

重庆市区域规划电子沙盘系统的设计与实现

王黎明¹, 文 辉^{1,3}, 王 英²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 电子沙盘作为可交互操作的实时的虚拟现实环境, 是一种既具有传统沙盘的特点, 又集成了多种高新技术的产品。本文应用 ArcGIS 的内置定制环境 VBA 对 ArcGIS 应用程序进行客户化, 设计并实现重庆市区域规划电子沙盘系统。该系统中, 通过对基础地理数据、数字正射影像数据、社会经济统计数据、各种专题规划数据以及一些目标模型数据等进行三维可视化实现实物沙盘的导航缩放等基本功能。此外, 通过二次开发定制扩充了面向区域规划的实用功能, 如空间分析、规划方案的设计与比选等辅助规划功能, 从而开拓了电子沙盘应用的新领域, 将对区域规划工作带来深刻影响。

关键词: 电子沙盘; 区域规划; 交互

文章编号: 1000-0585(2005)02-0304-08

1 引言

重庆市域地貌类型复杂多样, 其主城区是一座举世闻名的山城, 东部是世界瞩目的三峡库区和雄伟俊秀的巫山山脉, 东南部是武陵山脉的支脉。重庆市域起伏有致、立体感强的地形为电子沙盘的制作与应用提供了有利条件。根据即将展开的重庆市“十一五”国民经济与社会发展规划的需要, 我们设计了面向区域规划电子沙盘系统。

电子沙盘 (electronic sand table) 是相对于传统的实物沙盘 (material sand table) 模型而言的, 也称为数字沙盘 (digital sand table) 或虚拟沙盘 (virtual sand table)。电子沙盘是集计算机、地理信息系统、虚拟现实、可视化技术和多媒体技术于一体的高新技术产品, 为使用者提供一个实时、可交互操作的虚拟现实环境。电子沙盘突破了传统的实物沙盘占地面积大, 携带不便, 表现内容单调而且难以更新的缺点。近年来, 电子沙盘在军事、房地产、水利工程、消防等领域都得到了一定的应用^[1~4]。然而, 电子沙盘在区域规划中的应用还很少见。

区域规划是对区域内未来一定时期社会经济发展的总体部署。长期以来, 由于规划体制不适应区域发展的客观要求, 区域规划成果在实施过程中存在许多问题, 主要表现在: 国民经济与社会发展中长期规划往往侧重于对统计型社会经济发展指标的制定, 而忽视了建设项目空间布局的内容^[5]; 不同部门所进行的专项规划在空间上往往存在较大矛盾。国家发展和改革委员会正在酝酿对“十一五”地区国民经济与社会发展规划进行规划体制的

收稿日期: 2004-08-11; 修订日期: 2005-01-26

基金项目: 国家 863 高新技术研究计划(2003AA131090-4)、国家科技部“十五”科技攻关计划(2004BA608B-2)、中科院地理资源所长期科学计划项目。

作者简介: 王黎明 (1963-), 男, 研究员, 博士, 四川邻水人。研究方向为区域发展与 GIS。E-mail: wanglm@igsnrr.ac.cn

重大改革，改革的重点内容之一就是突出强调空间规划的内容^[1]。作为空间布局虚拟再现的电子沙盘无疑将成为区域规划的重要空间信息管理手段和辅助规划工具，成为区域规划工作者的得力助手。

2 电子沙盘功能设计

重庆市区域规划电子沙盘系统的主要功能包括两部分：基本功能和面向区域规划辅助支持功能。基本功能主要包括：显示、导航、浏览、空间查询等。面向区域规划辅助支持功能主要有：规划方案的辅助设计、规划对象的时空属性管理、规划方案的空间效应分析、规划方案综合评价与比选等。

2.1 电子沙盘基本功能设计

(1) 导航、放大、缩小和漫游功能：电子沙盘最大的特点就是其三维的地形。在电子沙盘中，应用鼠标和键盘就可以随意漫游浏览电子沙盘内的各个部位。当我们选择导航时，屏幕视景可以随之而进行自由旋转变换，使得我们能够快速、形象地了解建设中各种宏观、微观的情况。

(2) 飞行功能：可以像鸟一样沿着任意方向以任意速度飞行在电子沙盘这一个虚拟的环境当中，有一种身临其境的真实感，鸟瞰现实中的一切。在飞行过程中，可以加速或减速，或者保持常速度飞行，也可以设置飞行路径，按特定路径飞行。

