地理信息科学研究进展*

龚建华

中国科学院遥感应用研究所
遥感科学国家重点实验室

摘要：本文论述从地理信息系统到地理信息科学发展的相关概念、活动、以及近年发生的重要事例。讨论地理信息科学的主要研究内容、发展阶段特征与趋势，认为地理信息科学的基本思想、核心框架理论与学科定位等仍在不断的探索之中，仍需要在地理科学、地球系统科学等的大框架下，基于天地人机网络一体化信息系统，以数字地球与虚拟地理环境建设为目标，结合实验遥感、实验地理学等来构建与发展。从地球表层系统的人-地关系视角，提出了发展面向“人”地理信息科学的科学问题。最后，对于地理信息科学与遥感(信息)科学的集成与未来发展进行了思考。

关键词：地理信息科学，地球信息科学，遥感科学，实验地理学，数字地球，虚拟地理环境

1 引言

1990年Goochild提出“Spatial Inofrmation Science”[1]，1992年在国际杂志IJGISystem上发表“Geographical information science”[2]，从而标志着地理信息科学作为一个学科正式成立，自此关于地理信息科学理论、方法的研究与相关活动，在国际上也逐渐展开、活跃，例如1996年国际杂志IJGISystem改名IJGIScience，美国国家科学基金委从1997年2月到2000年2月资助了地理信息科学相关的Varenius研究项目[3]。在相关国际会议上，地理信息科学国际会议系列（International Conference on GIScience）[4]，从2000年开始每两年一次，至今已举行了 5 次，这个会议是目前比较重要的关于地理信息科学理论最新研究交流的学术活动;另外相关的还有空间信息理论国际会议COSIT(Conference on Spatial Information Theory)系列[5]，国际地理学会（IGU）地理信息科学专业委员会组织的空间数据处理国际会议系列（International Symposium for Spatial Data Handling）[6]等。

近年来国际著名NATURE杂志上发表了两篇关于地理信息科学与技术的论文。2004年1月“NATURE”刊登了文章"Map Opportunities”[7]，并提出地学技术（Geotechnology）与纳米技术和生物技术一起成为当今最为重要的新兴和最具发展前景的三大技术领域。1998年Gore提出“数字地球”概念[8]，Google公司在2005年推出Google Earth系统[9]，2006年2月“NATURE” 刊登了文章"The Web-Wide World”[10]讨论Google Earth以及地理信息系统（GIS）的未来发展。上述2篇论文的发表，对于地理信息研究与应用的相关领域影响甚大。作为一个大众应用的地理信息可视化平台，Google Earth系统目前的下载次数已经超过2亿次，微软公司也相继研发了Virtual Earth[11]，2006年10月份在武汉大学召开的Geoinformatics国际会议上，陶闯博士报告Virtual Earth已经作为微软2006年确定

*国家自然科学基金项目（40871181），国家863项目（2007AA12Z240，2008AA121600）
龚建华，研究员，博士生导师，研究健康GIS，虚拟地理环境与区域可持续发展等，Email: jhgong@irsa.ac.cn

的两个重点研发项目之一。IT界两个巨头Google以及微软公司，加入关于GIS研发与应用的竞争，对于地理信息科学与技术以及相关应用产生了深远的影响。

在我国，鉴于空间信息技术处于应用大爆发前期的认识，高技术研究发展计划（863）“十一五”专题领域中新设立了“地球观测与导航技术”领域，并且在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020年）》16个专项中[12]，专门设置了“高分辨率对地观测系统”，上述863专题领域与国家专项的设置必将大大促进中国以及国际地理信息技术、科学以及空间信息应用的发展。

2 地理信息科学概念与研究内容

国内外关于地理信息理论以及地理信息科学的相关研究，在概念上同时主要还采用地球信息科学（Geo-information Science, 或Geoinformatics,或Geomatics）或者地球空间信息科学、空间信息科学（Geo-Spatial Information Science，Spatail Information System）等。虽然在很多场合，地理信息科学与地球信息科学可以互相通用，但是，地理信息科学的研究背景主要来自地理信息系统以及地理学、地图学等领域[13-19]，而地球信息科学主要来自于地球系统科学与信息科学的结合与集成[20-28]，从而在研究内容、研究特征上仍有一定的差异，例如，马蔼乃认为地球系统科学以及地球信息科学研究地球圈层及其相互作用，主要归属于自然科学，而地理科学以及地理信息科学面对的是地球表层环境的人地关系复杂巨系统，是属于自然科学与社会科学的桥梁科学[29-30]。对于空间信息科学与地理信息信息科学两个概念，Longley等认为“地理”比“空间”具有更多的丰富涵义[31]，因此，采用地理信息科学的叫法。

