

产品全生命周期数据自动采集 PEID 研制^①

许宜春, 徐 亭, 桑 成

(中国科学技术大学 信息科学与技术学院, 合肥 230009)

摘 要: 为了实现产品使用、维护乃至生命结束阶段数据的自动、有效采集, 在简要介绍产品嵌入式信息设备(Product Embedded Information Device, PEID)概念、类型、功能和参考架构的基础上, 利用 UML(Unified Modeling Language)对 PEID 组件进行建模、分析, 设计并实现了 PEID. 最后, 结合低温等离子体设备系统为具体应用实例, 以本地监控站软件和数据服务器作为 PLM(Product Lifecycle Management)代理测试验证了所设计 PEID 的可行性和实用性, 能够实现产品生命周期数据的正确收集和传输, 为闭环 PLM 系统提供数据支持.

关键词: PEID; PLM 代理; 闭环 PLM 系统; 低温等离子体设备系统; UML

Development of PEID for Automatically Acquiring Product Lifecycle Data

XU Yi-Chun, XU Ting, SANG Cheng

(Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to acquire the data automatically and effectively that is produced by products during the use, maintenance and end of life stage, the concept, type, function and reference architecture of product embedded information device is introduced briefly. Based on that, the UML model of PEID components is analyzed and PEID is designed and realized. At last, combined with the low temperature plasma equipment system for the specific application examples, the local monitoring station software and data server are taken as the PLM agent to test and verify the feasibility and practicality of PEID, which can achieve the correct acquisition and transmission of product life cycle data and provide data support for the closed-loop PLM system.

Key words: PEID; PLM Agent; Closed-loop PLM System; low temperature plasma equipment system; UML

产品全生命周期分为三个阶段: BOL(Beginning of Life), 包括产品设计与生产; MOL(Middle of Life), 包括物流、使用、服务和维护; EOL(End of Life), 包括逆向物流(回收)、再制造、重利用、循环和报废^[1]. 产品全生命周期中数据繁多, 分布广泛, 形式多样. 对于设计、生产阶段的数据, 由于产品处于制造企业之中, 可以通过为企业设计、生产等应用管理软件提供集成接口, 企业员工通过主动方式提交数据, 从而确保了 BOL 阶段数据的有效获取和完整性. 但是, 生命周期 MOL 和 EOL 阶段, 由于产品离开制造企业, 产品数据获取更加被动、困难. 为了获取这些数据, 欧盟 PROMISE 项目首次提出了 PEID 的概念. PEID(Product

Embedded Information Device)即产品嵌入式信息设备, 又称智能标签或智能产品, 是自动识别和数据采集的设备^[2].

作为数据获取行之有效的解决方案, 很多学者都对 PEID 进行了相关研究, 但仅是对产品生命周期数据获取装置的功能和架构作了理论上的分析, 并没有专门针对 PEID 进行原型设计、研制.

本文针对上述问题, 对 PEID 功能和组成进行了详细分析, 并对 PEID 进行了原型设计、制作. 最后以本地监控站软件和数据服务器作为 PLM 代理获取 PEID 收集的生命周期数据, 验证所设计的 PEID 可行性和可用性.

^① 收稿时间:2015-04-07;收到修改稿时间:2015-05-15

1 PEID设计

1.1 PEID 和 C-L PLM 系统

C-L PLM(Closed-Loop Product Lifecycle Management)的概念起源于欧盟项目 PROMISE(产品全生命周期管理和运用智能嵌入式系统的信息跟踪)的研究,它的运作基于三大组成部分:PLM代理、PLM系统、内嵌PEID的产品^[3].本文设计的PEID与C-L PLM系统的总体架构如图1所示.本文只针对PEID进行设计,故对PLM管理系统和PLM代理仅作简要阐述.