(3) 空间与属性双向查询功能：从空间数据打开属性表，可以对诸如功能区、地块(含子地块)、重大工程建筑物等的属性信息进行查询；也可以从属性信息访问其空间表达，比如可以查询某年修建的所有公路等信息。

2.2 面向区域规划辅助支持功能设计

(1) 规划方案的辅助设计

电子沙盘集成了空间对象编辑功能，可以对交通线路等规划对象进行创建、修改、删除。针对电子沙盘对空间数据采取的不同组织方式，编辑过程也存在差别。当采用 coverage 数据模型时，对规划对象的操作实际上是对空间点、线、面等几何要素进行编辑；当采用面向对象空间数据模型时，编辑过程就是对经过定制的对象直接进行拖拽、拉伸等。这样，当我们在设计规划方案时就可以很容易地实现对规划方案中的各种规划信息和地理空间信息的改动，并方便地在各种方案之间进行切换，直到得到最满意的规划方案为止。

(2) 规划对象的时空属性管理

区域规划是一个动态的过程，对区域规划对象进行管理也是电子沙盘的重要内容。记录下空间对象创建、修改等时间和空间信息无疑对规划对象的管理与动态监测具有重要的意义。电子沙盘可实现对地理信息的空间和属性的同时管理功能。面向对象的时空数据模型为规划对象的时空属性管理提供了一个可行的解决途径^[6,7]。

(3) 规划方案的空间效应分析

电子沙盘的空间分析功能包括表面分析、重分类、单元统计、邻域统计分析、坡度坡向分析、等值线分析、最短路径分析等。基于这些功能，可以建立各种应用模型，比如，人口分布模型、城市扩张模型、资源开发利用模型等，然后在此基础上进行规划方案的空间效应分析。

(4) 规划方案综合评价与比选

做出优化的规划方案是区域规划的主要目标。由于区域发展过程的不确定性和复杂性,规划工作通常要提出多种规划方案以供比选。方案比选通常有对不同规划方案的定量评价、公众参与投票、专家评审等多种方式。不同于实物沙盘的需要占用实际空间,电子沙盘的数字化表达使得我们借助网络发布技术(如结合 ArcGIS 的 ArcIMS)可以很容易地把各种方案发布在网上,为社会各界参与规划方案的制定提供了强有力的手段,保证规划工作的科学与民主。

此外,网络发布还可使更多的人了解规划地区的资源环境、经济发展、文化背景等;也可以做成多媒体教材,声形并茂,易于接受,进行基础地理知识普及教育。

3 电子沙盘实现过程

3.1 电子沙盘技术流程

(1) 电子沙盘基本功能的实现。即把 DEM 数据、卫星遥感影像以及其他数据进行三维可视化的过程。其步骤包括:① DEM 数据的准备与处理(裁剪);② 数字遥感影像数据的准备与处理(几何纠正、融合、裁剪等);③ DEM 数据和数字遥感影像数据、社会经济数据、各种专题规划数据等的叠加;④ 地物模型的制作与叠加;⑤ 电子沙盘的编辑与整饰。

(2) 电子沙盘区域规划辅助支持功能的实现。用 VBA 对 ArcScene, ArcMap 和 ArcCatalog 进行二次开发定制,实现对规划方案进行分析、评价、比选等功能。

