

顾及要素特征的 层次增量矢量网络传输研究

王刚 著

*Incremental Hierarchical Network Transmission of
Vector Data Considering Feature Characteristics*



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

顾及要素特征的 层次增量矢量网络传输研究

王刚 著

*Incremental Hierarchical Network Transmission of
Vector Data Considering Feature Characteristics*



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

顾及要素特征的层次增量矢量网络传输研究/王刚著. —武汉:武汉大学出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-307-20357-0

I. 顾… II. 王… III. 数据传输技术—研究 IV. TN919.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 162403 号

责任编辑:鲍 玲

责任校对:李孟潇

版式设计:汪冰滢

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 北京虎彩文化传播有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 9.25 字数: 166 千字 插页: 1

版次: 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-20357-0 定价: 36.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着互联网软硬环境建设的不断发展，互联网因其固有的分布式特征已逐步成为数据发布、数据共享、分布式计算的平台，借助于互联网这一广阔的信息传输平台，GIS 应用领域得到了更大程度的拓展，在网络技术、多媒体技术、空间信息技术等的推动下，WebGIS 技术得到了更深层次的发展与应用。

在 GIS 应用中主要存在矢量数据与栅格数据两类数据。矢量数据因其数据结构紧凑、冗余度低，有利于网络和检索分析，图形显示质量好，精度高等优点而得到广泛的应用，而栅格数据则凭借着数据结构简单，便于空间分析和地表模拟，现势性较强等优势目前在国土监测、灾害分析、环境监测等方面发挥着重要的作用。

目前，由于矢量数据应用的广泛性和实用性，矢量数据成为空间信息化建设的基石。同时，也因为针对不同的应用需求，各种 GIS 软件商对数据结构和模型采用不同的设计理念，使得矢量数据的数据结构呈现出多样性和复杂性。但目前各种数据模型还不能很好地解决 WebGIS 中矢量数据的快速传输和客户端显示等问题。

随着 Web2.0 技术的发展与成熟，基于栅格数据下的高性能网络传输已经通过分块模型得到了基本的解决，使得以栅格图片格式为基础的 WebGIS 技术成熟起来，并投入到国家信息化建设的各个领域，但由于栅格数据自身所固有的缺陷，使得目前基于栅格图片技术建立的 WebGIS 使用受到了功能的限制。因此，基于矢量数据的 WebGIS 的研究与探索就成了目前关注的焦点话题之一。

本研究首先从 WebGIS 基本特征、实现的技术模式以及体系结构等方面详细介绍了 WebGIS 实现机制，从应用方面分析了各种 WebGIS 搭建方法的优势和不足，结合目前成熟的基于地图图片的 WebGIS 技术，通过实验分析了这种技术下数据组织模型、数据交互式传输以及数据展示等，同时也分析了当前采用矢量数据渐进式传输的数据组织思想、特点以及存在的问题。

其次，本研究从缓存的存储方式、服务器端缓存和客户端缓存等方面讨论

了如何将这种技术应用到基于矢量数据的 WebGIS 中,从而最终减少数据的重复性传输;阐述了四叉树数据结构,提出了基于文件存储的线性四叉树构建方法,并讨论了同一等级和上下级之间的拓扑关系;同时结合矢量数据渐进式传输中用到的模型以及 WebGIS 的理论,采用以空间换时间的思想,提出了基于层次增量分块矢量模型的服务器端矢量数据组织模型,并给出了相应的矢量块的剪裁及文件命名存储等方法,同时也介绍了客户端的矢量块文件数据融合实现机制。

