



VEÍCULO TELEOPERADO PARA SENSORIAMENTO REMOTO E DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS E AVARIAS EM AMBIENTES HOSTIS

Thiago Oliveira Rodrigues¹, Vinicius Carvalho Marques², Jorge Fredericson de Macedo Costa da Silva³, Franklin Dias da Silva⁴, Katielle Dantas Oliveira⁵, Jose Wally Mendonça Menezes⁶

^{1,2,3,5} Graduandos de Engenharia de Telecomunicações – IFCE.

⁴ Estudante do Integrado de Eletrotécnica – IFCE.

⁶ Professor Doutor do IFCE, Departamento de Telemática.

¹e-mail: thiagoliveira08@gmail.com

²e-mail: viniciuscarvalho789@gmail.com

³e-mail: jf.engtelecom@gmail.com

⁴e-mail: franklin.dias.silva@gmail.com

⁵e-mail: katielledantas@gmail.com

⁶e-mail: wally@ifce.edu.br

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um veículo terrestre não tripulado que funcionará como protótipo teleoperado para sensoriamento remoto e detecção de obstáculos e avarias em ambientes hostis. Através de um rádio transceptor embarcado no protótipo, que faz uso do protocolo de comunicação sem fio *Zigbee*, o veículo projetado receberá os dados pertinentes a sua locomoção e as informações necessárias para tratar e classificar o ambiente de acordo com parâmetros pré-estabelecidos. A bordo do protótipo também há, ainda, um microcontrolador *Atmega328*, responsável pela inteligência do mecanismo proposto, um *driver* de motor *L293D*, circuito integrado que cuida do sentido de rotação dos motores do protótipo, e um módulo *Bluetooth*, para comunicação com outros periféricos. Além desses dispositivos embarcados no móvel, também é possível a adição de mais recursos que façam uso tanto da comunicação *Wi-fi* (câmeras, por exemplo) quanto sincronização com outros dispositivos por meio do *Bluetooth*. Com os resultados obtidos, tanto em laboratório quanto em campo de aplicação real, comprovou-se a eficácia do protótipo referente aos seus propósitos inicialmente apresentados. Além disso, para o uso do módulo *Bluetooth* está sendo desenvolvida uma interação entre o veículo não tripulado e o sistema operacional de dispositivos móveis, *Android*. Essa interação com o sistema operacional citado permitirá outra finalidade ao protótipo, que é a confecção de uma plataforma de *hardware*, *Print Circuit Board* (PCB), para acoplamento em modelos terrestre e aeromodelos comercializados hoje com fins de diversão para os consumidores dando, assim, mais um viés econômico ao projeto.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, veículo terrestre não tripulado, *zigbee*, *bluetooth*, *arduíno*

1. INTRODUÇÃO

O avanço que tem ocorrido na área de microcontroladores, rádios transceptores, materiais de sensoriamento e comunicação sem fio tem estimulado o desenvolvimento e o uso de sensores, predominantemente redes de sensores, em áreas como militar, turismo, educação, emergência médica, dentre outras.

Criando uma linha de raciocínio, a partir de pesquisas realizadas através de livros, artigos, revistas e trabalhos sobre telecomunicações, sensores, rede de sensores, sistemas embarcados, foi possível desenvolver um veículo terrestre teleoperado capaz de se locomover a partir de comandos enviados por um rádio transceptor usando o protocolo *Zigbee* conectado a um computador. Entretanto, a expansão das formas de comunicação, uso do *Bluetooth* e *Wi-fi*, está em fase de análise e testes no laboratório bem como suas aplicações finais.

Um dos grandes problemas encontrados em rádio comunicadores sem fio são as barreiras tanto naturais quanto artificiais, pois as ondas eletromagnéticas transmitidas por muitos dispositivos de radiofrequência não conseguem sobrepor barreiras grandes e caso consigam contornar tais obstáculos sofrem os efeitos ondulatórios, diminuindo seus parâmetros qualitativos e quantitativos. Esse desafio é delicado de se tratar, pois o módulo transceptor tem alcances variados, o transceptor em uso tem



alcance em torno de 1 quilometro e meio (1,6 Km) em visada direta, então usar *Bluetooth* ou *Wi-fi* para essa finalidade não é muito eficiente além de não ser muito viável economicamente.

Com isso, o protótipo visa se deslocar entre os ambientes de difícil acesso e/ou nocivos a saúde humana fazendo uso da comunicação sem fio, *wireless*, entre o modelo teleoperado e um operador com um mapa virtualizado e/ou com conhecimento prévio do ambiente em questão. Esse recurso poderá ajudar, principalmente, em terrenos irregulares ou em áreas de riscos, já que os sensores além de monitorar dados como temperatura e umidade, também poderão identificar gases nocivos à vida humana.

