



## IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE DE SENSORES SEM FIO NO TORNEIO UNIVERSITÁRIO DE ROBÓTICA

Talles Silva Rodrigues <sup>\*1</sup>, Ítalo Gustavo Sampaio Fernandes <sup>1</sup>, Filipe Augusto de Castro Oliveira <sup>1</sup>, Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira <sup>1</sup>

<sup>1</sup>FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

**Resumo** - Com o intuito de complementar a formação de engenheiros, hoje em dia são organizados torneios de robôs seguidores de linha, como o Torneio Universitário de Robótica. Entretanto, durante edições anteriores do evento, ocorreram diversos problemas relacionados ao uso de fios nos sensores de passagem dos robôs, que demarcam o tempo dos mesmos durante o percurso. Tendo isso em vista, este trabalho propõe um modelo de sensoriamento do trajeto utilizando comunicação por radiofrequência. Cada sensor presente no trajeto é composto por um sensor infravermelho, um microcontrolador e um transponder de radiofrequência. Os dados vindos de cada sensor é enviado ao computador através do Host por meio de uma rede WBAN e posteriormente são plotados numa interface gráfica para serem exibidos para os jurados e o público do evento. Após diversos testes com o sistema, constatou-se que o mesmo é adequado para uso durante o TUR.

**Palavras-Chave** - Infravermelho, Radiofrequência, Robótica, WBAN.

### IMPLEMENTATION OF A WIRELESS SENSORS NETWORK IN THE ROBOTIC UNIVERSITY TOURNAMENT

**Abstract** - In order to complement the of engineers, nowadays line followers robots tournaments are organized, such as the Robotics University Tournament. However, during previous editions of the event, several problems related to the use of wires occurred in the robot passage sensors, that demarcate their time during the course. With this in view, this work proposes a model of route sensing using radiofrequency communication. Each sensor on the path consists of an infrared sensor, a microcontroller and a radio frequency transponder. The data coming from each sensor is sent to the computer through the Host through WBAN and then plotted in a graphical interface to be displayed to the jurors and the vent audience. After several tests with the system, it was found that it is suitable for use during TUR.

**Keywords** - Infrared, Radiofrequency, Robotics, WBAN.

#### NOMENCLATURA

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| TUR   | Torneio Universitário de Robótica |
| RF    | Radiofrequência                   |
| WBAN  | Wireless Body Area Network        |
| CI    | Circuito Integrado                |
| NOACK | no Acknowledgement                |

#### I. INTRODUÇÃO

Como afirma Vallim *et al* em seu trabalho [1], uma das competências fundamentais de um engenheiro é saber resolver problemas. Para ajudar os alunos de engenharia a adquirir tal competência, atualmente são organizados competições e torneios que os incentivam a projetar e criar soluções para algum problema. Um modelo de competição que tem ganhado destaque é o estilo seguidores de linha, que possui o objetivo de promover a criação de robôs autônomos que seguem um percurso demarcado por uma linha monocromática que devem superar obstáculos sem a auxílio externo, de forma que o robô que completar o percurso em menor tempo leva a melhor classificação.

Nesse tipo de competição, usualmente os sensores que detectam a passagem do robô ao longo da pista são compostos por um emissor e um receptor de luz infravermelha. Quando o robô autônomo passa pelo sensor, o mesmo bloqueia o feixe de luz que se direcionava ao receptor, causando um evento no sistema de contagem de tempo do torneio.

Geralmente, o tempo medido em cada volta do carrinho no percurso é medido através de sensores localizados nos pontos de chegada e partida do percurso, como no *Winter Challenge*, promovido pela Robocore [2]. Além deste modelo de medida, existem outros torneios que utilizam *checkpoints*, que são sensores localizados em porções do percurso entre a partida e a chegada, assim como ocorre no Torneio de Autômatos, promovido pelo IFTM e no Torneio de Desafios Tecnológicos, promovido pela UNIFEB [3][4].

Neste trabalho é proposto uma rede de sensores para o VII Torneio Universitário de Robótica (TUR), realizado na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na qual será utilizado o modelo de *checkpoints* já mencionado, com quatro sensores posicionados ao longo do percurso para medir o tempo que o robô autônomo leva para percorrer cada porção do mesmo, com o intuito de pontuar o desempenho do robô para cada trecho do trajeto [5].

Em edições anteriores do evento, foram utilizados sensores compostos por um emissor e um receptor de luz infravermelha cada um, onde os mesmos eram conectados a um microcontrolador através de fios e o mesmo se comunicava a um computador através de comunicação serial. Era comum enfrentar diversos problemas com os sensores, dentre os quais envolvem mal contato dos fios tanto nos sensores quanto no microcontrolador, situação que era agravada pelo público que andava por cima dos fios.

