

PROPOSTA DE ARQUITETURA DE ROBO PARA AMBIENTE DE COMPETIÇÃO

Winter Carlos Silva Onofre, Danilo Pereira Neves, Guilherme Henrique Guerra, Renato Ferreira
Fernandes Júnior, Aniel Silva de Moraes

wintercarlos@hotmail.com, danielopereiranvs@gmail.com, guihgm@hotmail.com, renfermand@gmail.com,
aniel@eletrica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais

Resumo - Este trabalho apresenta a primeira versão do time de futebol de robôs UFUTRAP, categoria RoboCup Very Small Size, proposto e desenvolvido no Laboratório de Automação, Servomecanismos e Controle. Este tem grande interação de sistemas mecânicos, sistemas embarcados, microeletrônica, eletrônica de potência e reconhecimento de imagem.

Palavras-Chave - Robótica, Futebol de Robô, Competição, Visão Computacional, ZigBee.

PROPOSED ARCHITECTURE FOR ROBO ENVIRONMENT COMPETITION

Abstract - This paper presents the first version of the football team of robots UFUTRAP, Very Small Size RoboCup category, proposed and developed in the Laboratory Automation, Servo and Control. This has great interaction of mechanical systems, embedded systems, microelectronics, power electronics and image recognition.

Keywords – Robotics, RoboCup, Computer Vision, ZigBee.

I. INTRODUÇÃO

Dentre os vários fatores que marcam o avanço tecnológico atual, a evolução da robótica vem ganhando cada vez mais destaque. De forma controlada ou até mesmo autônoma, um robô é capaz de executar com precisão as tarefas às quais é destinado, seja auxiliando a produção de uma empresa, como na indústria automobilística [1], prevenindo e combatendo riscos à vida humana, como na remoção de uma bomba, ou facilitando a vida da população em geral, como no caso de projetos de cadeiras de rodas mais seguras e próteses robóticas [2].

Os robôs autônomos, que funcionam sem a interferência humana, têm tido grande atenção dos pesquisadores nas últimas décadas. Para que eles atinjam essa autonomia torna-se necessário que eles tenham a capacidade de perceber o ambiente em que eles se locomovem e assim como nós,

humanos, terem a capacidade de identificar obstáculos e encontrar caminhos mais curtos até determinado local. Toda essa capacidade pode se tornar possível através do processamento digital de imagens. Os dados de entrada são capturados por uma câmera, posicionada a uma altura de 2 metros sobre a área central do campo, passam por uma estratégia de controle e dessa forma o robô consegue identificar os obstáculos do meio que o cerca e executar determinada atividade de maneira eficiente.

Na prática, existem algumas tarefas complexas, como controlar um incêndio em uma floresta, que se tornam mais simples quando executada não só por um robô, mas por um sistema de vários robôs trabalhando em conjunto conhecidos como sistema multiagentes [9]. E, quando se trata de um sistema robótico com essas características, a constante troca de informações entre os robôs e entre cada robô e uma central de processamento de dados é fundamental. Dessa forma, torna-se necessário a utilização de um sistema de comunicação que seja seguro, veloz e com alta capacidade de adição de nós. Como forma de comunicação sem fio, o IEEE802.15.4 mostra-se uma solução interessante porque garante ao sistema toda a flexibilidade e independência necessárias para que os robôs se locomovam livremente ao executar as tarefas, sem a necessidade de uma conexão física através de fios entre os robôs e a unidade de processamento de dados.

Nesse contexto, o futebol de robôs [4] mostra-se uma ótima oportunidade de aplicar todos esses conceitos através da disputa de uma partida de futebol por duas equipes compostas por três robôs autônomos cada uma. A localização dos jogadores robóticos e da bola durante o jogo é realizada por meio de uma câmera posicionada acima do campo de modo que as imagens após passarem por um sistema de processamento digital forneçam os dados necessários para que os robôs se locomovam e atinjam o objetivo que é marcar gols e impedir que o adversário faça o mesmo.

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver um sistema multiagentes dentro das especificações exigidas na categoria IEEE *Very Small Size Soccer*. Para isso é proposto uma arquitetura modular constituída pelo módulo de aquisição de dados, módulo de controle e módulo de saída. O trabalho foi dividido da seguinte forma: na seção II é apresentado todo o conceito sobre competição de robô e os componentes que fazem parte deste sistema. Na seção III são mostradas as arquiteturas propostas e as metodologias utilizadas. Na seção IV serão apresentados os resultados preliminares que foram obtidos e por fim na seção V é realizada a conclusão do trabalho.



