

基于蓝牙通信的多路采集系统设计

周杰^{1,2}, 张晓明^{1,3}, 杜江波^{1,2}, 邱江涛⁴

(1. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051;

2. 中北大学 仪器与电子学院, 太原 030051;

3. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051;

4. 淮海工业集团有限公司, 山西 长治 046012)

摘要: 针对磁、惯性等传感器在转台标定及温箱试验过程中存在有线串口传输存在连接复杂、数据传输干扰严重以及受设备限制使得数据无法传输的问题进行了研究, 设计了一套基于蓝牙通信技术的低功耗多路数据采集系统; 该系统采用 8 路 12 位的模拟信号采集电路和 3 路数字信号采集电路, 并通过混合编帧的设计将不同传输速率的传感器数据进行存储和传输, 该系统采集通道可灵活配置和快速切换, 可接收 RS-232、RS-422 和 RS-485 串口通信, 实现了多路传感器数据的无线通信传输; 试验结果表明, 在转台试验和温箱试验环境下其数据有效传输距离能够达到 6 米左右, 传输速率可达 50 kbps, 丢帧率低于 0.1%, 满足了在有线串口连接传输距离不够、受干扰严重情况下的应用, 简化和改进了传统有线串口通信方式。

关键词: 传感器; 蓝牙; 多路采集; 无线通信; 传输速率; 混合编帧

Design of Multi-channel Acquisition System Based on Bluetooth Communication

ZHOU Jie^{1,2}, ZHANG Xiaoming^{1,3}, DU Jiangbo^{1,2}, QIU Jiangtao⁴

(1. National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051,

China; 2. School of Instrument and Electronics, North University of China, Taiyuan 030051, China;

3. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement of Ministry of Education, North University of China, Taiyuan 030051, China; 4. Huaihai Industries Group Co., Ltd., Changzhi 046012, China)

Abstract: Aiming at magnetic, inertial and other sensors in the process of rotary table calibration and temperature test chambers, wired serial port transmission has the features of complex connections, severe data transmission interference and limited equipment, which makes data transmission impossible. Based on this, this paper designs a low-power multi-channel data acquisition system based on Bluetooth communication technology; The system adopts the analogue signal acquisition circuit with 8 channels and 12 bits and digital signal acquisition circuit with 3 channels, and stores and transmits sensor data with different transmission rates through hybrid framing. The system has the flexibly configured and quickly switched acquisition channels to receive RS-232, RS-422 and RS-485 serial communication, and realizes the wireless communication and transmission of multi-channel sensor data; Experimental results show that in the testing environments of rotating table and temperature box, the effective transmission distance of the data can reach about 6 meters, with a transmission rate of 50 kbps and loss frame rate of less than 0.1%, it meets the requirement of insufficient transmission distance in the wired serial port connection and serious interference, and simplifies and improves traditional wired serial port communication.

Keywords: sensor; Bluetooth; multi-channel acquisition; wireless communication; transmission rate; hybrid framing

收稿日期:2023-12-13; 修回日期:2024-01-03。

基金项目:国防科技基础加强计划项目(2021-JCJQ-JJ-0947);航空科学基金项目(202000010U0004)。

作者简介:周杰(1997-),男,硕士研究生。

通讯作者:张晓明(1976-),男,博士,教授,博士研究生导师。

引用格式:周杰,张晓明,杜江波,等.基于蓝牙通信的多路采集系统设计[J].计算机测量与控制,2025,33(1):204-210.

0 引言

为提高传感器的测量精度和测试传感器的性能指标, 通常在使用前利用高精度的标定设备对传感器进行标定校准试验及性能测试试验, 以获取传感器的相关误差补偿参数和性能指标参数^[1]。目前传感器在标定过程中进行多路数据传输的方式一般采用传统的有线串口通信方式^[2], 如文献 [3] 中王森设计的基于 FPGA 的多通道采编控制器的设计与实现, 对不同速率的模拟信号与接收的数字信号进行采集, 并将采集的信号通过数据帧格式的形式混合编帧和存储, 再通过有线串口传输的方式完成与上位机的通信^[3], 该方式传输速率快、延时长, 但是传感器受周围环境影响较大以及受标定设备限制(如: 在使用大型转台对传感器进行标定时, 会使用导电滑环进行传感器的数据传输, 但是转台的连续高速旋转工作会对数据传输产生很大的噪声影响), 使得在有线数据传输过程中存在连接复杂、传输距离不够、受电气设备干扰严重、走线流程繁琐等问题。从传输介质来看, 通信无非分为有线通信和无线通信两种方式^[4]。针对传统有线串口通信的复杂性, 可以使用无线通信的方式进行传感器的试验测试。

