

基于 POS 数据的车载面阵 CCD 影像 与激光点云融合处理研究

侯艳芳^①, 叶泽田^①, 杨勇^②

(^① 中国测绘科学研究院, 北京 100039;

^② 首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100048)

摘要: 车载数据处理是车载移动测绘系统的重要组成部分, 面阵 CCD 是其影像传感器, 主要用来获取地物的纹理信息, 激光扫描仪可实时获取地物的三维点云信息。本文介绍了一种面阵 CCD 影像数据和激光点云数据的融合算法, 首先介绍了该融合算法的基本原理及流程, 并给出了融合结果及分析, 最后验证了该融合方法的准确性及可行性。

关键词: POS; 面阵 CCD; 激光点云; 融合处理

doi: 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.04.015

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2011)116-0076-04

Research on Integrated Processing of Vehicle-borne Array CCD Images and Laser Point Cloud Based on POS Data

HOU Yan-fang^①, YE Ze-tian^①, YANG Yong^②

(^① Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing 100039;

^② The Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract: Vehicle-borne data processing is an important part in the vehicle-borne mobile mapping system. The array CCD is a digital camera sensor, which can acquire the images information of the objects and the laser scanner can acquire 3D point cloud data. In this paper, an algorithm which can integrates array CCD images data and laser point cloud is proposed. Firstly the basic principle and course of the integration are introduced and the integration result and analysis are given. At last, experiments show that the integration algorithm is accurate and practicable.

Key words: POS; array CCD; laser point cloud; images data processing

1 引言

近年来, 随着 GPS 技术、惯性导航技术、CCD 影像及激光测量技术的发展与成熟, 多平台和多传感器集成技术成为获取地球空间信息的一种趋势^[1-2]。其中地面数据获取平台具有其他平台不具备的优势, 是具有发展潜力和应用前景的陆基数据获取平台^[3-4]。

本文依托“国家 863 计划”课题: 车载多传感器集成关键技术研究(2006AA12Z324)。该课题主要是利用先进的定位定姿传感器(Positioning Orientation System, POS)、激光扫描传感器(Laser Scanner, LS)和数码影像传感器, 研制开发车载多传感器集成快速数据获取与处理系统, 即车载移动测绘系统(Mobile Surveying & Mapping Platform system, M S M P)。

收稿日期: 2010-06-21 修订日期: 2010-10-28

基金项目: 国家 863 项目“车载多传感器集成关键技术研究”(2006AA12Z324)。

作者简介: 侯艳芳(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向为车载三维数据获取、处理及应用。

E-mail: gishyf@126.com

在 MSMP 系统中, 激光扫描传感器可实时获取路侧地物的三维几何信息, 面阵 CCD 相机可获取大幅面的街景信息。本文将面阵 CCD 影像数据和三维激光点云数据进行融合处理, 得到具有真实颜色信息的地物点云信息, 从而在地物识别、分类、三维建模等方面发挥重要的作用。

2 融合算法

2.1 系统集成

课题研制的 MSMP 系统主要集成了全球定位系统(GPS)、惯性测量单元(Inertial Measure Unit, IMU)、LS、CCD 等新型传感器。其中, GPS 和 IMU 构成 POS 传感器, 主要为车载移动测绘系统提供高精度的位置姿态信息^[5]; LS 和 CCD 称为遥感传感器, LS 主要用于地物的几何形状测量, CCD 用来获取地物纹理信息^[6]。

由文献[7]可知, 课题研制的 MSMP 系统是基于高精度 GPS 时间系统来建立时间基准的, 可将各个传感器的时间统一到 UTC(Coordinated Universal Time) 或 GPST(GPS Time); 在空间同步检测方面, 利用 GPS 静态位置测量技术建立了室内多传感器空间同步检测场地, 利用自行设计的检测装置和检测算法, 获取了 GPS、面阵 CCD、激光扫描仪及 IMU 之间的相对位置和姿态数据。

