



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



PROJETO ELETRÔNICO PARA UM ROBÔ HUMANOIDE AUTÔNOMO QUE JOGA FUTEBOL

MYRELLA ALVES BORDADO¹, ANDRÉ FELIPE DOS SANTOS CARAÍBA², LUCAS ÓLIVES², RUI GONÇALVES JUNIOR¹, ALVINO DE SOUZA LIMA NETO³, DIMITRIA PEREIRA SILVERIA⁴, ALISSON ASSIS CARDOSO⁵.

¹Engenharia de Computação, UFG, Goiânia-GO, myrellaalves@discente.ufg.br, ruioliveira@discente.ufg.br;

²Engenharia Elétrica, UFG, Goiânia-GO, andre caraiba@discente.ufg.br, lucas.olives@discente.ufg.br,

³Engenharia Física, UFG, Goiânia-GO, alvinolima@discente.ufg.br

⁴Eng^a. Eletricista, UFG, Goiânia-GO, dimistriasilveria.ds@gmail.com

⁵Dr. em Eng. Elétrica e Computação, Eng. Prof. Alisson Assis Cardoso, UFG, Goiânia-GO, alsnac@ufg.br

RESUMO: Neste artigo, foi apresentado o projeto eletrônico da robô humanoide Marta, desenvolvido pelo Núcleo de Robótica Pequeno Mecânico da Universidade Federal de Goiás, para a Competição Latino Americana de Robótica (LARC) de 2023. A equipe conquistou o terceiro lugar na categoria RoboCup Soccer Humanoid League, onde robôs humanóides jogam futebol de forma autônoma. O circuito projetado permitiu uma taxa de transmissão de dados de um milhão de bauds, respondendo às necessidades de comunicação em tempo real para ações como caminhar e chutar a bola. Além disso, a abordagem de barramentos separados para diferentes partes do robô otimizou o desempenho, garantindo uma maior velocidade na transmissão e envio de informações. A escolha de cada componente eletrônico e a configuração de hardware definida pelos membros da equipe foi crucial para uma operação em taxas tão elevadas, permitindo uma partida fluida e dinâmica de futebol.

PALAVRAS-CHAVE: Competições. Robótica. Componentes. Circuitos. Humanóide.

ELECTRONIC PROJECT FOR AN AUTONOMOUS HUMANOID ROBOT WHICH PLAYS SOCCER

ABSTRACT: In this article, the electronic project of the humanoid robot Marta was presented, developed by the Pequeno Mecânico Robotics Team of the Federal University of Goiás, for the 2023 Latin American Robotics Competition (LARC). The team won third place in the RoboCup Soccer Humanoid category League, where humanoid robots play soccer autonomously. The designed circuit allowed a data transmission rate of one million baud, answering real-time communication demands for actions such as walking and kicking the ball. Furthermore, the approach of separate buses for different parts of the robot optimized performance, ensuring greater speed in transmitting and sending information. The choice of each electronic component and the hardware configuration defined by team members was crucial for operation at such high rates, allowing for a fluid and dynamic football match.

KEYWORDS: Competitions. Robotics. Components. Circuits. Humanoid.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo na quantidade de eventos nacionais e internacionais com ênfase na área da robótica, como a Olimpíada Brasileira de Robótica, incentivando as pessoas a se inserirem neste contexto desde o ensino fundamental (OBR, 2007).

O núcleo de Robótica Pequeno Mecânico é um projeto desenvolvido por alunos da Universidade Federal de Goiás (UFG) cujo principal propósito é competir em diversas modalidades de robótica, tendo um foco maior na Competição Latino Americana de Robótica (*Latin American Robotics Competition - LARC*) (PEQUENO MECÂNICO, 2010).

