

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.04.033

拖拉机导航作业中虚拟无线通讯系统*

张小龙 盛丹丹 夏萍 曹成茂

(安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

摘要: 构建了基于差分 GPS 与手持机(PDA)的拖拉机导航作业系统,集成蓝牙与无线 TCP/IP 完成 GPS 接收机与 PDA 之间的数据传输,在 PDA 的 Windows Mobile 操作系统下基于 LabVIEW 及其 Mobile 模块实现编程。使用状态机与队列结构搭建了系统软件架构及数据管理流程,PDA 程序实时解析 GPS 数据以显示位置、速度、航向角、定位精度等信息,并在采样结束后进行数据回放与丢包检查。搭建了道路试验系统,完成了拖拉机电磁干扰下蓝牙总线高负载试验和场地试验。结果表明:增加 GPS 语句发送速度至总线负载到 1 Mb/s,蓝牙通讯正常,数传无堵塞和丢包现象;实车试验中数据传输稳定可靠。

关键词: 拖拉机 导航 PDA 蓝牙 TCP/IP GPS

中图分类号: S219.1; TN919.72 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)04-0190-06

Virtual Wireless Communication Realization in Agricultural Tractor Navigation System

Zhang Xiaolong Sheng Dandan Xia Ping Cao Chengmao

(School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The tractor navigation system based on difference GPS and PDA was designed, and both integrated wireless bluetooth and TCP/IP were employed for transmitting data between GPS receiver and PDA. Windows mobile operating system was installed in PDA, on which the test program was designed resort to LabVIEW and its mobile module. The test program was constructed and managed by using state machine and queue methods, where the path, velocity, heading angle and positioning accuracy were displayed in real time while testing. In the end of sampling, data playback and packet dropout checking were conducted. A roadway test system was developed. The high bluetooth bus load experiments under the tractor's electromagnetic circumstance were conducted, which showed that the wireless communication of bluetooth worked properly, and there were no clogging and packet loss during transmitting data while increasing GPS output statement speed to more than 1 Mb/s. Finally, the systematic tractor ground experiments also indicated the data wireless transfer stability and reliability.

Key words: Tractor Navigation PDA Bluetooth TCP/IP GPS

引言

提高农田作业的精准性和作业效率,依赖拖拉机规模机械化作业水平,需要低成本、高可靠性的导航系统。美国 Trimble 公司研制的农业车辆导航系统集成度高,GPS 接收机、控制和显示器集成一体,

外部连接线少,并有独立的电动转向盘用于对拖拉机的转向控制^[1-2]。此类产品成本高,与国产拖拉机结构不匹配,且用户不能对其进行二次开发。国内对拖拉机导航系统的研究侧重于导航算法本身,对构建测试系统,以及系统工作的可靠性和稳定性研究少有提及^[3-4]。一般情况下,基于便携式计算

收稿日期: 2012-10-10 修回日期: 2012-11-16

* 安徽省高等学校省级自然科学研究重点资助项目(KJ2011A101)和农业科技成果转化资金资助项目(2012GB2C300190)

作者简介: 张小龙,副教授,博士后,主要从事 GPS 与精准农业测控研究,E-mail: sunshine.lzh@gmail.com

通讯作者: 曹成茂,教授,博士,主要从事智能检测与控制技术研究,E-mail: caochengmao@sina.com

机的导航系统方案可靠性不高,主要是因为通常拖拉机无悬架系统,驾驶室内振动强度大,导致非固态硬盘易损坏、有线线缆接口易松动,另外也存在便携式计算机电池持续供电时间短、驾驶室空间狭小计算机和采集设备难以布置等突出问题。

为了提高拖拉机导航系统的可靠性,本文提出将无线通讯技术应用于拖拉机导航系统中,用手持式掌上计算机(PDA)代替便携式计算机,完成数据采集与过程监控。GPS接收机内部集成电池和电台,并支持蓝牙与TCP/IP数据传输功能。采用虚拟仪器LabVIEW及其Mobile模块完成PDA程序的开发,包括无线蓝牙通讯和无线TCP/IP的实现,将有效提高开发效率和系统工作的可靠性和可维护性。

