

地震行业网的电子地图本地化应用研究

郭啟倩¹, 郑蕊¹, 刘珠妹², 任海军¹
(1. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054;
2. 湖北省地震局, 湖北 武汉 430071)

摘要:当前 GIS 在以服务为主要特征的空间信息共享时代承担着重要的角色。在地震行业系统大数据的时代背景下, 电子地图已经展现出极大的应用潜力, 但是由于行业数据涉密性, 导致 GNSS、区域精密水准等观测数据不能与电子地图充分结合展现其优势。针对该实际问题, 将主流网络电子地图服务免费对外开放的应用程序接口 API 和部分基础地图数据迁移到本地, 并通过坐标转换算法进行地理位置纠偏, 实现基于行业网的电子地图本地化应用。进一步基于主流 GIS 软件开发地图切片程序, 研究有效的数据组织策略, 建立地图瓦片数据库, 存储地图数据, 为行业网电子地图应用提供地图数据服务, 有效解决了地震行业基于电子地图的涉密数据可视化问题。

关键词:GIS; 瓦片技术; 离线网络; 涉密; 电子地图

中图分类号: P208

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2018)11-0198-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2018.11.043

Research on Local Application of Electronic Map Based on Earthquake Industry Network

GUO Qi-qian¹, ZHENG Rui¹, LIU Zhu-mei², REN Hai-jun¹
(1. The Second Monitoring and Application Center (CEA), Xi'an 710054, China;
2. Seismological Bureau of Hubei Province, Wuhan 430071, China)

Abstract: Currently, GIS plays an important role in the era of spatial information sharing characterized by service. Under these circumstances of big data age in the earthquake industry system, the electronic map has shown its tremendous potential, but the information of GNSS and the data of the regional level precision observation cannot be fully combined with the electronic map because of the secret data of the earthquake industry system. Aiming at the practical problems, we move the open API of the electronic map and some basic map data to the local and rectify the geographical position by the coordinate transformation algorithm, which to be the local application of electronic map based on earthquake industry network. Based on mainstream GIS software we further develop the map slicer program, studying the effective data organization strategy, establishing database of map tiles, storing map data, which provides map data service for the industry network electronic map application and effectively solve the visualization of secret data based on electronic map in earthquake industry.

Key words: GIS; tile technology; off-network; secret; electronic map

0 引言

地理信息系统 (geographic information system 或 geo-information system, GIS) 作为多源化防震减灾信息平台, 提供各类电子地图信息服务。GIS 以其强大的制图功能, 结合不同类型的属性数据和空间数据, 对防震减灾事业中各类需求分布图进行绘制, 已广泛应用于地震台站分布图、地质构造图、地震烈度图等方面。

Web GIS 是 GIS 技术的进一步延伸, 实现了网络环境下地理信息数据的访问、存储、分析。自从 Google 提出瓦片地图方案思想以来, 瓦片技术被广泛应用于 Web GIS 开发中, 实现了快捷电子地图在线访问。瓦片技术通过对电子地图切片、渲染处理后, 存放在服务器中供用户直接访问, 瓦片地图数据的缓存减少了空间数据和磁盘的访问次数, 有效减轻了服务器压力, 减少了网络负载, 提高了响应速度。目前, 瓦片

收稿日期: 2017-10-30

修回日期: 2018-02-27

网络出版时间: 2018-05-25

基金项目: 中国地震局星火计划项目 (XH16057Y); 中国综合地球物理场观测-大华北地区项目 (201508009)

作者简介: 郭啟倩 (1990-), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向为地震与地理信息系统。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180525.1550.012.html>

地图的服务都是基于 Web 在线的方式,对于地震行业内涉密数据,如何有效地在离线网络环境下充分利用瓦片技术实现涉密数据可视化,结合瓦片专题地图,提供更完善的行业地图服务对于地震行业的发展有着极其重要的意义。

