

Pequi Mecânico INF - IEEE VSSS Soccer Team - CBR 2018

Bryan L. M. Oliveira, Cristine C. Costa, Luana G. B. Martins, Luiz G. A. Mattos,
Marcos A. Souza, Otávio S. Mortosa, Rafael A. A. Tomé, Rafael F. G. Jardim

Resumo— Este trabalho descreve o projeto Very Small Size Soccer (VSSS) desenvolvido pela equipe do Núcleo de Robótica Pequi Mecânico do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás (PMEC-INF-UFG) para competir na categoria IEEE Very Small Size Soccer na Competição Brasileira de Robótica 2018 (CBR 2018). Todo o projeto foi reformulado, em especial a estratégia, que agora utiliza diferentes abordagens no processo de decisão e navegação. Esse trabalho tratará de explicar todas as partes do hardware, controle, visão computacional e estratégia. Por fim será dada algumas considerações finais sobre os resultados obtidos.

I. INTRODUÇÃO

A categoria IEEE Very Small Size Soccer trata-se de uma competição de robótica entre duas equipes de 3 robôs de dimensões até 7,5x7,5x7,5cm. Os robôs são controlados por um computador, chamado de técnico. Todas as jogadas dos jogadores são controladas autonomicamente, ou seja, sem a intervenção humana. Para saber as posições dos robôs, e assim enviar informações de posicionamento através de um rádio de comunicação, uma câmera é acoplada acima do campo. Essa câmera tem a finalidade de fornecer as informações de posicionamento tanto dos robôs aliados quanto dos robôs adversários bem como a posição da bola. O reconhecimento por visão computacional é feito através de tags coloridas colocadas acima de cada robô. Cada robô deve possuir pelo menos a cor do time, que pode ser azul ou amarela, as chamadas tags principais. A maioria dos times utilizam de duas a três cores de modo a identificar separadamente cada robô. Essa segunda tag é a chamada tag de jogador ou simplesmente tag secundária. Desse modo, por meio dessas tags secundárias, o sistema de visão computacional consegue reconhecer os jogadores e calcular estratégias específicas para cada robô. A bola possui a cor laranja e nenhuma tag secundária pode ser dessa cor, sendo exclusiva para a bola.

Um sistema de estratégia recebe a posição dos jogadores e da bola e calcula as respectivas velocidades, enviando-as através de um rádio transmissor.

A categoria IEEE Very Small Size Soccer é disputada no Brasil desde o ano de 2003. De lá pra cá a categoria vem crescendo e ganhando mais adeptos todos os anos [1].

Um exemplo de projeto desenvolvido para a categoria IEEE Very Small Size Soccer é mostrado na Figura 1. Esses robôs foram desenvolvidos pelo Grupo de Robótica Pequi Mecânico (PMEC) da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC) da Universidade Federal

de Goiás (UFG) para a CBR 2016 [2]. São utilizados atualmente microcontroladores da Atmel Atmega32U4 para o gerenciamento de recebimento de dados via rádio e controle de velocidade [2]. Durante o decorrer do projeto, viu-se a dificuldade de processamento que tal microcontrolador possui em se tratando de velocidade de processamento. Além disso a capacidade de armazenamento do algoritmo quase excede a capacidade disponível do microprocessador.



Fig. 1: Projeto VSSS da equipe PMEC para a CBR 2016.

Nesse sentido, a ideia é reformular todo o projeto adicionando novos sensores, motores, rodas, estrutura e principalmente um controlador melhor. Assim, o objetivo desse artigo é mostrar o trabalho de aprimoramento das partes de hardware e software desenvolvidos pelo Núcleo de Robótica Pequi Mecânico INF.

O artigo está assim dividido: Na seção 2 será discutido os componentes utilizados no projeto do robô físico bem como as ferramentas utilizadas para o projeto da estrutura. Na seção 3 será discutido como o sistema de visão computacional funciona bem como as melhorias feitas entre os anos de 2016 e 2017. Adiante, na seção 4 é apresentado a estratégia dos jogadores bem como o sistema de controle. Por fim, é apresentado as conclusões pertinentes ao trabalho e sobre futuras melhorias para os próximos anos.