1 测试系统结构

1.1 基于GPS和PDA的硬件架构

系统硬件框图如图1所示,主要包括差分GPS

系统、PDA和导航执行机构驱动等,主要性能参数如表1所示。

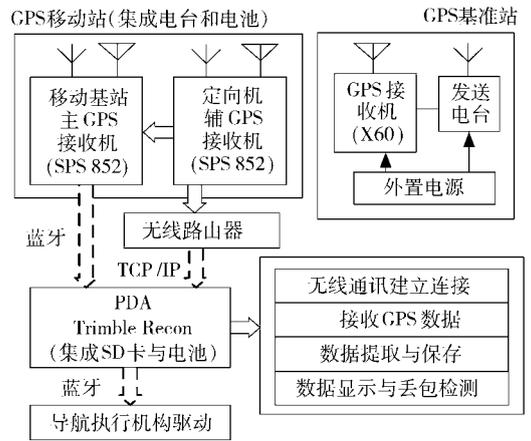


图1 系统结构框图

Fig. 1 System structure

系统中采用载波相位差分GPS系统完成拖拉机的速度、位置和航向角的精确测量,由GPS基准站和车载移动站两部分组成。GPS基准站由GPS

表1 主要传感器与设备性能参数

Tab. 1 Performance parameters and main sensors

传感器与设备	精度与性能	数据输出 物理接口	数据更新 速率	配置数据 协议	供电 形式
GPS车载移动基站接收机(美国Trimble SPS 852型)	RTK水平定位精度8 mm RMS, 速度精度0.1 km/h RMS	CAN × 1 蓝牙 × 1	20 Hz(最高)	NEMA格式 GPGGA, GPVTG, GPGST	内置电池
GPS车载定向接收机(美国Trimble SPS 852型)	定向精度0.1°(天线间距离2 m)	串口 × 3 TCP/IP × 1	10 Hz(最高)	NEMA格式 GPHDT, GPZDA	内置电池
GPS基站接收机及数传电台(中国华测X60, DL300型)	为车载接收机提供RTK CMR格式 差分改正信息,主要信息1帧/s	串口 × 1	差分信息1 Hz、 基站信息0.2 Hz	Trimble CMR	外置电池
PDA手簿(美国Trimble Recon控制器)	操作系统Windows Mobile 6,处理 器400 MHz Intel PXA255 XScale, 256 MB闪存	蓝牙 × 1 TCP/IP × 1 串口 × 1			内置电池

接收机、GPS天线、数传电台及发射天线、外置电源等组成,放置在试验场地附近。GPS移动站包括移动基站和定向机,选用美国Trimble公司的SPS 852接收机及GA 810双频天线,但开通的功能不同。移动基站主要实现定位、测速和水平速度矢量方向等测量,定向机将移动基站发送过来基站信息联合本机观测信息完成定向解算。定向角是从移动基站GPS天线到定向机GPS天线连接射线与正北方向的夹角,从正北方向开始,顺时针为正。两台接收机均开通了双频功能,内部集成了电池和数据接收电台。移动站可独立完成定位、定向和速度测量,在基准站提供载波相位差分信息时可同时实现高精度位置测量^[5]。此时需要对移动站和基准站GPS接收机进行配置,如采用CMR差分协议,发射和接收电台载波频率和调制方式一致等。

移动站GPS接收机选用标准NMEA格式输出,

其中位置(GPGGA)、速度和水平速度方向角(GPVTG)和定位精度(GPGST)等信息由主GPS接收机通过蓝牙接口发送至PDA,数据更新频率为20 Hz。定向角(GPHDT)和GPS时间(GPZDA)等信息由辅GPS通过无线TCP/IP发送至PDA,数据更新频率10 Hz。导航执行机构驱动器与PDA之间传输数据采用蓝牙点对多点通讯方法。

1.2 系统中采用的无线通讯方法

拖拉机无悬架系统,驾驶室内振动强度大,采用无线数传方法可有效提高导航系统中数据传输的可靠性,且数据传输速率高,也便于测试设备在驾驶室内布置。系统中选用了蓝牙和无线TCP/IP方法。蓝牙支持设备间短距离(一般10 m)无线通讯,数据传输速率可达1 Mb/s,采用分散式网络结构,支持点对点及点对多点通讯,无需握手协议^[6]。TCP/IP通讯采用可靠的、面向连接的点对点传输控制协议,

