

Sistema distribuído para controle do posicionamento de antena direcional de um robô agrícola móvel

Fernando Scorzoni, fernandosc@yahoo.com¹
Eduardo Paciência Godoy, epgodoy@yahoo.com.br¹
Rubens André Tabile, rubens.tabile@gmail.com¹
Arthur José Vieira Porto, ajvporto@sc.usp.br¹
Ricardo Yassushi Inamasu, ricardo@cnpdia.embrapa.br²

¹ Dep. de Engenharia Mecânica-EESC-USP, Av. Trabalhador São carlense 400 CEP 13566-590 São Carlos-SP Brasil

² EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Av. XV de Novembro 1452 CEP 13560-970 São Carlos-SP Brasil

Resumo: Atualmente verifica-se uma forte tendência no desenvolvimento de veículos autônomos e robôs móveis para a área agrícola, norteada pela crescente necessidade de se projetar máquinas e implementos agrícolas cada vez mais automatizados. Estes robôs são equipados com um grande número de dispositivos como sensores, atuadores, sistemas de comunicação sem fio e unidades de controle que precisam estar interconectados e compartilhar informações. Este compartilhamento pode originar sistemas centralizados complexos que podem ser simplificados com o desenvolvimento de um sistema distribuído eficiente. ISOBUS é um padrão de comunicação baseado em CAN (Controller Area Network) para o desenvolvimento de sistemas distribuídos em máquinas e implementos agrícolas. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um sistema distribuído de posicionamento para as antenas do sistema de teleoperação de um robô agrícola móvel. Esse sistema de teleoperação é baseado em uma ligação wireless Ethernet com antenas direcionais (uma no robô e outra na estação de controle). O sistema distribuído com rede CAN consiste em duas unidades de controle (ECUs) que são responsáveis pelo controle da posição das antenas para manter o “link” de teleoperação. O deslocamento angular do robô é medido com o auxílio de uma bússola digital e transmitido na rede CAN por uma ECU. Outra ECU controla um motor DC (acoplado à antena) de acordo com os dados da bússola recebidos da rede CAN, de forma a manter a antena do robô sempre direcionada à estação de controle. A validação de operação do sistema de posicionamento foi realizada através de testes realizados em laboratório e com a navegação do robô. O posicionamento das antenas foi feito precisamente com resolução de cinco graus (deslocamento angular detectável entre as antenas) e tempo de resposta adequado para manter a teleoperação do robô.

Palavras-chave: Robô Agrícola, Protocolo CAN, Bússola Digital, ISOBUS

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos observa-se um grande aumento na utilização da automação e suas vertentes na área agrícola. Este aumento está relacionado com o aparecimento de novas práticas, como as relacionadas à Agricultura de Precisão que demandam um grande número de pesquisas em sensores e atuadores, comunicação, controle.

Uma tendência recente vem sendo o desenvolvimento de robôs móveis e veículos autônomos para realização de tarefas específicas, melhorando a eficiência e originando ganhos de operação (reduz compactação do solo, ausência de operador) quando se comparados com a utilização de grandes máquinas. Esta tendência tem conduzido várias pesquisas a desenvolver veículos mais racionais e adaptáveis. Um conceito tem sido desenvolvido para investigar se múltiplas pequenas máquinas autônomas seriam mais eficientes que tratores grandes tradicionais (Blackmore et al., 2004). Esses veículos devem ser capazes de trabalhar 24 horas por dia, durante todo o ano, na maioria das condições climáticas e ter inteligência incorporada a eles para se comportar sensatamente em um ambiente semi-natural por longos períodos de tempo, de forma autônoma, enquanto realiza uma tarefa útil (Pedersen et al., 2005).

Como esses robôs, em geral, são equipados com vários dispositivos (como sensores, atuadores, unidade de controle entre outros) o compartilhamento dos dados gerados pode se tornar um problema sobrecarregando a rede e a unidade de controle. O desenvolvimento de um sistema distribuído eficiente reduz a sobrecarga de dados, facilita manutenção, cria a possibilidade de inserirmos novos dispositivos sem a necessidade de grandes modificações. O CAN (Controller Area Network) por ser um protocolo muito robusto, demonstrou ótimos resultados em sistemas distribuídos na área agrícola (Darr; Stombaugh & Shearer, 2005), inclusive para a realidade brasileira (Sousa, Inamasu & Porto, 2005). Uma

padronização deste protocolo para a área agrícola é o ISO11783 ou ISOBUS (Pereira, R.R.D.). Este projeto tem o objetivo de desenvolver um sistema distribuído (baseado em CAN e padronizado pela ISO11783) de controle do posicionamento (corrigido em tempo real pelos dados gerados por uma bússola digital) de uma antena direcional para a teleoperação de um RAM (Robô Agrícola Móvel).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Robô Agrícola Móvel (RAM)

O RAM foi criado em uma parceria entre a Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC-USP) e Empresa Brasileira de Pesquisa de Instrumentação Agropecuária (Embrapa) para ser usado como uma plataforma experimental para o desenvolvimento de controle, navegação e tecnologias de aquisição de dados para a área agrícola. A principal aplicação do robô é a de realizar sensoriamento remoto em grandes áreas, de parâmetros agrônômicos dos tipos mais importantes de cultura brasileiras. Ele não demanda alta potência, como em operações agrícolas, mas apenas se move eficientemente neste ambiente.

