



武汉大学学报(信息科学版)

*Geomatics and Information Science of Wuhan University*

ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

## 《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

题目: 关于地理信息系统未来发展的思考  
作者: 王家耀  
DOI: 10.13203/j.whugis20210679  
收稿日期: 2021-12-07  
网络首发日期: 2022-01-18  
引用格式: 王家耀. 关于地理信息系统未来发展的思考[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版). <https://doi.org/10.13203/j.whugis20210679>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI: 10.13203/j.whugis20210679

引用本文：WANG Jiayao. Thoughts on the Future Development of Geographic Information System[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210679(王家耀. 关于地理信息系统未来发展的思考[J]. 武汉大学学报 信息科学版, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210679)

## 关于地理信息系统未来发展的思考

王家耀<sup>1</sup>

1 河南省时空大数据产业技术研究院, 河南 郑州, 450046

**摘要：**在 geographic information system (GIS) 近 60 年的发展演进中, 理论和技术都取得了长足的进步; 应用领域扩大到社会的方方面面, 社会影响力越来越大; 体系结构、开发模式和服务模式等, 都发生了深刻的变化。为了推动 GISystem 进一步向前发展, 在综述 GIS 中之“S”的三种含义即 System (系统)、Science (科学) 和 Service (服务) 以及 GIS 近 60 年来取得的丰硕成果的基础上, 重点就以下三个问题进行了讨论: (1) 如何认识地理信息系统 (GISystem)。首先解析地理信息系统的三个关键词 (系统、信息、地理信息), 据此论述了地理信息系统的内涵, 分析了地理信息系统同地图、计算机地图制图、地图数据库的关系, 认为地理信息系统源于又超越了地图、计算机地图制图和地图数据库, 并认为地理信息系统具有装备的特性。(2) 地理信息系统是怎样发展演进的。重点分析了由“地理信息系统”到“地理信息服务”的发展演进的社会需求背景、技术背景、学科背景, 从应用领域、数据资源和功能的扩展及体系结构、开发模式和服务模式等方面, 分析了地理信息系统发展演进的主要表现。(3) 地理信息系统的未来发展将走向何方。首先, 讨论了正确理解地理信息系统应用领域扩展的问题, 认为应用领域的扩展不可能是“无边无际”的; 地理信息系统的未来发展必须面向国家经济建设和国防建设急需; 在分析比较现有三种 GISystem 服务模式的基础上, 认为采用“网格集成”与“弹性云”的“混合式”技术体制是 GISystem 服务模式的最佳选择; 提出了基于“网格集成”与“弹性云”的“混合式”的时空大数据平台技术实现必须解决的 6 个关键技术问题和“时空大数据平台”的应用模式。

**关键词：**地理信息系统; 地理信息服务; 时空大数据; 时空大数据平台; “共用时空大数据平台+”应用模式  
**中图分类号：**P208      **文献标志码：**A

1963 年, 加拿大的 Roger Tomlison 首次提出“Geographic Information on System (GIS)”这一术语, 1965 年加拿大建成世界上第一个 GIS (CGIS); 1992 年, 美国 Michael Goodchild 提出“Geographic Information Science (GIS)”, 试图回答 Where? What? When? How change? How many? Spatial Relation?, 即 WWW-HHSR 的问题; 1993 年, Steve putz 第一次在 Internet 上基于扩展的 HTTP 服务器发布简单的地图服务, 揭开了“Geographic Information Service (GIS)”的序幕。所以, “GIS”中的“S”可以有 3 种称呼: 一是 System (系统), 即 Geographic Information System (GISystem), 称之为“地理信息系统”, 强调“GIS”工程技术的一面, 被定义为“信息系统有关地理信息的分支”, 即在计算机软硬件支持下, 对地理信息进行获取、存储、管理、分析和可视化的计算机信息系统; 二是 Science (科学), 即 Geographic Information Science (GIScience), 称之为“地理信息科学”, 强调“GIS”科学的一面, 被定义为“信息科学有关地理信息的一个分支学科”, 即关于自然、人文现象的空间分布与组合的信息, 是表征地理环境的数量、质量、分布特征、内在联系和运动规律的科学; 三是 Service (服务), 即 Geographic Information Service (GIService), 称之为“地理信息服务”, 强调“GIS”的应用服务即产业的一面, 被定义为“信息服务有关地理信息的分支”, 即“随时随地为需要地理信息的

收稿日期: 2021-12-07

作者简介: 王家耀, 教授, 中国工程院院士, 研究方向为地图学与地理信息系统。wongpu@163.com

用户提供基于统一时空基准的与位置直接或间接相关联的地理要素（现象）的智能化信息服务”。

经过近 60 年的发展，如今“GIS”无论是“地理信息系统”、“地理信息科学”还是“地理信息服务”都已经是“今非昔比”了<sup>[2-4]</sup>。就地理信息系统而言，有代表性的商品化软件如美国的 Arc GIS 等，国内的如 Super Map、Map GIS 和 Geo Star 等，其功能都很强大，得到了普遍应用，还出版了一系列的著作（或教材）<sup>[4-25]</sup>；就“地理信息服务”而言，由于它是由“GISystem”发展演变而来，有些书名虽为《网络地理信息系统》<sup>[26]</sup>或为《Web GIS 原理与技术（Web GIS Principles and Technologies）》，<sup>[27]</sup>但基本内容是网络地理信息服务技术和方法，当然也有“地理信息服务”的代表性作品<sup>[1,28]</sup>。就“地理信息科学”而言，不仅出版了一批理论著作（教材<sup>[24-25]</sup>），而且成为地理学下设的分支学科，对“地理信息系统”和“地理信息服务”的发展起到了一定的指导作用。