通讯方式为服务器与客户端首先通过握手协议确定逻辑连接,然后传输数据,最后释放连接^[5,7]。数据传输可靠性高,稳定性好。

系统所选用的2台移动站GPS接收机均具备蓝牙数传功能,配置时选择蓝牙输出端口即可。但2台GPS接收机不具备无线TCP/IP功能,另选配了便携式无线TCP/IP路由器与GPS接收机网口直接相连。配置路由器无线AP工作模式,配置GPS接收机为服务器,数据输出选择TCP/IP端口。系统选用Trimble Recon手持控制器(简称PDA),具备蓝牙与TCP/IP无线通讯功能,运行Microsoft Windows Mobile 6.01操作系统,集成256 MB闪存。另外,在PDA中基于其CF槽扩展了2 GB容量、15 Mb/s读写速度的CF数据存储卡,以满足大容量数据采集需要^[8]。对PDA中的无线通讯功能实现需要另行编写程序实现。

2 PDA 软件设计

2.1 软件功能与状态机编程架构

软件利用状态机完成设备初始化、实时采集与显示以及数据存储。实时接收2台GPS接收机发出的数据并实时处理、显示拖拉机行驶过程中的速度、航向角、定位精度等信息,并在试验结束后完成对试验数据的回放和有效性检查。软件流程如图2所示,2个while循环并行执行,由下面的while循环停止控件控制2个while循环停止。

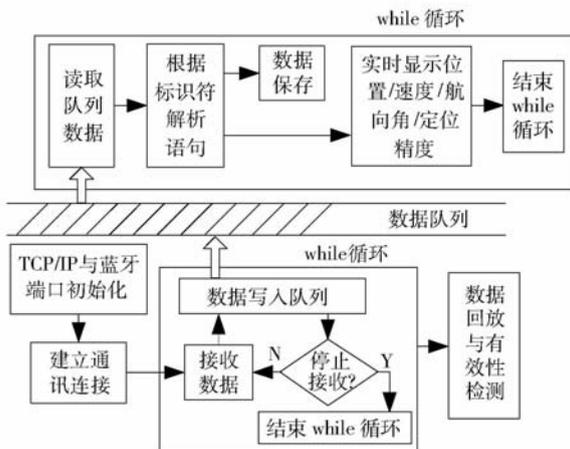


图2 PDA软件工作流程框图

Fig.2 Working diagram of PDA software

整个软件分为两部分,初始化与实时接收数据并写入队列部分,和实时读取队列数据、处理与保存部分,两部分间通过队列交换数据。蓝牙和TCP/IP端口完成初始化后自动建立PDA与GPS接收机间无线连接,等待用户触发接收GPS数据,不断将数据写入队列。队列读取部分监测队列数据并实时读

取,对标识符解析并实时显示、保存数据。程序中使用错误处理与清除机制以避免程序出现不可预期的错误导致程序中断。用户触发“停止接收”控件后可选择对当前试验进行数据回放与丢包有效性检查。

2.2 开发步骤

基于LabVIEW及其Mobile模块进行PDA程序开发。软件设计采用工程方式,包括计算机和Mobile设备两部分,各部分中的Dependencies包含了调用的所有子函数及文件^[9]。在计算机设备中设计了蓝牙测试程序PC Server.vi,在Mobile设备中设计了PDA程序BT_TCP.vi与Playback_Check.vi,其中BT_TCP为PDA实时采集主程序,Playback_Check为试验数据回放与有效性检测程序。PDA程序在Build Specification中生成可执行文件后通过USB接口下载到PDA中运行。

具体开发步骤如下:

(1) 在PC机中安装Microsoft ActiveSync 4.5以上版本同步软件,实现PDA与计算机之间的同步。

(2) 在LabVIEW中新建Mobile工程,设置各文件及工程存储路径。选择设备类型为Windows Mobile 6 Device,其中VI函数模版为默认的Mobile Landscape Screen。

(3) 编写或直接导入LabVIEW Mobile程序,编译后在Build Specification中生成可执行文件。用USB线将PDA与计算机相连,将可执行文件Deploy到PDA中,Deploy结束后程序直接在PDA中运行。

(4) 程序运行结束后在计算机上通过Microsoft ActiveSync同步软件访问PDA硬盘,并导出数据文件,其数据文件格式可以是任意格式。

2.3 初始化与设备连接

初始化状态下通过向PDA提供移动基站接收机蓝牙地址以及定向机IP地址与端口,建立PDA与2台GPS接收机之间的无线连接,地址与端口号可于前面板输入。PDA中的操作系统动态给蓝牙与TCP/IP通讯分配数据缓冲区,无需编程配置。