电子沙盘技术流程如图 1 所示。

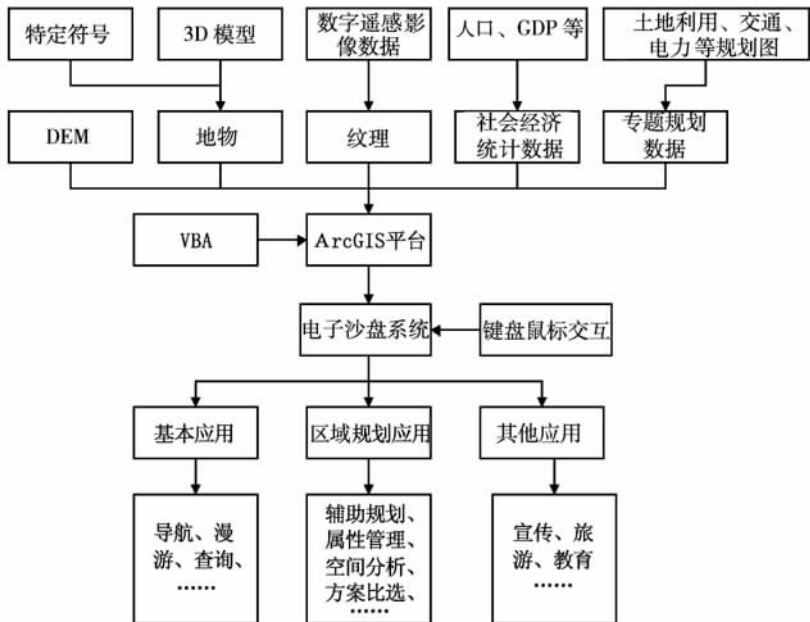


图 1 重庆市区域规划电子沙盘技术流程图

Fig. 1 Flow chart of making the electronic sand table of regional planning in Chongqing

3.2 数据源及多源数据集成

重庆市区域规划电子沙盘的制作所需数据有:基础地理数据、数字正射影像数据、土

地利用数据、社会经济数据、专题规划数据和目标特征数据等。

(1) 基础地理数据：基础地理数据是由国家测绘部门生产的空间基础地理要素的数据，是实现电子沙盘的最基础的空间数据。包括数字高程模型 DEM (Digital Elevation Model) 和数字线划地图 DLG (Digital Line Graph)。

① 数字高程模型 (DEM) 数据 DEM 数据是区域地形的数字表达，即把覆盖区域分成大小和形状相同的规则栅格，用行号和列号来表示相应位置的二维平面坐标，栅格的数值表示相应位置的高程值。

重庆市区域规划电子沙盘的 DEM 数据来源主要有 1:25 万和 1:5 万两种比例尺，分别用于显示重庆市全貌和某些局部地区的真实景观。根据可视化的具体需要，在两种比例尺的基础上又通过重采样生成其他比例尺的 DEM 数据。

② 数字线划地图 (DLG) 数据 DLG 包括了行政区划境界、河流、道路、居民点等基础地理信息。

(2) 数字正射影像 (DOM) 数据：DOM 包括航片和卫片。遥感数字图像是地面景观在成像平面上的投影，它客观地反映了某一特定时刻地表的真实景观，具有现实性强、色彩丰富、表现直观、信息量大等特点。遥感影像不仅是提取土地利用数据等的重要数据来源，而且由于其具有丰富的地表信息，用作三维显示时的地表纹理效果很好。我们在全市域范围集成了中低分辨率的 MODIS 和 TM 数据，为了在重要地区（如城市建成区）实现更为精细的显示，我们在局部区域集成了高分辨率的 QuikeBird 数据。

(3) 土地利用数据：土地利用是区域规划的重要基础数据。我们集成了 1:10 万土地利用数据，能较好地满足土地利用总体规划和城市体系规划的需求。

(4) 栅格化社会经济数据：基于行政单元的统计型数据是社会经济空间信息的主要管理方式，但这种方式对于区域规划的需求而言存在很大的局限性。区域规划工作中，对基于非行政单元的社会经济空间信息的需求很大，如按城市建成区、城市吸引范围内、流域、交通干道沿线、经济功能区等统计的社会经济指标等。目前，解决这一问题的较好技术手段是将基于行政单元的统计型社会经济数据进行空间离散化处理，生成 1 公里（或其它尺度）栅格的空间数据集^[8]。重庆市区域规划电子沙盘集成了 1 公里格网人口、GDP 等数据，可以在此基础上进行任意类型区域的数据查询汇总。

(5) 专题规划数据：集成各个政府部门已经进行的各项专题规划，包括 2000~2020 年的重庆市交通规划、电力规划、燃气管线规划、生态环境保护规划、旅游规划等各专题规划数据。当专题规划被集成在一起时，通常会存在规划内容相互矛盾的情况，如何解决这一矛盾是区域规划空间信息集成的重要问题，另有专文对此进行论述^[6,7]。

(6) 目标特征数据：这是电子沙盘中最为生动的内容。包括两部分：一部分是区域规划所要涉及的地物模型，如公路、铁路、水库大坝、电站、车站等，规划人员可以对这些地物模型进行布局、移动、变形等操作；另一部分是为了产生更好的临境效果而设计的实物模型，如汽车、行人、建筑物、树木等。在比较小的比例尺的电子沙盘中，地物可以用形象的符号表示，也可以用贴图的方法；在局部地区比例尺比较大的电子沙盘中，地物则需要按一定的比例，以逼真的模型出现。当需要地物的逼真模型的时候，可以用 3DMAX 和 AutoCAD 等软件来实现，然后再根据地物的地理坐标将其读入系统中。