目前现有的无线通信方式有: Wi-Fi 通信、蜂窝网络通信、蓝牙通信等^[5]。Wi-Fi 通信是一种无线局域网技术, 广泛用于家庭、办公室、公共场所等地, 它基于 IEEE 802.11 标准, 使用 2.4 GHz 或 5 GHz 频段进行数据传输^[6]。Wi-Fi 通信传输速度快, 覆盖范围广, 但是其耗电量过大, 造价成本高, 需要单独网卡; 蜂窝网络通信是移动通信系统的一种, 包括 2G、3G、4G 和最新的 5G, 蜂窝网络通过基站和移动设备之间的通信实现宽带无线数据传输, 蜂窝网络通信主要用于远距离通信^[7-8], 移动性好, 安全性高, 但是其延迟较高, 信号源受地理环境限制影响较大; 蓝牙通信是一种无线数据和语音通信的开放性全球规范, 它以低成本的近距离无线连接为基础, 为固定和移动设备通信环境建立一种特别连接的短程无线电技术^[9-10]。随着蓝牙 5.0 标准的推出, 蓝牙通信作为市场上支持最广泛、功能最强大、最可靠的低功耗无线技术, 发展前景一片光明。国内许多研究机构、高等院校都对低功耗蓝牙做了大量研究。目前, 有 2 000 多家公司和机构参与了蓝牙技术的研发、生产和应用, 并取得了一些研究成果。许多公司还在研究蓝牙 5.0 的新功能, 走在时代的前列, 使蓝牙技术在实际生活中得到应用。蓝牙通信具有体积小、功耗低、辐射低、造价成本低、可与多种设备连接(如: 手机、平板、计算机等)的优势, 虽然其传输距离短、覆盖范围小, 但是足以满足对传感器的试验所需, 并且其信号源受地理环境影响较小, 传输速率虽没有 Wi-Fi 通

信、蜂窝网络通信那么快, 但能满足传感器的传输指标。

基于上述问题, 本文开发了一套基于蓝牙通信的多路数据采集系统, 该系统具有多路数据采集(包括模拟信号、数字信号)、ADC 转换、采集通道快速切换、不同频率数据混合编帧的功能, 并且多路数据采集可针对不同传感器的信号类型、采样率、传输速率进行灵活配置。蓝牙与传感器的结合为各种设备和系统提供了更便捷、灵活的无线通信和数据传输方式, 使得设备更加智能化, 解决了数据传输过程中标定设备干扰严重、硬件设施铺设过多、传输距离不够、受设备限制无法传输的问题。

1 蓝牙通信原理

蓝牙通信是一种基于无线技术的低成本、短距离通信方式。它利用 2.4 GHz 频段进行数据传输, 采用频分多址技术和高斯频移键控调制方式^[11]。它采用频率跳跃扩频技术, 使得多个设备在同一频段上进行通信, 避免了互相干扰的问题。在蓝牙通信中, 设备首先进行配对, 建立安全的连接。然后数据被封装成协议包, 并通过分组传输方式在设备之间交换。蓝牙通信的工作距离通常在 10 米到 100 米之间, 具体取决于设备的发射功率和环境条件。蓝牙通信广泛用于消费电子、智能家居等领域, 让设备之间能够简便地进行无线数据传输和通信。

1.1 蓝牙协议栈

蓝牙协议栈是指用于管理和实现蓝牙通信的一系列协议层。蓝牙通信采用层次化的协议栈来管理通信。蓝牙协议栈分为物理层、链路层、主机控制器接口层和应用层等几个部分。物理层负责传输无线信号, 链路层负责建立连接和管理数据传输, 主机控制器接口层是连接主机和控制器的接口, 应用层则处理具体的数据和功能, 每个层次负责特定的功能和任务, 以确保蓝牙设备之间的无线通信能够高效、稳定地进行。蓝牙 SIG 规范的完整蓝牙协议栈如图 1 所示。

