

基于物联网技术的全站仪遥控系统

张荆帅, 陈书鹏, 严妮

(长安大学 信息工程学院, 西安 710064)

摘要: 全站仪作为现代测量技术的代表, 在土地测量、建筑工程等领域发挥着重要作用, 传统全站仪存在操作和数据传输局限性, 而物联网技术的发展使全站仪更智能高效, 对全站仪的数据传输和指令控制以及阿里云物联网平台进行研究, 设计了基于物联网技术的全站仪遥控系统, 网关采用单片机 STM32F103RCT6 作为控制芯片, 通过 4G 模块与阿里云物联网平台建立网络连接, 网关、阿里云物联网平台, 手机 APP 之间使用 MQTT 协议实现数据传输, 确保数据传输安全可靠; 用户使用 APP 实现全站仪的实时监控和远程控制, 同时系统具备数据管理、报表生成等功能, 经实际应用, 系统数据传输准确率为 100%, 满足了工程中使用全站仪测量的基本功能, 提高了操作便捷性和效率。

关键词: 全站仪; 物联网技术; STM32F103RCT6; 4G 模块; 阿里云物联网平台; MQTT 协议; 手机 APP

Total Station Remote Control System Based on IoT Technology

ZHANG Jingshuai, CHEN Shupeng, YAN Ni

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: A total station, as a representative of modern surveying technology, plays an important role in land surveying, construction engineering and other fields, traditional total stations have limited operation and data transmission, but the development of Internet of Things (IoT) technology makes the total station smarter and more efficient, the data transmission and command control of the total station as well as the AliCloud IoT platform are studied, and a total station remote control system based on IoT technology is designed. The gateway adopts the single-chip computer STM32F103RCT6 as the control chip, and establishes network connection with AliCloud IOT platform through 4G module. The MQTT protocol is used to realize data transmission between the gateway, AliCloud IOT platform, and the mobile APP, which ensures that the data transmission is safe and reliable; The user realizes the real-time monitoring and remote control of the total station and the remote control of the total station by using the APP. Users use the APP to realize real-time monitoring and remote control of total station, and at the same time, the system has the functions of data management and report generation, etc. After practical application, the accuracy of the system data transmission is 100%, which meets the basic function of the project in the total station measurement, and improves the convenience and efficiency of operation.

Keywords: total station; IoT technology; STM32F103RCT6; 4G module; AliCloud IOT platform; MQTT protocol; mobile APP

0 引言

全站仪作为现代测量技术的重要代表, 其应用范围涵盖了土地测量、建筑工程等多个领域, 为各行业的发展提供了可靠的技术支持^[1-3]。传统的全站仪通常通过面板上的按钮和显示屏进行操作和数据显示, 用户需要亲自前往现场进行测量和操作, 这种方式存在一定的局限性, 例如需要人力物力的投入, 以及操作和数据传输的局限性。而随着物联网技术的不断成熟和普及, 全站仪也逐渐融入到物联网生态中, 实现了更智能、更高效的数据采集与处理, 现代全站仪普遍具有蓝牙通信功能, 用户可以通过蓝牙连接将数据传输到其他设备上进行处理和分析, 然而, 蓝牙通信存在通信距离有限和成本昂贵的问题, 无法满足远程控制的需求。

文献 [4] 打破传统数字测绘一体化发展模式, 将互联网技术、无线通信技术、计算机技术和数字测绘技术相结

合, 利用通用分组无线业务 (GPRS, general packet radio service) 技术、互联网技术, 通过基于掌上型电脑类的电子设备操作系统 (WCE, windows embedded compact) 对 GTS-720 全站仪进行开发, 实现了全站仪与互联网之间的无线数据 (点信息、属性信息、链接信息) 的交互传输。

文献 [5] 结合全站仪的精密测量功能和掌上电脑 (PDA, personal digital assistant) 数据处理存储功能, 基于 WCE 的通信系统编程开发, 提出一种森林自动化测量技术, 该技术用于获取树干的三维坐标、树高、胸径和树冠, 既能实现测量树木的自动化过程, 又能保证测量的准确性, 大大提高了工作效率。

文献 [6] 将 Leica TM30 智能型全站仪、单片机以及温度等传感器集成, 开发了 Datenbank-orientiertes Monitoring and Analyse System (DABAMOS) 系统, 该系统采用了物联网的三层架构技术, 实现了数据分析与可视化功能^[6]。

文献 [7] 通过建立短监测区单个全站仪位移监测的数

收稿日期: 2024-05-20; 修回日期: 2024-06-28。

作者简介: 张荆帅 (2000-), 男, 硕士研究生。

引用格式: 张荆帅, 陈书鹏, 严妮. 基于物联网技术的全站仪遥控系统[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(12): 131-138.

学模型, 推导了多个全站仪的长隧道区监测模型, 构建了全站仪自动位移监测系统, 在隧道上的实验表明了单个全站仪的可用监测范围, 验证了多个全站仪监测长区的准确性。

文献 [8] 利用全站仪、无线数据传输系统、计算机软件等技术, 研发一整套全站仪数据无线传输软硬件系统, 该系统由全站仪外部辅助传送器、上位机端外部辅助传送器、三维测量系统软件以及电子塔尺组成, 其数据传输在 120 m 范围内传输正确率为 100%。

文献 [9] 采用物联网架构、嵌入式技术与边缘计算和全站仪自动监测技术相结合, 设计出基于边缘计算的全站仪自动监测系统 (EC, AMSTS, automatic monitoring system of total station based on edge computing), 该系统在无操作系统的嵌入式边缘端节点的软硬件开发环境下, 实现全站仪的自动化测量功能。