1 相关研究

近年来,国内外各大地图公司都对相关的地图服务进行了不断研究与改进。如 Google 推出的谷歌地图就提供了瓦片地图服务,同时还为各类电子地图服务爱好者提供了第三方编程接口。与之相对的强力对手就是微软的 MSN(Microsoft service network)虚拟地球服务,其中包括了 3D 影像、多维地图服务等。国内在地图服务方面取得优秀成果的公司有百度地图、高德地图、搜狗地图等,在给用户带来不错体验效果的同时,推动着国内外研究学者对于瓦片地图技术的不断研究。主要有以下几个主流方向:

(1) 基于瓦片技术的地图服务。

王伟等^[1]从整合有效资源扩大应用需求的角度,提出了一种基于数据类型分级组织管理的数据库一体化方法。苟丽美^[2]等依据切片地图 Web 服务(open GIS Web map tile service, WMTS)规范,利用 Web 技术实现了一种 RESTful 风格类型的瓦片地图服务,从实现的角度给出了地图瓦片服务的体系架构、整体流程和具体结构。殷福忠等^[3]通过研究瓦片金字塔模型,从最底层进行了瓦片金字塔地图服务发布技术的研究。

(2) 服务器交互性能。

聂云峰等^[4-5]从瓦片切图、空间索引及系统部署方面对地图交互访问进行改进,进一步证明了改进后的中间件方法的效率要优于传统的仓库管理系统(Web map service, WMS)。张凡等^[6]提出了一种全新的地图服务实现方法,从响应速度方面通过实验验证了方法的优越性。

(3) 地图动态更新。

黄祥志等^[7]运用动态缓存的方法对 WMS 缓存技术进行改进,取得了地图更新的效果。杜清运等^[8]在研究金字塔模型的基础上,结合瓦片地图服务,解决了瓦片地图在多分辨率切换时地图更新不连续的问题。

(4) 瓦片切图工具的开发。

韦胜^[9]则利用 AE 进行了瓦片地图绘制和投影。王小军等^[10]提出了一种基于 AE 开发的切图工具对瓦片地图进行获取,并进行地图拼接。

由于地震行业系统的数据涉密性,行业内对于瓦片地图的研究在涉密数据离线可视化方向并没有进行深层次研究。针对该实际问题,文中将主流网络电子

地图服务免费对外开放的应用程序接口 API 和部分基础地图数据迁移到本地,并通过坐标系转换算法进行地理位置纠偏,利用地图瓦片技术对离线网络环境下使用现今的电子地图服务进行研究,借鉴国内外目前瓦片技术的研究成果,进一步基于主流 GIS 软件开发地图切片程序,研究基础地图、专题地图和应用程序接口调用服务,有效解决业内基于电子地图的涉密数据可视化问题,并开发基于地震行业网络的电子地图示例系统。

2 离线电子地图技术

在现如今分布式网络环境下,实现空间数据高效访问的关键是合理有效地利用存储空间。传统的 Web GIS 通过实时发送请求获得地图数据信息,由于实时性特征,导致网络传输压力大,与服务器交互效率低。因此,按照区域请求空间数据,以瓦片为单位组织空间数据满足访问请求,使得访问更加直接、快捷,优化策略多样性明显。

瓦片地图技术是按照一定的数学规则,通过配置固定的多级显示比例尺,把连续比例的地图划分为多级离散比例的地图,在服务器端提前将地图切割成为一定规格的瓦片矩阵(支持矢量格式 GIS 数据和栅格格式 GIS 数据),依据不同的缩放比例,将矩阵数据存储到服务器不同的目录中,进一步建立瓦片地图名称与地图坐标的映射关系。根据用户不同的请求范围,根据范围内的地图坐标找到对应的已生成大小固定的瓦片数据,返回给用户,在客户端拼接显示范围内的地图。