2.2 融合的基本原理

在 MSMP 数据采集过程中, POS 传感器可提供系统在任意时刻的位置和姿态数据, 其中由差分 GPS 提供系统的位置, 动态精度可达到厘米级; IMU 通过输出航向角、俯仰角和横滚角来提供系统的姿态数据。LS 获取的点云数据与 POS 信息进行融合, 可得到具有绝对坐标的三维激光点云图。面阵 CCD 通过自行研发的自动曝光控制系统来实现影像数据的采集。

融合的基本原理是: 首先根据系统时间同步控制器、系统空间检校数据及 POS 数据, 利用自行设计的程序算法, 解算出面阵 CCD 获取的每幅图像的外方位元素; 然后利用共线方程得到激光点在图像上的像素坐标; 最后把对应像素的颜色属性值赋给点云数据, 得到的就是具有真实颜色属性的地物激光点云图。

2.3 融合流程

在面阵 CCD 影像数据和三维激光点云数据融合中, 最重要的是确定激光点在影像上对应的像素坐标。其基本处理流程图如图 1 所示。

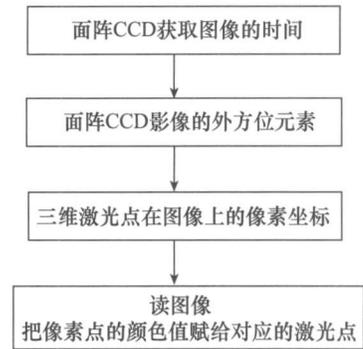


图 1 融合算法流程图

①面阵 CCD 获取图像时间

在 MSMP 系统中, 根据系统需求, 研制了面阵 CCD 曝光控制系统, 该系统在给相机发送曝光脉冲采集图像的同时, 也记录了这一时刻的计算机时。MSMP 系统是基于 GPS 建立时间基准, GPS 接收机提供了用于时间同步的秒脉冲(Pulse Per Second, PPS)输出功能和打标输入功能。因此通过采集图像的时间和同步控制脉冲可解算获取每幅图像时刻的 GPS 时。而在实际实验过程中, 由于在给相机发送脉冲到相机闪光脉冲之间还有一段时间间隔, 为了保证时间同步的精确性, 本文做了时间间隔测试实验, 经实验测试, 时间延迟了 0.037706s。因此, 最后可解算出获取每幅图像时刻对应的 UTC 时间。

②解算面阵 CCD 影像外方位元素

由文献[8]可知, 一幅影像的外方位元素包括: 摄影中心相对于物方空间坐标系下的位置数据和影像面的姿态信息。由 DGPS/IMU 组合导航可得到 POS 数据, 其主要包括 UTC 时间信息、GPS 位置信息和 IMU 姿态信息, 根据时间对齐, 可解算出每幅图像对应的 POS 信息。

通过在室内建立多传感器空间同步检测场, 可得到各传感器之间的相对位置和姿态数据^[7]。主要有静态检校的 GPS 天线中心位置和面阵 CCD 摄影中心位置、CCD 相对于 GPS 坐标系的旋转矩阵 $R_{\text{CCD}}^{\text{GPS}}$ 、LS 到 GPS 坐标系的旋转矩阵 $R_{\text{LS}}^{\text{GPS}}$ 及 LS 到 IMU 的旋转矩阵 $R_{\text{LS}}^{\text{IMU}}$ 数据, 实验数据如下:

表 1 空间检校数据

	X(E)	Y(N)	Z
GPS 天线中心	289.631	968.856	52.244
面阵 CCD 摄影中心	289.574422	968.901096	51.807117

