

高速公路沿线设施管理信息系统

杨 林¹, 沙 薇¹, 盛业华¹, 谯世均²

(1 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046; 2 青海油田钻采工艺研究院钻井室, 敦煌 736202)

摘要: 针对我国高速公路建设发展迅速而信息化管理相对薄弱的现实, 论述了车载三维数据采集系统对高速公路沿线设施的空间坐标采集和相关地理信息系统建立的实现过程, 即所有设备在工控机控制下, 利用 GPS 授时进行同步工作, 采集汽车平台运移过程中道路及两侧地物目标的立体图像、视频图像、三维点云以及瞬时坐标和姿态参数。通过后处理软件, 获得道路及其沿线设施的空间坐标, 并基于目标的几何特征和相关属性信息, 建立高速公路沿线设施空间数据库, 最终建立管理信息系统。实验表明, 经过原始采集和处理后的空间数据能保证一定的精度, 系统的开发基本满足相关部门的需求, 具有较高的推广应用价值。

关键词: 高速公路; GIS; 车载三维数据采集系统

1 引言

当前, 高速公路及其附属设施示意图一般是采用常规测量手段, 以竣工图纸形式记录的, 这种作业方式不但效率低, 而且由于这些数据不具有地理空间坐标信息, 成果不直观。同时, 养护数据是单独以文本或数据库的方式保存, 两者缺少直接的关联, 而且各高速公路公司基本上使用各自的缺乏关于整个路网总体信息的数据库管理模式, 极大地阻碍了高速公路信息化管理的实现^[1]。为加强各高速公路管理部门之间工作的协调性, 提高工作效率和经济效益, 本文以京沪高速江苏段为实验对象, 采用车载三维数据采集系统获取设施的空间坐标数据, 基于 GIS 技术进行数据的管理, 设计并实现了高速公路沿线设施采集与管理。

本文的实验系统是在 Windows XP 的环境下, 采用分布式客户机/服务器(C/S)开发模式, 以 Visual C#.net 程序设计语言作为开发语言、Supermap Object 2003 作为 GIS 二次开发平台的集成开发环境, 并集成 SQL Server2000 数据库, 实现数据的可视

化管理。

2 车载三维数据采集系统集成

本项目以南京师范大学 VGE 教育部重点实验室开发的车载三维数据采集系统(如图 1 所示)作为高速公路沿线设施原始数据的采集系统。

车载三维数据采集系统以瑞风商务汽车为平台, 集成了 4 台 CCD 高速摄影机、1 台高速视频摄像机、3 台线阵列三维激光扫描仪、1 部高精度差分 GPS/惯性导航设备(DGPS/INS)。所有设备在工控机控制下, 利用 GPS 授时进行同步工作, 采集汽车平



车载三维数据采集系统外观



车载三维数据采集系统内部控制平台

图 1 车载三维数据采集系统

Fig.1 Vehicle-borne 3D data acquisition system

收稿日期: 2006-11-14; 修回日期: 2007-03-19.

资助项目: 国家“863”“虚拟地理环境系统的研究与开发”课题(2001AA135130); 国家自然科学基金项目“面向地学机理与过程模拟分析的三维空间数据模型研究”课题(40671147)。

作者简介: 杨林(1976-), 女, 汉族, 湖北武汉人, 讲师, 博士, 主要从事数字摄影测量和 GIS 研究。E-mail: yangcius@126.com

台运移过程中道路及两侧地物目标的立体图像(立体像对)、视频图像、三维点云以及瞬时坐标和姿态参数。通过后处理软件,可得到道路及两侧三维目标的真实三维地理坐标,通过三维建模(几何特征)、图像识别(属性特征),建立高速公路沿线设施空间数据库。

系统中 DGPS/INS 是最关键的设备。DGPS 利用两台 JAVAD Lexon-GD GPS 接收机(一台固定于地面,一台加装在车顶)同时接收来自四颗以上 GPS 卫星的信号,以差分方式求解车载平台各仪器设备自身的三维坐标;而 INS 利用 iNAV-FMS-LSURV 的惯性导航功能,实时给出任意时刻的三轴角度,从而可为车载平台各仪器设备提供运行时的空间姿态角。为根据其他设备获取的图像、点云等解算目标的三维坐标和形态等提供真实地理空间的位置和姿态参数。在数据采集前系统中各设备通过标定场(见图 2)进行严密的参数标定。