XII CEEL – ISSN 2178-8308
13 a 17 de Outubro de 2014
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil

II. VISÃO GERAL COMPETIÇÃO DE ROBÔS

Existem pelo mundo diversas competições de robôs que exploram as diversas áreas abrangidas pela robótica, uma delas é o futebol de robôs. Nessa categoria é disputada uma partida de futebol entre dois times de robôs autônomos, utilizando regras semelhantes ao futebol convencional. O objetivo geral dessa competição é desenvolver um time de robôs humanóides autônomos que, em meados do século 21, vença o time de humanos campeão da última Copa do Mundo da FIFA, utilizando as regras da FIFA [10]. Porém, para que esse objetivo seja alcançado espera-se o desenvolvimento de pesquisas na área de robótica, inteligência artificial.

A IEEE *Very Small Size* [3] é uma categoria padronizada pelo *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* – IEEE, onde dois times de robôs, com formato de um cubo, disputam uma partida de futebol durante dois períodos de cinco minutos, com um intervalo de dez minutos entre eles. Os times são constituídos por três robôs autônomos sendo que um dos robôs pode ser o goleiro. Cada equipe pode utilizar um computador para o processamento digital de imagens e a obter a localização cartesiana das posições dos robôs e da bola.

Os robôs possuem limitações relacionadas ao tamanho e deverão possuir no máximo o tamanho de um cubo com arestas medindo 7,5cm, conforme mostrado na figura 1. Caso uma antena seja utilizada com finalidade de melhorar a qualidade da comunicação *wireless*, não deve ser incluída nessa medida.

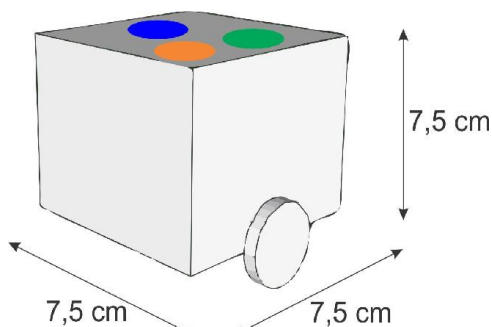


Fig. 1. Esquemático das dimensões de um jogador

A parte superior do robô jogador contém algumas formas geométricas coloridas, como pode ser observado na figura 1, com a finalidade de identificar cada jogador. Desta forma, de acordo com a estratégia adotada pela equipe, cada jogador poderá exercer ações de ataque ou defesa dependendo do seu posicionamento. As cores escolhidas devem ser diferentes das cores laranja, branca e cinza e não pode ser colorida com mais de duas cores diferentes da cor preta.

Todos os robôs devem possuir uma região visível na parte superior, onde uma etiqueta azul ou amarela, definida pelos organizadores, irá identificar os robôs de cada time. Para identificação de cada jogador utilizam-se outras etiquetas diferentes das cores azul e amarela dentro da faixa permitida. As dimensões da etiqueta deve conter no mínimo um quadrado com 3,5cm de lado ou um círculo com 4cm de

diâmetro. Considerando que essas cores podem mudar de uma partida para outra, a etiqueta deve ser destacável.

Um dos robôs dentro da área do próprio gol da equipe pode ser considerado goleiro, sendo assim ele poderá tocar ou segurar a bola dentro da área do gol.

De maneira geral os robôs devem ser totalmente autônomos, com baterias, motores e circuitos embarcados, a comunicação com o computador externo deve ser sem fio e se o robô possuir alternativas que funcionem como braços, pernas para auxiliar na manipulação da bola deve respeitar as limitações do tamanho, mesmo depois dos equipamentos estarem completamente expandidos.

Durante o progresso da partida o árbitro utiliza um apito, que quando acionado o operador da equipe deverá parar todos os robôs utilizando do recurso de comunicação sem fio entre os robôs e o computador externo para que a bola seja posicionada novamente e logo depois a partida reiniciada.

