



论文

基于虚拟地球的网络地理信息集成共享服务方法

陈静*, 向隆刚, 龚健雅

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

* E-mail: jchen@whu.edu.cn

收稿日期: 2012-07-07; 接受日期: 2013-03-12; 网络版发表日期: 2013-10-30

国家重点基础研究发展计划(编号: 2012CB719906)和国家自然科学基金项目(批准号: 41021061, 41023001)资助

摘要 如何有效地对全球分布式、多源和异构空间信息进行集成共享服务是地理信息集成共享服务中面临的挑战。对此, 本文首先设计了分布式多源地理信息集成共享服务架构; 提出了全球虚拟金字塔结构数据模型, 在此基础上, 研究了多源异构虚拟地球数据集成共享方法。针对网络多节点地理信息共享服务的难点, 提出了网络多级节点服务聚合的地理信息集成共享方法, 最后将上述方法集成于自主研制的开放式虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe 中, 并成功应用于国家地理信息公共服务平台“天地图”中, 实现了二、三维一体化的地理信息集成服务。

关键词

三维虚拟地球
服务聚合
地理信息公共服务平台

随着对地观测技术、计算机网络技术和地理信息技术的发展, 快速获取全球多尺度、高分辨率遥感影像, 并采用全球分布的大量服务器系统和高效的空

间数据传输与三维实时可视化技术, 构建网络环境下三维虚拟地球系统, 从而使任何人在任何时候都可以快速浏览和查询到全球任何地方的多尺度地理空间信息, 已成为当代地理信息技术的重要标志(Craglia 等, 2012; Bailey 和 Chen, 2011)。

最典型的三维虚拟地球系统是谷歌公司 2005 年推出的谷歌地球(Google Earth), 它对全球多源、多尺度的卫星遥感影像、地形数据和矢量数据以及城市三维模型等基础数据进行有效的集成、组织、管理, 构建网络环境下三维虚拟地球系统。同时将谷歌自身快速、高效的搜索引擎技术应用于谷歌地球中, 可以满足网络环境下的数据搜索查询、定位以及空间分析等功能(Sheppard 和 Cizek, 2009)。随后微软公司也推

出类似的三维虚拟地球平台 Virtual Earth, 支持 WMS 服务, 运用微软的 Live Local 服务, 能够搜索出全球任意区域内的地图影像, 并且可以将部分区域内的地图影像以三维画面的形式显示出来(Wang 等, 2009)。美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)也推出一个三维虚拟地球平台 World Wind, 主要展现来自 NASA、美国地质勘探局(USGS)以及基于 WMS 服务的影像数据, 可以提供三维虚拟地球的浏览, 查看地名与行政区划(Bell 等, 2007)。World Wind 具有开放性的架构, 可以方便地进行功能扩展。

上述几个典型的三维虚拟系统分别采用不同的球面剖分模型、球面编码方法和全球空间参考基准, 不同三维虚拟地球系统之间, 三维虚拟地球与专业地理信息系统之间数据难以实现集成和共享。

针对三维虚拟地球的全球离散网格模型以及网

中文引用格式: 陈静, 向隆刚, 龚健雅. 基于虚拟地球的网络地理信息集成共享服务方法. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 1770-1780

英文引用格式: Chen J, Xiang L G, Gong J Y. Virtual globe-based integration and sharing service method of GeoSpatial Information. Science China: Earth Sciences, 2013, 56: 1780-1790, doi: 10.1007/s11430-013-4627-0

络地理信息集成共享方法, 国内外有关学者展开了广泛研究. 全球离散格网 (Discrete Global Grids, DGGs) 具有全球层次性、唯一性和一致性等特点, 还能够明确表示空间数据的分辨率 (Goodchild, 2000), 可为三维虚拟地球的构建提供三维球面模型, 从而为快速有效地组织、管理和表达全球多尺度海量空间数据奠定基础.

在基于正多面体格网的 DGGs 研究中, Fekete 等 (1990) 提出的球面四元三角剖分 (Spherical Quaternary Triangle, SQT) 模型、Dutton (1997) 提出的四元三角网 (Quaternary Triangular Mesh, QTM) 模型、Bai 等 (2011) 提出的基于 QTM 的 WGS 84 椭球面层次剖分模型、White (2000) 提出的菱形格网模型, 上述正多面体格网模型具有层次性、近似规则、相似大小与形状、全球可寻址、与数据无关等优秀性质, 然而, 由于从正多面体到球体的映射关系计算比较复杂, 格网边界与经纬线不一致, 造成了这种网格研究难以利用现有各种坐标系统的各种数据.

在基于经纬度格网的 DGGs 研究中, 等经纬度网格模型由于与地理坐标间的对应关系简单、明确, 可以快速的组织、存储和处理数据 (Gregory 等, 2008), 在 World Wind、谷歌地球和 Virtual Earth 等三维虚拟地球系统中得到广泛使用. 此外, 为了使同一层次的经纬度格网单元的面积近似相等, 一些学者改进全球等经纬度格网模型, 研究变间隔的经纬度格网模型. Ma 等 (2009) 提出的基于纬线平面投影的正方形离散全球格网, 其绝大多数格网面积和形状一致, 但在两极区域和汇聚处格网存在裂缝. Ottoson 等 (2002) 提出的椭球四叉树 (Ellipsoidal quadtrees, EQT) 考虑了地球的实际形状, 采用 WGS84 椭球作为剖分的数学基础, 它虽然保证了离散格网面积的近似相等, 但网格形状差异仍然很大. Beckers 等 (2012) 基于球面离散网格面积相等和形状近似两条规则, 采用方位投影建立了半球的变经差纬差格网, 但其格网经纬度的变化规则较为复杂, 不利于分析计算. 与全球等经纬度格网模型相比, 上述变经纬度格网模型方法中网格面积虽然更加一致, 但这种优化是以更不规则的格网形状和更加复杂的格网邻接性为代价的 (Sahr 等, 2003), 且其格网不具有层次性和嵌套性, 没有设计相应的网格编码, 难以进行连续的全球多分辨率数据组织与表达建模.

此外, 李德仁等 (2006) 在总结国内外网格划分技

术的基础上, 提出了空间信息网格多级划分 (Spatial Information Multi-Grid, SIMG), 并给出了网格码和地理坐标间转换的方法; 程承旗等 (2010) 在分析全球剖分网格和影像金字塔不足基础上, 提出了剖分影像金字塔模型及建塔策略.

上述研究中, 针对全球离散网格模型进行了系统的、深入的研究, 为三维虚拟地球系统的数据组织奠定了基础. 在网络地理信息服务方面, 探讨了基于不同服务标准和服务链的地理信息服务方法, 其中 OGC 和 ISO/TC211 的服务规范和服务标准为多源异构地理信息的共享服务奠定了基础. 然而上述研究没有将空间数据的组织、异构虚拟地球数据集成与面向地理地理信息共享服务进行有机集成, 实现对分布式、多源、异构地理信息的共享服务.