再次,本研究从与网络传输密切相关的矢量数据数据量入手,从数据压缩的基本原理和一般方法阐述了数据压缩的实质,从局部压缩思想和整体压缩思想两方面对矢量数据五种有损压缩算法进行了阐述与分析,考虑到以上压缩方法存在数据信息丢失的问题,本研究从基于统计模型和基于字典模型两方面阐述了霍夫曼编码、算术编码以及基于第一类字典编码、第二类字典编码的无损压缩算法,同时结合矢量数据特点、网络传输以及数据压缩,指出除了要建立一种合适的矢量数据模型外,还要在矢量数据传输前进行多种组合的压缩,并给出了矢量数据坐标几何压缩的方法以及基于 GZip 编码的网络压缩与传输的思路,从而减少了网络传输的矢量数据量;同时结合服务器端的矢量数据组织,提出了从控制刷新数据量,采取基于特征要素交互式传输和基于 Web Service 的交互式异步传输等方面的传输策略来提高矢量数据的传输效率,最终达到提高用户体验感的目的。

本研究最后通过实验从网络传输数据量、传输时间以及客户端数据显示与编辑等方面对前面叙述的数据压缩、缓存技术运用、传输策略以及数据融合等进行验证,同时也指出以上方式存在的问题。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.1.1 WebGIS 存在的问题	3
1.1.2 矢量数据网络传输的产生	5
1.1.3 研究问题的提出	5
1.2 研究目的和意义	6
1.2.1 研究目的	6
1.2.2 研究意义	7
1.3 国内外研究现状及存在的问题	7
1.4 研究的内容及体系结构	10
1.5 研究的关键问题	11
1.6 本章小结	11
第二章 空间数据网络传输理论、现状与问题分析	13
2.1 空间数据基本概念	13
2.1.1 空间数据类型	14
2.1.2 空间数据组织	17
2.2 WebGIS 相关理论	19
2.2.1 WebGIS 基本特征	20
2.2.2 WebGIS 实现技术模式	22
2.2.3 WebGIS 体系结构	26
2.3 栅格数据的网络传输理论	32
2.3.1 栅格数据瓦片金字塔模型	34
2.3.2 瓦片栅格地图技术实现机制	36
2.3.3 瓦片栅格地图实验分析	39
2.4 矢量数据网络渐进式传输理论	45

2.4.1 矢量数据网络渐进式传输概述	46
2.4.2 矢量数据的流媒体传输模式	47
2.4.3 服务器端矢量数据的组织	50
2.4.4 客户端矢量数据的重建	52
2.4.5 矢量地图渐进式传输特点	53
2.5 本章小结	53
第三章 地图缓存与层次增量分块矢量数据组织	55
3.1 网络地图缓存技术	55
3.1.1 缓存的存储方式	56
3.1.2 Web 服务器端缓存机制	58
3.1.3 客户端缓存机制	59
3.2 基于文件的线性四叉树索引	60
3.2.1 三种坐标系统概述	60
3.2.2 四叉树数据结构	61
3.2.3 文件线性四叉树构建方法	62
3.2.4 矢量块文件之间的拓扑关系	63
3.3 矢量数据组织及模型	64
3.3.1 空间矢量数据分类策略	64
3.3.2 空间矢量数据分级策略	65
3.3.3 层次增量分块矢量模型	66
3.3.4 基于四叉树 N 阶 Hilbert 文件存储法	68
3.3.5 矢量图形剪裁	69
3.4 客户端矢量数据融合机制	72
3.5 本章小结	75
第四章 矢量数据高效压缩与网络异步传输	76
4.1 数据压缩的理论与方法	76
4.1.1 数据压缩及信息量的定义	76
4.1.2 数据压缩的基本原理及方法	78
4.1.3 数据压缩的分类	80
4.2 矢量数据有损压缩	83
4.2.1 数据有损压缩的基本原理	83

