为经济增长的主导,成为世界经济和社会发展的重要推动力量,信息化成为席卷全球的新浪潮,人类社会正在走向全新的信息经济时代。而信息能力也已成为衡量国家综合国力和国际竞争力的重要标志,提高信息化水平是国家谋求发展的必经之路。

中国早在1999年就提出来了,不过当时不叫“物联网”而叫传感网。中国科学院早在1999年就启动了传感网的研究和开发。与其他国家相比,我国的技术研发水平处于世界同一水平,具有同发优势和重大影响力。在国家大力推动工业化与信息化融合的大背景下,物联网是工业化乃至更多行业信息化过程中一个比较现实的突破口。新型工业化的本质就在于“以信息化带

动工业化,以工业化促进信息化”。物联网实现了人与人、人与机器、机器与机器的互联互通。彩色插页 II 图 9 为当前物联网所采用的一般架构。

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。

2.3 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。正是因为有了 IP 协议,因特网才得以迅速发展成为世界上最大的、开放的计算机通信网络。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。

通过物联网,人们可以对任何感兴趣的事物进行感知和操作。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。信息网络系统是在全球互联网的基础上,通过 SAVANT 管理软件系统以及对象命名解析服务(ONS)和实体标记语言(PML)实现全球“实物互联”。

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,将数字地球“秀才不出门,能知天下事”提高到了“秀才不出门,能做天下事”(do everything on Web)的新的新高度。

要实现物联网,就需要将所有需实现远程互操作的人和物直接联到互联网上,从而引发新的经济增长点。引发的主要挑战是如何为智能传感网和智能控制网建立一个智能的安全网。在数字地球中主要抓的是信息安全,而在物联网中要解决的是物联网管理、控制和操作的安全。这要比单纯的信息安全有更大的难度,需要加以攻关解决。

3 从数字地球到智慧地球

3.1 智慧地球的出现

2009 年 1 月 28 日,奥巴马就任美国总统后,

与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”,作为仅有的两名代表之一,IBM 首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”(smart Earth)这一概念,建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。这一理念的主要内容是把新一代的 IT 技术充分运用到各行各业中,即要把传感器装备到人们生活中的各种物体当中,并且连接起来,形成“物联网”,并通过超级计算机和云计算将“物联网”整合起来,实现网上数字地球与人类社会和物理系统的整合。在此基础上,人类可以以更加精细和动态的方式管理生产和生活,从而达到“智慧”状态。在智慧地球上,人们将看到智慧的医疗、智慧的电网、智慧的油田、智慧的城市、智慧的企业等。

2009 年 8 月 7 日,温家宝总理在中国科学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”。当前,世界不少发达国家加大了这方面的投入,研究开发新技术,力图占据领先地位。2009 年 11 月 3 日,温家宝总理发表了题为“让科技引领中国可持续发展”的讲话。温家宝强调,要着力突破传感网、物联网关键技术,及早部署后 IP 时代相关技术的研发,使信息网络产业成为推动产业升级、迈向信息社会的“发动机”。目前,我国也将这项技术发展列入国家中长期科技发展规划。

“物联网”概念的问世打破了传统的思维。过去的思路一直是将物理基础设施和 IT 基础设施分开,一方面是机场、公路、建筑物,而另一方面是数据中心、个人电脑、宽带等。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。

3.2 智慧地球的特征

把数字地球与物联网结合起来所形成的“智慧地球”将具备以下一些特征。

1) “智慧地球”包含物联网

物联网的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展的网络,其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间,进行信息交换和通信。物联网应该具备三个特征:① 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;② 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;③ 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 and 处理,对物体实施智能化的控制。

2) “智慧地球”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) 智慧地球与物理世界融为一体

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) 智慧地球能实现自主组网、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。

4 智慧地球的架构及其典型应用

4.1 智慧地球架构

如彩色插页 II 图 10 所示,智慧地球可从以下四个层次来架构: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。② 基础网络支撑层:包括无线传感网、P2P 网络、网格计算网、云计算网络,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。③ 基础设施网络层,Internet 网、无线局域网、3G 等移动通信网络。④ 应用层,包括各类面向视频、音频、集群调度、数据采集的应用。

4.2 智慧地球典型应用

“智慧地球”的目标是让世界的运转更加智能化,涉及个人、企业、组织、政府、自然和社会之间的互动,而它们之间的任何互动都将是提高性能、效率和生产力的机会。随着地球体系智能化的不