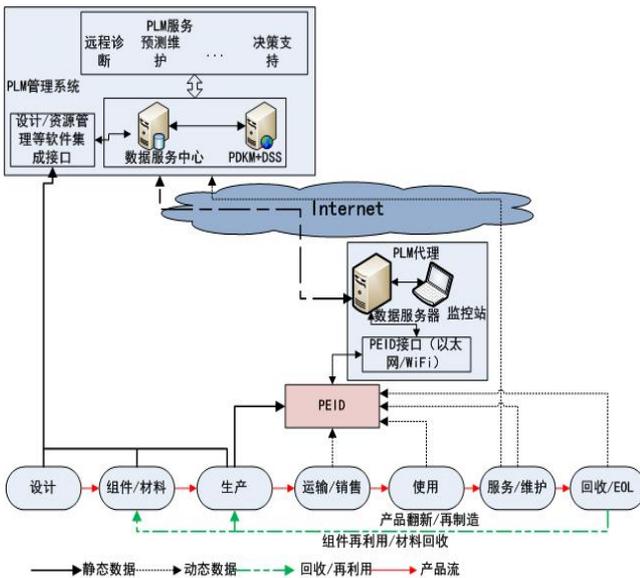


图1 内嵌PEID的产品全生命管理系统体系结构

PEID: 产品内嵌的PEID写有产品的身份信息,能读取产品内各传感器的数据,通过有线或无线通讯方式将产品数据发送给PLM代理,同时接收PLM代理的数据,写入到PEID中.

PLM代理: 收集产品PEID中产品全生命周期的数据,进行简单处理、存储,然后将这些数据通过网络发送给PLM系统.

PLM系统: 管理PLM代理获取的产品全生命周期数据,并将PLM代理的原始数据转换成知识,存入知识数据库(PDKM, Product Data and Knowledge Management).以数据服务中心和PDKM/DSS(Product Data and Knowledge Management system/Decision Support System)为核心向产品生命周期中相关人员或者组织提供相应的PLM服务,例如向EOL人员提供EOL决策支持.

产品全生命周期数据从状态来可以划分有静态数

据和动态数据. BOL阶段的数据通过集成企业设计、资源等应用软件即可获取,但对于产品使用中产生的数据无能为力,比如使用的环境数据、产品运行状态数据、某些性能波动数据等等,这些数据对于计算产品剩余寿命和预防性维修等应用具有重要的意义.作为获取这些数据的设备,PEID的研制直接决定了C-L PLM系统提供的PLM服务质量和系统的正常运行,同时为产品改进设计、提高质量提供了重要的反馈数据.

1.2 PEID 构成

Kiritis 基于RFID(Radio Frequency Identification)技术提出PEID应当具有电源管理、数据采集、数据处理/诊断、数据存储、产品标识、近/远距离通信等功能,并根据这些功能的不同组合将PEID分为四种类型,如表1所示^[4].类型A仅作产品标识,适用于简单应用.类型B在类型A的基础上增加了存储功能.类型C具有传感和电源管理功能,能够收集产品环境和状态等数据.类型D是最复杂的PEID,具备通信和处理能力. Xiaoyu Yang等则提出IDU(Intelligent Data Unit, 智能数据单元)的概念,并提供了IDU的参考架构,如图2所示^[5]. IDU由传感器、控制器、存储器和数据通信接口组成,可以嵌入在产品中或作为传统产品的附加设备. PEID和IDU两种概念从本质上说是一致的,其目的都是为了能够完整获取产品使用阶段、维修/维护阶段和生命终结阶段的数据,为后台PLM系统提供可靠的数据支持.

表1 PEID分类^[4]

分类	类型 A	类型 B	类型 C	类型 D
功能				
产品标识	•	•	•	•
传感(传感器)	-	-	•	•
数据处理(微处理器)	-	•	•	•
数据存储(存储器)	-	•	•	•
电源管理(电池)	-	•	•	•
通信(通信模块)	-	-	-	•
规范				
存储器类型 (RO ^a ,WORM ^b ,RW ^c)	RO	WORM,R W	RW	RW
读写距离(L ^d ,M ^e ,H ^f)	L,M	M	M,H	M,H
数据速率(L,M,H)	L	L,M	M,H	M,H
处理能力(L,M,H)	-	L	L,M	M,H
操作频率(LF,HF,UHF)	LF,HF	LF,HF	HF,UHF	HF,UHF
应用级别				
	组件级别	组件级别	部件级别	产品级别

注: a-只读, b-写一读多, c-读/写, d-至多 1cm, e-至多 1m,

f-超过 1m (L=低, M=中, H=高), LF-低频, HF-高频, UHF-超高频

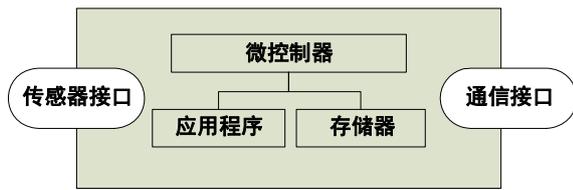


图 2 IDU 参考架构^[5]