$$R_{\text{CCD}}^{\text{GPS}} = \begin{pmatrix} -0.175368 & -0.014580 & -0.984392 \\ -0.984462 & 0.013031 & 0.175202 \\ 0.009081 & 0.999810 & -0.016639 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R_{LS}^{GPS} = \begin{pmatrix} 0.982383 & 0.184753 & -0.028897 \\ -0.184407 & 0.982773 & 0.010302 \\ 0.030302 & -0.004788 & 0.999529 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R_{LS}^{IMU} = \begin{pmatrix} 0.999993 & 0.030423 & -0.006081 \\ -0.030425 & 0.999995 & 0.001546 \\ 0.006069 & -0.001538 & 1.000000 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$R_{IMU}^{GPS} = \begin{pmatrix} \cos(P) \times \cos(Y) & -\cos(P) \times \sin(Y) & \sin(P) \\ \sin(R) \times \sin(P) \times \cos(Y) + \cos(R) \times \sin(Y) & -\sin(R) \times \sin(P) \times \sin(Y) + \cos(R) \times \cos(Y) & -\sin(R) \times \cos(P) \\ -\cos(R) \times \sin(P) \times \cos(Y) + \sin(R) \times \sin(Y) & \cos(R) \times \sin(P) \times \sin(Y) + \sin(R) \times \cos(Y) & \cos(R) \times \cos(P) \end{pmatrix} \quad (4)$$

根据检校的 GPS 天线中心位置和面阵 CCD 摄影中心位置数据,可计算出 GPS 天线中心坐标 $(X_{GPS}, Y_{GPS}, Z_{GPS})$ 和面阵 CCD 摄影中心坐标 $(X_{CCD}, Y_{CCD}, Z_{CCD})$ 之间的相对位置关系为:

$$\begin{aligned} X_{CCD} &= X_{GPS} - 0.056578 \\ Y_{CCD} &= Y_{GPS} + 0.045096 \\ Z_{CCD} &= Z_{GPS} - 0.436883 \end{aligned} \quad (5)$$

面阵 CCD 影像数据的姿态解算是关键环节。根据 IMU 实时输出的姿态信息,由公式(4)可解算出 IMU 相对于 GPS 坐标系的旋转矩阵 R_{IMU}^{GPS} ,其中 Y 为航向角(Yaw)、P 为俯仰角(Pitch)、R 为横滚角(Roll)。

由室内静态检校数据 CCD 相对于 GPS 的旋转矩阵 R_{CCD}^{GPS} 、LS 到 GPS 的旋转矩阵 R_{LS}^{GPS} ,可求知面阵 CCD 和 LS 的相对姿态数据 R_{CCD}^{LS} 为:

$$R_{CCD}^{LS} = R_{GPS}^{LS} \times R_{CCD}^{GPS} \quad (6)$$

由公式(4)求得的 IMU 相对于 GPS 坐标系的旋转矩阵 R、公式(3)的 LS 相对于 IMU 的旋转矩阵 R_{LS}^{IMU} ,可求知动态条件下 LS 相对于 GPS 的旋转矩阵 R_{new}^{LS} 为:

$$R_{new}^{LS} = R_{IMU}^{GPS} \times R_{LS}^{IMU} \quad (7)$$

因此,根据公式(6)和公式(7)可解算出在获取每幅图像时 CCD 图像在 GPS 坐标系中的姿态数据,即面阵 CCD 坐标系相对于 GPS 坐标系的旋转矩阵 R_{new}^{GPS} 。

$$R_{new}^{GPS} = R_{new}^{LS} \times R_{CCD}^{LS} \quad (8)$$

③激光点在对应图像上的像素坐标^[8]

共线方程是摄影测量处理的重要理论基础,由影像的外方位元素和三维激光点坐标,利用共线方程可解算出激光点在图像上的像平面坐标,进而可解算出激光点在对应影像上的像素坐标。

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_1(X - X_c) + b_1(Y - Y_c) + C_1(Z - Z_c)}{a_3(X - X_c) + b_3(Y - Y_c) + C_3(Z - Z_c)} \\ y - y_0 &= -f \frac{a_2(X - X_c) + b_2(Y - Y_c) + C_2(Z - Z_c)}{a_3(X - X_c) + b_3(Y - Y_c) + C_3(Z - Z_c)} \end{aligned} \quad (9)$$

公式(9)为共线方程,在式中:

x, y 为像点的像平面坐标;

x_0, y_0, f 为影像的内方位元素;

X_c, Y_c, Z_c 为面阵 CCD 摄影中心的物方空间

坐标;

X, Y, Z 为激光点的物方空间坐标;