Tendo em vista os problemas mostrados, pôde-se concluir que uma das causas mais significativas para a suas ocorrências era a presença de cabos conectando os sensores ao sistema de medição de tempo, demandando, então, um sistema que pudesse operar sem fio.

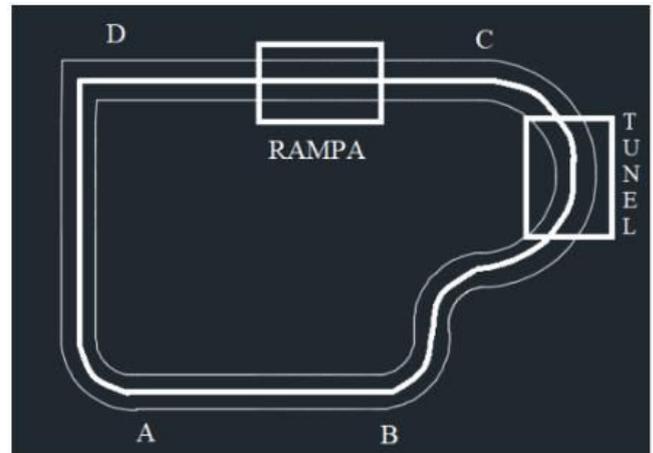
Portanto, este trabalho propõe um sistema sem fio para a utilização dos sensores de detecção de passagem dos robôs ao longo do percurso. De forma que tanto a conexão receptor-emissor de luz infravermelha quanto a conexão sensor-microcontrolador sejam feitas através de radiofrequência, eliminando grande parte dos fios utilizados no sistema.

Com a aplicação desse sistema, espera-se que sejam reduzidos os problemas de comunicação com a utilização de fios nos sensores e proporcionar uma maior versatilidade de uso do sistema de marcação de tempo como um todo, proporcionando um maior conforto tanto para os organizadores, que precisarão organizar menos cabos durante o evento, quanto ao público que poderá caminhar sem se preocupar com tropeçar em fios e danificar o sistema de sensoriamento do percurso.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

A pista utilizada no TUR é ilustrada na Figura 1, onde a mesma é composta por 4 trechos importantes a serem medidos, demarcados pelas letras A, B, C e D. São nestes locais que foram posicionados os sensores de passagem dos robôs com a finalidade de obter o resultado de tempo entre os pontos. Ao seguir a linha branca ilustrada na Figura e cruzar em algum dos pontos citados, o robô interrompe o feixe de luz infravermelha originada pelo emissor.

Figura 1: Pista Torneio Universitário de Robótica.



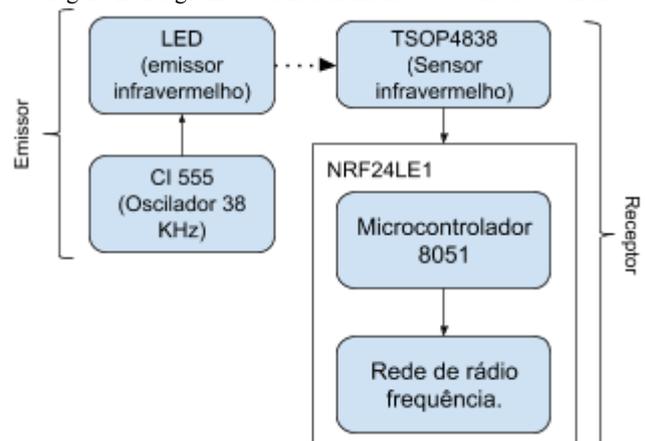
Foram construídos 4 dispositivos contendo o sensor infravermelho, microcontrolador e transponder de rádio frequência, um dispositivo para cada ponto (A, B, C e D). Além disso, fez-se necessária o desenvolvimento de um dispositivo para receber os dados destes sensores e os transmiti-los para um computador, este dispositivo foi denominado HOST.

O sistema concebido pode ser então dividido em três partes:

1. Sensores sem-fio.
2. Dispositivo HOST.
3. Interface Gráfica do Usuário.

O receptor de luz infravermelha utilizado para a elaboração dos sensores foi o TSOP4838 [6], este recebe a luz emitida por um LED infravermelho, responsável por emitir um feixe de luz com comprimento de onda de 940 nm e frequência de 38 kHz, modulada pelo circuito integrado (CI) 555. Para o devido funcionamento foi necessária a construção de um emissor e um receptor, eles são posicionados cada um em uma extremidade da pista com uma distância de 40 a 70 cm. O sistema de detecção de passagem opera de forma que o receptor envia 0 ou 5 V em sua saída quando detecta ou não detecta a luz infravermelha, respectivamente [7]. O diagrama de funcionamento do sistema pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Diagrama de funcionamento dos sensores sem-fio.



