

# Design of Data Acquisition System for Hydraulic Pump Based on ZigBee

Limin Liu, Zengshou Dong, Wenhua Gao

School of Electronic Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan Shanxi  
Email: [215901944@qq.com](mailto:215901944@qq.com)

Received: May 8<sup>th</sup>, 2015; accepted: May 22<sup>nd</sup>, 2015; published: May 29<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

With the development of intelligent engineering machinery and the information demand, effective based data acquisition of hydraulic components is becoming more and more important. Based on ZigBee technology, and ARM processor as the core, adopting low-power ZigBee module CC2530 as coordinator, a data acquisition system of hardware and software combination is designed in this paper. The system, fitting all kinds of data acquisition sensors, can collect hydraulic pump temperature, pressure, flow data as well as air temperature and humidity around vehicles, altitude and some other environment data. It effectively solves the problems of complex routing of cable network, complicated acquisition mode and high fault rate in the process of the construction vehicle data acquisition, being of extensibility as well. Experimental results show the effectiveness of the system.

## Keywords

Data Acquisition, ZigBee, ARM, Sensor, Ad-Hoc Network

---

# 基于ZigBee的液压泵数据采集系统设计

刘利民, 董增寿, 高文华

太原科技大学电子信息工程学院, 山西 太原  
Email: [215901944@qq.com](mailto:215901944@qq.com)

收稿日期: 2015年5月8日; 录用日期: 2015年5月22日; 发布日期: 2015年5月29日

## 摘要

随着工程机械智能化和信息化的发展需求，液压部件基础数据有效采集显得愈来愈重要。论文基于 ZigBee 技术，以 ARM 处理器为核心，采用低功耗 ZigBee 模块 CC2530 作为协调器，设计了一种软硬件结合的数据采集系统。该系统能够配合各类数据采集传感器采集液压泵温度，压力，流量数据和车辆周围空气温湿度，海拔等环境数据。有效的解决了工程车辆数据采集过程中有线网络布线复杂，采集方式繁琐，故障率高的问题，同时还具有可扩展性。实验表明了系统的有效性。

## 关键词

数据采集，ZigBee，ARM，传感器，自组网

## 1. 引言

随着计算机和电子技术的发展，工程机械设备不断向着大型化、高速化、连续化和自动化方向发展。液压系统是这些设备的核心，其设备的功能增多，结构变得越来越复杂，性能指标要求越来越高，工作强度也越来越大，加之其工作环境的恶劣与多变复杂性，相应地增加了液压系统出现故障的可能性[1] [2]。一旦发生故障不仅损失大、影响大；即便是正常维修，也会产生很大的设备维修量和维修费用。还可能破坏整台设备，影响整个生产过程，造成环境污染，甚至危及到人身安全，带来巨大的经济损失。液压泵是液压系统的核心，泵的性能直接影响着液压系统的性能。因此有必要寻找一种经济、可靠、易实现的方法来实时在线监测液压泵的运行状态，有效采集液压泵的特定状态信息，这样才能为后期数据融合与处理奠定坚实的基础，提高液压泵的寿命和工程机械的工作效率。

文献[3]采用 DSP 的有线数据采集方式，但是布线繁琐，干扰较多，采集方式繁琐，不适合在恶劣环境中作业。文献[4]采用基于 wifi 的无线数据采集方式，但是能耗比较大，而且 wifi 只能点对点传输，当有多路数据需要同时传输到终端上时，丢包严重。本文研究并设计了一套基于 ZigBee 的液压泵数据采集系统，用来精确的采集大量的采集液压泵运行数据和周围环境数据，保障后期故障诊断与预测的精确性。本系统与以往监测方法相比，引入自组网思想，将静态的无线传感器网络节点放到动态的工程车辆上去，在采集数据的量和度上，都提升了一个档次，同时加入环境数据的采集，使数据更加真实，有效，实用。

## 2. 系统总体结构设计

本系统以 ARM 处理器 s3c6410 为核心，采用低功耗 ZigBee 模块 CC2530 作为协调器组建无线网络，配合各类数据采集传感器采集液压泵温度，压力，流量数据和车辆周围空气温湿度，海拔等环境数据，通过串口传入 ARM 处理器并显示出来。系统总体设计如图 1 所示。