Goodchild认为地理信息科学主要研究在应用计算机技术对地理信息进行处理、存贮、提取以及管理和分析过程中所提出的一系列基本问题，如数据的获取和集成、分布式计算、地理信息的认知和表达、空间分析、地理信息基础设施建设、地理数据的不确定性及其对于地理信息系统操作的影响、地理信息系统的社会实践等，是包括关于GIS的研究（Research about GIS）以及应用GIS的研究（Research with GIS）两个方面；并认为关于GIS的研究，最终可以促进GIS技术的改进；应用GIS的研究，可以利用GIS推动科学的进步与发展[32]。Mark在美国纽约州立大学布法罗大学讲授地理信息科学课程[33]，认为地理信息科学主要包括三个部分：即地理概念的认知模型，地理模型的计算与实现，以及GIS与社会的交互。

美国地理信息与分析国家中心NCGIA（National Center for Geographic Information and Analysis）从1988年成立以来，启动了21个关于GIS的研究动议（Research Initiatives）[34]，如地理信息应用与价值、多表达、空间关系语言等，影响很大，目前很多研究仍顺着这个项目设立的方向在继续开展。后来美国又成立了地理信息科学大学联合会 UCGIS（The University Consortium for Geographic Information Science），并于1996年提出了地理信息科学中的10个优先研究主题[32]，包括空间数据获取与集成、分布式计算、地理表达扩展、地理信息认知、地理信息互操作、尺度、GIS环境下的空间分析、空间信息基础设施的未来、地理数据不确定性与基于 GIS 的分析、GIS 与社会；后来在上述基础上又扩展了4个主题：地学空间数据挖掘与知识发现，地理信息科学的本体论基础，地理可视化，以及地理信息科学中远程获取的数据与信息。

在国内，正如前面所述，与地理信息理论与学科相关的有“地球（空间）信息科学”和“地理信息科学”。陈述彭于1995年提出要发展地球信息科学的倡议，在1996年创办了学术期刊《地球信息科学》，并初步提出了地球信息科学的7大研究领域[25-26]：地球信息科学基础理论，地球信息获取和处理技术，地球信息数字集成技术系统，地球科学信息共享，应用技术，中国特色的地球科学信息资源，以及地球信息科学技术的产业化政策。童庆禧与李德仁也都提倡发展地球空间信息科学[21-23]。童庆禧认为[22-23]地球空间信息科学的科学体系包括三个部分：地球空间信息基础理论，地球空间信息方法技术，以及地球空间信息应用范畴；李德仁[21]认为地球空间信息学包括 7 个理论问题，即①地球空间信息的基准，包括几何、物理和时间基准；② 地球空间信息标准； ③地球空间信息的时空变化理论；④地球空间信息的认知；⑤地球空间信息的不确性；⑥地球空间信息的解译与反演；⑦地球空间信息的表达与可视化。

从地理信息科学与地理科学角度，陈洪经在1995年提出建立信息地理学[35]，认为信息地理学需要研究地理信息的实质、基本概念、定义、机理、数量 、质量、分类和评价方法等。闾国年等[13]在1999年认为地理信息科学是研究地理信息产生、运动与转化规律的一门交叉学科，是以广义地理信息系统为研究对象的一门交叉学科，包括客观地理信息科学、主观地理信息科学、以及地理信息技术系统。客观地理信息则是指地理客体中物质运动与能量转化的形式，是地理客体之间本质联系或本质属性的反映，主观地理信息则是地理认知的成果。马蔼乃[15,18,,29-30]从2000年起系统思考地理信息科学与地理科学的基本理论、技术与工程，出版了包括《地理科学与地理信息科学论》、《地理科学导论-自然科学与社会科学的“桥梁科学”》等系列专著，认为地理信息科学是一门技术科学，包括卫星遥感信息、定位自动观测信息、卫星定位信息、社会统计信息；地理信息系统、地理专家系统、管理信息系统、辅助决策系统、虚拟地理环境实现、增强地理环境实现、地理信息计算机网络与地理信息卫星通讯等。马蔼乃同时也提出了信息地理学问题，并认为信息地理学是脱离计算机的使用，专门研究地物的影象信息、属性信息（狭义信息）和经过人脑加工的地理知识信息、逻辑信息、图形信息（广义信息）。