A competição simula um jogo futebol, portanto, são permitidas duas substituições durante o progresso do jogo e um número ilimitado no meio tempo. As substituições durante o progresso do jogo devem ser requisitadas pelo operador do time ao juiz, e será realizada assim que o jogo for interrompido e quando os robôs e a bola estiverem posicionados nas mesmas posições que estavam ocupando o jogo será reiniciado.

Não é permitido transmitir comandos ou ações semelhantes a sinais para parar qualquer um dos robôs ou ainda ações de reinicialização sem a autorização do árbitro. Caso exista a mudança de estratégia que necessite transmitir informação ou comandos poderá ser executada somente quando o jogo não estiver em progresso. Também são proibidos operadores humanos que utilizam meios de controle via teclado, joystick, entre outros.

O sistema de visão responsável pela identificação de robôs, bola e o campo será executado através de uma câmera fixada acima do campo de jogo como do exemplo da figura 2. Caso os dois times queiram manter suas câmeras exatamente acima do campo, elas deverão estar dispostas lado a lado, equidistante a linha central e o mais perto possível uma da outra.

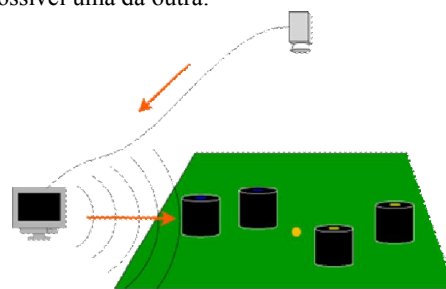


Fig. 2. Sistema do futebol de robô: câmera de captura, computador e robôs.

Um relógio oficial contará o tempo de substituições e de troca de robôs danificados. Se no meio tempo o time não estiver pronto para voltar para o jogo terá um tempo adicional de cinco minutos. Caso, após o termino de do tempo adicional, o time não estiver pronto para começar o jogo, o time será desqualificado.

Como o sistema é similar a um jogo de futebol então podem ocorrer também faltas que podem ser na forma de

colisão com um robô do time adversário. O juiz registrará apenas as faltas que afetarem diretamente o andamento da partida ou que aparentemente tenha potencial para danificar robôs do time adversário. Quando um robô desloca o outro em um lance sem bola, um tiro livre será cobrado pelo time prejudicado.

O gol será contabilizado quando a bola ultrapassar totalmente a linha do gol. O vencedor será o time que tiver marcado o maior número de gols. Em caso de empate depois dos dois tempos normais de jogo, e o empate não for permitido, os dois times disputará uma morte súbita, depois de um intervalo de cinco minutos, prorrogáveis por mais três minutos, se for persistindo o empate, à partida será decidida nos pênaltis. Cada equipe deverá cobrar três pênaltis, sendo permitido apenas um cobrador e o goleiro estão presentes em campo. O goleiro deverá permanecer dentro da área do gol, mas, depois do apito do arbitro, ele poderá sair.

A. Captura de Informação

A entrada de dados é realizada por uma câmera e um software de processamento de imagem.

Para o processamento da imagem, é necessária a captura, pré-processamento e o tratamento e melhoramento da imagem visando aplicações específicas como segmentação da informação, isolamento de parte da imagem, detecção de borda, parametrização, reconhecimento de padrões, entre outras características [8].

Para realizar estes requisitos citados acima existem atualmente software com bibliotecas de funções específicas como é o caso da OpenCV [8]. A OpenCV é uma plataforma aberta que permite o desenvolvimento dessa capacidade de processamento de imagens em diferentes linguagens de programação, por esse motivo ela é amplamente utilizada no meio acadêmico. E, uma de suas aplicações é o futebol de robôs, especificamente na categoria IEEE *Very Small Size*, onde duas equipes composta por três robôs cada, disputam uma partida de futebol e os robôs e a bola do jogo são identificados através do processamento digital de imagens, enquanto se locomovem pelo campo, de modo que o objetivo seja alcançado: marcar gols e defender as tentativas da equipe adversária.

A biblioteca OpenCV permite o desenvolvimento de algoritmos de detecção de imagem, como detecção de borda, filtros, entre outras características e permite a customização do algoritmo utilizando linguagem C ou C++. Ele já possui uma vasta biblioteca de funções de tratamento de imagens [8].