如图 2 所示，为便于系统后期维护和功能扩展，将整个系统分为处理层，中间层和终端层。处理层为系统上层，实现整个系统的数据存储，处理与显示，供用户调取。ZigBee 无线网络作为中间层，由协调器节点和终端节点构成，运行 Zstack，实现网络组建与数据的传输。传感器与 ZigBee 的终端节点为终端层，实现对液压泵各种运行数据的采集和传输。

## 3. 系统硬件设计

### 3.1. 节点设计与传感器选择

一个液压泵上布置了若干个采集节点，分别采集液压泵的温度，压力，流量数据。同时在泵车边缘

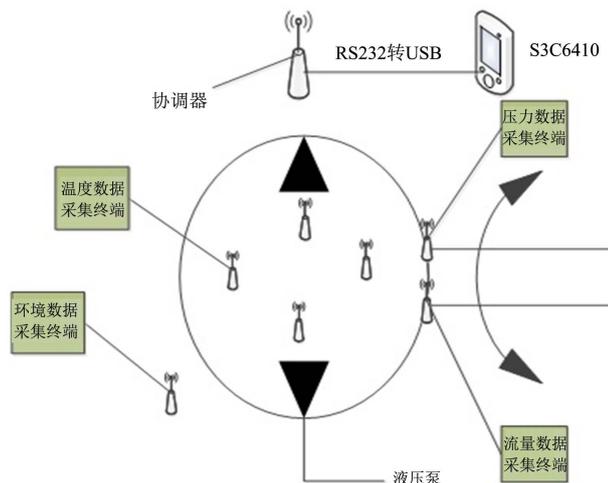


Figure 1. The overall design diagram of the system  
图 1. 系统总体设计图

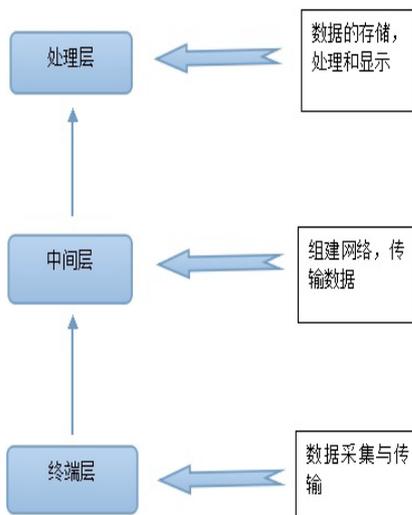


Figure 2. The hierarchical system structure diagram  
图 2. 系统分层结构图

安装温湿度传感器用来采集环境数据。经纬度海拔数据直接从车载 gps 采集。每一个采集节点对应一个采集模块，采集模块由 ZigBee 终端和传感器组成。本系统采用星形网络作为 ZigBee 网络的拓扑结构。由一个协调器与多个终端设备组成。设备选取 TI 公司的低功耗 ZigBee 模块 CC2530，协调器与 ARM 处理器采用 USB 通信。协调器硬件电路中选用 PL2303 芯片，它是 Profile 公司生产的一种高度集成的 RS232-USB 转换器，可提供一个 RS232 全双工异步串行通信装置与 USB 功能接口便利连接的解决方案。终端设备的硬件电路结构与协调器基本相同，不同之处是接有各种数据采集传感器。图 3 为液压泵数据采集终端硬件原理图。

在液压泵的吸油口和排油口各安装一个液压压力传感器，用来测量不同工作负载下泵的油液压力。本系统采用杭州美控自动化技术有限公司的 MIK-P300 型压力传感器。该传感器量程为 0 到 100 MPa，电源电压选择 24 V，输出信号选择 4 到 20 mA，接口螺纹 M20\*1.5，量程精度为 %0.1，输出电流可直接转换成实际压力 P/MPa。设输出电流为 N1~N2，量程为 T，输出电流为 N，则  $P = (N - N1) * T / (N2 - N1)$ 。

