

移动道路测量系统及其在科技奥运中的应用

李德仁*, 胡庆武*, 郭晟, 陈智勇

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079;

武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079;

立得空间信息技术有限公司, 武汉 430074

* 联系人, E-mail: qwhu@263.net

2008-12-09 收稿, 2009-01-19 接受

国家自然科学基金重点项目(批准号: 49631050)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB701302)、国家级火炬计划(批准号: 2001EB000923)、国家科技型中小企业技术创新项目(批准号: 00C26224210856)和电子信息产业发展基金(批准号: 信部运[2004]479 号)资助

摘要 多平台和多传感器集成技术对于快速获取空间数据是一种趋势. 本文介绍了基于多传感器集成技术的地面移动道路测量系统的工作原理和技术框架, 分析了移动道路测量进行空间信息服务的特点和优势, 提出了移动道路测量系统空间定位测量的解析模型、GPS/IMU 组合导航模型、多传感器同步模型、多传感器协同检校和误差模型, 进一步给出了移动道路测量系统空间信息应用的技术流程, 提出了基于可量测实景影像的“真图”地理信息服务引擎, 并采用移动道路测量系统及“真图”引擎进行奥运场馆建设动态监测和奥运安保服务, 在此基础上对移动道路测量系统获取的可量测实景影像在科技奥运中的应用进行了讨论和分析, 对移动道路测量系统提供的可量测实景影像空间信息服务进行了总结和展望.

关键词

移动测量系统
可量测实景影像
奥运应用

信息化测绘利用陆海空天地一体化的导航定位和遥测遥感等空间数据获取手段来自动化、智能化和实时化回答何时、何地、何目标发生了何种变化, 并且把这些时空信息随时随地提供给每个人, 服务到每件事, 对于实现面向奥运信息公共服务的宏伟目标至关重要. 目前测绘工作正朝着信息化、数字化和智能化的方向发展, 传统的测绘科学也发展成为以 GPS、RS 和 GIS 为代表的 3S 集成空间信息学科. 同时, 基础地理信息的表达方式也发生着巨大变化, 传统的模拟地形图已不再能够作为地理信息的有效载体, 取而代之的是信息量丰富、直观易读、更新便捷的数字化影像地图(除了空间数据和矢量数据外, 还需要包含可量测的真三维图像、实景影像、多媒体视频和 360°全景图片, 从而使得对象的表达更为全面和直观)^[1~4]. 当汽车导航、LBS 个人移动位置服务、数字城市和数字地球等快步向我们走来, 如何快速、全面地采集人们需要的地理信息, 如何对地理信息进行及时更新, 成为测绘社会化服务的首要问题^[3,5,6]. 而高精度动态定位定姿技术、数字传感器技术、近景摄影

测量技术以及自动控制技术的飞速发展和集成融合, 使得一种在移动状态下进行的近景摄影测量和地面遥感成为可能, 产生了一个新的分支学科——移动道路测量, 为空间信息的快速高精度测量和更新开辟了一个新的途径.

移动道路测量系统(mobile mapping system, MMS)是 20 世纪 90 年代兴起的一种快速、高效、无地面控制的测绘技术^[7,8]. 第一个现代意义的 MMS 为 20 世纪 90 年代初美国俄亥俄州立大学制图中心(CFM)开发的 GPSVan, 它是一个可以自动和快速采集直接数字影像的陆地测量系统; 加拿大卡尔加里大学和 GEOFIT 公司开始为高速公路测量设计开发了 VISAT 系统; 德国慕尼黑联邦国防军大学也研制了基于车辆的动态测量系统(kinematic surveying system, KISS), 用于交通道路和设施的测量, 并可为 GIS 提供数据; 武汉大学李德仁主持研制了 WUMMS 系统, 并广泛应用于道路测量、地形图修测更新. 从 20 世纪 90 年代中后期至 21 世纪初, 很多基于相似概念的商业系统也在开发之中, 例如 GPS VisionTM, GI-EYETM,

LD2000TM, ON-SIGHTTM, POS/LVTM 等等, 目前国际上最大的地理信息数据提供商 NavTeq 和 TeleAtlas 均采用移动道路测量系统进行导航电子地图、位置服务数据的采集与更新^[8~12], 但这些研究与应用均是 将 MMS 作为一种数据采集建库的手段, 它所采集的这 些海量数据的处理、存储与传输在技术上存在许多挑 战. 随着近几年 CCD 传感技术、惯性导航技术、全 球定位技术、计算机高速运算技术、海量存储技术、 网络宽带技术的快速发展, MMS 获取连续立体像对 的处理、存储与发布已经可以在个人计算机和网络上 完成, 从而为 MMS 获取的海量连续的立体像对在空 间信息服务提供了技术支撑.