综上所述，地理信息科学，作为一门学科存在，大家都是公认的。但是关于地理信息科学的思想、概念以及具体研究内容，从不同的背景与角度，仍然有不同的理解与看法。另外，地球信息科学、地球空间信息科学等概念的存在与发展，既是说明了地理信息科学概念产生与应用的某种背景与目标、同时也说明了当前地理信息科学这个学科具有的复杂性、可能存在的局限性与未来的发展性。

3、地理信息科学发展历程与理论前沿

针对 GIS 从 20 世纪 60 年代初产生到现在的发展特征，Goodchild[36]提出了 GIS 发展的三个阶段：第一个阶段是 GIS 作为地理学者的研究助手；第二个阶段 GIS 作为交流工具；第三个阶段，GIS 作为扩展人类感觉地理现实的手段，这个阶段才刚刚浮现。Lees [37]则认为地理信息科学发展的第一阶段主要与计算机科学有关，第二阶段发展重心则是从模拟（Analog)到数字空间数据，主要关注的的地学信息学（Geomatics), 第三阶段，即现在的发展特点主要是面向应用，而这也正是地理学家关心与从事的领域。

从技术角度，GIS 发展和计算机、网络、图形学、移动、网格、以及通信技术等的发展，是紧密相关的，形成了二维 GIS、三维 GIS、网络(Web)GIS、移动 GIS、虚拟 GIS、协同 GIS、数字地球等。林珲等认为传统 GIS 主要包括空间数据库、空间分析、可视化三大功能，后来把模型库、虚拟环境、网络支撑环境加进来，就形成了虚拟地理环境，并认为从地图、到

地理信息系统、到虚拟地理环境，是地理学语言的演变与发展[38]。朱庆总结了 GIS 技术的发展动态[39]，认为 GIS 向多维、动态、一体化方向发展；GIS 系统体系结构向开放式、网络化、信息栅格发展；软件实现向组件化、中间件、智能体方向发展；空间信息技术和通信进一步融合；数据获取向“3S 集成”方向发展，尤其是 SensorWeb 的发展；数据存储管理向分布式存储及其互操作方向发展数据处理向移动计算、普适计算和语义网方向发展；人机交互向自然的虚拟环境方向发展等。

但应该看到，GIS 经过几十年的发展，从地理信息系统（GISystem）、到地理信息科学（GIScience）、到地理信息服务（GIService），地理信息技术、应用与产业得到了巨大的发展[40-41]，地理信息科学、技术与应用的“产-学-研”体系也基本确立，并且在当前的 GIS 界，地理认知与地理本体[42]、地学数据动态更新与分布式数据库[43]、市民作为自发传感器（Citizens as voluntary sensors）[44]、自发地理信息（volunteered geographic information）[45]、地学数据挖掘[46]、地学不确定性分析[47-48]、地统计与空间分析[49]、地学时空过程建模、地学计算（GeoComputation）[50]、地学模拟(GeoSimulation)[51-52]、协同 GIS 与可视化[53-54]、增强现实 GIS[55-56]、基于位置的地理信息服务、普适 GIS[57]、网格 GIS[58]、全球 GIS、地学知识可视化与地学图解图谱[59-60]、数字地球与虚拟地理环境[61]、面向“人”GIS[62-63]、社会 GIS[64]、社会关系网络[65-66]、参与式 GIS[67]、空间综合社会人文学[68]、公众 GIS 与地理教育等相关地理信息理论与技术研究活跃，取得了很大的进展。但是未来地理信息科学学科如何发展仍然面临着巨大的挑战，尤其是关于地理信息科学的核心理论框架体系，目前仍然缺乏清晰的理解，需要进一步地探索。下面从框架上讨论地理信息科学的理论研究发展状况，以及面向“人”地理信息科学的最新思想发展。

3.1 地理信息科学研究理论框架

地理信息科学的理论研究视角目前主要从 GIS 的技术、应用发展与相关理论问题，从作为信息理论、信息科学的一个分支学科以及信息科学与地学的交叉科学，从地理科学，从地理空间认知等几个方面展开。

Goodchild 认为地理信息科学[32]，研究涉及个人、计算机以及社会三大部分，其中关于“个人”的研究，主要以认知科学为主导，涉及空间概念理解、地理数据的学习与推理，以及人机交互等；关于“计算机”的研究，主要涉及表达问题、新技术适用性、计算与可视化等；关于“社会”的研究，主要涉及社会背景、社会影响等。Goodchild 认为地理信息科学的很多问题、与研究内容与理论等，都可以在上述三部分相互联系与交互作用框架下来探索、讨论与总结。