A LARC representa a versão latino-americana da RoboCup, a maior competição de robótica do mundo, com inúmeras categorias, dentre elas a RoboCup Flying Robots Trial League, cujo



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO

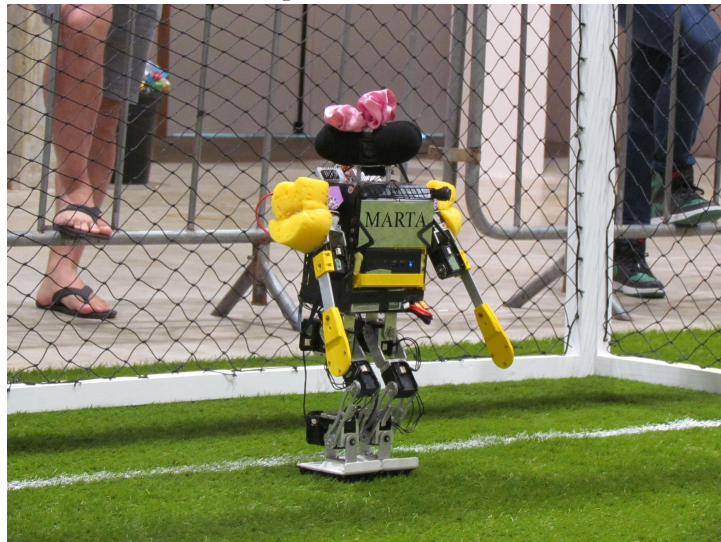


objetivo é o desenvolvimento de robôs aéreos (drones) capazes de inspecionar dutos e instalações (CBR, 2003).

Atualmente, o Pequi Mecânico participa nas seguintes categorias: RoboCup Flying Robots Trial League, RoboCup @Home, IEEE Very Small Size Soccer e RoboCup Soccer Humanoid League. A RoboCup Soccer Humanoid League engloba robôs humanoides, com estrutura física e percepção sensorial semelhantes a dos humanos, que jogam futebol de forma autônoma. O objetivo consiste em andar, correr, se desviar de outros robôs e chutar a bola dinamicamente, mantendo o equilíbrio, a percepção visual da bola, de outros jogadores e do campo. Nesta categoria, existem três classes de tamanho: KidSize (40-90 cm de altura), TeenSize (80-140 cm de altura) e AdultSize (130-180 cm de altura) (ROBOCUP,2002).

A equipe de Humanoide do Pequi Mecânico compete na classe de tamanho KidSize, visto a dificuldade de se projetar um robô humanoide de maiores proporções. Tal decisão implica em limitações na estrutura física do robô e, conseqüentemente, no hardware embarcado também, por conta do espaço disponível. Abaixo é possível visualizar uma imagem da robô humanoide Marta, desenvolvida pelos alunos da equipe.

Figura 1 – Robô Marta na competição latino americana de robótica de 2023.



Fonte: Autorial própria.

Um aspecto de extrema relevância no contexto de robótica autônoma é a necessidade de processamento e transmissão de informações em tempo real. O que implica que os robôs devem ser capazes de operar em frequências muito elevadas, de modo a garantir que não haja atrasos nas informações para suas ações. Nesse contexto, o desenvolvimento do projeto eletrônico do robô é de extrema importância, visto que independentemente da capacidade de um algoritmo de operar em frequências muito altas, o desempenho do robô depende diretamente da capacidade do hardware, limitando a taxa de quadros com que o algoritmo irá operar, como mostrado em (BORDADO et al., 2023).

Deste modo, o objetivo deste artigo é apresentar o projeto eletrônico da robô marta, desenvolvido pelos alunos da equipe Humanoide do Pequi Mecânico, para a LARC de 2023, realizada em outubro, na qual a equipe alcançou a terceira colocação na competição. O principal desafio encontrado está no circuito ser capaz de operar em uma taxa de comunicação de dados muito alta, como um milhão, para que não haja atraso durante a integração e comunicação de todas as portas, componentes e dispositivos. Portanto é importante analisar e projetar circuitos que operem em taxas de comunicação bem elevadas.



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, é apresentada e detalhada os componentes eletrônicos e mecânicos da robô Marta, com ênfase nos componentes eletrônicos.