II. DESCRIÇÃO DA CONSTRUÇÃO DOS ROBÔS

Nessa seção será discutido sobre as principais partes que compõem o hardware dos robôs do Núcleo de Robótica Pequi Mecânico - INF. Uma breve descrição dos componentes será dada bem como o porque dessas escolhas.

A. Estrutura

Destinada a suportar os contatos entre os robôs durante o jogo, a estrutura do robô foi projetada para suportar

os impactos que são inevitáveis quando se procura um mesmo objeto em comum, a bola. A estrutura do robô foi confeccionada em impressora 3D com material ABS premium principalmente devido a facilidade de se produzir qualquer formato de peça que se queira. A estrutura também é responsável por manter todas as partes do robô fixas, tais como placa, motores e rodas, baterias e case das tags.

O projeto 3D do robô foi feito previamente e é mostrado na Figura 2. Como mostrado na Figura 2, pode-se notar que as curvas na frente e atrás do robô são curvas destinadas a auxiliar o robô a conduzir a bola até seu objetivo, o gol do adversário. Dependendo da aceleração o robô pode conduzir a bola sem que esta escorra para as laterais, evitando assim a perda da posse de bola.

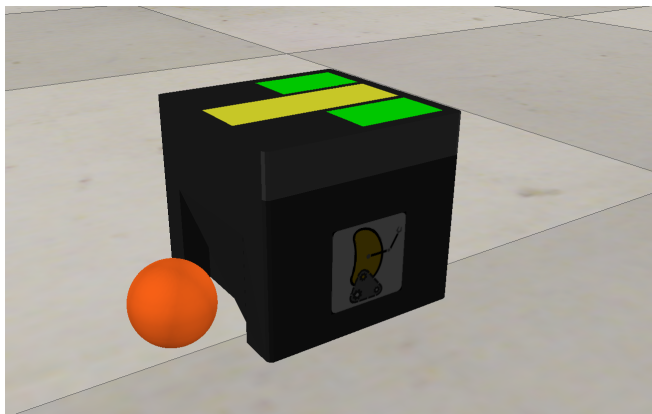


Fig. 2: Vista superior da estrutura dos robôs.

Outra característica básica é a altura da base da estrutura até o piso do campo. Pensando nesse quesito foi projetado uma nova estrutura de modo a manter a estrutura o mais rente possível do chão para uma melhor estabilidade. Conseguiu-se uma altura de 2mm do ponto mais baixo da estrutura até o chão.

B. Rodas, Motores e Encoders

As rodas e motores escolhidos para serem usados no projeto foram de tal forma que o robô pudesse ter um bom torque associado com uma boa velocidade. Motores de corrente contínua (CC) são bons, mas não possuem um torque adequadamente bom para o tamanho do motor que se deseja. Assim escolheu-se motores com caixa de redução (os chamados gearmotors). Esses motores possuem uma velocidade relativamente alta, cerca de 400rpm. O papel das engrenagens acopladas no eixo do motor é diminuir a velocidade de rotação do eixo acoplado às rodas e em compensação ganhar mais torque. A redução adequada para o peso e para a estrutura do robô desenvolvido é de 75.81:1, o que significa que a cada 75.81 voltas do eixo do motor a roda gira 1 volta completa.

O consumo médio dos motores chega em torno de 1A de pico sendo alimentado por uma tensão de aproximadamente 6V. Como se trata de um motor bem pequeno o consumo médio é relativamente pequeno.

As rodas são de plástico e possuem um diâmetro de 60mm. Para uma melhor aderência usa-se pneus de borracha evitando assim o deslizamento em ocasiões onde se exige um grande torque de partida. A Figura 3 mostra o kit roda-motor utilizado no projeto.