O sistema possui comunicação de confirmação automática seletiva (NOACK), ou seja, independente da falha da chegada da resposta de um dos sensores os outros continuarão operando e enviando seus dados para o dispositivo central (HOST), conectado ao computador, quando este os solicitar. O modo NOACK solicita dados ao sensor e, em um curto intervalo de tempo, verifica a existência de fluxo informação direcionada ao HOST, caso não houver confirmação de chegada de dado o dispositivo central se direciona ao próximo sensor.

O sistema utiliza dos chips desenvolvidos pela empresa Nordic Semiconductor, os quais foram escolhidos devido ao seu baixo consumo de energia em relação a módulos *Bluetooth* HC-05 [11], este que, além disso, iria necessitar de um Arduino ou outro microcontrolador para operá-lo. Ademais, o preço dos chips utilizados são mais viáveis comparados aos módulos ZigBee, mesmo se comprados fora do Brasil.

O NRF24L01 é um chip transponder de radiofrequência que opera na faixa de 2.4 à 2.5 GHz denominada banda ISM (Industrial, scientific and medical). O dispositivo possui um amplificador, um oscilador de cristal, um modulador e um sintetizador de frequência, com isso é possível programar a modulação e amplificação do sinal dentro da faixa de operação em 125 canais diferentes e com potências de transmissão em 0, -5, -10 ou -20 dBm [8].

O NRF24LE1 é um outro modelo de transponder de radiofrequência produzido pela Nord Semiconductor, ele possui um microcontrolador integrado ao seu circuito e opera utilizando a mesma faixa de canais que o NRF24L01, mas sua potência de transmissão pode ser escolhida entre 0, -6, -12 ou -18 dBm. Os periféricos do CI contém pinos I/O, SPI e um cristal de 16MHz com possibilidade de programar interrupções [9].

O kit de processamento e controle utilizado para leitura da atuação do sensor é o mesmo usado para temporizar e também para comunicação wireless.

### A. Rede Sem Fio

Uma rede WBANs Wireless possui diversas topologias, topologia árvore, topologia cluster, entre outras. Topologia é a definição de modo de comunicação estabelecido para a rede, a função que cada nó representa para o sistema e suas intercomunicações. Cada topologia possui sua característica que a torna mais ou menos eficiente para uma ou mais situações. O sistema do TUR possui uma topologia denominada Topologia Estrela, ilustrada na Figura 3 [10].

A topologia estrela se encaixa exatamente dentro dos padrões da pista, já que o nó central (HOST) consegue comunicar diretamente com todos através de um sinal *broadcast* (enviado para todos os nós) ou com cada sensor através de uma máscara de sub-endereço que define unicamente cada sensor. No entanto, os sensores da pista que são definidos por nós sensores (Escravos) e não conseguem comunicar uns com os outros, apenas respondem ao sinal do nó central através do broadcast que define o nó central [10].

Figura 3: Topologia de comunicação. (Retirado de S.R.J. Oliveira. 2017)



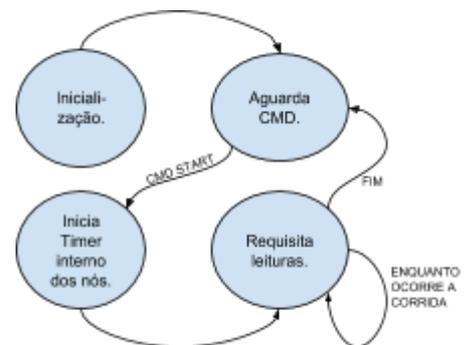
O HOST consegue enviar mensagens para todos e também receber informações sobre a pista sem haver interrupção por problemas em algum sensor. As informações são enviadas por em pacotes e possuem 3 bytes. A informação enviada é dividida em identificador de dispositivo, *low byte* e *high byte* e é validada pelo identificador do dispositivo, se caso o identificador não condizer com o esperado o sistema descarta o pacote incorreto.

### B. Software Embarcado

No dispositivo sensor o kit NRF24LE1 foi implementado utilizando linguagem C++ e *bare metal* para programar as funções de inicialização e finalização do timer e de envio do tempo, que são executadas quando recebe um sinal vindo do HOST.