$a_i, b_i, c_i(i=1, 2, 3)$ 为影像的 3 个外方位角元素组成的 9 个方向余弦,即是面阵 CCD 影像的姿态信息。

④生成地物彩色点云图

在融合处理中,面阵 CCD 图像为 24 位 BMP 文件,图幅大小为 $5K \times 4K$ 。根据三维激光点在图像上对应的像素坐标,将该像素点的 RGB 值赋给该激光点,最终得到的就是具有真实颜色属性信息的彩色点云。

3 融合结果及分析

本文中的实验数据是在北京鲁谷地区利用 MSMP 系统获取的。面阵 CCD 相机主要用来获取大幅面的影像数据;激光扫描仪可实时获取路侧地物的几何形状信息,即以高密度“点云图”方式显示。融合处理是在 VC++ 6.0 开发环境中实现。

图 2 是面阵 CCD 曝光控制系统获取的影像,这是相邻的 4 张图像。图 3 是原始激光点云,即没有地物颜色属性信息的点云图。图 4 是用图 2 中的 4 张图像和图 3 激光点云融合处理的结果,从融合结果图中可看出细节内容,如汽车、门面牌、电线杆等,其中绿色的点云是没有对应 CCD 影像的点云,因此较好地实现了面阵 CCD 影像和激光点云的融合匹配。

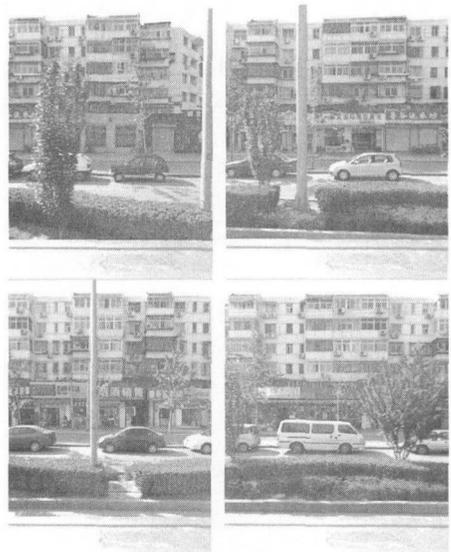


图 2 面阵 CCD 系统获取的四幅相邻影像

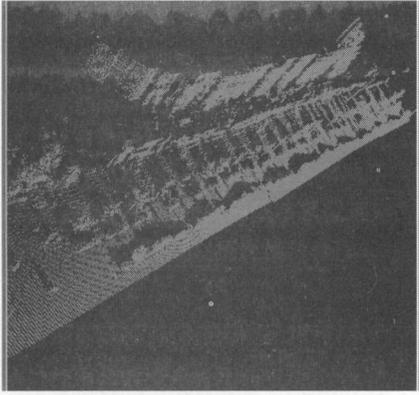


图3 激光扫描仪获取的点云信息

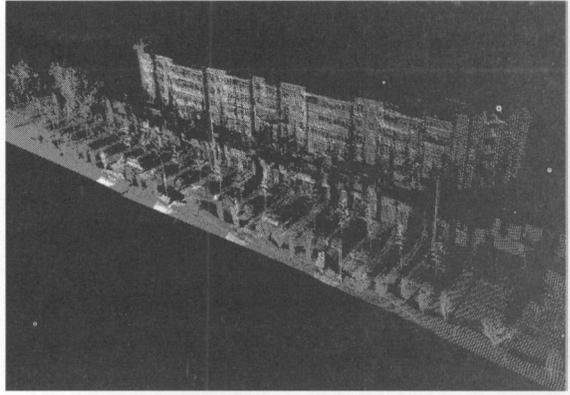


图4 面阵 CCD 影像和激光点云融合结果

4 结束语

车载多传感器集成数据处理是车载移动测绘系统的后期重要工作。本文对车载 CCD 影像数据和激光点云数据的融合处理进行了研究,该部分主要涉及了多传感器集成系统的时空配合、组合导航等