Sensores

Sensores são componentes responsáveis pela percepção do ambiente físico nas suas mais variadas formas, ou seja, capturam informações do ambiente e essas informações serão processadas e enviadas para o microcontrolador lidar com as ações. Existem os sensores de imagem, que capturam imagens do ambiente através de uma câmera, comumente acoplada na parte superior do robô, simulando a cabeça dele. Existem também os sensores de posição, como os giroscópios, sensores de vibração chamados de acelerômetros, sensores de pressão, e magnetômetros que juntos integram o dispositivo unidade de medição inercial (IMU) (FAISAL,2019).

São utilizados no humanoide da equipe, uma câmera monocular Logitech C920 HD PRO e uma IMU do tipo BNO080, com acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. No entanto, é importante ressaltar que o módulo de magnetômetro é desativado visto que não é considerado uma percepção sensorial próxima a de um ser humano, exigência da categoria Humanoid como visto anteriormente. O robô utiliza a câmera para visualizar o ambiente juntamente com algoritmos de visão computacional e detectar objetos importantes tipo bola, gol, outros robôs, dentre outros.

O IMU é utilizado para retornar o feedback da posição da cabeça do robô em relação ao corpo, para o controle de cabeça em malha fechada. Ele também é utilizado para o cálculo da distância do robô até a bola através de geometria de câmeras. Informações que serão processadas em conjunto com o microcontrolador e os atuadores para a tomada de ação do robô.

Processadores

Processadores são circuitos que processam informações sem necessidade de armazenamento delas, visto que esse armazenamento é feito nos controladores, que será visto posteriormente. No entanto, processadores são utilizados em robôs na forma de mini-PC, ou seja, um equipamento que possui tanto processador quanto memória RAM e SSD e placa de vídeo gráfica (TOCCI, 2007).

No humanoide, utiliza-se o Intel Nuc com as seguintes especificações: 13º geração, com processador *quad-core* i7-1165G7@2.80GHz, com 16GB de memória RAM e placa de vídeo integrada Intel Iris Xe Graphics. Ele é utilizado principalmente para as tarefas de visão, que utilizam inteligência artificial para a detecção de objetos através do algoritmo YOLO, como foi feito por (BORDADO et al., 2023).

Controladores

Controladores são dispositivos que possuem um processador acoplado a algum tipo de armazenamento que processam e armazenam informações, com o objetivo de controlar a saída de um sistema dada às informações armazenadas. Assim, o controlador gerencia as tomadas de ações do robô, por exemplo, para que ele caminhe, o código de baixo nível da caminhada será gravado no armazenamento do controlador para então ser enviado pros atuadores executar os movimentos necessários pro robô andar (AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA, 2012).

Na Marta, foi utilizado o microcontrolador Teensy USB, versão 4.0, com um chip de processamento ARM Cortex-M7 de 32-bits e uma memória de armazenamento 1984K Flash, com 1024K de RAM. A Teensy é muito completa e compacta, permitindo uma enorme quantidade de informações recebidas de sensores a uma taxa de atualização muito rápida, o que torna seu uso ideal no contexto do humanoide. Neste projeto, utiliza-se os tipos de comunicação serial UART full duplex e I2C. Das 7 portas seriais, 3 são utilizadas atualmente no robô: uma para cada perna e a terceira para os braços em conjunto com a cabeça. Ela conta também com 3 portas do tipo I2C, onde uma está



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



sendo utilizada para uma unidade de medida inercial (IMU) que é utilizada na cabeça do robô para o feedback do controle da cabeça.

Atuadores

Atuadores são componentes que convertem energia elétrica em energia mecânica produzindo movimento. No sistema robótico em questão, esses movimentos são caminhar, correr, chutar, se levantar caso caia, procurar a bola no campo, etc. São capazes de operar com potências muito baixas e geralmente precisam de um regulador de tensão para ajustar a tensão de alimentação adequada para o atuador, com correntes e tensões que são compatíveis micro eletronicamente (por exemplo, TTL). Os atuadores executam ações a partir de comandos que são enviados por um controlador JANOCHA, 1992).