不同产品的不同数据追踪需求需要研制不同类型的 PEID, 本文旨在设计适用于一般产品的通用型 PEID, 故应当具备的功能有: 电源管理、数据采集、数据处理、数据传输、产品标识、通信功能, PEID 组件对象如图 3 所示。

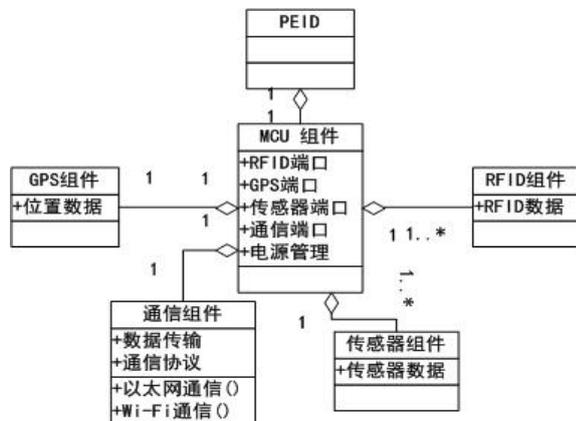


图 3 PEID 组件对象

PEID 主要由微控制器组件、RFID 组件、GPS(Global Positioning System)组件、传感器组件、通信组件等组成。RFID 组件可用于获取产品静态信息, 包括产品名称、生产厂商、产品型号、生产日期、历史维护信息等。GPS 组件获取产品物流、位置信息, 便于产品管理和调度。传感器组件获取产品使用、环境状态、维护维修等信息。MCU 组件主要对上述组件获取的信息进行存储处理, 并通过通信组件将信息交付给 PLM 代理, 由 PLM 代理再将数据传输至 C-L PLM 系统。

2 PEID原型与硬件设计

针对前一节分析以及 PEID 功能用户可选择性, PEID 采用模块化设计, 主要包括微控制器(MCU)、电源模块、GPS 模块、射频读写器模块、传感检测模块、以太网模块以及 Wi-Fi 无线模块。

为了验证设计的 PEID 可用性, 本文以自主搭建

的低温等离子设备系统为应用案例。该系统是一个典型的工业分布式测控网络, 由气路单元、反应室、真空抽气单元和静电探针测量仪等一些检测设备组成^[6]。其中真空计、流量计、真空泵属于外购产品, 需要采集产品 MOL 和 EOL 阶段的数据, 直流高压电源和静电探针测量仪属于自主研发的产品, 需要进行产品全生命周期数据采集。

低温等离子设备系统要实现自动化测控功能, 必须为系统中的各种设备提供智能控制节点, 以实现设备控制和获取设备运行参数。因此, 本文将 PEID 功能与设备控制功能相结合, 设计的 PEID 硬件结构框图如图 4 所示。

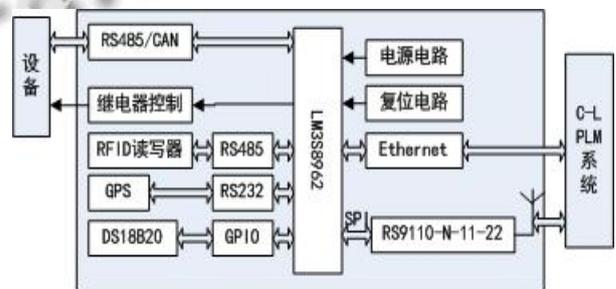


图 4 PEID 硬件结构框图

低温等离子设备系统中真空计、流量计、变频器和直流高压电源都提供有 RS485 通信接口, 因此 PEID 终端需要提供 RS485 接口。为了兼容其它工业设备, 还提供了 CAN 通信接口。GPS 模块提供了 RS232 通信, 因而需要设计一路 RS232 通信接口。PEID 与 PLM 代理通过以太网或 Wi-Fi 通信, 因而提供了以太网和 Wi-Fi 通信接口。

2.1 MCU

MCU 选择了 TI 公司的基于 ARM Cortex-M3 v7M 结构的 LM3S8962, 其工作频率最高为 50MHz, 内嵌 256KB 单周期 Flash 和 64KB 单周期访问的 SRAM, 包含了丰富的外部设备集(CAN、UART、SPI、10/100M 以太网控制器、采样率达 500KSPS 的模数转换器、I2C 等), 因而适合作为本设计的主控制器。