本文系统地研究了移动道路测量系统空间定位 测量的解析模型、GPS/IMU 组合导航模型、多传感 器同步模型、多传感器协同检校和误差模型, 进一步 给出了移动道路测量系统空间信息应用的技术流程, 提出了基于可量测实景影像的“真图”地理信息服务 引擎, 在此基础上对移动道路测量系统获取的可量 测实景影像在科技奥运中的应用进行了讨论和分析, 对移动道路测量系统提供的可量测实景影像空间信 息服务进行了总结和展望.

1 移动道路测量系统原理及其特点

1.1 移动道路测量系统原理

移动道路测量系统是在机动车上装配 GPS(全球 定位系统)、CCD(成像系统)、INS/DR(惯性导航系统 或航位推算系统)等传感器和设备, 在车辆高速行驶 之中, 快速采集道路及两旁地物的可量测立体影像 序列(digital measurable image, DMI), 这些 DMI 具有 地理参考, 并根据各种应用需要进行各种要素特别 是城市道路两旁要素的任意任时的按需测量(如图 1 所示).

移动道路测量中直接地理坐标参考技术为 DMI 带来的显著优势在于减少地面控制测量的费用, 使 无控制的地面摄影测量成为可能. 移动道路测量系 统获取的 DMI 均具有摄影测量解析所需要的外方位 位置元素和姿态元素, 配合精准的时刻参数, 在严密 的摄影测量检校参数的支撑下, 实现任意空间、时间 序列上的 DMI 构成立体像对, 实现多层次的测量和 数据库无缝融合. 此外, 移动道路测量技术在作业流 程上形成了摄影测量的闭环自动控制, 高精度的空 间坐标数据与包含丰富属性信息的立体影像同时

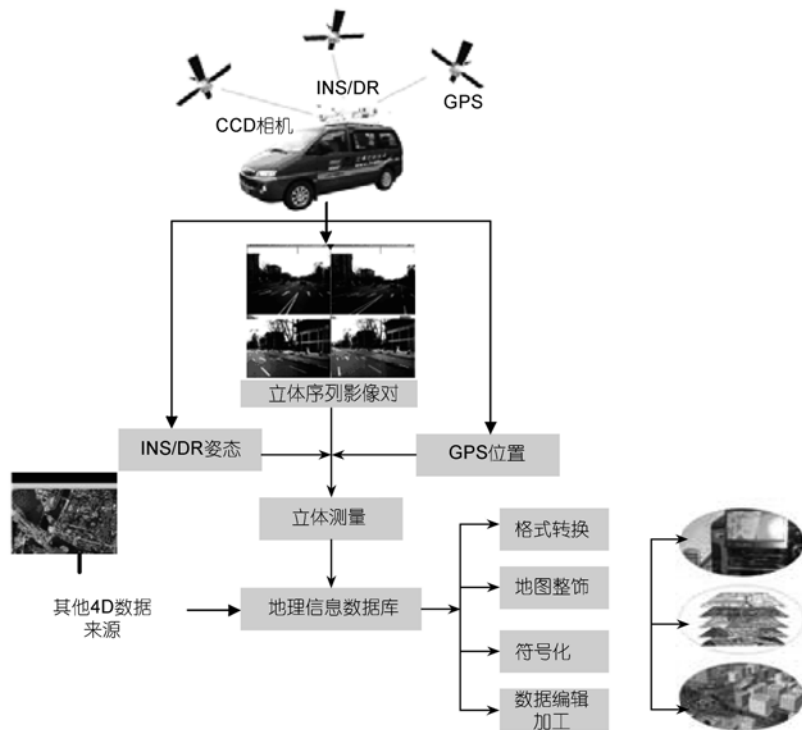


图1 移动测量系统原理

获得, 外业与内业紧密衔接, 避免了人工方式下的人为误差. 而且获取的多方向可量测实景立体影像本身就是数字化产品, 从而大大缩短了从数据采集到产品提供的周期. 若多台移动测量系统同步工作, 一个月内即可获得特大城市的 DMI 产品^[1].

1.2 移动道路测量系统技术框架

移动道路测量系统由数据采集、数据处理与数据应用三部分构成(图2). 通过统一在同一时刻标签和同一个空间参考上的多传感器空间数据采样和融合处理, 形成各种层次的空间数据产品和空间信息服务^[7,8].

1.3 移动道路测量系统的特点和技术优势

移动道路测量系统的特点如下:

(1) 它是一种动态测量技术. 在运动载体上搭载动态定位测量装置, 在载体运动过程中完成目标定位测量.

(2) 它是一种动态瞬间获取被测物体大量物理属性信息和几何信息的测量手段. 在运动过程中获取的立体影像容有被测目标最大的信息(可重复使用的信息, 容易存储的信息), 特别适合于测量点众多的目标.

(3) 它是一种多传感器集成定位测量和空间信息采集的技术. 多个测量传感器相互协调和补充, 扩展了系统的时间和空间的覆盖范围, 增加了测量空间的维数, 避免了工作盲区, 获得了单个测量传感器不能获得的信息. 由于引入多于观测, 多传感器集成空间数据相互融合, 提高了系统工作的稳定性、可靠

性和容错能力.

