

# 基于 GIS 的工程测绘机器人自动定位系统设计

马 明

(中国石油大学 地球科学学院, 山东 青岛 266580)

**摘要:** 根据传统定位系统在传递信息时采用惯性传感器, 导致调试结果误差大的问题, 设计了基于 GIS 的工程测绘机器人自动定位系统; 根据工程测绘机器人自动定位系统总体结构, 将系统分为硬件系统和软件系统两部分; 通过 s2c2440 微处理器向 ONPYHON480 图像传感器中发送采集图像信号, 经过 135 mm/F2.8 全面幅远摄定焦光学镜头将图像信号转换为电子信号, 通过直接内存存取系统传送到存储单元之中; 设计电源电路为工程测绘机器人自动定位系统提供设备电力供应, 避免电源本身所产生杂波对系统产生干扰; 选择 PDU 模式收发短信息, 利用 GIS 技术开发电子地图, 实现工程测绘机器人自动定位; 调试结果表明, 该系统具有定位结果误差小的特点, 静态测试点定位误差在 3 mm 以内, 动态测试点定位误差在 6 mm 以内, 辅助提升系统自动化程度。

**关键词:** GIS; 工程测绘; 机器人; 自动定位

## Design of Auto-positioning System for Engineering Surveying Robot Based on GIS

Ma Ming

(College of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

**Abstract:** According to the traditional positioning system, the inertial sensor is used in the transmission of information, which leads to the error of the debugging result. The automatic positioning system of engineering mapping robot based on GIS is designed. According to the overall structure of the automatic mapping system of engineering mapping robot, the system is divided into two parts; hardware system and software system. The image signal is sent to the ONPYHON480 image sensor through the s2c2440 microprocessor, and the image signal is converted into an electronic signal through a 135 mm/F2.8 full-width telephoto focusing lens, which is transmitted to the storage unit through the direct memory access system. The power supply circuit is designed to provide equipment power supply for the automatic mapping system of the engineering mapping robot, so as to avoid the interference generated by the power source itself. Select PDU mode to send and receive short messages, and use GIS technology to develop electronic maps to realize automatic positioning of engineering surveying robots. The debugging results show that the system has the characteristics of small error in positioning results. The positioning error of static test points is within 3mm, and the positioning error of dynamic test points is within 6 mm, which helps to improve the automation degree of the system.

**Keywords:** GIS; engineering mapping; robot; automatic positioning

### 0 引言

工程测绘机器人是测绘过程中最为基础的测绘环节, 也是机器人实现测绘的重要工具。对工程测绘要求是机器人定位精准度要高, 目前机器人工程测绘主要分为两类: 第一类是相对定位, 即位置预测。通过在机器人的装备当中, 传感器是负责机器人在运动过程中, 通过递推累计公式来对机器人活动初期的位置预测, 并把预测结果进行传递。机器人在传递信息时采用惯性传感器, 而惯性传感器在传递过程中容易产生累积误差, 随着机器人的不断移动, 距离越远误差也会逐渐增加, 造成无法对工程测绘远距离的精准定位<sup>[1]</sup>。另外还有一种绝对定位法, 需要机器人获取外界的一些信息, 计算参照位置与自身未知的信息推算

出当前机器人位置。采用这种测绘方法只适合机器人在建筑结构简单的工程, 对于建筑环境复杂的工程, 这种测绘方法不能准确测绘机器人的工作位置。基于上述情况, 提出了基于 GIS 的工程测绘方法, 围绕工程测绘需求设计一套集成度高、精准测量的定位系统, 采用无线移动通信系统进行机器人位置定位的信息测绘。

### 1 系统总体设计

工程测绘机器人自动定位系统总体结构如图 1 所示。

由图 1 可知, 该结构主要是由两大系统组成, 包括软件系统和硬件系统; 操作时通过机器人端与操作客户端的操控进行工作运转; 机器人分为硬件系统和软件系统两部分, 其中 GPS 接收机、计算机属于硬件系统负责接收信息与计算; 而控制软件、GIS 系统、信息提取程序、地图匹配程度等则属于软件系统。其中, GIS 系统是由专业地理信息系统软件和 Visual C++ 共同构成的, 可通过电子地图分析空间和属性数据, 并利用 VC++ 实现用户界面管理<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2019-10-22; 修回日期: 2019-11-06。

