

# 基于 WiFi 的无线浪高数据采集系统的设计

李木国, 吴镇曦, 褚晓安

(大连理工大学 海岸与近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 在海洋工程实验室现场数据采集过程中, 由于测试点分散、实时性要求较高、现场布线相对繁琐, 提出一种基于 WiFi 的无线浪高数据采集系统; 该系统主要由数据采集模块、单片机控制模块、无线 WiFi 模块以及上位机系统构成; 采集的浪高信号经过电压偏置和低通滤波后由单片机控制器进行 AD 转换, 然后通过无线 WiFi 模块输出数据; 上位机系统通过无线 AP 点接收数据, 再利用分析软件对数据进行分析 and 显示动态数据; 在实验水池中, 搭建由造波机、数据采集系统、无线接入点、上位机组成的实验系统来采集实时的浪高数据并验证系统数据传输的稳定性和数据通信的可靠性; 通过实验证明, 该系统可以实时采集浪高数据, 具有传输速率快、可靠性高、实时性好的特点。

**关键词:** WiFi; A/D 转换; 数据采集; 单片机

## Design of Wave—height Data Gathering System Based on WiFi

Li Muguo, Wu Zhenxi, Chu Xiaohan

(State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** In the progress of data types acquisition, as the geographically fragmented acquisition positions, high real-time performance demanding and complex industrial site, It is proposed a design of wave—height data gathering system based on WiFi. The system is mainly constructed of data acquisition unit, the main control unit, Wifi module and master station, wave—height data from AD converter will be stored into control circuit and outputted through WiFi module after processing by the master station. The PC in monitoring center receives wave—height data from wireless access point, after that, it will be displayed and analyzed by master station. In our lab, an experiment system consisted of the wave maker, collector, wireless access point and host is used to collect real-time wave—height data. It is also used to test the stability and the reliability of data communication of the system. The experiment suggests that the system have the advantages of high data transmission speed, high reliability, good real-time performance.

**Keywords:** WiFi; AD converter; data acquisition; MCU

## 0 引言

随着 WiFi 无线通信技术的不断发展与进步, 使用不断普及, 以其传输可靠性强、速率高、传输距离远和组网灵活等优点<sup>[1]</sup>, 使得 WiFi 的应用技术已经渗透到了工业控制领域。WiFi 的通信距离最高可以达到 300 米, 如果使用天线技术可以达到 1 000 米。

WiFi 技术一般采用的是 2.4 GHz 的频段, 基于 IEEE802.11 标准。

在当今的工业现场中, 数据采集量与传输数据较多, 对传输速率和距离有一定的要求, 相比于红外传输、蓝牙技术、ZigBee 技术, WiFi 无线通信技术拥有其独特的优点, 可以很好的满足某些系统设计的要求。如今, 现代测控系统的发展趋势是将无线网络技术尽可能取代传统有线网络技术, 这也推动了物联网技术在工业监控领域的发展。

传统的现场总线技术由于现场布线繁杂、硬件成本较高、组网不易施工等缺点。针对这些问题, 本文提出了一种基于 WiFi 的无线浪高采集系统。该系统利用单片机作为从站的处理核心, 再结合 TCP/IP 技术将数据经 WiFi 无线

网络发送到系统主站, 在系统主站软件当中动态显示和分析数据, 具有一定的应用价值。

## 1 系统整体方案的设计

### 1.1 系统整体结构

基于 WiFi 的无线浪高数据采集系统的总体框架图如图 1 所示。一台主站 PC 机, 处理无线模块的数据信号; 多个下位机, 每个下位机的浪高传感器连接相应的无线 WiFi 模块和存储芯片。系统总体结构当中需要配置无线路由器或者无线 AP 站点, 作为无线接入点。在系统上位机与下位机之间使用 Socket 技术和 TCP/IP 协议来实现无线数据的传输。系统上位机与下位机之间构成 C/S 结构, 上位机作为服务器端处理作为客户端的下位机传来的数据。在实际应用中, 由于单个试验需要多只波浪传感器, 这给实时无线数据传输造成较大的压力, 为了保证数据准确可靠传输, 当实时采集数据时, 指定一台下位机反馈数据, 其他下位机把采集的数据保存到存储芯片中。试验完成后, 上位机作为服务端同时处理多个下位机(客户端)存储芯片中的数据<sup>[2]</sup>。

### 1.2 系统工作原理

下位机硬件电路结构示意图如图 2 所示。首先, 各个下位机接收来自与自己相连的浪高传感器的电压信号。浪高传感器得到的电压信号是非常微弱而且不断变化的模拟量, 还经常伴随着一定的干扰。为了使得到的电压模拟信