(4) 它是一种地面遥感技术, 可以非接触测量目标, 获取目标的空间位置, 同时提取目标的各种属性信息.

(5) 它是一种基于严谨的理论和现代的硬软件, 可以提供高精度快速测量的手段, 是对传统测绘技术的一种革新, 可以提高空间地理信息采集和更新效率, 极大地提升测绘保障服务的能力.

移动道路测量技术综合了动态定位测量快速和近景摄影测量信息量大的特点, 加快了测量速度, 从而提高了野外空间数据获取的效率. 获取的可量测实景影像使得数据处理灵活多样, 可以随时从立体影像数据中获得特定目标的测量定位, 改变了以往按照外业、内业工序测量的模式, 实现了“一次测量, 多次应用”的按需测量模式.

2 移动道路测量系统的解析模型

2.1 基本数学模型

移动道路测量系统中地物坐标计算包括三步: (1) 利用车载组合导航模块获取载体中心当前坐标; (2) 根据检校参数计算出 CCD 图像的位置和姿态(摄影测量中的外方位元素); (3) 利用 CCD 立体像对计算地物的空间坐标, 其基本数学模型如(1)式:

$$\begin{aligned} r_C^M &= r_{GPS/IMU}^M + \Delta r_C^{GPS/IMU}, \\ r_O^M &= r_C^M + r_O^C, \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $r_{GPS/IMU}^M$ 为 GPS/IMU 绝对定位结果; r_C^M 为

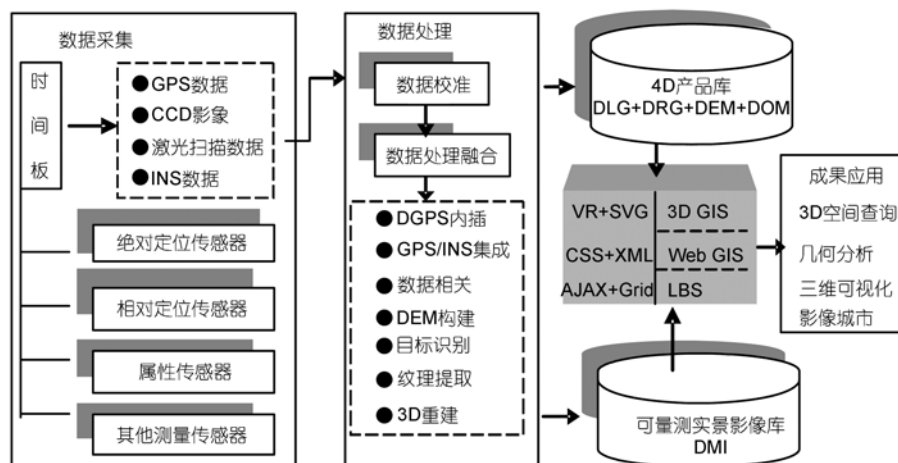


图2 移动道路测量系统技术框架

CCD 图像传感器的绝对位置; $\Delta r_C^{\text{GPS/IMU}}$ 为 CCD 图像传感器和 GPS/IMU 中心的偏心量, 可以通过系统检校得到; r_O^C 为目标地物相对于 CCD 图像传感器的位置; r_O^M 为目标点的绝对坐标。

事实上, 通过立体影像计算目标点相对于 CCD 图像传感器的绝对位置, 一方面要利用 GPS/IMU 的绝对定位结果, 另一方面需要使用 GPS/IMU 提供的载体姿态。因此, (1)式的基本数学模型是移动道路测量解析处理在位置空间的一个简化模型。根据以上基本数学模型, 引入 GPS/IMU 提供的载体姿态可以建立从立体影像到大地坐标的严格解析模型^[13,14]。

2.2 GPS/IMU/MM 组合导航模型

GPS/IMU/MM 组合导航定位处理将 IMU/MM 导航定位参数辅助 GPS 差分动态定位整周模糊度快速解算, 并通过 GPS 载波相位差分定位结果反馈到 IMU/MM 导航计算模型, 从而结合两种导航定位传感器的优势, 实现动态复杂环境下的连续定位定姿, 其技术流程如图 3 所示。