作者简介: 马 明(1984-), 男, 天津人, 大学本科, 工程师, 主要从事地质工程, 测绘和工程物探方向的研究。

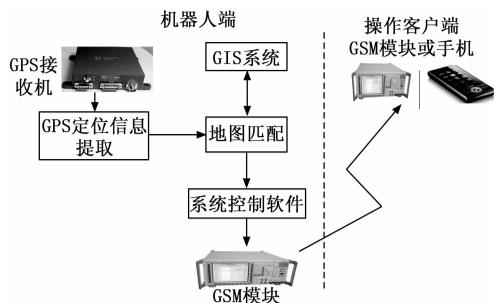


图 1 工程测绘机器人自动定位系统总体结构

系统功能实现分为传感器信号检测、定位分析和数据传输 3 个部分,其中信号检测是指通过加速度计测量机器人不同方向的角速度和加速度;定位分析是在单片机中实现的,根据码盘计数脉冲计算机器人方向角,以此修正输出计算倾角;最后通过数据传输可将模拟信号经过 A/D 转换后全部输出,实现串口与上位机双向通信,实现工程测绘机器人自动定位<sup>[3]</sup>。

## 2 系统硬件结构设计

系统硬件结构连接如图 2 所示。

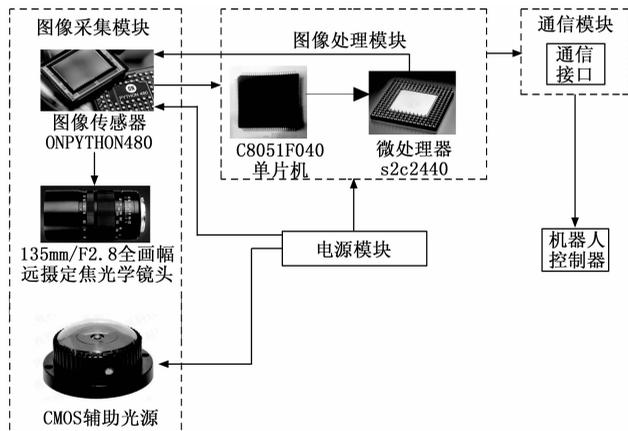


图 2 系统硬件结构连接图

s2c2440 微处理器向 ONPYHON480 图像传感器中发送采集图像信号,待其收到相关信号后,该传感器将光学图像转换为电子信号,再通过 DMA 传送到存储单元之中。s2c2440 微处理器将图像信息从存储单元中读取空间位置和姿态相关信息,再将获取的相关信息发送到机器人控制器来控制工程测绘机器人运动<sup>[4]</sup>。

### 2.1 图像传感器

ONPYHON480 图像传感器与以往的传感器相比,不仅优化了尺寸和功耗,还提高了图像分辨率,在短的曝光时间内可捕获运动中的机器人,通过相关期间保存图像传感器成像性能,通过一个单体通道 LVDS 输出支持每秒 120fps 的读取速度。该传感器具有黑白和拜耳色配置,具有功耗低、性价比高的优势<sup>[5]</sup>。

### 2.2 光学镜头

光学镜头是机器视觉成像系统中重要组成部分,决定

了系统的成像质量和算法的实现效果。依据定焦结构可以分为固定光圈、手动光圈、自动光圈等类镜头,变焦结构可以分为手动变焦和自动变焦及自动光圈电动变焦,和电动三可变镜头,依据镜头的焦距,光学镜头可以分为长焦镜头、中焦镜头和短焦镜头。

课题中的光学镜头,采用 135 mm/F2.8 全面幅远摄定焦光学镜头,其结构为 6 片 6 组的松纳结构,经过光学重新设计,成像质量得以提高,相比于第一代镜头,其体积和重量都有所下降,使其焦外成像更加柔和,适合拍摄工程测绘的周围环境。在光学镜头身上中高档机型可使用 A 档和 M 档自动测光;还可使用 A 档和 M 档合焦拍摄<sup>[6]</sup>。