4.2.2 矢量数据有损压缩的方法	84
4.3 矢量数据无损压缩与简化	89
4.3.1 数据无损压缩的基本原理	89
4.3.2 常用数据无损压缩的方法	90
4.3.3 矢量数据无损压缩方法	100
4.4 GZip 压缩传输	104
4.5 矢量数据传输策略	105
4.5.1 控制刷新数据量	105
4.5.2 基于特征要素交互式自适应传输	106
4.5.3 基于 Web Service 的交互式异步传输	107
4.6 本章小结	110
第五章 矢量数据网络传输实验与分析	111
5.1 实验环境	112
5.1.1 实验数据	112
5.1.2 软件环境与硬件环境	116
5.2 矢量块的简化压缩分析	118
5.3 GZip 网络压缩分析	122
5.4 实验性能方面分析及功能实现	124
5.5 本章小结	129
第六章 结语	130
6.1 主要研究工作	130
6.2 主要创新点	131
6.3 需要进一步研究的工作及展望	132
参考文献	133

第一章 绪 论

地理信息系统 (Geographic Information System), 简称为 GIS, 是一种特定而又十分重要的空间信息系统, 它是以采集、存储、管理、分析和描述整个或部分地球表面 (包括大气层在内) 与空间和地理分布有关的数据的空间信息系统^[1]。

就地理信息系统概念而言, 我们可以从两个方面来理解: 首先, 它是用来表达、描述、分析、存储和输出空间信息理论与方法的一门新的交叉学科; 其次, 它可以理解为一个技术系统, 即一种依托地理模型分析方法, 以地理空间数据库为基础, 提供动态的和多种空间的地理信息, 为研究并提供相关空间方面的决策服务的计算机技术系统^[1]。

随着网络和通信技术的发展, 互联网上的用户成几何级数增长, 地图作为一种重要的空间信息表达方式被广泛地应用于互联网上。同时, 由于城市的发展和人们的日常生产、生活与空间信息紧密相关, 使得基于互联网上空间信息的应用与需求日益增大。目前, 互联网软硬环境得到了很大程度的改进, 这极大地推动了网络地理信息系统的发展, 考虑到 GIS 数据量比较大, 如何解决空间信息数据在互联网上的快速传输以及在客户端的快速显示, 从而改善和加强网络地理信息系统与用户端的交互性是目前 WebGIS 发展亟需解决的问题。

1.1 问题的提出

人类在地球上的日常生产生活中, 几乎有 80% 的信息和地理空间位置相关, 空间信息在实际中的应用主要表现为地理空间定位和空间辅助决策。当前, 随着网络软硬件技术的发展与成熟, 互联网在全球范围内得到了高速的发展与广泛应用, 这使得它成为当今最为高效快速的全球信息发布综合平台, 借助它, 全球范围内各个地方的人们都紧密联系在一起, 不再受到地域上的限制。

互联网理论和技术方面的不断发展与完善, 促使了它在各个学科领域上得

到了广泛应用,同样,地理信息应用领域也不例外,这种技术改变了传统的桌面地理信息应用模式,搭建基于互联网上的地理信息系统——WebGIS,能够为全球范围内的用户提供空间数据浏览、查询和分析等功能,目前它已经成为GIS发展与应用的趋势,在空间信息领域,我们将WebGIS看作是互联网技术应用于GIS的产物^[2],GIS应用通过互联网技术得到了更为广泛的扩展与应用。

在GIS应用中主要存在两类数据的应用,分别为矢量数据与栅格数据。矢量数据因其数据结构紧凑、冗余度低,有利于网络和检索分析,图形显示质量好,精度高等优点而得到广泛的应用,而栅格数据则凭借着数据结构简单,便于空间分析和地表模拟,现势性较强等优势在目前国土监测、灾害分析、环境监测等方面发挥了重要的作用。

目前,随着栅格数据网络传输方面研究的深入,已经形成了一套基于地图预生成的处理技术,这种技术采用多级金字塔结构模型来切割各种不同的空间数据,从而在服务器上建立一套多级的地图图片库,而客户端则利用Ajax、JavaScript等新型Web技术与服务端进行数据交换,同时客户端采用图片缓存技术,从而避免图片的重复传输,减少了网络的传输量,使网络的负荷量大大降低,从而加快地图传输和显示。在此技术支持下,采用这种模式搭建的WebGIS地图服务网站或平台如雨后春笋般地成长并壮大起来,极大地促进了地理信息在社会各个方面的应用。