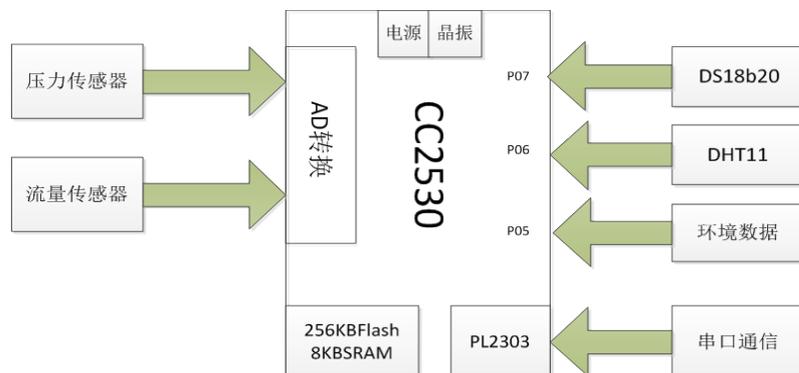


Figure 3. Hydraulic pump data acquisition terminal hardware principle diagram  
图 3. 液压泵数据采集终端硬件原理图

在泵体四壁上放置若干个温度传感器 DS18b20 用来测量泵体的温度，同时可将数据进行对比，可预测液压泵受热不均，气路系统故障等情况。DS18b20 由美国 DALLAS 半导体公司推出，测温范围 $-55^{\circ}\text{C}$ ~ $+125^{\circ}\text{C}$ ，测温误差  $1^{\circ}\text{C}$ 。工作电源  $3.0\sim 5.5\text{ V/DC}$ ，可编程的分辨率为  $9\sim 12$  位，对应的可分辨温度分别为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $0.25^{\circ}\text{C}$ 、 $0.125^{\circ}\text{C}$  和  $0.0625^{\circ}\text{C}$ ，可实现高精度测温，如图 4 所示为 DS18b20 温度值格式表。

二进制中的前面 5 位是符号位，如果测得的温度大于 0，这 5 位为 0，只要将测到的数值乘于 0.0625 即可得到实际温度；如果温度小于 0，这 5 位为 1，测到的数值需要取反加 1 再乘于 0.0625 即可得到实际温度。例如  $+125^{\circ}\text{C}$  的数字输出为 07D0H， $+25.0625^{\circ}\text{C}$  的数字输出为 0191H， $-25.0625^{\circ}\text{C}$  的数字输出为 FE6FH， $-55^{\circ}\text{C}$  的数字输出为 FC90H。

流量传感器采用杭州美控自动化技术有限公司的 LWGY9012 型液体涡轮流量计，用来测量泵液进出口流量。输出信号为脉冲输出  $4\sim 20\text{ mA}$ ，介质温度  $-20^{\circ}\text{C}\sim +120^{\circ}\text{C}$ ，环境温度为  $-20^{\circ}\text{C}\sim +60^{\circ}\text{C}$ ，误差为  $\%1$ ，供电电源为 DC24V，正常流量范围为  $0.5\sim 10\text{ m}^3/\text{H}$ 。设输出电流为 N，输出电流可直接转换成实际流量  $F = (N - 4) \times 9.5 \times 16 + 0.5$ 。

温湿度传感器选择具有标准数字信号输出的 DHT11。供电电压  $3.3\sim 5\text{ V}$ ，测量范围：湿度  $20\%\sim 90\%\text{ RH}$ ，温度  $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。测量精度：湿度  $\pm 5\%\text{ RH}$ ，温度  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。分辨率：湿度  $1\%\text{ RH}$ ，温度  $1^{\circ}\text{C}$ 。输出为单总线数字信号。

### 3.2. 网关设计

网关是 ZigBee 网络与外界交互的桥梁,它的主要工作就是存储和处理收到的数据,同时转换成另一种格式发送出去。本系统采用 ARM 处理器 s3c6410。网关工作流程图如图 5 所示。

## 4. 系统软件设计

本系统软件设计主要包含协调器设计，终端设计，采集设备及数据传输协议 4 部分。

### 4.1. 协调器软件设计

在 TI 官方的 Zstack 协议栈基础上修改 AF 层与调用 HAL 层代码来实现[5]。协调器程序主要负责接收终端发送来的数据，判断帧类型，组建星形网络，建立物理地址和逻辑地址的映射表，同时通过串口发送给处理层。程序流程图如图 6 所示。

### 4.2. 终端软件设计

终端主要负责将采集到的传感器数据发送给协调器，加入星形网络[6]。设备上电后，节点从休眠模

	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
LS Byte	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
	bit15	bit14	bit13	bit12	bit11	bit10	bit9	bit8
MS Byte	S	S	S	S	S	S	S	S