瓦片地图技术直接返回用户请求坐标区域的瓦片地图数据,有效缩短了地图生成和传送时间,提高了系统响应速度,同时静态图片的处理进一步降低了服务器负担,提升了地图浏览的高效性。

2.1 瓦片金字塔模型研究

假设瓦片地图金字塔模型的最底层为第 0 层,最上层为第 N 层,每一层的瓦片单元为 4^{N-n} ($n = 0, 1, \dots, N$, N 为地图的缩放级别)。根据该规则,则第 N 层的瓦片个数为 1,即一个瓦片单元就能看到整个地图的范围。在第 $N-1$ 层就有 4 个瓦片单元,每一个单元显示四分之一的地图范围,以此类推,瓦片单元显示的地图范围逐渐变小,整张地图范围的分辨率逐渐增大,如图 1 所示。

由图 1 可以看出,随着比例尺逐渐变大,地图分辨率逐渐提高,唯一不变的是每一层所显示的地图范围。金字塔模型总体的构建思想为:首先确定地图的缩放级别 N ,将分辨率最高的地图置于金字塔模型的最底层,通过切分方法将地图切割成为相同分辨率的矩形

瓦片,即第 0 层的瓦片集合;其次,第 0 层的每 4 个像素为一个单元合并成为 1 个像素,即形成了第 1 层的瓦片集合,以此类推,逐渐形成全部的瓦片集合。瓦片金字塔构建完成后供服务器进行不同级别的地图服务调用。

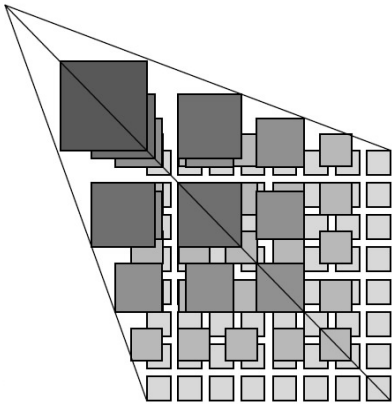


图 1 瓦片地图金字塔模型

2.2 地图投影及瓦片组织方式

(1) 投影坐标系。

谷歌地图、百度地图均使用 Web Mercator 投影方式,其与常规的 Mercator 投影的区别在于:Web Mercator 投影方式是将地球模拟为球体,而 Mercator 投影参照的是椭球模型。投影坐标系以赤道为标准纬线,本初子午线为中央经线,两者交点为坐标原点,东、北为正方向。由于整个图幅 X 轴、Y 轴取值范围应相等,已知地球半径取值为 6 378 137 m,赤道周长($2\pi R$)为 20 037 508.342 789 2,则 X 轴、Y 轴的取值范围均为 $[-20\ 037\ 508.342\ 789\ 2,200\ 375\ 08.342\ 789\ 2]$ [11]。

(2) 瓦片坐标系。

瓦片金字塔的每一个层级对应一个相应级别的瓦片坐标系,用于组织地图瓦片。谷歌地图的瓦片坐标原点在西经 180°,北纬 85.051 13°,即 Web Mercator 投影坐标系的左上角,坐标系横向往东、纵向往南为正,1 级谷歌地图将全世界范围划分为 4 张瓦片,图 2(a)是地图级别为 2 时的瓦片组织方式。百度地图的瓦片坐标原点以经纬度(0,0)点为基准作了偏移量为(-865, 15 850)的偏移处理 [12],即地图瓦片坐标原点(0,0)对应 Web Mercator 投影坐标系的(-865, 15 850),坐标系横向往东、纵向往北递增 [13],图 2(b)是地图级别为 2 时的瓦片组织方式。

2.3 地图瓦片本地化

构建基于行业网的电子地图服务,首要实现的是地图瓦片数据本地化,即在行业网服务器构建瓦片金字塔数据资源。拟提供的瓦片地图资源包括基础地理地图和专业底图,其中基础地理地图是通过 Http 请求实现瓦片本地化,专业底图是通过地图切片程序自定