Foi estabelecido que a estrutura devesse ser em pórtico, capaz de operar em culturas de até 1,80m de altura, com escala ajustável para operar em diversas linhas de espaçamento de cultivo e deve ser leve e flexível comparado aos veículos agrícolas comerciais, com a possibilidade de se inserir novos sensores e atuadores. Segundo Madsen & Jakobsen, 2001 as considerações feitas sobre os princípios do veículo e as escolhas de conceito para o robô móvel foram: tração, direção, dimensões, estrutura, motores e fornecimento de energia.

Como o Robô Agrícola Móvel é projetado para operar nas principais culturas da agricultura brasileira, durante quase todo o ciclo de crescimento e de pós-colheita, ele exige versatilidade da estrutura visando atender todas as situações. Estabeleceu-se que a estrutura seria em formato pórtico com 2m de altura. Para que fosse possível operar em linhas de cultivo com diferentes dimensões foi escolhido um chassi onde a bitola poderia ser ajustada. Para conseguir isso, o sistema foi projetado em módulos independentes (chassis laterais e chassi superior), acompanhado por barras telescópicas, a fim de abranger o máximo possível de situações. O módulo de direção, o módulo de propulsão e o gabinete central completam o sistema.

Para integração (comunicação na rede, troca de informações e controle) entre os dispositivos eletrônicos, foi implementada no Robô Agrícola Móvel uma rede CAN baseada no protocolo ISO011783. A rede desenvolvida não apenas permite a integração dos sensores, atuadores e sistemas computacionais relativos às tarefas de navegação e esterçamento, mas também de dispositivos relacionados a aquisição de dados de variáveis agrícolas, o que eventualmente irá compor o sistema. As controladoras do sistema de direção têm uma interface CAN embutida e estão diretamente ligados à rede. As controladoras do sistema de propulsão usam uma interface CAN, para se comunicar com o resto da rede. Para viabilizar a operação do robô no campo, foi necessário desenvolver uma estação base que tem a função de gerenciar as operações realizadas pelos robôs e receber dados de análises, permitir o planejamento além de controlar e monitorar as tarefas em tempo real via link de comunicação de dados.

A fim de tornar o controle e a aquisição de dados mais rápido e fácil foi proposta a teleoperação desta forma os dados são coletados em tempo real a uma distância de até 6 km, no caso. A teleoperação é feita basicamente pelo "link" de duas antenas direcionais que se comunicam no padrão IEEE802.11g, uma esta fixada sobre o RAM e a outra na estação de controle como demonstrado na Figura 1.

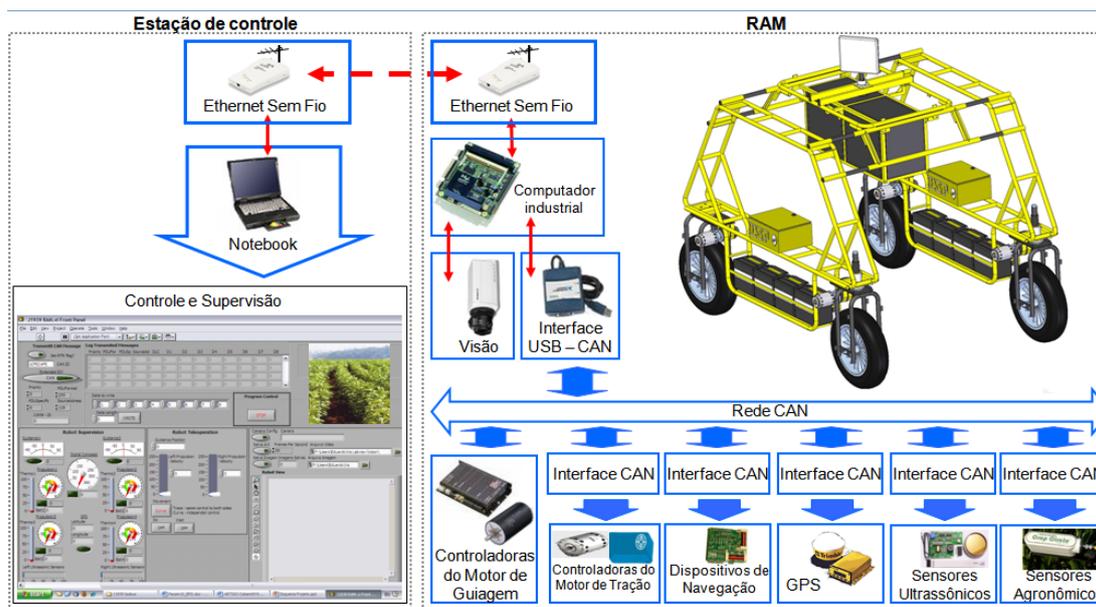


Figura 1. Estrutura e dispositivos conectados ao RAM.