上述文献中的数据传输距离受限, 且系统复杂繁琐, 针对上述存在的问题和需求, 本文设计了一种基于物联网技术的全站仪遥控系统, 使用 STM32F10RCT6 作为网关控制芯片, 利用 4G 模块与阿里云物联网平台建立稳定的网络连接^[10-11], 网络之间通信使用 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 协议, 确保数据传输的安全性和可靠性, 使用手机 APP 作为应用端, 不仅可以实现对全站仪的实时监控和远程控制, 还具备数据存储、导出功能。

1 系统构架

图 1 是基于物联网技术的全站仪遥控系统的系统框图, 该系统包括 4 个主要部分, 感知层中全站仪作为核心设备, 负责实地测量和数据采集, 能够接收来自网络层的指令, 如启动测量、目标追踪等, 同时也使用温湿度气压传感器模块采集大气中的温度、湿度, 大气压数据, 并将测量数据传输至网络层进行处理和传输; 网络层使用单片机 MCU 和 4G 模块实现对全站仪的管理、控制和数据传输, 单片机 MCU 负责管理和控制全站仪的运行状态, 监控其工作情况, 并根据需要进行调整, 以及对全站仪和温湿度气压传感器采集到的数据进行处理, 包括数据解析、补偿、校验, 同时还负责配置 4G 模块, 将其通过 4G 网络与阿里云物联网平台建立通信, 采用 MQTT 协议进行数据传输, 以实现可靠、安全的数据传输; 平台层使用阿里云物联网平台作为数据处理和转发的中转站, 其提供了强大的云端服务, 包括数据存储、分析、计算等功能, 且拥有丰富的 API 接口, 方便用户与平台进行交互和数据访问; 手机 APP 作为应用层, 具有友好的用户界面, 通过调用阿里云物联网平台的 API 可以与阿里云物联网平台进行实时通信, 获取最新的测量数据和系统状态, 用户可以发送控制指令, 如启动测量、停止测量、打开倾斜补偿器、调整测量参数等, 同时将测量结果实时显示在界面上, 可以直观地查看和分析测量数据。

2 系统硬件设计及参数配置

2.1 全站仪模块

选用徕卡 TS16 全站仪, 该全站仪采用先进的测量技术

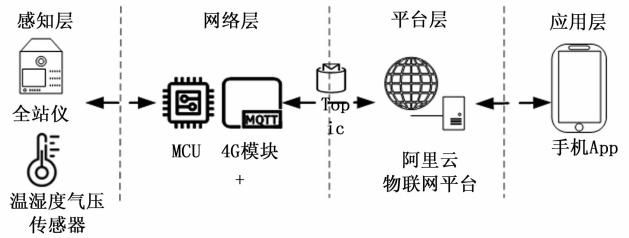


图 1 全站仪控制系统框架图

和精密的光学系统, 能够实现毫米级甚至亚毫米级的高精度测量, 具有自动目标识别与照准功能 (ATR, automated target recognition), 即全站仪识别出棱镜并测定其在 CMOS 阵列中的位置, 通过该像素信息驱动望远镜的十字丝与棱镜中心精确对准, 从而实现自动识别与照准功能 (本系统在进行测量时, 会大量使用 ATR 功能, 确保数据的准确性), 且搭载长距离免棱镜功能, 机身兼容 RS232 标准串行通信接口, 蓝牙等, 并且支持 GeoCOM 开发, GeoCOM 开发是徕卡公司为用户实现二次开发的一种方式^[12], 用户无需知道其内部的工作原理和具体实施细节, 只需要调用其封装好的函数, 方便用户开发更加适合自身的功能, GeoCOM 开发目前支持两种用法, ASCII 码协议和高级函数调用接口。

2.1.1 ASCII 码协议

ASCII 码协议是行协议, 不同的请求需要以行结束符来区分, 每个请求必须以一个结束符结束, 其请求协议内容为:

%R1Q, <RPC> [, <TrId>]: [<P0>] [, <P1>, ...] <Term>

其应答协议内容为:

%R1P, <RC_COM> [, <TrId>]: <RC> [, <P0>, <P1>, ...] <Term>

上述协议中的参数解释如表 1 所示

表 1 ASCII 码协议参数

参数名称	解释说明
%R1Q	GeoCOM 请求类型
%R1P	GeoCOM 应答类型
<RPC>	远程过程调用标识号, 介于 0~65 535 之间
<RC_COM>	GeoCOM 返回代码
<TrId>	可选 ID, 通常从 1 递增到 7
<RC>	被调用 RPC 的返回代码, 如果设置为 0 则表示成功完成
<P0>、<P1>、...	参数 0、参数 1、...

例如当需要打开全站仪的激光传感器时, 需要发送的内容为:%R1Q, 1004 : 1, 全站仪返回的内容为:%R1P, 0, 0 : 0, 即全站仪的激光被成功打开, 若其返回的内容为:%R1P, 0, 0 : 1, 则其激光打开失败, 需要对其进行检查维修。

2.1.2 高级函数调用接口

高级函数调用接口则是使用 C/C++ 或 VBA 中的普通函数调用, VBA 与 C/C++ 的唯一区别是 VBA 有不同的

类型系统, 且其定义的数据类型在定义上略有不同, 此外, 由于实施方面的原因, 使用时需加上“VB_”前缀标识。

使用 C/C++ 时的基本结构框架如图 2 所示。

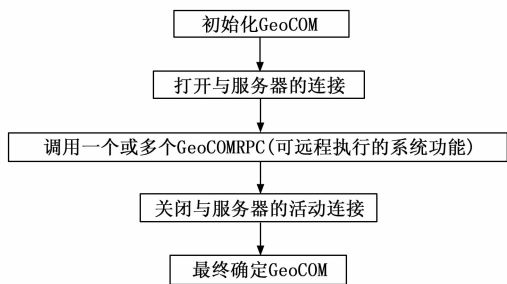


图 2 C/C++ 结构框架图

在本系统中, 考虑到通信的实时性和可靠性, 本系统选用 ASCII 码协议进行数据的通信, 全站仪与 MCU 的 RS232 串口连接后, MCU 根据云平台解析的指令将其转换为对应的 ASCII 码协议数据通过 RS232 串口发送至全站仪, 全站仪对其进行相应的操作, 同时将返回的数据发送到 MCU, MCU 对其进行解析和封装, 发送到云平台中。