站在新的起点上，对近 60 年“GIS”发展态势究竟应该怎么看？“GIS”今后到底应该向何处去？本文试图对这些问题进行一些讨论和探索。

## 1 认识地理信息系统（GISystem）

### 1.1 地理信息系统的三个关键词

理解地理信息系统要注意三个关键词：信息，地理信息，系统。信息，是数据的内涵，指音讯、消息、通讯系统传输和处理的对象，泛指人类传播的一切内容。人们通过获取、识别自然界和社会的不同信息来区别不同事物，从而认识世界和改造世界。地理信息，指对人类赖以生存的地理环境的感知。其主要内容包括地理系统诸要素（现象）的数量、质量、分布特征、相互联系和变化规律等，分为空间位置信息和属性特征信息两大类，在计算机中以数据形式存储和处理。系统，是由许多部分所组成的整体，系统的概念就是要强调整体，强调整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成的。系统工程就是从系统的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到人们所希望得到的效果。正如马克思、恩格斯指出的，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想<sup>[29]</sup>。

理解了地理信息系统的这三个关键词，对于深刻认识“地理信息系统”的本质具有十分重要的指导意义，也是我们今天识别当前关于地理信息系统的一些所谓“新观点”的科学依据。

### 1.2 地理信息系统的内涵

关于“地理信息系统”的定义，目前有很多论述。例如：《测绘学名词》（第三版）将地理信息系统定义为在计算机软硬件支持下，把各种地理信息按照空间分布及属性，以一定的格式输入、存储、检索、更新、显示、制图、综合分析和应用的技术系统<sup>[30]</sup>。《辞海》（第六版）认为，地理信息系统亦称“地学信息系统”，指“用于地理空间数据采集、存储、处理、查询、分析、利用和可视化的电子计算机信息系统”<sup>[31]</sup>。应该说，这两种“地理信息系统”的定义，显然个别提法不同，但都符合前述系统、信息、地理信息三个关键词的要求。地理信息系统，就是基于计算机软硬件的由相互关联、相互制约的地理信息（空间位置和属性特征）输入（采集）、存储（管理）、检索（查询）、分析（综合分析）、更新（数据）、地图制图、可视化（显示）和应用（利用）等部分（子系统）组成的整体信息系统。

### 1.3 地理信息系统从哪里来？

这里，主要论述地理信息系统与地图（集）、计算机地图制图、地图数据库的关系。

1）“地理信息系统”源于“地图”又超越了“地图”

此处，“地图”指经典（纸介质）的模拟地图（系列地图、地图集）。经典的地图是一种模拟的非计算机化的地理信息系统，它承载了几乎所有测绘地理信息元素，只不过它是地

图图形的形式存储、管理、传输、量算、分析和利用地理空间信息<sup>[6]</sup>。实际上，地理信息系统中的许多量算分析功能都是经典（传统）地图上用简单工具量算（距离、坡度等）和分析功能的拓展和延伸，只不过经典地图上量算分析的结果精度相对低、速度慢、时间长。单幅地图是一个简单的非计算机化的地理信息系统，系列地图是一个相对低级的非计算机化的综合性地理信息系统，地图集是一个相对高级的非计算机化的普通、专题或综合性地理信息系统。所以，说“地理信息系统”源于“地图”又超越了“地图”是有道理的。

### 2) “地理信息系统”源于“机助地图制图”又超越了“机助地图制图”

计算机地图制图取代手工地图制图，在地图制图技术上是一个里程碑式的事件。计算机地图制图，又称“机助地图制图”（Computer-aided Cartography, Computer-assisted Cartography, CAC），指用计算机及外围设备和相应软件进行地图信息的采集、存储、处理、管理、显示、绘图和制版的技术与方法。“机助地图制图”，也称“自动化地图制图（Automatic Cartography）”，指“利用计算机和输入、输出设备及自动制图软件，对地图信息进行数字化、数据处理、图形输出而获得地图产品的技术”。“计算机地图制图”或“机助地图制图”，获得的直接产品是“数字地图”，而“数字地图”符号化又可通过制版印刷获得经典（传统）的纸介质地图。显然，数字地图成为了“地理信息系统”操作的对象，当然还要增加地形分析和空间分析功能才能成为真正意义上的“地理信息系统”。所以，“地理信息系统”源于“计算机地图制图”又超越了“计算机地图制图”是合乎逻辑的。

### 3) “地理信息系统”源于“地图数据库”又超越了“地图数据库”

“地图数据库”比起“数字地图”又前进了一步。地图数据库（Cartographic Database），指“计算机存储的各种数字地图（矢量或栅格）数据及其管理软件的集合。地图信息系统的核心支撑”。地图信息系统（Cartographic Information System, CIS），指“以研究地图信息的获取、传递、转换、存储和分析利用等为主要目标的信息系统”。作为地理信息系统核心支撑的地理信息数据库（Geographic Information Database），指计算机存储的地理系统诸要素（现象）的数量、质量、分布特征、相互联系和变化规律的数据及其管理软件的集合；大数据、云计算、人工智能时代，支撑地理信息系统高效运行的是基于分布式数据存储系统的大数据中心和空间数据仓库系统。显然，“地理信息数据库”的内容要比“地图数据库”的丰富的多，更接近反映地理系统，更便于分析地理系统的规律；分布式数据存储系统和空间数据仓库系统，无论其数据规模、多样性和易于数据分析、挖掘和知识发现都超出了一般地理信息数据库。所以说，“地理信息系统”源于“地图数据库”又超越了“地图数据库”是符合发展规律的。

