

利用我国高分辨率卫星影像监测北京市违章建筑

李德仁, 王密*, 胡芬

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

* 联系人, E-mail: wangmi@lmars.whu.edu.cn

2008-11-21 收稿, 2008-12-29 接受

国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB701300)、国家高技术研究发展计划(编号: 2007AA120203)和国家自然科学基金(批准号: 40201044)资助项目

摘要 自2008年北京奥运会成功申办以来,为充分发挥我国自主知识产权的遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术在变化监测领域的应用优势,起到对北京奥运会的科技支撑作用,同时从实施新规划、解决交通拥堵、维护古城风貌等角度出发,利用国产的高分辨率遥感卫星数据结合GIS和全球定位系统(GPS)在北京六环以内建立了北京市违章建筑卫星监控系统,实现每个季度对违章建筑的监视和查处.详细分析了国产遥感卫星和GIS技术在违法建设的监测和发现中的应用流程及关键技术,并对北京市违法建设监测查处系统的设计与实现进行了介绍,同时,给出了系统运行过程中的一些典型违章建筑发现和查处实例.该系统运行5年来,规划应用部门能够及时主动地获取更丰富的辅助决策信息,真正做到了早发现、早处理、早制止;为将违法建设消灭在萌芽状态提供了技术保障,为国家节省了大量的违章建筑处理的经费.

关键词
遥感技术
GIS分析
城市违法建设
变化监测

科技奥运 (<http://www.hitech2008.org.cn>) 作为2008年北京奥运三大理念之一,强调以科学的思想统领奥运战略,将现代科学技术多角度、多渠道地嵌入到奥运会的每一项活动和工作中,开发各种与奥运会相关的信息资源,营造良好的信息化环境,为各相关组织和个人提供优质的信息服务.为充分发挥多时相遥感变化监测技术对北京奥运会的科技支撑作用,同时从实施北京新规划、解决交通拥堵、维护古城风貌的角度出发,在成功申办2008年奥运会以来,北京市政府出台了解决城市环境中存在的违章建设问题的规划,决定利用高科技手段辅助违章建筑的发现和查处.

遥感技术因具有周期短、成本低、实效性高等特点,在城市违法建设查处、城市布局、历史文化保护、城市的调整和改造、城市交通、城市的环境和绿化等方面均可以发挥良好的作用,目前在西方发达国家中已得到了广泛的应用.我国在遥感领域已经进行了二十多年的研究和应用,取得了大量的研究成果,国产高分辨率遥感卫星的数据源也实现了从无到有

的发展,为我国遥感科技的应用起到了巨大的推动作用,已经初步具备了国产高分辨率卫星影像的获取和处理系统,在基础理论上已经形成了一套成熟的理论和方法,在实践上也开发出了许多实用系统,积累了丰富的经验,在国民经济的很多方面都有成功的实践,特别是在地理空间信息的变化检测与更新方面,遥感技术已逐渐占据了主导地位.近年来,GIS技术也获得了飞速发展并广泛应用于国民经济的各行各业.作为一种空间管理、分析的有效技术,GIS可为遥感应用提供各种有用的辅助信息和分析手段.目前,已有不少学者对基于遥感影像和GIS相结合的地物自动变化检测技术进行了研究,并取得了大量成果^[1-10].

为充分发挥我国自主知识产权的遥感和GIS技术优势,利用我国国产高分辨率卫星和国产GIS技术,为北京奥运会提供高科技支撑,结合我国资源二号国产高分辨率卫星影像数据,本文研究了多时相遥感和GIS技术在违法建设监测和发现中的关键技术和流程,并结合工程应用实际设计实现了北京市违法

建设监测查处系统. 投入应用 5 年以来, 通过实践表明, 利用该系统规划应用部门能够及时地获取更丰富的辅助决策信息, 使规划监督检查工作由被动查处转变为主动出击, 从而为真正做到早发现、早处理、早制止, 将违法建设消灭在萌芽状态提供技术保障.