从地理科学与复杂性科学角度，马蔼乃认为地理信息科学是一门技术科学，与基础科学理论地理科学以及技术工程即地理信息工程，一起构成了地理科学的研究框架[18]。杨开忠等[14]则认为经典地理学本质上就是地理信息科学，并认为地理信息科学不仅仅是一门技术学科，而是一门从信息机理的角度研究人地关系系统的地理学科，研究内容包括三个层次即理论地理信息科学、技术地理信息科学、以及应用地理信息科学。从地理空间与空间认知角度，舒红[16]认为地理信息科学是一门研究人、机、地关系及其相互作用的科学，它以地理空间为其核心范畴，并从地理空间的地在、机在和人在 3 方面辩证论述了地理空间的存在。

总之，地理信息科学从正式提出以来，其思想、学科定位以及理论研究框架，一直处于不断地探讨与发展之中，目前还没有达到一致的认识。Goodchild 认为[81]当前地理信息科学

的发展与1990年其提出地理（空间）信息科学的背景与内容，已经有很大的不同；并且对于未来地理信息科学的发展，认为[32]应该与空间宇航科学中的登月计划、与生物学、医学中的人类基因组制图工程计划一样，也应需要设立一个远大的愿景(Vision)与挑战，如Gore提出的数字地球（Digital Earth）的建设与实现，来吸引社会与政治团体的关注，从而可以集聚更多的人才、技术等资源使地理信息科学发展有新的突破和进展。

3.2 面向“人”的地理信息科学

基于交通GIS与时间地理学（Time Geography）视角，针对相当微妙与复杂的人与地方、与区域地理生态环境，以及此基础上人与人的社会关系与作用，美国犹他大学地理系的Miller教授[69-70]认为传统GIS，即以地方为视角的GIS（Place-Based GIS）研究，不能全面地透视这样复杂的人地关系系统，故近年来也一直倡导发展基于人的GIS以及地理信息科学(People-Based GIScience)。

从公共卫生GIS、虚拟地理环境等角度思考，龚建华与林珲[62-63]独立提出了面向“人”（地理环境主体）GIS的概念，认为目前的GIS所处理的对象，主要是宏观的地理实体、现象、过程及其空间环境，而对于社会、经济活动中的个体、群体等的行为及其相关事件，却缺乏强有力的表达方法、模式。从地球表层系统的“人－地”关系看，认为当前的GIS，是以一个面向“地”的基本理念而设计并发展的，而不是面向“人”来思考与设计的。随着社会经济与科技的全球化发展，以及人类社会从工业社会进入信息社会，人地关系中的“人”处于越来越强的地位。人地关系中的“人”可以包括“个体”、“群体”、“组织”与“人类社会”四个层次。无疑，把“人”扩展为多层次主体，尤其是对于“个体”及“群体”的考虑与分类，将有助于面向“人”的地理信息科学的研究，例如目前的基于个体地理时空建模与模拟分析，基于元胞自动机与智能体的地理现象表达与模拟等。

面向“人”的GIS与地理信息科学，包含有很多的基本理论与方法问题，例如，地理信息表达的基本单位、“人”相关信息的获取方法，基于个体的时空建模、群体行为建模与模拟、社会网络模型、社会扩散模型等。面向“人”的GIS与地理信息科学的提出与探索，为地理信息科学的理论研究提供了一个独特的新视角。

4、关于地理信息科学与遥感科学集成的思考

随着航天/航空空间技术、传感器技术等的发展，以及全球环境变化、区域可持续发展、灾害响应与应急等研究与实践对于对地观测与空间信息技术等的巨大需求，遥感技术与应用发展迅速[71-72]；同时，由于地球表层系统与多尺度地域人地系统的复杂性也导致了遥感信息机理、遥感定量分析、遥感信息到地学知识转换等研究的难度，从而使遥感学术界面临在理论、技术以及应用上的众多机遇与新的挑战，同时也表明了遥感处于一个新的繁荣发展与应用阶段。而在GIS领域，由于GIS技术的成熟、Google Earth的大众应用以及应用产业上规模的形成，虽然提出了地理信息科学的发展问题，但是近年来在GIS理论与方法上新思想、新概念等的创新与突破，不太活跃，进展缓慢。鉴于此，本文试求从地理信息科学与遥感科学集成上做一些思考，希望突破传统“3S”（Remote Sensing、Geographic Information System、Global Positioning System）侧重于技术与应用上的集成，在更高的学科层次上推动思想、理论与方法上的集成与探索，从而促进研究同一对象即地球表层系统的遥感（信