2.2. Sistema Distribuído com Rede CAN

De acordo com Othman et al. (2006), CAN é um protocolo de comunicação digital serial, onde a comunicação de dados é baseada em mensagens formadas por quadros de bits com determinada função. Entre esses quadros de bits, existe o campo identificador (*identifier*) que caracteriza e define a prioridade de cada mensagem. O valor do identificador de uma mensagem CAN é exclusivo e quanto mais baixo seu valor, maior a prioridade da mensagem. Os sinais elétricos digitais do CAN são representados pelo nível recessivo (nível lógico 1) e nível dominante (nível lógico 0), sendo eles sinais diferenciais entre os dois fios do barramento.

O mecanismo de acesso ao meio é fundamentado no conceito CSMA/CD com NBDA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection with Non-Destructive Bitwise Arbitration*), o que significa que as ECUs (*electronic control units*) CAN possuem acesso ao barramento com prioridades determinadas. Ao verificar o status do barramento, as ECUs iniciam a transmissão de suas mensagens. De acordo com o valor do identificador, a ECU com a mensagem de prioridade menor cessa sua transmissão e a ECU com a mensagem de maior prioridade continua enviando sua mensagem deste ponto, sem ter que reiniciá-la. Isto é realizado pelo processo de arbitragem bit a bit não destrutivo, ou lógica "E" por fios, quando duas ou mais ECUs iniciam a transmissão simultaneamente. Cada bit transmitido é comparado, sendo que o dominante sobrepõe o recessivo.

Dentre as especificações do protocolo CAN em relação à camada de enlace de dados, estão os formatos existentes do quadro de dados. São definidos dois formatos de mensagem, onde a única diferença está no tamanho do identificador, sendo CAN 2.0 A *Standard* (ID 11 bits) e CAN 2.0 B *Extended* (ID 29 bits) especificados segundo a Figura 2.

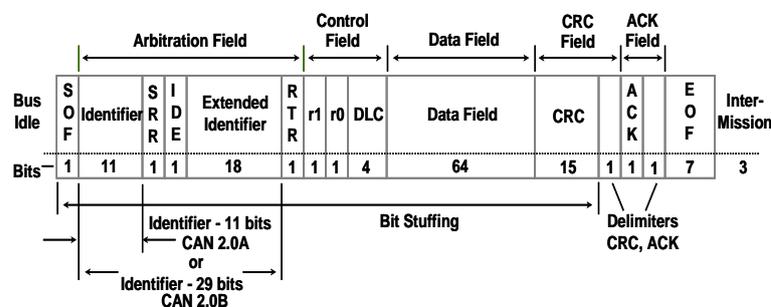


Figura 2. Formatos do Quadro de Dados de Mensagem CAN

O ISO11783 ou ISOBUS que esta embarcado no RAM é um padrão de comunicação baseado no CAN 2.0B desenvolvido para a interconexão de sistemas eletrônicos em máquinas e implementos agrícolas. Em aplicações do CAN e da ISO11783, o sistema eletrônico que promove a interconexão de um dispositivo à rede é denominado Electronic Control Unit (ECU) ou Unidade Eletrônica de Controle. O CAN 2.0B determina o comprimento de 29 bits para o identificador de uma mensagem e um tamanho máximo de 64 bits de dados para a mensagem. A velocidade de transmissão de dados é de 250kbts/s e o comprimento máximo da rede é de 40 m, com uma distância mínima entre ECUs de 0,1 m. O número de ECUs que podem ser conectadas em uma rede é 30. O cabeamento utilizado para a rede CAN é um condutor de 4 fios, blindados e trançados. Para as mensagens CAN definidas pela ISO11783, a informação de controle é codificada em um campo denominado identificador (*identifier*) e são determinadas dois tipos de PDU (Protocol Data Unit) como mostrado na Figura 3.