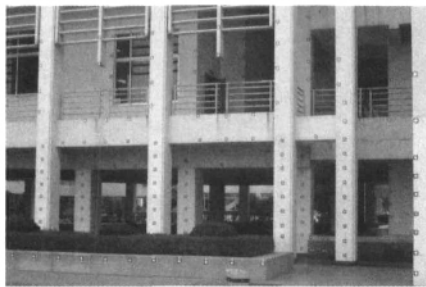


图 2 车载三维数据采集系统三维标定场

Fig.2 3D calibration field

3 系统功能模块设计与流程

为了实现对高速公路及其附属设施的高效管理,本项目利用车载三维数据采集系统所获得的立体影像,研究和开发简捷易用、高精度的基于立体影像的高速公路沿线设施的快速采集与管理系统。该系统可在不需要地面控制点的前提下,实现影像的自动或半自动匹配得到空间对象的真实三维坐标。其目标是实施项目管理控制,CCD 影像数据、视频数据、GPS 定位数据和 INS 定姿的实时采集、显示和存储,地物属性数据的实时采集、显示和存储,对象的三维空间坐标及各种几何信息的提取,数据的建库与管理,以及面向高速公路行业需求的 GIS 功能实现。

3.1 系统功能模块设计

通过对高速公路管理部门的组织机构、主要业务和业务流程的调查分析,提出系统功能的要求。

总体功能是利用车载系统获取的设施立体像对进行立体量测得到道路沿线设施的三维空间坐标及其他几何要素后,对各种设施进行编码,并将其对应的各种属性存入数据库,在数据库中进行各种设施的属性管理及查询、编辑等操作。实现道路沿线可视化及道路设施文档化,从而对道路数据进行高效的管理。系统的功能构成如图 3 所示。

具体包括以下内容:

(1) 系统检校。非量测 CCD 像机的高精度相对标定,及其绝对标定。利用标定场的立体影像,改进现有的像机标定模型,全面地解算出左像机、右像机的内、外方位元素,包括像主点的位置、像机的主距、镜头畸变系数、CCD 成像阵列的纵横比例因子、以及两个像机的相对方位元素;然后利用标定点的绝对坐标和相对坐标,解算系统的绝对定向参数,从而可以利用立体影像解析计算空间对象的真实三维空间坐标^[2]。

(2) 影像匹配。以影像金字塔匹配、灰度投影匹配以及特征匹配等方法,实现无引导点的半自动或全自动影像匹配,快速、准确地得到目标特征点在立体像对左、右图像上的像元坐标(亚像元级),为解算空间对象的三维空间坐标奠定基础^[3]。

(3) 道路测量及道路附属设施的测绘。利用 GPS 差分处理的结果,可以得到每次采集过程的道路轨迹信息;通过立体像对同名像点的自动或半自动匹配的结果,根据立体量测的三维坐标解析模型,来计算空间对象的三维空间坐标,继而进行距离、面积、角度等几何参数的量算。

(4) 基础地理数据整合建库、更新及应用。对此,在基础地理数据入库的同时,还要考虑其他数据,如专题数据的入库、地图文件的保存;应用系统包括基础地理数据的查询、统计、输出及各类应用等,除了数据的无缝管理外,还应提供对成果数据等的管理。通过这部分系统功能,建立基础地理信息共享的数据基础。

(5) 道路设施数据整合建库及其管理。利用立体像对的立体量测得到道路沿线设施的三维空间坐标及其他几何要素后,对各种设施进行编码,并将其对应的各种属性存入数据库,在数据库中进行各种设施的属性管理及查询、编辑等操作。

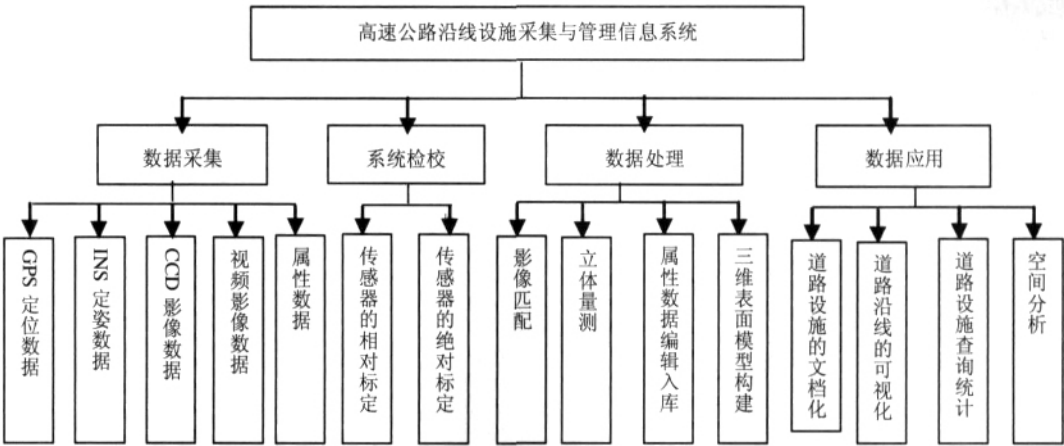


图 3 系统功能模块
Fig.3 Modules of function

(6) 视频序列影像的采集。基于 GPS 的视频序列影像采集记录系统，利用连续的 GPS 导航和定位信息为视频序列影像提供地理坐标参考，实现道路沿线可视化及道路设施文档化，从而对道路数据进行高效的管理。