收稿日期: 2018-01-22; 修回日期: 2018-03-16。

作者简介: 李木国(1953-), 男, 辽宁庄河人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事海洋工程模拟实验理论、现代控制技术方向的研究。

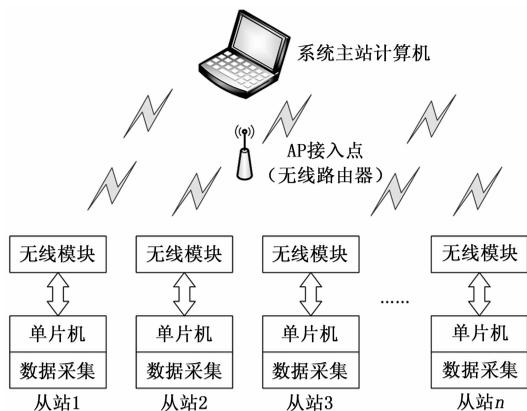


图 1 系统总体框架图

号达到 AD 转换器的满量程, 要将得到的电压模拟信号进行偏置放大和低通滤波处理。运算放大器和低通滤波器选用美国 AD 公司的 AD8512 芯片, 它是一款单片集成及双运放的芯片, 具有超低失调、零漂移、超低偏置电流的特性。它的一个运算放大器被设计成电压偏置放大电路, 另一个运算放大器被设计成二阶低通滤波电路。

经过电压偏置、放大、低通滤波处理之后的信号经过 PIC24 单片机内部自带的 10 位高速 A/D 转换器完成模拟信号的采集, 然后把采集的数据通过 SPI1 模块传送给存储芯片<sup>[3]</sup>。当上位机通过无线模块向指定的单片机发送中断请求时, PIC24 单片机响应此中断, 此时单片机开始读取数据, 将转换好的数字量通过无线 WiFi 模块的串口自动成帧并进行协议转换, 然后通过 SPI2 模块向上位机发送数据。

考虑到开发成本和效率, 选择了美国 Microchip 公司的 PIC 单片机, 型号为 PIC24FJ256GA106。PIC24 系列单片机精简指令集 RICS、哈佛双总线和两级指令流水结构。它具有速度快、功耗低、工作电压低等特点。PIC24 单片机作为 WiFi 模块的控制器, 一方面通过 SPI 总线控制存储芯片, 另一方面需要把转换之后的 10 位数字量通过 WiFi 模块传送给主机。无线 WiFi 模块和上位机服务器之间通过 TCP 协议进行传输。TCP 协议又称为传输控制协议, 使用三次握手建立连接, 保证数据传输的可靠性和完整性。

WiFi 模块要在使用之前, 设定模块协议类型、服务器地址、端口号、波特率, 保证每一个 WiFi 模块都可以可靠地与固定 IP 地址的上位机相连接。上位机系统通过 TCP/IP 的方式接收无线模块发送来的浪高。数据<sup>[4]</sup>。

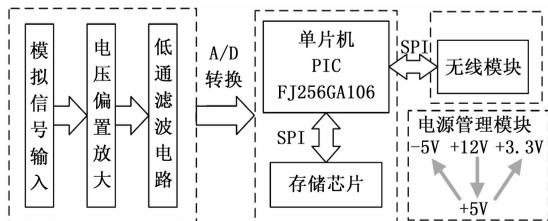


图 2 下位机硬件电路结构示意图

整个硬件电路中需要 +3.3 V 以及 ±5 V 的电源, 由于下位机硬件电路采用电池供电, 考虑到电池的电量消耗,

选择使用 +12 V 的电源供电<sup>[5]</sup>。每一个从站都需要一个电源, 在从站中首先使用稳压芯片 L5973D 将 +12 V 转换成 +5 V, 在使用稳压芯片 AS1117-3.3 将 +5 V 转换成 +3.3 V, 同时还要使用电荷泵反相器 CAT600 将 +5 V 转换成 -5 V。