对此, 本文面向异构虚拟地球协同服务和适应多级、多节点的地理信息集成服务等方法, 主要讨论了下面几个问题: (1) 面向专业地理信息管理、处理服务与网络集成共享的特点, 设计了集成专业空间数据管理、处理服务与虚拟地球的分布式集成共享服务系统架构. (2) 在此基础上, 针对系统架构中异构虚拟地球的数据集成要求, 研究了多源、异构三维虚拟地球数据集成的方法. (3) 此外, 针对系统架构中多级、多节点地理信息集成服务要求, 遵循地理信息服务标准和统一服务接口, 提出了基于多级节点服务聚合模型的地理信息集成共享方法. (4) 将上述研究方法应用于国家地理信息公共服务平台“天地图”中, 并介绍了“天地图”的应用情况.

1 网络地理信息集成共享服务系统架构

针对地理信息资源的分级、分尺度管理特点, 以及地理信息服务的分布式、异构和多源的特征, 设计了一个分布式多级多层的网络地理信息集成共享服务系统架构, 如图 1 所示.

该系统架构首先是一个纵向多级服务架构, 按照地理资源数据管理特点, 设计为国家、省、市级地理信息服务节点, 分别提供不同层次的地理信息在线服务. 通过地理信息多级聚合服务, 可以将分布在各地的地理信息服务节点连成一个协同运行的整体, 实现地理信息综合集成与在线服务. 同时, 该系统架构也是一个多层服务结构, 在每一级服务节点中, 分

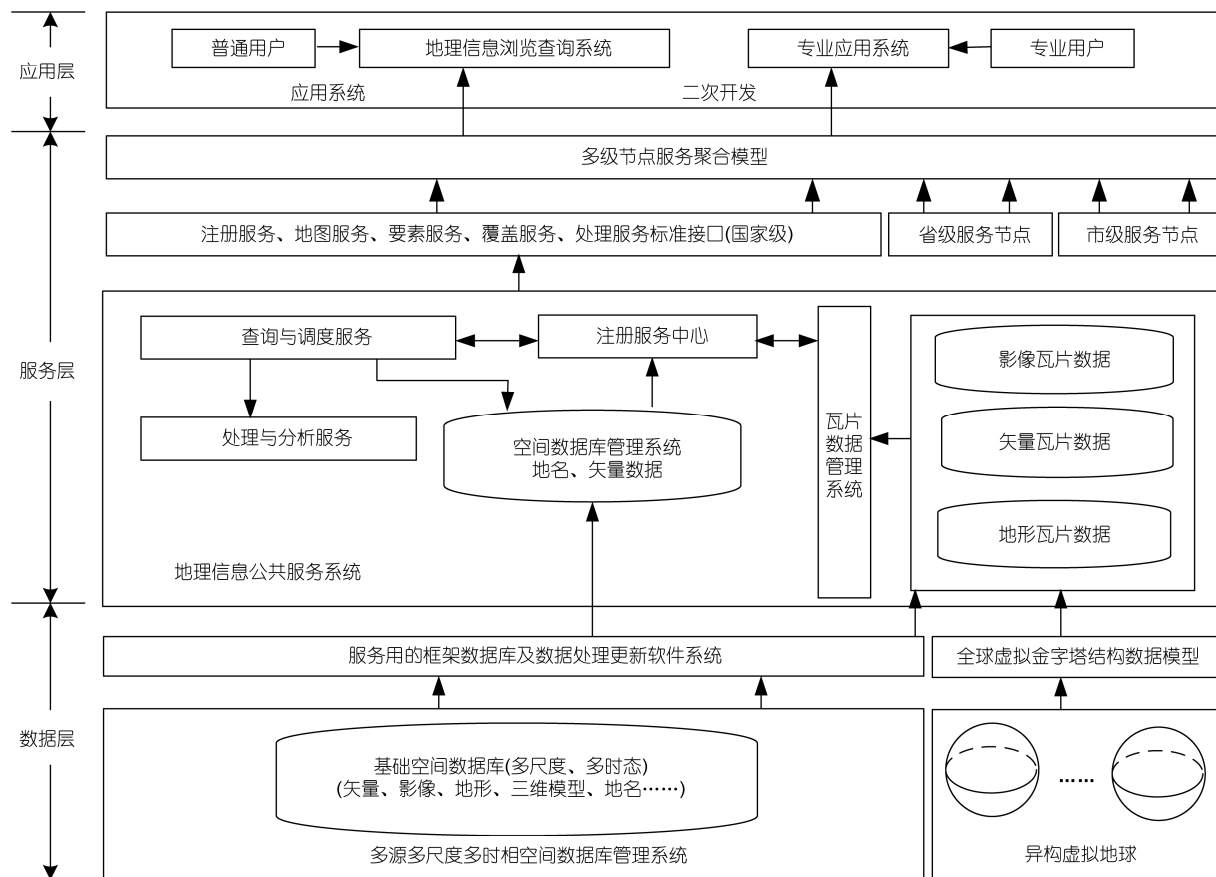


图1 网络地理信息集成共享服务系统结构

为数据层、服务层和应用层三层架构。

(1) 数据层，管理服务节点中基础的多源、多尺度和多时相空间数据库，多源、多尺度和多时相空间数据库管理系统负责基础地理数据的管理与维护等工作，通过一定的方式抽取服务用的框架数据库，利用数据更新系统保持数据的现势性，并且生成面向服务的框架空间数据库。同时接入谷歌地球等多源异构虚拟地球数据。

(2) 服务层，是系统架构的核心层，数据来源于空间数据库管理系统和异构瓦片(Tile)数据管理系统。基于框架空间数据库，通过全球多尺度金字塔结构数据组织，生成分层分块的瓦片数据管理系统；针对地理信息处理服务要求，提供信息查询、处理与分析等功能；同时基于地理信息服务标准，提供注册服务、地图服务和要素服务等接口，各级服务节点能够集成异构虚拟地球数据，通过全球虚拟金字塔

结构数据模型，将不同剖分方法、不同时相、不同分辨率数据建立的虚拟地球数据进行有机集成，形成异构虚拟地球的数据服务。

(3) 应用层，基于地理信息服务标准和统一服务接口，通过多级节点聚合模型，将不同节点上多尺度、多时相地理信息聚合服务为普通用户和专业用户提供统一的地理信息服务。

2 异构三维虚拟地球数据集成方法

2.1 全球虚拟金字塔结构数据模型

不同的全球离散网格模型可以构建不同类型的多尺度金字塔结构的三维虚拟地球数据组织方法。针对如何有效的存储、组织与管理全球海量空间数据，集成不同三维虚拟地球的空间数据，本文提出了一种全球虚拟金字塔结构数据模型，如图2所示。