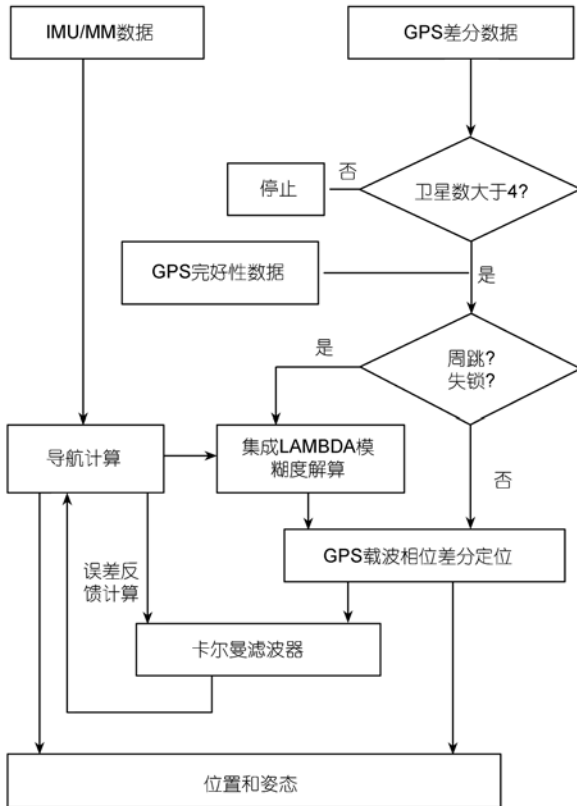


图3 GPS/IMU/MM 组合导航模型

图 3 中 GPS 载波相位差分定位采用了融合 IMU 导航技术的最小二乘降相关方法(LAMBDA 算法), 将 IMU/MM 导航结果作为观测信息引入观测方程, 提高了模糊度浮点解的精度、降低了它们的相关性, 使用一个历元数据即可实现厘米级的高精度定位, 进一步进行组合卡尔曼滤波处理, 实现车载复杂环境下高精度连续地理参考。

2.3 多传感器高精度同步模型

MMS 中各传感器按照各自的采样间隔进行数据采集, 数据输入频率各不相同, 时间精度也各不相同。为了能将同一时刻各种传感器测量出来的数据联系起来, 需要将各传感器数据统一到同一时间坐标轴上, 以实现任意时刻数据集成处理。移动道路测量系统通过一个时间板(time-board)实现各传感器数据的同步记录。时间板有一个高精度的授时单元, 通过 GPS 获取绝对时刻, 并与 GPS PPS 相结合, 从而达到 10^{-4} s 的同步精度, 按照 100 km/h 的测量速度, 由于时间同步引起的位置误差为 2.78 mm, 即同步误差对系统影响可忽略不计。

2.4 多传感器协同检校模型

由于各个传感器的尺寸和安装限制, 不能将各个传感器的中心如 GPS 天线中心、INS 主体框架中心安装、CCD 相机摄影中心安装重合, 需要通过多传感器协同检校将各传感器中心归算至同一个空间参考点上, 本文采用了一种分级检校方法, 后一级的检校在前一级的检校基础上实现。整个检校过程分为三级: 各相机的内检校、相机之间的相对检校、相机与 GPS/IMU 的绝对检校。

CCD 相机内检校包括镜头畸变系数的检定和相机内方位元素的检定, 采用镜头 5 个畸变系数(3 个径向畸变、2 个切向畸变)、相机的内方位元素(主距和主点)和反映 CCD 像元两个方向大小不一的系数来表示畸变模型, 误差方程如(2)式所示:

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2\bar{x}\bar{y}, \\
 \Delta y &= \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1\bar{x}\bar{y} + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2), \\
 \bar{x} &= x - x_0, \\
 \bar{y} &= y - y_0, \\
 r &= (\bar{x})^2 + (\bar{y})^2,
 \end{aligned} \tag{2}$$

式中, 畸变系数 k_1, k_2, k_3 表示径向畸变, 畸变系数 p_1, p_2 表示切向畸变, x_0, y_0 为实际的像幅中心, $\Delta x, \Delta y$

为变形偏移改正数。

CCD 相机之间的检校基于空间后方交会的解算, 在解算过程中增加了基线不变、旋转矩阵保持不变等约束条件; CCD 相机与 GPS/IMU 的绝对检校将控制点通过 CCD 相机影像解析坐标视为观测值, 由观测值和真值(控制点大地坐标)的差值, 建立误差方程, 解求 CCD 摄影测量坐标系到 IMU 坐标系的变换姿态角及 3 个平移量。实际计算时, 将多个相机联合建立观测方程, 引入相机间固定的位置和姿态约束条件, 最大限度减弱相机参数之间的相关性, 保证了检校结果的可靠性和稳定性, 从而达到优于 0.003° 的绝对检校精度, 优于姿态传感器 IMU 输出精度。

2.5 无控制地理参考——从像片(影像)坐标到大地坐标

移动道路测量系统利用 GPS/IMU 组合导航提供的动态位置和姿态, 为立体像对提供任意时刻的外方位位置元素和角元素, 其实质为像片坐标到大地坐标的变换, 如图 4 所示。

移动道路测量系统中从立体影像解算目标点绝对坐标的详细过程如下:

(1) 立体像对的外方位位置元素(摄站坐标)的计算。设立体影像曝光时刻为 t , 根据(1)式可得两个 CCD 图像传感器位置 r_{C1}^M 和 r_{C2}^M :

$$\begin{aligned} r_{C1}^M &= r_{GPS/IMU}^M(t) + \Delta r_{C1}^{GPS/IMU}, \\ r_{C2}^M &= r_{GPS/IMU}^M(t) + \Delta r_{C2}^{GPS/IMU}, \end{aligned} \quad (3)$$