Foi necessária a implementação de um software para o dispositivo HOST, programado em linguagem Arduino, e um software para os nós, NRF24LE1. O software do dispositivo HOST (Figura 4) é responsável por requisitar as leituras de cada sensor, gerenciar a rede e se comunicar com a interface gráfica de controle (por meio da porta Serial-USB). O software de cada nó foi implementado através de uma máquina de estados, esta foi responsável por avaliar as requisições do HOST e executá-las, assim como contar o tempo em que ocorrem os eventos de obstrução da luz infravermelha.

Figura 4: Diagrama da máquina de estados do software embarcado.



A temporização do sistema embarcado dos nós utiliza o recurso chamado *Timer0* por possuir 2 bytes de memória, NBT0H e NBT0L. Sua base de tempo para overflow é de 750 ns e a interrupção pode ser configurada através do estouro do valor em bits da memória dos registradores NBT0H e NBT0L (no caso do *Timer0*). Sendo assim, como o *Timer0* possui 16 bits (2 bytes), o registrador de estouro pode estar entre 0 e 65535.

O dispositivo HOST possui-a um transponder NRF24101 conectado por meio da interface SPI. Foi desenvolvida uma biblioteca para o controle deste dispositivo pelo Arduino, desta forma foi possível construir um protocolo de rede compatível. Não foram encontradas bibliotecas *open-source* que permitiam utilizar o dispositivo NRF24LE1 juntamente ao NRF24L01 em um Arduino, devido a isso foi necessário o desenvolvimento de uma biblioteca.

### C. Interface Gráfica

Para atingir o proposto do projeto a interface deveria apresentar opções de inicialização de todo sistema, configuração da porta serial e deveria apresentar os tempos do percurso dos robôs. A interface desenvolvida pode ser vista na Figura 5.

Figura 5: Interface utilizando o framework PyQT.



A interface foi implementada em python pela facilidade de se encontrar informações a respeito da linguagem e estabelecer comunicação serial com o Arduino. Ela possui duas abas, a primeira e mais importante contém as opções da corrida do robô, a segunda aba funciona como placar com as pontuações de cada equipe. Ao clicar o botão “Iniciar” da primeira aba o sistema se comunica com o arduino via porta serial para que ele inicie os demais temporizadores dos sensores na pista, como efeito cascata, o sistema se inicializa e o robô do competidor deverá completar os trechos da pista.

Após a inicialização do sistema, ativação dos temporizadores da pista e da interface, o Arduino entra em uma rotina de leitura dos sensores em que envia sinais requerendo a leitura dos tempos para cada sensor, se o tempo é lido ele retorna por comunicação serial para a interface e é mostrado na tela.

### D. Circuito Elétrico

Foram desenvolvidos 3 circuitos para o sistema, um circuito específico para o oscilador em modo astável, um para o escravo e outro para o HOST do sistema.

O circuito do escravo possui chave On e Off, regulador de tensão para 3.3V utilizando o LM7833 [12], LEDs indicadores do estado do dispositivo e um sensor TSOP que recebe o sinal luminoso que é emitido pelo circuito oscilador.

O HOST é composto de um Arduino ligado a um transponder através de SPI e possui um LED RGB que auxilia indicando se o sistema está operando corretamente.

Para confecção do circuito, foi impresso o esquema elétrico em impressora laser e corroído em uma placa de fenolite com a utilização de perclorito.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

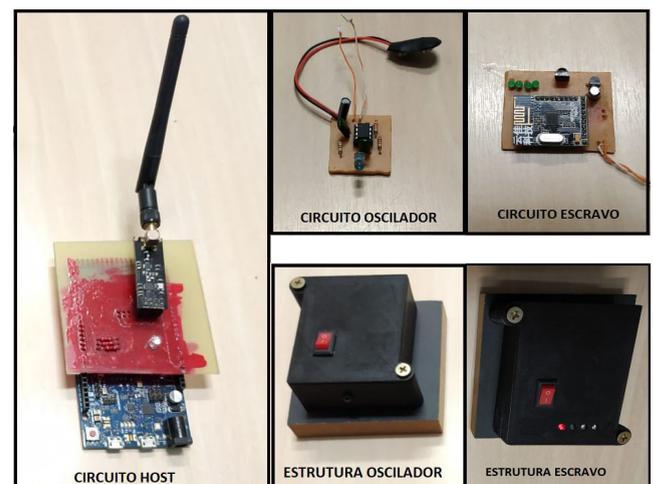
Após os testes realizados com o sistema proposto, foi constatado que o circuito confeccionado foi capaz atender ao nossas necessidades. O teste foi feito aumentando a distância gradativamente entre emissor e receptor infravermelho até que não houvesse mais reconhecimento do feixe que estava sendo emitido. O procedimento foi repetido 5 vezes e a distância média obtida foi de 70 cm.