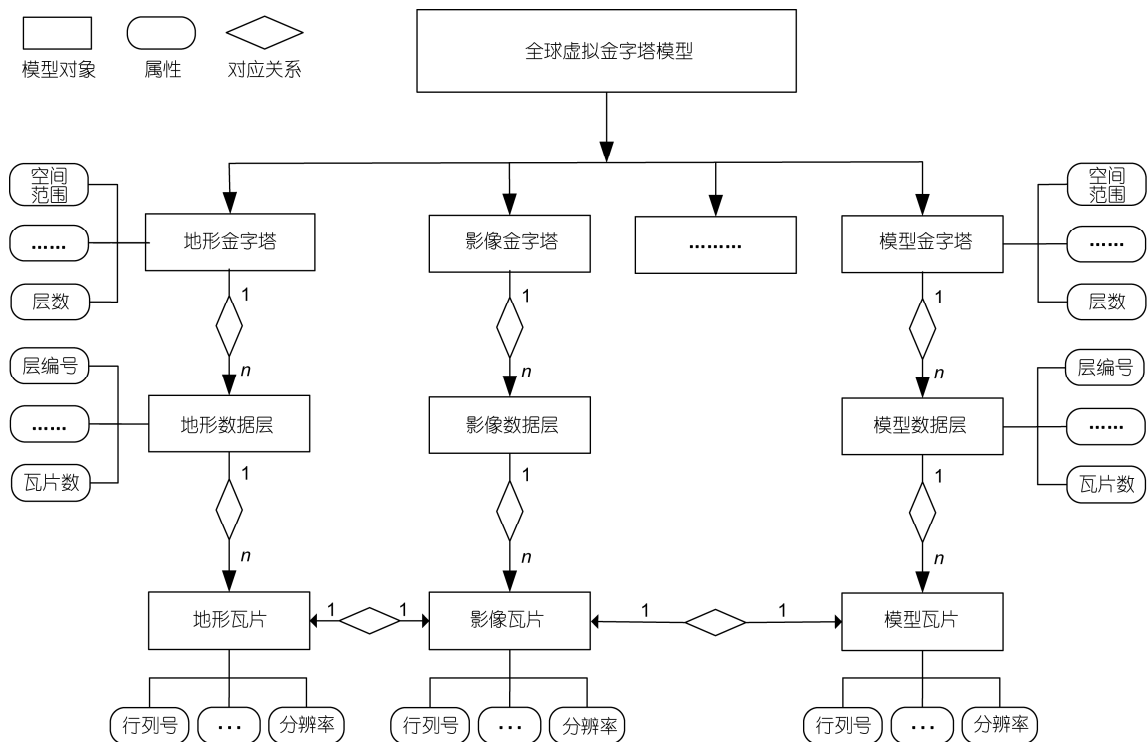


图 2 全球虚拟金字塔结构数据模型

全球虚拟金字塔结构数据模型由多个不同类型（地形、影像和模型等）的全球空间数据子金字塔构成；对于一种类型的数据金字塔而言，包含有按照连续分辨率编号的多个数据层（Layer）；对于一个数据层而言，包含具有一定全球剖分规则而构建的瓦片（Tile）文件，瓦片作为金字塔结构空间数据模型的最小单元，具有一定的分辨率、空间范围和行列编码等属性。对于不同类型的瓦片之间，如地形瓦片和影像瓦片，因为影像作为地形格网的纹理属性，所以表现出一一对应的映射关系；模型瓦片和影像瓦片之间，由于模型瓦片直接依附影像和地形瓦片，同样表现出一一对应的映射关系。基于上述映射关系，为不同类型数据层和金字塔结构之间的联系奠定了基础。基于上述全球虚拟金字塔结构数据模型，下面给出模型对象具体的数据结构。

(1) 全球虚拟金字塔模型 VPGlobalPyramid

```
Struct VPGlobalPyramid{
    VTypeGroup * mImageGroup;
    // 影像金字塔
    VTypeGroup * mTerrainGroup;
    // 地形金字塔
```

```
VTypeGroup * mModelGroup;
// 模型金字塔
.....
Int m_GroupsCount; //金字塔所含
类型金字塔的数量
BOOL m_bInitialized; //是否已经
被初始化
};
```

(2) 分类型子金字塔结构 VTypeGroup

```
Struct VTypeGroup{
    std::vector< VTypeSet * > mSetArray;
    //数据集对象集合
    int mLevelCount;
    //类型金字塔包含 Layer 层数
    typedef struct Region{
        double m_dWest;
        double m_dEast;
        double m_dNorth;
        double m_dSouth;
    }GroupRegion; //类型金字塔空间范围
    结构体
    .....
```

```
    BOOL m_bInitialized; //是否已经被初始化
};
```

(3) 分层数据结构 VPLayerTiles

```
Struct VPLayerTiles{
    int m_nLevel; //Layer 层编号
    int m_nTileCount; //Layer 包含的瓦片数
    std::map<LONGLONG, VPTile*>
    m_HashTiles; //Layer 包含瓦片构成的
    哈希表
    .....
    BOOL m_bInitialized; //是否已经被初始化
};
```

在每一个 Layer 的结构中, 用一个哈希表结构对该 Layer 所包含所有瓦片进行维护和管理, 根据键值(Key value)来访问对应的 Tile 数据, 用以加快查找速度和访问效率.

(4) 瓦片结构 Tile

```
Struct VPTile{
    int m_nRow; //瓦片行编号
    int m_nColumn; //瓦片列编号
    int m_nLevel; //瓦片层编号
    CBoundingBox m_BoundingBox;
    //瓦片包围盒
    typedef struct tagVertex{
        float x,y,z; //空间位置坐标
        float Tu,Tv; //纹理坐标
    }CustomVertex_PosTex; //空间
    坐标、对应纹理坐标结构体
    CustomVertex_PosTex * m_pNorth-
    WestVertices;
    CustomVertex_PosTex * m_pSouth-
    WestVertices;
    CustomVertex_PosTex * m_pNorth-
    EastVertices;
    CustomVertex_PosTex * m_pSouth-
    EastVertices; //四个子节点的坐标结构体
    .....
    BOOL m_bInitialized; //是否已经被初始化
};
```

在每一个瓦片的结构中, 首先定义了一个由瓦片空间范围决定的包围盒, 用以在数据调度时对瓦片可见性的判断; 然后定义了一个用以保存顶点和其对应纹理坐标的结构体 CustomVertex_PosTex, 每一个瓦片定义按照二叉树结构定义了四个子节点, 每一个子节点保存了一个 CustomVertex_PosTex 指针对象, 用以存储构成子节点的所有顶点和纹理数据, 因此瓦片的渲染分为对四个子节点的分别渲染.

该数据模型和数据结构定义了全球空间数据组织中瓦片数据的空间参考、剖分方法和地理编码, 为异构三维虚拟地球数据集成奠定基础.