2.2 MCU 模块

MCU 作为数据处理和传输的核心, 在本系统中选用 STM32F103RCT6 作为控制芯片^[13-15]。该芯片采用 ARM Cortex-M3 内核, 工作频率高达 72 MHz, 外部拥有丰富的外设和接口, 包括多个通用定时器、通用异步串行接口、SPI、I2C、USART 等, 能够满足本系统的使用, 且不会造

成资源浪费。在本系统中, 全站仪使用的是 RS232 标准串行通信接口, 而 STM32F103RCT6 的串口输出为标准的 TTL 电平, 连接时需要进行 TTL 电平到 RS232 电平转换, 本文选用 SP3232 芯片实现电平之间的转换, 该芯片输出电平稳定, 性价比高。

使用 STM32F103RCT6 另一串口与 4G 模块相连, 采用串口中断函数来处理数据, 当有数据到达串口时, 中断会立即被触发, 程序可以立即对接收到的数据进行处理, 确保数据不会丢失, 同时可以节省 CPU 资源, 避免 CPU 持续地轮询串口状态, 提高系统效率和响应速度。

温湿度气压传感器的接口为 RS485 标准串行通信接口, RS485 具有较好的抗干扰能力和传输稳定性, 适用于远距离、高噪声环境下的数据传输。在 STM32F103RCT6 和传感器之间建立通信时, 需要使用转换芯片 MAX485, 来实现电平的转换和信号的匹配, MAX485 内部集成了发送和接收电路, 能够实现半双工或全双工通信模式, 并具有过载保护和热释放保护功能, 能够有效保护通信设备。

图 3 是硬件连接原理图。

2.3 4G 模块

4G 模块主要负责与阿里云物联网平台建立连接实现双向通信, 选用移远通信的 EC200N, 该模块是一款基于 NB-IoT 技术的嵌入式无线通信模块, 支持最大下行速率 10 Mbps 和最大上行速率 5 Mbps, 该模块内部集成多种网络协议, 其外部搭配多种不同的标准接口, 可实现微处理器与各终端设备之间的稳定数据传输, 且该模块采用分时接