1 违章建筑查处的流程与关键技术

1.1 遥感数据源的选择

利用遥感检测违章建筑的前提是能够稳定获取多时相的高分辨率遥感数据. 目前国外很多商业卫星, 例如 Spot5, Ikonos, Quickbird 等都可以对同一地区获取多时相的高分辨率的影像数据. 但是, 如果利用国外卫星数据, 一方面数据获取的成本相当高, 大概是国产卫星的几十倍甚至上百倍, 另一方面, 数据获取的时效性也很难保证系统长期进行遥感监测使用的要求.

在系统建设开始, 北京市规划委就充分考虑了这个问题, 联合北京市遥感技术研究所, 利用国产的资源二号卫星, 作为本系统的数据源, 实现每年至少 4 次对北京六环以内范围的遥感数据覆盖.

资源二号卫星是我国自主研发的高分辨率遥感卫星, 采用太阳同步轨道设计, 可以获取 3 m 全色波段的影像数据. 利用卫星的侧摆照相, 一个季度以内至少可以一次以上覆盖全市域, 为违章建筑的查处提供了良好的时效性, 3 m 的空间分辨率可以满足查处 100 km² 的违章建筑的要求. 该卫星的数据处理由北京市遥感技术研究所完成, 因此, 可以有效地保障本系统稳定的多时相数据源的要求.

1.2 基于遥感技术违章建筑查处的流程

如图 1 所示, 系统的总体处理流程包括多时相遥感图像输入及与处理、基于合适的方法实现变化信息检测、基于 GIS 支持的变化分析、变化检测结果核查、输出及后续应用等. 对原始数据精处理后, 利用地物在不同时相反应不同遥感特性的原理, 对相邻两个季度同一地区的影像进行配准, 检测变化图斑, 通过 GIS 分析建立违法建设数据, 执法大队依据违法建设数据进行有目的监察

1.3 违章建筑查处的关键技术

如何利用不同时期的遥感影像数据, 特别是多时相的资源二号卫星图像进行变化检测, 是系统研

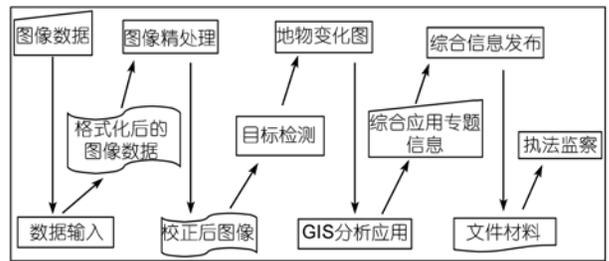


图 1 系统总体工作流程

究的重点内容. 考虑到资源二号卫星图像数据是一种新的遥感数据, 而且是全色波段数据, 其应用还有待进一步深入, 系统采用了多条途径进行分析比较. 其一, 只利用不同时相的资源二号卫星图像进行变化检测处理; 其二, 利用资源二号卫星数据同其他图像数据进行融合处理, 增加图像信息, 再进行变化检测处理; 其三, 结合已有的GIS数据进行变化检测分析; 其四, 综合应用以上处理方法. 对不同的处理结果进行评价, 选择性能最优的方法. 同一地区不同时间拍摄的遥感影像主要存在两种变化: 一种是地表或地物状况的真实变化; 另一种则是由光源方向、天气状况、传感器位置以及在成像和传输过程中的误差等因素引起的伪变化. 变化检测的目的就是在最大程度的减少后一种变化影响的同时, 检测出前一种变化. 为了达到此目的, 在基于多时相卫星遥感影像进行变化检测之前, 还需要进行一系列预处理, 如相对辐射校正、几何精纠正以及相对配准等. 而多时相影像间的配准精度是制约多源影像变化检测结果的重要瓶颈, 要得到可靠的变化检测结果, 匹配精度必须达到子像素级^[1,11]. 经验表明, 当变化检测的误差不大于 10% 时, 需要像素的匹配精度不大于 1/5 个像素.

() 多时相影像的精确配准技术. 图像配准是对不同时相、不同传感器或不同视角的同一场景的两幅或多幅图像进行匹配和对应的过程. 变化检测中的多时相遥感图像, 由于成像条件的差异, 图像间会存在相对平移、旋转和尺度等变换, 如果不对这些差异进行校正, 会导致变化检测不能顺利进行. 因此, 在变化检测前, 需要对不同时相的遥感图像进行配准, 使得不同时相图像中的相同坐标表示地理环境的同一位置. 通常是依据控制点信息将同一地理覆盖、不同时相获取的两幅图像进行几何配准, 保证两者在重叠范围内的严格几何匹配. 影像配准精度的高低直接影响到后期变化检测的精度^[11].