栅格数据的网络传输机制很好地解决了栅格数据网络传输和客户端地图快速显示问题,但由于客户端地图数据为栅格数据,使得GIS分析功能、数据编辑更新功能、地图图面动态配置、动态投影等一系列实用性的GIS功能无法实现。因此,采用矢量数据搭建WebGIS成为大家研究的焦点之一。由于矢量数据的数据量大,且结构复杂,如何解决矢量数据在网络上的快速传输与客户端的快速显示成为当前研究的重点和亟需解决的问题。

正是由于矢量数据应用的广泛性和实用性,矢量数据成为空间信息化建设的基石。同时,也因为针对不同的应用需求,各种GIS软件商对数据结构和模型采用不同的设计理念,使得矢量数据的数据结构呈现出多样性和复杂性。但目前的各种数据模型还不能很好地解决WebGIS中矢量数据的传输和客户端显示等问题。

结合目前Web 2.0技术、计算机技术以及相关GIS理论,研究适合WebGIS传输和显示的矢量数据空间模型,找出一条适合目前互联网环境下应用矢量数据的WebGIS理论和技术,具有重要的实际意义。

1.1.1 WebGIS 存在的问题

网络地理信息系统(WebGIS)是在网络环境下的一种集数据存储、数据处理和数据分析的地理信息计算机软件系统,它是在传统的GIS理论和技术的基礎上发展起来的,与传统的GIS相比,WebGIS具有以下特点:

①集成的全球化的客户/服务器网络系统。

网络地理信息系统由两个部分组成:服务器端和客户端。通过互联网来进行客户端与服务器之间的信息沟通,客户机通过网络向服务器发送请求分析工具、功能模块以及数据,服务器响应客户机的请求,并随后将结果通过网络传回给客户,或把分析功能工具和空间数据传送到客户端,以便客户使用。WebGIS可借助互联网将地理信息传递到全球,即全球范围内任何地方的互联网用户都可以访问并运用网络地理信息系统服务器提供的各种空间信息服务,甚至还可以进行全球范围内的地理信息系统数据更新。

②分布式的服务体系结构。

网络地理信息系统技术可以通过互联网将地理数据和空间分析工具部署在不同地点多台计算机上,而这些计算机可通过网络连接。地理数据和分析工具是独立的组件和模块,用户可以随意从任何地方的网络访问这些数据及应用程序,不需要在本地计算机上安装和部署数据及应用程序。用户所需要做的只是把请求发送到服务器,服务器根据请求内容实时响应,把数据和分析工具模块传送给用户。

③跨平台特性。

尽管目前很多WebGIS的产品是基于某一操作系统开发出来的,但随着Java跨平台语言的不断发展,我们相信,未来的WebGIS应用一定可以做到“一次编写,到处运行”的状态,从而将WebGIS应用推向更高的层次。

④真正大众化的GIS。

考虑到互联网访问的特点,只要服务器端搭建了基于空间信息的服务,并提供了相应的WebGIS的相关数据、功能等模块,全球范围内任何基于互联网连接的用户就可以使用这些GIS数据和相关功能,从而实现网络地理信息平台的大众化。

⑤与其他Web应用的无缝集成。

通过标准的网络协议和结构搭建的WebGIS,为其在互联网的应用提供了极大的空间,这使得它与其他的信息服务管理平台进行无缝结合成为可能。

⑥高效的平衡计算负载。

传统的桌面 GIS 应用软件是在文件服务器结构基础上搭建起来的, 这种结构下的客户端软件几乎能够响应并处理所有的 GIS 操作, 效率比较低。而如果采用 WebGIS, 则可以充分利用网络资源, 把一些基础性、全局性的处理交给服务器去完成, 将数据量较小的空间信息简单操作交给客户端完成。这种方式可以更好地寻求计算负荷和网络负载流量在服务器端与客户端之间合理分配。