O projeto do veículo terrestre teleoperado possui várias aplicações devido à infinidade de sensores existentes hoje no mercado, aos módulos de comunicação acessíveis aos consumidores e desenvolvedores, à crescente busca por soluções de inovação tecnológica visando baixo custo no produto final, dentre outras. Por exemplo, uma aplicação voltada ao sensoriamento será usar o protocolo de comunicação do radio transceptor, *Zigbee*, do veículo para torná-lo parte integrante da rede, isto é, fazer dele uma *MULE (Mobile Ubiquitous LAN Extension)*, ou “mula de dados”. Devido a isso, o protótipo é capaz de colher dados oriundos da rede de sensores sem fio e, ainda, servir como elos entre os nós que não se comunicam por causa das barreiras impostas pelo ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização do projeto, foi necessária a sua divisão em três etapas: funcionamento e locomoção do veículo teleoperado, estudo da plataforma microcontroladora utilizada no protótipo e estudo da forma de comunicação entre o protótipo e a base de realização dos comandos.

2.1. CONTROLE DOS MOTORES

Na etapa inicial são observadas duas características relevantes, o funcionamento dos motores do veículo utilizado e o controle deles para termos a máxima eficiência na locomoção. Para solucionar esses problemas iniciais foi necessário adquirir um veículo, carro, que pudesse ser controlado remotamente no qual já vêm embarcados dois motores DC, motores que operam com corrente contínua e que podem ser alimentados por baterias. Inicialmente, o teste a fim de entender seu funcionamento percebeu-se que não há um controle de velocidade, logo o motor trabalha sempre no máximo. Entretanto, para esse projeto, não será necessário a manipulação da velocidade do carro, caso queira controlar a velocidade do motor é necessário introduzir no algoritmo o controle da tensão aplicada no motor por PWM, *Pulse-width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)*. Apesar disso percebeu-se, também, uma dependência da ligação da bateria com o motor no que diz respeito à movimentação do veículo, sendo essa locomoção realizada com a inversão da carga de alimentação dos motores.

Como solução para isso foi adotado um *driver* de motor (L293D, que consiste basicamente em uma ponte H), pois com ele é eliminado os problemas citados anteriormente e outro problema identificado mais a frente, o fornecimento da corrente necessária para o controle dos motores pelo microcontrolador. (TEXAS, 2011)

Portanto, devido a esse componente, é obtida a corrente necessária para sua ativar o motor e total controle dos motores controlando, assim, sua locomoção em todas as direções.

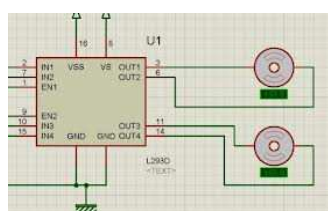


Figura 1 – Arranjo dos Motores com o driver L293D

2.2. PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTOS ARDUÍNO UNO

Após a etapa inicial foi realizado uma série de estudos com a plataforma de desenvolvimento a ser usada, *Arduíno UNO*. Essa faz uso de um microcontrolador *Atmega328* que dá suporte a uma série de recursos presentes na placa de desenvolvimento.

Esses recursos são portas de saídas digitais e analógicas, comunicação USB, suporte de alimentação, uma entrada de alimentação externa, além dos *shields* – placas que pode ser conectado em cima do PCB *Arduíno* estendendo as suas capacidades e os *shields* diferentes seguem a mesma filosofia que o kit de ferramentas originais: eles são fáceis de montar e barato de produzir. Ela foi escolhida para esse trabalho porque além de ser uma plataforma de *hardware* livre (uma plataforma de desenvolvimento com código fonte aberto, *open source*) também é de fácil programação na implementação de projetos (semelhante ao C++, pois essa plataforma é baseada em *Wiring-based Language*, Sintaxe + Bibliotecas). O conjunto desses fatores, *hardware* livre e facilidade de programar, que dão suporte a uma série de experimentos e opiniões variadas além de uma gama de trabalhos tanto na Internet quanto em livros didáticos. A grande quantidade de materiais disponíveis permite a troca de ideias em diversas áreas do conhecimento no mundo dos sistemas embarcados, redes de sensores, monitoramento, técnicas de programação, simulação de protótipos em realidade aumentada, dentre outras. (MARGOLIS, 2011)