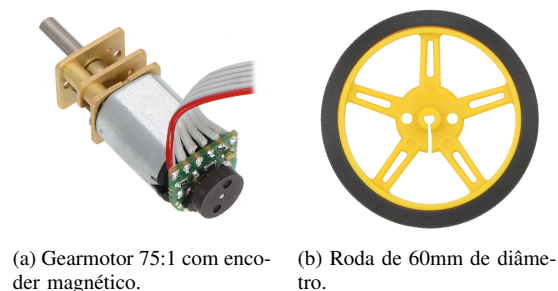


Fig. 3: Conjunto roda-motor utilizado no robô

Uma outra melhoria feita foi a troca do tipo de encoder das rodas. Passou-se de um encoder óptico para um encoder magnético. A Figura 4 mostra em detalhe os dois tipos de encoders. O encoder óptico possui uma resolução de 20 pulsos por volta e o encoder magnético de efeito hall possui 12 pulsos por volta de resolução. Apesar de possuir uma menor resolução, o encoder magnético não deixa a desejar.

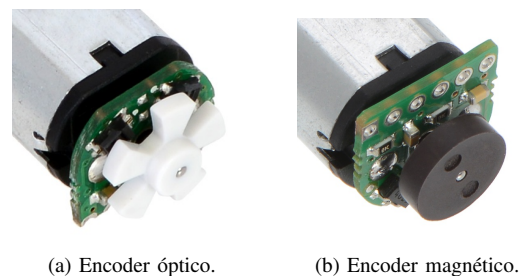


Fig. 4: Tipos de encoders.

Apesar de não ter melhorado a resolução do sinal, melhorou-se a forma de onda do sinal que antes era parecida com uma onda senoidal e agora é uma onda quadrada perfeita. A Figura 5 mostra a forma de onda de ambos encoders.

C. Comunicação

A comunicação entre robô e computador é feita utilizando módulos Xbee Série 2. Esses módulos possuem vários canais de comunicação que podem ser criptografados. A comunicação entre módulo e robô é feita por comunicação serial.

O envio de informação é bem simples e é atualizada várias vezes por segundo. A cada informação enviada um pacote contendo as informações de cada robô é criado e enviada aos respectivos robôs de modo que somente o robô correto recebe a informação. Como o pacote de dados é criptografado, somente os módulos do respectivo time conseguem decifrar os pacotes e vice-versa. Esse tipo de comunicação evita interferência no recebimento da mensagem o que garante que a mensagem recebida será a mensagem enviada.

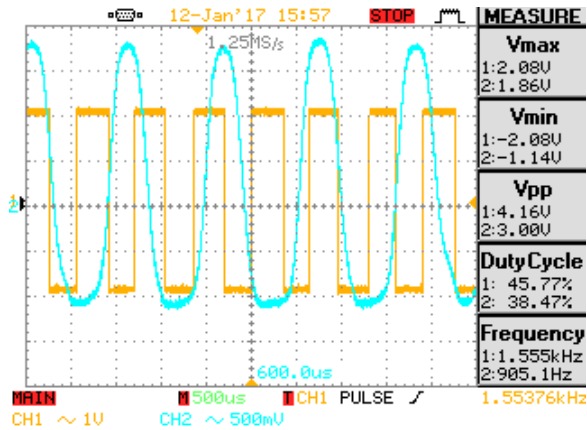


Fig. 5: Ondas fornecidas pelos encoders magnéticos e ópticos.

O emissor de pacotes ligado ao computador também é um módulo Xbee que funciona como módulo mestre, e os outros três robôs, cada um com uma informação diferente, funcionam como escravos. Assim o fluxo de dados é sempre entre computador e robôs. O módulo Xbee é mostrado na figura 6.



Fig. 6: Módulo Xbee Série 2 utilizado no projeto.

D. Microcontrolador

Foi utilizado a plataforma Mbed que possui o microcontrolador LPC1768. Foi escolhido essa plataforma devido a sua espessura reduzida, seu número de portas ser suficientes para controlar todos os sensores e atuadores. Pode-se ter uma visão geral da plataforma MBED na figura 7.

A plataforma Mbed possui um núcleo Cortex-M3 ARM de alta performance, roda a 96MHz e possui 40 pinos do tipo 2.54mm. Suas dimensões são 54x26mm. Possui muitos tipos de comunicação, sendo os mais comuns I2C, SPI e UART.