这些优势和特征使 WebGIS 能很好地克服传统 GIS 的缺陷, 逐渐成为 GIS 未来的发展趋势。但是, 任何一项新技术在发展过程中, 必将会面临各种各样的问题, 地理信息技术经过近 40 年的发展, 目前已经逐步成为信息技术的一个重要组成部分, WebGIS 应用更是进一步拓展它的应用领域, 从而能够为更多的用户提供更为宽广领域的空间信息服务。在计算机软硬件技术、网络技术、多媒体技术等高速发展的今天, WebGIS 理论和技术也得到了极大的提高和改进, 但就目前 WebGIS 的应用现状可以得知这项技术远未达到成熟, 仍面临着一系列的理论和技术方面的瓶颈与挑战。

总的来说, 可以归纳为如下几个方面^[3,4]:

①多源、异构的空间数据的交换、共享以及互操作的实现。

这方面问题主要表现在两点: 第一, 由于各个 GIS 软件开发商有他们各自的数据标准和格式, 如果我们要实现空间数据的共享, 则需要进行数据的转换。然而, 在数据转换中, 由于缺乏统一描述的空间对象标准, 往往出现转换后信息不完整或者丢失等现象。第二, 由于管理和数据安全等方面的原因, 大部分数据都是面向各个行业, 依赖各自的支撑环境和平台, 这个各自独立, 相对封闭的状态, 会形成一个个的“空间信息孤岛”。

②结构复杂的空间地理信息数据的查询和整合。

Html 和 JavaScript 是网页中最为广泛的语言, WebGIS 大多数也是依靠它们来进行信息传输和表达, 但由于它们有采用的标记固定、有限、缺乏描述数据的内部结构和联系, 而且不支持复杂的矢量图形等缺点, 因此, 在面对复杂的空间地理信息数据的查询和整合方面, 这些语言在表述方面就显得力不从心。

③矢量图形信息的传输速度与可视化问题。

目前互联网下的网络带宽还比较低, 海量的矢量图形数据的传输及图形的显示问题一直是 WebGIS 的技术发展的瓶颈。因此在当前的网络和硬件环境下, 怎么建立快速的响应和传输机制, 如何向用户提供多样化的、直观易懂的图形系统, 是目前 WebGIS 应用发展的一大难题。

④分布式跨平台的实现问题。

由于 OMG 的 CORBA、微软的 DCOM 以及 SUN 的 RMI 等分布式对象技术要求处于一个同类的基本结构下，在需要服务的客户端和系统提供的服务之间进行耦合，因此基于这些平台开发的 WebGIS 平台带来了无法采用跨平台的分布式数据访问的问题。

1.1.2 矢量数据网络传输的产生

随着计算机软件技术的发展，桌面地理信息产品在技术上也日趋成熟，使得 GIS 的应用逐渐得到更为深入的推广。由于人类的各种活动都和空间信息息息相关，因此，各个国家、社会团体以及组织越来越关注地理信息在人类实际生产生活方面的研究与应用。在各种力量的推动下，桌面 GIS 在实际城市规划建设与社会经济发展中发挥了巨大的作用。

但是随着网络技术、无线通信技术以及计算机技术的发展，桌面 GIS 由于存在数据同步更新不及时、软件安装繁琐、互联网上不易共享以及前期开发投入成本高等缺点而日益引起各个领域的学者对 GIS 应用模式方面的研究的重视，设计并建设基于网络环境下的地理信息系统成为地理信息研究领域所关注的应用焦点。

研究网络地理信息系统搭建，首先遇到的就是如何解决空间数据在网络环境下的传输问题，研究空间数据的网络传输其实质就是研究栅格和矢量数据的网络传输。在目前的网络软硬环境下，如何快速高效地将服务器端的矢量数据或者栅格数据传输并显示到客户端是我们需要解决的关键问题之一。

