

基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计

胡 炼^{1,2}, 罗锡文^{1,2*}, 张智刚^{1,2}, 赵祚喜^{1,2}

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

摘 要: 为了提高插秧机自动导航系统的可靠性, 设计了一种基于 CAN 总线的分布式控制系统。系统由 1 个主控节点和 3 个从节点组成。主控节点采用 AT91SAM9261 ARM 处理器, 负责根据 RTK GPS 数据和电子罗盘数据决策适当的控制指令; 3 个从节点选用 C8051F040 单片机, 分别实现转向控制、变速控制以及插秧机具升降控制; 并根据 CAN2.0 总线协议, 制定了插秧机自动导航系统主从节点数据传输通信协议。控制系统在久保田 SPU-68 型插秧机上进行了道路跟踪试验和田间作业试验, 结果表明, 采用基于 CAN 总线的嵌入式分布式导航控制系统保证了数据实时传输, 插秧机能够自主完成路径跟踪、转向、变速以及插秧等操作。其中道路直线跟踪误差小于 0.05 m, 田间作业试验直线跟踪误差不大于 0.2 m, 插秧行距为 30 cm, 能基本满足水田插秧作业要求。

关键词: 自动导航, 控制, 通信系统, 插秧机, CAN 总线

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.015

中图分类号: TP242.3, TP29

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0088-05

胡 炼, 罗锡文, 张智刚, 等. 基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 88—92.

Hu Lian, Luo Xiwen, Zhang Zhigang, et al. Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 88—92. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

农业机械导航技术的主要功能是根据各种导航传感器信息, 引导农田作业机械按照预定的作业路线精确跟踪行走。由于计算机技术、电子通信技术和控制技术在导航中的普遍应用, 对传感器、控制单元和处理器之间的数据传输提出了新的要求, 使得 CAN 总线在农业机械导航系统中得到应用^[1-2]。以往农业机械导航采用工控机或个人计算机作为任务处理器^[1-9]。个人计算机和工控机体积较大, 还需采用交流电源供电, 给农业机械导航的研究和应用带来不便。嵌入式 ARM 处理器的处理速度快、体积小、直流电源供电且电源电压低、低功耗和紧凑代码密度等特点赢得了全球的认可^[10]。

华南农业大学工程学院将插秧机的转向机构、变速机构和插秧机具升降机构改造成电控装置控制^[11], 研制成功基于 RTK-GPS 和电子罗盘的久保田 SPU-68 型插秧机平台^[5,12]。本研究在此基础上设计基于 CAN 总线的嵌入式 ARM 和单片机分布式控制网络, 并根据 CAN2.0 总线协议制定数据通信协议, 为农业机械导航研究提供了试验平台。

收稿日期: 2008-12-28 修订日期: 2009-03-11

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10A304); 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z255); 广东省科技计划项目(2007A020300010-5); 广东省自然科学基金项目(07301499)

作者简介: 胡 炼(1984—), 男, 湖南长沙人, 研究方向智能化检测与控制。广州 华南农业大学工程学院, 510642

*通信作者: 罗锡文(1945—), 男, 湖南株洲人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会会员(E041 2001185), 主要从事农业机械化工程、精细农业方面研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642。

Email: xwluo@scau.edu.cn

1 分布式嵌入式控制系统 CAN 总线设计

久保田 SPU-68 型插秧机导航系统应能按照预定的作业路线精确跟踪行走, 同时完成速度调节和自动插秧等功能。对插秧机导航控制系统的要求包括: 1) 各控制单元或检测单元安装在其控制或检测处附近; 2) 各个单元之间应能进行多主机方式通信; 3) 每个单元应能完成规定的检测、控制和反馈任务。CAN 总线是分布式控制系统的理想通信网络, 其数据通信可靠性高、实时性强、灵活性好, 不但能实现多主方式工作, 而且能在苛刻环境中保证测量装置与控制执行机构处安全、可靠地完成测量与控制任务^[13], 同时 CAN 总线性能价格比高, 是农业机械导航的理想总线。因此, 设计了基于 CAN 总线的插秧机导航分布式控制系统。

1.1 系统整体结构

系统主要由主控制器节点以及 3 个功能节点组成, 如图 1 所示。主控制器节点负责处理电子罗盘(Honeywell HMR3000)、RTK GPS(real time kinematic global positioning system, Trimble 5700)信息以及根据当前的车轮转角、速度和插秧机具升降信息做出控制决策。功能节点包括转向控制节点、变速控制节点和插秧机具升降控制节点。采用 8 位单片机实现接收指令, 驱动直流电机执行转向、变速和插秧机具升降操作, 并通过线性电位器检测实现闭环控制。