E. Fonte de Energia

A fonte de energia mais viável atualmente são as baterias de Polímero de Lítio (LIPO). Como o robô possui uma estrutura reduzida, a bateria não pode ser muito grande e deve caber no interior da estrutura do robô. Uma bateria ideal para o tamanho do robô é a de duas células do tipo LIPO. Cada uma das células da bateria possui cerca de 3.7 Volts, totalizando 7.4 Volts. Essa fonte de energia é utilizada tanto pelos motores quanto pela parte controladora do robô.

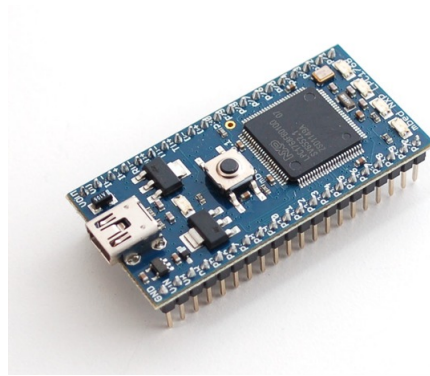


Fig. 7: Plataforma Mbed LPC1768.

Estudos estão sendo feitos a respeito de utilizar baterias mais leves com um ciclo de recarga menor. Baterias do tipo Li-Íon são conhecidas por possuírem tamanhos menores, serem mais leves e armazenarem uma quantidade de energia maior comparada as baterias de LIPO. A bateria utilizada nos robôs é mostrada na figura 8.



Fig. 8: Bateria de LIPO 2S 1000mAh 7.4V utilizada nos robôs.

F. Robô

O resultado final, já impresso em 3D, é mostrado na Figura 9. O robô já está com bateria, rodas, motores, encoders, sensores e placa eletrônica montada.



Fig. 9: Robô montado com motores, encoders, rodas, bateria sistema de tags

III. SISTEMA DE VISÃO

A visão computacional é responsável por coletar os dados sobre o jogo em cada instante de tempo e passá-las de forma mais simplificada possível para o algoritmo responsável pela estratégia. Este processo é dividido nas seguintes etapas: primeiro, a câmera, colocada perpendicularmente a aproximadamente 2 metros de distância do campo, faz uma série de captura de frames e os envia para o computador. Um frame é uma imagem individual enviada pela câmera. A partir daí, é utilizado um algoritmo baseado na biblioteca OpenCV [3] para o processamento dessas imagens. A imagem é tratada por de filtros que retiram partes da imagem que não são necessárias, deixando apenas o que é realmente importante: as tags de cores, que identificam os robôs, e a bola. Após o processamento da imagem para a detecção das tags de cores e da bola, um algoritmo de rastreamento é utilizado para encontrar, através de histogramas de cor, a posição absoluta de cada robô e da bola no campo.

Após todos os objetos serem encontrados, o algoritmo determina janelas de 50x50 pixels centralizadas na posição de cada objeto para que, nos próximos frames, a detecção de cores ocorra apenas dentro das janelas, ao invés de percorrer a imagem inteira. Isso faz com que o custo computacional seja reduzido drasticamente. Processar a imagem completa cria um descompasso entre o processamento da visão e o processamento das funções do robô. Processar apenas as janelas locais de cada objeto ajuda a diminuir esse descompasso de processamento. As janelas de cada objeto são deslocadas com o auxílio de um algoritmo de Filtro de Kalman [4]. O filtro é responsável por estimar de forma eficiente qual será a posição da bola e dos robôs nos próximos frames para que cada janela tenha sua posição ajustada previamente, o que aumenta a probabilidade dos objetos rastreados estarem dentro da janela de processamento no próximo frame. Se algum robô ou a bola não for encontrada dentro de sua janela de processamento, o algoritmo terá que processar a imagem inteira para reencontrá-lo. Assim, a cada 33 milissegundos, é possível identificar a posição dos robôs e da bola, que são guardadas em memória e enviadas ao algoritmo de estratégia, que determina a ação de cada robô naquele instante de tempo.