4 软件平台及其二次开发环境

重庆市区域规划电子沙盘是利用 ESRI 公司的 ArcGIS 进行二次开发的, 主要是应用 ArcScene、ArcMap 和 ArcCatalog, 并采用可视化分析模块 3D Analyst 对其进行三维功能扩展, 然后在此环境下, 应用 ArcGIS 的内置定制环境 VBA 进行客户化, 添加了面向区域规划的功能菜单和工具条, 实现了面向区域规划的实用功能^[9~12]。

ArcScene 可以用来制作具有透视效果的场景, 并且用户可以自由浏览该场景, 与 GIS 数据进行交互。用户可以在表面上覆盖栅格或矢量数据, 并从矢量数据源创建线条、面及立体。用户还可以使用 ArcScene 中的三维分析工具创建或者分析表面。ArcMap 和 ArcCatalog 也具有扩展的三维浏览、管理和分析的功能。3D Analyst 使用户可以有效地显示和分析表面数据, 并含有三维可视化和地形建模功能。3D Analyst 模块可以嵌入到 ArcScene、ArcMap 和 ArcCatalog 中, 使它们的功能得以扩展。

电子沙盘的实现对硬件的要求很高, 硬件配置对系统的显示速度和显示效果有非常重要的影响。实现成果如图 2、图 3 (见图版 4) 所示。图 2 为叠加城镇体系规划信息的重庆市域地形 TIN 模型; 图 3 为 2000 年重庆市主城区城市用地三维显示。

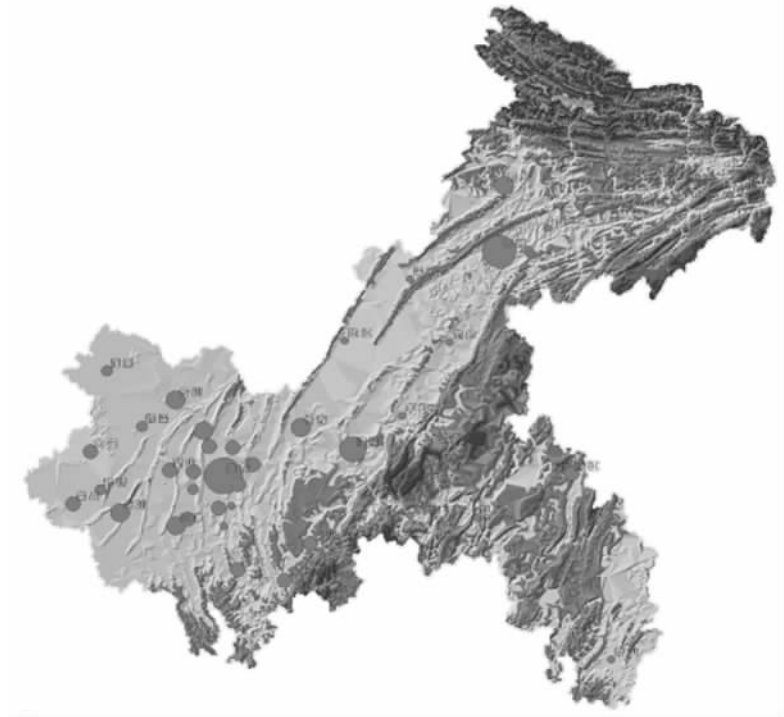


图 2 叠加城镇体系规划信息的重庆市域地形 TIN 模型

Fig. 2 TIN model of Chongqing overlaid with urban size-rank symbols

5 结论与展望

重庆市区域规划电子沙盘是一个基于 ArcGIS 平台进行二次开发的系统, 具有一定的

示范和推广价值^[13~22]。

(1) 电子沙盘应用于区域规划,使规划设计成果的三维动态建模更加方便,规划成果更加形象和直观。

(2) 电子沙盘提供对于功能区、地块、建筑物的属性信息进行查询的功能,使决策者能方便地了解区域规划信息。

(3) 电子沙盘可快捷、方便地随着方案的变化而作出调整,辅助用户作出决定,从而大大加快了方案设计速度,提高了方案设计质量和修正的效率,也节省了大量的资金。

在区域规划方案完成后,用电子沙盘可以充分展示各地区的中长期规划动态三维虚拟现实蓝图;采用多媒体合成技术,把声音、图像、文字等融入系统中,人们可以在优美音乐的背景下享受视觉和听觉上的双重感受;也可为旅游、决策等提供高效的信息服务。