息）科学与地理信息科学的共同快速发展。下面分别从科学驱动、数据挖掘等讨论地理信息科学与遥感科学集成的相关问题与初步思考。

1) 科学驱动。从学科起源看，以电磁波为基础的遥感，其科学背景、基础、问题是相对比较明显，而历史上GIS主要是与政府机构的数据收集与决策，与景观设计学、与地图学以及测量的制图科学有关[3],受到的科学驱动有限。所以，发展地理信息科学，需要与遥感科学、遥感信息科学以及实验地理学等密切结合，从而可以加强地理信息科学理论体系的建立，同时，也可以把“3S” 集成在理论、技术与应用上推向一个新的发展阶段。
2) 海量遥感数据智能处理、数据挖掘与知识发现。如何从海量的遥感数据中，提取遥感地学信息与知识，是遥感和GIS所共同关注的[46]，也需要遥感与GIS（特别是空间分析）两者的密切结合才能解决。例如，在快速应急反应中，可以用多种遥感传感器快速获取最新的实时数据，但是在很多的遥感数据产生以后，如何能从中发现异常的东西，如何能与专业模型结合进行计算模拟与情景分析,从而支持快速的科学响应、反应和决策等，需要遥感和GIS的密切结合，才能产生实际应用价值。
3) 无线传感器网络（Wireless Sensor Network）与数据管理、交互分析与分发。由传感器、微处理器和无线通信接口组成的无线传感器网络技术，由于其在军事、环境监测、医疗健康和空间探索等领域的广泛应用前景[73-74],在当前的遥感科学与地理信息科学界均受到极大的关注。无线传感器网络，作为信息获取技术的新模式，对于遥感科学的意义是不言而喻的[73]；而传感器网络获取数据的管理、交互分析与制图分发等，则可由GIS负责操作实现;另外,在更高的层次上,由普适计算产生的普适GIS(Pervasive GIS)的未来发展，也与无线传感器网络技术应用密切相关。
4) 空间尺度。地球表层系统的空间尺度问题，既是全球或区域地理系统作为复杂性开放巨系统所具有多层次特性的体现，也是与观察与抽象（想象）视点密切相关的一个地理现象。不同空间分辨率的遥感影像、不同比例尺的地图、以及三维可视化中的不同视点高度与远近的三维地物表达与表现、以及陈述彭先生[75]在1954年基于二维地形图、视觉思维想象的中国地形鸟瞰图等是空间尺度的多样化表现。目前，多尺度、尺度效应、尺度转换（降尺度与升尺度）等问题，都是遥感科学与地理信息科学共同面对的关键科学基本问题[76-78]。
5) 遥感模拟与虚拟地理生态环境。基于三维地物与地表真实结构模型的热红外遥感成像模拟、SAR影像模拟等，都是定量遥感中遥感模拟的研究前沿[79-81]。而三维地物与地表结构的真实表达与模拟与虚拟地理环境的研究密切相关。遥感模拟所需要的三维地物表达、大场景、海量计算等，以及基于遥感数据的虚拟地理环境建模等，都需要遥感与地理信息科学的集成和共同发展。
6) 遥感反演参数与数据同化信息产品应用[82]。遥感数据同化，是遥感科学的一个研究前沿。遥感反演参数如何与陆面过程模型的地理生态参数相匹配，如何同化陆面过程模型与计算？遥感反演参数，如何作为指标与其他地理生态指标相匹配与集成，评价地理生态系统的健康、服务功能或可持续发展？需要遥感与GIS的集成与融合。
7) 数字地球Google Earth (GE)。GE目前成为大众理解地球、区域地理环境、人居环境的一个的重要工具,GE在信息上最主要的是提供了多种尺度遥感影像，在技术上主要是应用全球GIS、网络三维可视化、海量数据管理与网络传输等。GE的成功表明，遥感与GIS的集成，能大大促进空间信息技术的广泛应用；同时，高空间分辨率的遥感影像（如快鸟、无人机遥感影像等），逐渐浮现“人”的影子以及人居环境的景观，因此与GIS电子地图、汽车导航图等一样，走进了寻常百姓的生活世界[62]。