O sistema de tags de cores utilizado para a detecção dos robôs no campo é o mesmo utilizado pela equipe na CBR 2017. A posição do robô é identificada pelo centro da tag principal, pois ambos são concêntricos. Cada robô possui de uma a duas tags secundárias na cor verde. A orientação do robô é dada encontrando a melhor reta que descreve a tag principal. A diferenciação dos robôs se dá pela quantidade de tags secundárias e o ângulo entre suas posições e a orientação do robô. Este ângulo também nos mostra qual lado é a frente do robô. O sistema de tags pode ser visto na figura 11.

Até 2016, eram usadas três cores secundárias diferentes para diferenciar os três robôs. Com o novo sistema de tags é utilizada apenas uma cor secundária, diminuindo assim o custo computacional do algoritmo de visão, já que se elimina a segmentação de duas cores. Com menos cores para serem identificadas, é possível o uso de cores secundárias que

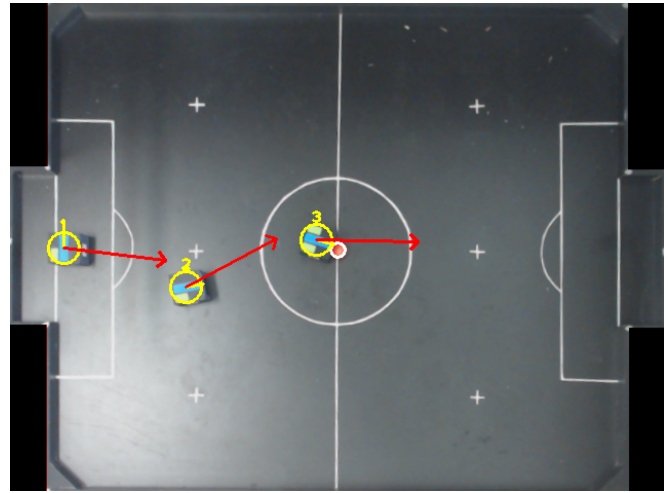


Fig. 10: Imagem capturada pela câmera. Os quadrados denotam as janelas de processamento de cada objeto no campo.



Fig. 11: Novo sistema de tags dos robôs.

são mais distantes no espectro visível de cor. Isso diminui consideravelmente a chance de que cores escolhidas sejam confundidas ao serem filtradas pelo algoritmo de visão.

IV. ESTRATÉGIA DE JOGO E TÉCNICAS DE CONTROLE

A estratégia, assim como em um jogo real, deve avaliar a situação do jogo e tomar decisões que possam otimizar o comportamento dos jogadores. O papel do módulo de estratégia é analisar os dados coletados pela visão computacional e decidir quais serão as ações a serem tomadas por cada robô no próximo instante de tempo. As estratégias normalmente utilizadas no futebol de robôs seguem uma estrutura fixa, compostas normalmente de um sistema supervisor que recebe informações do algoritmo de visão computacional, decide qual ação os robôs devem fazer e, por fim, repassa essa ação para um sistema de controle [5] [6]. Esse sistema é confiável, mas apresenta uma performance não tão fluida, transformando as ações dos jogadores em jogadas pré-moldadas pelos criadores da estratégia. A nova proposta do time é criar um sistema de decisão top-down a fim de, com módulos simplificados, atingir estratégias mais complexas e dinâmicas.

O módulo de mais baixo nível é o módulo de controle diferencial. Este módulo possui baixo custo computacional

e é bastante flexível, permitindo sua implementação no próprio hardware do robô. Essas qualidades são encontradas empregando-se estratégia evolutiva do tipo (1+1). O controle diferencial exprime a reação do robô ao aplicar determinadas velocidades em suas rodas obtendo a velocidade angular de orientação e a velocidade linear de translação, conforme representado na figura 12. Sobre esse módulo opera o controle de alto nível. Nesse módulo de controle de alto nível podemos implementar modelos mais sofisticados de movimentação com o uso de posições-alvo, vetores-alvo e até curvas.