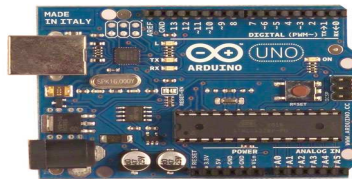


Figura 2 – Plataforma de Desenvolvimento Arduíno UNO

Outro fator relevante na escolha do Arduíno foi sua compatibilidade com os módulos de comunicação inicialmente propostos para dar autonomia ao modelo veicular teleoperado, são eles: radio transceptor *Zigbee*, módulo de comunicação *Bluetooth*, e um módulo *Wi-fi*, haja vista a existências dos *Shields*. O primeiro fator determinando na escolha do aparelho responsável pela comunicação foi como e até onde a plataforma irá se comunicar com o dispositivo comunicador. Em meio a isso, inicialmente foi usado o modulo transceptor *Zigbee Xbee Pro S2B*, porque ele além da compatibilidade com o Arduíno tem outras características que facilitam o desenvolver do projeto. São elas: comunicação entre o microcontrolador e o radio transceptor usado no projeto é feita devido a um *shield* para Arduíno e ao suporte dado a fabricante dos módulos transceptores, contudo no caso de usarmos outros transceptores ou outros meios como *Bluetooth*, *Wi-fi*, etc, será necessário novos *shields* ou desenvolver interfaces seriais como SPI, *Serial Peripheral Interface*, ou I²C, *Inter-Integrated Circuit*, a forma de programar para ter uma grande eficiência entre o módulo teleoperado e o base de envio dos comandos, a distância máxima (alcance entre os pontos que se comunicam), para manutenção da comunicação entre a base e o protótipo e o saldo energético do modelo em análise. (ARDUINO, 2011)



Figura 3 – *Shield* de Xbee Pro Usado como Base Transceptor dos Comandos.

2.3. RADIO TRANCEPTOR ZIGBEE

Por fim, a forma de comunicação entre o protótipo teleoperado e a base de envio dos comandos. Foi proposto o uso do radio transceptor *Xbee Pro S2B*, implementado com o protocolo de comunicação sem fio *Zigbee*, embarcado no protótipo como forma de interação entre teleoperador e o veículo. O protocolo de comunicação *Zigbee* é baseado no padrão *IEEE 802.15.4* para áreas de redes pessoais (*PAN*), operando na frequência *ISM (Industrial Scientific and Medical)*, sendo na Europa de 868 MHz (1 canal), 915MHz (10 canais) nos Estados Unidos e 2,4 GHz (16 canais) em outras partes do mundo e não requer licença para funcionamento. Possuem, também, uma excelente imunidade contra interferências e tem a capacidade de hospedar milhares de dispositivos numa rede (aproximadamente 65000 por canal) com taxas de transferências de dados variando de 20kbps a 250kbps. Foi criado para ter o máximo de eficiência energética, isso ocorre porque os módulos *Zigbee* quando não estão transmitindo ou recebendo dados entram em um estado de latência, consumindo o mínimo de energia e esse transceptor *Zigbee*, em especial, possui um alcance de rádio frequência em linha visível para ambientes externos próximos a 1,6km. (NORRIS, 2005)

Esse dispositivo foi escolhido devido à sua autonomia em longo alcance, uma vez que se deseja utilizá-lo como módulo teleoperado é interessante ter essa característica ao seu favor e aliado a esses fatores tem-se que o rádio transceptor escolhido tem os já mencionados fatores de compatibilidade com o *Arduíno* como: interface gráfica (*XCTU ou Docklight*) e conexão física (*Shield* visualizado na Figura 3).

É importante lembrar que o tratamento dos dados, tanto recebidos quanto enviados, é feito pelo microcontrolador, *Atmega328*, embarcado no veículo e, em caso de falha de envio ou recepção, o *Zigbee* possui um dispositivo para o reconhecimento dessa falha; esse dispositivo funciona da seguinte forma: quando um pacote de dados é enviado de um rádio transceptor para outro ele envia também um sinal, avisando que o pacote foi totalmente recebido sem falhas de envio, logo caso a informação não seja entregue por completo, isto é, ocorreu uma falha ou efeito negativo durante a transmissão de algum pacote de dados, o *Zigbee* que estava recebendo essa informação, envia um sinal informando que o pacote de dados não foi entregue com sucesso. Daí, o pacote de dados será reenviado. Esse procedimento facilita bastante o programador, posto que não seja necessária uma grande preocupação com a falha de envio das informações. Além desse processo de proteção oferecido pelo radio transceptor, o microprocessador do *Arduíno UNO*, o *Atmega328*, possui um *timer Watchdog*, onde ele é o responsável por reiniciar o circuito caso tenhamos alguma falha durante o processamento dos dados gerando, portanto, mais um mecanismo de segurança para tratar as possíveis falhas em tempo de execução. (ATMEL, 2011)