8) 基于天空地网络信息一体化的地理研究实验平台。马蔼乃认为天地人机信息网络一体化系统是地理信息科学的研究核心[18]；孙九林等提出基于地球空间信息技术的陆地表层系统科学方法论框架[27]；龚建华等发展基于天地人机信息网络一体化的虚拟地理环境研究实验平台与虚拟地理研讨厅[83]等。对地观测体系需要与地理信息科学等密切结合，可以发展地理研究实验室与地球系统模拟器（网络平台）[84]，从而可以加强对于地球圈层耦合系统、区域人地关系系统特征与规律等的理解，促进地理科学、地球系统科学等的发展。

5 结语

空间信息技术在资源、环境、城市、人口、公共卫生、灾害、军事、反恐等具有极其广泛应用的前景，但是由技术与应用作为主要推动力的地理信息科学，如何在理论上进行创新的持续发展、如何在学科上建立系统的理论与方法体系，从而为广泛的应用与技术发展建立预先的理论基础，仍然面临着巨大的挑战。Goodchild 提出当前的地理信息科学需要关注地学过程、公众交互 GIS（如 Google Earth）、以及与其他空间（不一定是地理空间）科学互动等问题[85]，并且认为需要为地理信息科学的创新发展设立一个如 Digital Earth 建设与应用的愿景与目标等，表明了这位地理信息科学学科的开拓者对于地理信息科学形成以来十几年发展的反思与未来创新突破的不懈思考。笔者认为，地理信息科学的发展需要更加广阔的视野，需要大力加强与研究地球全层耦合机理与全球变化的地球系统科学、与研究复杂性地球表层系统与人地关系系统的地理科学、以及与对地观测体系、遥感实验与实验地理学、信息科学与哲学、复杂性科学等在学科思想、理论与方法上密切结合，然后在技术与应用的巨大推动下，以数字地球与虚拟地理环境的建设为目标，逐渐建立地理信息科学理论、技术与应用的完整学科体系。

参考文献

1) Goodchild, Michael F. (1990), "Spatial information science", Proceedings, Fourth International Symposium on Spatial Data Handling (Zurich, Switzerland): 3–12
2) Goodchild, M.F. (1992) Geographical information science. International Journal of Geographical Information Systems 6(1): 31-45.
3) Goodchild, M., Egenhofer, M., Kemp, K., Mark, D., and E. Sheppard (1999). "Introduction to the Varenius Project."International Journal of Geographical Information Science," 13(8): 731-745.
4) Giscience 2008，http://www.giscience.org/
5) COSIT'09，http://www.ucgis.org/Events/moreinfo.asp?ID=167，http://www.cosit.info/
6) Igugisc，http://www.unsw.adfa.edu.au/pems/igugisc/
7) Gewin,Virginia. Mapping opportunities. Nature, 2004, Vol 427, 376-377.
8) Gore，A, 1998. The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century， given at the California Science Center，Los Angeles，California，on January 31，1998，http://www.digitalearth.gov/VP19980131.html.
9) Google Earth, http://earth.google.com/
10) Butler,Declan. Virtual globes: The web-wide world. Nature 439, 2006, 776-778
11) Virtual Earth, http://www.microsoft.com/virtualearth/
12) 国家中长期科学和技术发展规划纲要，