1.1.3 研究问题的提出

网络地理信息经过 20 多年的发展，其理论和技术得到长足的提高和改进，它的应用领域越来越广泛，随着人们对网络地理信息应用的不断深入，从图形表现、数据更新以及空间分析功能等方面人们对这种技术的实现提出了更多、更高的要求。

地理信息系统中采用的空间数据模型有两类：矢量数据模型和栅格数据模型。目前，基于栅格数据的网络地理信息系统已经发展得相当成熟了，其原理就是采用瓦片金字塔模型的思想，通过矢量数据栅格化分块处理，从而建立不同比例尺下相同长和宽的地图图片库，然后借助网络技术，根据用户请求的地图范围，将相应的图片传递到客户端。通过这种方式，我们可以在目前的网络软硬环境下搭建出快速、高效、负载量大的基于栅格数据下的网络地理信息系统。

尽管基于地图图片的网络地理信息系统已经成熟,但采取这种方法搭建的网络地理信息系统也带来了诸多数据精度低、数据更新维护复杂且耗时长以及空间分析功能实现难等实际应用方面的问题,且在栅格数据环境下基本上无法解决这些问题,只能依赖于矢量数据,而对于矢量数据而言,尽管其精度高,与栅格数据相比尺寸小,但由于其结构复杂,这使得其在网络传输方面无法实现应用的需要。因此,如何在网络上高性能地传输矢量数据成为困扰矢量数据下网络地理信息系统应用的一个关键问题,而解决这一问题需要我们从服务器端矢量数据组织、矢量数据压缩与网络传输以及矢量数据客户端重构等方面去研究。

1.2 研究目的和意义

1.2.1 研究目的

根据目前基于网络地理信息系统建设和应用方面的情况进行分析,得出基于 Web 环境下的 GIS 应用是未来 GIS 发展与应用的主要方向。目前,尽管基于栅格图片的 WebGIS 技术已经相当成熟,并广泛地应用到国家空间信息化建设的各个领域,但由于栅格数据自身所固有的缺陷,使得基于栅格图片技术建立的 WebGIS 在实际应用中面临着诸多的问题。因此,基于矢量数据的 WebGIS 的研究与探索就成了目前关注的焦点话题之一。

本研究的目的在于将矢量数据的传输问题归结于服务器端数据的组织、矢量数据的网络传输以及客户端矢量数据的重构三个方面,并从数据组织方面入手,应用服务器端技术、网络传输技术以及数据压缩技术对矢量网络传输进行研究,从而希望从实际应用方面提供一种新的、更加实用的矢量数据网络传输思路,主要包括以下四个方面:

①从矢量数据传输的源数据考虑,也就是数据组织方面,通过对栅格图片网络传输的实验与分析,从以空间换时间的角度去寻求解决服务器端矢量数据组织的方式。

②网络传输效果与数据量密切相关,本研究从数据压缩与简化理论和算法的角度进行深入的研究,达到通过建立两步矢量数据无损压缩处理来进一步减少矢量数据的网络传输。

③随着缓存理论和技术的日益发展和成熟,这种技术在互联网上应用得非常广泛。因此,从服务器端缓存和客户端缓存两方面进行研究,从而减少矢量

数据的重复传输,提高应用效率;

④对提出的矢量数据层次增量模型进行实验,验证本研究所采用的数据组织方法、压缩简化方法以及缓存技术应用的有效性和实用性。

1.2.2 研究意义

通过实验研究瓦片金字塔栅格网络地理信息实现的机理,分析并获取其能快速、高效传输的原因,挖掘其所采用的关键性理论和技术,并结合矢量数据和栅格数据这两种数据模型的特点,采取以空间换时间的策略来加快矢量数据的网络传输,提出通过层次增量分块模型的方法搭建服务端矢量数据文件库,通过存储压缩简化的方法来减少分块矢量的数据量,通过 GZip 压缩算法(LZ77 与 Huffman 组合)来对矢量数据进行传输中的压缩,从而减少传输的数据量,借助于流的传输机制促进矢量数据快速地传输到客户端,同时,运用服务器端缓存和客户端缓存来减少矢量数据的反复传输,改善用户体验效果,最后通过融合机制在客户端完成矢量数据的融合与显示。