蓝牙的核心协议由基带、链路管理、逻辑链路控制与适应协议和服务搜索协议组成: (1) 基带协议: 基带协议确保各个蓝牙设备之间的射频连接, 以形成微微网络; (2) 链路管理协议: 链路管理协议 (LMP) 负责蓝牙各设备间连接的建立和设置。LMP 通过连接的发起, 交换和核实进行身份验证和加密, 通过协商确定基带数据分组大小; 还控制无线设备的节能模式和工作周期, 以及微微网络内设备单元的连接状态; (3) 逻辑链路控制和适配协议: 逻辑链路控制和适配协议 (L2CAP) 是基带的上层协议, 可以认为 L2CAP 与 LMP 并行工作。L2CAP 与 LMP 的区别在于当业务数据不经过 LMP 时,

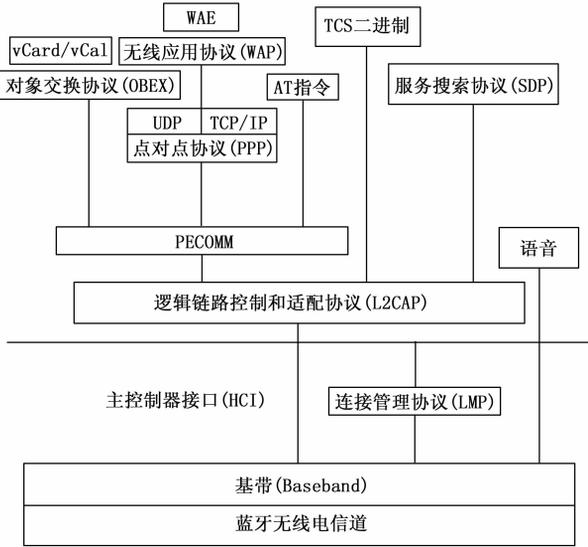


图 1 完整蓝牙协议栈

L2CAP 为上层提供服务；(4) 服务搜索协议：使用服务搜索协议 (SDP)，可以查询到设备信息和服务类型，从而在蓝牙设备间建立相应的连接^[12]。

1.2 蓝牙数据传输

蓝牙数据传输的原理是通过无线信通将数据在蓝牙设备之间进行传输，以实现数据的交换和共享^[13]。蓝牙进行数据传输的步骤如下。

1) 建立连接：在进行蓝牙传输之前，需要先建立蓝牙连接。这一过程称为配对 (Pairing)，其中两个蓝牙设备会进行身份验证和加密操作，以确保数据的安全性。配对成功后，设备之间建立了一个虚拟的通信链路；

2) 数据编码：将原始数据转换为特定的二进制编码格式，以便在传输过程中能够准确传递和重构；

3) 帧封装：将数据划分为较小的数据包 (帧)，每个帧通常包含一些用于错误检测和纠错的控制信息，例如校验和或冗余编码；

4) 调制/解调：在无线传输中，发送方使用调制技术将数字信号转换为模拟信号，以便通过无线信道传输。接收方通过解调技术将模拟信号重新转换为数字信号；

5) 传输介质：蓝牙技术使用频分多址技术来共享 2.4 GHz 频段，将频段划分为 79 个频道，并采用快速切换的方式在这些频道之间进行传输，以避免与其他蓝牙设备的干扰；

6) 错误检测和纠正：接收方通常会对接收到的数据进行错误检测和纠正，以确保数据的完整性和准确性。常见的技术包括校验和、循环冗余校验等。

7) 数据解码：接收方接收到数据后进行解码，将其还原为原始数据格式。

2 系统结构及原理

基于蓝牙通信的多路采集系统包括硬件设计和系统层面的软件集成^[14]。基于蓝牙通信的多路数据采集系统采集到传感器的实时数据，并将这些数据通过无线传输的方式发送到带有蓝牙通信的接收机，实现了传感器的无线数据传输及实时监测，其系统结构图如图 2 所示。基于蓝牙通信的多路数据采集系统由 ADC 采集模块、串口通信模块、信号调理电路组成^[15]。ADC 采集模块用于经信号调理电路之后的模拟量传感器数据的采样、量化及编码，串口通信模块用于传感器数据与采集系统的数据传输，也可用于连接串口传输助手对系统蓝牙的 AT 指令进行设置及连接数据接收机亦可实现有线传输。多路数据采集系统通过蓝牙与蓝牙接收机连接后，当需要某路信号数据时，多路数据采集系统可将存储在 Flash 中的该路数据上传给蓝牙接收机，接收机对接收的数据进行解帧并还原多路数据采集系统发送的传感器数据；其次，接收机将接收到的传感器数据进行数据处理，然后再通过蓝牙下传给多路数据采集系统。