http://www.gov.cn/jrzg/2006-02/09/content_183787.htm
13) 闾国年，吴平生，周晓波. 地理信息科学导论. 中国科学技术出版社 ，1999.
14) 杨开忠，沈体雁. 试论地理信息科学. 地理研究. 1999, 18(3):260-266.
15) 马蔼乃,邬伦,陈秀万,程承旗,毛善军. 论地理信息科学的发展. 地理学与国土研究. 2002, 18(1): 1-5
16) 舒红. 地理空间的存在. 武汉大学学报.信息科学版. 2004, 29(10):868-871.
17) 刘妙龙，周琳. 地理信息科学学科领域界定再思考. 地理与地理信息科学. 2004, 20(3):1-5.
18) 马蔼乃. 地理信息科学-天地人机信息一体化网络系统. 高等教育出版社，2005.
19) 李德仁．论地理信息科学的形成与发展[J]．武汉测绘科技大学学报，1995，20(增刊)：18—22．
20) 周成虎，鲁学军．对地球信息科学的思考[J]．地理学报，1998(4)：372—380
21) 李德仁,李清泉. 论地球空间信息科学的形成. 地球科学进展,1998 年, 第 04 期
22) 地球空间信息科学战略报告研究组．地球空间信息科学[M]．北京：高等教育出版社．2001．25—78．
23) 童庆禧．地球空间信息科学之刍议[J]．地理与地理信息科学，2003．19(4)：1—3．
24) 千怀遂, 孙九林, 钱乐祥. 地球信息科学的前沿与发展趋势. 地理学与国土研究, 2004, 20(2).
25) 陈述彭主编, 地球信息科学，高等教育出版社. 2007
26) 廖克等著，地球信息科学导论，科学出版社，2007
27) 孙九林，地球信息科学，http://tieba.baidu.com/f?kz=226816295
28) 汪品先. 我国的地球系统科学研究向何处去？地球科学进展, 2003, 18(6)
29) 马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论.武汉:武汉出版社, 2000.
30) 马蔼乃. 地理科学导论-自然科学与社会科学的“桥梁科学”. 高等教育出版社，2005.
31) Longley, Paul A.; Goodchild, Michael F.; Maguire, David W.; Rhind (2005), Geographic Information Systems and Science (2nd ed.), ISBN 047087001X
32) M.F. Goodchild (2008) Geographic information science: the grand challenges. In J.P. Wilson and A.S. Fotheringham, editors, The Handbook of Geographic Information Science. Malden, MA: Blackwell, pp. 596–608. [438]
33) Mark D. M., Introduction to Geographic Information Science, http://www.geog.buffalo.edu/~dmark/GEO591.html
34) NCGIA Research Initiatives， http://www.ncgia.ucsb.edu/research/initiatives.html
35) 信息地理学北京研究组（陈洪经）. 浅议地理学信息革命及 21 世纪的地理科学. 科技导报，1995，No.2, 7-9.
36) Goodchild，M F, 2003.Augmenting Geographic Reality, ESRI India, Bangalore, January 2003. http://www.csiss.org/aboutus/presentations/files/goodchild_boulder_sept02.pdf .
37) Lees, B. G.，2009. NEWSLETTER 1/2009 of International Geographical Union Commission on Geographical Information Systems, http://www.unsw.adfa.edu.au/pems/igugisc/Commission%20C04_13%20newsletter%201-2009.pdf
38) 林珲，龚建华，施晶晶. 从地图到 GIS 和虚拟地理环境－试论地理学语言的演变. 地理与地理信息科学，2003，19（4）：18-23.
39) 朱庆，林珲. 数码城市地理信息系统. 武汉大学出版社，2004.
40) 陈述彭，鲁学军，周成虎.《地理信息系统导论》，科学出版社,2000.

41) 龚健雅. 当代地理信息技术. 科学出版社，2004.
42) 鲁学军，承继成．地理认知理论内涵分析．地理学报，1998（2）．132-140.
43) 陈军. 论中国地理信息系统的发展方向. 地理信息世界 , 2003 年 1 期
44) Goodchild M.F.，2007. Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0.International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 2: 24–32.
45) Goodchild, M. F., 2008. Virtual Geographic Environments as Collective Constructions. Proceedings of an International Conference on Developments in Visualization and Virtual Environments in Geographic Information Science, 7-8 January 2008, CUHK, HK, pp1-5.
46) 李德仁. 空间数据挖掘理论与应用. 科学出版社, 2006.
47) 史文中. 空间数据与空间分析不确定性原理. 科学出版社，2005.
48) 邬伦,承继成,史文中. 地理信息系统数据的不确定性问题. 测绘科学, 2006 年 31(5)
49) 王劲峰等. 空间分析. 科学出版社， 2006.
50) Openshaw, S, 2000. GeoComputation. In: Stan Openshaw and Robert J Abrahart (eds.), GeoComputation, London: Taylor & Francis, 1-31.
51) 周成虎,孙战利,谢一春. 地理元胞自动机研究. 科学出版社，2000.
52) 黎夏,叶嘉安,刘小平,杨青生. 地理模拟系统--元胞自动机与多智能体. 科学出版社，2007.
53) Shivanand Balram and Suzana Dragicevic,editors. Collaborative Geographic Information Systems. Simon Fraser University, Canada,186-206.
54) MacEachren, A M, 2000. Cartography and GIS: Extending collaborative tools to support virtual teams, http://www.geovista.psu.edu/publications
55) 孙敏,陈秀万,张飞舟,郑宏伟. 增强现实地理信息系统. 北京大学学报：自然科学版. 2004, 40(6)
56) 杜清运, 刘涛. 户外增强现实地理信息系统原型设计与实现. 武汉大学学报：信息科学版, 2007, 32(11)
57) 边馥苓,石旭.普适计算与普适 GIS. 武汉大学学报：信息科学版. 2006, 31(8).
58) 骆剑承，周成虎，蔡少华等. 基于中间件技术的网格 GIS 体系结构. 地球信息科学 , 2002, 4(3)
59) 龚建华，李亚斌，王道军，黄明祥，王伟星,2008. 地理知识可视化中知识图特征与应用研究－以小流域坝系可视化空间规划为例. 遥感学报，12(2): 355-361
60) 陈述彭编. 地学信息图谱探索研究. 商务印书馆, 2001.
61) 龚建华，林珲, 2004. 虚拟地理环境-在线虚拟现实的地理学透视. 北京：高等教育出版社.
62) 龚建华，林珲，2006. 面向地理环境主体 GIS 初探. 武汉大学学报-信息科学版，31(8):704-708.
63) 龚建华. 面向“人”的地学可视化探讨. 遥感学报. 2008, 12（5）：772-779.
64) 闾国年. 社会化 GIS.中国地理信息系统协会 GIS 理论与方法专业委员会 2008 年学术研讨会， 兰州，2008 年 9 月 10-12 日.
65) Sui,D Z,2007. Geographic Information Systems and Medical Geography: Toward a New Synergy. Geography Compass, 1/3 (2007): 556–582.
66) Bian, L. and Liebner, D. 2007. A network model for dispersion of communicable diseases, Transactions in GIS, 11(2): 155-173.
67) Kingston, R, Carver S, et al., 2000. Web-based public participation geographic information systems: An aid to local environmental decision-making. Computers, Environment and Urban