2.2 传感检测模块

传感检测模块根据实际产品或系统需要获取的运行环境参数, 可以采用温度、湿度等传感器。低温等离子设备系统在运行中需要密切关注设备系统的温度, 因此本文传感检测模块只采用了温度传感器 DS18B20, 通过 LM3S8962 的 GPIO 口即可获取温度信息, 电路如

图5所示。

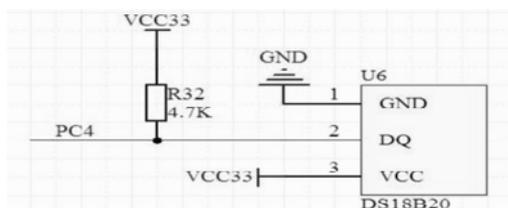


图5 DS18B20 温度检测电路

2.3 RFID 模块

以飞利浦公司的射频识别控制器 MFRC531 为基站芯片,以 ST 公司生产的 8 位微处理器 STM8S105K6 为控制器构建 RFID 读卡器模块. MFRC531 读写频率为 13.56MHz,它支持 ISO/IEC14443A/B 标准的所有层和 Mifare 经典协议以及与该标准相兼容的其它标准^[7].

STM8S105K6 提供多个通用的输入/输出引脚,便于模拟各种控制信号. STM8S105K6 的 PC1~PC7、PE5 与 MFRC531 的 D0~D7 构成双向数据总线,进行 RFID 读写. PD0~PD4、PD7 与 MFRC531 的 IRQ、NRD、NWR、NCS、ALE、RSTPD 构成控制总线. MFRC531 通过引脚 TX1 和 TX2 向天线提供调制在 13.56MHz 的载波的已调信号. 应答器采用 RF 场的负载调制进行响应. 天线接收的信号经过天线匹配电路对信号进行解调并根据寄存器的设定进行处理,然后数据发送到并行接口由 STM8S105K6 进行读取.

为了能与 LM3S8962 主控制器进行 RS485 通信,通过 STM8S105K6 的 UART2_TX 和 UART2_RX 引脚设计一路 RS485 通信接口. RS485 收发芯片采用 TI 公司的 SN65HVD3082.

2.4 GPS 模块

采用 UBLOX 公司的 NEO-6M 芯片,该芯片具有接收 50 个卫星信号通道的功能,能够接收不同系统的定位信号,跟踪灵敏度高达-161dBm,输出频率 1~5Hz 可选,而且接口通信协议简单,易于集成^[8].

NEO-6M 芯片的 TXD1 和 RXD1 设计一路 RS232 通信接口,收发芯片采用 MAX3232E 芯片,从而与 LM3S8932 主控制器通信,获取 GPS 数据和设置 GPS 参数. 输出波特率 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 可选. 通过 SDA2 和 SCL2 设计 EEPROM,进行 GPS 参数配置掉电保存,芯片采用 ST 的存储器芯片 432WP. GPS 天线采用二级放大有源一体式天线,增益

高达 28DB.

电源输入的电压为 5V,使用 TPS73033DBVT 电源转换芯片将 5V 转换为 3.3V,其最大输出电流为 200mA,能够满足 GPS 模块功耗需要. NEO-6M 的 V_BCKP 和 GND 之间设计 3.3V 的可充电锂电池,作为后备电池.

UBLOX NEO-6M 输出信息为标准 NMEA-0183 语句,输出语句类型如表 2 所示^[9].

GPS 模块输出的语句类型可以进行参数配置,本文只需运输定位数据,因此只配置输出 GPRMC 语句即可. 另外配置输出语句频率为 1Hz,输出波特率为 9600.

表 2 NMEA-0183 标准语句^[9]

语句标示符	说明	最大帧长
\$GPGGA	全球定位数据	72
\$GPGSA	卫星 PRN 数据	65
\$GPGSV	卫星状态信息	210
\$GPRMC	运输定位信息	70
\$GPVTG	地面速度信息	34
\$GPGLL	大地坐标信息	
\$GPZDA	UTC 时间和日期	

2.5 通信模块

PEID 终端需要提供的通信方式有: RS232、RS485、CAN、以太网和 Wi-Fi. 其中 RS232 用于 MCU 与 GPS 模块交换 GPS 数据, RS485 用于 MCU 控制设备运行和 RFID 模块数据读写, CAN 作为备用,以太网和 Wi-Fi 用于 PEID 与 PLM 代理交换生命周期信息.