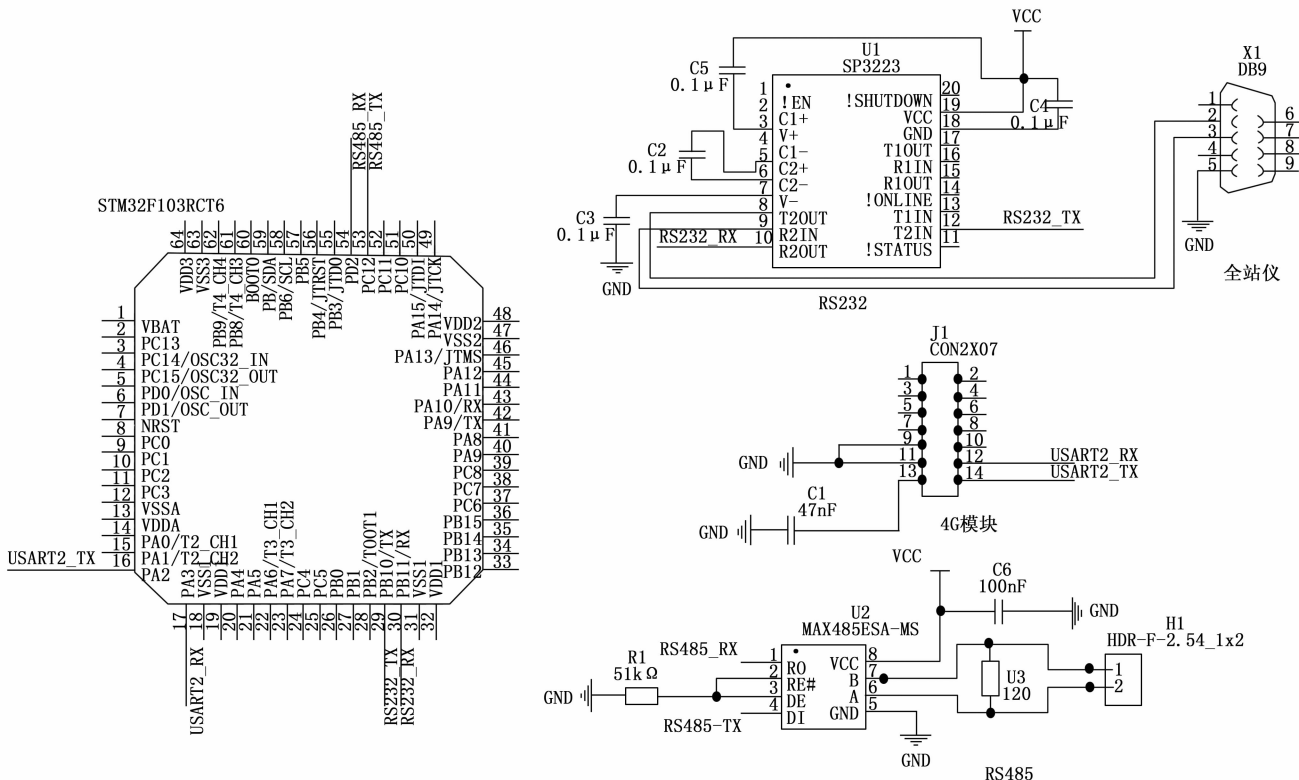


图 3 硬件连接原理图

收 (TDMA) 的方式, 有效解决数据拥挤导致网关接收到不完整数据的问题, 此外, EC200N 还支持微处理器串口数据的无线透传。

通过 STM32F103RCT6 的串口对 4G 模块进行配置, 使用的部分 AT 指令如表 2 所示。

表 2 部分 AT 指令

指令	功能
AT+CIMI	获取卡号
AT+CREG?	查看是否注册 GSM 网络
AT+COPS?	查看运营商
AT+QIAC?	获取当前卡的 IP 地址
AT+QMQTPOpen=0, "183.230.40.96",1883	通过 TCP 方式去连接 MQTT 服务器

且可通过 4G 模块实现系统的远程升级, 方便后续系统的维护和拓展。

2.4 气象模块

温湿度气压传感器模块主要用于得到当前环境下的温度、湿度和气压来对测量数据进行大气改正。本系统使用 QTHPB 温湿度气压传感器来获取上述环境参数, 该模块具有防水和抗紫外线功能并且灵敏度高功耗低, 能够长时间的在高温高湿的环境下使用等特点。该传感器模块的接口为 RS485 标准通信接口^[16], 将 MCU 和 QTHPB 传感器通过 RS485 通信线连接, 在 MCU 中设置 RS485 通信参数, 包括波特率、数据位、停止位、奇偶校验等, 其通信基本参数如表 3 所示。

表 3 温湿度气压传感器通信基本参数

参数	内容
数据位	8 位
奇偶校验位	无
停止位	1 位
波特率	9 600 bps
从机地址	0×01

通过 MCU 向 QTHPB 传感器发送特定的指令来获取温度、湿度和气压数据, 其中 MCU 发送获取数据指令如表 4 所示。

表 4 MCU 发送获取数据指令格式

ID	功能码	起始地址	数据长度	CRC_L	CRC_H
0×01	0×03	0×00	0×00	0×00	0×00

MCU 发送完获取数据指令后传感器就会回复测得的数据, 其回复指令如表 5 所示。

表 5 传感器回复指令

ID	功能码	字节数	温度	湿度	气压	CRC_L	CRC_H
0×01	0×03	0×08	0×0257	0×026E	0×2728	0×C1	0×10

其中, 得到 16 进制温湿压数据后将其转换为 10 进制数

字然后除以 10 就是测得的真实数据。

3 系统软件功能设计

全站仪遥控系统软件流程如图 4 所示。系统初始化运行后, 手机 APP 在初始化时提示用户注册登录并将人员登陆信息存储在数据库中, 登陆后会连接到阿里云物联网平台, 成功连接后便可以发送和接收数据; 对 STM32 和 EC200N 进行初始化, EC200N 连接到阿里云物联网平台后, 当接收到阿里云物联网平台传来的数据后, 经过 STM32 的串口 2 中断函数分析处理后将数据转化为 ASCII 协议数据通过 RS232 接口传输到全站仪中, 全站仪在执行相应操作后将数据通过 RS232 接口传输到 STM32 中, STM32 根据温湿度气压传感器的采集数据, 计算出大气校正参数, 在 RS232 串口中断函数中对全站仪测量数据进行解析补偿后传输到 4G 模块中, 4G 模块通过 MQTT 协议将数据传输到阿里云物联网平台后, 经过其云产品流转后, 传输到手机 APP 端, APP 对接收到的数据解析处理后存储在数据库中, 并将其在界面中显示出来。

3.1 MQTT 协议

MQTT 协议由于其轻量级特性逐渐成为物联网通信的首选协议^[17-19]。相比于其他通信协议, MQTT 协议具有更小的数据包大小和更低的网络开销。

MQTT 协议采用发布/订阅 (Publish/Subscribe) 模式, 图 5 为发布/订阅模式示意图, 其中发布者和订阅者都是客户端, 发布者向 MQTT 服务器的一个主题 (Topic) 发送消息, 订阅者向 MQTT 服务器订阅同一个 Topic, 成功订阅后, 服务器会将该 Topic 下的消息转发给订阅者, 多个客户端可以同时订阅同一个 Topic, 并接收与该主题相关的消息, 这种灵活的消息传递机制使得设备之间的通信更加简单和高效。

3.2 云平台设计

本系统主要是基于阿里云物联网平台进行开发, 阿里云物联网平台具有稳定可靠、安全高效的特点, 可以为全站仪的远程控制提供了强大的技术支持, 阿里云物联网平台自身有多种物模型 Topic 可以使用^[20], 为了便于后续数据流转, 本文使用自定义 Topic, 数据在阿里云物联网平台的传输策略如图 6 所示。

即在阿里云物联网平台中创建两个设备, 一个作为 4G 模块端, 一个作为手机 APP 端, 其消息流转策略为, 当 APP 端订阅的 Topic1 接收到消息时, 解析器会对其消息进行解析处理, 发送到 4G 模块的 Topic2 中, 实现 4G 模块到 APP 的数据流转, 同理也可以实现 APP 到 4G 模块的数据流转。云平台中的部分物模型属性如图 7 所示。

为实现一台手机控制多个全站仪, 在阿里云平台设计多个产品用于拓展系统, 当有新设备接入时, 将云平台参数信息通过 4G 模块发送至 MCU 中, 实现系统的拓展。