2.2 异构三维虚拟地球数据集成规则

由于异构三维虚拟地球具有不同的空间参考、剖分方法和地理编码, 要实现异构三维虚拟地球数据集成, 需要对上述三维虚拟地球的三个特征进行统一定义, 形成异构三维虚拟地球数据集成规则.

(1) 空间参考. 虚拟地球中常用的空间参考选取的是 WGS84 坐标系统, 常用地图投影之一墨卡托投影所有经纬线是互相垂直的, 高纬度地区横向也是变得很长, 但其纵向距离也是随着纬度增大而变长, 其变化比例接近, 最大限度接近真实世界, 保持地物的形状、角度不变(Yang, 1989), 同时在虚拟地球中分块瓦片数据大小一致的情况下, 瓦片数据量要减少一半, 顾及墨卡托投影的上述优势, 对异构虚拟地球数据集成空间参考采用墨卡托投影.

(2) 球面剖分. 虚拟地球面向全球空间数据组织与管理, 球面剖分的方法决定了虚拟地球空间索引和瓦片数据的形状与大小. 在球面剖分模型的研究中, 为了精确实现对球面的剖分, 通常使用将球面进行无限细分, 但又不改变形状的地球体拟合网格, 当细分到一定程度时, 可以达到模拟地球表面的目的, 比如正四面体、正八面体和正十二面体球面等剖分模型. 尽管这种模型在球面拟合方面很有优势, 但是将全球多尺度影像数据作为虚拟地球可视化绘制的时候, 纹理映射比较复杂, 并且坐标之间的投影转换也比较困难, 导致数据索引效率不高. 目前虚拟地球系统还没有非常成熟的应用, 在已有的三维虚拟地球系统中, 为了兼顾数据的检索与数据可视化效率, 通常采用平面模型在球面网格划分方法, 常见的主要有规则格网和混合格网两种. 规则格网就是用规则网格单元覆盖球面投影后的平面, 这些格网通常都是正方形, 不同分辨率层级上单元的经纬度间隔之比一般为 2 的倍数, 这样计算和索引方法比较简便. 考虑现有虚拟地球瓦片的剖分方式, 对异构虚拟地球数据集成空间参考采用全球等经纬度规则格网的平面模型.

(3) 地理编码. 基于球面剖分模型, 为了更好地集成时间信息, 全球虚拟金字塔结构数据模型中基于 Morton 编码构建全球虚拟地球地理编码, 将全球

瓦片空间数据的行列号转换为二进制, 然后交叉放入 Morton 码中, 构成一维的地址码, 同时扩展时相信息, 建立以时空一体 Morton 编码, 并与全球球面剖分格网编码一致的空间索引, 实现定位复杂度仅为 $O(1)$ 的检索算法。

2.3 异构三维虚拟地球集成方法

全球虚拟金字塔数据模型作为全球分层分块的逻辑金字塔结构数据模型, 提供了一个异构虚拟地球集成的逻辑视图, 通过异构三维虚拟地球数据集成规则, 建立该逻辑视图与异构三维虚拟地球中多尺度全球金字塔结构的映射, 从而获取异构虚拟地球中的集成数据。异构虚拟地球的集成框架如图 3 所示。

在构建全球虚拟金字塔结构数据模型时, 对金字塔模型进行分割, 使得一个主体金字塔模型中包含多个子金字塔模型。子金字塔模型表达的地理数据逻辑范围是主体金字塔模型若干连续层中的瓦片数据所占的逻辑范围, 这样能使子金字塔模型的各层瓦片与主体金字塔中的瓦片保持数据结构的一致性。各子金字塔模型分别是异构三维虚拟地球金字

塔模型的子集, 子金字塔模型基于空间参考、剖分方法和地理编码三个规则建立全球虚拟金字塔结构数据模型和各个异构虚拟金字塔结构之间的映射关系, 从瓦片元信息、瓦片空间参考、瓦片编码、瓦片文件格式和瓦片数据内容等五方面将多源异构三维虚拟地球中瓦片空间数据转换为全球虚拟金字塔结构数据模型定义的统一瓦片空间数据结构, 从而实现多源异构虚拟地球数据的无缝数据集成。

将上述异构三维虚拟地球数据集成方法集成于开放式三维虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe 中, 实现了 GeoGlobe 与 Google Earth 和 World Wind 等虚拟地球的数据共享集成。图 4 所示是 GeoGlobe 与 Google Earth 数据集成, 可以通过在线网络, 通过异构虚拟地球集成方法实时处理后, 直接将 Google Earth 的数据转换成瓦片数据加载在 GeoGlobe 上, 图 4 是接入 Google Earth 上海地区的 0.6 m 分辨率的卫星遥感影像的效果图。

图 5 所示是 GeoGlobe 与 World Wind 数据集成, 可以通过在线网络, 通过异构虚拟地球集成方法实时处理后, 直接将 World Wind 的地形数据转换成瓦片数据加载在 GeoGlobe 上, 图 5 是接入 World Wind