义生成本地瓦片资源。

0,0	1,0	2,0	3,0
0,1	1,1	2,1	3,1
0,2	1,2	2,2	3,2
0,3	1,3	2,3	3,3

(a) 谷歌地图

-2,1	-1,1	0,1	1,1
-2,0	-1,0	0,0	1,0
-2,-1	-1,-1	0,-1	1,-1
-2,-2	-1,-2	0,-2	1,-2

(b) 百度地图

图 2 瓦片坐标系

2.3.1 Http 请求实现瓦片本地化

Http 请求获取地图瓦片主要是通过瓦片坐标值参数实现的。以百度电子地图提供的基础地理地图为例,在浏览器开发者模式加载百度地图过程中查看加载的网络资源,以 URL 请求 `http://online2. map. bding. com/pvd/? qt = tile&x = 752&y = 249&z = 12&styles = pl&p = 0&cm = 1&limit = 80&v = 088&udt = 20170926` 返回的 image 资源则为百度地图瓦片,其中参数 x、y 分别为瓦片 X 坐标和 Y 坐标,z 为地图级别 Z。通过换算某一地理位置对应的瓦片坐标值,替换 URL 中对应的参数:

URL url = new URL (http://online2. map. bding. com/pvd/? qt = tile&x = { X } &y = { Y } &z = { Z } &styles = pl&p = 0&cm = 1&limit = 80&v = 088&udt = 20170926);

若要获取已知经纬度(lon,lat)地点的百度地图瓦片,首先结合墨卡托投影函数将经度、纬度值转换为瓦片 X、Y 坐标,转换算法如下:

```
//经度转换瓦片 X 坐标
X = (int) ((lon+180)/360) * Math. Pow(2, Z );
//纬度转换瓦片 Y 坐标
double sinLat = Math. sin( Math. PI * lat/180 );
double y = 0. 5 - Math. Log ( ( 1 + sinLat ) / ( 1 - sinLat ) ) / ( 4 * Math. PI );
Y = (int) ( y * Math. Pow(2, Z ) );
```

然后根据 X、Y、Z 得到获取资源的 URL,使用 HttpURLConnection 链接资源即可获得对应瓦片:

```
HttpURLConnection conn = ( HttpURLConnection ) url. open-
Connection ( );
conn. setConnectTimeout ( 100 );
conn. connect ( );
InputStream in = conn. getInputStream ( );
```

2.3.2 自定义地图切片程序

地图切片程序是在 Visual Studio 平台利用 C#语言开发的,基于 ESRI 公司发布的嵌入式 GIS 组件库 ArcGIS Engine 10.0,主要使用的程序接口为 IExport、IActive View、IEnvelope 等。数据源为 Web Mercator 投影方式的 ArcGIS 格式文档(.mxd)。地图切片流程为^[14]:首先确定切片图幅地理坐标范围,有两种方式:自定义和利用 IEnvelope 接口提供的 QueryCoords 方法计算地图数据最小外包矩形范围。然后以瓦片坐标系原点为起始点,由比例尺、瓦片尺寸及瓦片跨度循环计算每个瓦片的地理范围并输出。

切片程序对各个层级的地图切割完成的瓦片按照瓦片地图级别、相应级别下的列值、相应列下的行值进行分级组织存储,即切图完成后的结果存储为:一级目录下,文件夹以瓦片地图级别 Z 命名;二级目录下,文件夹以瓦片坐标系 X 值命名;三级目录下存放瓦片,以瓦片坐标系 Y 值命名。

2.4 瓦片异步加载

文中研究的瓦片异步加载主要是指离线状态(互联网脱机状态和行业网状态)下的瓦片数据加载。需要的资源包括本地地图瓦片和本地地图 API(应用程序结构),2.3 节已经介绍了地图瓦片本地化方法,本节主要介绍地图 API 本地化方法及本地瓦片地图加载。