在多时相遥感图像配准中, 存在成像环境的差异以及图像本身的变化, 使得选择稳健的对应特征量和相似性度量测度变得尤为重要. 在目前的配准方法中, 基于特征点或特征线的方法^[12-16]应用最广泛. 本系统主要采用基于小面元的多源遥感影像配准方法, 即在参考影像上提取特征点作为配准控制点, 通过匹配获得同名点对, 再基于小面元微分纠正得到精确配准的影像. 该方法能够取得非常高的自动配准精度, 整体配准误差在一个像元以内.

() 多时相影像的变化探测技术. 多时相遥感影像的目标变化探测技术大致可以分为两类: 基于光谱特征的变化检测和基于空间结构特征的变化检测. 对于大多数地物, 光谱特征的差异是判断其发生变化的主要依据, 基于光谱特征的技术和方法正是基于这种原理来实现对地物变化的检测, 这类方法在当前变化监测的应用中最为广泛. 遥感图像是地面目标在图像上的光谱和几何特征的综合反映, 在某种情况下, 基于光谱差异的变化监测方法不能很好地区别地物的差异, 这时采用基于空间特征的方法可能会有更好的效果. 同时, 在高分辨率遥感图像中的人造目标, 结构特征是目标特性的主要表现形式. 系统兼顾了国内外常用的变化检测方法, 包括基于灰度的比值法、差值法、回归法以及基于特征的边缘检测方法^[6,8-10,17]等. 这些方法简单实用, 可以检测出细致、微小的变化. 此外, 系统还实现了以下 3 种变化检测方法. (1) 基于最小二乘相关匹配的变化检测. 为了保证变化检测结果的可靠性, 必须首先保证新旧影像之间是严格几何配准的^[11]. 对于多时相精纠正遥感影像, 因为影像已经做过几何纠正^[18], 影像间能够达到一定程度的配准. 但是由于纠正误差的存在, 对应影像窗口内像素之间仍然存在着像素级的偏差, 直接利用比值法或差值法进行变化检测, 其结果将会受到纠正误差的影响, 无法得到比较稳定的结果. 基于最小二乘相关匹配的地物变化检测方法是基于灰度信息的匹配进行变化分析, 即根据最小二乘法改正影像的几何变形, 迭代出最大的相关系数, 这样既得到了最佳匹配点, 又可以根据相关系数判断出影像是否发生了变化. 该方法能有效解决影像配准误差对变化检测的影响, 得到较精确的检测结果. (2) 结合像元级与特征级的变化检测. 首先利用像元级变化检测的方法检测变化, 检测出发生变化的大致范围并以此作为背景, 然后使用特征

级的变化检测, 进一步确定感兴趣的人工地物变化. (3) 基于分类后比较^[19,20]的变化检测. 如图 2 所示, 首先基于分类训练库对新旧图像进行分类, 然后对分类后的新旧特征图像实施变化检测, 得到若干变化图斑, 最后还要采用滤波算子剔除这些图斑中的虚假变化信息. 该方法可以回避影像间辐射校正等问题, 除了可以确定变化的空间范围外, 还可以提供有关地物变化性质的信息, 但是变化检测的精度依赖于图像分类的精度, 可能会夸大变化的程度.