## 1.4 地理信息系统的装备特性

地理信息系统（GISystem）从概念的提出到加拿大第一个地理信息系统（CGIS）的建成，直到以后近 60 年的发展演进，都是人类社会实践（科学实践、生产实践、工作实践）的需求牵引和科学技术推动的。GISystem 是一种软件，这是地理信息系统学界和业界公认的，但说它也是装备，可能很少人提及。实际上，装备是指配备的一些设备。从这个意义上讲，GISystem 软件就是一种装备，软硬件集成是装备。在某种程度上，人们忽视了软件装备。就 GISystem 而言，作为装备有三个层次，即工具软件（通用）、应用软件（行业用）、应用系统（面向具体用户）。就集成应用而言，GNSS、RS、GISystem 的集成应用是主流，装备发展更有前景。既然是装备，就应通过严格的软件测试和装备论证，然后作为装备应用。

基于上述地理信息系统的装备特性，GISystem 的研发一定是以需求为导向、以解决实际问题为目标的。当前，GISystem 的体系结构、开发和服务模式都已发生深刻变化，已实现了由“地理信息系统”到“地理信息服务”的转变，但仍然未从根本上解决基于面向服务体系架构（SOA）的跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务的多节点信息资源共享和协同工作的问题。而这正是无论民用或军用都迫切需要解决的问题。

## 2 由“地理信息系统（GISystem）”到“地理信息服务（GIService）”的发展演进

### 2.1 地理信息系统发展演进的背景

#### 1) 社会需求背景

如前所述，地理信息系统经过近 60 年的发展，已经取得了许多成果，有了很大进步。但是，也存在一些问题，如信息资源不能共享，系统之间不能互联互通互操作，系统耦合性强导致了使用不方便也买不起，等等。这些问题严重影响应用的广度和深度。从人类面临的解决日益突出的全球性问题看，特别需要共享信息资源，实现网络环境下多节点协同工作，提供低成本的实时/准实时、智能化地理信息服务。问题导向和需求牵引对地理信息系统的进一步发展发挥着重要引领作用。

#### 2) 技术背景

主要涉及计算机技术、通信网络技术、对地观测技术和（时空）大数据平台技术等。

计算机技术为地理信息服务提供强大的存储和计算能力。目前，计算机的存储能力已超过 TB 级，计算速度已超百万亿次/s。计算机的存储容量和计算能力对推动从“地理信息系统”到“地理信息服务”发展演进至关重要。通信网络技术推动地理信息系统体系结构的发展演进。由“地理信息系统”到“地理信息服务”的发展，经历了“单机→主机→桌面→网络→网格→云”GISystem 的演进，通信网络技术的发展起了十分重要的作用。对地观测技术为解决地理信息系统发展演进提供强大的信息源支撑。全球卫星导航定位系统（GNSS）提供高精度定位数据和遥感（RS）获取的覆盖全球的影像数据，为地理信息系统发展演进中的高精度信息源难题的解决提供强有力的支撑。

时空大数据平台技术为“地理信息系统”到“地理信息服务”发展演进提供先进而实用的技术体制和工程技术实现支撑。时空大数据平台，是构建在基于网络/网格服务的面向服务体系架构（SOA）上，采用与社会组织结构相应的虚拟化组织技术、技术融合、数据融合和业务融合，实现跨层级、跨地域、跨系统、跨部门和跨业务的多节点协同管理和运行，真正成为协同工作平台、高效服务平台、智能决策支持平台，将极大推进地理信息服务的实用化。

#### 3) 学科背景

从学科的角度讲，对地理信息系统发展演进影响最深远的是地理学、地图学、系统工程、计算机科学技术、数据科学和人工智能技术等。对于地理信息系统而言，地理学是科学认识论基础；地图学是科学方法论基础；系统工程提供构建地理信息系统的系统论思想和方法；计算机科学技术为大规模海量数据提供计算和存储能力；测绘科学与技术提供高精度时空基准、位置数据及位置服务、实时/准实时高分辨率遥感影像数据；数据科学提供数据分析、数据挖掘与知识发现的理论和方法支撑；人工智能技术提高地理信息服务的智能化水平。同时，地理信息系统也成为改变世界的十大地理学思想之一，被称为地理学的第三语言；拓展了地图学的功能；丰富了系统工程的应用；扩大了计算机科学技术和测绘导航科学技术的应用范围；拓展了数据科学的应用和丰富了数据科学的内容；开拓了人工智能技术的应用领域并有利于人工智能技术的发展。实际上，“地理信息系统”到“地理信息服务”的发展演进是多学科交叉融合推进的结果。

### 2.2 地理信息系统发展演进的主要表现

#### 1) 应用领域的扩展

1965 年建成的世界上第一个地理信息系统即加拿大地理信息系统（CGIS），只是一个基于矢量数字地图的土地管理信息系统。50 多年过去了，如今地理信息系统已在地球科学各分支学科、社会科学、管理科学、医学与卫健等许多领域得到了广泛应用，大气地理信息系

统、海洋地理信息系统、环境地理信息系统、资源地理信息系统、文旅地理信息系统、水利地理信息系统、交通地理信息系统、公安地理信息系统、消防地理信息系统、警务地理信息系统、政务地理信息系统、商业地理信息系统、国土空间规划地理信息系统、矿山地理信息系统、城市地理信息系统、社区地理信息系统、校园地理信息系统，等等。可以说，过去需要利用地图的领域现在都需要利用地理信息系统。不仅如此，还出现了某些室内和地下（水下）空间地理信息系统的需求，前者如涉及公共安全的医院、大型商场与超市、能源基地与核电厂、文化体育场馆、洗浴中心等；后者如地下商场、地下铁道、海（江河）底隧道、地下矿区等。这些都可以采用建筑信息模型（BIM）与地理信息系统（GISystem）集成的方法实现。随着空间科学技术的快速发展，中国的嫦娥探月工程已获取全月球高分辨率月球遥感影像数据，生产了月球表面数字地形图和数字高程模型，采集土壤样本，为人类进一步科学管理月球土壤、岩石及其他要素数据，系统分析月坑、月海等的空间分布特征，探索月球演化机理，模拟月球演化过程，提供月球科学数据服务。