### 2.3 c8051f040 单片机

c8051f040 单片机是集成在一块芯片上的混合信号系统级单片机,内部形成一个数据采集所需的数字外设以及其他功能部件。该芯片上有 1 个 12 位的多通道 ADC、2 个电压比较器、1 个电压基准和 1 个 32kB 的 FLASH 存储器,最高峰值速度可达到 30MIPS,通过 UART 串行接口实现 CAN 控制器的控制<sup>[7]</sup>。

c8051f040 单片机 MCU 对 CIP-51 内核设置关键项目,可提高整体性能,标准的 8051 只有 8 个中断源,通过对内核中断扩展,可向 CIP-51 提供 20 个左右的中断源<sup>[8]</sup>。该单片机具有 4 个标准的 8051 端口,还附加 4 个外设端口,每个 I/O 端口的引脚都可被配置为漏极开路方式,方便用户使用。

### 2.4 微处理器

s2c2440 型号微处理器的内部和外部数据总线为 32 位,可寻址到 4 GB 内存,并管理 64TB 虚拟存储空间,通过模拟多个微处理器来处理多项任务。s2c2440 型号微处理器是一个 8 KB 的高速缓存集成在一个芯片内,不仅缩短了微处理器与动态随机存取存储器等待时间,而且采用精简指令集技术可在一个时钟周期内完成一条指令,大大提高了内存数据交换速率<sup>[9]</sup>。

### 2.5 GPS 接收机

GPS 接收机可按照一定卫星高速捕获的信号,跟踪该信号对其进行变换、放大处理,以便系统实时计算出工程测绘的三维位置。GPS 接收机按照使用环境可分为低、中、高动态接收机,接收过程负责接收天线单元和接收单元的传递信息<sup>[10]</sup>。

1) 天线单元:天线单元主要负责信号转化过程,通过接收天线对接收的信号转化为相应电流,再由前置放大器进行处理后,传送到射频部分,完成接收机对信号的实时跟踪。

2) 接收单元:接收单元分别对信号波道、存储器、计算器和电源进行接收处理工作,信号波道可将来自 GPS 接收天线信号分离开,方便信息处理与测量。

GPS 接收机对信号的处理可在信号波道中完成,并从噪声中提取卫星信号,即获取机器人运动载体实时位置。GPS 接收机能够捕获到一定活动区域内卫星的信号,通过

不断的变换和放大处理后,测量卫星到接收天线传播时间,采用 GPS 信号定位,实时计算工程测绘距离。

### 2.6 电源电路

电源电路可为工程测绘机器人自动定位系统提供设备电力供应,电源电路原理如图 3 所示。

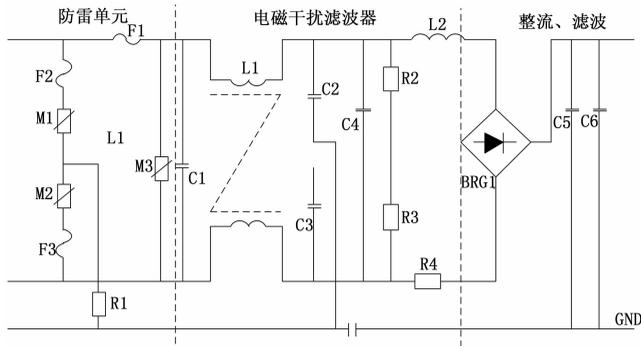


图 3 电源电路原理图

将该电路分为三个部分,分别是防雷单元、电磁干扰滤波器单元和整流单元。其中防雷单元是当机器人自动定位系统出现雷击时,所产生的高压经电网导入到电源之中,通过 M1、M2、M3; F1、F2、F3 组成的电路来保护整个电源电路。当压敏电阻两端电压超过其他工作电压时, F1、F2、F3 会烧毁保护电路。由 C1、C2、C3 组成的滤波网络可对输入电源电磁噪声进行抑制,防止电源本身所产生的杂波对系统干扰。

## 3 系统软件功能设计

系统软件功能设计包括 PC 端控制服务程序和开发板应用程序, PC 端视频数据处理软件可将实时接收机器人通过网络传输过来的视频数据,经过解析后可在开源网络地图中进行定位。

### 3.1 短信息收发

机器人通过 PDU 模式进行接收到短信息, PDU 可以接收任何传递过来的消息内容; PDU 模式下手机为默认编码形式,可以使用任何字符集并支持手机实施定位功能。提取定位数据程序如图 4 所示。