No projeto em questão, são utilizados 20 atuadores do tipo Dynamixel 28-AT com comunicação serial TTL Half Duplex assíncrona. O torque no qual ele opera depende da tensão com a qual ele está sendo alimentado, conforme mostra tabela abaixo:

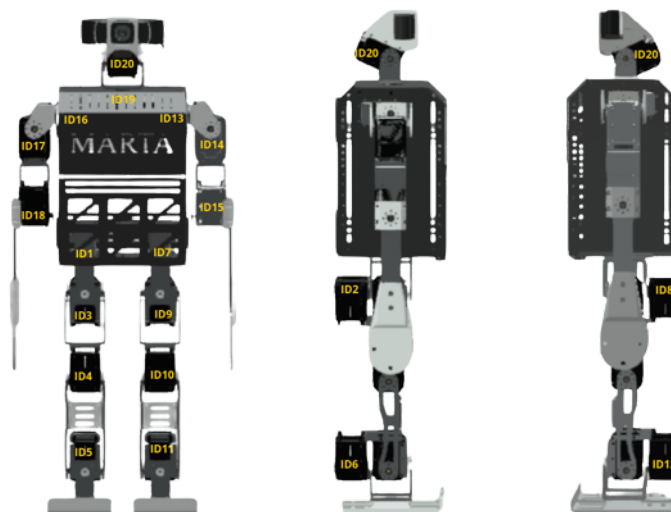
Tabela 1 – Relação entre os torques, tensões e correntes do Dynamixel MX-28AT.

Torque (N.m)	Tensão (V)	Corrente (A)
2,3	11,1	1,3
2,5	12	1,4
3,1	14,8	1,7

Fonte: ROBOTIS

A disposição dos atuadores pode ser visualizado abaixo, sendo: Perna esquerda - 6 atuadores conectados em série, Perna direita - 6 atuadores conectados em série, ambos os braços também possuem 6 atuadores no total conectados em série e, por fim, na cabeça do robô possuem 2 atuadores, também conectados em série, totalizando os 20 Dynamixels. Cada configuração foi colocada em um barramento serial.

Figura 2 – Disposição dos 20 atuadores na humanoide Marta.



Fonte: Autoria própria.



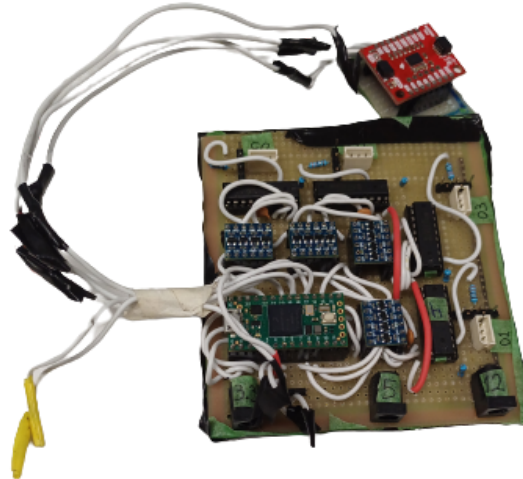
1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



Placa Eletrônica

As sessões anteriores descreveram de forma isolada os blocos de componentes presentes no projeto eletrônico da robô Marta, sem aprofundar na integração e comunicação de todo o circuito. Portanto, este tópico visa a integração do sistema eletrônico através da placa desenvolvida que está sendo mostrada na imagem abaixo.

Figura 3 – Placa eletrônica desenvolvida pela equipe de Humanoide do Pequi Mecânico.

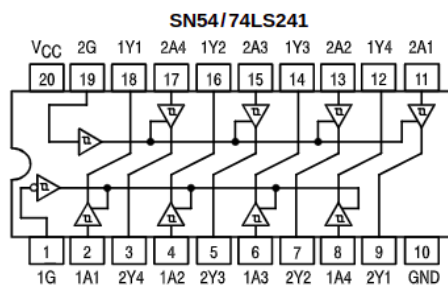


Fonte: Autoria própria.