可见，应用领域的扩展，既是地理信息系统发展演进的主要表现之一，又是不断增长的应用需求推动了地理信息系统的发展演进。

#### 2) 数据资源的扩展

数据资源是地理信息系统发展演进的重要驱动力。20世纪90年代以前，主要源于地图数字化，地理信息系统表现出静态滞后的特点；20世纪90年代，卫星导航定位数据和卫星遥感影像数据丰富了地理信息系统的数据源，同时融入了社会经济人文信息，具有实时/准实时的多维动态信息特征；进入21世纪，基于现代化时空基准采用天空地海一体化全球化卫星组网技术（传感器网络），出现“三多”（多平台、多传感器、多角度）和“三高”（高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率）发展趋势，以及伴随而来的大数据时代，基础地理时空数据与各部门行业专题数据的融合，形成了时空大数据，极大地推动了地理信息系统到以时空大数据平台为代表的地理信息服务新技术体制和新模式。数据对地理信息系统的发展演进至关重要，没有数据，地理信息系统就成了“无源之水”“无本之木”。

#### 3) 功能的扩展

地理信息系统的功能是社会广大用户最为关注的。按其发展演进过程可以分为管理型、分析型和决策支持型三个时期。早期的地理信息系统基本上是一种“管理型”的，只具有空间数据存储与管理、查询与检索功能；后来的“分析型”，在存储管理和查询检索基础上，发展了分析功能，主要包括地形量算（位置、高程、坡度等）、地形分析、空间关系分析（拓扑关系、方向关系、距离关系等）、缓冲区分析（点、线、面及静态、动态等）、最优路径分析（距离最短、流量最大、费用最低、最安全等条件）、最优造址分析和叠置分析等；当前的地理信息系统正处于各种分析功能、空间数据挖掘与知识发现和人工智能技术的“决策支持型”时期，包括数据决策支持、模型算法决策支持、知识决策支持和智能决策支持等。

应该说，地理信息系统的功能由“管理型”到“分析型”再到“决策支持型”是迭代演进、继承发展的关系。

#### 4) 体系结构、开发和服务模式的发展演进

在计算机网络通信技术、计算机软件技术和网络服务技术快速发展的推动下，地理信息系统的体系结构、开发模式和服务模式都发生了深刻变化。地理信息系统的体系结构经历了“单机 GISystem→主机 GISystem→桌面 GISystem→网络 GISystem→基于网络服务的 GIService→基于网格服务的 GIService→基于云服务的 GIService”；地理信息系统的开发模式经历了“功能包→集成式→模块式→组件式”发展演进过程；地理信息系统的服务模式经历了“基于网络服务（Web Service）的空间信息共享与空间数据互操作模式→基于网格服务（Grid Service）的信息资源共享与协同工作（解决问题）模式→基于云计算（Cloud Computing）的时空信息服务模式”。

上述地理信息系统体系结构、开发模式和服务模式的发展演进,说明共享、开放和服务是地理信息系统技术发展的必然趋势。其中,基于网格服务的信息资源共享与协同工作模式,就其技术而言应该是先进的,但实际应用还未来得及展开;基于云计算的时空信息服务模式也只是用现有的商业化 GISystem 软件构建在云架构上,即时空信息云平台。

### 3 地理信息系统的进一步发展走向何处

#### 3.1 正确理解“地理信息系统”应用领域的扩展

已于前述 (§2.2),地理信息系统应用领域的不断扩展是无疑的,但是否扩展到“全空间”和“全时空”呢?值得认真思考和研究。实际上,这就是要做一个“无边无际”“无始无终”的“地理信息系统”。这种愿望是好的,但不符合实际,也实现不了,因为地理信息系统是具有很强针对性和实用性的技术工程科学。30年前曾有人写过一本名为《宇宙全息统一论》的书<sup>[32]</sup>。当时,钱学森先生就指出过,有的人“空谈系统是由子系统决定的,微观决定宏观等等。一个很典型的例子就是‘宇宙全息统一论’。他们没有看到人对子系统也不能认为完全认识了。子系统内部还有更深更细的子系统,以不全知去认不知,于事何补?甚至错误地提出部分包含着整体的全部信息,部分即整体、整体即部分,二者绝对统一,这完全是违反客观事实的,也违反了马克思主义哲学”<sup>[33]</sup>。空间与时间一起构成运动着的物质存在的两种基本形式。空间指物质存在的广延性,是“无边无际”的;时间指物质运动的持续性和顺序性,是“无始无终”的。空间和时间具有客观性,同运动着的物质不可分割。空间和时间也是相互联系的。

#### 3.2 面向国家建设与国防建设需要

“GIS”,无论是“GISystem”“GIService”,还是“GIScience”,都必须服务国家和国防战略。

就服务经济建设而言,急需研发真正能好用管用国土空间规划地理信息系统,突发流行性疾病监测管控决策支持地理信息系统,城市突发洪涝灾害监控预警救援决策支持消防地理信息系统,城市灾情监控、判断、预警决策支持的地理信息系统,生态保护和高质量发展地理信息系统,地质灾害普查监控预警地理信息系统,城市地面地下交通快速换乘地理信息系统,自然资源监测监管决策支持地理信息系统,让城市能智慧的地理信息系统,等等。