A comunicação wireless foi testada de maneira similar aos sensores infravermelhos, o host foi posicionado em um campo aberto e os nós foram sendo afastados gradativamente até que não houvesse mais reconhecimento do sinal deles, a distância máxima encontrada foi de 28 metros, sem obstáculos interferindo a passagem do sinal.

A informação do Host e do Nó se dá em 3 bytes a cada requisição feita pelo Host, o tempo de espera para receber uma mensagem e trocar de sensor é de 1 ms e assim que a mensagem é recebida o Arduino já a envia pela porta serial para o computador.

Os circuitos (Figura 6) do projeto foram confeccionados com êxito e também foram produzidas em impressão 3D algumas estruturas para proteger e melhorar a estética do hardware.

Figura 6: Versão final do projeto.



A interface apresenta opções simples e intuitivas, que facilitam a utilização do sistema pelo usuário, os dados dos cronômetros apresentam o tempo dos percursos e um cronômetro para se observar o tempo total decorrido após iniciar uma partida.

#### IV. CONCLUSÕES

Devido à necessidade de reduzir a quantidade de fios utilizados pelos sensores de passagem de robôs durante o Torneio Universitário de Robótica, foi desenvolvida uma rede de sensores que se comunicam por radiofrequência, de forma que quando um sensor detecta a passagem de um robô, o mesmo envia o valor de tempo que o evento ocorreu para um host, que por sua vez encaminha os dados a um microcontrolador, que transmite para um computador via comunicação serial e os projeta numa interface.

Tanto resultados dos testes de distância entre os sensores infravermelhos e de comunicação entre host e sensor, quanto os resultados à respeito da velocidade de comunicação entre os componentes do sistema obtiveram resultados compatíveis com as necessidades do Torneio. Portanto, pode-se dizer que o projeto desenvolvido neste trabalho pode ser seguramente aplicado no próximo TUR que será realizado.

#### REFERÊNCIAS

- [1] M.B.R. Vallim, "Em direção à melhoria do ensino na área tecnológica: a experiência de uma disciplina de introdução à engenharia de controle e automação." 2000.
- [2] Robocore (2016). *Regras Seguidor de Linha*. Acedido em 08 de agosto de 2018, em: <http://www.robocore.net>.
- [3] Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2018), *Regulamento de Torneio de Autômatos*. Acedido em 08 de agosto de 2018, em: <https://www.upt.iftm.edu.br>.
- [4] S.R.J. Oliveira, R.A. Costa, S.Motta, O.C.N. Souto, J.B. Romero, C. R. Pacheco, "Proposta de um Torneio de Desafios Tecnológicos para Alunos do Curso de Engenharia Elétrica", in *Proc. of XXXIII COBENGE*, 2005.
- [5] PET Engenharia Elétrica (2018). "Regulamento VII TUR". Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/3xuyquuvs3ld4bm/RegulamentoVIIITUR.5af1f7696c15b3.84103646.pdf?dl=0>
- [6] Vishay Semiconductors. "IR Receiver Modules for Remote Control Systems". 2018. Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/82459/tsop48.pdf>. Acesso em Agosto de 2018.
- [7] Nordic Semiconductor. "NRF24L01+, single chip 2.4Ghz tranceiver", março de 2008. Disponível em: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SM/D/nRF24L01Plus\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SM/D/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf) Acesso em Agosto de 2018.
- [8] Nordic Semiconductor. "NRF24LE1, ultra low-power wireless system chip solution", agosto de 2010. Disponível em: [http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24LE1\\_PS\\_v1.6.pdf](http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF24LE1_PS_v1.6.pdf) Acesso em Agosto de 2018.
- [9] K.G. Wanderi, "Electronic Vehicles' Counter", University Of Nairobi, 2014.
- [10] S.R.J. Oliveira, "Método de acesso ao meio baseado em prioridades para melhoria das taxas de transferência em WBANs", *Repositório UFU*, 2017.
- [11] ITEad Studio. "HC-05 -Bluetooth to Serial Port Module.", Disponível em: <http://www.electronicastudio.com/docs/istd016A.pdf> Acesso em 10 de outubro de 2018.
- [12] STMicroelectronics. "L78L00 SERIES, POSITIVE VOLTAGE REGULATORS". Disponível em : <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22618/STMICROELECTRONICS/L78L33AB.html> Acesso em 10 de outubro de 2018.