Figura 4 – Rádio Transceptor Zigbee Xbee Pro Série 2

2.4. VEÍCULO TELEOPERADO

Após essas três etapas tem o trabalho final, um protótipo de um carro controlado remotamente pelo protocolo de comunicação sem fio *Zigbee*. Esse veículo teleoperado tem como funções básicas se locomoverem em grandes distâncias para sensoriar a área desejada, captar dados oriundos de redes de sensores sem fios e servir como elo entre os nós de redes de sensores sem fio, detectar obstáculos em

ambientes de difícil acesso ou para pessoas com alguma deficiência física, realizar trabalhos em ambientes hostis a presença humana e detectar avarias em ambientes nocivos à saúde humana.

O protótipo em questão apresenta como características funcionais: eficiência energética, comunicação em grandes distâncias, software de controle simples e dinâmico, possibilidade de interação com redes de sensores sem fio, flexibilidade para interação com outros dispositivos tanto comunicadores quanto periféricos e viabilidade comercial. O protótipo é mostrado na Figura 4.

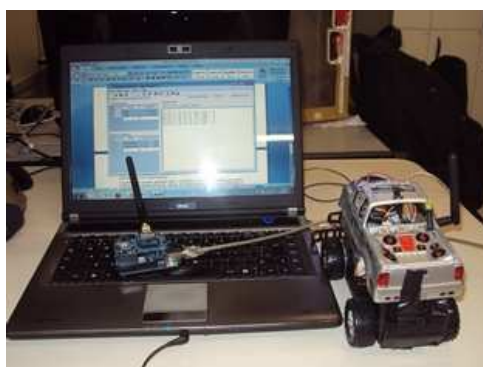


Figura 5 – Veículo Teleoperado e uma Base de Comandos

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vários testes realizados, no campo e no laboratório, confirmam sua eficiência, abrindo espaço para mais aplicações. Um desses foi destinado ao conhecimento da distância máxima entre o veículo teleoperado e a base de envio dos comandos. Tal teste foi feito em campo aberto, obtendo um alcance em torno de um quilômetro (aproximadamente 1,2 Km) e outro em ambiente formado por corredores num formato semelhante à letra zê (Z) onde se obteve resposta até uma distância próxima de trezentos (400) metros. Esses valores ficam compatíveis com os parâmetros fornecidos na documentação do transceptor usado. (DIGI, 2011)

Tabela 1 – Especificações do Rádio *Zigbee Xbee Pro S2B*

Especificações	Xbee	Xbee-Pro (S2)	Xbee-Pro (S2B)
Cobertura / Faixa Urbana	até 40m	até 90m	até 90m
Faixa de Visão RF Externa	até 120m	até 3200m	até 3200m
Potência de Transmissão	2mW (3dBm), modo reforçado habilitado. 1,25mW (1dBm), modo reforçado desabilitado	50mW (17dBm). 10mW (10dBm), para variação internacional	63mW (18dBm). 10mW (10dBm), para variação internacional
Taxa de Transmissão RF	250.000 bps	250.000 bps	250.000 bps
Transferência de Dados	até 35.000 bps	até 35.000 bps	até 35.000 bps
Taxa de Transmissão da Interface Serial (Selecionado via Software)	1.200 bps - 1Mbps (taxas não padrões também são suportadas)	1.200 bps - 1Mbps (taxas não padrões também são suportadas)	1.200 bps - 1Mbps (taxas não padrões também são suportadas)
Sensibilidade de Recepção	(-96dBm) no modo reforçado. (-95dBm) no modo não reforçado	(-102dBm)	(-102dBm)



Com relação ao tratamento dos dados realizado pelo microprocessador embarcado usado no trabalho, observou-se a precisão do conversor analógico-digital (ADC) do *Arduíno UNO*, precisão de 10 bits (leia-se 2^{10}), e nele foi constatado uma combinação de registradores de modo a formar um fator de divisão – *Prescaler*. Através disso, é obtido na entrada de *clock* do ADC, 2 MHz dos 16 MHz presentes na plataforma de desenvolvimento, contudo esses 2MHz precisa, ainda ser dividido por um fator 13 (referente à número de ciclos gastos na conversão), obtendo, assim, um número teórico aproximado de 150000 de amostras de amostras. (SANTOS, 2009)

Tabela 2 – Seleção do Bloco *Prescaler* no *Arduíno*

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Factor de divisão
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	12

Fonte: Datasheet Atmel - Atmega328

Com isso, tem-se, a priori, um bom suporte no âmbito relacionado ao alcance para operação e ao tratamento dos dados com a introdução de mais componentes no protótipo, próxima etapa do projeto.