可以看出,电子沙盘的三维景观再现功能改变了长期以来区域规划的工作模式,给今后的区域规划工作带来了崭新的技术和广阔的应用前景。

此外,需要说明的是电子沙盘与虚拟现实、3D GIS 在技术上具有较大的重叠,这也导致电子沙盘有多种解释版本的原因。然而,电子沙盘这一概念和技术具有其突出的优势:一是从语义上看,人们对实物沙盘已经有较充分的认识,使人们对电子沙盘的功能与作用更容易理解和接受;二是从技术应用上看,电子沙盘是 3D GIS 可视技术的一个表现,它的核心技术就是 ArcGIS 下的三维可视化技术,而虚拟现实则包括了更高的技术要求,无论从开发成本以及精度要求上都要高于电子沙盘,实现起来比电子沙盘要复杂。根据“简单即美”的实用主义原则,电子沙盘无疑具有重要的应用与推广价值。

致谢:本文 1:10 万土地利用数据系中国科学院资源环境科学数据中心提供。

参考文献:

- [1] 陈伟海,马祖陆,等. 桂林市电子沙盘设计及其功能. 地球信息科学,2000,(2):66~70.
- [2] 左伟. 基于 RS、GIS 技术电子沙盘研制. 计算机与地图,2001,14~16.
- [3] 姚宏伟,涂颖. 南水北调电子沙盘系统的研究与开发. 系统仿真学报,2002,14(12):1599~1602.
- [4] 潘琳,孙岩,等. MapGIS 技术在油藏地质中的应用. 特种油气藏,2003,10(6):86~88.
- [5] 杨伟民. 规划体制改革的理论探索. 北京:中国物价出版社,2003.
- [6] 王黎明,王英,文辉. 面向对象的区域规划时空数据模型. 地理科学进展,2004,23(3):1~8.
- [7] 王黎明,文辉,王英. 面向对象数据模型的区域规划空间信息集成框架. 中国农业资源与区划,2004,25(6):46~49.
- [8] Wang Liming, Wen Hui, Wang Ying. 1km Grid Spatial Data Platform for Regional Man-Land System. The Proceedings of the China Association For Science and Technodgy, Edited by Feng Changgen, Huang Ping, Ma Yang, *et al.*, 2004,1(1): 663~666.
- [9] 丁国祥 编译. ArcGIS 三维分析实用指南. ArcInfo 中国技术咨询与培训中心,北京中科永生数据科技有限公司,2002.
- [10] 秦建新,张青年,等. 地图可视化研究. 地理研究,2000,19(1):15~21.
- [11] 顾朝林,段学军,等. 论“数字城市”及其三维再现关键技术. 地理研究,2002,21(1):14~23.
- [12] <http://www.wzup.gov.cn/bbs/dispbbs.asp?boardID=3&RootID=992&ID=992>,2004.5.20.
- [13] Li X, Xue J, Zhao Q, *et al.* The designing of an intelligent electronic sand table. Proceedings of the International Symposium on Test and Measurement, 2001, 1:323~325.
- [14] 赵韶平,高世海,等. 三维真实感地图生成. 中国图像图形学报,1999,4(A)(7):549~552.
- [15] 高世海,赵韶平,王晓剑. 基于 PC 机的三维地图制作. 测绘通报,1999,(1):28~31.
- [16] 王新生,姜友华. 模拟退火算法用于产生城市土地空间布局方案. 地理研究,2004,23(6):727~735.

