

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROPOSTA DE PROJETO DE GRADUAÇÃO**



RAPHAEL SILLER FACHIM

**CONTROLADOR DE BAIXO NÍVEL PARA O ROBÔ MÓVEL
UNICICLO MARIA-T21**

VITÓRIA
2021

RAPHAEL SILLER FACHIM

CONTROLADOR DE BAIXO NÍVEL PARA O ROBÔ MÓVEL UNICICLO MARIA-T21

Parte manuscrita da Proposta de Projeto de Graduação do(a) aluno(a) **Raphael Siller Fachim**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para aprovação na disciplina ELE08552 – Projeto de Graduação I.

Profa. Dra. Carla C.M. Cunha
Coordenadora de Projeto de Graduação

Profa. Dra. Eliete Maria de Oliveira
Caldeira
Orientador(a)

Raphael Siller Fachim
Aluno(a)

RESUMO

O projeto do robô móvel MARIA (*Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistic*) e sua segunda versão N-MARIA (do inglês N para *New*) têm como objetivo auxiliar profissionais em terapias com crianças com transtorno do espectro autista. Outra versão, chamada MARIA-T21, está sendo desenvolvida, e inclui interação com crianças com síndrome de Down (referindo-se à Trissomia do cromossomo 21 ou Trissomia 21). Este trabalho tem como objetivo implementar um controlador de posicionamento do robô móvel MARIA-T21, a partir de conceitos e teorias já aplicadas em trabalhos existentes na literatura. Portanto, trata-se de uma aplicação específica da teoria sobre o modelo da MARIA-T21, considerando suas características construtivas e suas necessidades quanto à disponibilidade de dados advindos do controlador. Serão implementados, em baixo nível, tanto os controladores dos motores de tração independentes do robô, quanto o controlador responsável por fazê-lo alcançar o destino final. Além disso, será realizada a integração dos dados de entrada e saída dos controladores com o sistema operacional atuante no robô. Quanto à metodologia, este trabalho é classificado com uma pesquisa aplicada, de cunho explicativo e com procedimentos técnicos de pesquisa experimental, tomando a abordagem quantitativa dos resultados obtidos. Ao final do trabalho, espera-se obter um controlador que realize as tarefas de posicionamento da MARIA-T21 com alto grau de confiabilidade e precisão adequada, a ser definida. Além disso, o sistema final de controle de posicionamento deverá operar de forma integrada com os demais subsistemas do robô.

Palavras-chave: Controle de posicionamento. Confiabilidade. Precisão. Integrada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Modelo do robô unicycle

8

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Cronograma de execução das atividades

14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
NTA	Núcleo de Tecnologias Assistivas
MARIA	<i>Mobile Autonomous Robot for Interaction with Autistic</i>
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
ROS	<i>Robot Operating System</i>

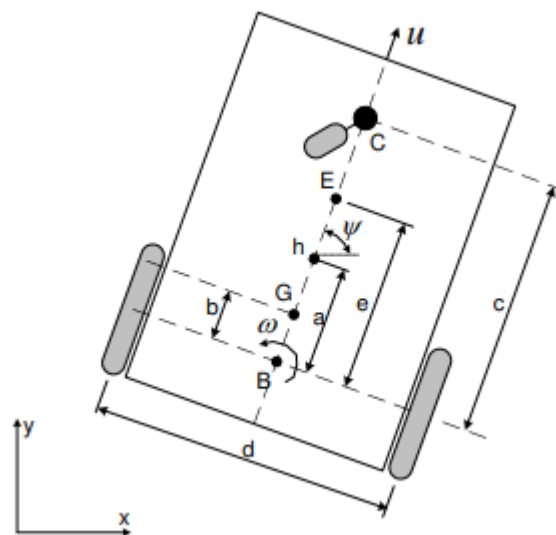
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVAS	8
3	OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS	8
3.1	Objetivo geral	8
3.2	Objetivo específico	8
4	REFERENCIAL TEÓRICO	9
4.1	Modelagem cinemática do robô móvel	9
4.2	Lei de controle e estabilidade	9
4.3	Controlador do conjunto motor-roda	10
4.4	Odometria	10
4.5	Sistema Operacional	11
5	METODOLOGIAS E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	11
5.1	Metodologia	11
5.2	Etapas de desenvolvimento	12
6	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	12
6.1	Descrição das atividades	12
6.2	Cronograma de execução	13
7	ALOCÇÃO DE RECURSOS	13
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1 INTRODUÇÃO

A utilização de robôs na área da saúde vem evoluindo ao longo do tempo. O robô autônomo assistivo MARIA-T21 está sendo desenvolvido no Núcleo de Tecnologias Assistivas (NTA) a fim de dar suporte a profissionais em terapia com crianças com transtorno do espectro autista ou síndrome de Down. Visando obter maior interação com os usuários, MARIA-T21 foi projetado como um robô móvel do tipo uniciclo, ou seja, se movimenta através de dois conjuntos motor-roda, controlados de forma independente, proporcionando dessa forma, a possibilidade de se mover entre dois pontos, além de também poder girar em torno do próprio eixo perpendicular ao plano de movimento.