初始化程序框图如图3所示。图中BT_address为移动基站的蓝牙地址,每个设备的地址是确定的且是唯一的。BT_channel为蓝牙通道号,TCP_address为定向机的IP地址,TCP_port为定向机作为服务器的端口号。

2.4 基于队列的多路数据写入与读取

采用队列的方式实现同时采集2台GPS接收机的数据并且存入一个文件中。队列结构是一种先进先出(FIFO)结构,通过队列结构可以保证有序的数据传递,避免竞争或冲突。

GPS语句是以标识符开头和以回车换行符结尾

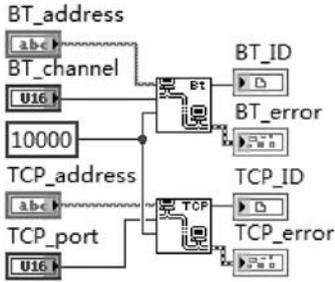


图 3 蓝牙与 TCP/IP 初始化程序框图

Fig. 3 Initialization program of bluetooth and TCP/IP

的字符串语句,且各条语句长度不等。在蓝牙与 TCP/IP 通讯中读取 GPS 数据时,设置蓝牙与 TCP/IP 读取模式为 CRLF,实现按行接收 GPS 数据。实际中蓝牙所接收的 GPS 语句最长为 90 B, TCP/IP 所接收的 GPS 语句最长为 40 B,编程时分别将蓝牙读取函数与 TCP/IP 读取函数中读取字节数设置为 100 与 50。将读取的 2 台 GPS 接收机数据进行字符串连接后写入队列。蓝牙读取与 TCP/IP 读取等待时间设为 0,通过在循环体中增加定时器延时来控制读取的速率,这样可避免因两种设备数据更新频率不同造成的读取等待现象。读取 GPS 数据并写入队列的程序如图 4a 所示,其中 error 子 VI 如图 4b 所示。图 4b 中,当接收 GPS 数据出错时,将出错处代码和出错源保留,与取反后的出错状态(F)绑定成簇,作为下一次循环读取函数的错误簇输入。这种方案可避免试验过程中程序出错造成程序停止运行。

PDA 中硬件资源有限,为了从队列中可靠完整地读取数据,要求循环体速率一定,且每次循环将队列元素读完。因此设计了搜索由回车换行符与标识符连接组成匹配字符串的 while 循环,不断搜索当前队列中包含匹配字符串的语句,直到搜索完成结束循环。这种方式可在不改变程序结构的前提下,便于增加 NEMA 输出语句。程序如图 5 所示。

2.5 数据显示与文件保存

将从队列中读取的数据根据标识符提取与解析,得到定位、速度、航向角、定位精度等信息,并进行实时波形显示。数据经过处理后以文本格式存储于文件中,以时间和日期作为每次存储文件的文件名。数据处理程序如图 6a 所示,图中 case 结构还包括 GPGGA、GPHDT、GPZDA、GPGST 等。

图 6a 中的 VTG 子 VI 如图 6b 所示。由于 GPS 每条语句中各数据间以“,”作为分隔符,因此采用查找分隔符的方法来确定所需对应数据字符串在语句中的位置。其他语句方法类同。