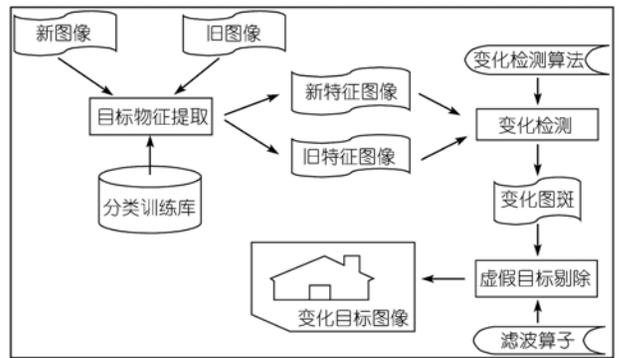


图 2 基于多时相遥感影像分类后比较的目标变化检测

() 基于GIS的变化探测分析技术. 根据图像处理与变化检测产生的矢量图斑图、审批图、矢量地形图、影像图等各种资料, 利用GIS技术数据处理功能和空间分析能力, 以及提供的属性信息查询手段, 对变化图斑进行分析、判别、去伪等处理. GIS数据中包含了丰富的语义和非语义信息, 是经过解译后的地物符号表达, 可以作为知识库^[2-5]. 系统采用遥感图像与GIS集成分析的方法, 把不同时相图像变化检测的结果叠加在GIS数据上进行分析, 确定变化的地物和类型. 充分利用GIS数据库中的先验知识与GIS集成分析的变化检测方法, 较传统的方法有明显的优势, 它能够集成不同类型的数据进行分析, 适用面广, 检测的结果更可靠, 精度更高.

() 多时相影像数据的管理与调度. 对每年 4 个时相的影像数据, 分别建立无缝影像库. 在实际应用中, 需要对不同时相的影像数据进行浏览和分析, 因此, 不同时相影像数据的管理和调度也是系统的一项关键技术. 在不同时相无缝影像库的基础上, 建立时相索引, 再利用算法来实现多时相影像数据管理与调度.

北京市的正射影像覆盖范围大, 文件数量大, 以

文件的方式进行管理不易于用户的使用. 为使用户在北京市完整的影像基础上进行操作与浏览, 系统使用了无缝影像库技术^[21]. 无缝影像数据库技术主要包括影像分块技术、空间索引技术、数据的无缝组织技术和多分辨率金字塔的数据组织技术等. 通过数据分块可以减少数据的网络传输数据量, 方便数据压缩和有利于在计算机的内存中对图像数据进行运算处理. 因此对存储的图像数据采用对用户透明的图像分块和重构方法来组织数据. 在关系数据库中, 以小的图像块作为一条记录来对其进行操作是非常适合的. 由于在影像数据库中数据是按照分块的方式存储的, 而且数据块的划分是非常规则的并且彼此之间没有重叠, 格网索引的建立和维护相当方便. 按照格网对图像块进行编号, 然后通过编号和数据块的对应关系来索引图像块.

() 矢量数据管理技术. 随着计算机技术和地理信息系统技术的发展, 基于组件化和面向关系数据库的软件设计已成为当今信息系统设计的一种趋势. 在本系统的GIS分析模块将采用关系数据库的方式管理矢量数据. 基于关系数据库的矢量数据管理可以解决以下问题: 一是多用户并发, 多用户并发的锁机制可以到对象一级; 二是可建立无缝空间数据库, 无缝空间数据库一直是GIS开发者所追求的目标, 由于数据库厂商有丰富的索引技术经验, 可以建立高效的索引, 使之可以在一个无缝的大型数据库中快速检索目标; 三是查询效率可大大提高, 由于图形与属性数据放在同一条记录, 这样可以解决Unix服务器与NT客户机混合工作的问题, 由于关系数据库厂商早已解决了Unix与NT混合工作问题, 采用这种技术可以直接建立操作系统混合的应用系统, 这样既可以保证大型GIS的稳定性, 又可以保证客户端使用的方便性.

2 系统的设计与实现

2.1 系统设计

按照业务流程和功能划分, 北京市违法建设监测查处系统由图像处理与变化检测子系统、GIS分析与查违子系统、影像数据建库与管理子系统、矢量数据建库与管理子系统、GPS应用子系统、综合应用子系统和WebGIS应用子系统构成, 如图3所示.