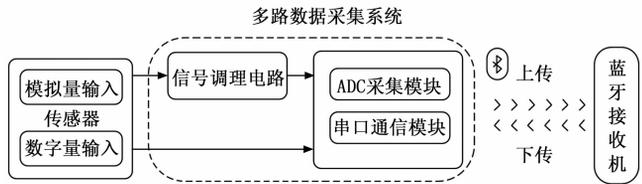


图 2 蓝牙数据传输系统结构图

3 系统硬件设计

由于本设计针对多路传感器信号进行采集并通过蓝牙通信实现数据的传输，因此对系统 MCU 的要求较高，本设计 MCU 模块采用 NORDIC 公司推出的一款带有低功耗蓝牙功能的 ARM Cortex-M4 32-bit 浮点单元处理器 NRF52832 芯片，该芯片工作频率为 64 MHz，接收灵敏度 -96 dBm，并且集成了 2.4 GHz 无线传输器和蓝牙 5.0 无线通信技术，使其能够实现更快的数据传输速率和更低的功耗。其工作电压为 1.7~3.6 V，内置 512 kB 的 Flash 闪存和 64 kB RAM，可以提供充足的存储空间和数据处理能力^[16]。并且具有广泛的外设接口，包括 UART、SPI、I2C 和 GPIO，可与其他传感器、显示屏和外部设备进行通信和数据交换。它还支持模拟输入、PWM 输出和 ADC (模数转换) 等功能。

本文设计使用 NRF52832 芯片的 P0.06 和 P0.08 引脚作为 UART 的输入、输出口，VDD 引脚使用 3.3 V 直流供电电源，P0.13 引脚作为模块外部指示灯输出脚，P0.14 引脚作为连接指示输出，未连接状态输出高电平，连接后输出低电平，P0.16 引脚作为低功耗控制引脚 (高电平表示“低功耗”，低电平表示“退出低功耗”)，

P0.17 引脚作为模块低功耗指示输出脚 (标准状态下输出低电平, 低功耗状态下输出高电平)。如图 3 为基于蓝牙通信的多路采集系统。



图 3 基于蓝牙通信的多路采集系统

3.1 ADC 采集模块

ADC 采集模块主要包括模拟信号调理电路、ADC 数据采集, 模拟信号调理电路使用 AD8426 对信号进行调理、放大。经调理、放大后的信号连接到 MCU 的模拟量输入引脚 AIN_x, MCU 具有 8 路可用的转换通道, MCU 通过配置内部定时器产生 PWM 波并触发 ADC 采样, 配置 ADC 的工作模式、采样时间、转换序列设置 ADC 多通道采集模式及每路信号的采样时间、采样周期和转换序列, 并且 MCU 的 ADC 模块支持可配置的分辨率, 它可以配置为 8 位、9 位、10 位、12 位或 14 位的转换精度, 较高的转换精度会提供更准确的模拟信号转换结果。通过配置 MCU 内部 ADC 模块参数实现 8 路、12 位的模拟量信号采集。

3.2 串口通信模块

本系统针对不同传感器传输需求, 设计了 2 路 RS-232、多路 RS-422/RS-485 串口通信接口, 并且串口的波特率可选。在本系统中, 采集系统通过串口接收传感器的数据, 接收的模拟信号经调理电路后传送到 MCU, 接收的数字信号经串口通信后直接传送到 MCU。RS-232 接口采用 MAX3232CDR 芯片, 该芯片具有两路数据收发通道, 可满足系统要求, RS-422/RS-485 采用 MAX3490 芯片, 该芯片既能实现 RS-422 的数据传输, 也可实现 RS-485 数据传输。不同波特率的传感器, 可在程序上进行修改, 简单方便, 应用范围广^[17], 实现了多模式的串口通信。