2.4.1 地图 API 本地化

通过网络资源分析的方式获取主流电子地图程序接口,即地图 API 本地化。以百度地图 API 为例,在浏览器开发者模式加载百度地图过程中查看加载的网络资源,将 Http 请求返回的依赖模块 API 文件、图标素材获取至本地,主要包括基础 API JavaScript 文件 apiv1.3.min.js,基础 css 样式文件 bmap.css,基本图标素材 images 以及 map、oppc、tile、control 等基础 modules 文件。

将地图程序引用的网络 API JavaScript 地址修改为本地文件路径:

```
<!--script
type=" text/javascript" src=" http://api. map. baidu. com/
api? v=1.3"></script-->
<script
type=" text/javascript" src=" js/apiv1.3.min.js"></script>,
即完成地图 API 本地化
```

2.4.2 瓦片地图加载

本地瓦片地图加载就是按照异步加载方式,将按照金字塔模型组织的本地地图瓦片加载至指定位置^[15]。以百度地图为例,自定义 LocalMapType 方法及 BMap. TileLayer () 对象 LocalMapType,定义 LocalMapType 对象调用的地图瓦片 png 文件和瓦片坐标系 tileCoord 的对应关系,实现本地瓦片地图加载:

```
//本地瓦片加载函数
functionLocalMapType ( ) {
LocalMapType = new BMap. TileLayer ( );
LocalMapType. getTilesUrl = function ( tileCoord , zoom )
{
var x = tileCoord. x ;
var y = tileCoord. y ;
var strURL = " maptile/baidumaps/" ;
strURL += zoom + "/" + x + "/" + y + ". png" ;
returnstrURL ;
}
}
//定义地图对象
var map = new BMap. Map ( " allmap" ) ;
//加载本地瓦片地图
var localMapType = new LocalMapType ( );
map. addTileLayer ( localMapType ) ;
```

2.5 离线地图坐标纠偏

网络电子地图服务提供坐标纠偏的 API 接口,例如谷歌地图,就是将正确的 WGS-84 坐标发送至地图服务器,由地图服务器上的算法将坐标纠偏为 GCJ-02(火星坐标系)坐标,再返回客户端,才能显示到和偏移处理后的地图对应的正确位置上。而这种在线方式的坐标纠偏必须在接入互联网的状态下才能进行。

文中对离线状态下 WGS-84 坐标转换为 GCJ-02 坐标的算法进行整理,对地理坐标值进行纠偏处理,解决了离线状态下真实 WGS-84 坐标在离线地图上显示偏移的问题,转换算法如下:

```
double dLat = transformLat ( wgLon-105.0 , wgLat-35.0 );
double dLon = transformLon ( wgLon-105.0 , wgLat-35.0 );
double magic = 1 - ee * Math. Sin ( wgLat/180.0 * pi ) *
Math. Sin ( wgLat/180.0 * pi );
dLat = ( dLat * 180.0 ) / ( ( a * ( 1-ee ) ) / ( magic * Math. Sqrt
( magic ) ) * pi );
dLon = ( dLon * 180.0 ) / ( ( a/Math. Sqrt ( magic ) * Math. Cos
( wgLat/180.0 * pi ) * pi );
double mgLat = wgLat+dLat;
double mgLon = wgLon+dLon;
```

以上算法中,a 为克拉索夫斯基椭球参数长半轴(637 824 5.0),ee 为克拉索夫斯基椭球参数第一偏心率平方(0.006 693 421 622 965 943 23),经度差值 dLon 计算函数 transformLat (double x, double y) 和纬