A placa eletrônica projetada atua como uma interface para a comunicação entre os atuadores e o microcontrolador Teensy 4.0, empregando o protocolo de comunicação serial TTL half duplex. Nesse tipo de comunicação, os servos foram conectados em quatro barramentos de dados, um para a perna esquerda, direita, braços e cabeça. O circuito desempenha a função de converter a comunicação serial UART full duplex, que utiliza os padrões RX e TX para transmitir e receber dados, para um padrão de comunicação half duplex. Para realizar essa conversão de full duplex para half duplex foram utilizados circuitos integrados compostos por 8 buffers cada, com 3 estados de saída, sendo esses estados os níveis lógicos 0 e 1 já conhecidos, e um terceiro conhecido como estado de alta impedância, onde a saída não é nem alta (1) nem baixa (0). Esse tipo de buffer é muito utilizado quando deseja-se conectar vários sinais em um único pino, como ocorre nos barramentos, onde vários módulos compartilham as mesmas linhas para transmitir informações.

O CI utilizado foi o SN74LS241, mostrado na figura abaixo, para se ter apenas um sinal de dados de saída, que é como o TTL half duplex funciona. Esse CI foi escolhido por conta do valor e disponibilidade no mercado.

Figura 3 – Circuito Integrado de Buffers.



Fonte: ALLDATASHEET



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



Pinagem: O tx e o rx são conectados nos pinos 17 e 18, respectivamente, enquanto o pino de controle é conectado no pino 19 e no 1. Após isso, conecta-se o pino 2 ao 3 de forma que o pino 3 será o sinal de dados que será conectado no dynamixel. Todos os outros pinos A não utilizados foram aterrados, por diminuir o ruído no sinal de dados (recomendação do datasheet: 74ls241n_datasheet).

Funcionamento: Quando os pinos **G** estão no nível alto, o buffer passa dados dos inputs **A** para os outputs **Y**. Quando **G** está em nível baixo, os outputs ficam em estado flutuante. Sabendo que os pinos **G** controlam os inputs e outputs e notando que no pino 1 há um inversor, segue a lógica utilizada no CI: Quando o pino de controle da teensy manda um sinal alto, o pino 17 está enviando dados para o sinal de dados de saída, enquanto o pino 18 não está recebendo nada devido ao inversor que faz com que o pino 2 não esteja enviando dados. A mesma lógica acontece para o caso oposto. Dessa forma, o tx e rx enviam e recebem, respectivamente, informação apenas quando o outro está bloqueado, como uma comunicação ttl half duplex deve funcionar.

Adicionalmente aos buffers, foi necessária a utilização de 4 conversores de nível lógico, um para cada barramento, entre o buffer e o micro controlador, uma vez que o sinal usado nos barramentos de dados era de 5V e o sinal que a teensy opera é de 3.3V.

Resistores pull-up de $1k\Omega$ foram colocados para prevenir contra o estado flutuante quando **G** fosse ligado ou desligado em cada barramento serial. Esta resistência foi escolhida a partir de recomendação do datasheet do buffer, e através de experimentos, que diz que o valor mínimo para o resistor de pull up deve ser determinado a partir da “*current-sinking capability*” do driver (teensy). Esta propriedade é a capacidade do microcontrolador de drenar corrente de outros componentes do circuito. Sendo assim, o valor mínimo do resistor pull-up deve ser escolhido de tal forma que ele forneça uma corrente suficiente para superar esta propriedade do dispositivo de entrada, garantindo que a tensão no sinal de dados permaneça no nível lógico alto.

Por fim, capacitores de acoplamento de $0,1\mu F$ foram inseridos entre o 5V e o terra para atenuação de ruídos em altas frequências. E resistores de terminação de 33Ω no barramento de dados, para limitação da corrente e atenuação de sinais indesejados nesse barramento, como uma medida de proteção a curto-circuitos.