() 图像处理与变化检测子系统. 图像处理与变化检测子系统由基本图像处理、几何校正、图像配

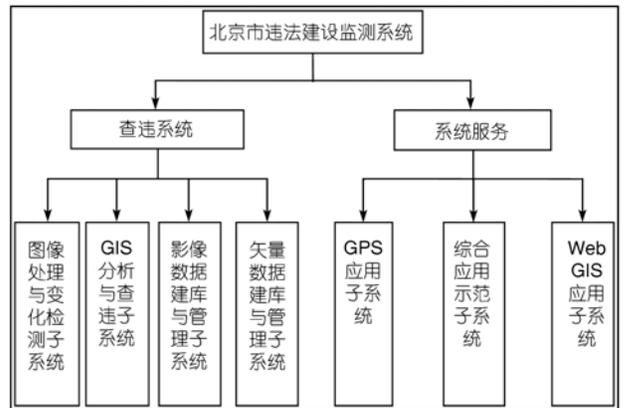


图3 系统模块组成

准、变化检测这几个内部模块构成. 其中, 几何校正、图像配准、变化检测之间呈现逻辑上的顺序, 而基本图像处理则与这些模块呈现某种并行的关系, 也就是说基本图像处理中资源二号卫星图像读取则是所有任务的起点.

基本图像处理模块读入原始卫星影像, 并完成图像格式转换、增强处理等操作, 并将结果输出到该时相的影像数据库中, 供后续各个模块调用; 然后, 图像几何校正模块对遥感图像进行几何校正和投影变换, 从而将遥感图像纳入到一定的制图坐标系中, 同时根据需要对多幅遥感图像进行影像镶嵌处理; 图像配准模块根据图像重叠区内的同名点信息, 将覆盖同一地区、不同时相的两幅图像进行几何配准, 使得两者在重叠区范围内图像在几何上能够以足够的精度套合; 变化检测模块则通过人机交互手段提取可能存在变化的区域, 通过对提取区域的不同时相影像的对比分析, 发现变化的图斑, 并将其处理为矢量形式输出.

() GIS分析与查违子系统. GIS分析与查违子系统的主要功能是根据图像处理与变化检测子系统产生的矢量图斑图、审批图、1:10000矢量地形图、影像图等各种资料, 利用GIS技术以及提供的属性信息查询手段, 对变化图斑进行分析、判别、去伪等处理并将结果在系统上进行集成和表现, 为跟踪重点工程的实施提供技术支持.

GIS分析与查违子系统设计为一个交互式的系统, 作业员通过菜单、对话框等形式实现人机交互, 利用不同时相的影像图、审批图、变化图斑等资料发现违章建筑, 并将违章建筑的信息存档. 其内部的主要功能模块包括调图、数据表现、对比分析、信息查询与

统计、编辑、历史数据管理、文件输出、打印输出等。

如图4所示, GIS分析主要由知识分析和规划分析两部分组成, 变化检测、特征提取的结果以矢量的方式输入到GIS环境中后, 知识分析利用遥感与GIS技术以原始图像为背景, 对变化和未变化的结果进行编辑、修改和处理, 生成土地变化图。规划分析再将由知识分析生成的土地变化图与用地审批图和建筑审批图相比对, 从而排除经审批的合法土地变化图, 最终生成违法建设图并进行建库管理, 辅助执法监察。

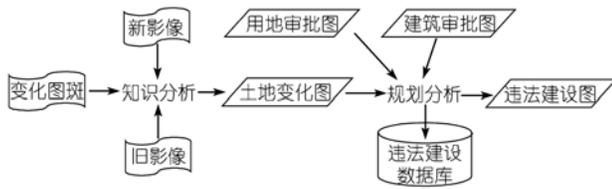


图4 GIS分析流程

() 影像数据建库与管理子系统。影像数据建库与管理子系统主要完成不同时相的卫星数字正射影像的管理与调度, 为整个查违系统提供基本的服务。主要包括以下几个功能模块: (1) 建库。根据建库地区参数和影像数据的参数, 以 ORACLE 作为后台的数据库管理平台, 通过建库程序来创建影像数据库系统表结构。(2) 数据入库。将几何精纠正和分幅裁切后的影像产品递交入库。输入的数据格式为带有 DOM(中国空间地球标准交换格式)的 BMP, TIFF, GeoTiff 格式的图像精校正产品, 入库时可以单幅的方式或以批量的方式进行。(3) 数据管理和维护。主要完成创建金字塔式的多级影像数据库和影像数据更新。为了保证系统的工作效率, 系统需要从底层数据抽取建立影像金字塔。影像数据更新, 以图幅为单位进行更新处理。(4) 信息查询。坐标查询(查询特定位置影像二维坐标信息)和按照指定的位置显示影像。(5) 数据浏览。对入库后的影像进行浏览。主要包括图像漫游、放大、缩小、开窗放大和不同时相影像数据多窗口连动浏览功能。