3.3 定后视方向

在使用全站仪进行测量时需要先对全站仪进行测站设置, 即在未知的坐标系中, 定义一个点坐标作为全站仪的

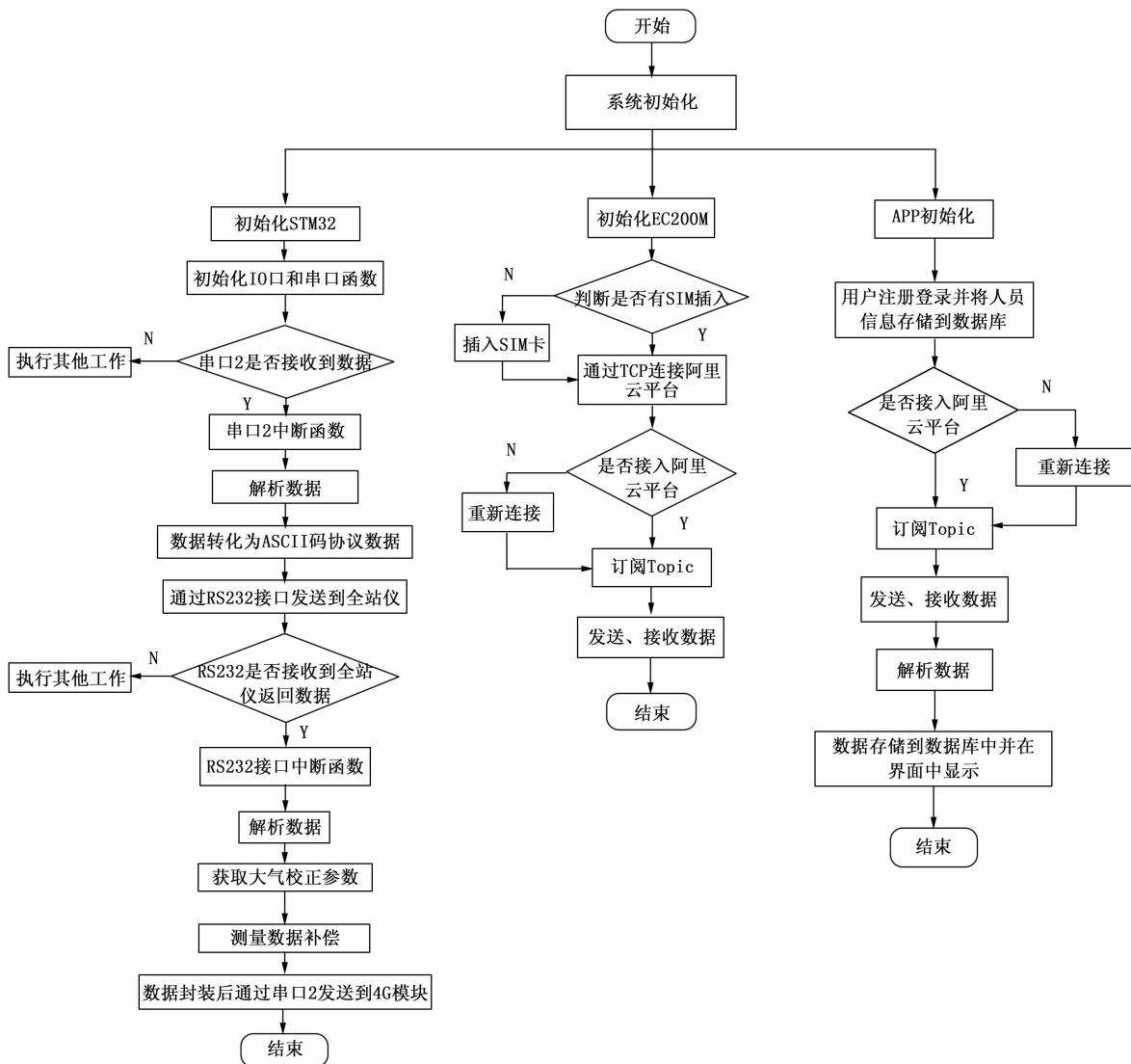


图 4 系统软件流程图

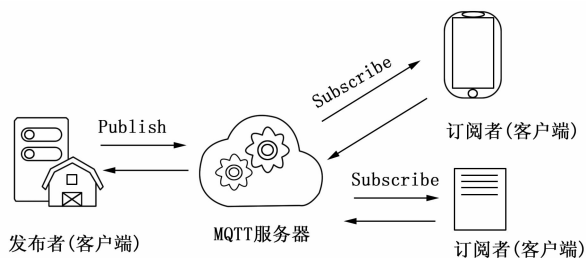


图 5 发布/订阅模式示意图

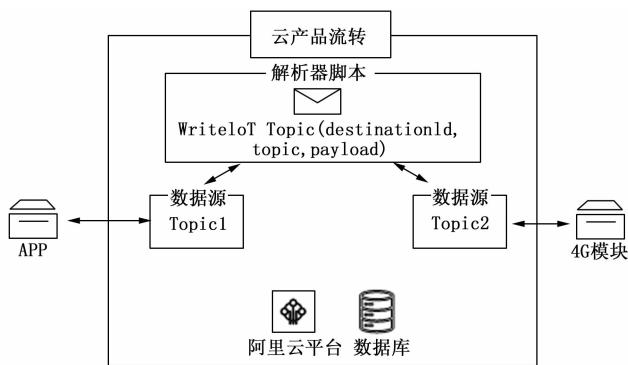


图 6 云平台数据流转策略

位置, 同时需要对全站仪进行定后视方向, 定后视方向有两种方式, 一种是角度定后视 (相当于在未知坐标系中添加一个已知方向), 另一种是坐标定后视 (相当于在未知坐标系中添加一个已知点)。