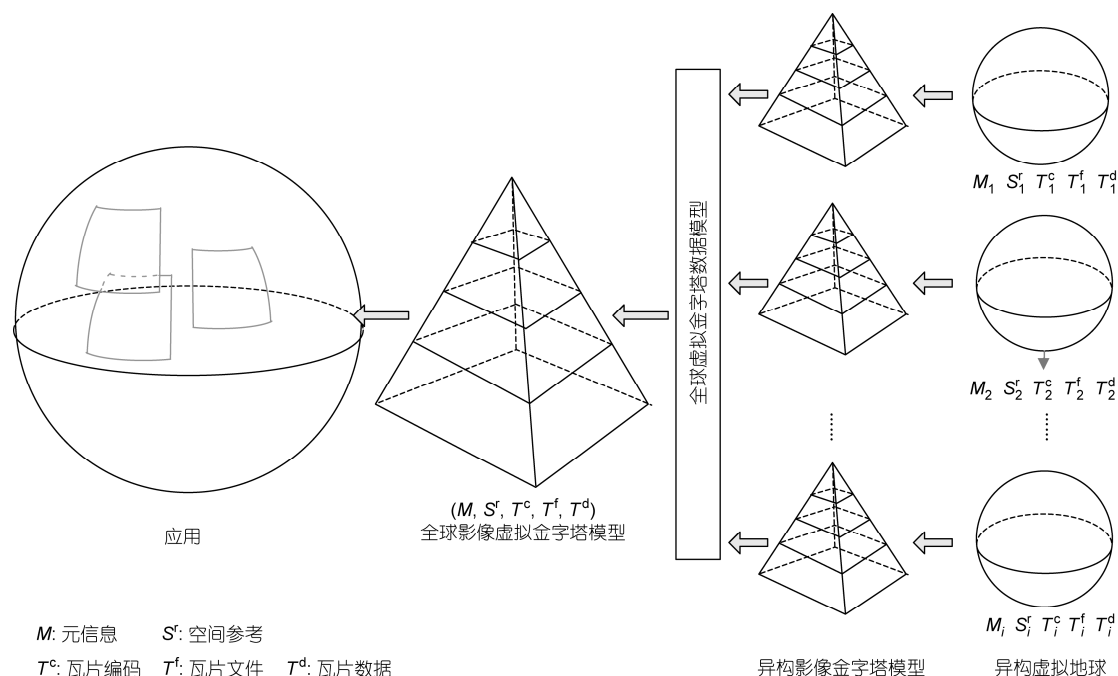


图 3 异构三维虚拟地球集成框架



图 4 GeoGlobe 与 Google Earth 集成效果图

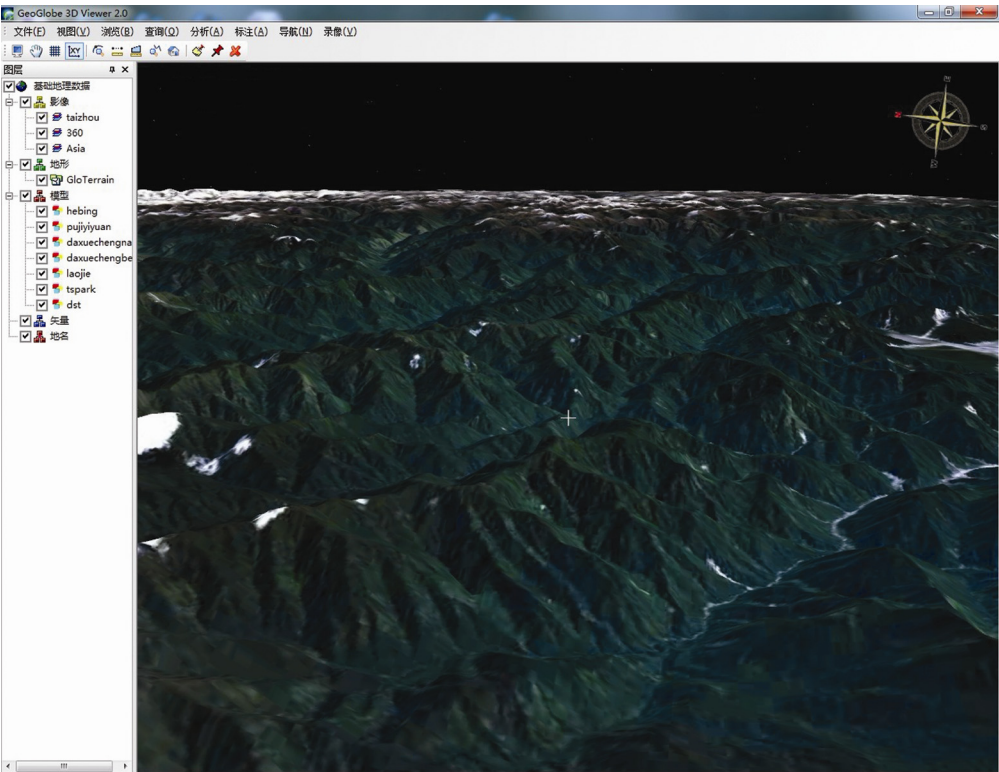


图 5 GeoGlobe 与 World Wind 的数据集成效果图

的全球 90 m 分辨率的 SRTM 地形数据的效果图。

3 多级节点服务聚合的地理信息集成共享方法

3.1 多级节点服务聚合模型

多源、多尺度和多时相地理信息通常存储在各级地理信息系统中, 由于系统的独立性和结构的异构性, 各系统成为独立的“信息孤岛”, 难以实现共享服务. 对此, 基于论文提出的网络地理信息集成共享服务系统结构, 针对国家、省和市级地理信息在线集成共享服务要求, 在各级节点上空间数据组织遵循具有统一的空间参考基准和全球虚拟金字塔数据模型的组织机制基础上, 提出一个多级节点服务聚合模型, 实现多级多尺度地理信息的集成共享.

从面向对象的观点看, 多级节点服务聚合模型(M)为各级节点对象的集合, 如式(1)所示, 其中, N_{ij} 是一个服务节点对象的抽象表达, 表示第 i 级中的第 j 个节点.

$$M = \{N_{11}, \dots, N_{1m}, N_{21}, \dots, N_{2n}, \dots, N_{ij}, \dots\}, \quad (1)$$

式中, m, n, i 和 j 为正整数.

每一个节点对象(N)包含四个基本的内容, 即该对象的标识符(ID^s)、空间数据(D^s)、元信息数据(D^m)和方法的集合(M^s), 如式(2)所示:

$$N = \{ID^s, D^s, D^m, M^s\}. \quad (2)$$

节点对象(N)满足对象的定义, 其由三部分组成, 即对象标识符 ID 、状态 S 和方法集合 F . 因此有

$$\begin{aligned} ID(N) &= ID^s, \\ S(N) &= D^s \cup D^m, \\ F(N) &= M^s, \end{aligned} \quad (3)$$

式中, ID^s 是该对象的唯一标识, 即服务地址; D^s 是该对象的空间数据, 包括矢量、影像、地形、三维模型和地名等多尺度多时态的空间数据, 此外, 还包括影像、地形与矢量格式的瓦片数据等; D^m 是该服务节点的元信息数据, 包括该节点中各个数据集的服务地址、地理范围、最大分辨率、地图层级数、数据格式、瓦片大小等统一描述元信息; M^s 是该节点对象所提供的方法集合, 定义了对象内部之间(M_i^s)、对象与多级节点服务聚合模型之间(M_o^s)的连接关系和操作方法集合, 如式(4)所示:

$$M^s = \{M_i^s, M_o^s\}, \quad (4)$$

式中, M_i^s 是节点对象(N)内部之间的方法集合, 通过对节点对象(N)元信息数据(D^m)与空间数据(D^s)的操作实现, 如通过查找元信息数据获得本节点中全球多尺度地理数据的服务地址、服务级数并且获取瓦片空间数据等; M_o^s 是多级节点服务聚合模型或外部接口调用节点对象(N)的 WMTS 接口与 API 函数, 可以向外界提供本服务节点的元信息数据, 能根据请求参数返回相应的瓦片空间数据等.

式(1)中所定义各个节点对象具有相似的属性与方法, 但各节点之间又有一定的区别, 其相互之间的关系具体说明如下: ① 同级节点之间无交集 ($N_{ij} \cap N_{ik} = \Phi$, i, j 和 k 为正整数且 $j \neq k$). 同级节点之间在行政级别上是并列的, 都有一个明确的地理范围, 相互之间不存在包含与被包含的关系. ② 上一级服务节点的地理范围是其子服务节点地理范围的并集 ($N_{ij} = N_{(i+1)1} \cup N_{(i+1)2} \dots N_{(i+1)k}$, i, j 和 k 为正整数).