(7) 数据处理软件系统开发和测试。根据以上研究成果，设计和开发一个实用的、一体化的立体影像的道路沿线设施采集与管理信息系统，并在高速公路道路管理的实际应用中检验系统的正确性、可靠性和可用性，在反复修改完善后，形成一个完整的软件系统，并将系统推广应用。

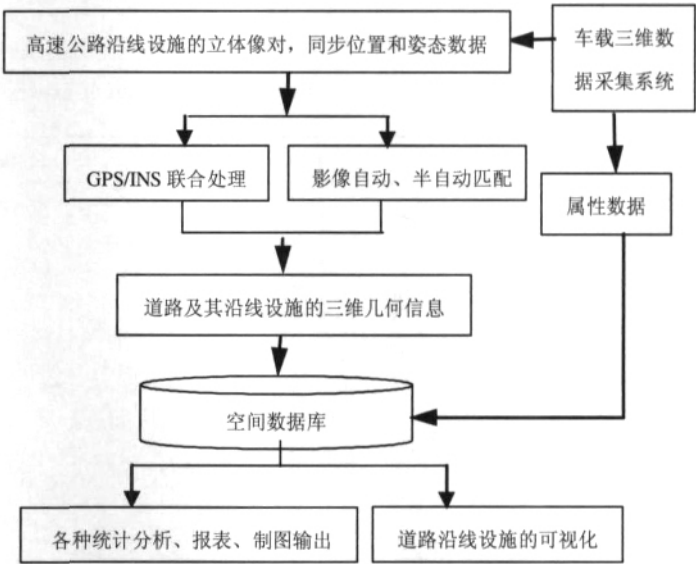


图 4 项目技术路线图
Fig.4 Flowing frame of technology

3.2 技术路线与实现流程

通过车载移动三维数据采集系统，快速地获取高速公路沿线设施的序列立体像对，及对应拍摄时刻的 GPS/INS 定位和定向数据，内业通过影像处理理论与数据处理方法获得目标三维空间数据，并将几何信息和各种属性信息存入数据库，以进行公路沿线设施的管理，技术路线如图 4 所示。

实现立体影像的高速公路沿线设施的快速采集与管理信息系统，要涉及到一些关键的信息技术，项目实施期间涉及的关键技术主要有：相机标定技术、影像匹配技术和视频序列影像的处理技术等，实现无地面控制点的野外数据采集，获取三维空间坐标。

具体的技术流程：

(1) 数据采集：基于 GPS 的视频序列影像及参

考地理坐标、道路设施立体像对及基于立体像对的立体量测得到道路沿线设施的三维空间坐标及其他几何要素。

(2) 数据录入：将现场采集的影像及基于影像所获得的设施空间信息存入数据库，并录入相关属性信息；

(3) 对象建模：按照事先划分的要素类型，分别由组成要素的点自动构建点、线和面对象；

(4) 数据可视化：要素对象的可视化以及基础地理数据整体数据展示；

(5) 应用与分析：数据查询、数据统计、空间分析(缓冲分析、网络分析等)；数据出图：分层显示、专题制图。

4 系统数据库设计与建设

数据组成包括,1 25 万江苏省基础地理数据(包括行政区划、道路、水系等);高速公路沿线设施地理数据,即基于 GPS 的视频序列影像及参考地理坐标、道路设施立体像对及基于立体像对的立体量测得到道路沿线设施的三维空间坐标及其他几何要素。以及高速公路沿线设施属性数据,如沿线设施的编码、名称、组成点串、所属桩段、所属路段,以及其他有关的属性数据。

4.1 数据库编码设计

高速公路沿线设施数据量大,数据类型多样,

为减少数据冗余度,方便对数据的分类、统计、检索和分析处理,提高处理速度,便于管理,节约存贮,因此在充分考虑所设计的分类编码应有具有唯一性、标准性和通用性、可扩充性和稳定性、易修改性等特点的基础上。对高速公路沿线设施 GIS 中有关数据元素或数据结构进行分类编码设计,如表 1 所示。