5. CONCLUSÕES

Os bons resultados obtidos com o estudo do microcontrolador e do rádio transceptor de protocolo *Zigbee* implicaram a montagem prática e rápida do veículo teleoperado. Em um dessas aplicações futuras deseja-se acrescentar um sensor de proximidade e de ultrassom a fim de dar início à etapa de testes com obstáculos e reduzir, cada vez mais, o monitoramento humano, portanto deseja-se futuramente que o veículo projetado possa se locomover sem bater em nenhum obstáculo e sem a necessidade de que “olhos humanos” o direcione para algum local. Para torná-lo acessível a vários foi confeccionada uma placa de circuito impresso (PCB) para a parte de comunicação e controle dos motores com o propósito de reduzindo o tamanho do veículo teleoperado, onde nessa placa contém, basicamente, o microcontrolador, Atmega 328, o driver de motor (L239D), um soquete para conectar o rádio transceptor *Zigbee* (Xbee Pro S2B), um módulo *Bluetooth* e um módulo MRF24J40, usado em um trabalho focado em Rede de Sensores sem Fio (RSSF).

Essa integração com RSSF, focada em parâmetros do meio agrícola, põe o Veículo como nó sensor móvel, que serve para tanto para sensoriar quanto para traçar novas rotas entre os nós. Tal sistema tem um comportamento satisfatório e pauta seu desenvolvimento com plataformas abertas, “Open Source”, dando maior viabilidade econômica ao trabalho desenvolvido.

Também para excluir esses “olhos humanos” está sendo estudada a possibilidade de integrar o presente trabalho com outro grupo que faz uso da ferramenta de realidade aumentada Blender 3D com fins de educação à distância e locomoção guiada por computador. Além disso, com a difusão cada vez maior dos dispositivos com comunicação *Bluetooth* e Wi-fi deseja-se estender esse modelo para a área de entretenimento com modelos terrestres e aeromodelos comerciais com o simples acoplamento de um hardware que fará o controle e a comunicação entre eles por meio do sistema operacional Android.



REFERÊNCIAS

Altium Design. **Getting Started with PCB Design**. Disponível em:

< http://www.altium.com/files/Altiumdesigner6/LearningGuides/TU0117_Getting_Started_with_PCB_Design.PDF > Acessado em 14 de maio de 2011.

Arduíno. **Suporte de hardware e software para Arduíno**. Disponível em:

<<http://www.Arduíno.cc>> Acessado em: 02 de julho de 2011.

Atmel. **Documentação do microprocessador Atmega328**. Disponível em:

<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8271S.pdf> Acessado em: 07 de agosto de 2011.

Digi International Inc. **Documentação do Módulo Transceptor Zigbee Xbee Pro Série 2 B**. Disponível em:

<http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_F.pdf> Acessado em: 04 de setembro de 2011.

Faludi, Robert. **Building Wireless Sensor Networks**, O'Reilly: 2010.

Garcia, Kledermon; Paiva, Laércio L.; Barbosa, Luis Filipe Wiltgen. **Desenvolvimento de um Robô Multi-Tarefas**, *In: VII EPG ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO e XI INIC ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 2007, São José dos Campos. **Anais ...** São José dos Campos: UNIVAP.

Holger Karl e Andreas Willig. **Protocols and Architectures for Wireless Sensor Network**. John Wiley & Sons: 2005.

Margolis, Michael. **Arduíno Cookbook**, O'Reilly: 2011.

Marwedel, Peter. **Embedded System Design**. Kluwer Academic Publishers, 2003.

McRoberts, Michael. **Beginning Arduíno**, Technology in Action: 2010.

Monsignore, Ferdinando. **Sensoriamento de Ambientes Utilizando o Padrão Zigbee**. 2007, 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Murphy, Robin R. **Introduction to AI Robotics**. Massachusetts Institute of Technology, 2000.

Norris, M. **Single-chip Zigbee for Indoor Mobile Telemetry**. The *IEEE* Seminar on Telemetry and Telematics, p.10/1-10/4, 2005.

Pereira, M. R.; Amorim, C. L.; Castro, M. C. S. **Tutorial sobre Redes de Sensores**, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação: 2003.

Santos, Nuno Pessanha. **Arduíno e a Aquisição de Dados**. Revista Programar. 20ª Ed. 2009.

Texas Instruments. **Datasheet do driver de motor (L293D)**. Disponível em:

< <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/l293d.pdf> > Acessado em: 06 de agosto de 2011.