- [17] 陈正江. 面向区域的 GIS 控件的设计与使用. 地理研究, 2003, 22(2): 227~237.
- [18] <http://www.stormingmedia.us/83/8388/A838823.html>
- [19] Majoros A E, Ulrich Neumann. Support of crew problem-solving and performance with augmented reality. Proceedings of Bioastronautics Investigators' Workshop, 2001. 501~527.
- [20] http://www.tap.umd.edu/Articles/Xenotran_BaltSun_120202.pdf
- [21] http://www.fireleadership.gov/toolbox/documents/Sand_Table_Showroom.pdf
- [22] <http://www.dtic.mil/matris/sbir/sbir012/sba143.html>

Design and realization of electronic sand table system for regional planning of Chongqing

WANG Li-ming¹, WEN Hui^{1,3}, WANG Ying²

- (1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
2. Chinese University of Mineral Technology, Beijing 100083, China;
3. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper introduces the design and realization process of electronic sand table system for regional planning of Chongqing under the platform of ArcGIS by ESRI through secondary development by Visual Basic for Application (VBA). That it is called electronic sand table, sometimes digital sand table or virtual sand table, is contrast with traditional material sand table model. Unlike material sand tables, electric sand table is new high-tech product with integration of computer application, visual reality, Geographical Information System, virtual reality and multimedia. It can give users a real-time and interactive operation circumstance. Electronic sand tables break the limits of traditional sand tables such as large area, inconvenient for carrying, single content, and difficult to update. It has practical functions towards regional planning apart from the functions of traditional material sand table, such as assisting design planning scheme, managing spatio-temporal attribute of planning objects, analysing spatial affects and evaluating the planning blueprint, etc. In this paper, also, we analyse great significance of applying electronic sand table to regional planning and the profound effects that electronic sand table brings to regional planning. In the recent years, electronic sand table has been applied in many fields to a certain extent, such as military affairs, irrigation works, real estate, fire protection, but little in regional planning. From this article, we provide a new mode in which we carry on regional planning and we successfully test it through taking the Chongqing city as a case. This mode breaks the traditional idea, its vividness and third dimension can help geographers and regional policy decision-makers to gain a better understanding of the regions, and electronic sand table will become their right hand some time later.

Key words: electronic sand table; regional planning; interactive



图 3 2000 年重庆市主城区城市用地三维显示(叠加 TM 影像)

Fig.3 3D view of urban land-use in Chongqing downtown overlaid with TM image (2000)

徐涵秋：基于谱间特征和归一化指数分析的城市建筑用地信息提取

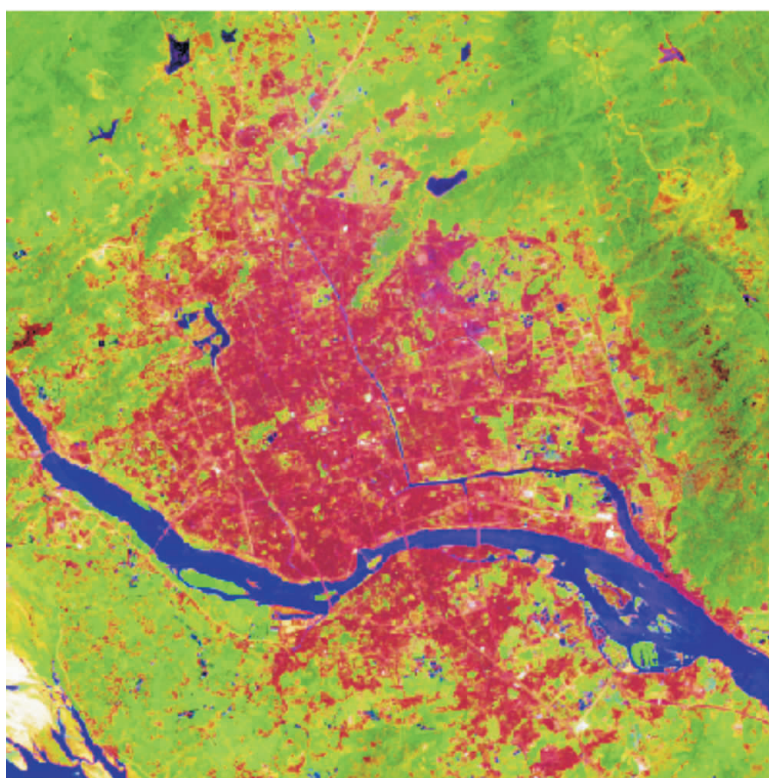


图 2 福州市城市影像图(Landsat-7 ETM+, 2000/5/4). 影像已将多光谱波段(30m)与全色波段(15m)用 IHS 方法融合. 绿色:植被;蓝色:水体;褐红色:建筑用地

Fig. 2 Image of Fuzhou city with the surrounding areas (Landsat-7 ETM+, 5/4/2000). Image was fused using multispectral bands (30m) and pan band (15m) with IHS transform. Green:vegetation; Blue: water body; Dark red: built-up land.