关键技术。该融合效果可直观说明 MSMP 系统的数据采集性能。本文通过试验证明了融合匹配的准确性。随着车载数据后处理系统的不断完善,其也可在进一步的地物识别、地理信息更新、三维建模等研究领域发挥重要的作用。

参考文献

- [1] 李德仁, 胡庆武, 郭晟, 陈智勇. 移动道路测量系统及其在科技奥运中的应用[J]. 科学通报, 2009, 54(3): 312-320.
- [2] 《摄影测量与遥感在中国》编委会编. 摄影测量与遥感在中国[M]. 北京: 测绘出版社, 2008: 5-22.
- [3] 叶泽田, 刘先林, 钟若飞, 刘百奇. 车载多传感器集成快速数据获取与处理系统研究[J]. 中国科技成果, 2008(21): 46-48.
- [4] 李德仁, 郭晟, 胡庆武. 基于 3S 集成技术的 LD2000 系列移动道路测量系统及其应用[J]. 测绘学报, 2008, 37(3): 272-276.
- [5] 房建成, 杨胜, 刘百奇. 高性能 POS 及其在移动测图系统中的应用[J]. 红外与激光工程, 2009, 36(增刊): 478-482.
- [6] 陈允芳, 叶泽田, 等. IMU/DGPS 辅助车载 CCD 及激光扫描仪三维数据采集与建模[J]. 测绘科学, 2006, 31(5): 91-92.
- [7] 叶泽田, 赵文吉. 地表空间数字模拟理论方法及应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2010: 120-148.
- [8] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 12-16.

中国测绘科学研究院成功处理国产天绘一号卫星数据

近日,中国测绘科学研究院摄影测量与遥感研究所成功完成对国产天绘一号卫星数据处理试验工作。“天绘一号卫星”的 CCD 高分辨率三线阵相机地面像元分辨率 5 米,光谱范围 0.51 μm ~0.69 μm ,相机交会角 2 $^{\circ}$;多光谱相机地面像元分辨率 10 米,范围 0.43 μm ~0.52 μm ,0.52 μm ~0.61 μm ,0.61 μm ~0.69 μm ,0.76 μm ~0.90 μm 。成像幅宽 60 公里,轨道高度 500 公里。天绘一号卫星影像与 IKONOS、WorldView 等遥感卫星数据一样,提供了有理函数模型所使用的 RPC 参数作为其摄影测量处理的基础。

试验所使用的数据为两景相邻轨道的天绘一号卫星影像数据,成像时间分别为 2011 年 3 月 9 日和 2011 年 4 月 22 日,数据包括 10 米分辨率多光谱数据、2 米分辨率数据和 5 米分辨率三线阵数据,且成像质量较好。数据覆盖范围为北纬 35.93 $^{\circ}$ ~36.59 $^{\circ}$,东经 106.77 $^{\circ}$ ~107.98 $^{\circ}$ 之间,覆盖范围约 6000 km^2 ,为陕甘交界区。该区域为黄土高原西北部,属典型的黄土地貌,黄土塬、梁、峁十分发育,地貌破碎,是比较理想的试验数据。

试验过程中该院使用自主研发的高分辨率遥感影像一体化测图系统 PixelGrid,对天绘一号卫星影像进行试验区控制数据的准备及量测、稀少控制点影像区域网平差及精度分析、高精度数字高程模型提取及初步分析、正射影像纠正及融合等步骤的处理。处理结果表明,天绘卫星影像质量较好,可提供真正的 5 米分辨率同轨三线阵立体成像;数据存档情况与现势性较好,有利于进行 1:5 万数字高程模型、数字线划图的内业采集;其区域网平差精度可以满足我国 1:5 万测图的要求;数字高程模型对地貌细节的表达好,精度高,有利于 1:5 万数字高程模型数据的自动采集。

天绘一号卫星于 2010 年 8 月 24 日在酒泉卫星发射中心发射成功,主要用于科学研究、国土资源普查、地图测绘等诸多领域的科学试验任务。对该星获取的遥感影像信息的成功处理,将对我国科学研究和国民经济建设起到积极促进作用。