3.3 电源模块

电源模块设计主要目的是获得一个稳定且低噪声的

电源, 并通过线性稳压模块变换出其他各单元所需的工作电源, 在设计电源时, 需要降低其噪声干扰, 考虑热效率, 避免对其他电路造成影响。整个系统的供电由 7.4 V 直流电源输入, MCU 主控单元、串口通信单元、模拟信号调理电路的基准电压采用 3.3 V 电压供电, 模拟信号调理电路采用 5 V 电压供电, 可以采用 MIC5205 稳压芯片对直流电源进行降压处理, 得到各个模块所需的工作电源, 电源模块硬件连接图如图 4 所示。

4 系统软件设计

软件设计部分主要是对不同频率的传感器数据进行采集、存储、编帧及传输, 图 5 为该系统的系统流程图, 系统上电之后, 电源指示灯亮起, 系统进入初始化阶段, 采集模块开始工作与蓝牙接收机配对连接, 传感器开始工作, 采集模块主控芯片接收到传感器数据后对数据进行编帧, 将编帧后的数据存储在 Flash 中, 当需要某路传感器数据时, 采集模块将数据从 Flash 读取出来, 通过蓝牙打包发送给蓝牙接收机, 以便观测传感器信息及进行后续的数据处理。

4.1 数据采集时序设计

针对多路采集系统的灵活性即灵活传输多路传感器数据, 对采样通道进行了配置, 如表 1 所示。为了节约资源以及实现各路通道的快速切换, 可用一条总线实现对芯片的驱动^[18]。每个通道的地址由 Keil 软件进行编码, 并根据表 1 所示的编码方法为不同的采样地址生成查找表结构并存储在 ROM 表中。当多路采集系统运行时, 首先从 ROM 表中读取通道地址, 然后将从 ROM 表中读取的通道地址发送给总线芯片, 芯片将相应的通道数据发送给 MCU, 处理后再将数据进行编帧。在这种工作模式下, MCU 主控程序只需按

表 1 采样通道配置表

采样通道	ADD3	ADD2	ADD1	ADD0
CH1	0	0	0	0
CH2	0	0	0	1
CH3	0	0	1	0
...
CH10	1	0	0	1
CH11	1	0	1	0

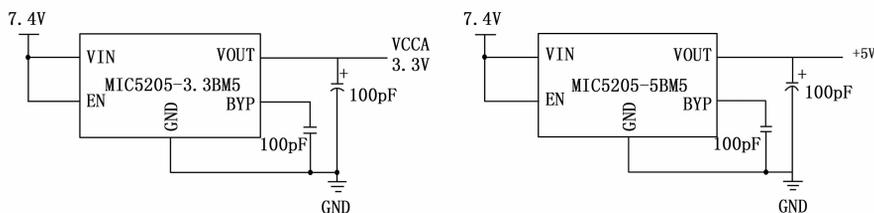


图 4 电源模块硬件连接图

顺序读取 ROM 表，即可在不同通道之间进行切换。如果要改变通道的读取顺序，只需改变 ROM 读取表中存储的通道顺序。

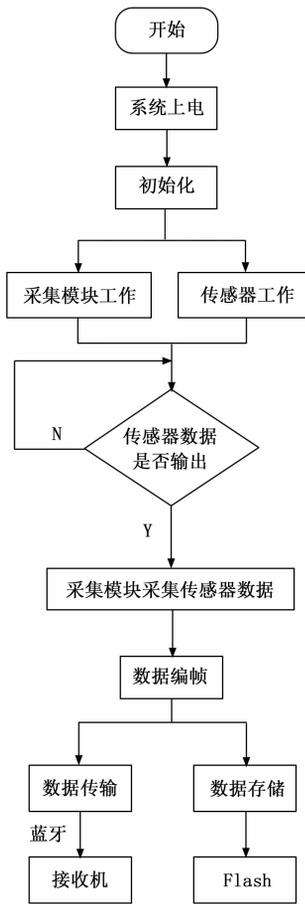


图 5 系统流程图

4.2 数据传输编帧设计

多路采集系统需要对多个不同频率的传感器数据进行采集和存储，并通过无线电波的方式将数据实时传输到蓝牙接收机。由于各个传感器的采样率不同，在采集模块完成对传感器的信号采样后，需在 MCU 的时序控制下通过编帧的方式将传感器数据打包发送到蓝牙接收机。对数据进行编帧处理可有效提高多路传感器数据的识别度，并且传感器数据通过约定格式编辑打包后，将有利于蓝牙接收机执行更加快捷的解包及数据处理工作。