B. Envio da Informação

A comunicação com o robô é realizada através de tecnologias sem fio como as chamadas redes WLAN (*Wireless Local Area Network*) e WPAN (*Wireless Personal Area Network*). As redes WLAN são as redes Locais baseadas no padrão IEEE802.11 e são caracterizadas por velocidades altas. As redes WPAN que são e tráfegos elevados. As redes WPAN são consideradas redes pessoais ou redes de sensores sem fio (WSN). Estas redes são

baseadas no padrão IEEE802.15 e se subdividem em diferentes cenários, onde se destacam principalmente aplicações como *bluetooth* (IEEE802.15.1) e *Zigbee* (IEEE802.15.4) [11].

Especificamente o padrão IEEE802.15.4 [7] define a camada física de baixa potência (PHY), e também define a camada de controle de acesso ao meio (MAC) [11].

A camada física (PHY) define o acesso ao meio que é realizado através do rádio. Esta camada é responsável pela seleção de frequências, geração da frequência portadora, detecção de sinal, modulação e codificação para transmissão e recepção de dados da rede [2]. O padrão IEEE 802.15.4 admite a operação nas faixas de frequência usando a banda livre de rádio ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), as quais estão isentas de licenciamento. Globalmente, corresponde à banda de 2.4GHz e ainda às bandas de 915MHz (América) e 868 MHz (Europa) [11].

IEEE802.15.4 também define um protocolo MAC, que é a camada que interage diretamente com o rádio. A camada MAC faz parte da camada de enlace do modelo OSI e é fundamental para o bom funcionamento de qualquer sistema de comunicação. O papel principal da camada MAC é coordenar o acesso e a transmissão através de um meio comum para vários nós. E esta coordenação é complicada pelo fato do meio comum tem natureza broadcast, ou seja, qualquer transmissão em curso interfere com qualquer outra transmissão dentro do alcance da comunicação [11].

III. ARQUITETURA PROPOSTA

O objetivo geral desse projeto é desenvolver um time de robôs, dentro das especificações exigidas na categoria IEEE *Very Small Size Soccer*. Para atender a estes requisitos o projeto foi dividido de forma modular para ser de fácil entendimento e também a possibilidade de trocas futuras de componentes dentro dos módulos sem afetar, ou diminuindo o impacto sobre os demais módulos.

A arquitetura proposta é dividida em quatro módulos principais: Robô (jogador), Módulo de entrada, Módulo de Controle e Módulo de Saída conforme mostrado na figura 3.

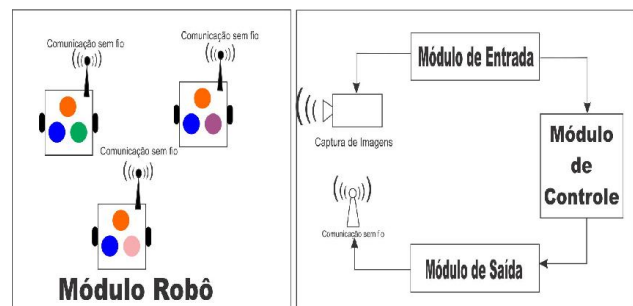


Fig. 3. Arquitetura proposta

De acordo com a figura 3, o módulo robô representa os três jogadores de cada time. Os jogadores são identificados pelo sistema de controle, que é um computador com software de processamento digital de imagens, através das cores presentes na parte superior de cada robô. Esse sistema de controle determina a posição de cada jogador através do módulo de entrada, processa a estratégia de jogada através do

módulo de controle e envia um novo posicionamento para o módulo robô através do módulo de saída.

Segue abaixo todo detalhamento de cada um dos módulos da arquitetura.

A. Módulo robô

O Módulo Robô representa cada jogador da partida. Ele é constituído por um conjunto de eletrônica embarcada em uma plataforma respeitando as dimensões da categoria conforme figura 1, tendo como princípio de funcionamento todo um sistema autônomo baseado em microcontrolador.

O objetivo do jogador é a execução de ações com a finalidade de levar a bola até o gol do adversário, logicamente tendo cuidado e eficiência na estratégia para que o time não sofra penalidades e nem danifique o robô.