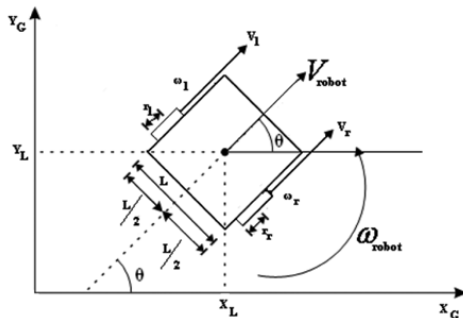


Fig. 12: Modelo diferencial aplicado ao robô.

Acima do controle de alto nível opera o módulo de ações básicas. Este módulo permite o robô executar ações que independem de sua posição tática ou papel como girar, chutar para o gol, interceptar e olhar para a bola. Todos esses comportamentos podem ser implementados facilmente utilizando a interface disponibilizada pelo módulo de controle de alto nível. O módulo de ações básicas serve como base para o módulo de posicionamento tático, que escolhe as melhores ações para cada robô dado seu papel e o estado do jogo. Os papéis que cada robô pode assumir são descritas a seguir.

A. Defesa

O robô defensor é responsável por evitar que o adversário marque um gol. O simples comportamento de reagir aos movimentos da bola garante uma relativa segurança na defesa, mas é recomendado atribuir algumas tarefas mais complexas ao goleiro, tais como antecipar a posição futura da bola e reagir aos movimentos do jogador adversário. Estratégias como seguir a coordenada ordenada da bola fornecem uma certa garantia de defesa, e esta estratégia é vastamente utilizada em vários outros trabalhos. Porém, em alguns casos, movimentos mais complexos desempenhariam melhor a função de defesa e possuem grande potencial de desencadear um contra ataque. Para ponderar tais possibilidades, a função de avaliação das soluções necessita analisar o comportamento da bola durante a partida. Isto é, são necessários parâmetros de velocidade e posição a fim de obter a trajetória da bola. Além disso, parâmetros como posição dos adversários podem fornecer informações para que o robô possa antecipar uma bola que esteja em direção ao gol. Com a trajetória da bola o robô poderá realizar movimentos para acompanhar o seu movimento, e por, fim

interceptá-la em um ponto externo ao gol. Nesta abordagem, são evoluídas as velocidades das rodas do robô defensor a fim de obter a melhor combinação que obedeça a função de avaliação descrita. Inicialmente as velocidades são evoluídas seguindo o modelo diferencial ideal do robô. Durante a execução de cada solução, é realizada a realimentação do sistema e o modelo diferencial é corrigido. Dessa forma, a função de avaliação torna-se mais precisa ao longo do tempo mesmo que ocorra mudanças no sistema físico do robô, como queda na tensão de alimentação ou imprevistos mecânicos.

B. Ataque

Os robôs atacantes devem trabalhar juntos a fim de manter a posse de bola e, eventualmente, marcar o gol. Para executar esta tarefa os atacantes devem se posicionar de forma inteligente, coordenada e, quando com a posse de bola, devem evitar investidas do adversário para chegar ao gol e se possível utilizá-las como oportunidade de contra-ataque. Para simplificar a execução do desafio, usamos uma solução que minimiza o custo computacional e que, ao mesmo tempo, da flexibilidade às ações possíveis dos jogadores. Esse conjunto foi encontrado no uso da estratégia evolutiva do tipo (1+1) aplicada na otimização das velocidades nas rodas do robô [7]. A estrutura do algoritmo dos atacantes se assemelha à usada no defensor, se diferenciando somente na função de seleção. Para a concepção da função seletiva dos atacantes foi criado um campo potencial local, em uma área limitada nas proximidades do jogador, gerando uma base para as ações e reações com o ambiente. Nesse raio de visão, o jogador reage aos objetos dependendo da sua natureza. A bola possui um campo espiral que converge para uma posição atrás da mesma, este campo tem o intuito de melhorar o controle e a posse de bola dos atacantes. Já os robôs adversários produzem um campo de repulsão circular, planejado para facilitar situações de drible [7]. As características dos campos potenciais podem ser observadas nas figuras 13 e 14.