4.2 数据库总体设计

(1) 数据文件组织

系统采用 Supermap Objects 2003 作为 GIS 二次开发平台,其 GIS 数据管理与组织层次如表 2 所示。

表 1 设施分类编码表
Tab.1 Classification of express establishment

| 一级分类 | 二级分类 | 三级分类 | 要素类型 |
|------|------|------------------------|--------------------------------------|
| 对象 | 编码 | 对象 | 编码 |
| 道路要素 | 0 | 车道、路崖 | 00 面 |
| | | 路面材质、标志 | 01 标注 |
| | | 交叉点 | 02 点 |
| | | 中央隔离带和绿化带 | 03 隔离带/绿化带 00/01 线 |
| | | 桥梁 | 04 00 面 |
| | | 天桥 | 05 00 面 |
| | | 互通 | 06 00 面 |
| | | 隧道、涵洞口 | 07 00 面 |
| | | 护坡 | 08 00 面 |
| | | 挡土墙 | 09 00 面 |
| | | 防护栏 | 10 00 线 |
| | | 防护罩 | 11 00 线 |
| | | 警告标志/禁令标志/高速公路指示标志/指路标 | 00/01/02/ 点 |
| | | 道路路标 | 12 志/旅游区标志/道路施工安全标志/辅助标志 03/04/05/06 |
| | | 道路交通禁止标线/道路交通指示标线 | 07/08 线 |
| | | 道路电子公告牌 | 13 00 点 |
| | | 行道树 | 14 00 线 |
| | | 路灯 | 15 00 点 |
| | | 交通信号设施 | 16 00 点、线 |
| | | 电杆 | 17 00 点 |
| 设备设施 | 1 | 交通通讯设施 | 18 00 点、线 |
| | | 服务区建筑物 | 19 00 点、线、面 |
| | | 沿路设施 | 20 00 点、线、面 |

表 2 高速公路沿线设施管理 GIS 数据组织

Tab.2 Data management of express establishment GIS

| 对象 | 名称 | 说 明 | 特征类型 | 备 注 |
|------|---------|--------------------------|-----------|----------------------|
| 工作空间 | EEGIS | 以系统名称命名 | .smw | 系统所有对象集合 |
| 数据源 | BaseGIS | | .sdd/.sdb | 1:25 万江苏省基础地理数据 |
| | 路段名 | 以数据管理单位（路段/ 桩段）的名称来命名 | | |
| 数据集 | 要素 1 | 以要素名和所属类型命 | 点、线、面、复合、 | 利用三维车载系统量测得到的轨迹和设施定 |
| | 要素 2 | 名 | 文本或网络数据集 | 位数据，与基础数据融合前，需要进行坐标转 |
| | | | | 换和编辑处理。 |
| 图层 | 同数据集 | | | |
| 地图 | 图层组合 | 以地图出图的内容来定 | | |

需要说明的是,在数据集和图层的设计实现过程中,通常是按照设施类别进行划分,点对象,如报警电话、亭点、路标点等;线对象,如防护栏、隔离带等;面对象,如车道、建筑物等;复合对象按照设施的功能划分,如服务区(内含各种类型的设施对象);文本对象主要用于备注,根据实际需要分为点状注记、线状注记和面状注记三种类型。网络对象是基于线数据集生成的,在本系统主要用于路网分析,进行相应的系统分析、空间查询和过程维护。系统开发主界面如下图 5 所示。

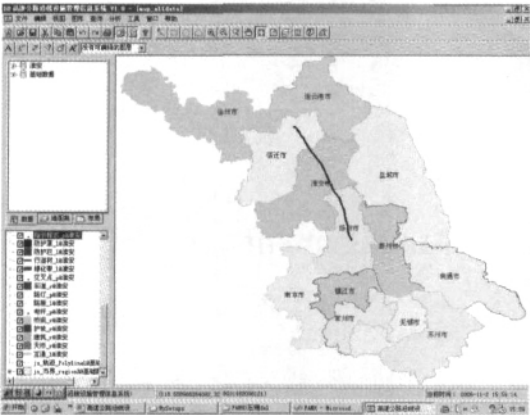


图 5 系统开发界面

Fig.5 Interface of the system

(2) 数据库相关表单设计

系统采用 SQL Sever2000 数据库,管理原始采集空间数据与相关属性数据。包括有原始采样点数据表、点对象表、线对象表、面对象表和复合对象表。以原始采样点数据表和面对象表为例,表 3,表 4 分别列出了相关数据库结构。