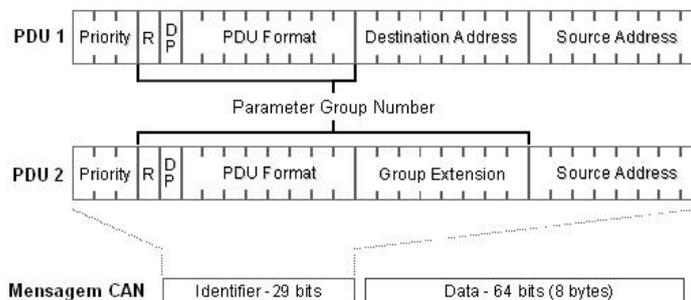


Figura 3. Estrutura do Identificador e Formação das PDU para ISOBUS (Sousa, 2002)

Os campos que compõe a estrutura de uma mensagem, de acordo com a norma ISO11783, possuem diferentes funções. O campo P (*Priority*) – Prioridade, possui 3 bits que determinam a prioridade de acesso da mensagem (menor valor binário, maior prioridade). O campo PF (*PDU Format*) - Formato do PDU, possui 8 bits utilizados na especificação do tipo da mensagem e na determinação dos PGNs (*Parameter Group Numbers*). O campo PS (*PDU Specific*) - Especificidade do PDU, possui 8 bits que representam o endereço de destino da mensagem e depende diretamente do valor do campo PF, podendo ser DA - *Destination Address* ou GE - *Group Extension*. O campo SA (*Source Address*) – Endereço Fonte, possui 8 bits que identificam cada ECU. E o campo DF (*Data Field*) - Campo de

Dados, possui 8 campos de 8 bits (64 bits no total) que contém as informações a serem transmitidas na mensagem. O valor do campo PF (oito bits – 0 a 255) define o tipo de mensagem transmitida pela ECU e especifica o campo PS. Valores para o PF entre 0 e 239, determinam uma PDU 1 enquanto valores entre 240 e 255 determinam uma PDU 2. O formato PDU 1 especifica que o campo PS contém o endereço de destino (*Destination Address*) da mensagem. Isso permite que a mensagem seja enviada para uma ECU da rede em particular (transmissão ponto-a-ponto). O formato PDU 2 especifica que o campo PS contém o endereço de extensão de grupo (*Group Extension*) da mensagem. Esse campo GE é utilizado em ECUs que possuem a mesma “função na rede” e permite que a mensagem seja enviada para varias ECUs simultaneamente (transmissão por difusão). Como mostrado na Figura 1, os dados de cada mensagem são agrupados em PGNs que possuem um valor único e são utilizados para identificação da mensagem e reconhecimento de comandos e pedidos.

Para a integração (comunicação e compartilhamento de dados) entre os dispositivos eletrônicos rede CAN foram utilizadas duas *electronic control unit* (ECU) que foram desenvolvidas no nosso laboratório e são compostas basicamente por um microcontrolador, um transceptor CAN e um transceptor RS232 como demonstrado na Figura 4.

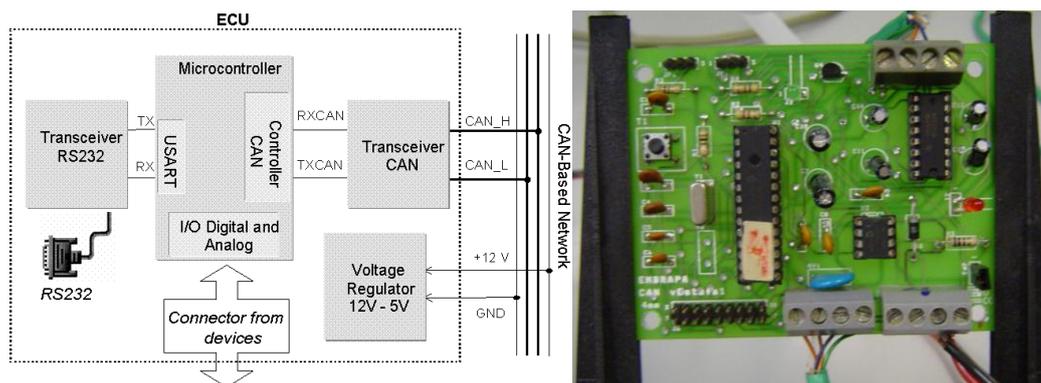


Figura 4. Diagrama do esquemático e foto da ECU

O microcontrolador utilizado foi um PIC18F258. Este possui implementado em seu hardware a lógica necessária para a comunicação no protocolo CAN além de diversas portas analógicas e digitais para serem conectados sensores e atuadores. Um transceptor MCP2551 foi incorporado à ECU para promover a mudança do nível lógico TTL do microcontrolador para a saída diferencial necessária na rede CAN. Para a comunicação no padrão RS232 foi incorporado à ECU um transceptor MAX232 com a mesma função (mudar o nível lógico TTL para a saída necessária).

Para a comunicação no padrão ISO11783 foi criada também no laboratório uma biblioteca com funções em alto nível na linguagem C (Microchip, 2008) de acordo com as especificações ISOBUS. Os microcontroladores foram programados em C utilizando o compilador C18 que oferece funções de alto nível e fácil implementação.