1.2 功能节点设计

功能节点包括转向控制节点、变速控制节点和插秧机具升降控制节点, 各功能节点采用 Silicon Laboratories 公司的 C8051F040 单片机实现。C8051F040 具有与 MCS-51 完全兼容的指令内核, 速度快(25 MHz 下可达

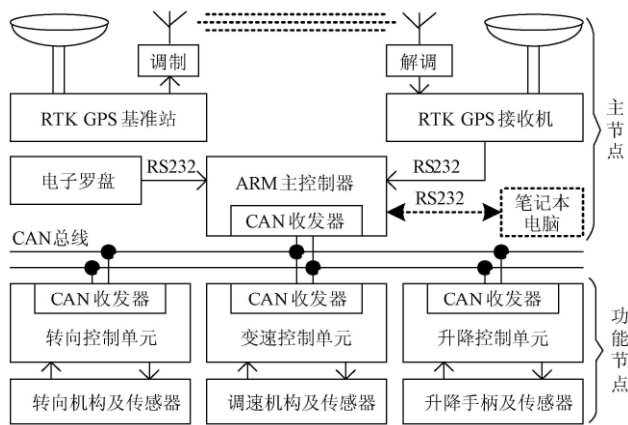


图 1 基于 CAN 总线的分布式导航控制系统结构

Fig.1 Structural diagram of distributed navigation control system based on CAN

25 MIPS)，具有控制系统所需的模拟和数字外设、12 位 ADC (analog digital converter) 和 PWM (pulse-width modulation) 等模块。特别是其内置的 CAN 总线协议控制器 CAN 内核、报文 RAM (独立于 CIP-51 的 RAM)、报文处理机和控制寄存器，简化了 CAN 总线系统设计。

图 2 是本系统的功能节点结构示意图，虚线方框内为功能节点，每个功能节点设有 CAN 总线接口、电源接口、传感器接口和电机驱动接口各 1 个。各节点密封安装在测量装置与控制执行机构附近，采用单接口连接到 CAN 总线上。各功能节点将当前状态发送至 CAN 总线上。功能节点的 CAN 消息接收采用中断接收方式，当总线上消息满足节点接收条件时，C8051F040 产生 CAN 中断，中断响应后在 CAN 中断服务程序中进行新的 CAN 消息内容读取，读取完毕节点立即向 CAN 总线发送执行机构当前的状态数据。

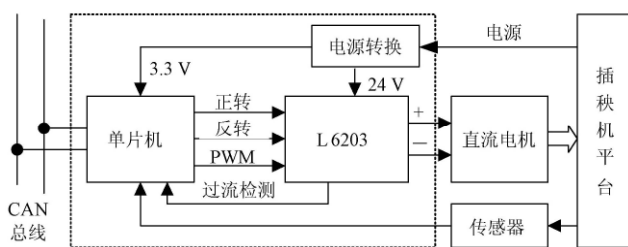


图 2 CAN 功能节点示意图

Fig.2 Skematic description of the function node

此外，在紧急情况下需要人工干预对插秧机进行控制，如紧急停车等。因此，在变速控制节点上设计一无线遥控接收模块，通过它接收操作人员通过遥控器发送的操作指令。若接收的指令是转向调节或插秧机具升降调节，则变速控制节点通过 CAN 总线向转向控制节点或插秧机具升降控制节点发送人工操作指令。

1.3 主控制器节点设计

1.3.1 硬件设计

主控制器节点设计采用 AT91SAM9261 芯片，是 Atmel 公司新推出的 ARM9E 32 位处理器，在主频为

180 MHz 时，运算速度可达 200 MIPS。内部资源丰富，板上还集成了 64 MB SDRAM (synchronous dynamic random access memory)。由于 AT91SAM9261 本身并不带有 CAN 接口，为此通过其一路 SPI 接口连接 MCP2510 扩展实现 CAN 总线接口。MCP2510 是应用广泛的 CAN 控制器，自带 2 个验收屏蔽寄存器和 6 个验收滤波寄存器，能有效减少处理器的开销。

主节点安装于插秧机驾驶员座位后部，既方便操作，又可保证防尘防水，且不影响原人工驾驶操作。CAN 总线介质选用两芯带屏蔽网导线，屏蔽网接地。其中转向控制节点和插秧机具升降控制节点上各接有 1 个 120 Ω 电阻作为 CAN 线路的匹配电阻。各 CAN 控制器所需晶体振荡器选用高稳定度晶体振荡器，保证在户外温度变化较大的情况下通信系统的稳定性。