式中, $r_{GPS/IMU}^M(t)$ 为 t 时刻 GPS/IMU 的位置, 一般约束到 IMU 中心, 通过前后两个位置结果数据内插得

到; $\Delta r_{C1}^{GPS/IMU}$ 为第一个 CCD 图像传感器和 GPS/IMU 中心的偏心量, 通过检校可以计算得到; $\Delta r_{C2}^{GPS/IMU}$ 为第二个 CCD 图像传感器和 GPS/DR 中心的偏心量, 通过检校可以计算得到; r_{C1}^M 为第一个 CCD 图像传感器的空间位置, 可作为立体像对左摄站坐标; r_{C2}^M 为第二个 CCD 图像传感器的空间位置, 可作为立体像对右摄站坐标。

(2) 立体像对的外方位角元素计算。CCD 图像传感器到当前投影坐标系(即以上定义的大地坐标系)的旋转关系可表示为

$$R_C^T = R_I^T R_C^I, \quad (4)$$

式中, R_C^T 为像空间坐标系到大地坐标系之间的旋转矩阵, R_I^T 为 IMU 坐标系到大地坐标系之间的旋转矩阵, R_C^I 为像空间坐标系到 IMU 坐标系之间的旋转矩阵。IMU 坐标系到大地坐标系之间的旋转矩阵 R_I^T 可由 IMU 提供的姿态数据直接获得, 像空间坐标系到 IMU 坐标系之间的旋转矩阵 R_C^I 可由系统检校得到。因此, 设立体影像曝光时刻为 t , 则

$$R_I^T(t) = R(y(t), p(t), r(t)), \quad (5)$$

式中, $y(t)$ 为 t 时刻 IMU 的航向角, $p(t)$ 为 t 时刻 IMU 的俯仰角, $r(t)$ 为 t 时刻 IMU 的翻滚角, R 表示根据 3 个姿态角构成旋转矩阵, $R_I^T(t)$ 为曝光时 IMU 坐标系到大地坐标系之间的旋转矩阵。

因此, 利用(4)和(5)式可以得到立体像对相对于大地坐标系的旋转关系, 即立体像对外方位角元素。

(3) 目标点坐标解算。根据近景摄影测量共线

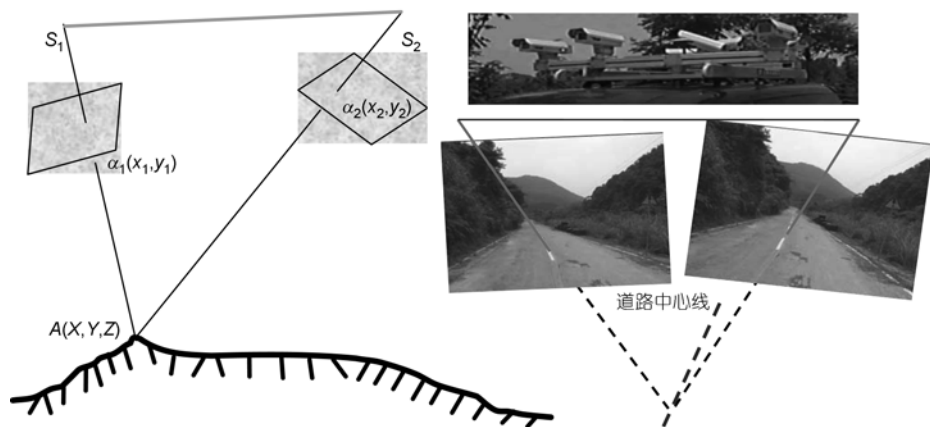


图 4 从像片坐标到大地坐标的过程

条件方程, 对于立体像对左片可得

$$\begin{aligned}\bar{u} &= x - x_0 + \Delta x \\ &= -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}, \\ \bar{v} &= y - y_0 + \Delta y \\ &= -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)},\end{aligned}\quad (6)$$

式中, (x_0, y_0) 为左相片像主点坐标, 可由系统标校内方位元素得到, (x, y) 为左片像点坐标, $\Delta x, \Delta y$ 为系统误差改正数, X, Y, Z 为目标点的物方大地坐标, X_S, Y_S, Z_S 为左摄站坐标, 取 r_{C1}^M , f 为左像片的焦距,

$\begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix}$ 为左像片相对于大地坐标系的旋转矩

阵, 可根据立体像对外方位角元素来计算. 则共线方程可表达为关于目标点 X, Y, Z 的线性方程:

$$\begin{aligned}&\left(a_1 + \frac{a_3}{f}\bar{u}\right)X + \left(b_1 + \frac{b_3}{f}\bar{u}\right)Y + \left(c_1 + \frac{c_3}{f}\bar{u}\right)Z \\ &= \left(a_1 + \frac{a_3}{f}\bar{u}\right)X_S + \left(b_1 + \frac{b_3}{f}\bar{u}\right)Y_S + \left(c_1 + \frac{c_3}{f}\bar{u}\right)Z_S, \\ &\left(a_2 + \frac{a_3}{f}\bar{v}\right)X + \left(b_2 + \frac{b_3}{f}\bar{v}\right)Y + \left(c_2 + \frac{c_3}{f}\bar{v}\right)Z \\ &= \left(a_2 + \frac{a_3}{f}\bar{v}\right)X_S + \left(b_2 + \frac{b_3}{f}\bar{v}\right)Y_S + \left(c_2 + \frac{c_3}{f}\bar{v}\right)Z_S.\end{aligned}\quad (7)$$