表 3 原始采样点数据表

Tab.3 Table of sample data

| 列名 | 描述 | 数据类型 | 说明 |
|--------|------|---------|----|
| ID | 点标识 | varchar | |
| name | 名称 | varchar | |
| X | 坐标 X | float | |
| Y | 坐标 Y | float | |
| Z | 坐标 Z | float | |
| leftX | 左片行号 | float | |
| leftY | 左片列号 | float | |
| rightX | 右片行号 | float | |
| rightY | 右片列号 | float | |
| remark | 备注 | varchar | |
| IP | 流水标识 | numeric | 非空 |

表 4 面对象表

Tab.4 Table of regional object

| 列 名 | 描 述 | 数据类型 | 说 明 |
|--------------|----------|---------|------------|
| ID | 面对象标识 | varchar | |
| Points | 组成该要素的点串 | varchar | 对应主表的 ID |
| Name | 面对象名称 | varchar | |
| Code1 | 一级编码 | varchar | |
| Code2 | 二级编码 | varchar | |
| Code3 | 三级编码 | varchar | |
| Area | 面积 | float | |
| Image | 原始影像 | image | 现场采集影像 |
| Stake | 所属桩段 | varchar | |
| Road | 所属路段 | varchar | |
| Remark | 备注 | varchar | |
| DescribeInfo | 描述信息 | varchar | 标牌信息、路标内容等 |
| IP | 流水标识 | numeric | 非空 |

4.3 扩展接口设计

高速公路路政管理、设施的养护等是高速公路日常工作的重要的内容,其相应的业务数据,如路面状况调查数据库、桥梁检测数据库、养护质量检查数据库等,与沿线设施 GIS 数据库有着紧密的联系^[4],因此在本系统数据库的设计过程中还要进行扩展数据库接口设计。扩展对象属性表的设计要根据用户具体的要求来定制,目前是通过在数据库主表中字段‘ID’来进行关联,在数据录入界面也要提供给用户针对不同对象可以进行详细数据录入的子界面(子界面的设计由用户的具体要求来定制),提供了 SQL Server、Oracle、Access 和文本类文件的查询接口。以高速公路桥梁检测记录表为例,表 5 是设计的相应数据库结构。

表 5 桥梁特殊检查记录表
Tab.5 Table of bridge inspection

| 列名 | 描述 | 数据类型 | 说明 |
|-------|-------|---------|------------|
| ID | 桥梁编号 | varchar | 对应各对象表的 ID |
| Name | 桥梁名称 | varchar | |
| Road | 路线名称 | varchar | |
| Stake | 桥位桩号 | varchar | |
| Size | 桥跨组成 | varchar | |
| IP | 流水标识 | numeric | |
| | | | |

5 结论

利用车载三维数据采集系统,在无地面控制点的情况下,采用专门数据处理软件系统,高精度地提取道路及其附属设施的三维形态信息,并建立相应地理信息系统进行可视化管理和分析,是本系统的最大特点。其有效地实现数字立体摄影高速公路沿线设施的快速采集与管理,具有广阔的市场推广应用前景。对加强高速公路沿线设施的自动化管理,有重要的现实意义。但是,系统在高速公路沿线设施的分类、编码和应用功能开发等方面有待进一步地完善。

参考文献

[1] 胡郁葱,钟慧玲,徐建闽. GIS技术在高速公路数据库系统中的应用. 公路交通科技, 2001, 18(5): 71~74.
[2] 牛芩涛. 数字立体近景摄影测量系统的标定与解析模型研究. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005, (5): 30~46.
[3] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997: 180~189.
[4] 王华斌, 万 庆. 高速公路养护管理信息系统设计与开发. 地球信息科学, 2005, 7(4): 71~76.

GIS for Express Establishment Management

YANG Lin¹, SHA Wei¹, SHENG Yehua¹, QIAO Shijun²

(1 Key Lab. of Virtual Geographical Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China;
2 Section of Artesian Well, Drilling and Production Technology Research Institute of Qinghai Oilfield, Dunhuang 736202, China)

Abstract:The article introduces the implementation of data acquisition and relative GIS of express establishment based on vehicle- borne 3D data acquisition system. Namely, the stereo images, video images, 3D point cloud data, instantaneous coordinates and attitude of the roads and the geographical objects along them could be captured during the vehicle running on the control of GPS. Through the post- processing software the spatial coordinates can be figured out, and the spatial database, even the GIS of express establishment were founded based on geometric information and attribute information. The application proved that the processed spatial data had good accuracy. The system and application meets the demand of relative users and is worthy to be popularized widely.

Key words: express; geographical information system; vehicle- borne 3D data acquisition system