1.3.2 主控制器节点功能及实现

导航系统主控制器节点需完成以下任务：1) 决策当前跟踪的规划路径；2) 采集 RTK GPS 和电子罗盘等导航传感器数据；3) 计算出转向、速度以及插秧机具升降控制量，并发送至 CAN 总线上；4) 接收功能节点的反馈信息，并实时保存相关数据。

转向控制量是实现预定路径跟踪的重要条件，对路径跟踪效果有重要影响。导航控制中常采用下式线性计算模型来决策转向控制量^[14-15]。

$$\delta = k_{p1} \times d + k_{p2} \times \theta \quad (1)$$

式中： δ ——转向控制量； d ——横向跟踪误差； θ ——纵向航向偏差； k_{p1} ， k_{p2} ——比例系数。

在实际的导航控制中，线性模型无法消除系统测试误差以及在参数设置不合适时由于随机误差加剧系统振荡的问题。为更好消除横向跟踪误差和纵向航向偏差，将两个增量式 PID 控制器的输出相加得转向控制量^[12]，见式 (2)。

$$\begin{aligned} \delta_i = & k_{p1} [d_i - d_{i-1} + \frac{T}{T_i} d_i + \frac{T_d}{T} (d_i - 2d_{i-1} + d_{i-2})] + \\ & k_{p2} [\theta_i - \theta_{i-1} + \frac{T}{T_i} \theta_i + \frac{T_d}{T} (\theta_i - 2\theta_{i-1} + \theta_{i-2})] + \delta_{i-1} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： d_i 、 d_{i-1} ——第 i 、 $i-1$ 时刻的横向跟踪误差； θ_i 、 θ_{i-1} ——第 i 、 $i-1$ 时刻的纵向航向偏差； T ——采样周期； T_d ——微分时间常数； T_i ——积分时间常数。

当插秧机行驶至每行的地头转向点附近时，即以地头转向点为圆心，1.5 m 为半径的圆内，主控制器发送地头转向行走速度指令和插秧机具提升指令。插秧机的行驶速度将由插秧行走速度改变为地头转向速度，同时提升插秧机具。当完成地头转向且对准下一行作业规划路径时，即插秧机与该行位置偏差小于 20 cm，航向偏差小于 10°，主控制器发送插秧行走速度指令和插秧指令。插秧机的行驶速度将调节为插秧行走速度，同时降下插秧机具并执行插秧动作。

本系统 ARM9 主节点板上集成了 64 MB SDRAM，在对 SDRAM 初始化后数据即可保存在 SDRAM 中，包括 RTK GPS 位置信息、航向信息、位置偏差、航向偏差、前轮转向偏角、速度、插秧控制手柄位置信息等。存放

在 SDRAM 中的数据又可由串口中传输至计算机中, 以便对控制算法和控制精度等进行调试分析。

1.3.3 主节点软件设计

主节点功能主要在定时器中断服务程序中实现, 定时器中断服务程序流程图如图 3 所示。系统工作周期 T (称采样周期) 由定时器设定为 25 ms, 控制量刷新周期为 100 ms ($4 \times T$)。这样设定的目的在于对导航传感器数据进行滤波处理。主程序完成程序初始化后, 每次定时中断服务程序 (周期 T) 均读取导航传感器数据, 之后判断控制量刷新周期是否已到, 若未到则结束, 否则进行控制量计算, 刷新控制量输出并保存当前相关数据。RTK GPS 和电子罗盘通过 ARM9 电路板上两个通用串行通信接口与控制器进行数据传输。RTK GPS 数据输出频率 20 Hz、波特率 115 200 bit/s, 电子罗盘数据输出频率 10 Hz、波特率 9 600 bit/s。控制器通过串口接收到 RTK GPS 字符信息或电子罗盘字符信息后将产生中断事件, 串口中断程序中将数据存放在缓冲区内供定时器中断服务程序使用。AT91SAM9261 的串口具有 DMA 功能, 因此 GPS 和电子罗盘的数据采集不会影响它完成如图 3 所示的流程。