从服务国防建设而言,军事测绘源于作战中对地形的研究与应用,是从测绘与使用地图开始的。古代如此,近代如此,现代更是如此。国防建设部署和规划离不开地图,战略谋划和计划需要利用地图,作战指挥特别是一体化联合作战需要反映战场地理环境的全球地理信息系统支撑,作战行动要有地图来引导,武器平台乃至远程武器精确打击需要精确数字地图。这就是作战指挥的时空观。

进入 21 世纪,伴随着航天技术“井喷”式发展,太空成为继核武器之后的新型战略威慑力量,与核威慑、网络威慑交织融合,共同构成新的战略稳定架构;太空实现全球作战力量一体化,不受传统的陆地、海上、空中飞越限制,具有天然的全球性和跨域性,全球任何地点的作战力量和手段都能通过“天地一体网”连接起来,形成一体化作战力量体系;太空力量可以在任何时间、任何地点、任何气象条件下打击地球上任何一个目标。而这必须有全球一体化的地理信息系统作保障。

伴随着无人机、人工智能、自主系统、大数据等前沿技术的快速发展,无人机不仅可以在空中还可以在水中完成作战任务,不仅可完成作战任务还可遥控指挥(夺岛)作战,不仅可以单机作战还可组成无人机“蜂群”作战,而且无人机“蜂群”作战是通过模拟群聚生物的协作行为与信息交互方式,以自主和智能化的整体协同方式完成作战任务的。特别是随着智能、网络、协同与控制技术和无人平台技术的发展,未来在陆、海(水面水下)、空、天各个领域都将出现类似于“蜂群”的“狼群”“鱼群”“星群”等各类无人作战平台,实施全域无人作战集

群攻击与防御。对于未来的非接触、非线性作战，需要一个天地一体的地理信息系统。

### 3.3 探索一种科学且符合实际需求和具有发展前景的新型 GISystem 技术体制

面对国家和国防建设急需所要求建设的各种地理信息系统，要认真思考和全面分析现有商业化 GISystem 软件，同时对现有已用和未大范围使用的基于网络/网格/云的地理信息服务模式进行全面深入的比较分析，得出科学客观的结论。这里所说的科学且符合社会需求和具有发展前景的 GISystem 技术体制，必须是以一体化国家（时空）大数据中心、模型库、算法库、知识库、专家库为支撑，能实现习近平总书记 2016 年 10 月 9 日在主持中央政治局第 36 次集体学习时的讲话中指出的“推进技术融合、业务融合、数据融合，实现跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务的协同管理和服务”。

应该说，中国现有的商业化 GISystem 软件本身技术水平都很高，但在数字城市、智慧城市建设中的应用，被证明是达不到上述基本要求和目标的，已建智慧城市的时空信息云平台，都很难成为前述“三融合”和“五跨”的信息资源共享和协同工作的平台，而基本上只是一个“展示”平台。根本原因是已建立的这种“平台”，其组织结构体系与社会组织结构体系“两张皮”。

至于基于网络服务（Web Service）的空间信息共享和空间数据互操作、基于网格服务（Grid Service）的信息资源共享与协同工作、基于云计算的时空信息服务等服务模式，相对于“三融合”和“五跨”目标和要求而言，都显得不足，又各有优势。为此，对三种服务模式就其内涵、功能、关键技术、标准、技术架构、发展趋势和服务共享特点等 8 个方面进行了综合比较（见表 1），通过分析表 1 得出如下结论：

- 1) 三种服务模式都采用面向服务的体系架构（SOA）。
- 2) 都是解决“共享”与“服务”的问题，只不过“共享”的程度与“服务”的范围、方式不完全相同。
- 3) 网络服务与网格服务的技术标准有相同的也有不同的，但趋势是“兼容”或“融合”，且标准是统一的，服务方、用户方都必须清楚；云服务标准可以是内部统一的、用户不必清楚。
- 4) 网格服务是网络服务的发展，云服务是网格服务的简化版或商业化实现。

基于上述分析和结论，可以认为，采用“网格集成”与“弹性云”的混合式时空信息服务模式是最佳选择。因为这样的技术体制可以扬长避短、优势互补，推进技术融合、业务融合、数据融合和实现跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务的多节点信息资源共享和协同工作。

表 1 三种时空信息服务模式的综合比较

Tab.1 Comprehensive Comparison of Three Spatio-Temporal Information Service Modes

| 比较内容 |      | 服务模式                                  |  |  |
|------|------|---------------------------------------|--|--|
|      |      | 网络服务                                  | 网格服务   | 云服务  |
| 内涵   |      | 架构在各种异构平台上的一层通用的、与平台无关的或独立于平台和实现的软件架构 | 核心是把网格节点上的所有信息资源都抽象为服务，根据用户需求，向用户提供服务聚合后的协同计算资源和及时的个性化服务 | 是一种新的计算能力的服务模式，他把 it 资源数据资源等通过虚拟化技术管理起来，组成一个庞大的资源池，并将其作为服务，通过网络传递给用户 |
| 功能   | 运行环境 | 网络（Web）                               | 网格（Grid）   | 云平台  |
|      | 服务内容 | DaaS, SaaS                            | DaaS, SaaS, PaaS, IaaS, KaaS                             | DaaS, SaaS, PaaS, IaaS, KaaS   |
|      | 生命周期 | 无                                     | 有  | 无  |
|      | 临时服务 | 不支持，永久服务                              | 支持创建临时服务   | 无  |
|      |      | XML, SOAP, UDDI, WSDL                 | DGSM, WSRF, MDS, GSDL                                    | 分布式编程模型（Map Reduce）;   |

|        |                |  |                           |
|--------|----------------|--|---------------------------|
| 关键技术   |                |  | 分布式存储和管理技术；虚拟技术；云计算平台管理技术 |
| 标准     | 服务描述           | WSDL   | GSDL                      |
|        | 服务发现           | UDDI   | WSIL, MDS (监控与发现服务)       |
|        | 服务组合           | OGSA (开放网格服务架构)<br>OGSI (开放网格服务基础设施) → WSRF (网络服务资源框架) |                           |
| 技术架构   | SOA            | SOA  | SOA                       |
| 发展     |                |  |                           |
| 服务共享特点 | 地理信息共享与空间数据互操作 | 不通类型层次节点间信息资源共享与协同工作                                   | 统一服务方为用户提供信息资源共享          |