多级节点服务聚合模型(M)是各个节点对象(N)的集合, 对于其定义, 需要满足以下几点前提条件:

(1) 各级服务节点上存储的全球地理数据的尺度是连续的, 其瓦片空间数据组织遵循全球虚拟金字塔模型数据组织结构. 如国家级节点的数据是 $0 \sim i$ 层, 则省级节点的数据为 $(i+1) \sim j$ 层, 市级节点的数据是 $(j+1) \sim k$ 层(其中, i, j 和 k 为整数且 $i < j < k$).

(2) 各个服务节点遵循 WMS 和 WMTS 接口规范, 并提供瓦片空间数据服务接口 API 函数.

3.2 多级节点服务聚合方法

基于上述模型, 多级节点服务聚合的地理信息集成架构如图 6 所示, 其中 N_{11} 为国家级节点 N_{2i} 为省级节点 N_{3k} 为市级节点, 其中 $i \geq 2, j \geq 2, k \geq 3, h \geq 4$. 其中 i, j, k 和 h 属于正整数.

该架构图中遵循国家级、省级和市级三级节点, 每个节点可以包含若干个子节点(市级节点外), 但有且仅有一个父节点(国家级节点除外). 每个节点包含有空间数据、元信息、API 函数及 WMTS 服务接口四部分内容. 在该架构中, 所有的节点通过多级节点服务聚合模型联系起来, 用户通过该聚合模型从各节点获取满足要求的数据, 服务聚合的地理信息集成过程可以描述如下:

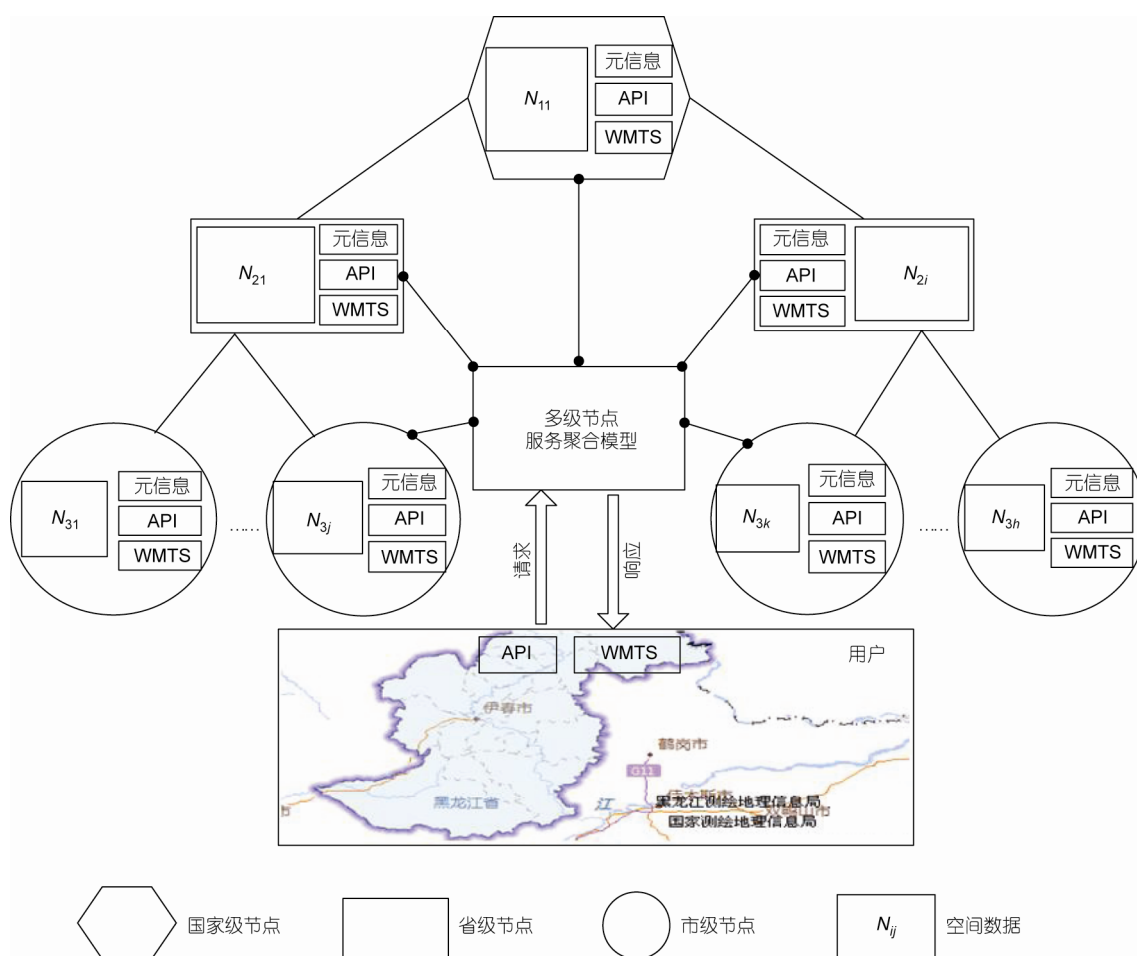


图6 多级节点服务聚合的地理信息集成架构

(1) 用户根据需要聚合的地理信息的空间范围 $R(L_1, B_1, L_2, B_2)$ 、分辨率(r)和时态信息(t)等信息, 通过 API 接口或 WMTS 服务方式向多级节点服务聚合模型发送数据请求。

(2) 多级节点服务聚合模型(M)搜索各个节点(N)的元信息(D^m), 得到与当前地理范围(R)有交集的若干个节点, 结果数据用式(5)表示:

$$M_R = \{N_1, N_2, N_3\}, \quad (5)$$

式中, M_R 表示多级节点服务聚合模型根据地理范围的搜索方法, N_1 表示国家级节点, N_2 表示省级节点, N_3 表示市级节点, 每级节点至少包含 1 个对象。

(3) 多级节点服务聚合模型(M)根据分辨率(r)从(2)所得的结果中搜索相对分辨率的节点, 结果数据如式(6)所示:

$$M_r = \{N_{i1}, \dots, N_{ij}\}, \quad (6)$$

式中, $i=1, 2$ 和 $3, j \geq 1$. M_r 表示多级节点服务聚合模型根据分辨率的搜索方法, N_{ij} 代表某一级中的某个节点。时态信息(t)也依次类推。

(4) 多级节点服务聚合模型(M)通过式(3)中的 M_o^s 方法向各个节点发送数据请求, 节点内部通过方法 M_i^s 进行请求解析、数据获取等操作, 最后把结果数据发送到 M 。