## 2 系统硬件设计

系统从站硬件主要包括 3 个功能模块, 分别为电容式浪高传感器、无线 WiFi 模块和存储模块电路。

### 2.1 电容式浪高传感器的结构和原理

电容式浪高传感器其结构图, 如图 3 所示主要由一根漆包线和一个弓形的钢片组成, 在弓形钢片上还需要预留下接线座和安装孔。其中漆包线的直径为 1 mm, 长为 0.5 m, 与弓形的钢片构成一个电容器, 其电容大小为:

$$C_x = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1)$$

其中:  $C_x$  为电容器电容量,  $\epsilon$  为电容介电常数,  $S$  为漆包线右半部外表面积,  $d$  为漆包线与钢片间的距离。

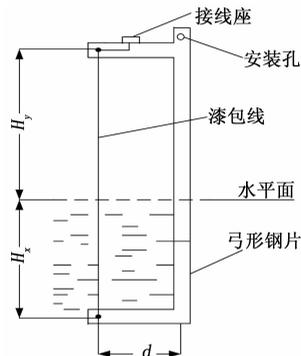


图 3 电容式浪高传感器结构图

如果将传感器的一部分没入水中, 此时传感器的电容大小就变成了两个不同介质系数的电容并联之后的值, 即:

$$C_x = \frac{\epsilon_1 S_1}{d} + \frac{\epsilon_2 S_2}{d} \quad (2)$$

$S_1$  为没入水中漆包线右半部分外表面积,  $S_2$  为水面上段漆包线右半部分外表面积,  $\epsilon_1$  为水的介电常数,  $\epsilon_2$  为空气介电常数。由于  $\epsilon_1$  远大于  $\epsilon_2$ , 所以公式 (2) 中的第二项可以忽略, 则可以写成:

$$C_x = \frac{\epsilon_1 S_1}{d} = \frac{\epsilon_1}{d} \cdot \frac{1}{2} \pi O H_x = \frac{\pi O \epsilon_1}{2d} \cdot H_x = K H_x \quad (3)$$

$O$  为漆包线的直径,  $H_x$  为浪高传感器浸入水中的长度, 对于浪高传感器来说  $K$  为常数, 所以浪高传感器的电容大小与没入水中的传感器长度是成正比的。当浪高发生变化的时候就会引起电容传感器没入水中长度的变化, 从而也导致了电容式浪高传感器电容大小的变化。

### 2.2 无线传输模块

无线 WiFi 模块选用红心物联 HX-M02 WiFi 无线透传

模块，内置无线网络协议 IEEE802.11 协议栈以及 TCP/IP 协议栈。其尺寸大小为 37×23 mm。工作电压为 3.3 V±0.3，工作电流为 170 mA 接口速率为 1200460800 bps。

微处理器和 WiFi 模块都支持 UART 和 SPI 通信总线。UART 是异步收发传输，是一种串行数据总线。SPI 是一种高速的，全双工同步的通信总线<sup>[7]</sup>。

如表 1 所示，SPI 通信速率快于 UART，而且可以实现全双工的发送与接收，所以选用 SPI 接口作为微处理器与无线 WiFi 模块的通信接口。

表 1 通信速率对比

总线类型	通信类型	线数	速率
SPI	异步	3	>10Mbps
UART	同步	2	4Mbps

WiFi 模块采用 SPI 串行数据接口，通讯速率可达 44 KBytes，可以大大的提高传输的数据量。由于 PIC 单片机与 WiFi 模块之间存在双向的数据通信，所以这里采用三线制的 SPI 通信模式实现 WiFi 无线模块与 PIC 单片机过程数据通信。PIC 单片机作为 SPI 主机使用第二个 SPI 模块与无线模块相连，而无线模块作为从机<sup>[8]</sup>。PIC 单片机和无线 WiFi 模块 HX-M02 连接方式，如图 4 所示。

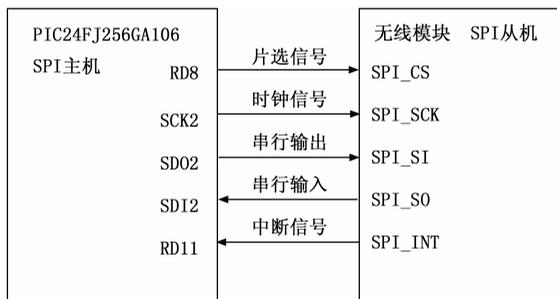


图 4 单片机与 WiFi 模块接口电路图

单片机的 RD8 被配置成数字量输出与 WiFi 无线模块 SPI\_CS 相连，用于传输片选信号，低电平有效。单片机 SPI2 模块的 SCK2 与无线模块的 SPI\_SCK 相连，提供 SPI 的位移时钟信号。单片机的 SPI2 模块的串行数据输出与 SDO2 与无线模块 SPI\_SI 相连，用于向无线模块输出 SPI 的串行数据。单片机 SPI2 模块的串行数据输入 SDI2 与无线模块 SPI\_SO 相连，用于接收 WiFi 模块输出的 SPI 串行数据。单片机的 RD10 被配置成数字量输入与 WiFi 模块的 SPI\_INT 相连，用于接收无线模块的 SPI 中断信号，低电平有效。