同样, 对于立体像对的右片, 也可以根据右像点坐标、摄站位置及右像片的旋转矩阵得到关于目标点 X, Y, Z 的两个方程. 联立左右像片关于目标点 X, Y, Z 的 4 个线性方程, 按最小二乘平差解算, 即可解求目标点大地空间坐标.

2.6 MMS 解析定位的误差模型

根据移动道路测量系统的解析模型, 从影像上计算目标点的大地坐标误差主要包括空间位置误差、空间姿态误差、GPS/IMU 至相机位置姿态的转移误差、立体影像测量误差、时间同步误差和曝光点位置姿态内插误差, 如下式:

$$\delta_M = \sqrt{\delta_D^2 + L^2\delta_O^2 + \delta_{K,D}^2 + L^2\delta_{K,O}^2 + \delta_L^2 + \delta_T^2 + \delta_I^2}, \quad (8)$$

其中, δ_D 为空间位置误差, δ_O 为的姿态误差, $\delta_{K,D}$ 为摄像中心至 GPS/IMU 中心的几何偏心距离量测误差, $\delta_{K,O}$ 为相机姿态转移检校误差, δ_L 为立体影像测量误差, δ_T 为时间同步等效误差, δ_I 为内插误差, L 为摄影距离. 几何偏心距离量测误差 $\delta_{K,D}$ 和相机姿

态转移检校误差 $\delta_{K,O}$ 可以在一个事先布设 200 个高精度控制点的检校场通过后方交会控制在 1 cm 以内, 立体影像测量误差 δ_L 取决于同名点选取. 大量实验表明, 选点误差在 5 cm 以内, 时间同步等效误差 δ_T 和内插误差 δ_I 设计了一个同步精度为 0.1 ms 的时间板使其误差优于 1 cm. 综上所述, 移动道路测量系统测量精度取决于 GPS/IMU 定位定姿误差和测量距离, 采用一个 $1^\circ/\text{h}$ 的 IMU 与双频 GPS 组合, 40 m 处地物测量精度可达到 0.5 m.

3 基于可量测实景影像的“真图”引擎

MMS 通常装配 4~8 个 CCD 相机, 可以按“定速度”或“定距离”两种模式进行移动近景摄影测量. 一张 MMS 图片的数据量一般为 1.4 或 2 M, 一个 200 km² 的城市可量测实景影像库的数据量可达在 1 TB 以上. 要管理、查询和发布如此巨大的数据信息, 需要运用专门的技术手段. 本文提出将 DMI 的空间索引和摄影测量功能以组件化的软件服务打包, 开发了可管理、查询和分发可量测实景影像的“真图”引擎(TrueMap Engine[®]), 并为用户提供浏览、搜索、标注、链接与测量五大功能, 同时开放接口源代码, 可方便地集成到现有数据库、各种 GIS 系统、网络应用系统和企业资源管理系统中, 为行业应用提供一个富信息、可视化、完全开放、易于集成的地理数据平台. 通过符合人眼视觉习惯的实景作为主体构图界面, 直接显示, 编辑空、天、地影像数据、图形数据以及报表数据, 从而使用户与各种数据资源友好交互, 充分挖掘所需要的知识. 基于移动道路测量系统的空间数据服务技术体系如图 5 所示.

“真图”引擎提供的空间信息服务包含着大量地理、环境、社会、经济、人文信息以及可供挖掘的知识, 使得 GIS 应用增加多维的可视化表达空间, 更好地满足业务需求. 如用连续影像的“真图”进行导航, 很容易找到目标地点, 这种实景影像与人们记忆中的“影像”最接近, 实现身临其境的“环境导航”. 图 6 给出了一种基于可量测实景影像的环境导航模式.

4 移动道路测量系统在科技奥运中的应用

4.1 移动道路测量奥运场馆动态监测

奥林匹克森林公园和奥运场馆建设日新月异, 采用传统的测绘技术无法做到实时、直观的工程建设监测, 采用移动道路测量系统获取的可量测真三维图像、实景影像、多媒体视频和 360° 全景图片, 使