后视点设置的目的是使仪器当前照准方向的水平度盘读数与地面上测站点与目标点构成的方位角一致, 为仪器在坐标测量的计算中提供实时的方位角, 后视点选择角度方式

时, 相当于对水平度盘置角; 选择坐标方式时, 仪器根据测站点坐标和后视点坐标反算方位角, 并以此配置当前水平度盘。如果不进行后视点设置, 直接进入坐标测量, 仪器将当前水平角默认为方位角, 并以此计算目标点的坐标。

本系统使用坐标定后视进行全站仪定后视方向, 在使

属性	气泡 (自定义)	bubble	bool (布尔型)	布尔值: 0-关 1-开	查看
属性	气泡T (自定义)	T	double (双精度浮点型)	取值范围: -4.9E-324 ~ 1.7976931 348623157E308	查看
属性	气泡L (自定义)	L	double (双精度浮点型)	取值范围: -4.9E-324 ~ 1.7976931 348623157E308	查看
属性	测量的v (自定义)	mer_v	double (双精度浮点型)	取值范围: -4.9E-324 ~ 1.7976931 348623157E308	查看
属性	测量的hz (自定义)	mer_hz	double (双精度浮点型)	取值范围: -4.9E-324 ~ 1.7976931 348623157E308	查看

图 7 部分物模型属性

用坐标定后视时往往会选用两个后视点，避免单个后视点测量误差过大，具体方法如图 8 所示。

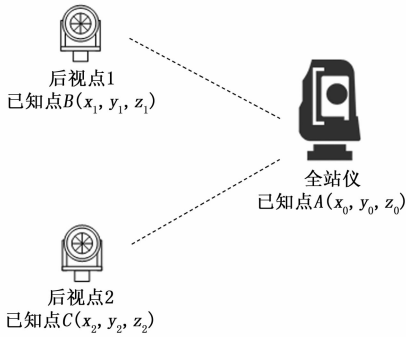


图 8 坐标定后视示意图

首先将全站仪固定在已知点 A 坐标处，对中整平后，在已知点 B 和已知 C 上各架设棱镜作为后视点，将全站仪照准后视点棱镜，进行测量，将测量的数据进行坐标反算后与设定好的坐标对比，确认误差在允许范围内后，计算出方位角便可确定全站仪所在坐标系。

在进行方位角的计算时，用上述已知点 A, B 为例，设两点之间的夹角为 α ，计算公式如式 (1) 所示：

$$\alpha = \arctan \left| \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \right| \quad (1)$$

计算时需要考虑两点所在的象限，在测量领域中，象限的规定与传统数学的象限不同，坐标系原点以北为 X 轴正轴，以东为 Y 轴正轴，该坐标系如图 9 所示。

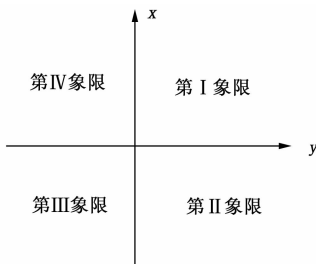


图 9 测量平面直角坐标系

不同象限中方位角的计算公式如表 6 所示。

3.4 旋转角度计算

远程控制全站仪测量时，往往需要将全站仪旋转到已知坐标位置，假设全站仪的测站点坐标为 (x, y, z) ，两个已知点坐标点 1 (x_1, y_1, z_1) 和点 2 (x_2, y_2, z_2) ，从

表 6 不同象限方位角计算

象限	方位角
第 I 象限	α
第 II 象限	$180^\circ - \alpha$
第 III 象限	$\alpha - 180^\circ$
第 IV 象限	$360^\circ - \alpha$

已知点 1 旋转至已知点 2 时所需旋转的角度 θ 计算如式 (2) 所示：

$$\theta = \arctan \left(\frac{y_2 - y}{x_2 - x} \right) - \arctan \left(\frac{y_1 - y}{x_1 - x} \right) \quad (2)$$

将旋转角度输入到全站仪中，全站仪旋转至目标位置后执行测量。

3.5 气象改正

全站仪通常使用光波来测量距离。然而，在实际应用中，由于光波在大气中的传播受到大气温度、气压和湿度等环境因素的影响，因此测得的距离需要经过相应的气象条件校正，才能获得准确的真实值。通过气象模块获得温湿度气压三参数后就需要进行计算，以得到气象改正后正确的数据。气象改正计算如公式 (3) 所示：

$$\Delta D = 281.8 - \left[\frac{0.29065 \times P}{1 + \alpha \times t} - \frac{4.126 \times 10^{-4} \times h}{1 + \alpha \times t} \times 10^6 \right] \quad (3)$$

其中： ΔD 为大气校正参数， P 为大气压值， t 为当前温度， h 为大气湿度， α 为大气膨胀系数，一般为 $\frac{1}{273.16}$ ， x 如公式 (4) 所示：

$$x = \frac{7.5 \times t}{237.3 + t} + 0.7857 \quad (4)$$

通过上述公式就可以计算出大气校正参数后就可以根据该校正参数来补偿测得的距离。通过气象改正计算后 MCU 再将当前环境下的正确数据发送到云平台中。

3.6 APP 设计

手机 APP 使用 Android studio 进行开发^[21]，图 10 为手机 APP 的部分界面，APP 的初始界面为人员登录界面，且其内置了 Mysql 数据库，记录登录人员的身份信息，避免信息泄露，登录后可以查看全站仪的在线状态，用户可以查看水平气泡倾斜角度且可以设置其倾斜补偿器的开关，水平气泡显示当前仪器的水平角度和垂直角度，是进行测量的准备工作，气泡可能受温度、湿度、摆放位置因素影响，当气泡倾斜较大时，提醒测量员及时调平仪器，确保其处于水平状态，从而提高测量的准确性和精度，在控制界面可以实现全站仪的激光开关，以及测量开关等，实时显示测量数据，并将数据上传至数据库中，方便后续工作人员查看。