断发展,也为人们提供了更有意义的、崭新的发展契机。

除了在国防和国家安全的应用外,“智慧地球”在各行各业将会有着很广泛的应用。

1) 城市网格化管理与服务

“智慧地球”可以更有效地实现城市网格化管理和服务。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,人们可以通过智能采集数据、智能分析将这些部件设施、人口、事件进行有效的管理和服

2) 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,达到保护环境、降低能耗的作用。彩色插页 II 图 11 为基于智慧地球的智能交通。

3) 数字家庭应用

如彩色插页 II 图 12 所示,不论人们是在室内还是在户外,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 结 语

本文总结了数字地球被提出以来所取得的成就,围绕物联网这一新的基础设施,提出了从数字地球发展到智慧地球的必然趋势。笔者认为,数字地球加上物联网就可走向智慧地球。智慧地球支持人与人、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。设计了基于全 IP 架构的物联网的平台框架,尝试了基于智慧地球的相关行业的典型应用,并展望了从数字地球发展到智慧地球的美好前景。必须指出的是,要实现“智慧地球”,还需要认真解决智慧传感器网、智慧控制网和智慧安全网建设中的关键技术和非技术问题。

参 考 文 献

- [1] 孙小礼. 数字地球与数字中国[J]. 科学学研究, 2000, 18(4): 20-24
- [2] 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
- [3] 李德仁, 邵振峰. 论新地理信息时代[J]. 中国科学 F

辑:信息科学,2009,39(6):579-587

- [4] 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
- [5] 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):513-519
- [6] Neil Gross. The Earth will don an Electronic Skin [OL]. http://www.businessweek.com/1999/99_35/b3644024.htm,1999

第一作者简介:李德仁,教授,博士生导师,中国科学院院士,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士。现主要从事以RS、GPS和GIS为代表的空间信息科学与多媒体通讯技术的科研和教学工作。近年提出空间信息多级网格和空间数据挖掘与知识发现理论,提出广义空间信息网格和狭义空间信息网格,并致力于空间信息网格方面的研究与应用工作。

E-mail: drli@whu.edu.cn

From Digital Earth to Smart Earth

LI Deren¹ GONG Jianya¹ SHAO Zhenfeng¹

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

Abstract: The state-of-the-art and achievements of digital Earth are analyzed. Smart sensor Web and ubiquitous sensor network (USN), a new infrastructure which appears with the development of IT, communication technology and network technology, is discussed. Platform framework and typical applications of USN based on all-IP technology are designed and prospect on the trend and beautiful future from digital Earth to smart Earth is given.

Key words: digital Earth; sensor network; ubiquitous sensor network; smart Earth; data services; function services

About the first author: LI Deren, professor, Ph.D supervisor, Member of the Chinese Academy of Sciences, Member of the Chinese Academy of Engineering, Member of the Euro-Asia International Academy of Science. He has concentrated on the research and education in multimedia communication, spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS. He recent majors are the theories and methods for spatial information multi-grid, data mining and knowledge discovery, theories and applications of generalized and specialized spatial information grid, etc.

E-mail: drli@whu.edu.cn

本刊 2009 年出版基本情况统计

2009年度,《武汉大学学报·信息科学版》共出版12期,合计字数307万,比上年增加14.1%;发表论文351篇,比上年增加37篇,增加11.8%;篇均页码4.26页,增加0.09面。发表的论文,从投稿到出版,时差最长90天,最短38天,平均55.4天,比上年增加1.2天。发表的论文中,校内稿件159篇,占45.3%;校外及海外稿件192篇,占54.7%;外稿比例较上年增加3.4个百分点。各类基金资助论文341篇,基金产文率97.2%,比上年提高0.7个百分点。EI核心版收录比例继续保持100%。

已发表论文中,涉及作者1112人次,比上年增加12.7%。其中校内作者490人次,占44.1%;校外及海外作者622人次,占55.9%;校外及海外作者减少1.4个百分点。按第一作者统计,院士论文5篇,占1.4%;博士生导师51篇,占14.5%;教授、研究员18篇,占5.1%;副教授49篇,占14.0%;博士和博士生199篇,占56.7%;其他29篇,占8.3%。累计高级职称作者论文比例35.0%,博士论文比例56.7%,两者合计91.7%,比上年增加0.9个百分点。