根据实际情况，不同通道的采样率差异很大，并且数据的采集量很大，本设计使用统一混合编帧法：首先，根据每个通道的不同信号特征在奈奎斯特最小采样间隔和最大限度地表现信号实际波形的特征设置不同的采样率，但要求采样率值必须是采样率值中的最小值，此时最小采样率即为 A/D 采样率值。其次，在不同的采样频率下对应通道号编辑数据帧格式，保证采样频率

最小的通道号只在帧中出现一次，其余采样频率为 N 倍的通道号出现 N 次，并保证采样次数的平均值应尽可能平均地分散在整个通道的采样帧中。为便于数据回放、控制帧丢失和帧错误，应在帧结束时添加帧计数和帧结束标志^[19]。数据编帧结构如表 2 所示。

表 2 数据编帧结构表 Hz

CH1 4K	CH2 4K	CH3 2K	CH4 2K	CH6 1K
CH1 4K	CH2 4K	CH5 2K	CH7 1K	CH8 1K
CH1 4K	CH2 4K	CH3 2K	CH4 2K	CH9 1K
CH1 4K	CH2 4K	CH5 2K	0F E5	EB 90

其中：CH1、CH2 为 2 路 4 kHz 的采样数据，CH3—CH5 为 3 路 2 kHz 的采样数据，CH6—CH9 为 4 路 1 kHz 的采样数据，每路数据占 2B，0F E5 为帧计数，占 2B，EB 90 为帧结束标志，占 2B。

4.3 蓝牙传输参数设置

蓝牙参数设置模块是指对蓝牙 AT 指令进行参数设置，通过串口传输助手发送特定的 AT 指令给蓝牙模块，可以实现对蓝牙设备名称、射频功率、波特率、功耗模式、主从模式等参数的查询和修改^[20-21]。使用 AT 指令，可以通过串口与蓝牙模块进行通信，并在与主机设备交互时进行配置，在本设计中，为满足系统低功耗的性能要求，需修改蓝牙模块的功耗模式，串口传输助手向蓝牙模块发送“AT+PM=1”，返回“OK+PM=1”表示模块进入低功耗模式，即上电就进入了睡眠模式，此时蓝牙模块的工作电流小于 75 μ A；根据不同传感器在进行数据传输时的传输速率修改多路采集系统的波特率，使其与传感器的波特率相匹配。

5 试验验证

为了验证多路采集系统的正确性以及有效性，本文对其性能进行了试验测试，包括：不同环境下的传输距离、传输速率、丢帧情况以及试验环境下的抗干扰能力等，测试环境包括温箱试验环境和转台试验环境，如图 6 所示。蓝牙进行数据传输的传输速率公式为^[18]：

$$r_b = \frac{Num_Payload}{Time} \quad (1)$$

其中： r_b 为传输速率， $Num_Payload$ 为有效数据长度，有效数据长度为 36 字节（即 288 bit）， $Time$ 为传输周期，完整的传输周期时间为 5 ms，则数据传输的理论传输速率约为 57.6 bit/ms，即 57.6 kbps。

5.1 传输距离测试

首先验证在传输速率为 50 Kbps 的条件下，在无障碍物的室内环境和温箱试验环境下采集模块的传输距离。将采集模块与传感器相连接，然后再与蓝牙接收机进行配对建立连接，确保采集模块与接收机之间的连接稳定，并确保处于正常工作状态。此时将采集模块放置



图 6 测试环境

在接收机附近, 逐渐增加采集模块与接收机的距离, 同时观察接收机可视化界面的数据变化情况以确认蓝牙的连接状态, 当信号连接断开时, 记录下此时的距离作为传输距离上限。测试结果如表 3 所示。

表 3 采集模块传输距离测试结果

环境	传输速率/Kbps	测试距离/m	是否断开连接
无障碍物的室内环境	50	3	否
		6	否
		9	否
		12	否
		13	是
温箱试验环境	50	2	否
		4	否
		5	否
		6	否
		7	是

5.2 传输速率测试

根据理论数据传输速率进行传输速率试验测试, 在无障碍物的室内环境和温箱试验环境两种环境下, 固定多路采集系统的传输距离为最大有效传输距离不变, 逐渐增加传输速率的大小, 观察接收机接收数据量大小的情况, 验证多路采集系统的传输速率, 测试结果如表 4 所示。