() 矢量数据建库与管理子系统。矢量数据建库与管理子系统的主要功能是负责矢量数据的入库、权限设置、数据删除等数据管理工作。该子系统被设计为一个能独立运行的应用系统, 主要功能包括: (1) 数据库连接与关闭。根据用户名和密码连接到指定的数据库, 并打开数据库; 在退出子系统时关闭已打开的数据

库。(2) 矢量数据的入库。将用户所指定的某一格式的单个或多个文件中的数据转入数据库中; 将用户指定的文件夹内的所有相同格式的文件一次性批量转入。(3) 数据权限设置。由矢量数据建库人员对不同的数据用户设置数据权限。(4) 数据删除。有删除权限的数据用户可以对指定的图层进行数据删除操作。

() GPS 应用子系统。为了确保违章建设区域判定的准确性, 到实地进行验证是必不可少的一个环节。GPS 主要为野外验证提供导航服务, 并为查违工作提供辅助信息。GPS 应用子系统面向野外作业用户, 系统的硬件环境选用便携机, 通过接口与 GPS 相连, 获取位置信息。

该子系统包括导航模块和查违辅助信息模块。导航模块通过 GPS 获得地理坐标, 在电子地图上显示当前的位置及显示查违目标位置, 从而引导外业查违人员到达目的地, 主要功能包括 GPS 连接、电子地图显示、目标位置选择与标记、地理坐标获取与转换、当前位置实时显示等; 查违辅助信息模块将从影像数据库和图斑数据库中导出的数据连接到 GPS 应用子系统, 并提供图形图像显示、多窗口关联以及基本的图形操作等功能。

() 综合应用示范子系统。综合应用和北京市的重点工程有关, 包括绿化隔离带、五棵松奥运场馆、奥运村和南中轴路建设等, 向北京市规划委员会规委提供特定的素材和专题信息。

综合应用示范子系统是一个专题项目的管理与演示系统, 利用 GIS、遥感分析结果和多媒体、三维等表现方式对北京市热点项目进行可视化表现。该系统作为违法建设大系统的前台, 将违法建设系统生产的数据按照应用专题进行整合, 突出重点工程的多侧面信息的管理与表现。其最终目标是利用系统和多种形式生动反映北京重点工程项目的变化情况; 从全局反映北京市重点工程的规划设计和实施情况; 该系统具有灵活多样的模式, 为今后其他重点工程的演示提供表现平台。

通过与北京市规划委员会的交流, 综合应用系统选择 4 个重点项目作为综合应用示范的核心内容, 即奥运场馆工程、北京 CBD 工程、中关村高科技园区工程、绿化隔离带工程。该系统将对以上 4 个项目的遥感监察成果进行管理和演示, 为规划部门提供工程进度、环境信息、辅助工程的控制与监察。

() Web GIS 应用子系统。Web GIS 应用是在本

系统建立的审批数据库、影像数据库以及变化图斑数据库的基础上,通过内部网环境向北京市规划委员会相关部门进行发布信息. Web GIS 应用子系统由地理信息发布和数据维护两部分构成. 地理信息发布部分总体结构采用跨平台的多层 B/S 体系结构,以 Oracle 数据库做后台支持,通过将矢量数据与影像数据相结合方式,直观形像地展现所需的信息,提供良好的可视化和简单、方便的操作界面. 它的最基本形式可以被描述为一个“逻辑上”的 3 层计算模型,即表示层(客户端)、服务器层、数据层. 在这 3 个逻辑层中的应用元素通过一组业界标准的协议、服务和软件连接器互相连接起来. WEB GIS 数据维护部分直接读取存放在数据库中的矢量和影像数据信息,由系统管理员对数据进行组织和设置,提供给发布部分使用.