按照以上思路,通过对服务器端矢量数据组织、数据压缩、缓存与流传输等网络技术的运用,探求一种适合矢量网络传输的实现方式,以便在目前的 WebGIS 实际搭建中加以使用。

1.3 国内外研究现状及存在的问题

20 世纪 90 年代以来,在数学、物理学、逻辑学等多个学科的推动下,计算机网络技术、多媒体技术以及计算机软硬件技术得到了长足的发展与完善,互联网的普及和 Web 技术应用的日益广泛促进了地理信息系统在技术方面、理论方面以及应用方面发生了很大的改变,地理信息系统应用已经由专业人员使用的集中式系统向由普通人使用的分布式网络应用转变。

GIS 在网络技术、多媒体技术和计算机技术的推动下,已经大大地拓展了其应用领域和研究方向。在应用中,GIS 的应用模式也逐步由单机模式、局域网模式发展到今天的广域网模式。目前,网络带宽由于受到软硬件条件及技术上的限制,使我们无法单单从硬件方面着手来解决空间数据和信息的网络传输效率,为了搭建更为高效的 WebGIS 系统,需要我们将研究目光对准数据模型、数据加工算法、网络访问与传输机制等多方面。

“数字地球”(Digital Earth)概念的提出是 GIS 在 20 世纪 90 年代中后期发展的一个重要的标志,它的实质是搭建人类社会最大的地理信息系统,主要特

点表现为以下 8 个方面^{[74][75]}：第一个方面是它具有数字性、空间性和整体性，并且这三者融合统一；第二个方面是它的数据拥有无边、无缝的分布式数据结构，包括多源多分辨率多比例尺的、现时的、历史的、栅格的和矢量的数据；第三个方面是它是一种能迅速充实并连网的地理数据库，而且具备多种能融合并显示多源数据的机制；第四个方面是借助图形、影像、文本和图表等形式向互联网用户分别提供免费或收费的、局部范围或全球范围的信息、数据、知识等方面的服务，其中主要以信息服务为主；第五个方面是它的数据和信息按照普通、限制、保密等不同保密等级来组织，这使得不同的用户对不同的数据与信息具有不同的访问权限；第六个方面是将构件技术、动态互操作以及开放平台等最先进的技术与方案应用到搭建中；第七个方面是“数字地球”中的用户可以采取多种形式获取相关信息；第八个方面是其覆盖范围广泛，其服务对象覆盖整个社会层面。

从 20 世纪 90 年代后期开始，互联网技术的迅速发展与应用为地理信息系统提供了一种新的、非常有效的空间信息展示的平台载体。基于 Internet 的 GIS，或者说 WebGIS 已经成为 GIS 信息获取、共享以及发布的主要应用形式。

从数据传输模型上讲，WebGIS 分为两种：一种是栅格数据传输，另外一种为矢量数据传输。目前在各种技术推动下，基于栅格数据的传输已经得到了基本的解决，但考虑到矢量数据具有栅格数据所无法比拟的优势，以及应用面非常广泛、易于维护等特点，针对矢量数据的应用与研究一直是 GIS 领域关注的焦点。随着网络地理信息系统发展与应用，基于栅格数据传输的 WebGIS 模式已经不能满足人们对空间信息快速高效的需求与分析，针对矢量数据传输方面的研究也逐步被人们关注。