RS485 通信接口采用半双工通信方式,通过 MAX485EESA 芯片将 LM3S8962 的 UART1 信号转换为 RS485 信号. 使用数字隔离芯片 ADUM1402 隔离 MAX458 和 LM3S8962,提高通信抗干扰能力.

LM3S8962 内部集成了支持 CAN2.0A/B 的控制器,只需外部连接一个 CAN 驱动收发器 TJA1050 即可构成 CAN 通信接口. 为了有效提高通信抗干扰能力,在收发器和 LM3S8962 之间采用 ADuM1201 数字隔离芯片进行隔离.

RS232 通信接口采用 MAX3232E 芯片,将 LM3S8962 的 UART0 信号转换为 RS232 信号,同样采用 ADuM1201 数字隔离芯片进行隔离.

LM3S8962 内嵌的以太网控制器不仅完全集成介质访问控制器(MAC),同时集成了网络物理(PHY)接口器件. 这样大大简化了以太网应用的开发难度,外

部只需要连接一个带隔离变压器的 RJ45 接口 (HR911105A)便可以实现 10/100M 的以太网通信. 该控制器遵循 IEEE802.3 规范, 且完全支持 10BASE-T 和 100BASE-TX 标准.

Wi-Fi 通信模块选择美国 RedPine Singles 公司生产的 RS9110-N-11-22(以下简称 RS9110),它完全支持 IEEE802.11b/g 无线标准,内部集成了物理层硬件系统、介质访问控制层、以及 TCP/IP 协议栈和配置管理程序,非常适用于小型嵌入式系统的无线网络应用. LM3S8962 通过 4 根标准 SPI 接口线和 2 根通用 IO(分别定义为 INT 和 RST)与 RS9110 相连,便可以实现无线网络通信驱动. INT 是模块中断输出引脚,一旦 RS9110 模块有数据需要向 MCU 传输,则通过该引脚产生低电平有效中断; RST 是复位控制引脚, MCU 通过该引脚控制 RS9110 模块的复位时序. LM3S8962 的 SPI 接口同步时钟最高可达 25MHz,为了保证其在最高时钟工作的可靠性,需要在 SCLK 信号线上串一个 5~50Ω 的防串扰电阻.另外,在设计 PCB 电路板时, RS9110 模块的射频收发电路区域不能铺地,否则会减弱无线信号强度.

基于上述设计原理,制作出的 PEID 实物如图 6 所示,并通过了实际测试.

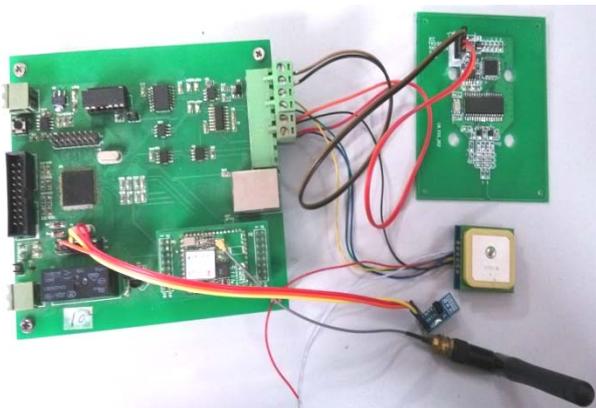


图 6 PEID 实物图

3 软件设计与实现

PEID 中移植了可剪裁的、抢占式的实时多任务操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$, 并在此基础上移植了 LWIP 协议栈和 RS9110 的驱动程序. LWIP 协议栈实现以太网 TCP/UDP 通信功能. RS9110 驱动程序实现 Wi-Fi 通信. 在驱动层, LM3S8962 通过 SPI 接口向 Wi-Fi 模块发送操作命令或接收来自 Wi-Fi 模块的数据,而在应用层,

RS9110 驱动程序提供了网络配置和通信的 API 函数,通过该 API 可以实现基于 TCP/UDP 协议网络通信应用.通过实际测试验证以太网和 Wi-Fi 通信都能正常工作.实际使用中,以太网通信和 Wi-Fi 通信只需选择其一.本文以以太网通信测试 PEID 实际应用.