(5) 多级节点服务聚合模型(M)将各个节点返回的数据按照其地理位置, 通过一定的方法(M_p)聚合起来, 将聚合的结果(Re)返回给用户显示, 该结果如式(7)所示:

$$Re = M_p(N_{i1}, \dots, N_{ij}). \quad (7)$$

(6) 若在屏幕显示范围内有部分区域没有当前分辨率的数据, 则使用上一级的数据($N_{(i+1)j}$)代替, 此时, 需要将两级节点服务聚合, 在进行放大、缩小

等操作时也会聚合多级节点的数据, 此过程用式(8)表示:

$$Re = M_p(N_{i1}, \dots, N_{ij}, N_{(i+1)j}). \quad (8)$$

3.3 实验与讨论

对基于多节点服务聚合方法进行了实验, 实验基于国家地理信息公共服务平台“天地图”, 黑龙江省省级地理信息公共服务平台“天地图. 黑龙江”和市级节点黑龙江省伊春市“天地图. 伊春”进行. 首先进入伊春市“天地图. 伊春”门户网站, 在小尺度伊春市范围内, 此时黑龙江省和伊春市等省市级节点服务只有伊春市市界地理信息的服务, 用于标明伊春市地理范围, 聚合了国家级“天地图”和伊春市市界的信息如网络版附图 1(<http://earth.scichina.com>)所示.

随着比例尺的放大, 在一定比例尺条件下, 需要进行省级节点的服务聚合. 这里做个对比实验, 网络版附图 2 是国家级“天地图”伊春市范围的示意图. 网络版附图 3 是黑龙江省省级节点与国家级节点服务聚合后的效果图. 可以看出在网络版附图 3 的服务聚合后, 保留了国家级节点中铁路、水系等地物要素, 其他要素由于省级节点地理信息比国家级节点信息内容更加丰富, 所以, 显示的是省级要素信息.

再进行比例尺的放大, 在一定比例尺条件下, 需要进行市级节点的服务聚合, 网络版附图 4 是在图网络版附图 3 基础上, 进行黑龙江省省级与伊春市市级节点服务聚合后的伊春市地理信息效果图. 可以看出网络版附图 4 中地理要素信息的尺度和内容相比网络版附图 3 丰富了不少.

从上面实验及效果图可以看出, 多级节点服务聚合模型能够根据地理范围和可视化尺度, 自动聚合国家、省和市等多级节点的地理信息, 满足用户多尺度地理信息服务的要求. 与现有的地理信息服务的模型与方法相比, 该模型侧重于网络地理信息集成共享, 针对用户的请求, 自动的搜索和发现满足条件的节点和尺度的地理信息, 并且在全球统一数据组织规则下进行聚合, 同时, 每一个节点还具有对外提供数据共享服务的能力.

在实验中, 对于水系, 铁路这种跨度范围很大, 不同尺度有不同表达方式的地理要素在多级节点服务聚合中的表达问题, 解决的办法是在国家、省和市各级面向服务的框架数据库中进行统一规范处理,

即国家级统一管理和跨省级的地理要素, 省级统一管理和跨市级的地理要素. 这样在进行多级地理信息服务聚合时候, 保证这种跨多级节点地理要素的一致性表达.

4 网络地理信息集成共享服务应用实例: “天地图”

将上述分布式系统架构, 多节点服务聚合和异构虚拟地球集成方法应用到开放式虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe 中, 基于 GeoGlobe 软件平台构建了国家地理信息公共服务平台(公共版)“天地图”.

“天地图”是“数字中国”建设的重要组成部分, 其测试版于 2010 年 10 月 21 日开通试运行, 短短 1 个多月, 就有来自 210 个国家和地区近 1900 万人次的访问量. 公众通过门户网站就可以方便地实现多尺度地理信息数据的二维、三维浏览, 地名搜索定位、距离和面积量算、兴趣点标注和屏幕截图打印等服务. 如网络版附图 5 所示.

目前, “天地图”国家级主节点主要管理覆盖全球范围的 1:100 万矢量数据和 500 m 分辨率卫星遥感影像, 覆盖全国范围的 1:25 万公众版地图数据、导航电子地图数据、15 m 和 2.5 m 分辨率卫星遥感影像, 覆盖全国 300 多个地级以上城市的 0.6 m 分辨率卫星遥感影像等地理信息数据. “天地图”省级节点主要负责省级范围内多尺度空间数据的管理与更新服务, “天地图”市级节点主要负责市级范围内多尺度空间数据的管理与更新服务, 并且通过网络, 形成多级管理模式.

在此基础上, “天地图”国家级节点定义了面向服务的框架数据库的规范, 基于经纬网格的剖分原则, 在全球范围内, 采用分辨率从低到高的多尺度金字塔结构数据服务组织模式. 这样, 将国家、省和市管理的基础空间数据, 按照其分辨率与框架数据库多级分辨率中某级临近的原则, 通过矢量数据栅格化, 数据抽取和重采样等处理方式, 转换为面向服务的框架数据, 提供在线的二、三维网络地理信息服务. 如网络版附图 6 所示.

在服务模式上, 通过“天地图”的各级门户网站, 在纵向上, 连接国家、省、市级地理信息服务机构, 提供不同层次的地理信息在线服务; 在横向上, 连接同

级不同部门的地理信息系统, 提供不同专题或不同区域地理信息在线服务. 通过地理信息三级联动服务模式, 可以将分布在各地的地理信息服务节点连成一个协同运行的整体, 从而实现“分布式存储管理、纵横向系统联动、网络化在线服务”.

此外, 商业网站、各级政府部门等有关单位通过网络地理信息共享服务接口 WFS, WCS, WMS, WMTS 和“天地图”地图瓦片服务接口, 可以共享“天地图”地理信息服务资源, 进行增值服务功能开发, 或者整合、管理和发布本部门、本单位相关信息, 节省地理信息采集更新维护所需的成本, 避免专题地理信息系统重复建设. 例如, 国家地震局台网中心, 可以通过“天地图”提供的数据共享服务接口, 在线调度多尺度地理信息, 并将地震信息与地理信息集成, 提供在线的地震信息专题服务, 如网络版附图 7 所示.

5 结论与展望

本文首先分析了三维虚拟地球和网络地理信息服务的相关研究现状、应用背景和技术难点, 然后面向异构虚拟地球协同服务和适应多级、多节点的地理信息集成服务的要求, 设计了网络地理信息集成共享服务平台系统架构, 提出了异构虚拟地球数据集成方法和多级节点服务聚合模型. 最后, 将上述方法应用于国家地理信息公共服务平台“天地图”中, 实现了二、三维一体化的地理信息集成服务. 应用表明, 本文提出的方法能够满足“分布式存储管理、纵横向系统联动、网络化在线服务”的三级联动服务模式的要求. 未来随着物联网技术的发展和应用, 基于虚拟地球的地理信息公共服务平台与云计算平台、物联网技术的集成, 必将推动“数字地球”向“智慧地球”的发展.