3.7 异常情况处理

为保证系统运行的稳定性，需考虑到系统出现异常状况时故障处理，常见的异常如系统死机，测量数据的不完整，针对上述情况，本文提出下述故障处理方案。

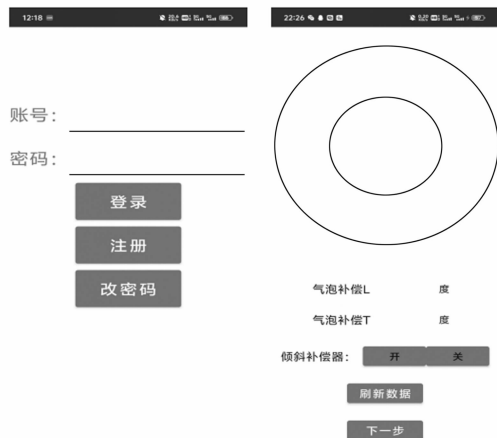


图 10 手机 APP 界面

3.7.1 系统死机

系统死机常发生在单片机部分堆栈溢出时, 为避免堆栈溢出, 在设计程序时, 尽量避免使用深度递归调用, 通过迭代的方式重写递归算法, 或者使用尾递归优化来减少调用栈的深度; 减少函数中的局部变量使用量, 特别是使用大量大对象或数组; 对于大型对象或数组, 尽可能使用动态分配的内存, 而不是在栈上分配。当系统出现死机时, 在异常中断函数, 对系统进行复位, 从而实现系统恢复。

3.7.2 数据的缺失

测量数据不完整往往是由于全站仪当前测量命令未完全执行结束时, 又有新的控制指令发送进来, 解决该问题的办法是当单片机全站仪发送不同的测量指令时进行相应的时延, 避免全站仪上一次指令还未执行完成就接收到下一条指令, 导致数据的缺失, 部分指令时延如表 7 所示。

表 7 不同指令对应的时延

指令	时延/s
旋转	3
倒镜	2.9
启动目标追踪	3
测量时间	3~4
打开激光	2

3.7.3 数据误差较大

当使用全站仪进行测量时, 可能出现测量点的实测坐标与设定好的坐标误差较大, 可能是由多种因素引起的, 例如仪器测量前水平校准不准确、恶劣天气的干扰、目标点被遮挡等, 当出现误差过大时, 会对目标进行多次测量, 将数据进行对比, 如数据误差依旧较大, 提醒提醒测量员对仪器进行重新校准, 避免影响后续测量。

4 系统测试及应用

4.1 系统测试

用户在手机 APP 注册账号登录后, 数据库会对登录信息进行存储, 登录成功, APP 连接到阿里云物联网平台后会提示“连接成功”, 进入测量界面, 以将全站仪的镜头翻转为

例, 在 APP 端点击倒镜开关后, APP 上传数据内容“open_tps”: “1”, “open_laser”: “0”, 云平台的日志服务如下图 11 所示, 从中可以查看数据的来源, 内容以及其订阅的 Topic 和数据的目的地, 经云平台流转后数据传输到 4G 模块中, STM32 对 4G 模块传输的数据进行解析后, 转化为全站仪可以解析的 ASCII 协议数据“%R1Q, 111: 1”和“%R1Q, 1004: 0”, 全站仪执行开机操作后关闭激光传感器。



图 11 云平台日志服务

4.2 系统应用

实际在测量现场使用中, 将全站仪固定到现场设置好的底座上, 将硬件模块连接后, 在后视点 1, 2 和测量点 3, 4 位置处固定好棱镜, 现场如图 12 所示。

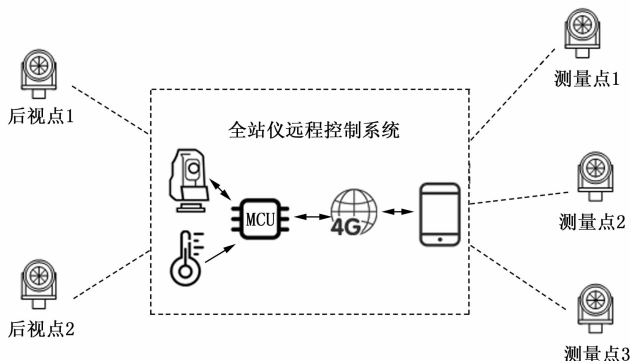


图 12 现场示意图

测量前需要通过手机 APP 检查全站仪的电子气泡是否处于图像中心位置, 保证全站仪的水平, 若偏差角度过大, 需人工对全站仪进行调平操作, 调平后即可进行下一步测量工作, 使用卷尺测量全站仪、后视点, 测量点的高度, 输入全站仪的坐标、测量点 1, 2, 3 的坐标以及后视点 1, 2 坐标, 各个坐标数据如表 8 所示。

表 8 设定好的坐标值

点号	X	Y	Z
全站仪	3 820 058.677 57	510 589.741 28	390.344 90
测量点 1	3 821 059.677 65	510 597.745 35	390.344 83
测量点 2	3 820 038.671 48	510 591.651 32	390.306 74
测量点 3	3 820 018.981 29	510 593.570 46	390.265 56
后视点 1	3 819 985.152 60	510 603.093 74	389.997 77
后视点 2	3 820 070.072 65	510 532.002 33	390.639 98