### 2.3 存储模块的设计

为了实现试验过程数据采集存储，选用 winbond 公司的 Flash 芯片 W25Q64 来存储数据。该芯片大小为 8 Mbyte，每页最大字节数为 256 字节，支持标准、双输出和四输出的 SPI 三种工作方式，工作电压 3.3 V，具有较低的功耗<sup>[9]</sup>。W25Q64 设计电路图如图 5 所示。

芯片工作时，CS 引脚拉低，操作完毕后再将 CS 引脚

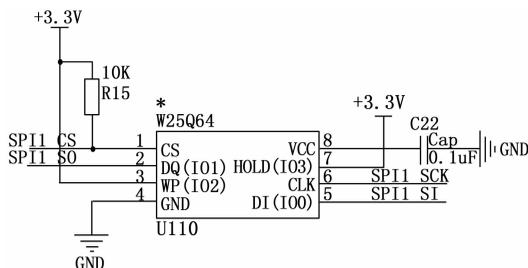


图 5 W25Q64 设计电路图

拉高。电源 VCC 端通过一个 0.1 μF 的陶瓷电容进行噪声滤波。HOLD 引脚拉高，设备正常运行。WP 是写保护端，用来防止状态寄存器被写入。所以，将 HOLD 引脚与 WP 引脚直接与 VCC 端相连。

## 3 系统软件设计

### 3.1 上位机软件的功能与结构

根据上位机的特点，采用多线程技术来编写上位机软件。上位机功能模块包括发送和解析数据帧、数据存储和数据显示，这 3 个上位机功能模块独立运行。

当单通道实时采集数据时，多个线程的程序同时运行，操作系统为每一个线程分配不同的 CPU 时间片。CPU 只执行一个时间片内的线程，多个时间片中的线程在 CPU 内轮流执行，由于时间非常短。在宏观上，每个线程好像是并行执行。

上位机软件使用 C++ 语言来描写，软件程序流程图如图 6 所示。把数据帧的发送与解析、数据存储、数据显示这 3 个功能模块分别放到一个线程中去执行，利用多线程技术来保证各个功能的并行执行。

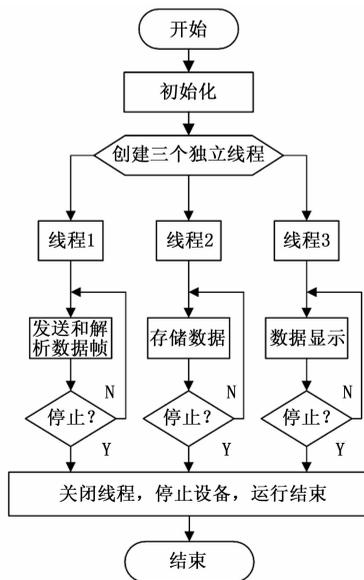


图 6 上位机软件程序流程图

### 3.2 下位机软件程序的设计

下位机软件程序指的是 PIC 单片机里面的程序。整个下位机采集单元由无线 WiFi 模块、运算放大器、AD 转换、

存储芯片、电源芯片和 PIC 单片机组成。除了运算放大器和电源芯片以外, 其它部分都需要单片机的控制才能正常工作, 所以单片机的软件设计是整个软件环节的重要组成部分<sup>[10]</sup>。图 7 所示的是单片机主程序流程图。

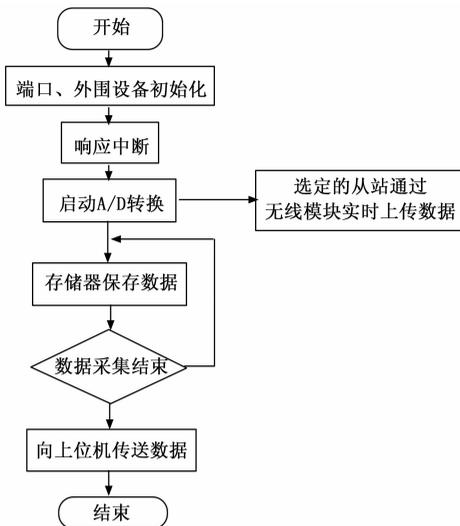


图 7 PIC 单片机主程序流程图

本系统采用 C 语言来实现单片机的控制代码。从模块化的角度把程序分成 3 个模块: 单片机主程序模块、A \ D 转换模块、SPI 串行通信模块。单片机主程序模块是一个顺序执行的循环程序, 实现系统软、硬件资源的整体管理和单片机系统初始化。A \ D 转换模块是利用 PIC24FJGA106 芯片内部自带的 10 位高速 16 通道 A/D 转换器完成模拟数据的采集, 当接收到上位机中断指令时, 开始对模拟数据进行 AD 转换。PIC24 单片机可以集成出 3 个 SPI 模块, 这里我们使用两个, 分别与 WiFi 模块和存储芯片通信。