国外，早在 2001 年 Bertolotto 和 Egenhofer^[6,7] 根据制图综合理论，提出了一种用于矢量数据渐进式传输的理论框架。虽然理论框架在一定程度上指引了矢量数据传输的技术研究，但是这一理论框架缺乏严密的数学理论，并且所采取的制图综合操作比较复杂，故这一理论在实际应用中基本上无法实现。

随后，Buttenfield^[7] 于 2002 年提出了一种用于渐进式传输单层矢量数据的两步实施方法。第一步：层次细分数据（以 RDP 算法为原则），就是以条带树为数据结构将结果存储于服务器端，也就是预处理阶段；第二步：渐进式传输阶段，即在用户的请求下，服务器端先传送一个粗略版本矢量数据到客户端，然后在保持拓扑结构的条件下，随着地图的放大不断地添加“细节”，直到全部矢量数据传送完毕或者用户发出终止请求消息。这种方法只能处理小型数据库中单层的简单矢量曲线。

在 2003 年 Han 和 Tan^[8] 根据制图综合操作的常见准则, 提出了一种用于矢量地图数据渐进式传输的原型理论, 但是, 在他们发表的论文中并没有给出实验结果和相关的系统展示。另外, Anselmo C. Paiva 等于 2004 年在第 15 届数据库和专家系统会议上, 提出了一种矢量地图数据渐进式传输解决方案。其基本思路是: 事先将一幅基本地图按一定规则划分为 9 块, 如果用户对某一块中的地物比较感兴趣, 则在用户选定该块后, 服务器将该块放大(添加一定细节), 然后通过网络将相应数据传送到客户端。当然, 这个过程要递归地进行, 直到没有细节可以添加或者用户终止传输为止。但是该算法需要预处理且简化算法效率也不是很高, 需要进一步改进。

在国内, 2005 年杨必胜^[14] 等提出了一种矢量地图数据渐进式传输算法, 该算法能处理曲线和曲面数据, 比传统算法增加了处理曲面数据的功能。其基本流程为: 定义一定数学法则, 通过法则给地图数据中的顶点分别加权, 根据阈值抽取一定数量的顶点, 用这些顶点作为原始地图的近似值表示; 对那些没有被选取到的顶点, 将其存放到一个数组里, 同时记录它们与其他顶点之间的拓扑关系。传输开始时, 通过网络先把一个近似的概略地图传送到客户端, 这样我们就可以实现矢量数据的网络渐进式传输。该算法的缺点是时间效率不高, 需要进一步改进提高。

另外, GIS 数据多分辨率、多尺度表达以及流媒体传输等方面的研究已经引起有关专家的兴趣。例如: 王艳慧、陈军^[11] 从概念上讨论了地理目标多分辨率表达的基本问题; 王家耀等^[10] 基于地图综合方法提出了空间数据多尺度表达的技术策略; 李军、周成虎^[9] 对不同时间、不同专业地理数据集成过程中的尺度匹配问题进行了研究; 王晏民、李德仁^[12] 建立了一种基于基础空间数据库导出多尺度用户视图数据的数据模型。

艾波在其 2005 年硕士论文《网络地图矢量数据流媒体传输的研究》^[17] 中, 从网络流媒体传输的角度, 在艾廷华教授^[18] 提出的“初级尺度变化积累模型”的服务器端数据组织策略和荷兰的 Oosterom^[13] 1990 年在其博士论文中提出的在 Douglas-Peucker^[15] 曲线化简算法的基础上, 通过建立的平衡二叉树 BLG-Tree, 用 Horton 方法对主次河流进行编码, 从而实现河流从主流到支流, 以及到次支流的矢量河流数据的流媒体渐进式传输。

王玉海等^[18] 提出了基于提升型小波变换的矢量数据渐进式传输, 其主要思想是: 根据人们对空间信息的认知是由总体到局部, 由粗到细的特点, 采用小波分析的性质, 用小波变换的方法对矢量数据进行处理, 然后根据用户的需求, 在网络上逐步将数据传输给用户。