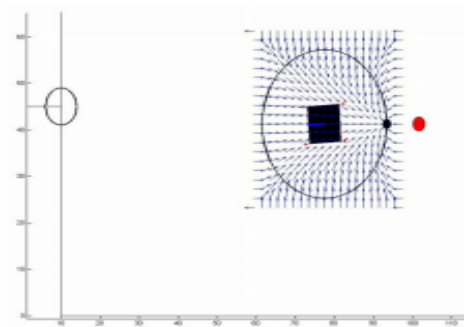


Fig. 13: Modelo diferencial aplicado ao robô.

Utilizando dessa técnica na função seletiva, juntamente com a distância entre o jogador e o objetivo, temos uma estratégia básica de buscar a bola e levar ao gol evitando o goleiro adversário, com uma consciência reativa ao meio, como pode ser visto na Figura 14.

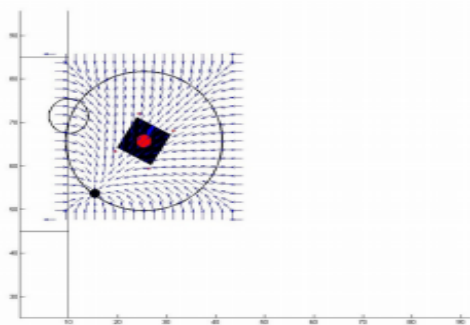


Fig. 14: Modelo diferencial aplicado ao robô (defesa).

V. CONCLUSÃO

Os resultados da aplicação dos métodos e técnicas apresentadas aqui estão sendo aprimorados mês após mês. O projeto do hardware vem sendo desenvolvido durante 4 anos e sofreu muitas mudanças de lá pra cá. Acredita-se que o novo controlador irá proporcionar um controle maior do robô bem como uma eficiência e durabilidade maior do robô.

As novas técnicas empregadas no sistema de visão computacional mostraram ótimos resultados visto que a quantidade de frames processados aumentou consideravelmente devido a técnica de janelamento e o novo sistema de tags diminuiu a complexidade do algoritmo. Isso além de proporcionar um processamento maior auxilia no controle do robô, de acordo com as instruções enviadas pela estratégia.

O sistema de estratégia está passando por melhorias e ao mesmo tempo o método antigo está sendo aprimorado. A utilização de navegação por Univector Field e algoritmos genéticos será utilizada para criação de modos de funcionamento dos robôs.

Neste sentido, visou-se mostrar aqui as principais partes e divisões do projeto Very Small Size Soccer Team do Núcleo de Robótica Pequena Mecânica do Instituto de Informática. Como o projeto ainda está em andamento pequenas mudanças podem acontecer.

REFERÊNCIAS

- [1] P. CBR ROBÓTICA (2017). Instituto Nacional de Estatística (2003). IEEE Very Small Size Soccer. Acesso em: 04 de julho de 2017. Disponível em: http://www.cbrobotica.org/?page_id=81&lang=pt.
- [2] B. B. S. MARTINS, ET ALL, "Tdp equipe Pequena Mecânica VSSS - Futebol de robôs 2016 - Categoria Very Small" Competição Brasileira de Robótica, Recife, 2016. Acesso em: 08/07/2017. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=14184>.
- [3] P. OPENCV. Acesso em: 29 de junho de 2017. Disponível em: <http://opencv.org/>.
- [4] R. E. KALMAN. A new approach to linear filtering and prediction problems. J. Basic Eng., vol. 82, no. 1, pp. 35–45, Mar. 1960.
- [5] S. F. R. ALVES, ET ALL. Carrossel Caipira, o time de futebol de robôs da UNESP.
- [6] A. ABRAHAM, ET ALL. Robot Soccer - Strategy Description and Game Analysis. Proceedings 24th European conference on Modelling and Simulation. Malaysia 2010.
- [7] S. F. R. ALVES, J. M. ROSÁRIO, H. FERASOLI FILHO, L. K. A. RINCÓN, R. A. T. YAMASAKI. Conceptual Bases of Robot Navigation Modeling, Control and Applications. Unicamp e USP, 2010.