5.3 丢帧率测试

丢帧率是判断一个采集系统好坏的关键, 本设计通过在试验过程中采集数据, 控制主控制器设置中断, 采集模块向接收机发送固定帧计数, 分析接收机接收到数据的丢帧情况。在不同的环境条件下以 50 Kbps 传输速率及该环境下的最大有效传输距离进行多次重复测试, 以获得更准确的结果。测试结果如表 5 所示。

表 4 采集模块传输速率测试结果

环境	传输速率/m	测试速率/kbps	是否断开连接
无障碍物的室内环境	12	10	否
		30	否
		40	否
		50	否
		55	是
温箱试验环境	6	10	否
		30	否
		40	否
		50	否
		55	是

表 5 采集模块丢帧率测试结果

环境	传输距离/m	发送数	接收数	丢帧率/%
无障碍物的室内环境	12	1 000	999	0.1
温箱试验环境	6	1 000	999	0.1

5.4 抗干扰能力测试

在转台试验环境下, 为了验证蓝牙传输方式对传感器数据的采集效果和干扰情况的影响, 使用基于蓝牙通信的多路采集系统与传统的有线串口传输分别对传感器数据进行采集, 得到了两种传输方式所采集到的传感器数据的干扰情况对比, 对比结果如图 7 所示。

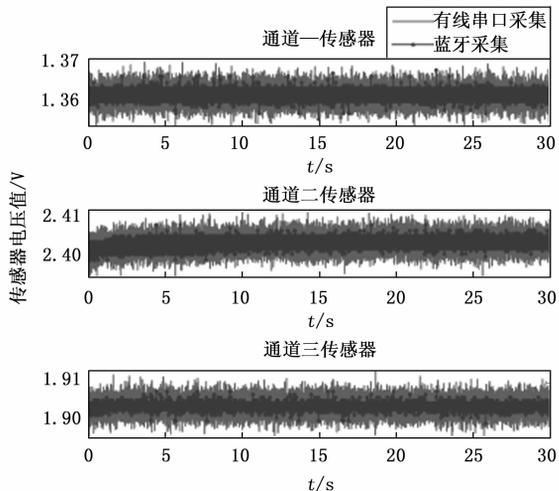


图 7 采集传感器电压对比图

5.5 测试结果分析

通过在无障碍物的室内环境和温箱试验环境下对系统的传输距离进行了测试, 测试结果表明: 在系统的最大传输速率范围内, 理想状态有效传输距离为 12 m, 温箱试验环境下有效传输距离也能达到 6 m, 可以满足大部分传感器短距离传输的试验要求; 通过计算理论传输速率并在无障碍物的室内环境和温箱试验环境下对系统的实际传输速率进行了测试, 测试结果表明: 在无障

障碍物的室内环境下的最大传输距离 12 m 处和温箱试验环境下最大传输距离 6 m 处, 系统的传输速率均能达到 50 kbps, 达到了传感器传输速率的要求; 通过无障碍物的室内环境和温箱试验环境条件下对系统进行丢包率测试, 测试结果表明: 在最大有效传输距离和传输速率范围内, 系统的最大丢包率为 0.1%, 对数据传输结果影响较小, 可用于多路传感器的信号采集; 通过在转台试验环境条件下对系统的抗干扰能力进行了测试, 测试结果表明: 基于蓝牙通信的多路采集系统与传统的有线串口传输相比, 输出数据较为平滑, 干扰较小, 抗干扰能力较强, 消除了导电滑环对数据传输产生的影响。

6 结束语

本文针对传统的有线串口传输存在连接复杂、数据传输干扰严重以及试验过程中受设备限制使得数据无法传输的问题, 设计了一套基于蓝牙通信的多路采集系统, 具体介绍了系统的软硬件设计: 硬件方面, 设计了 ADC 采集模块和串口通信模块来采集模拟量信号和数字量信号; 软件方面, 设计数据采集的时序逻辑, 使得采集通道可灵活切换, 通过混合编帧的设计, 将不同传输速率的传感器数据存储并实时传输。最后通过试验对该系统的传输距离、传输速率、丢帧情况以及抗干扰能力进行了验证分析, 试验表明该系统可实现多路不同采样率、不同信号数据的混合采集、传输、存储, 有效传输距离可达 12 m 左右, 在传感器温度试验和转台试验中有效传输距离也可以达到 6 m 左右, 满足试验所需要求。代替了传统的全双工通信时复杂繁琐的物理连线, 实现了就近数字化, 并且在有效传输距离和传输速率范围内其丢帧率均低于 0.1%, 在数据传输过程中抗干扰能力强、噪声小, 为传感器的试验过程提供了便利, 提高了其试验效率。