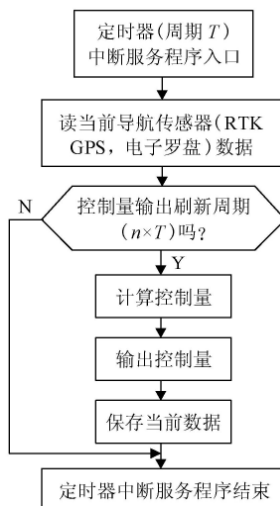


图 3 定时器中断服务程序流程

Fig.3 Flowchart of timer interrupt service program

2 CAN 总线通信协议

由于 CAN 报文无论是标准帧格式还是扩展帧格式, 单一数据帧最多发送 8 个字节^[13], 但实际上节点之间收发传输的信息量常难压缩至 8 个字节以内, 为了应用方便, 专门设计了协议转换层, 其作用是将完整的控制信息帧转换成 CAN 数据帧发送, 将各功能节点返回的 CAN 数据帧形成的状态信息合成完整的反馈信息帧。采用函数 `data_transfer()` 实现上述功能, 其输入、返回值分别定义成两种结构, 如下程序段所示。

```

struct input_value          struct return_value
{ char C;                  { char F;
  unsigned long n;          unsigned long n;
  char T;                  char T;
  char ID0;                float Tcmd;
  float Tcmd;              char Tm;
  ...                      float Tp[Tm];
  float Ufeed;             ...
};                          unsigned int check;
                          };
  
```

`input_value` 是输入值, 也称之为控制指令包, 详细格式如图 4a 所示。其中定义转向角度左转为正值, 插秧机前进行行驶时速度值为正值; 插秧机具上升、下降、停止和插秧 4 个状态分别用十进制 3、2、1、0 表示; 信息反馈指令表示各功能节点反馈的各自控制过程的过程状态数量, 通过过程状态可了解各功能节点的控制执行过程。`return_value` 是返回值, 又称之为反馈信息包, 详细格式如图 4b 所示。反馈信息包包含有控制指令和当前的过程状态组 (≤ 20)。函数 `data_transfer()` 中首先将 `input_value` 拆解为转向控制指令、速度控制指令和升降控制指令并结合相应功能节点 ID 号经过编码并加上校验数发送到 CAN 总线上, 再将接收到的最新 CAN 消息 (由各功能节点发出) 经过校验解码后按照图 4b 格式组成状态信息帧, 即 `return_value`。对于超过 8 字节的指令和反馈信息, 将分成多个 CAN 消息发送。通信协议中数据编码格式规定为: 有符号的数据规定将数据的最高位作为符号位并定义为“0 正、1 负”, 浮点数数据分为整数部分和小数部分, 各占 1 个字节, 小数部分保留一位。

包头标识	序号	转向标识	ID 号	转向指令	信息反馈指令	速度标识	ID 号	速度指令	信息反馈指令	升降标识	ID 号	升降指令	信息反馈指令
C	n	T	02	Tcmd	Tfeed	S	03	Scmd	Sfeed	U	04	Ucmd	Ufeed

a. 控制指令包格式

包头标识	序号	转向标识	转向指令	过程数	过程1	过程n	速度标识	速度指令	过程数	过程1	过程n	升降标识	升降指令	过程数	过程1	过程n	信息校验
F	n	T	Tcmd	Tm	Up1	Upn	S	Scmd	Sm	Sp1	Spn	U	Ucmd	Um	Up1	Upn	check

b. 反馈信息包格式

图 4 通信数据包格式

Fig.4 Format of the system information packets

根据 CAN 协议的仲裁机制, 报文 ID 号 (即标准格式帧的 11 位识别符) 越小的节点具有越高的优先权, 当

功能节点同时发送反馈信息时, 优先级高的先发送, 其他节点退出总线^[16]。因此, 各功能节点优先级顺序由高

到低依次为转向控制节点、变速控制节点、插秧机具升降控制节点, 11 位识别符的最低 8 位分别为 0×02 、 0×03 、 0×04 。控制指令包格式和反馈信息包格式的定义规范了数据存储, 且能适用在本系统上进行其他通信总线试验研究, 如以太网等。

3 试验测试及结果

基于 CAN 总线的分布式插秧机导航控制系统试验平台如图 5 所示, 试验分为道路试验和田间作业试验。



图 5 SPU-68 型插秧机平台
Fig.5 SPU-68 rice transplanter

3.1 道路跟踪试验

先在水泥道路上用 RTK GPS 测定两点, 规划出 1 条直线路径, 约 73 m 长。驾驶员关闭插秧机具液压驱动系统 (因在路上进行插秧操作将损坏插秧机) 并驾驶插秧机至起点, 车头对准路径方向。启动导航系统后, 系统控制插秧机加速至设定行走速度 (0.75 m/s) 进行自动路径跟踪, 到达终点减速至停车。此过程中的数据保存于主节点 SDRAM 中, 分析 RTK GPS 实时坐标数据与规划路径即可知导航插秧机直线跟踪效果, 试验结果见图 6。道路试验结果表明: 导航插秧机在道路上以 0.75 m/s 速度直线行走, 跟踪误差小于 0.05 m 。