#### 4 实验结果与分析

为验证本文设计的无线浪高传感器的实际性能, 利用实验水槽一端的造波机模拟波浪环境。每一个下位机都接上一个浪高传感器, 将 20 个浪高传感器放置于水槽的不同位置, 一台路由器作为 AP 接入点, 一台 PC 机作为主站。在实验水池中, 利用造波机产生波高为 40 mm, 周期为 1 s 的规则波。选定 1 号从站通过无线模块实时采集和上传数据, 系统的采样周期为 20 ms。图 8 位上位机软件上显示的实时浪高曲线, 由图可知浪高曲线光滑, 数据点均匀分布。

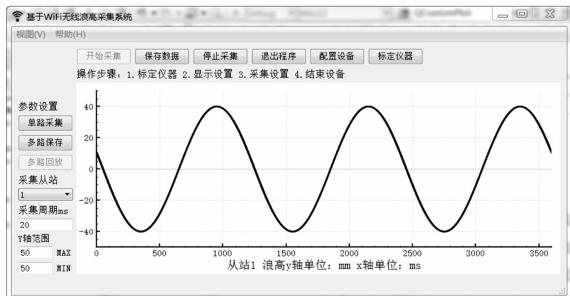


图 8 单通道实时浪高曲线

实验结束后, 其余下位机存储器保存的数据上传到上位机。通过上位机软件进行数据回放和分析, 图 9 显示 3、9、13 号从站的数据回放。主站 PC 机存储 10 000 组数据, 数据丢失率不到 0.1%。在 WiFi 热点覆盖范围之内, 实验达到了预期的数据传输的实时性与准确性。

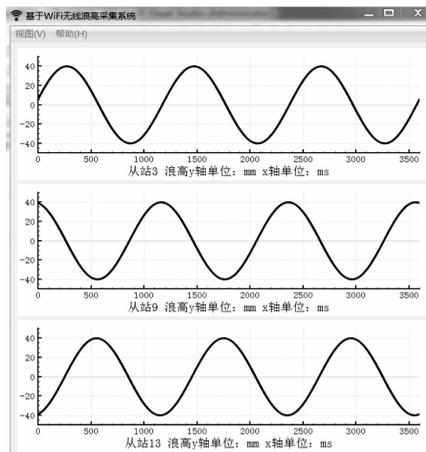


图 9 回放浪高曲线

#### 5 结束语

WiFi 网络数据传输由于其传输速度快、可靠性高、覆盖范围广、组网成本低, 将会是未来无线数据采集的发展趋势。基于 WiFi 的无线浪高数据采集系统, 将数据还原为了实际浪高值, 取得了预期的效果。但是, 在以后的实际应用中, 如何实现多通道实时上传数据, 提高传输速率, 保证不丢帧传输, 是面临的一个重要问题。

#### 参考文献:

- [1] Lee K, Lee J, Yi Y, et al. Mobile Data Offloading: How Much Can WiFi Deliver [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2013, 21 (2): 536 - 550.
- [2] 于涛, 王健. 基于 Socket 通讯技术的上层监控软件的实现 [J]. 计算机技术与发展, 2009, 19 (3): 243 - 245.
- [3] 李木国, 王磊, 王静, 等. 基于 EtherCAT 的工业以太网数据采集系统 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (3): 237 - 239.
- [4] 马捷, 鄂金龙. 基于近场通信的 WiFi 传输连接方案 [J]. 计算机工程, 2013 (6): 1 - 6.
- [5] 李木国, 王延国, 孙慧涛. 基于 EtherCAT 总线的串联型分布式数据采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (6): 195 - 198.
- [6] 孔丽丽. 基于 EtherCAT 波高数据采集系统的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [7] 党娜, 张丕状. 便携式数据采集控制系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 3940 - 3942.
- [8] 尹晓琦, 朱全银. 基于 WiFi 和虚拟仪器的噪声监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (12): 4002 - 4004.
- [9] 杨亚军. 基于加速度传感器的可穿戴人体运动状态监测系统的设计 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [10] 张群. 基于 EtherCAT 网络的多功能数据采集系统设计与实现 [D]. 大连: 大连理工大学, 2015.