Figure 4. The temperature value format of DS18B20  
图 4. DS18B20 温度值格式表

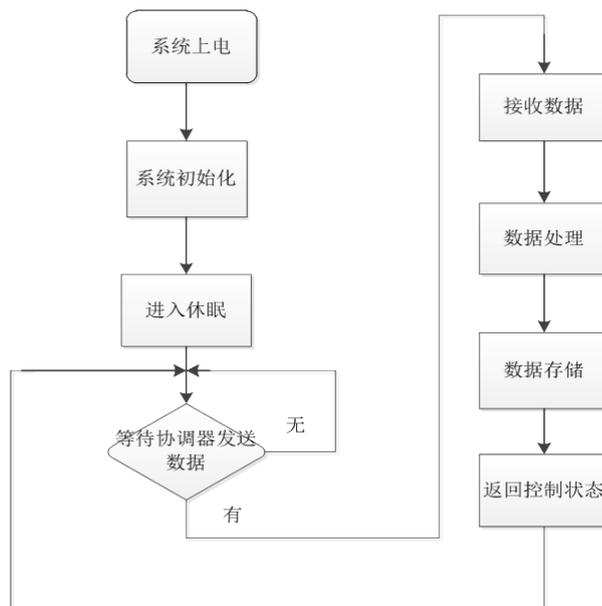


Figure 5. The gateway work flow chart  
图 5. 网关工作流程图

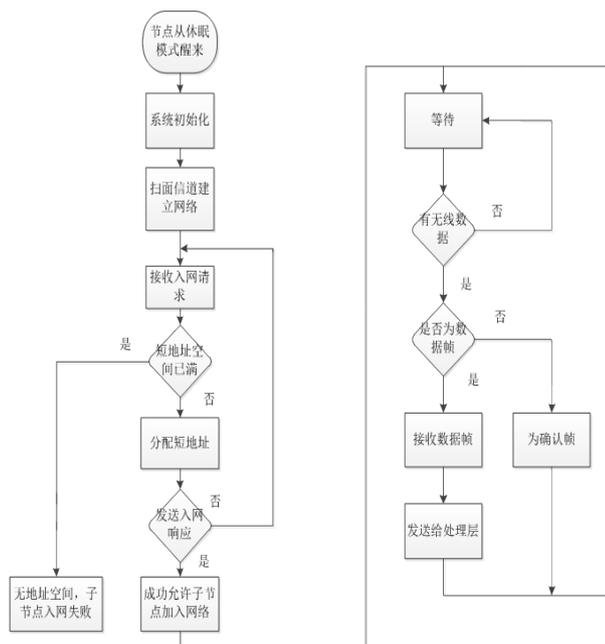


Figure 6. The ZigBee coordinator work flow chart  
图 6. ZigBee 协调器工作流程图

式中醒来，扫描信道，看是否收到周围节点传来信标帧，没有则等待，收到信标帧之后，监听信标帧，选择父节点加入网络，发送入网请求，收到入网请求响应，则加入网络成功，没收到说明父节点的短地址满了，寻找尚未申请的父节点，没有则入网失败，进入休眠模式，有则重新加入网络。入网成功后，看是否有无线数据，地址是否为本机短地址，如果不是则丢弃数据包，重新等待接收无线数据包，如果是，则解析数据命令帧，获取温度，温湿度，流量，压力，环境数据传感器数值，压力和流量数据经过 AD 转换成 ZigBee 协议的数据帧格式，P07 口接收温度数据，P06 口接收温湿度数据，P05 口接收环境数据，发送到协调器。继续等待无线数据包发送。流程图如图 7 所示。

### 4.3. 采集设备软件实现

设备上电后，初始化传感器，进入循环。对于 DS18B20 和 DHT11，采集的是数字量。获取任务 ID 后进行串口初始化，将传感器的输出数据 IO 口初始化为 CC2530 的 P07 和 P06 口，在数据发送结构体函数中加入读取语句，将采集的数字量转换之后存放到设置好的字符串中。设置 AF\_DataRequest()数据发送函数，将数据包发送给目的地址协调器。对于输出是模拟量的传感器，先进行采样，然后进行 AD 转换和滤波，转换为数字量，进行数据传输。流程图如图 8、图 9 所示。