2.3. Sistema de Posicionamento da Antena

O sistema distribuído de controle para correção da posição da antena consiste em duas ECUs que se comunicam através da rede CAN embarcada no robô.

Na porta responsável pela transmissão via interface SPI (*Serial Peripheral Interface*) da primeira ECU foi conectada uma bússola Vector 2x da Precision Navigation. Também foram conectados a bússola pinos I/O responsáveis pelo funcionamento e controle da mesma. Após receber os sinais de controle gerados pelo microcontrolador, a bússola reinicia e passa enviar continuamente mensagens de dois bytes que correspondem ao posicionamento angular do robô, um número entre 0 e 360° na forma binária. O microcontrolador coleta estes dados e os envia no mesmo formato em que foram recebidos (uma mensagem de dois bytes, na qual o primeiro é o mais significativo e o segundo o menos significativo) para a rede CAN.

A segunda ECU controla o motor DC acoplado à antena de acordo com os dados fornecidos pela bússola. Foi utilizado motor Bosch com redução, um *driver* (EM-165 da Electromen Oy) e um conversor D/A de 10bits (controlado via I²C). Como realimentação do sistema de controle, um potenciômetro está acoplado ao eixo que segura a antena gerando um sinal analógico (0 a 5V) relacionado com a posição da antena. Ao receber um comando pela rede CAN, o microcontrolador o envia para o D/A gerando um sinal analógico contínuo de 0 a 5V. O *driver* recebe este sinal e aciona o motor até que a tensão no potenciômetro se iguale a do D/A. O diagrama de conexões e funcionamento do sistema está exemplificado na Figura 5.

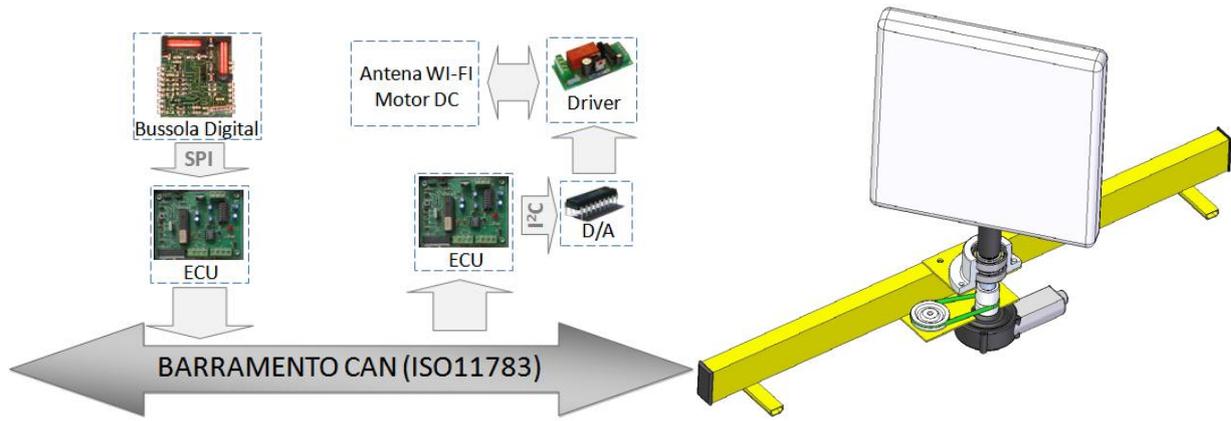


Figura 5. Diagrama do sistema e figura da antena

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Funcionamento do Sistema

A ECU da bússola apenas coleta as leituras da bússola digital e as envia na rede CAN continuamente.

No entanto a ECU da antena ao ser ligada entrará em modo de calibração, utilizado para alinhar a antenas. Neste modo o PIC recebe via CAN um número de 0 a 255 da estação de controle, o qual está relacionado com a posição da antena. Quando é encontrada a posição correta (as antenas estão alinhadas) a estação de controle envia um comando à ECU da antena, que passa a controlar a posição de acordo com os dados da bússola de forma a manter as antenas sempre alinhadas. Logo no início a ECU da antena recebe uma leitura da bússola e a utiliza como padrão, a posição da antena será apenas corrigida quando houver uma diferença de 5 unidades (5 graus) entre o padrão e a medição instantânea da bússola. Quando isto ocorre a próxima leitura da bússola será o novo padrão. A qualquer momento é possível voltar ao modo de calibração com um simples comando. O fluxograma da Figura 6 exemplifica o funcionamento do sistema.