O robô possui um sistema embarcado que funciona como central de processamento de dados, nesse caso foi utilizado a plataforma Arduino UNO, que consiste em uma CPU Atmega328 de 8 bits com *clock* de 16 MHz e foi considerada a princípio para validação da estratégia. O controle do robô consiste no controle da velocidade e da direção de giro das rodas traseiras de modo que cada um deles possa se movimentar nos eixos x e y atingindo a nova posição desejada com certa velocidade pré-determinada. O acionamento se dá através do microcontrolador que aciona os motores através da técnica de controle *Pulse Width Modulation* - PWM por meio da ponte H.

Para receber a posição e velocidade de giro do motor é necessária a comunicação com a estação de controle. Para a comunicação utilizam-se redes sem fio de modo que sejam enviadas informações sobre a velocidade e direção. Assim, quando for solicitado o deslocamento do robô até determinado ponto, através dos dados fornecidos pelo sistema de controle, o robô executa movimento.

B. Módulo de Entrada

O módulo de entrada é o primeiro módulo dentro da Estação de Controle e faz interface com o módulo de controle.

Este módulo basicamente é constituído da câmera que capta as informações do jogo e de um software de processamento de imagem.

O módulo de entrada é responsável por reconhecer todos os parâmetros no campo de jogo, ou seja, ele vai receber as imagens da câmera e fazer um tratamento de tal forma que ele passe a ter as informações de onde está a bola, os robôs e o campo para o módulo de controle. Para isso ele separa todos os parâmetros do jogo: Campo, Jogador, Adversário e Bola como mostrado na figura 4.

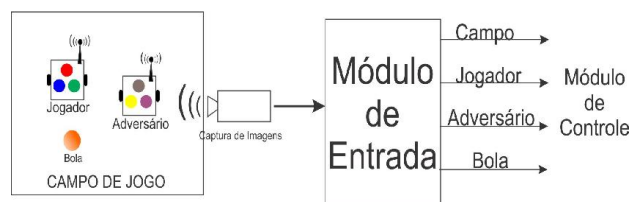


Fig. 4. Esquema do Módulo de Entrada

Uma característica do módulo de entrada é rapidez e a precisão das informações para os jogadores, dessa forma, é utilizada uma câmera com velocidade de captura de 54fps, com resolução de 780x580 e com conexão do tipo *firewire*.

O software que deverá realizar o reconhecimento do robô e da bola será desenvolvido na linguagem C++. A identificação dos elementos é feito utilizando processamento digital de imagens utilizando a biblioteca OpenCV. A identificação dos robôs será realizada através de cores e formas presentes no topo do robô e a bola utilizada possui uma cor alaranjada que facilita a distinção dos demais objetos.

C. Módulo de Controle

O Módulo de Controle é o responsável por tratar todas as informações do jogo. O módulo de entrada disponibiliza todas as informações sobre as atividades que estão sendo executadas no campo de jogo, então todas essas informações serão interpretadas de forma que possa ter como resultado todas as posições tendo como referência um plano x e y, com isso, ações são executadas com algumas restrições como exemplo dois robôs não podem executar a mesma posição, que no caso seria uma forma de evitar que os jogadores se danifiquem ou cometem infrações perante as regras.

D. Módulo de Saída

Por fim, o Módulo de Saída é responsável por enviar as posições recebidas do Módulo de Controle para os jogadores.

A comunicação entre o módulo de saída e os robôs é feita por comunicação sem fio. Adotou-se neste projeto utilizar a comunicação IEEE802.15.4 devido a possibilidade de ter uma quantidade maior de nós no futuro e por ser uma rede com um bom alcance de rádio em ambiente indoor e também uma melhor imunidade a ruído comparado com outros padrões.

O módulo de saída mostrado é um componente separado do computador e é formado por um hardware comercial XBEE 802.15.4 Série 1 e uma comunicação serial UART através de um conversor USB-USART XBEE-Explorer-Dongle.

Na figura 5 é mostrado um diagrama de blocos dos elementos principais do módulo de saída.

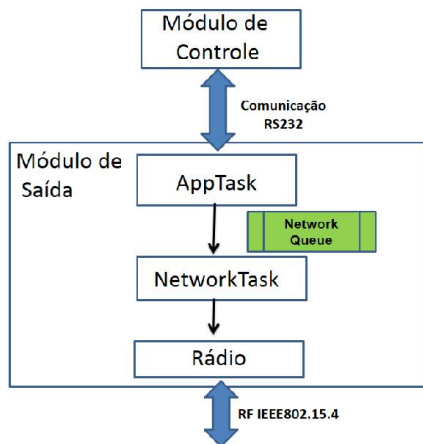


Fig. 5. Diagrama de blocos do Módulo de Saída

Dentro do Módulo de Saída existe um firmware de comunicação que é formado por três camadas principais do modelo ISO/OSI conforme mostrado na figura 5: AppTask (camada de aplicação), Network Task (camada MAC), e o Rádio (camada física).