使用手机 APP 控制全站仪对 3 个测量点进行多次测量, 实测的数据如表 9 所示。

表 9 实测坐标值

点号	X	Y	Z
测量点 1	3 821 059.878 69	510 599.645 45	390.364 92
测量点 2	3 820 038.693 49	510 591.671 42	390.416 78
测量点 3	3 820 018.961 89	510 593.770 27	390.375 67
测量点 1	3 821 059.767 47	510 597.791 27	390.415 90
测量点 2	3 820 037.678 48	510 591.894 42	390.389 41
测量点 3	3 820 016.993 47	510 593.764 13	390.298 46
测量点 1	3 821 058.456 49	510 598.476 92	390.187 41
测量点 2	3 820 038.489 79	510 591.147 96	390.307 22
测量点 3	3 820 018.786 78	510 593.968 54	390.875 74
测量点 1	3 821 059.677 57	510 596.992 74	390.789 75
测量点 2	3 820 038.671 48	510 591.157 79	390.786 54
测量点 3	3 820 018.475 64	510 593.763 29	390.786 57
测量点 1	3 821 059.854 62	510 589.468 74	390.595 76
测量点 2	3 820 038.313 46	510 591.789 74	390.678 67
测量点 3	3 820 018.965 74	510 593.566 45	390.645 67

4 次测量时设备所处环境的大气温度、湿度、气压数据如表 10 所示。

表 10 测量时大气温湿压数据

测量次数	温度/℃	湿度/%RH	大气压/hPa
1	23.5	59.8	1 010.3
2	23.8	58.8	1 010.5
3	23.9	60.1	1 010.3
4	23.7	59.9	1 010.7
5	23.8	59.7	1 010.2

通过将实测坐标与设定坐标进行对比, 两者存在较小误差, 这些误差由于仪器本身的测量误差以及气象改正的影响, 且误差都在测量允许范围内, 进一步验证了本测量系统的可靠性。

5 结束语

本文介绍了基于物联网技术的全站仪遥控系统的设计原理和实现方法。对其软硬件的方案实现进行详细描述, 在实际应用中, 数据传输可靠, 系统反应迅速, 提高了工作效率和便利性, 节省了人力物力, 然而, 还存在一些技术问题需要解决和完善, 如系统的安全性问题、数据的加密传输、通信的稳定性等。此外, 对于大规模工程项目的全站仪控制系统, 需要考虑系统的扩展性和可靠性, 以满足不同规模和复杂度的工程需求。

参考文献:

[1] 周丽平. 智能全站仪在建筑工程变形监测中的应用 [J]. 经纬天地, 2024 (1): 36 - 39.
 [2] 柏文锋. 基于智能全站仪的地铁隧道自动化监测精度分析及验证 [J]. 测绘通报, 2018 (11): 107 - 110.

[3] 李光宇. 高精度全站仪在隧道变形监测中的应用研究 [J]. 现代制造技术与装备, 2023 (s1): 25 - 27.
 [4] YANG G, WANG P, ZHENG T. Research on integration field digital surveying and mapping based on GTS - 720 electronic total station [C] //The 3rd International Symposium on Modern Mining & Safety Technology Proceedings, 2008: 721 - 723.
 [5] YAN F, GUO W, FENG Z. Study on automation technology and method of forest measurement in fixed sample based on total station and PDA [C] //Key Engineering Materials, 2011: 1852 - 1857.
 [6] ENGEL P, SCHWEIMLER B. Development of an open-source automatic deformation monitoring system for geodetical and geotechnical measurements [C] //International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016: 25 - 30.
 [7] ZHOU J, XIAO H, JIANG W, et al. Automatic subway tunnel displacement monitoring using robotic total station [J]. Measurement, 2020, 151: 107251.
 [8] 王米换. 全站仪无线数据传输系统的设计与实现 [D]. 西安: 西安科技大学, 2020.
 [9] 金乐乐. 基于边缘计算的智能型全站仪自动监测系统研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
 [10] 苏淑靖, 吴梦香, 郭杨盛, 等. 基于 MQTT 的远程控制电导检测系统研究 [J]. 舰船电子工程, 2023, 43 (11): 165 - 169.
 [11] 王涛, 岳云飞, 张英豪, 等. 基于阿里云平台的油井多参数远程监控系统 [J]. 工业控制计算机, 2021, 34 (4): 37 - 38.
 [12] 张海玲. 基于 TCA2003 全站仪的自动变形监测系统的研制 [D]. 济南: 山东科技大学, 2005.
 [13] 陈亚聪, 冯兴乐, 陈书鹏. 基于 MQTT 协议的智能家居模块化拓展系统 [J]. 集成电路与嵌入式系统, 2024, 24 (2): 86 - 90.
 [14] 李荣, 杨德徽, 黎晓冰, 等. 基于阿里云物联网平台的智能家居系统设计 [J]. 中国仪器仪表, 2023 (12): 34 - 37.
 [15] 王璐. 基于 STM32 的水泵叶片自动调节系统的研究与应用 [D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
 [16] 金乐乐, 任晓春, 刘成龙, 等. 基于边缘计算的智能型全站仪自动监测系统技术与应用 [J]. 测绘标准化, 2021, 37 (1): 60 - 65.
 [17] 曹小华, 李泊桓, 徐上尉. 基于 MQTT 协议的物联网岸电监控系统 [J]. 计算机应用与软件, 2023, 40 (03): 11 - 16.
 [18] 郭梦华, 孙玉国. 基于 MQTT 的水质远程监测系统的设计 [J]. 智能物联技术, 2023, 6 (3): 55 - 59.
 [19] 胡卫朋, 韦振顺, 杨锦颖, 等. 基于 MQTT 协议的锅炉水质检测物联网控制系统设计 [J]. 科技通报, 2024, 40 (2): 108 - 112.
 [20] 黄赵明. 基于物联网平台的充电站系统的设计与实现 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
 [21] 刘强. 基于 Android 平台的建(构)筑物水平位移即时监测系统 [J]. 设备管理与维修, 2024 (6): 150 - 153.