2.2 系统实现

系统基于国产基础地理信息系统平台 GeoStar 企业版组件和控件以及 GeoSurf 网络地理信息系统平台的基础上进行开发,系统可以支持多个用户进行并发作业和访问. 系统所使用的 GIS 数据库以 Oracle Spatial 方式进行存储. 为充分保证数据库系统的稳定性、安全性、高效性和海量数据存储及快速访问能力,在服务器端采用 Oracle9i 数据库服务器,操作系统为 Sun Solaris 8 操作系统,数据库客户端操作系统采用 Windows 操作系统. 同时,为了高效率访问 Oracle 数据库和充分利用 Oracle 数据库提供的强大功能,直接调用 Oracle 提供的 API 接口 OCI(Oracle Call Interface)来访问 GIS 数据库. 系统运行界面如图 5 所示.

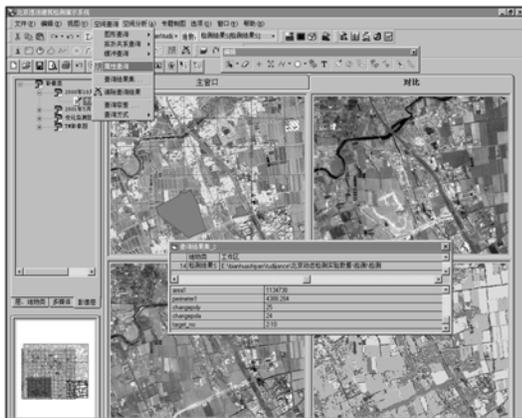


图 5 违法检测系统主界面

3 系统应用

目前,该系统已经投入应用实践 5 年多,出色地完

成了多项城市违法建设监测和查处项目. 例如,通过对北京清河-沙河 300 多平方公里地区的检测,发现 143 处建设发生变化,建设变化总面积为 657 万平方米,建设变化单元最大面积为 209 万平方米. 随机抽查 21 处建设变化地进行实地考察,发现有 4 处合法建设,2 处农业结构调整,15 处违法建设,其违法建设建筑占地总面积为 26765 km^2 ,违法建设占地总面积为 2703000 km^2 . 图 6(a)~(d)显示了该地区几处典型违法建设实例,图 6(e)显示了的是一处小型违法建设实例. 在人机交互的作业模式下,系统的违法检测率接近 100%.

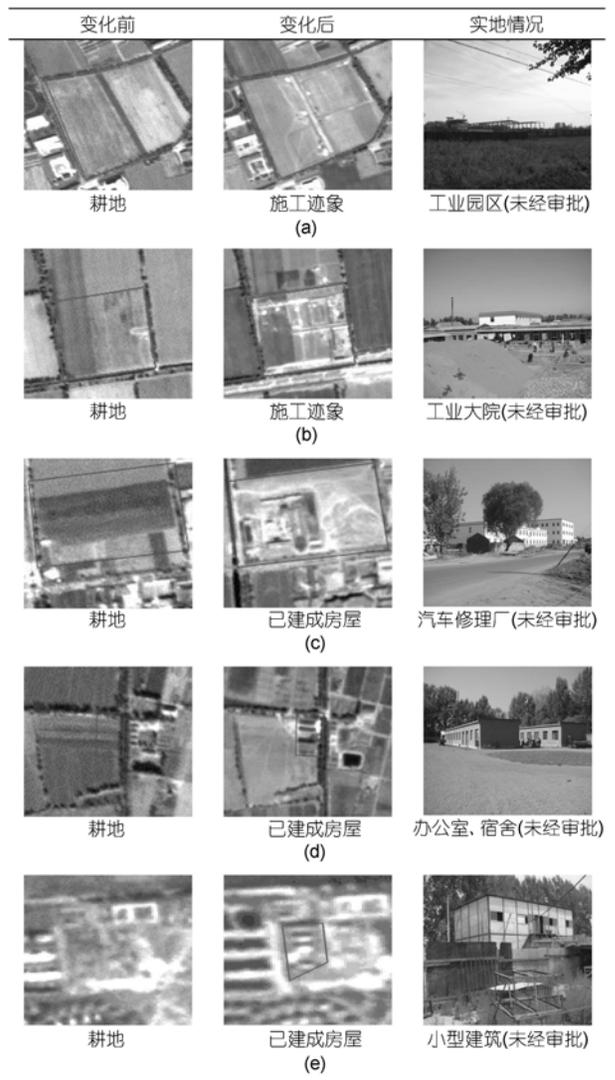


图 6 违法建设监测实例

4 结论

本文研究了以多时相遥感和 GIS 为核心的多技术集成在违法建设监测和发现中的应用流程及关键

技术,并在此基础上设计和实现了北京市违法建设监测查处系统.系统以我国国产卫星影像作为数据来源,大大降低了数据和设计的成本,也给实际应用带来了巨大的经济效益.实践表明,集成高科技 RS, GIS, GPS(“3S”)技术进行城市违法建设的监测和查处,具有发现率高、发现及时、工作效率高等特点,在2008年北京奥运会的筹办和北京市城市规划中起到了重要的支撑作用.