O AppTask é responsável pela comunicação com o Módulo de Controle. A camada NetworkTask é responsável pelo tratamento dos dados da rede IEEE802.15.4. E a camada física é responsável pelo modem e a transmissão propriamente dita.

Dentro da AppTask, o módulo de controle pode enviar informações para os diferentes jogadores desta forma estes comandos são enfileirados em na fila NetworkQueue. A camada de rede (NetworkTask) é responsável por verificar se existe mensagens pendentes na NetworkQueue e enviá-la pelo rádio. Também é responsável por verificar a comunicação com os demais robôs.

Para a comunicação com o Robô e usado a arquitetura mestre/escravo onde o Módulo de Saída é mestre e o Robô é o escravo. Desta forma, cada requisição do mestre deve ter uma resposta (Ack) do escravo. E para verificar a perda de comunicação com o robô, o mestre deve enviar uma requisição para cada jogador de tempo em tempos. Também são realizados serviços de diagnóstico das condições do robô, como checagem de parâmetros como bateria, nível do sinal do rádio, retorno do funcionamento dos motores.

IV. RESULTADOS

Este projeto ainda está na sua fase inicial onde já é dominado os principais componentes da arquitetura mostrada na figura 3, porém pretende-se melhora-la cada vez mais com novos componentes.

Com relação ao módulo robô, o primeiro protótipo desenvolvido pode ser visualizado na figura 6 e é baseado no microcontrolador Arduino UNO. Para o acionamento dos motores foi utilizado um *shield* para o arduino, baseado no circuito integrado L298, que possui dois circuitos ponte H, permitindo de acionamento dos motores e sendo assim, controlar a direção e o sentido de giro dos dois motores de corrente contínua utilizados para direcionar do robô. No controle de direção foi utilizado o método de tração por

diferença de velocidades de modo que, variando a velocidade relativa dos motores fosse obtida a curva desejada.

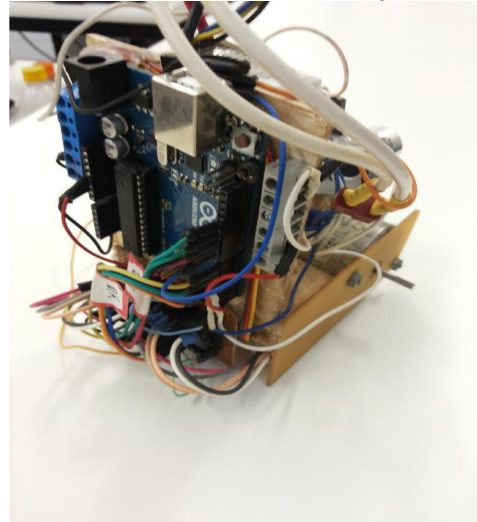


Fig. 6. Protótipo com a plataforma Arduino

No contexto do módulo de entrada, para identificação da bola conforme mostrado na figura 7, foi utilizado uma biblioteca *open-source* a OpenCV que possui funções de reconhecimento de imagens prontas e que necessitam apenas do ajuste de alguns parâmetros. Nesse exemplo foi desenvolvido um *software* de reconhecimento de objetos da cor laranja, devido à cor da bola utilizada na competição, e juntamente com a marcação do objeto foram mostrados suas coordenadas cartesianas x e y, de modo que o sistema saiba a localização da bola sobre o campo. Nesse software desenvolvido, o sistema de cores utilizado foi o HSV (H - Hue, S - Saturation e V - Value) e as cores eram diferenciadas através da escolha de um valor máximo e um valor mínimo para cada componente desse sistema de cores. Posteriormente, pretende-se desenvolver um sistema que reconheça além da bola, cada jogador, tanto da nossa equipe quanto da equipe adversária, de modo que através do módulo de controle e da estratégia de jogo, seja executada uma jogada mais eficiente e rápida.