Figura 1- Modelo do robô uniciclo



Fonte: Martins, F. (2009)

O movimento do robô uniciclo é dado quando se ativa um, ou os dois motores das rodas. Os motores serão controlados por sinais PWM enviados pelo microcontrolador, que varia a tensão média sobre os motores e consequentemente sua velocidade. Porém, para que sejam desempenhadas as tarefas requeridas, deve haver a certeza de que o comando enviado se traduza no movimento esperado por parte do robô. Com o propósito de garantir a precisão do movimento e do posicionamento da MARIA-T21, neste trabalho será realizado um controlador de baixo nível que gere os sinais adequados para a realização das tarefas de posicionamento desejadas. O sistema de odometria será implementado a fim de gerar os parâmetros de pose do robô (posição e *heading*), e velocidades linear e angular. Consolidada esta etapa, será

desenvolvido o controlador responsável por posicionar o robô de forma confiável e grau de precisão aceitável. Finalmente, será realizada a integração entre o subsistema de controle de posicionamento e os demais subsistemas da MARIA-T21.

2 JUSTIFICATIVAS

O controlador a ser desenvolvido é de suma importância para o desenvolvimento das funcionalidades do robô MARIA-T21. Algumas das funcionalidades são os jogos sérios elaborados para o auxílio do aprendizado e desenvolvimento da criança assistida. Esses jogos podem requerer o deslocamento e posicionamento do robô. Até a implementação do controlador proposto neste trabalho, o movimento da MARIA-T21 será realizado de maneira não autônoma, por meio de teclado ou *joystick*, o que limita o escopo de aplicações do robô, reduzindo a interação com o usuário. Após a concepção do controlador adequado será possível, através de comandos simples, posicionar o robô de forma automática e precisa, para que as demais tarefas possam ser realizadas.

3 OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

A proposta desse trabalho é desenvolver os subsistemas necessários para a implementação do controle de posicionamento e, em seguida, o próprio controle de posicionamento do robô móvel MARIA-T21.

3.1 Objetivo geral

O objetivo central consiste na implementação do controle de posicionamento da MARIA-T21, a fim de garantir a autonomia da movimentação do robô.

3.2 Objetivo específico

Com os objetivos específicos, espera-se:

1. Garantir a velocidade desejada nos eixos dos motores de tração;
2. Garantir os parâmetros: postura, e velocidades linear e angular do robô;
3. Realizar odometria, e minimizar os erros desse processo;
4. Posicionar o robô móvel no objetivo, respeitando um limite de erro;

5. Implementar a interface que receberá os comandos de posicionamento, e retornará as informações de pose, velocidades linear e angular, e posição do robô.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção serão apresentados os conceitos teóricos relevantes para as etapas de desenvolvimento do projeto. Para o desenvolvimento do controlador de posicionamento, deverá ser realizada uma modelagem do sistema a fim de reconhecer os parâmetros de distância e orientação do robô em relação ao seu objetivo. Além disso, uma lei de controle deve ser aplicada para reduzir o erro de posição a um limiar aceitável. No nível de controle das rodas, deve se aplicar um controlador a cada conjunto motor-roda, visando garantir que a saída de velocidade do sistema seja coerente com a entrada de referência. O sistema de odometria deverá retornar de forma confiável a posição do robô nas coordenadas de referência. Finalmente, os dados de posição deverão ser retornados ao sistema da MARIA-T21 para que as atividades subsequentes do robô possam ser tomadas.

4.1 Modelagem cinemática do robô móvel

A tarefa de posicionamento de robôs móveis foi amplamente estudada, e foram propostos diferentes métodos para atingir o mesmo propósito: fazer com que o robô saia de um ponto de partida e atinja uma posição final desejada. Métodos baseados em cinemática direta (MALU; MAJUMDAR, 2014) e cinemática inversa (MAULANA; MUSLIM; SAINURI, 2014) são recorrentes nessa área. Pela simplicidade do ambiente em que o robô MARIA-T21 deve atuar (ausência de obstáculos e superfície de rolagem plana), o método baseado em cinemática direta se torna atraente, e será desenvolvido neste trabalho. O método define os parâmetros físicos da posição do robô a serem alterados pelo controlador, visando atingir a posição final com uma margem de erro a ser definida. Os parâmetros são a distância entre o robô móvel e seu objetivo, e o ângulo da reta que os une, em relação a um eixo global de referência.

4.2 Lei de controle e estabilidade

A fim de garantir a meta de posicionamento, uma lei de controle deve ser imposta. Malu e Majumdar (2014) propuseram um controlador baseado na teoria de estabilidade de Lyapunov. A função de controle aplicada à planta deverá ser de caráter positiva definida e com derivada

negativa nas trajetórias do sistema dinâmico, assegurando estabilidade em torno do ponto zero (BARBAZELLI, 2005). Assim, será garantido um controlador estável e capaz de atingir a meta em tempo hábil, considerando a simplicidade do ambiente.