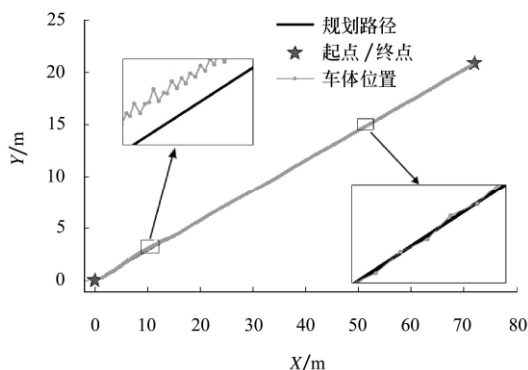


图 6 道路直线跟踪试验结果

Fig.6 Experimental result of line trajectory tracking on the road

3.2 田间作业试验

田间作业试验在华南农业大学实验农场进行。预定作业路线的设定方法是: 1) 首先用 RTK GPS 测定水田

的 4 个点坐标, 连接 4 个定位点形成 1 个四边形; 2) 选取田块最长边界对应的四边形边作为作业行规划的基准线; 3) 以此基准线, 划定若干条平行作业线, 平行线间距离依作业行间距而定, 最后 1 条作业线与四边形的边界最短距离不得小于 $1/2$ 个作业行间距, 计算所有平行作业线与四边形的交点即为规划作业线节点; 4) 依序将作业线节点存储进二维数组, 供导航控制软件调用。步骤 2)、3)、4) 由自行编写的 VC 程序完成。本试验选取的田块面积为 $45 \text{ m} \times 25 \text{ m}$, 根据预定作业路线设定方法, 插秧机的工作幅宽 1.8 m , 得出 15 行 45 m 长的平行作业线 (预定路径), 如图 7 所示。插秧机装满秧苗后, 驾驶员驾驶插秧机至首行, 车头对准首行路径方向, 然后切换到自动导航状态, 插秧机以 0.7 m/s 的速度进行插秧作业, 地头转向时提升插秧机具, 减速至 0.3 m/s 。完成插秧作业后, 数据通过主节点电路板上 USB 或 RS-232 接口输出至计算机。

试验结果表明, 插秧机能自动完成直线跟踪、插秧、速度调节、地头转向等操作, 插秧机完成 $45 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 的水田插秧作业需 56 min , 其中包括 3 次加装秧苗时间 12.1 min , 共保存信息包 33 630 组。插秧机插秧作业 (直线跟踪) 的最大误差为 0.2 m , 平均误差为 0.04 m 。图 7 为规划的路径和自动导航插秧作业实际路径。

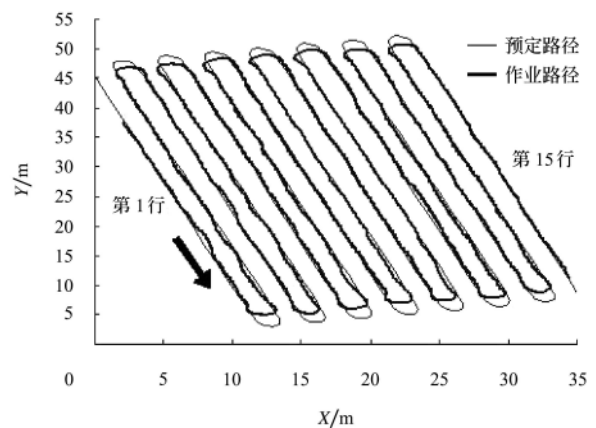


图 7 预定路径和自动作业路径

Fig.7 Planned path and actual path finished by the transplanter

4 结论与讨论

1) 建立了基于 CAN 总线的数据通信网和嵌入式 ARM 和单片机分布式控制网, 并制定了数据通信协议, 为进一步研究农田作业机械导航控制提供了试验平台。

2) 插秧机导航控制系统能在田间能够自主完成路径跟踪、转向、变速以及插秧等操作, 道路直线跟踪最大误差小于 0.05 m , 田间作业跟踪最大误差不大于 0.2 m , 平均误差 0.04 m , 能基本满足水田插秧作业要求。