一方面,基于多时相遥感影像和 GIS 的变化检测研究目前正经历一个快速的发展时期,由于它涉及到

影像几何辐射校正、影像特征提取和描述、知识表达、多源数据和知识集成分析等众多理论、方法和大量应用细节,因而还需要不断地充实和完善;另一方面,对现有的先进技术方法进行整合与集成,从而使整个违法建设监测和发现的流程更加高效,也是本研究今后需要继续深入的难点问题.总之,本文的成果不仅是“3S”集成技术在我国城市违章建筑监测方面的一次成功实践,也为该技术在我国城市规划、退耕还林、占补平衡及土地管理、历史文物保护等相关领域的推广应用提供了宝贵的借鉴和参考.

致谢 感谢北京市遥感信息研究所提供的系统运行数据资料.

参考文献

- 1 马建文,田国良,王长耀. 遥感变化检测技术发展综述. 地球科学进展, 2004, 19(4): 192—196
- 2 张晓东,李德仁,龚健雅,等. 遥感影像与 GIS 分析相结合的变化检测方法. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(3): 266—269
- 3 王思远,张增祥,周全斌,等. 遥感与 GIS 支持下的中国森林植被动态变化分析. 资源科学, 2002, 24(5): 64—69
- 4 苏国中,张剑清,陈炳贵. GIS 知识引导的正射影像变化检测及更新. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(8): 664—672
- 5 Bouziani M, Goita K, He D C. Change detection of buildings in urban environment from high spatial resolution satellite images using existing cartographic data and prior knowledge. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007. IEEE International, 2007. 2581—2584
- 6 Lu D, Musel P, Brondizio E, et al. Change detection techniques. Int J Remote Sens, 2004, 25(12): 2365—2407 [DOI](#)
- 7 Petit C C, Lambin E F. Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. Int J Geogr Inform Sci, 2001, 15(8): 785—803 [DOI](#)
- 8 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(5): 7—12
- 9 钟家强. 基于多时相遥感影像的变化检测. 博士学位论文. 湖南: 国防科学技术大学研究生院, 2005. 18—33
- 10 姜涛,马国锐,秦前清. 基于遥感影像的变化检测技术. 计算机应用研究, 2005, 2: 255—257
- 11 Dai X, Khorram S. The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 1998, 36(5): 1566—1577
- 12 张迁,刘政凯,鹿彦伟,等. 基于 SUSAN 算法的航空影像的自动配准. 测绘学报, 2003, 32(3): 245—250
- 13 邢帅,谭兵,李建胜,等. 基于小面元的多源遥感影像高精度配准方法. 测绘学院学报, 2003, 20(2): 124—128
- 14 张继贤,李国胜,曾钰. 多源遥感影像高精度自动配准的方法研究. 遥感学报, 2005, 9(1): 73—77
- 15 杨常清,王孝通,徐晓刚,等. 基于特征空间的航空影像自动配准算法. 测绘学报, 2005, 34(3): 218—221
- 16 殷硕文. 一种基于线特征的高分辨率遥感影像配准方法. 测绘技术装备, 2007, 9(2): 3—5
- 17 胡岩峰,刘波,李峰. 一种基于统计分析的图像变化检测方法. 光子学报, 2005, 34(1): 146—149
- 18 蔡喜琴,曹建君,蔡迪花,等. 中巴地球资源卫星 CCD 影像几何纠正方法比较. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 396—398
- 19 Walter V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. ISPRS J Photogr Remote Sens, 2004, 58: 225—238 [DOI](#)
- 20 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. 地理学报, 2000, 55(2): 151—160
- 21 王密,龚健雅,李德仁. 大型无缝影像数据库管理系统的设计与实现. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(3): 294—300