Fig. 7. Reconhecimento de objeto da cor laranja, simulando a bola do jogo.

Para o módulo de saída, que executa a comunicação entre o robô e o sistema de controle, utilizou-se um software desenvolvido no computador e a uma interface *bluetooth*

conforme mostrado na figura 8. Em um primeiro momento atendeu as expectativas, porém, durante a competição necessita-se de um componente mais robusto, dessa forma não será mais interessante o uso dessa tecnologia.

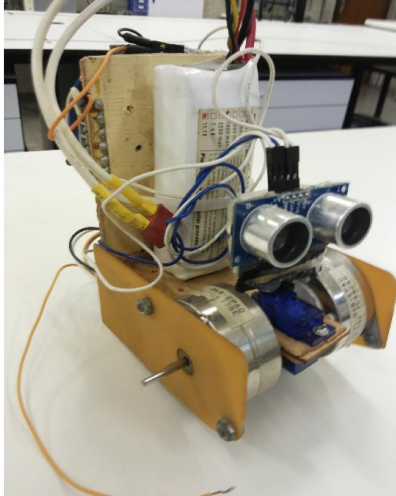


Fig. 8. Protótipo com a plataforma sensor de distância que estas fiquem tão paralelas quanto possível.

V. CONCLUSÕES

A intenção com esse projeto é aprimorar e continuar na universidade pesquisas de prototipagem rápida tornando-a referência nessa área no Brasil. Todos os projetos que se serão desenvolvidos terão propostas inovadoras, visto que no país carece de estudos na área de robótica e inteligência artificial. Os principais focos serão o aprimoramento técnico do hardware e software, através do desenvolvimento de plataformas responsáveis pela parte de software irá focar na adequação do código de programação da plataforma eletrônica de prototipagem rápida usada “Arduino” e no uso dos diversos softwares auxiliares visando à integração das diversas plataformas de robóticas.

As coordenadas enviadas até o robô são realizadas através de uma comunicação sem fio e alguns testes foram executados com um módulo *bluetooth* ligado a plataforma Arduino, porém, essa tecnologia possui algumas limitações, então a equipe chegou a conclusão outras formas de comunicação *wireless* mais robustas, como a plataforma

Zigbee, são mais flexíveis e atendem melhor as necessidades impostas pela competição.

REFERÊNCIAS

- [1] Lorenzen, J. U. (2011) - Sistemas de Lavagem Industrial para indústria automobilística. Mecatrônica Atual, São Paulo, ano 9, n. 49, 2011, p. 16-19.
- [2] Pereira, F. R.; Falandes, T. G. (2011) - Sistemas de Automação na Medicina. Mecatrônica Atual, São Paulo, ano 9, n. 49, 2011, p. 28-31.
- [3] Small Size League Technical Committee (2013). Laws of the RoboCup Small Size League 2013. April 17, 2013. Disponível online em: <http://robocupssl.cpe.ku.ac.th/>
- [4] Perez, Anderson Luiz Fernandes, et al. "Arquitetura de controle do time de futebol de robôs ufsc-team categoria very small." Anais do XXVI Congresso da SBC-Enri III Encontro de Robótica Inteligente, págs. 2006.
- [5] Cesar, D. R. (2010). Projeto robótica livre. <http://www.roboticalivre.org>.
- [6] Santos, Franklin Lima, Flavia Maristela S. Nascimento, e Romildo Bezerra. "Reduc: A robótica educacional como abordagem de baixo custo para o ensino de computação em cursos técnicos e tecnológicos." Anais do Workshop de Informática na Escola. Vol. 1. 2010.
- [7] Friedel, R., & Liedtka, J. (2007). Possibility thinking: lessons from breakthrough engineering. Journal of Bussines Strategy, pp. 30-7.
- [8] Barboza, Daniel P. S. (2009) – Estudo da Biblioteca OpenCV. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Eletrônica e de Computação.
- [9] Pessin, G. et al. – Simulação Virtual de Agentes Autônomos para Identificação e Controle de Incêndios em Reservas naturais. Unisinos.
- [10] ROBOCUP. Objetivo. Disponível em: <http://www.robocup.org.br/objetivo.php>. Acesso em: 14 jun. 2014.
- [11] Muller, I. (2012) – Gerenciamento descentralizado de redes sem fio industriais segundo o padrão WirelessHART. 105p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.