图 5 移动测量 DMI 服务技术体系

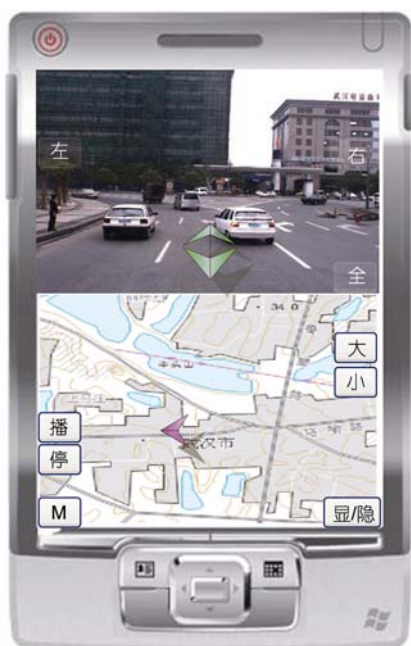


图 6 基于可量测实景影像的环境导航

得对象的表达更为全面和直观,从而实现奥运场所设施动态普查和进度监控。同时,奥林匹克森林公园可量测实景影像在网络平台支持下对公众开放,海外用户均可在电脑面前自由浏览奥林匹克森林公园筑详细信息普查和动态监测(图 7)。

4.2 “真图”奥运安保

传统的安保管理系统是建立在二维电子地图上报表管理系统,不直观,无法涵盖社会人文信息。MMS 在作业过程中拍摄的图像均为连续可量算的三维图像,尤其对于重点关注的线路、地区和部位,均可将其实景图像拍摄下来存放在数据库中,可容许国家安全部门各级用户通过连接到服务器的计算机沿着道路,点击任何位置就可以浏览所需要查看目标的实景图像,达到“可视化的目标管理”水平。此外,MMS采集的数据可以实现可视化的警备路线管理,为重点警用路线提供任意方向的实景影像和视频的浏览、查看、测量等功能,并和实际地图数据相匹配,可以为决策人员提供辅助决策,进行可视化安全线路的选取、