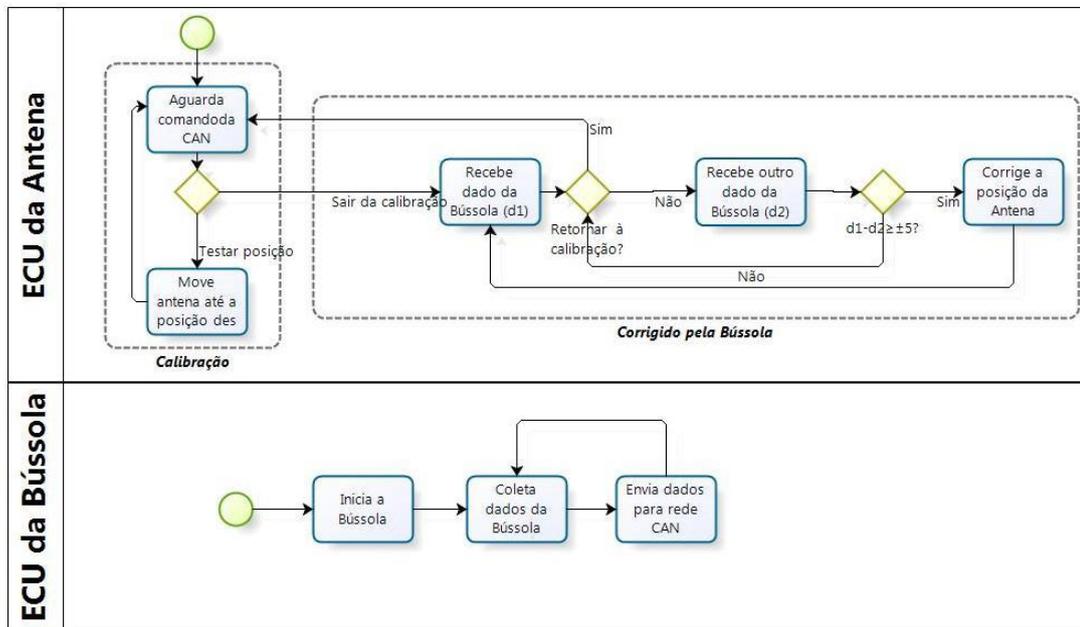


Figura 5. Fluxograma do funcionamento do sistema

3.2. Testes de Operação

Para a padronização, modularização e robustez do sistema distribuído, as ECUs e os dispositivos foram integrados e construídos em duas pequenas caixas de plástico mostradas na Figura 6. A Figura 6 também apresenta o acoplamento mecânico construído para o sistema de posicionamento da antena do robô agrícola.

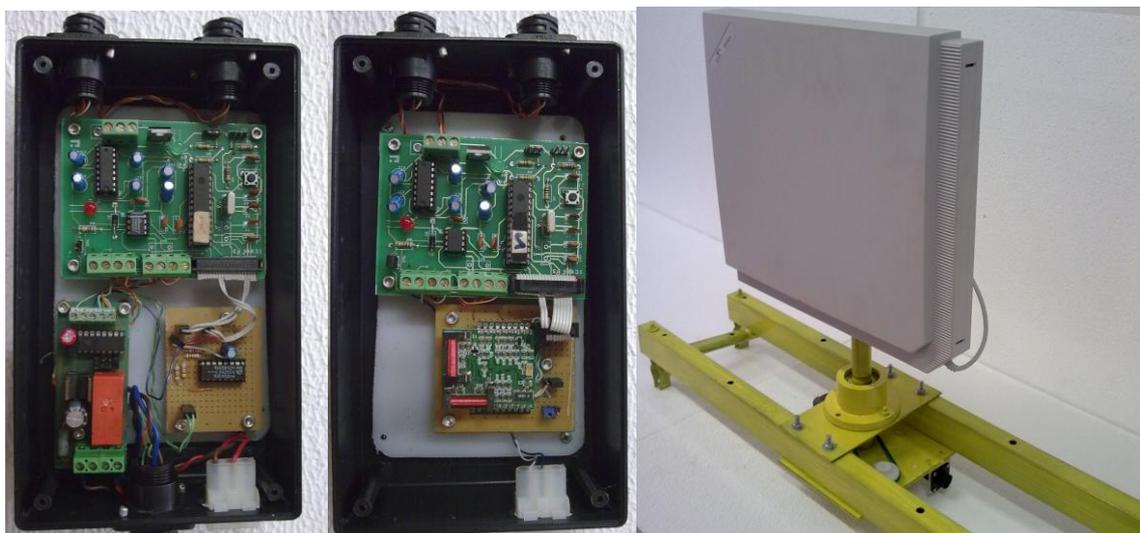


Figura 6. Foto das ECUs e da antena montadas

Primeiramente foram feitos testes numa bancada montada em laboratório, movimentando-se a bússola e observando a correção na antena. Observou-se então certa instabilidade por parte da antena, a qual ficava se movimentando sem variação na posição da bússola. Esta instabilidade foi devido à grande variação nos dados recebidos pela bússola (no pior caso essa alteração atingia o valor máximo de 3 graus). Para a correção deste problema, aumentou-se a tolerância com a qual o microcontrolador altera a tensão do D/A.