针对低温等离子体设备系统, PEID 在产品生命周期中需要完成的功能有系统运行控制和生命周期数据采集,因此需要设计 6 个任务. $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 启动后第一个执行的任务为 taskStart,该任务首先完成初始化基本的硬件设备,然后创建剩余的 5 个任务,包括: control_task、data_upload、gps_task、rfid_task 和 temp_task,创建完成后初始化网卡、Lwip,设置接收回调函数,最后将自己永久挂起, PEID 程序流程图如 7 所示. control_task 完成设备的运行控制, data_upload 收集设备运行参数, gps_task 获取 GPS 定位信息、 rfid_task 读取 RFID 标签数据, temp_task 监控系统运行温度.

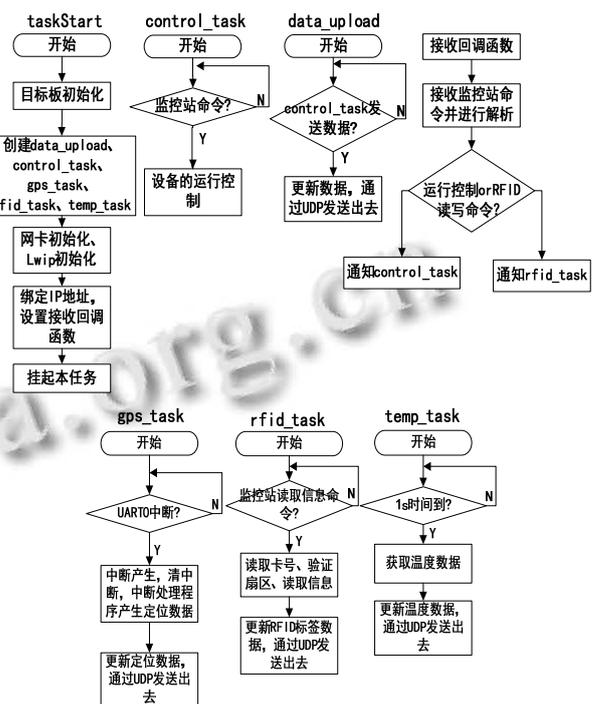


图 7 PEID 程序流程图

4 测试与验证

为了测试所设计的 PEID 在 C-L PLM 系统中的使用效果,本文以本地监控站软件和数据服务器作为 PLM 代理.监控站软件控制低温等离子体设备系统运行,同时显示 PEID 搜集的系统运行过程中各设备的运行

环境、状态等参数。数据服务器对生命周期数据进行处理、存储并通过以太网将数据发送给 C-L PLM 系统,至此完成设备使用、维护过程的数据搜集。本地监控站软件截图如图 8 所示。



图 8 本地监控站软件

PEID 测试分为设备测控模块测试、传感模块测试、GPS 模块测试和 RFID 模块测试。

对于设备测控模块的测试以真空计作为示例, PEID 不仅启动/关闭真空计工作,还负责获取真空计工作过程中的真空度参数,实际测试的真空度随时间的变化曲线如图 9 所示。真空度的规律性变化是在实际使用设备系统时保持流量值不变,周期性改变变频器频率造成的,频率增大,真空度降低,频率减小,真空度提高。其他设备的运行控制及参数获取与真空计类似,这里不再详述。

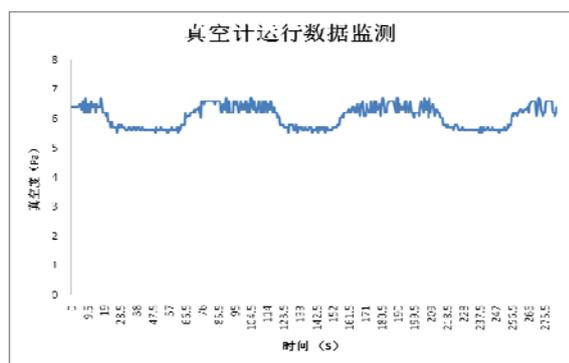


图 9 真空计真空度监测

传感模块的测试以 PEID 监控整个低温等离子体设备系统工作温度参数为例,实际测试中系统工作温度随时间的变化曲线如图 10 所示。从图中可知系统工作温度处于 28℃~35℃之间,属于正常工作温度区间。