### 4.4. 数据传输协议设计

本系统将若干个传感器置于泵车上，组建星形网络，将数据统一传至协调器。每一个传感器对应一个数据采集终端。数据传输协议采用 MSG (报文)帧结构，使用 APSDE-DATA.request 原语发送，通过 APSDE-DATA.request 原语接收[6]。MSG 事务帧结构如图 10 所示。

在数据包格式中起始位占一个字节，扩展字节也占一个字节，保留为以后扩展功能所用。数据包长度(Length)占两个字节。帧控制域占两个字节，包括帧类型(CMD, DATA, ACK)，帧属性(广播，组播，点播)，请求应答，加密控制等。数据包序列号占两个字节，每发送一次数据，次数加 1。地址域包括目

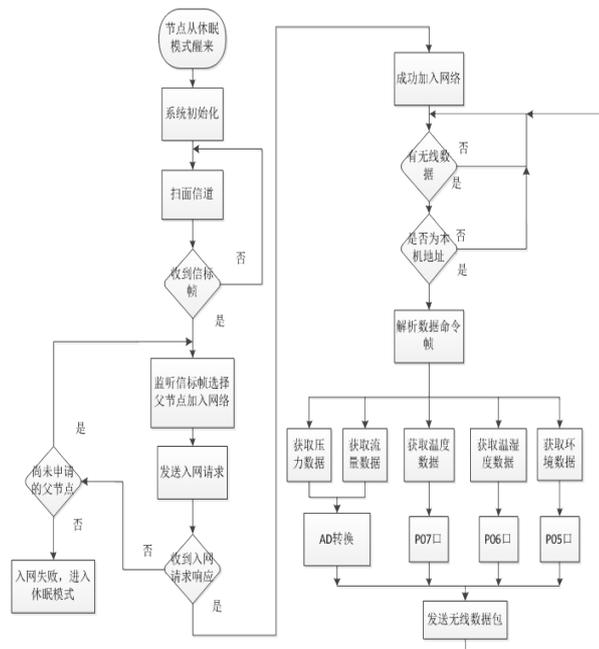


Figure 7. Terminal work flow chart  
图 7. 终端工作流程图

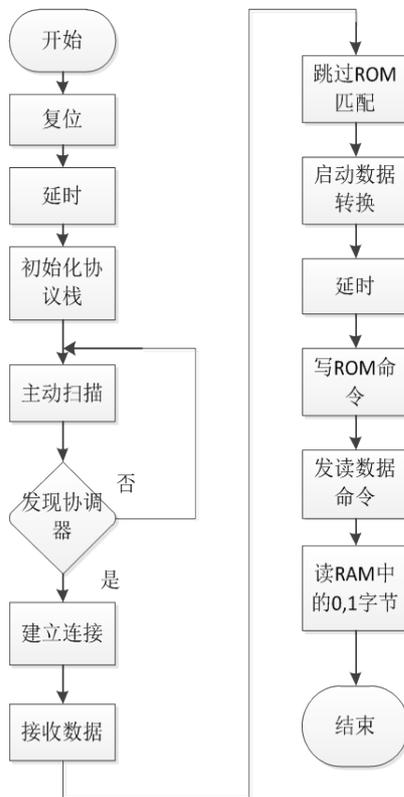


Figure 8. Acquisition of digital work flow sensor  
图 8. 采集数字量传感器工作流程图

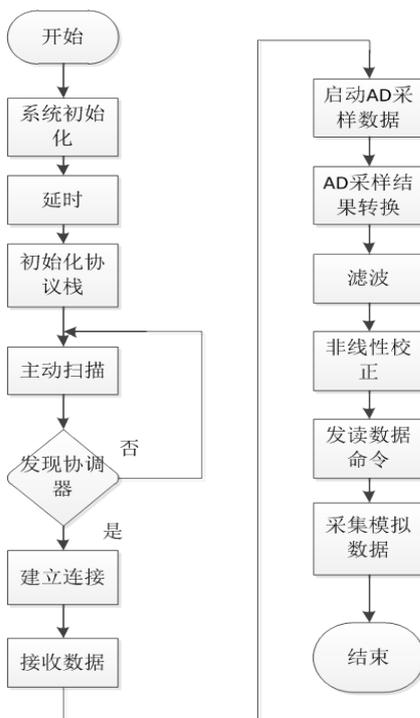


Figure 9. The acquisition of analog sensor work flow chart  
图 9. 采集模拟量传感器工作流程图

的地址协调器，源地址采集终端。数据包帧负载为包体，本系统将其字节定义为温湿度，流量，压力数据。校验占两个字节，为包尾。采集的模拟量数据经过 AD 转换以 16 进制数字量形式传输。数据包格式如图 11 所示。