### 3.4 研究一套实现新型 GISystem——时空大数据平台的技术体制和技术方法

时空大数据，指基于统一时空基准、产生和存在于时间和空间中，与位置直接（定位）或间接（空间分布）相关联的大数据，由基础地理时空数据与专题数据（部门行业）融合而成，具有位置、时间、属性、尺度（比例尺）、分辨率（影像）、异构性、多样性、多维、巨量性、价值隐含性和快速性（事前而非事后）等特性。时空大数据平台，指把各种分散的和分割的大数据汇聚到一个特定的自主可控的平台上，并使之发生持续的聚合效应，即通过多源异构数据融合、关联分析与数据挖掘，揭示事物的本质规律，对事物做出更加快捷、更加全面、更加精准和更加有效的研判和预测。时空大数据平台是大数据的核心价值，是大数据发展的高级形态，是大数据时代的解决方案。

这样的时空大数据平台的技术实现，必须突破以下 6 个问题：

#### 1) 必须采用面向服务的体系架构（SOA）

面向服务的体系架构，由服务方、用户方和服务注册中心三个角色和服务注册（描述/发布）、服务查找（访问/定位）、绑定服务和调用服务四个基本操作构成。要研究制定“三个角色”之间的协议（SOAP）、网络/网格服务描述语言（WSDL/GSDL）、服务发现标准（UDDI/WSIL/MDS）等。

#### 2) 必须构建一张天地一体的信息服务网（网络/网格）

任务是实现范围更加广泛的信息资源共享与多层次多节点的协同工作提供必要的新的运行环境，包括时空信息获取处理和服务一体化的运行环境、多源异构时空大数据集成融合的环境、信息资源共享（SaaS、KaaS、PaaS、DaaS、IaaS 等）环境、协同工作（协同解决问题）的环境、已建分布异构地理信息系统（数据库）集成应用环境等。

#### 3) 必须突破服务组件化、服务封装和基于 workflow/服务链的服务发现和服务聚合等关键技术

目标是实现网络/网格环境下各类信息资源的高效调度并支撑服务的智能化。其核心技术是 workflow/服务链的构建及其自适应和智能化，基于 workflow/服务链的服务发现（识别和自动匹配）和服务聚合，即按需组合服务以形成面向应用的服务能力。

#### 4) 必须研建一个与社会组织结构相适应能实现“五跨”的平台运行管理体系

目标是实现“跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务”的多节点的协调联动，为平台安全可靠高效运行提供支撑。采用虚拟化技术，按社会组织结构体系建立相应的虚拟组织（VO）；各层次各虚拟组织内部都设有管理节点、门户节点、服务节点、用户节点、服务注册中心；虚拟组织可根据其任务弹性伸缩。按虚拟组织的功能分为静态 VO 和动态 VO，前者以资源为中心，固定存在，执行信息资源发布功能；后者以任务为中心，随建随销，执

行信息资源共享和服务。两者配合，构成信息资源共享生命周期管理的主体。

#### 5) 必须研究一套科学实用的时空大数据可视化及可视化设计的理论与方法

目标是寻求一种相对最好的时空大数据可视化效果。所谓“最好的时空大数据可视化设计”，必须满足四个条件：一是，总体上必须是形、数、理相统一的可视化。形，指图形、图象；数，指数据；理，指规律。形表达数据，形数蕴含规律，这就是形数理相统一的原则。二是，必须知道数据表达（蕴含）了什么，数据与它所表达的事物（现象）之间的关联是什么。这是最好的时空大数据可视化的关键、全面分析数据的关键、深层次理解数据的关键。三是，必须遵循空间认知科学和视觉规律。人们通过时空大数据可视化来认知现实地理世界，人们对“可视化”（现实地理世界的替代物）的感知、表象（映象的再现）、记忆（存储）、思维（从现象到本质的转化）是一个完整的空间认知过程；视觉可以洞察统计分析很难甚至无法发现的新模式、新知识和新规律，知识水平较低的用户也易于对可视化结果进行解读。四是，应该是针对不同用户或读者的。用户或读者不同，可视化方式也应不同。不过，目前最好的可视化方式还是各种多样化、个性化的地图，因为地图本质上是通过反映事物（现象）的空间结构和空间关系及其随时间变化来揭示其规律的。

#### 6) 必须建立一套标准体系

目的是保证时空大数据平台规范、有序、健康、安全、可持续运行。目前，ISO19119和OGC的地理信息标准和网络/网格服务标准已基本形成体系，例如服务分类标准、服务描述标准、服务注册标准、三种角色（服务方、用户方、服务注册中心）之间的通信标准等；我国的地理信息标准已基本成体系，但网络/网格服务标准尚未形成自主统一的标准体系。

上述6个问题中，第1)、3)、4)这3个问题是核心关键技术。

### 3.5“共用时空大数据平台+”应用模式

根据前述时空大数据的构成（基础地理时空数据+专题数据）和信息化过程中时空大数据应用存在的问题，提出“共用时空大数据平台+”的应用模式。这里，“共用时空大数据平台”指将具有统一时空基准的“基础地理时空数据”聚合在一个自主可控的平台上，使之成为融合各部门行业的“专题数据”的时空框架。因此，“共用时空大数据平台”，就是“基础地理时空数据平台”。所谓“共用时空大数据平台+”，“+”即跨界融合。“+”民用，指将各部门行业大数据融合在“共用时空大数据平台”上，构建民用的“时空大数据平台”，如新型智慧城市时空大数据平台，进一步生成政府综合决策支持系统、各部门行业应用系统。可见，采用“共用时空大数据平台+”应用模式，可以从根本上解决长期存在的地方政府及其所属各部门各行业所建地理信息系统的“基础地理时空数据”不一致、不统一、不协调，以及不能用、不好用、不管用等老大难问题。