Systems,24.

68) 林珲，张捷，杨萍，刘佳. 空间综合人文学初探. 第二届數位地球國際研討會, 2004，台北，A1-9.
69) Miller H., 2005. "What about people in geographic information science?" in P. Fisher and D. Unwin (eds.) (2005) Re-Presenting Geographic Information Systems, John Wiley, 215-242. http://www.geog.utah.edu/~hmiller/research.html
70) Miller H., 2007. Place-Based versus People-Based Geographic Information Science.Geography Compass, 1/3 : 503–535
71) 徐冠华，田国良，王超，牛铮，郝鹏威，黄波，刘震. 遥感信息科学的进展和展望. 地理学报，1996，51（5）：385-397
72) 宫鹏. 遥感科学与技术中的一些前沿问题. 遥感学报，2009, 1:1-12.
73) 宫鹏. 环境监测中无线传感器网络地面遥感新技术. 遥感学报, 2007, 11(4):545-551.
74) Hart J. K., Martinez K. Environmental sensor networks:A revolution in the earth system science?[J]. Earth Science Reviews, 2006, 78(3-4):177-191.
75) 陈述彭. 中国地形鸟瞰图. 北京：中华书局股份有限公司,1954.
76) 苏理宏, 李小文, 黄裕霞. 遥感尺度问题研究进展. 地球科学进展,2001,16(4).
77) 李霖. 空间数据多尺度表达模型及其可视化. 北京：科学出版社，2005.
78) 艾廷华，成建国. 对空间数据多尺度表达有关问题的思考. 武汉大学学报（信息科学版）,2005,30(5).
79) 苏理宏,李小文等.三维结构真实遥感像元场景的生成. 中国图象图形学报：A 辑, 2002,7(6)
80) 赵峰, 顾行发, 刘强, et al. 基于3d真实植被场景的全波段辐射传输模型研究[J]. 遥感学报, 2006, 10(5):670-675.
81) 杨贵军, 柳钦火, 黄华国, et al. 基于场景模型的热红外遥感成像模拟方法[J]. 红外与毫米波学报 2007, 26(1):15-21.
82) 李新,黄春林. 数据同化-一种集成多源地理空间数据的新思路. 科技导报，12/2004，13-16
83) 龚建华，李文航，周洁萍，李毅，赵琳，庞毅，2009. 虚拟地理实验概念框架与应用初探. 地理与地理信息科学，25（1）：18-21.
84) 陈述彭. 建设地球系统模拟网络平台,提高应对灾害的宏观调控能力.《科学新闻》, 2008年10月第1期,院士建议专题，
http://www.sciencenet.cn/html/showxwnews1.aspx?id=211724
85) Goodchild M.F.，2006. Geographical information science: fifteen years later. In P.F. Fisher, editor, Classics from IJGIS: Twenty years of the International Journal of Geographical Information Science and Systems. Boca Raton: CRC Press, pp. 199–204.