度差值 dLat 计算函数 transformLon(double x, double y) 如下:

```
double transformLat(double x,double y) {
double ret=-100.0+2.0 * x+3.0 * y+0.2 * y * y+0.1 * x *
y+0.2 * Math.Sqrt(Math.Abs(x));
ret+=(20.0 * Math.Sin(6.0 * x * pi)+20.0 * Math.Sin(2.0
* x * pi)) * 2.0/3.0;
ret+=(20.0 * Math.Sin(y * pi)+40.0 * Math.Sin(y/3.0 *
pi)) * 2.0/3.0;
ret+=(160.0 * Math.Sin(y/12.0 * pi)+320 * Math.Sin(y *
pi/30.0)) * 2.0/3.0;
return ret;
}

double transformLon( double x, double y) {
double ret=300.0+x+2.0 * y+0.1 * x * x+0.1 * x * y+0.1
* Math.Sqrt(Math.Abs(x));
ret+=(20.0 * Math.Sin(6.0 * x * pi)+20.0 * Math.Sin(2.0
* x * pi)) * 2.0/3.0;
ret+=(20.0 * Math.Sin(x * pi)+40.0 * Math.Sin(x/3.0 *
pi)) * 2.0/3.0;
ret+=(150.0 * Math.Sin(x/12.0 * pi)+300.0 * Math.Sin
(x/30.0 * pi)) * 2.0/3.0;
return ret;
}
```

3 离线地图服务应用示例

目前,基于地震行业网的电子地图服务已投入使用,为部署在行业网、涉密网的网站提供方便、安全的电子地图服务,如图 3 所示。



图 3 国家地震科学数据共享中心

国家地震科学数据共享中心对内数据共享网站 <http://10.5.109.26:8080/csds/index.html> 汇集了地震行业历史、实时和准实时数据,包括测震波形、前兆数据、地震目录、地震专题数据、空间观测数据等,站内数据总量约 65 TB。网站部署在地震行业网内,为行业内人士提供便利的数据共享服务。基于地震行业网

的电子地图服务为该网站提供百度地图应用接口,方便观测数据的展示、搜索。

西部形变数据分中心建立的大地形变流动观测数据库管理系统,部署于涉密网内。大地形变流动观测数据库存储了区域精密水准观测数据、流动 GNSS 观测数据、一二等水准点之记、GNSS 点之记、重力点之记等涉密数据,而这些地球物理场流动观测数据需要地图数据辅助其展示、应用。基于地震行业网的电子地图服务为该网站提供谷歌卫星地图应用接口,方便观测数据的展示、搜索,如图 4 所示。



图 4 区域精密水准观测数据可视化

4 结束语

针对行业内涉密数据离线可视化问题,利用地图瓦片技术着手研究在离线网络环境下使用现今的电子地图服务,进一步基于主流 GIS 软件开发了地图切片程序,研究基础地图、专题地图和应用程序接口调用服务,有效解决了业内基于电子地图的涉密数据可视化问题,并开发了相关的地震行业网络电子地图示例系统。下一步将对地图的更新策略及信息访问并发问题进行研究。

参考文献:

[1] 王伟,杜道生,熊汉江. 分布式栅格数据库的一体化管理[J]. 测绘通报,2007,7(3):57-59.

[2] 苟丽美,朱美正,李艳明. RESTful 风格地图瓦片服务的研究[J]. 计算机工程与设计,2012,33(9):3609-3616.

[3] 殷福忠,孙立民. 基于瓦片金字塔技术的地图发布平台开发研究[J]. 测绘与空间地理信息,2010,33(5):16-17.

[4] 聂云峰,刘海玲,许虎. GeoWebCache 瓦片地图服务中间件研究[J]. 测绘科学,2011,36(6):207-209.

[5] 许虎,聂云峰,舒坚. 基于中间件的瓦片地图服务设计与实现[J]. 地球信息科学学报,2010,12(4):562-567.

[6] 张凡,胡春阳,韩军. 高性能互操作的 OGC WMS 系

1-5.

[2] WANG W A,LIN M C. A fast method in reconstruction 3D computed tomography medical images [C]//International conference on industrial engineering and engineering management. Xiamen,China ;IEEE,2010:1877-1881.