地理信息系统作为一种实用性很强的技术工程科学，从一开始就是从实践中来的，而且随着社会需求的不断深化、新兴信息技术的不断进步，其应用领域、数据资源和功能不断扩展，体系结构、开发模式和服务模式等都发生了深刻的变化，但是也仍然存在一些深层次的问题，利用现有商业化地理信息系统软件建成的数字城市基础地理空间数据平台、智慧城市时空信息云平台甚至新型智慧城市的所谓“时空大数据平台”，还是主要局限于“展示”层面上，而远不是政府及各部门的业务平台、服务平台和“跨层级、跨地域、跨系统、跨部门、跨业务”的多层次多节点的协同工作（解决问题）的平台。本文围绕如何认识地理信息系统（GISystem）、如何认识地理信息系统的发展演进、如何认识和把握地理信息系统的未来发展等问题，进行了分析和探索，认为地理信息系统的未来发展不能“无边无际”，应以服务国家和国防建设需求为宗旨，并提出了“网格集成”与“弹性云”的“混合式”GISystem技术体制及实现这种技术体制必须解决的关键技术和时空大数据平台的应用模式，目的是期望引起学界和业界的讨论，共同促进地理信息系统的未来发展，更好服务社会。

## 参考文献

- [1] Wang Jiayao, et al *Introduction to Grid Geographic Information Service*[M]. Beijing: Science Press, 2014 (王家耀, 等. 网格地理信息服务概论[M]. 北京: 科学出版社, 2014)
- [2] Wang Jiayao . The Theoretical Basis and System Frame-Work on GIS[J]. *Journal of PLA Institute of the Surveying and Mapping*, 1997 (2) (王家耀. 关于地理信息系统科学的理论基础与体系框架[J]. 解放军测绘学院学报, 1997 (2))
- [3] Wang Jiayao .Development of Geographical Information Systems and Developing Geographic Information System[J]. *Strategic Study of CA*, 2009(2)(王家耀. 地理信息系统的发展与发展中的地理信息系统[J]. 中国工程科学, 2009 (2))
- [4] Wang Jiayao . *Spatial Information System Theory*[M]. Beijing: Science Press, 2014 (王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2014)
- [5] Huang Xingyuan. *Introduction to Geographic Information System*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008 (黄杏元. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008)
- [6] Wang Jiayao, Hua Yixin .*Military Geographic Information System*[M]. Beijing: Liberation Army Publishing House, 1997 (王家耀, 华一新. 军事地理信息系统[M]. 北京: 解放军出版社, 1997)
- [7] Guo Dazhi Chief editor. *The principle and application of Geographic Information system*[M]. Beijing: China University of Mining and Technology press, 2002 (郭达志主编. 地理信息系统原理与应用[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2002)
- [8] Lv Guonian, Zhang Shuliang, Gong Minxia, et al .*Principles and Methods of Geographical Information Systems*[M]. Beijing: Science Press, 2003 (阎国年, 张书亮, 龚敏霞, 等. 地理信息系统集成原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003)
- [9] He JianBang , Lv Guonian , Wu Pingsheng . *Principles and Methods of Geographic Information Sharing*[M]. Beijing: Science Press, 2003 (何建邦, 阎国年, 吴平生. 地理信息共享的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003)
- [10] Ni Jinsheng, Li qi, Cao Xuejun. *Essentials and Practices of Remote Sensing and Geographical Information Systems*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004 (倪金生, 李琦, 曹学军. 遥感与地理信息系统基本理论和实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004)
- [11] Hua Suonian, Wang Qiao, Xu Xiuhua. *Principles and Methods of Geographical Information Systems Software Engineering*[M]. Beijing: Science Press, 2003 (毕硕年, 王桥, 徐秀华. 地理信息系统软件工程的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003)
- [12] Song XiaoDong, Ye Jiaan. *Geographic Information System and Its Application in Urban Planning and Environment*[M]. Beijing: Science Press, 2001 (宋小东, 叶嘉安. 地理信息系统及其在城市规划与管理中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001)
- [13] Zhou Wensheng, Mao Feng, Hu Peng. *Theory and Practice of Open Web GIS*[M]. Beijing: Science Press, 2007 (周文生, 毛锋, 胡鹏. 开放式 Web GIS 的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2007)
- [14] Zhang Xinchang, Zeng Guanghong, Zhang Qingnian. *Urban Geographic Information System* [M]. Beijing: Liberation Army Publishing House, 1997 (张新长, 曾广鸿, 张青年. 城市地理信息系统[M]. 北京: 解放军出版社, 1997)
- [15] Guo Qngsheng , Wang Xiaoyan . *Geographic Information System Engineering Design and management*[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003 (郭庆胜, 王晓延. 地理信息系统工程设计与管理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003)
- [16] Zhang Qingpu, Liu Jiping. *Government Geographic Information System*[M]. Beijing: Science Press, 2003 (张清浦, 刘纪平. 政府地理信息系统[M]. 北京: 科学出版社, 2003)