2.6 数据回放与有效性检测

为了便于试验结束时对当前次试验数据有效性进行判定,软件设计了数据回放功能。试验结束时

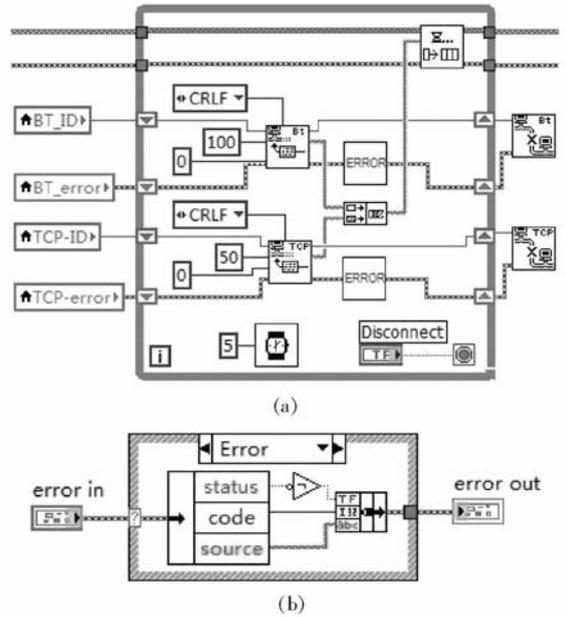


图 4 实时采集与数据写入队列程序框图

Fig. 4 Program of data acquisition and queue write operation

(a) 采样数据写入队列 (b) 错误清除子 VI

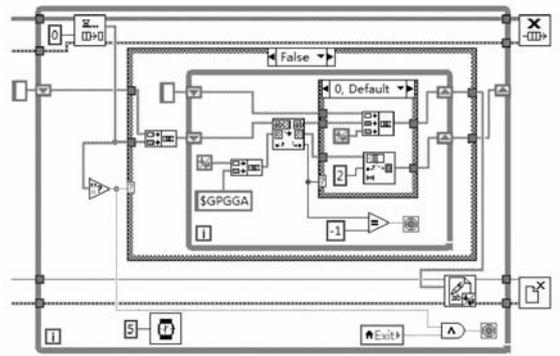


图 5 从队列读取数据程序框图

Fig. 5 Program of reading data from queue

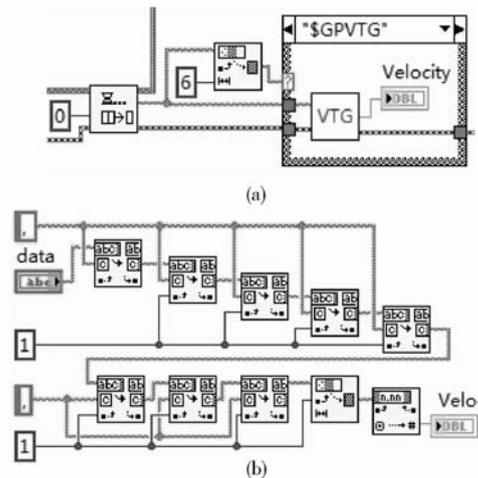


图 6 数据处理程序框图及 VTG 子 VI

Fig. 6 Program of data processing and VTG subVI

(a) 数据处理 (b) VTG 语句解析

对当前试验过程中的速度、位置、航向角、定位精度等信息以波形图表进行显示。可通过定位精度判断

载波相位差分数据是否有效。

数据通讯过程中应尽量避免丢包,对采样相邻数据中的 UTC 时间取差值后可判断数据丢包情况。航向角 HDT 语句中不包含 UTC 时间,因此在定向机中配置了包含时间信息的 ZDA 语句输出。移动基站输出的 GGA 语句中包含 UTC 时间。

3 试验与验证

3.1 蓝牙通讯可靠性测试

实际试验过程中拖拉机发动机工作会造成一定的电磁干扰,特在拖拉机驾驶室内进行无线传输可靠性测试。TCP/IP 无线通讯带宽高达 100 Mb/s,远超出 GPS 接收机数据传输速率要求。本文只对蓝牙无线通讯可靠性进行测试。

通讯测试在带有蓝牙功能的计算机与 PDA 间进行,设计蓝牙总线负载在 90% 以上。GGA 语句字符长度最大为 90 B,计算机以每 10 ms 发送 110 条 GGA 语句的速度向蓝牙端口发送数据,PDA 通过蓝牙端口实时接收数据,测试结束后对 PDA 所接收的 GGA 语句进行有无丢包检测。测试结果表明:PDA 所接收到 GGA 语句没有丢包,且程序长时间运行稳定,没有发生运行缓慢或卡死等现象。

3.2 实车试验

根据图 1 搭建了实车测试系统(图 7),在安徽农业大学机电园区完成试验。基站放置于机电园办公楼楼顶。移动站 GPS 天线布置在拖拉机驾驶室车顶,2 台天线基线尽量与车体纵轴线一致,移动站 GPS 接收机固定在拖拉机驾驶室内。