[3] 徐留根,彭春增,全建龙,等. 工业 CT 在航空机载传感器可靠性提升中的应用[J]. 传感器与微系统,2016,35(10):158-160.

[4] HUSAIN I,CHOUDHURY A,NATH P. Fiber-optic volumetric sensor based on beer-lambert principle [J]. IEEE Sensors Journal,2013,13(9):3345-3346.

[5] 马丹祥,初建宇,王 政,等. 基于多目标规划的防灾避难场所选址模型研究[J]. 自然灾害学报,2015,24(2):1-7.

[6] HONG Y,CHOI B,OH G,et al. Nonlinear conflict resolution and flow management using particle swarm optimization [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2017,18(12):3378-3387.

[7] 刘生建,罗 林,杨 艳. 一种快速自适应粒子群算法[J]. 软件导刊,2017,16(9):42-45.

[8] 李荣龙,罗 杰. 一种改进的粒子群优化算法[J]. 计算机技术与发展,2015,25(7):67-71.

[9] 刘春燕,杨巍巍. 云计算基于遗传粒子群算法的多目标任务调度[J]. 计算机技术与发展,2017,27(2):56-59.

[10] 季斌炜,陈潇一. 基于粒子群算法的配电网无功补偿方法研究[J]. 电网与清洁能源,2016,32(3):111-114.

[11] XIAO Xi,HUANG Xuanrui,KANG Qing. A hill-climbing-method-based maximum-power-point-tracking strategy for direct-drive wave energy converters [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,2016,63(1):257-267.

[12] 魏 康,杨晓元,刘龙飞,等. 爬山算法对一阶相关免疫函数非线性度的优化研究 [J]. 计算机应用研究,2015,32(5):1500-1502.

[13] QIU Meikang,MING Zhong,LI Jiayin. Phase-change memory optimization for green cloud with genetic algorithm [J]. IEEE Transactions on Computers, 2015, 64 (12): 3528 - 3540.

[14] 莫汉培,陈秋良,张子臻. 遗传算法求解电力设施选址问题 [J]. 计算机技术与发展,2016,26(3):197-201.

[15] 董朝阳,路 遥,王 青. 改进的遗传算法求解火力分配优化问题 [J]. 兵工学报,2016,37(1):97-102.

+++++

(上接第 202 页)

统的研究与实现[J]. 计算机应用研究,2010,27(5):1732-1736.

[7] 黄祥志,刘 南,刘仁义,等. 适用于可编辑 WebGIS 的动态缓存策略[J]. 计算机工程,2011,37(5):285-287.

[8] 杜清运,虞昌彬,任 福. 利用嵌套金字塔模型进行瓦片地图数据组织[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2011,36(5):564-567.

[9] 韦 胜. ArcEngine 环境下实现瓦片地图的访问与拼接 [J]. 武汉大学学报:信息科学版,2012,37(6):737-740.

[10] 王小军,刘 璐. 基于 ArcGIS Engine 进行瓦片式切图的技术研究 [J]. 测绘与空间地理信息,2010,33(4):49-51.

[11] 寇曼曼,王勤忠,谭同德. Google map 数字栅格地图算法及应用 [J]. 计算机技术与发展,2012,22(4):204-206.

[12] JOHN A T,ANTHONY J T,MARK A K. The handling of large digital orthophoto raster database in GIS [J]. ISPRS, 1994,30(4):457-459.

[13] BAUMANN P. Web-enabled raster GIS services for large image and map databases [C]//Proceeding of 12th international workshop on database and expert system applications. Munich,Germany ;IEEE,2001:870-874.

[14] 郭啟倩,武晓红,李盛乐. 瓦片式震中分布图生成及局部自动更新 [J]. 地理空间信息,2015,13(1):115-118.

[15] YE Hua,MA Yan,DONG Limin. Land ecological security assessment for Bai autonomous prefecture of Dali based using PSR model-with data in 2009 as case [J]. Energy Procedia, 2011,5:2172-2177.