参考文献

- 程承旗, 张恩东, 万元鬼, 等. 2010. 遥感影像剖分金字塔研究. 地理与地理信息科学, 26: 19–23
- 李德仁, 肖志峰, 朱欣焰, 等. 2006. 空间信息多级网格的划分方法及编码研究. 测绘学报, 35: 52–55
- Bai J, Sun W, Zhao X, et al. 2011. Character analysis and hierarchical partition of WGS-84 ellipsoidal facet based on QTM. Acta Geod Cartogr Sin, 40: 243–248
- Bailey J E, Chen A J. 2011. The role of virtual globes in geoscience. Comput Geosci, 37: 1–2
- Beckers B, Beckers P. 2012. A general rule for disk and hemisphere partition into equal-area cells. Comp Geom-Theor Appl, 45: 275–283
- Bell D G, Kuehnel F, Maxwell C, et al. 2007. NASA World Wind: Opensource GIS for mission operations. Aerospace Conference. 1–9
- Craglia M, Bie K, Jackson D, et al. 2012. Digital Earth 2020: Towards the vision for the next decade. Int J Digit Earth, 5: 4–21
- Dutton G. 1997. Encoding and handling geospatial data with hierarchical triangular meshes. Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Data Handling. Delft. 15–28
- Fekete G, Treinish L A. 1990. Sphere quadrees: A new data structure to support the visualization of spherically distributed data. SPIE Conference on Extracting Meaning from Complex Data: Processing, Display, Interaction. Santa Barbara
- Goodchild M F. 2000. Discrete global grids for digital Earth. International Conference on Discrete Global Grids. Santa Barbara
- Gregory M J, Kimerling A J, White D, et al. 2008. A comparison of intercell metrics on discrete global grid systems. Comput Environ Urban Syst, 32: 188–203
- Ma T, Zhou C H, Xie Y C, et al. 2009. A discrete square global grid system based on the parallels plane projection. Int J Geogr Inf Sci, 23: 1297–1313
- Ottoson P, Hauska H. 2002. Ellipsoidal quadrees for indexing of global geographical data. Int J Geogr Inf Sci, 16: 213–226
- Sahr K, White D, Kimerling A J. 2003. Geodesic discrete global grid systems. Cartogr Geogr Inf Sci, 30: 121–134
- Sheppard S R J, Cizek P. 2009. The ethics of google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. J Environ Manage, 90: 2102–2117
- Wang H, Zou H, Yue Y, et al. 2009. Visualizing hot spot analysis result based on mashup. Proceedings of the 2009 International Workshop on Location Based Social Networks. ACM, Seattle. 45–48
- White D. 2000. Global grids from recursive diamond subdivisions of the surface of an octahedron or icosahedron. Environ Monit Assess, 64: 93–103
- Yang Q H. 1989. Principle and Method of the Transformation of Map Projection. Beijing: Publishing House of PLA

论文

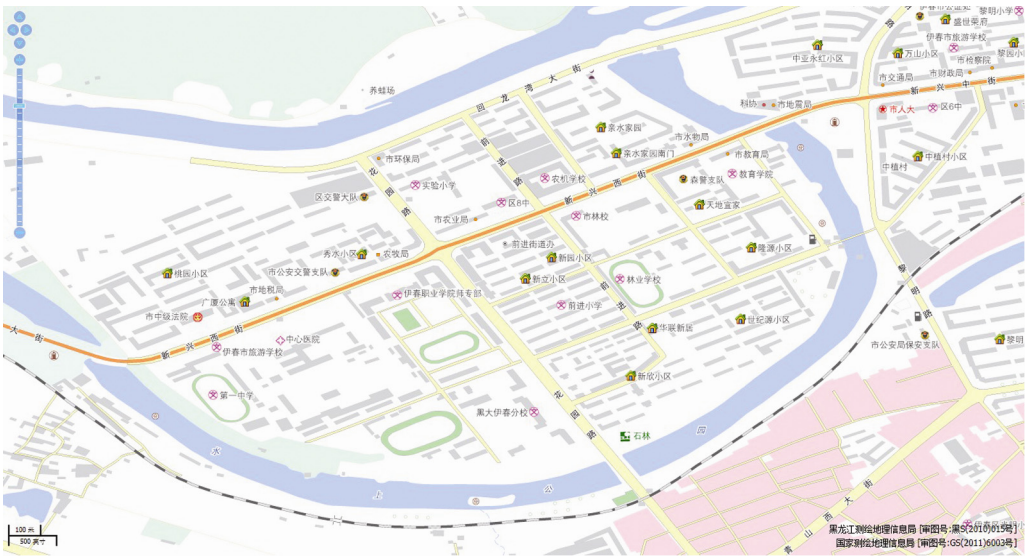
附录



附图 1 国家级“天地图”与伊春市市界服务聚合图



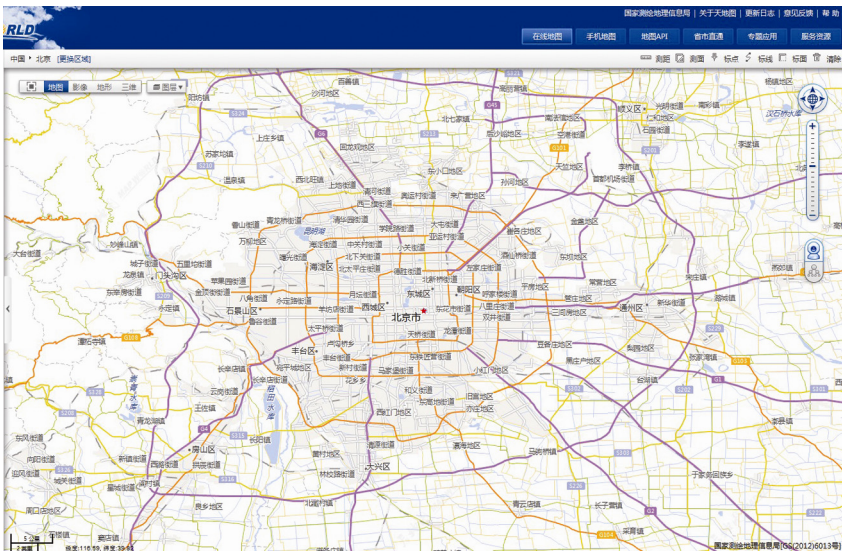
附图 2 国家级节点“天地图”显示的伊春市地理信息



附图 3 国家级节点“天地图”与省级节点服务聚合后显示的伊春市地理信息



附图 4 省级节点和市级节点服务聚合后显示的伊春市地理信息



附图 5 国家地理信息公共服务平台(公众版)“天地图”网站



附图 6 基于三维虚拟地球浏览模式的“天地图”



附图 7 “天地图”网络地理信息与地震信息集成共享