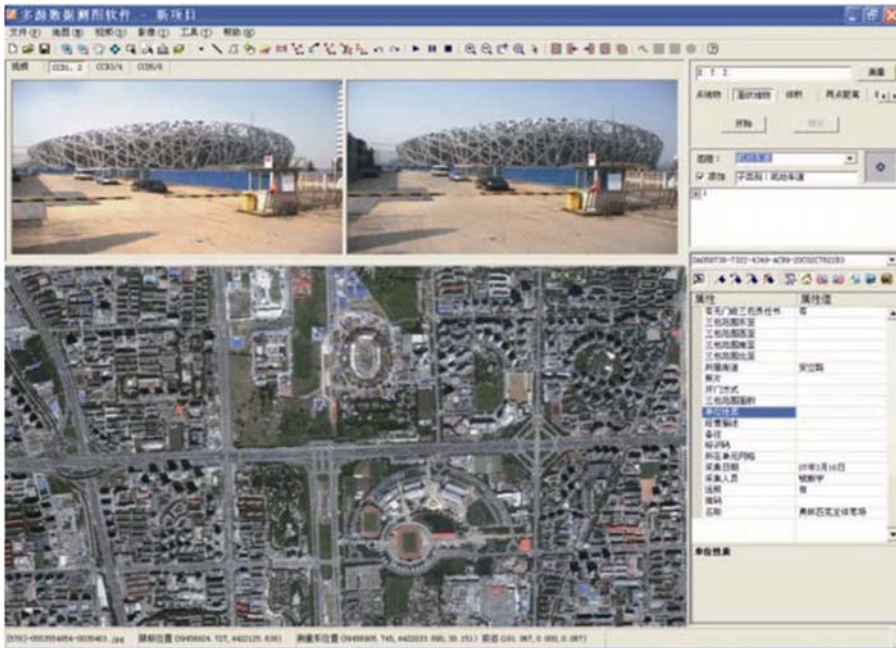


图7 基于MMS的“鸟巢”普查和动态监测

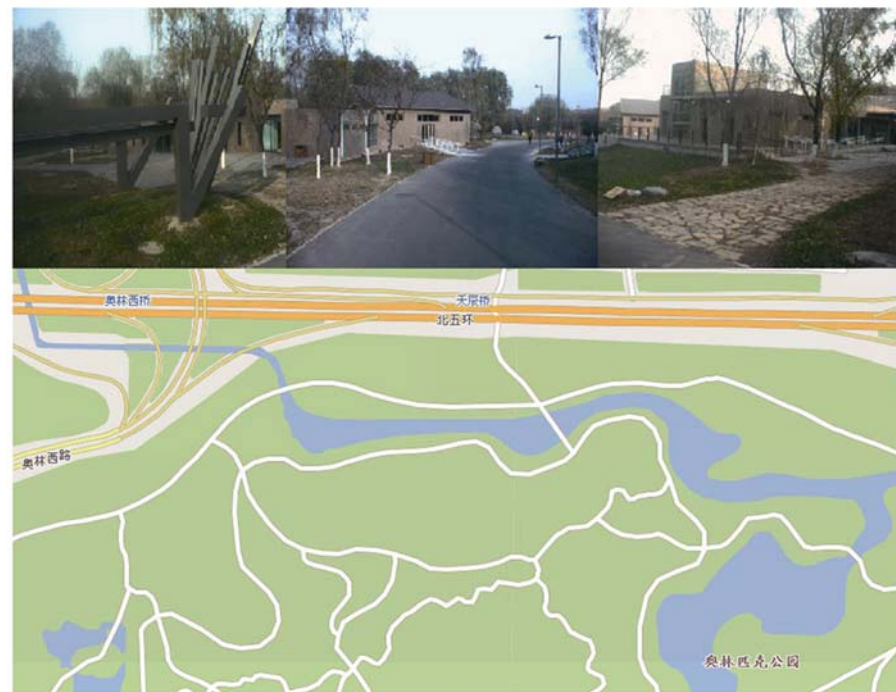


图8 “真图”奥运安保应用

规划、安全距离计算、布防位置设计等,被应用于国家安全部门奥运安保。图8为一个基于“真图”及“真图”引擎的奥运安保服务平台界面。

4.3 影像城市空间信息服务

通过移动测量系统构造全市可量测的实景影像

数据库,使人们可以通过互联网直接查询到与实地相同的地理实景,并且将来会通过3G移动终端(手机、PDA等)为驾驶员和个人提供路线导航服务,通过WAP,实现在线查询周边消费信息和地理信息,最终将为移动和固定终端提供实时具有直观影像的空间信息服务,实现奥运信息更好地满足各类用户的需求和充实用户的参与感和创造力。图8为一个影像城市空间信息服务的案例^[15]。

5 结论与展望

以多传感器集成进行空间地理信息采集与更新是未来空间信息采集与更新的一个发展趋势,随着技术的不断发展和传感器技术的不断进步,以无控制、直接地理参考方式集成的空间地理信息采集与更新将带来美丽的景色,真正做到城市管理实景化,公众服务网络化。图9为基于移动道路测量的奥运村“鸟巢”建筑越来越多的应用。多传感器集成移动道路测量技术与网络化数字摄影测量处理相结合,将极大地提高空间地理信息采集与更新的频率、效率和质量。从集成的移动道路测量系统的应用来看,移动道路测量系统获取的可视可量可挖掘的实景影像DMI可以达到细至厘米空间分辨率,代表了下一代空间数据服务的新方向,在“真图”数据引擎的支持下,可与空间信息网格服务、空间信息自动化、智能化和实时化解析解译服务和网络通信服务有机结合,实现空间信息大众化,为全社会、全体公民直接服务,从而达到做大信息化测绘的目标。



图 9 影像城市空间信息服务

参考文献

- 1 李德仁, 胡庆武. 基于可量测实景影像的空间信息服务. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(5): 377—380
- 2 李德仁. 论智能化对地观测系统. 测绘科学, 2006, 30(4): 9—11
- 3 李德仁. 21 世纪测绘发展趋势与我们的任务. 中国测绘, 2005, (2): 36—37
- 4 李德仁. 从数字地图到空间信息网络——空间信息多级网格理论思考. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(6): 642—650
- 5 Chao L. User preferences, information transactions and location-based services: A study of urban pedestrian way finding. *Comp Environ Urban Sys*, 2006, 30(6): 726—740 [\[DOI\]](#)
- 6 Goodchild M F. Citizens as voluntary sensors: Spatial data infrastructure in the world of web 2.0. *Int J Spat Data Infrastr Res*, 2007, 2: 24—32
- 7 李德仁. 移动测量技术及其应用. 地理空间信息, 2006, 4(4): 1—5
- 8 李德仁, 关泽群. 空间信息系统的集成与实现. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000
- 9 El-Sheimy N, Schwarz K P. Navigation urban areas by VISAT——A mobile mapping system integrating GPS/INS/Digital Cameras for GIS applications. *J Instit Navig*, 1999, 45(4): 275—285
- 10 Yi Y D. Robust GPS/INS Integrated System in Urban Region: GPS/INS/Pseudolite Integration, 24-27 September 2002, Portland. In: *Proceedings of ION GPS*, 2002. 2396—2405
- 11 Sullivan D, Brown A. Precision Kinematic Alignment Using a Low Cost GPS/INS System, 24-27 September 2002, Portland. In: *Proceedings of ION GPS*, 2002. 1094—1099
- 12 Scherzinger B M. Inertial Aided RTK Performance Evaluation, 24-27 September 2002, Portland. In: *Proceedings of ION GPS*, 2002. 1429—1433
- 13 Hassan T. Common adjustment of land-based and airborne mobile mapping system data, the international archives of photogrammetry. *Remote Sens Spat Inf Sci*, 2008, XXXVII, Part B5: 835—842
- 14 Grejner-Brzezinska D A, Toth C K. Moafipoor, performance assessment of a multi-sensor personal navigator supported by an adaptive knowledge based system, the international archives of photogrammetry. *Remote Sens Spat Inf Sci*, 2008, XXXVII, Part B5: 857—866
- 15 Hu Q W. A new web-based geo-information service approach with digital measurable image toward direct virtual reality, the international archives of photogrammetry. *Remote Sens Spat Inf Sci*, 2008, XXXVII, Part B4: 739—744