参考文献:

- [1] 高丽珍. 基于地磁/MEMS 陀螺信息融合的旋转弹药姿态估计技术 [D]. 太原: 中北大学, 2021.
- [2] 姜东. 基于蓝牙的电子水准仪数据传输系统研发 [J]. 地理空间信息, 2019, 17 (5): 43-45.
- [3] 王森. 基于 FPGA 的多通道采编控制器的设计与实现 [D]. 太原: 中北大学, 2023.
- [4] 王腾飞, 王亚楠. 有线通信技术与无线通信技术对比分析 [J]. 电子元器件与信息技术, 2019, 3 (8): 54-56.
- [5] HAHN F, VALLE S, RENDON R, et al. Mango fruit fly trap detection using different wireless communications [J]. Agronomy, 2023, 13 (7): 53-56.
- [6] JURAK, PETR. Model fyzické vrstvy komunikačního systému IEEE 802.11ah [D]. Czech Republic: Brno University of Technology, 2018. 45-46.
- [7] 许伟, 郭晓娜, 陈康等. 移动蜂窝网络定位技术综述 [J]. 湘潭大学学报 (自然科学版), 2024, 46 (1): 44-57.
- [8] MUSA M S, MOHAMMED A. Enhancing the quality of communication of cellular networks using big data applications [J]. Journal of Big Data, 2021, 8 (1): 147-152.
- [9] AUGUSTYN L, JAKUB S, MICHAL C. Real-Time location system (RTLs) based on the bluetooth technology for Internal logistics [J]. Sustainability, 2023, 15 (6): 4976-4976.
- [10] 郭恩远, 王勇德. 蓝牙技术原理及其体系结构 [J]. 实用测试技术, 2001 (5): 39-41.
- [11] 盛红梅, 李旭伟. 蓝牙技术主要原理综述 [J]. 计算机时代, 2009 (3): 6-7.
- [12] 张力舒, 高兆法. 蓝牙技术原理及其在汽车领域中的应用 [J]. 山东通信技术, 2014, 34 (2): 44-47.
- [13] ÖZÇELİK A M, KIYMIK M. Secure data transmission in computer and mobile device over Bluetooth [J]. Kahramanmaraş Sütçü İmam üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2016, (3): 138-145.
- [14] ZHENG Y, ZHAO J, TANG Y. Design of multi-channel data acquisition system based on FPGA [J]. International Journal of Frontiers in Engineering Technology, 2022, 4 (7): 216-220.
- [15] 杨晨, 李金波, 王蓓. 多维三鉴复合传感探测技术在高速铁路周界安防中的应用 [J]. 中国铁路, 2018 (10): 85-89.
- [16] 贾琦, 祝静, 程虎. 基于 nRF52832 的砒码检定数据的传输设计 [J]. 计量与测试技术, 2022, 49 (4): 25-27.
- [17] 郑永秋, 王旋, 刘亚兵等. 1 km 以浅多参量混合编帧式数据采集系统设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2022 (2): 65-69.
- [18] SAMOURKASIDIS A, PAPOUTSOGLU E, ATHANASIADIS N I. A template framework for environmental timeseries data acquisition [J]. Environmental Modelling and Software, 2019, 117: 237-249.
- [19] FA Y W, BAO C, WEN Y Y, et al. Multi-channel self-powered attitude sensor based on triboelectric nanogenerator and inertia [J]. Nano Energy, 2023, 107: 141-159.
- [20] YUNUS H, GURKAS Z G A, ZEYNEP T. Hybrid indoor positioning for smart homes using WiFi and Bluetooth low energy technologies [J]. Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 2023, 15 (1): 322-337.
- [21] 朱曦尧, 胡静, 宋铁成, 等. 基于蓝牙 5.0 的无人机遥控器系统设计与实现 [J]. 信息化研究, 2019, 45 (4): 51-56.