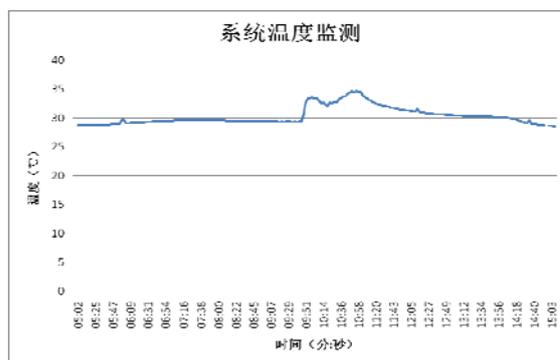


图 10 系统温度监测

GPS 模块测试位置信息获取,主要包括纬度、经度信息,实际测试的部分位置数据如表 3 所示。

表 3 GPS 经纬度数据

序号	纬度(N)	经度(E)
1	31.839167	117.258843
2	31.839163	117.258775
3	31.839152	117.258540
4	31.839143	117.258287
5	31.839133	117.258003
6	31.839127	117.257855
7	31.839122	117.257687
8	31.839113	117.257543
9	31.839113	117.257517
10	31.839112	117.257472
11	31.839120	117.257512
12	31.839132	117.258188
13	31.839145	117.258423
14	31.839160	117.258710
15	31.839165	117.258823

RFID 模块测试获取设备 RFID 标签所存储的静态数据,包括设备名称、设备型号、生产厂家、生产日期、维修次数、最近维修时间以及故障组件,实际测试获取标签的数据如表 4 所示。

表 4 RFID 模块读取标签数据

设备名称	设备型号	生产厂家	生产日期	维修次数	最近维修时间	故障组件
静电探针	PAM-M-	智能网络测控技	2012-7-	1次	2013-4-2	二级滤波
测量仪	VG	术实验室	10		1	模块
真空计	ZDR-I-L	成都正华电子仪	2012	0次	无	无
	ED	器有限公司				
流量计	MT-51	北京汇博隆仪器	2012	0次	无	无
		有限公司				
变频器	SV3-402-	台安公司	2013	0次	无	无
	H3					
直流高压	JH-M-40	智能网络测控技	2012-6	1次	2014-12-	整流桥
电源	0W	术实验室			10	

RFID 模块读取设备标签数据时要求数据读取准确无误,但模块电源稳定性影响其读取成功率。使用公用电源,连续读取标签数据 500 次时,成功率为 89.8%。为了提高读取成功率,本文以 DCP010505 单独设计一路 5V 稳压电源,实际测试时读取成功率达到 97%,从而保证了标签数据读取成功率。一次读取失败时,通过多次读取即可正确获取标签数据,因此 RFID 模块能够满足实际使用要求。

通过对以上各模块的测试,表明 PEID 的设备测控、传感、GPS 和 RFID 模块功能工作正常,能够正确完成产品生命周期数据的收集、传输。

5 结束语

本文在简要介绍 PEID 概念、类型和功能的基础上,详细分析、设计和实现了 PEID,并对所设计的 PEID 进行了实际测试。测试结果验证了所设计的 PEID 可用性,能够有效完成设备生命周期阶段数据自动采集任务,为设计产品生命周期数据采集装置提供一定的参考价值。然而,RFID 模块读写距离受限,后期可采用超高频 RFID 读写模块以增加读写距离,传感检测模块需针对不同产品检测需求进行针对性设计。

参考文献

- 1 Jun HB, Kiritsis D, Xirouchakis P. Research issues on closed-loop PLM. *Comput. Ind.*, 2007,58(8/9):855-868.
- 2 Kiritsis D. Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, 2011, 43:479-501.
- 3 Kiritsis D, Bufardi A, Xirouchakis P. Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. *Advanced Engineering Informatics*, 2003, 17:189-202.
- 4 Kiritsis D. Product Lifecycle Management and Embedded Information Devices. Shimon Y. Nof Editor. *Springer Handbook of Automation*. Springer Berlin Heidelberg, 2009: 749-765.
- 5 Yang XY, Moore P, Chong SK. Intelligent products: From lifecycle data acquisition to enabling product-related services. *Computers in Industry*, 2009, 60: 184-194.
- 6 李想.基于 WLAN 网络测控系统的研究与开发[学位论文].合肥:中国科学技术大学,2012.
- 7 陈广奕.基于 RFID 的读卡器模块设计. *信息技术*, 2012, 12:148-151.
- 8 朱银龙,马万太.基于 GPS/GPRS/RFID 车载监控系统终端设计. *机械设计与制造工程*, 2014,43(2):23-26.
- 9 National Marine Electronics Association. The NMEA 0183 Protocol: <http://biostatmatt.com/uploads/Description NMEA.pdf>.