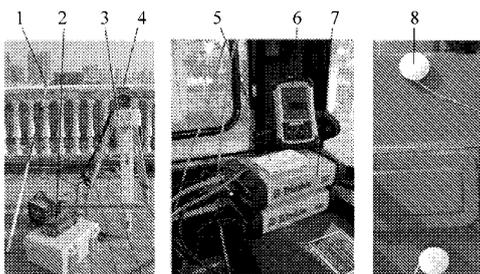


图 7 基站与移动站设备安装图

Fig. 7 Arrangement of GPS base station and rover station

1. 基站电台天线 2. 基站电台 3. 基站 X60 GPS 接收机 4. X60 GPS 天线
5. 无线路由器 6. PDA 手簿 7. 移动站 GPS 接收机
8. 移动站 GPS 天线

试验开始前打开 PDA 蓝牙、GPS 接收机与无线路由器,待有卫星信号时运行 PDA 无线通讯程序,分别建立蓝牙与移动基站、TCP/IP 与定向机间的无线连接,待连接完成后开始试验。

选择了部分高低不平的石子路为试验场地,分别进行转圈与直线行驶试验,在行驶过程中不断改

变车速及转弯半径。共进行了 15 组试验,每组试验约 3~5 min。数据分析未发现系统工作不稳定及数据丢失现象。其中一组行驶试验曲线如图 8 所示。

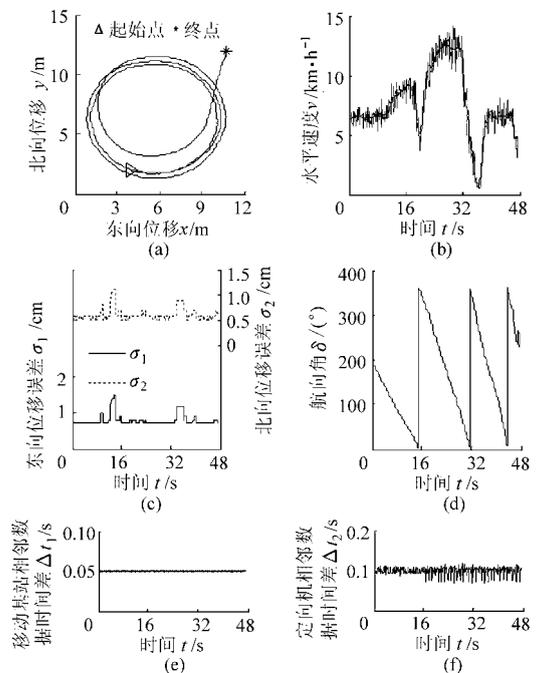


图 8 试验结果

Fig. 8 Tractor test curves

- (a) 轨迹 (b) 车速 (c) 定位误差 (d) 车身航向角
- (e) 移动基站数据丢包检测 (f) 定向机数据丢包检测

图 8a 是由移动基站输出的 GGA 语句提取经纬度信息后经高斯投影得到的拖拉机行驶轨迹。图 8b 是由移动基站输出的 VTG 语句提取的拖拉机水平速度曲线,经小波滤波后如图中黑色曲线所示,采用了文献[10]的小波滤波方法。图 8c 是从移动基站输出的 GST 语句中提取的定位精度信息,可看出试验过程中东向定位精度在 1.5 cm 以内,北向定位精度在 1.0 cm 以内,表明 GPS 工作在载波相位差分定位模式。图 8d 给出了拖拉机行驶过程中航向角的变化情况,由定向机直接输出。从图 8e 看出移动基站数据没有丢包现象,数据更新频率为 20 Hz,相邻数据包时间差 0.05 s。图 8f 中相邻数据包时间差在 0.1 s 左右,有近 0.02 s 的偏差,其主要原因是定向数据包 HDT 中不包含时间信息,定向数据信息中的时间信息是从定向机输出的 ZDA 语句中提取的。GPS 接收机输出 ZDA 和 HDT 语句时存在时间上的偏差,但整体上可认为 HDT 没有丢包现象,数据更新频率为 10 Hz。

4 结论

(1) 从拖拉机导航作业可靠性出发,集成蓝牙通讯和无线 TCP/IP 通讯搭建了实车测试系统,实车试验验证了无线通讯工作的可靠性和有效性。

(2) PDA 程序中设计基于状态机的软件架构和基于队列的数据交换和管理方法, 占用系统资源少、便于增添 GPS 输出语句类型、实时性好。此方法可以集成应用于其他类似测控领域。