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos referente às curvas de movimentação da antena do robô agrícola para testes realizados em laboratório. Nesse gráfico, o setpoint está relacionado à informação de deslocamento angular do robô medida da bússola e a curva de resposta esta relacionada com o controle de movimentação da antena para a posição requerida.

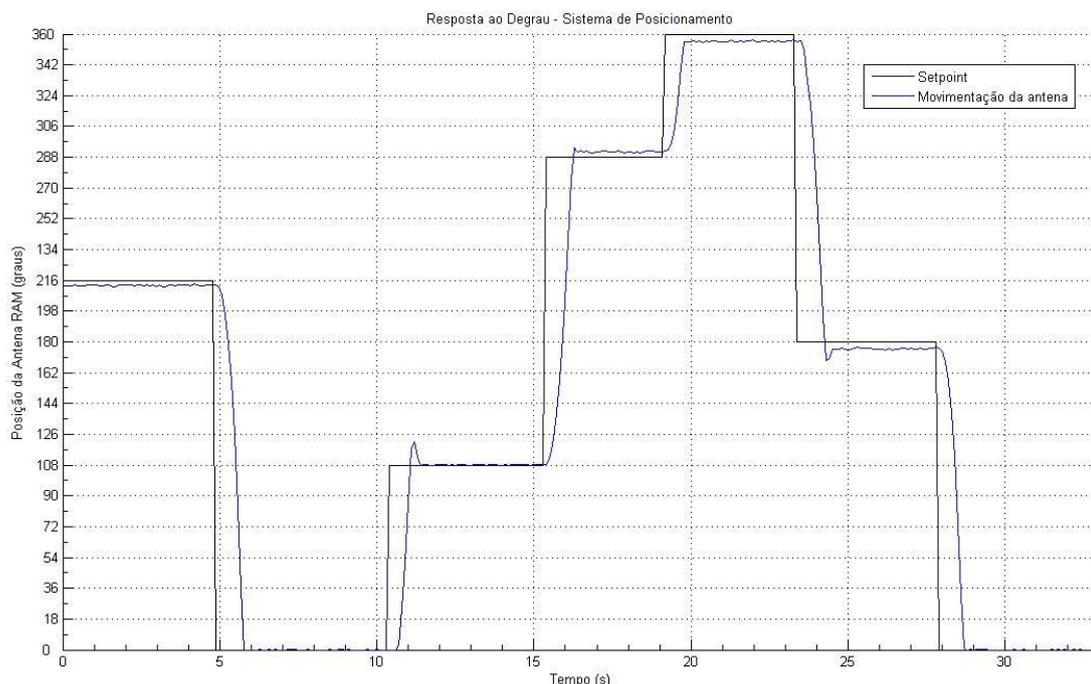


Figura 7. Resposta ao degrau do Sistema de Posicionamento

Com a análise das curvas da Figura 7, é possível verificar um tempo de resposta máximo de 1s (tempo entre a detecção de um novo referencial e o acionamento da antena até a nova posição requerida) e observar um pequeno erro entre o setpoint e o posicionamento da antena. Esta diferença pode ser explicada pelo erro intrínseco do *driver* de posicionamento atrelado a instabilidade do potenciômetro utilizado. No entanto, testes realizados com a teleoperação e navegação do robô (num gramado dentro do perímetro da EESC-USP) demonstraram que o sistema de posicionamento funcionou adequadamente, não deixando a conexão entre as antenas ser perdida.

Entretanto a antena continuou demonstrando uma pequena instabilidade, novamente devido à grande variação dos dados gerados pela bússola. Esta variação nas medições da bússola foi provavelmente ocasionada pela interferência elétrica dos cabos de alimentação do RAM e por ruídos devido ao acionamento dos motores elétricos utilizados. Esta

instabilidade foi posteriormente corrigida aumentando ainda mais a tolerância em graus com a qual o microcontrolador muda a voltagem no D/A. Portanto, foi obtido para o sistema de posicionamento desenvolvido uma resolução de cinco graus, que seria o mínimo deslocamento angular entre as antenas que poderia ser detectado e corrigido de forma precisa.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o projeto e a implementação de um sistema distribuído baseado no protocolo CAN para o posicionamento das antenas do sistema de teleoperação de um robô agrícola móvel. O desenvolvimento do projeto foi realizado com sucesso, permitindo o controle de posicionamento da antena direcional do robô em relação à antena da estação base, e utilizou-se da comunicação de mensagens através do protocolo CAN, de interfaces I2C e SPI e da programação de alto nível aplicada à microcontroladores.