### 5. 实验测试及结论

为验证本系统工作性能，现在进行实际测试实验，对整个系统进行测试。

测试环境：选用一个协调器节点，9 个终端节点，编号为 1 到 9，每个节点各控制一个传感器，组成星型拓扑网络，对液压实验室教学用液压泵进行模拟数据采集。编号为 1 到 4 的四个节点采集泵体温度，编号为 5 和 6 的两个节点采集进出口流量，编号为 7 和 8 的两个节点采集油液压力，9 号节点采集环境数据[7]。终端节点携带传感器安置在泵上，协调器与终端节点距离 5 米，ARM 处理器与协调器通过串口连接。采集到的数据显示在 ARM 中。测试场景节点图如图 12 所示。

通过 Packet Sniffer 抓包工具对抓取的数据包进行分析。EBID 为 0050，Chip type 为 CC2530，EB type 为 SmartRF04EB。如图 13 所示。

截图的这个数据包是一个数据帧，节点 16 位短地址为 0XB85A 的终端将采集的数据向目的地址为 0X0000 的协调器传送。目的 PANID 为 0XFFF1。MAC 数据包有效载荷为 48 00 00 00 5A B8 1E A9 00 14 03 00 08 0F 14 04 33 31 20 43，数据包序列号为 0X4F。节点的 64 位 IEEE 地址为 0X00124B000550477D。温度数据为 31 度。此时相关值：106，RSSI 值为：-99 dBm。

长度 (位)	8	可变
	事务长度	事务数据

Figure 10. MSG frame structure  
图 10. MSG 事务帧结构

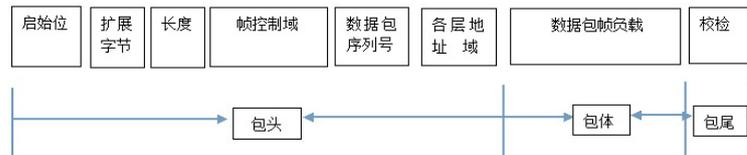


Figure 11. The format of the data packet structure diagram  
图 11. 数据包格式结构图

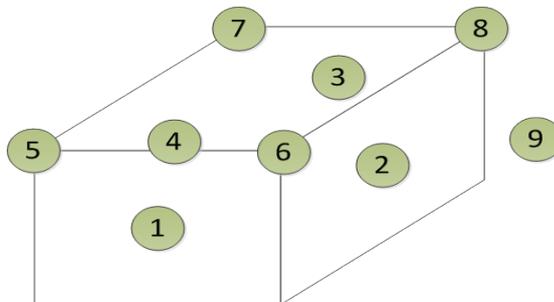


Figure 12. The test scene graph  
图 12. 测试场景节点图

通过抓包工具，监测开始一段时间的工作数据，可以看出：系统上电后，协调器自动开始扫描信道，获取 PANID，然后终端加入网络，先发送信标帧，之后是命令帧，收到协调器回复后，获得短地址，加入网络成功，进行数据传输。整个过程自动完成，只需要几帧数据，速度很快，体现出无线自组网的优势。且一个协调器可同时允许大量子节点加入，可连接不同的传感器，具有很强的扩展性。

终端设备向协调器发送单播数据测试丢包率如表 1 所示。

由表 1 可知，经过四天数据采集测试，单播数据丢包率平均值为 0.53%，峰值小于 1%，表明系统具有良好的稳定性，故障发生概率极低，满足数据采集传输的基本要求。