参 考 文 献

- 1 Trimble Navigation Ltd. EZ-Steer system for the EZ-Guide plus lightbar reference guide, Ver. 3.00[M]. Trimble Navigation Ltd., 2006.
- 2 Ismail W I W, Hudzari R M, Saufi M K M, et al. Computer-controlled system for autonomous tractor in agricultural application [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2012, 10(2): 350 ~ 356.
- 3 罗锡文, 张智刚, 赵祚喜, 等. 东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 139 ~ 145.
Luo Xiwen, Zhang Zhigang, Zhao Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 tractor [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 139 ~ 145. (in Chinese)
- 4 车艳双, 李民赞, 郑立华, 等. 基于 GPS 和 PDA 的移动智能农田信息采集系统开发 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 109 ~ 114.
Che Yanshuang, Li Minzan, Zheng Lihua, et al. Development of a movable farm-data acquisition system with PDA and GPS [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 109 ~ 114. (in Chinese)
- 5 Trimble Navigation Ltd. Getting started guide-Trimble SPS852 modular GPS receiver, Ver4.41A[M]. Trimble Navigation Ltd., 2011.
- 6 李秀娟, 陈明恩. 应用蓝牙技术的多通道数据采集与传输系统 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(5): 165 ~ 168.
Li Xiujian, Chen Ming'en. Multi-channel data acquisition and transmission system based on bluetooth technology [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(5): 165 ~ 168. (in Chinese)
- 7 鲁力, 张波. 嵌入式 TCP/IP 协议的高速电网络数据采集系统 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(2): 405 ~ 409.
Lu Li, Zhang Bo. High-speed power grid data acquisition system based on embedded TCP/IP protocol [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(2): 405 ~ 409. (in Chinese)
- 8 Trimble Navigation Ltd. Getting started guide: Trimble Recon handheld computer getting started guide (WM6) [M]. 2008.
- 9 National Instrument Corporation. Getting started with the LabVIEW PDA module for Windows Mobile, Ver. 8.5[M]. National Instrument Corporation, 2007.
- 10 张小龙, 李亮, 陈彬, 等. 拖拉机轮胎中心位置通用传感器安装支架设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 190 ~ 196.
Zhang Xiaolong, Li Liang, Chen Bin, et al. Design of general sensor installation bracket on tractor tire center position [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(9): 190 ~ 196. (in Chinese)

(上接第 207 页)

- 22 石吉勇, 邹小波, 赵杰文, 等. 基于近红外光谱的设施栽培水果黄瓜磷元素亏缺初期快速诊断 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(12): 3 264 ~ 3 268.
Shi Jiyong, Zou Xiaobo, Zhao Jiewen, et al. Rapid diagnostics of early phosphorus deficiency in mini-cucumber plants under protected cultivation by near infrared spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(12): 3 264 ~ 3 268. (in Chinese)
- 23 王磊, 自由路, 杨俐苹. 春玉米磷素营养的光谱响应及诊断 [J]. 植物营养及肥料学报, 2007, 13(5): 802 ~ 808.
Wang Lei, Bai Youlu, Yang Liping. Spectral response and diagnosis of phosphorus nutrition in corn [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(5): 802 ~ 808. (in Chinese)
- 24 Wold S, Sjostrom M, Eriksson L. PLS-regression; a basic tool of chemometrics [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory System, 2001, 58(2): 109 ~ 130.
- 25 Vapnik V N. Statistical learning theory [M]. New York: Wiley, 1998: 1 ~ 50.
- 26 de Jong S. Simpls: an alternative approach to partial least squares regression [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1993, 18(3): 251 ~ 263.
- 27 李民赞. 光谱分析技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- 28 Dhanoa M S, Lister S J, Sanderson R, et al. The link between multiplicative scatter correction (MSC) and standard normal variate (SNV) transformations of NIR spectra [J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 1994, 2(1): 43 ~ 47.
- 29 Candolfi A, de Maesschalck R, Jouan-Rimbaud D, et al. The influence of data pre-processing in the pattern recognition of excipients near-infrared spectra [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 1999, 21(1): 115 ~ 132.
- 30 Wold S, Antti H, Lindgren F. Orthogonal signal correction of near-infrared spectra [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1998, 44(1): 175 ~ 185.
- 31 Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures [J]. Analytical Chemistry, 1964, 36(8): 1 627 ~ 1 639.