A verificação do funcionamento do sistema de posicionamento desenvolvido foi alcançada através de testes realizados em laboratório e com a navegação do robô. Estes testes permitiram concluir que o posicionamento das antenas pode ser feito precisamente com resolução de cinco graus (deslocamento angular detectável entre as antenas) e tempo de resposta de 1s, os quais de mostraram adequados e suficientes para manter a teleoperação do robô.

A investigação dos resultados obtidos em relação ao erro de posicionamento e a resolução alcançada para o sistema permitem afirmar que, apesar de ter se mostrado aceitável para o caso deste trabalho, o sistema desenvolvido seria inviável para uma aplicação que exigisse uma precisão maior. Esta impossibilidade seria ocasionada devido às características dos equipamentos utilizados como erros intrínsecos do *driver* utilizado, instabilidade do sistema com realimentação via potenciômetro e interferências nas medições efetuadas pela bússola digital.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio ao desenvolvimento desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Bak, T. Jakobsen, H., 2004, Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection. *Biosystems Engineering*. Vol.87, No.2, pp. 126-136.
- Blackmore, S. M., Griepentrog, H. W., 2006. "Autonomous Vehicles and Robotics", *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. Vol. 6, pp. 204-215.
- Blackmore, B. S., Fountas, S., Tant, L., Have, H., 2004, Design specifications for a small autonomous tractor with behavioral control. *Journal of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)*, Vol. 6.
- Darr, M. J., Stombaugh, T. S. and Shearer, S., 2005. "CAN based distributed control for autonomous vehicles", *Transactions of the ASAE*, Vol. 48, pp. 479-490.
- Microchip INC. (2008). <http://www.microchip.com>. (Mar.).
- Othman, H.F., Aji, Y.R., Fakhreddin, F.T. and Al-Ali, A.R., 2006, "Controller Area Networks: Evolution and Applications", *Proceedings of the 2nd International Conference on Information and Communication Technologies*, Vol. 2, pp. 3088- 3093.
- Pedersen, S. M.; Fountas, S.; Have, H.; Blackmore, B. S. , 2005 Agricultural robots: an economic feasibility study. *Precisio Agriculture*, Vol.5, p. 589-595.
- Pereira, R.R.D., 2009, Protocolo ISO 11783: Procedimentos para comunicação serial de dados com o Controlador de Tarefas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 168p.
- Souza, R. V., Inamasu, R. Y., Porto, A. J. V., 2005, Veículos Agrícolas Autônomos (VAA's) e Robôs Agrícolas Móveis (RAM 's) (CD ROM). In: IV Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações, Bauru. Anais. Mini-curso: DINCON, 2005.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Distributed system to control the placement of directional antenna of a mobile agricultural robot

Fernando Scorzoni, fernandosc@yahoo.com¹

Eduardo Paciência Godoy, epgodoy@yahoo.com.br¹

Rubens André Tabile, rubens.tabile@gmail.com¹

Arthur José Vieira Porto, ajvporto@sc.usp.br¹

Ricardo Yassushi Inamasu, ricardo@cnpdia.embrapa.br²

¹ Dep. de Engenharia Mecânica-EESC-USP, Av. Trabalhador São carlense 400 CEP 13566-590 São Carlos-SP Brasil

² EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, Av. XV de Novembro 1452 CEP 13560-970 São Carlos-SP Brasil

Abstract: *Currently there is a strong tendency in the development of autonomous vehicles and mobile robots for the agricultural area, driven by the growing need to design agricultural machinery and implements increasingly automated. These robots are equipped with a large number of devices such as sensors, actuators, communication systems and wireless control units that need to be interconnected and share information. This share may rise to complex centralized systems that can be simplified with the development of an efficient distributed system. ISOBUS is a communication standard based on CAN (Controller Area Network) for the development of distributed systems in machinery and implements. This paper presents the design and implementation of a distributed system for antenna positioning system teleoperation of a mobile agricultural robot. This teleoperation system is based on a wireless Ethernet with directional antennas (one on the robot and another in the control station). The distributed system with CAN network consists of two control units (ECUs) that are responsible for controlling the position of the antennas to maintain the "link" teleoperation. The angular displacement of the robot is measured with the a digital compass and passed the CAN network by an ECU. Another ECU controls a DC motor (attached to the antenna) according to the data received from the compass CAN network in order to keep the antenna of the robot always directed at the control station. Validation of operation of the positioning system was performed by testing laboratory and the navigation of the robot. The positioning of the antennas was made precisely with a resolution of five degrees (maximum angular displacement between the antennas) and adequate response time to keep the teleoperation of the robot.*

Palavras-chave: *Agricultural Robot, CAN Protocol, Digital Compass, ISOBUS*

1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.