- [17] Shi Wenzhong, Wu Lixin, Li Qingquan, et al . Models And Algorithms For Three Dimensional Spatial Information System[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007 (史文中, 吴立新, 李清泉, 等. 三维空间信息系统模型与算法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007)
- [18] Mao Feng , Sun Dalu , Bi Shuoben . Modular Geographic Information System -- MGE Foundation[M]. Beijing: Science Press, 2000 (毛锋, 孙大路, 毕硕本. 模块化地理信息系统——MGE基础[M]. 北京: 科学出版社, 2000)
- [19] Liu Xiangnan, Huang Fang, Wang Ping, et al . Theories and Methods of Spatial Analysis in GIS[M]. Beijing: Science Press, 2005 (刘湘南, 黄方, 王平, 等. GIS空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005)
- [20] Zhou Qiming, Liu Xuejun. Digital Terrain Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2006 (周启鸣, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006)
- [21] Zhu Changqing, Shi Wenzhong. Spatial Analysis -- Modeling and Principle[M]. Beijing: Science Press, 2006 (朱长青, 史文中. 空间分析——建模与原理[M]. 北京: 科学出版社, 2006)
- [22] Xiao Guirong, Wang Qinmin, Wu Shen, et al . Logistics Spatial Information Service and Application[M]. Beijing: Science Press, 2012 (肖桂荣, 王钦敏, 吴升, 等. 物流空间信息服务及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012)
- [23] Deng Min, Li Zhilin, Wu Jing. Spatial Relation Theory and Method[M]. Beijing: Science Press, 2013 (邓敏, 李志林, 吴静. 空间关系理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013)
- [24] Cui Tiejun. Basic theory of Geographic Information Science[M]. Beijing: Science Press, 2020 (崔铁军. 地理信息科学基础理论[M]. 北京: 科学出版社, 2020)
- [25] Lv Guonian, Tang Guoan, Zhao Jun, et al . Introduction to Geographic Information Science[M]. Beijing: Science Press, 2019 (阎国年, 汤国安, 赵军, 等. 地理信息科学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2019)
- [26] Wu Xincan, et al . Web Geographic Information System[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2015 (吴信才, 等. 网络地理信息系统[M]. 北京: 测绘出版社, 2015)
- [27] Fu Pinde, Qin Yaochen, Yan Weiyang, et al . Web GIS Principles and Technologies[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018 (付品德, 秦耀辰, 闫卫阳, 等. Web GIS原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018)
- [28] Cui Tiejun, et al . Introduction to Geographic Information Service[M]. Beijing: Science Press, 2009 (崔铁军, 等. 地理信息服务导论[M]. 北京: 科学出版社, 2009)
- [29] Qian Xuesen. On System Engineering (New Century Edition)[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2019 (钱学森. 论系统工程(新世纪版)[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2019.)
- [30] Surveying and Mapping Terminology Approval Committee. Chinese Terms in Surveying and Mapping (Third Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2010 (测绘学名词审定委员会. 测绘学名词(第三版, 2010) [M]. 北京: 科学出版社, 2010)
- [31] Cihai Editorial Board. Cihai (Seventh Edition, Color Picture Book)[M]. Shanghai: Shanghai Lexicographical Publishing House, 2019 (辞海编辑委员会. 辞海(第七版, 彩图本)[M]. 上海: 上海辞书出版社, 2019)
- [32] Wang Cunzhen, Yan Chunyou. Holographic Unification Theory[M]. Jinan: Shandong People's Publishing House, 1988 (王存臻, 严春友. 宇宙全息统一论[M]. 济南: 山东人民出版社, 1988)
- [33] Qian Xuesen. On Geographical Science[M]. Hangzhou: Zhejiang Education Publishing House, 1994 (钱学森. 论地理科学[M]. 杭州: 浙江教育出版社, 1994)

# Thoughts on the Future Development of Geographic Information System

WANG Jiayao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Henan Industrial Technology Academy of Spatio-Temporal Big Data, Zhengzhou 450046, China

**Abstract:** Geographic Information System has made great progress in theory and technology in recent 60 years. The application field of GIS has expanded to all aspects of society, and the social influence is increasable growing. The architecture, development mode and service mode of GIS have undergone profound changes. In order to promote the further development of GISystem, this paper focused on the following three issues based on summarizing the three meanings of "S" in "GIS", namely "System" "Science" and "Service", and the fruitful achievements of "GIS" in recent 60 years. The first issue is how to understand GISystem. This issue should be analyzed from two aspects, and one is to discuss the connotation of geographic information system through analyzing the three key words (namely system, information and geographic) of GIS. The other one is to analyze the relationship between GIS and map, computer mapping and map database. This paper holds the idea that GIS originates from and goes beyond map, computer mapping and map database. It should be considered that GIS has the characteristics of equipment. The second issue is how does GIS evolve. This issue focuses on the social demand background, technical background and discipline background of the development and evolution from "Geographic Information System" to "Geographic Information Service". It also focuses on the main manifestations of the development and evolution of GIS from the aspects of application field, expansion of data resources and functions, architecture, development mode and service mode. The third issue is where will the future development of GIS go. We discussed that the limit application domain expansion of GIS and point out that the future development of GIS must face the urgent needs of national economic construction and national defense construction. Based on the analysis and comparison of three existing GISystem service modes, we consider that the "hybrid" technology system of "grid integration" and "elastic cloud" is the best choice for GISystem service mode. Finally, this paper puts forward six key technical problems that must be solved in the implementation of "hybrid" spatiotemporal big data platform technology based on "grid integration" and "elastic cloud" and designs the application mode of "spatiotemporal big data platform".

**Key words:** geographic information system; geographic information service; spatiotemporal big data; spatiotemporal big data platform; "shared spatiotemporal big data platform +" application mode

**Author:** WANG Jiayao, professor, Academician of Chinese Academy of Engineering, majors in cartography and geographic information system. E-mail: wrongpu@163.com