AT 指令负责机器人不同设备之间的互相通信功能,通过设备当中计算机和全球通模块的相关链路,采用 AT 指令可实现不同设备之间短信息的收发。虽然使用 PDU 模式能够发送字符,但缺少直接输入需要发送字符的设备,因此,需先将其转换为 PDU 模式的数据格式,才能将短信息发送出去。

### 3.2 电子地图开发

电子地图是 GIS 系统关键技术,以地理空间数据库为基础,采用地理模型分析方式,采集并管理地理空间信息。利用 GIS 工具软件建立 GIS 功能控件,实现地理信息系统各种功能。地图数据库是电子地图的基础,直接影响数据存储与处理,其具有质量、数量、时间、空间和信息传输特征,根据上述特征,可反映工程测绘本质特征,也是实

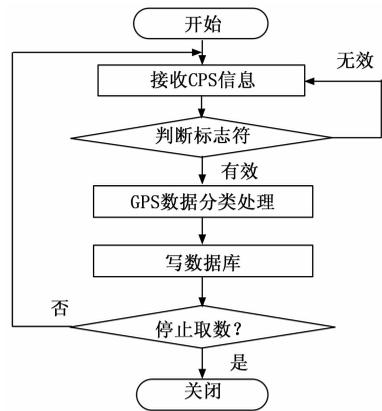


图 4 提取定位数据程序

体相互区别的质量准绳。

通过机器人 GPS 航线与地图上矢量化信息的匹配数据,计算地图匹配值,得出机器人目前行驶的路线,并将机器人当前定位点投影到该路线上。地图匹配算法可分为两个独立过程,一个是寻找工程测绘所需的测绘路线,另一个则对机器人行驶的道路进行定位点投影测绘;通过搜索机器人运行航迹的区域范围,采取曲线匹配的测绘方式,把所有路段的最佳匹配度的量值作为机器人行驶路线。采用直接投影算法,能在很大程度上取消地图匹配所产生的误差,以此待匹配的 GPS 定位点向附近所有道路做投影,通过计算距离度量值得出运行线路,判断机器人是否在该线路上行驶。当在处理线路交叉点附近需要测绘的位置信息时,根据线路连通性,在所有线路中,选择角度变化为最佳线路,作为匹配结果,以此实现工程测绘机器人自动定位。

## 4 系统调试及误差分析

基于工程测绘实践需求,在设计基于 GIS 的工程测绘机器人自动定位系统后期,需调试系统和误差分析,同时提升系统实用性。

### 4.1 实验场景设计

实验地点为 15 m×10 m×5 m 加工实验室,该环境下存在一定干扰现象,为减小人工对工程测绘所带来的误差,基于 GIS 的工程测绘机器人自动定位系统调试结果,通过标记粘贴与人工定位系统进行定位结果对比,完成 QUALI-SYS 系统定位结果的获取。

### 4.2 视频图像获取

机器人所捕获的视频图像需借助 V4L2 编程框架,应用 ffmpeg 压缩成 tnjpeg 图像,通过无线网络传输到 PC 端, V4L2 设置过程如下所示:

打开设备文件,获取设备计算机性能,并查看设备具有的视频输入、音频输入功能。设置视频帧格式,并向驱动申请帧缓冲,及时将缓冲结果映射到用户控件,无需复制。将出队列已经获取的数据帧缓冲,得到原始采集数据,并将其重新入队列尾,并循环采集数据,此时停止视频采

集，关闭视频设备。

### 4.3 校正数据

1) 通过图像传感器部分的光学镜头，利用设定的目标初始坐标值与平面坐标原点位置，来获取目标各项图像数据，这种获取方法可以避免数据偏差。

2) 传感器靶面尺寸大于光学镜头靶面时，则需分析图像周围是否存在黑影；反之，如果图像传感器靶面尺寸小于光学镜头靶面时，则需分析图像边缘是否会突然消失。

3) 工程测绘作业现场环境光线受到外界影响较大，直接关系到二值化图像阈值的选取，进而影响位姿信息。

在数据准备过程中，采集不同高度下图像数据，如表 1 所示。

表 1 不同高度下图像采集数据

测量高度/mm	坐标点 (4 个顶点)	长边像素 点个数	宽边像素点 个数
1 850	(354,382)	976	651.5
	(352,10 365)		
	(1 327,1 035)		
	(1 331,386)		
2100	(1 288,438)	854	570.5
	(1 284,1 010)		
	(431,1 005)		
	(433,436)		
1 600	(252,306)	1 137	760
	(1 391,310)		
	(251,1 065)		
	(1 386,1 071)		