A placa também é responsável pela comunicação entre o microcontrolador e a IMU, sendo o protocolo de comunicação utilizado o I2C. Os pinos SDA e SCL do IMU são conectados aos respectivos pinos da Teensy, que alimenta com 5V essa conexão.

Fontes de alimentação

Foram utilizadas duas baterias de 2 células LIPO de 2400Mh em série que, quando carregadas, possuem uma tensão de 8,4V cada e de 16,8V em série. Em conjunto com as baterias, foram inseridos quatro reguladores de tensão, cujas especificações são: Conversor buck ajustável step up para regular de 16,8V para 19V, que é a tensão utilizada para alimentar o mini PC Intel Nuc. Esse conversor possui 400W de potência e suporta uma corrente de até 15A. Conversor buck ajustável step down para regular de 16,8V para 15,5V, cuja tensão alimenta os atuadores. Possui 300W de potência e suporta uma corrente de até 20A. Regulador de tensão LM2596 de 12V para 5V, que alimenta os buffers, os conversores lógicos e o pino de dados do dynamixel. Por fim, o mesmo regulador de tensão LM2596 de 12V para 3,3V que não serve para alimentar nenhum componente específico, mas é necessário as conexões para os conversores lógicos funcionarem.

Para finalizar, foram adicionados três fusíveis: um entre as baterias e os conversores buck, um para a NUC e o terceiro para o dynamixel, que suporta 15A, 7,5A, 10A, respectivamente, para proteção contra curtos-circuitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O projeto eletrônico foi capaz de desempenhar a uma taxa de transmissão de dados de um milhão na comunicação serial, o que era o objetivo da equipe ao desenvolver o circuito, visto que para um robô caminhar, chutar, procurar a bola, dentre outras ações que ele precisa desempenhar durante a



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO

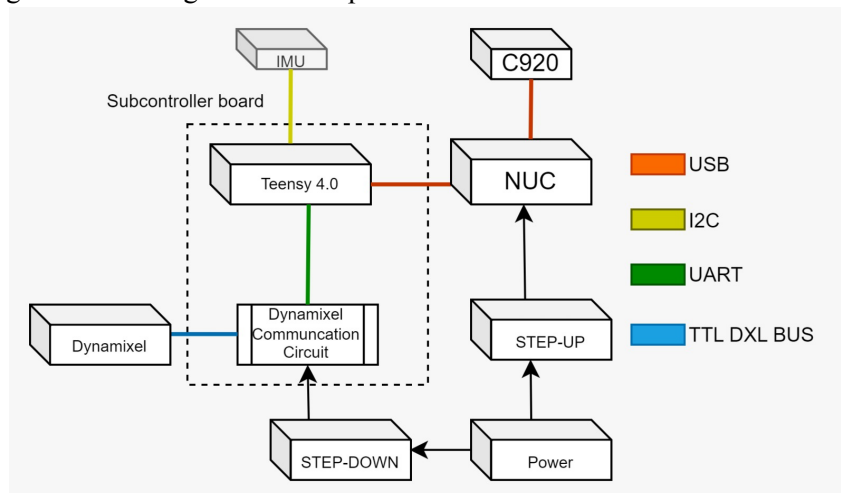


partida, a velocidade com a qual todas essas informações são transmitidas, enviadas e integradas precisa ser muito alta. Como 1 milhão já supriu a equipe, o circuito não foi testado para taxas superiores.

Um resultado interessante que a equipe obteve é que, inicialmente, iria ser utilizado uma comunicação em cadeia onde todos os servos compartilham do mesmo barramento de dados. Por conta da alta quantidade de servos conectados ao mesmo barramento, foi observado que havia sobrecarga no barramento. E, existem situações, como a caminhada do robô, que todos os 20 servos precisam operar simultaneamente, sem atraso de comunicação para que o robô não perca o equilíbrio e caia. Dessa forma, surgiu a necessidade de ampliar o número de comunicações seriais. Em vez de realizar tudo por um único barramento, foram feitos em 4 barramentos distintos. Um para os servos da perna esquerda, direita, braços e cabeça. Para realizar isso, foi necessário a utilização de um micro controlador que possuísse mais canais de comunicação serial, onde foi utilizada a teensy 4.0.