## 6. 结论

基于 ZigBee 的液压泵数据采集系统，有效的解决了工程车辆数据采集过程中有线网络布线复杂，采

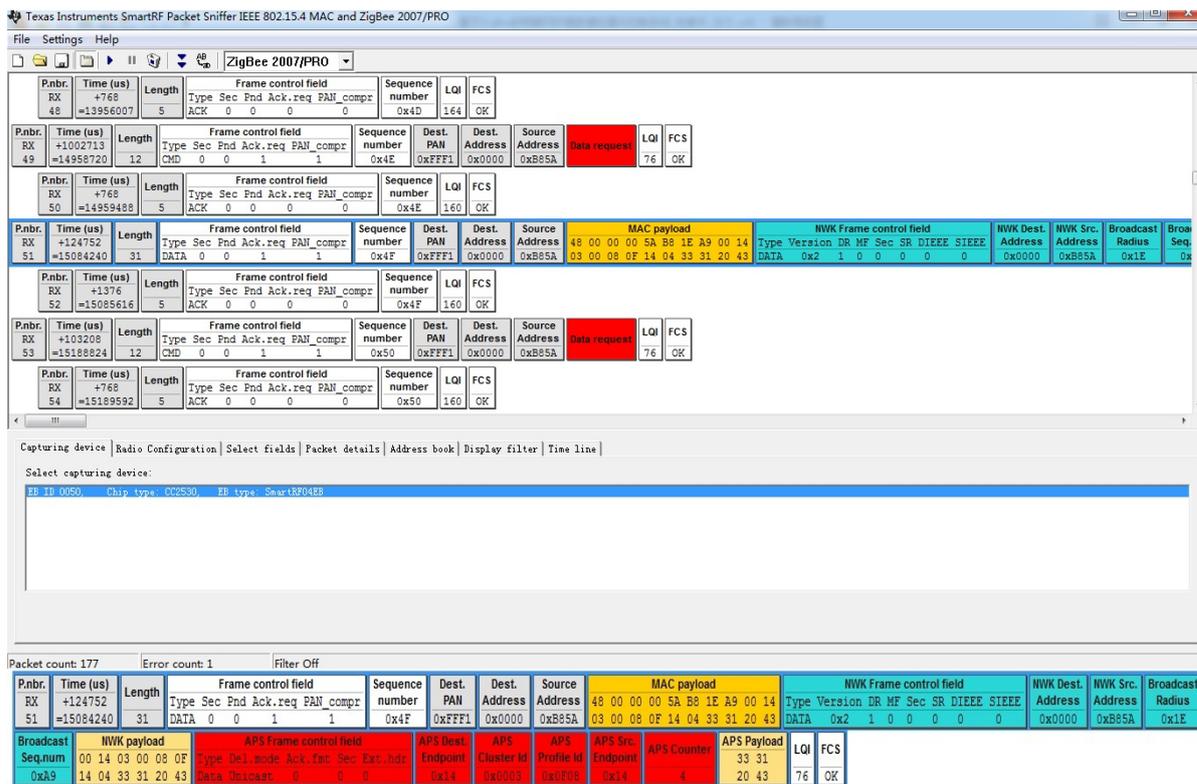


Figure 13. Analysis of packet sniffer capture

图 13. 数据包分析

Table 1. System resulting data of standard experiment

表 1. 标准试验系统结果数据

时间	周一	周二	周三	周四
发送包数(个)	10,000	10,000	10,000	10,000
回复包数(个)	9951	9967	9924	9948
丢包率(%)	0.49	0.33	0.76	0.52
RSSI 均值 (dBm)	-94	-99	-97	-95

集方式繁琐，故障率高的问题，同时具有很强的扩展性，将无线网络的自组网特性，用于移动终端的数据采集上，成本低，数据传输稳定，速度快，具有一定的应用价值。

### 参考文献 (References)

- [1] 傅莉萍 (2007) 基于无线技术的液压油泵测试装置设计. 硕士学位论文, 西南交通大学, 成都.
- [2] ZigBee Alliance (2012) Network specification (draft version 1.0). <http://www.zigbee.org/>
- [3] 裘信国, 周见行, 姜伟, 倪顺华, 陈康 (2014) 基于 DSP 的液压变量泵数据采集系统设计. *轻工机械*, **1**, 61-64.
- [4] 宋新超 (2013) 基于 wifi 技术的生产数据采集管理终端的设计与开发. 硕士学位论文, 南京理工大学, 南京.
- [5] 吕治安 (2008) ZigBee 网络原理与应用. 北京航空航天大学出版社, 北京.
- [6] 瞿雷, 刘盛德, 胡咸斌 (2007) ZigBee 技术及应用. 北京航空航天大学出版社, 北京.
- [7] 刘彤, 李尧, 贺宏伟, 马建设 (2015) 基于 ZigBee 的密闭式 LED 植物工厂监控系统. *农机化研究*, **5**, 75-80.