### 4.4 调试结果与误差分析

系统调试分为静态测试点和动态测试点两种测试方法进行定位实验，在工程测绘的定位示意图上选择 10 个点作为实验位置，每个点要进行 400 左右定位数据的采集，调试结果如图 5 所示。

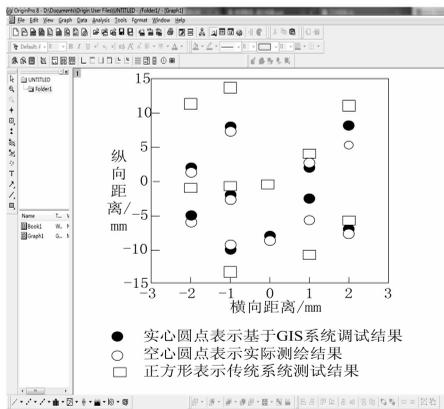


图 5 工程测绘静态测试点定位实验结果

由图 5 可知，实心圆点和空心圆点的横向距离与纵向距离基本一致，当横向距离为 -2 mm 时，实际调试的纵向位置为 -6 mm 和 2 mm，而采用 GIS 的工程测绘系统调试

的纵向位置为 -5 mm 和 3 mm，采用传统系统工程测绘系统调试的纵向位置为 -1 mm 和 12 mm；当横向距离为 2 mm 时，实际调试的纵向位置为 -7.5 mm 和 5 mm，而采用 GIS 的工程测绘系统调试的纵向位置为 -7 mm 和 8 mm，采用传统系统工程测绘系统调试的纵向位置为 -6 mm 和 11 mm。

工程测绘动态测试点定位实验结果如图 6 所示。

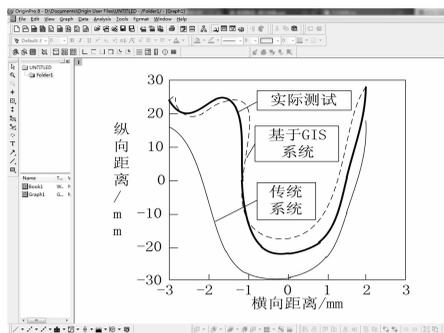


图 6 工程测绘动态测试点定位实验结果

由图 6 可知，实际测试结果与传统系统测试点定位结果虽然存在误差，但测试结果基本一致。而采用基于 GIS 系统与实际测试结果相差较大，当横向距离为 -2 mm 时，实际调试的纵向位置为 25 mm，采用 GIS 系统工程测绘系统调试的纵向位置 20 mm，采用传统系统工程测绘系统调试的纵向位置 -5 mm；当横向距离为 1 mm 时，实际调试的纵向位置为 -8 mm，采用 GIS 系统工程测绘系统调试的纵向位置 -14 mm，采用传统系统工程测绘系统调试的纵向位置 -23 mm。

根据上述内容可知，采用 GIS 系统工程测绘系统调试结果与实际测试结果基本一致，由此可证实基于 GIS 的工程测绘机器人自动定位系统定位误差较小。

### 5 结束语

工程测绘机器人自动定位系统使用 GIS 的工程测绘技术作为定位手段，将视频、地理位置信息传输到远程控制终端，并实时监控机器人所处环境信息。通过实验证明，使用 GIS 的工程测绘技术，操作简单十分方便，机器人系统工作也相对稳定，可实现工程测绘机器人自动定位。目前我国对于机器人自动定位领域的研究，正处于尝试阶段。由于实验环境受到限制，仍需进一步改进，增加机器人轨迹预测。另外，定位系统还可通过稍加完善机器人监控系统，扩大市场潜力。

### 参考文献：

[1] 潘洪刚. 基于激光测量的机器人智能定位系统 [J]. 激光杂志, 2019, 25 (4): 45 - 49.

[2] 郑文磊, 程 磊, 余秋月, 等. 基于自适应观测模型的移动机器人室内蒙特卡罗动态定位系统研究 [J]. 高技术通讯, 2017, 27 (9): 848.