É possível ver todo o hardware do robô na imagem abaixo por uma visão macro, desde a câmera C920, o mini PC NUC, os reguladores de tensão, até a bateria, juntamente com a placa projetada, os dynamixels e a IMU. Por fim, um ponto importante a se observar é que mesmo o datasheet do dynamixel falando que a tensão máxima que ele atua é 14,8V, atualmente a equipe alimenta com 15,5V, o que permitiu um maior torque e uma maior resistência dos servos aos movimentos .

Figura 4 – Visão geral dos componentes eletrônicos e de hardware da Marta.



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o projeto eletrônico da robô humanoide Marta do Núcleo de Robótica Pequena Mecânica, que foi projetado para a competição LARC de 2023 na qual a equipe obteve o terceiro lugar na categoria RoboCup Soccer Humanoid League.

O objetivo do desenvolvimento dessa placa era atingir taxas de comunicações altas o suficientes que permitissem o robô a operar uma série de ações como caminhar, chutar a bola, em tempo real sem atraso na transmissão e envio de informações. Esse objetivo foi alcançado visto que o circuito opera na taxa de baud de um milhão, no entanto, o circuito não foi testado para taxas superiores.

Como objetivos futuros, o grupo deseja aprimorar tanto a estrutura física quanto a eletrônica do robô para a edição da LARC em 2024. Incluindo os testes para dois a quatro milhões de *baud rate*. Além de projetar a divisão das seriais para cada braço e cabeça visando otimizar mais a velocidade de processamento. Por fim, está em estudo a inserção de mais uma IMU no torso do robô para capturar o feedback da caminhada e corrigir a trajetória da mesma.



1º PRÊMIO CREA-GO DE DESTAQUE ACADÊMICO



REFERÊNCIAS

- ALLDATASHEET. SN74LS241N Datasheet. 2016. Disponível em:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/5686/MOTOROLA/SN74LS241N.html>.
Acesso em 25 de outubro de 2023.
- AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA. Sensores, Atuadores e Unidades de Controle. 2012. Disponível em
<http://automacaoerobotica.blogspot.com/2012/07/sensores-e-atuadores-aplicados-robotica.html>.
Acesso em: 24 de outubro de 2023.
- BORDADO, M.; SILVERIA, D.; LAUREANO, G. Ball Detection and Tracking with different Embedded Systems in the RoboCup Soccer Context. In: Latin American Robotics Symposium. 2023.
- CBR. Competição Brasileira de Robótica. 2003. Disponível em: <https://www.cbrobotica.org/>. em 22 de outubro de 2023.
- FAISAL, I.A., PURBOYO, T.W., ANSORI, A. A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture. In: ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019.
- JANUCHA, H. Actuators Basics and Applications. 1. ed. 1992.
- OBR. Olimpíada Brasileira de Robótica. 2007. Disponível em: <https://www.obr.org.br/>.
Acesso em 24 de outubro de 2023.
- PEQUI MECÂNICO. Pequi Mecânico. 2010. Disponível em: <https://www.pequimecanico.com.br/>.
Acesso em 22 de outubro de 2023.
- ROBOCUP. RoboCup Humanoid League. 2002. Disponível em: <https://humanoid.robotcup.org/>.
Acesso em 22 de outubro de 2023.
- ROBOTIS. Dynamixel MX 28AT. 2012. Disponível em:
<https://manual.robotis.com/docs/en/dxl/mx-28/>. Acesso em 25 de outubro de 2023.
- TOCCI, R.J., WIDMER, N.S., MOSS, G.L. Sistemas Digitais Princípios e Aplicações, Pearson Prentice Hall, 10ª Edição, 2007, ISBN 978-85-7605-095-7.