3) 导航插秧机导航控制系统在田间作业跟踪误差还较大, 可考虑从补偿田块不平引起插秧机倾斜和优化控制算法等方面提高跟踪精度。

4) 嵌入式 ARM 中未使用操作系统, 若在嵌入式操作系统的支持下, 导航系统将可实现更多功能。

[参 考 文 献]

- [1] Darr M J, Stombaugh T S, Shearer S A. Controller area network based distributed control for autonomous vehicles[J]. American Society of Agricultural Engineers, 2005, 48(2): 479—490.
- [2] 安秋, 姬长英, 周俊, 等. 基于CAN总线的农业移动机器人分布式控制网络[J]. 农业机械学报, 2008, 39(6): 123—126.
An Qiu, Ji Changying, Zhou Jun, et al. Distributed control network for CAN-based autonomous agricultural robot[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 123—126. (in Chinese with English abstract)
- [3] Qin Zhang, John F. Reid. Automated guidance control for agricultural tractor using redundant sensors[Z]. Pittsburg: PA, 1999.
- [4] Matsuo Y, Hamada Y, Yukumoto O, et al. Auto-steering rice transplanter for straight traveling[C]//Kyoto, Japan. International Conference on Automation Technology for Off-Road Equipment, 2004: 292—297.
- [5] 张智刚, 罗锡文, 周志艳, 等. 久保田插秧机的GPS导航控制系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(7): 95—97.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhou Zhiyan, et al. Design of GPS navigation control system for rice transplanter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(7): 95—97. (in Chinese with English abstract)
- [6] Reid J F, Zhang Q, Noguchi N, et al. Agricultural automatic guidance research in North America[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1/2): 155—167.
- [7] Torii T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1/2): 133—153.
- [8] Bell T. Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25: 53—66.
- [9] O'Connor M. Carrier-phase Differential GPS for automatic control of land vehicles[D]. CA: Stanford University, 1997.
- [10] 夏宇, 王军政, 徐山峰. 基于ARM9的嵌入式控制系统设计与实现[J]. 微计算机信息, 2008, 24(8): 1—3.
Xia Yu, Wang Junzheng, Xu Shanfeng. Design and complement of embedded control system based on ARM9[J]. Microcomputer Information, 2008, 24(8): 1—3. (in Chinese with English abstract)
- [11] 胡炼, 罗锡文, 赵祚喜, 等. 插秧机电控操作机构和控制算法设计[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 118—122.
Hu Lian, Luo Xiwen, Zhao Zuoxi, et al. Design of electronic control device and control algorithm for rice transplanter[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(4): 118—122. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张智刚. 插秧机的DGPS自动导航控制系统研究[D]. 广州: 华南农业大学工程学院, 2006.
Zhang Zhigang. Automatic guidance system based on DGPS for rise transplanter[D]. Guangzhou: College of Engineering, South China Agricultural University, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [13] 饶运涛, 邹继军, 王进宏, 等. 现场总线CAN原理与应用技术(第2版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [14] Yoshisada Nagasaka, Naonobu Umeda, Yutaka Kanetai, et al. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43(3): 223—234.
- [15] Noboru Noguchi, John F. Reid, Qin Zhang, et al. Developmint of robot tractor based on RTK-GPS and Gyroscope[C]//ASAE Meeting Presentation. 2001.
- [16] 董长飞. C8051F系列单片机开发与C语言编程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.

Design of distributed navigation control system for rice transplanters based on controller area network

Hu Lian^{1,2}, Luo Xiwen^{1,2*}, Zhang Zhigang^{1,2}, Zhao Zuoxi^{1,2}

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A CAN-based distributed control system was developed to improve the reliability of automatic guidance for rice transplanter. This system included a master node and three slave nodes. The master node, which used AT91SAM9261 embedded CPU, utilized RTK GPS data and compass data to generate appropriate control commands. By adopting C8051F040 as the key control chip, three slave nodes realized steering control, speed control and transplanting instrument lever control, respectively. A communication protocol was presented for the distributed control network. Road tracking test and paddy field test were carried out based on SPU-68 rice transplanter. Testing results demonstrated that the system was able to transfer and receive real-time messages reliably. And the transplanter could complete all the field operations, such as tracking trajectory, automatic steering, speed changing and transplanting, etc. Road and paddy field testing results also showed that the line trajectory track errors were less than 0.05 m and 0.2 m, respectively, which basically met the requirements of rice transplanting.

Key words: automatic guidance, control, communication system, rice transplanter, controller address network (CAN)