4.3 Controlador do conjunto motor-roda

A etapa de desenvolvimento que serve de base para o controle de posicionamento da MARIA-T21 consiste em garantir a rolagem adequada dos dois conjuntos motor-roda, controlados independentemente. Deve-se controlar os motores de modo que o sinal elétrico aplicado reproduza um movimento previsível e fidedigno. Para tanto, Malu e Majumdar (2014) e Win e Myint (2016) propuseram sistemas realimentados e usando controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID). O método de ajuste de parâmetros do controlador PID tomará em conta a caracterização da planta. As características construtivas e elétricas do motor, e a influência da carcaça da MARIA-T21 sobre este serão estudadas a fim obter o modelo da planta.

4.4 Odometria

As coordenadas das posições da MARIA-T21 ao longo do tempo devem ser conhecidas, e podem calculadas com base nas medições dos sensores ópticos acoplados nos eixos dos motores de tração. A leitura dos sensores permite calcular o ângulo de giro das rodas e, tendo conhecimento do raio das mesmas, é possível calcular as distâncias percorridas por cada uma delas. Integrando as distâncias, é possível inferir a pose do robô, em relação a um referencial global. Além disso, é possível calcular velocidades linear e angular a partir dos dados de deslocamento, se medido o tempo.

A técnica de odometria é amplamente utilizada, pois requer sensores de menor custo, admite maior taxa de amostragem e uma boa precisão em um espaço de tempo curto. Porém, esta técnica de obtenção de dados se baseia no acúmulo de dados obtidos através dos sensores, o que pode levar a uma soma de erros, ocasionando estados indesejados no posicionamento final do robô (BORENSTEIN et al., 1996).

4.5 Sistema Operacional

A integração do sistema de navegação com o restante dos sistemas da MARIA-T21 será realizada pelo uso do sistema operacional ROS (*Robot Operating System*). O sistema é um *framework* e possui uma variedade de ferramentas e bibliotecas que auxiliam no desenvolvimento de várias classes de robôs, como drones e robôs terrestres. Os parâmetros pertinentes para demais tarefas do robô serão disponibilizados aos controladores de alto nível através desse *framework*, no qual outras funções podem ser integradas.

5 METODOLOGIAS E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Nessa seção serão apresentadas a metodologia e as etapas de desenvolvimento do projeto, tendo em vista o apresentado na seção anterior.

5.1 Metodologia

Seguindo a classificação proposta por Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa desenvolvida por este trabalho pode ser classificada como pesquisa aplicada, do ponto de vista de sua natureza, pois trata-se da solução de um problema específico, e envolve interesses locais. Do ponto de vista dos seus objetivos, a pesquisa é classificada como explicativa, já que será feito uso de métodos experimentais, análise e registro dos fenômenos estudados. A classificação do ponto de vista dos procedimentos técnicos é dada como pesquisa experimental, visto que foi determinado um objeto de estudo, e serão selecionadas as variáveis capazes de influenciá-lo, manipulando-as de forma sistemática objetivando alcançar o padrão requerido. Já do ponto de vista da forma de abordagem do problema, o trabalho em questão é classificado como pesquisa quantitativa, pois é possível traduzir em números os resultados obtidos, sendo possível inferir o quão útil foi a aplicação do trabalho.

O projeto se desenvolverá com a aplicação dos conceitos apresentados na Seção 4, com a realização de testes específicos para cada bloco do sistema, que são: controlador das rodas, odometria, controlador de posicionamento e comunicação entre os sistemas controlados e o sistema operacional do robô MARIA-T21. Os testes serão realizados de forma que o posterior integre o anterior, para que não haja disparidades no processo.

5.2 Etapas de desenvolvimento

A primeira etapa de desenvolvimento consiste em desenvolver os controladores dos conjuntos motor-roda. Para tanto, é necessário avaliar as características elétricas e construtivas dos motores, além de quantificar a influência da massa e dimensões da MARIA-T21 sobre o torque nos eixos dos motores, e então propor os coeficientes dos controladores. Além disso, a realimentação da planta em questão deverá ser feita utilizando o sensor óptico, que deve ser devidamente acoplado e calibrado. Testes deverão ser realizados para confirmar a eficácia dos controladores.

A próxima etapa será aplicar a modelagem cinemática e então propor a equação do controlador adequada, baseada na teoria de Lyapunov. O erro mínimo deverá ser estipulado, e testes de posicionamento deverão ser realizados.

Por fim, deverá ser configurada a interface que gerencia os dados que deverão ser entregues ao controlador de posicionamento para que ele realize o movimento, e este então retornará os parâmetros pertinentes ao controlador de mais alto nível.

6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Essa seção será utilizada para a apresentação das atividades e do cronograma elaborado pelo autor para a realização das mesmas.

6.1 Descrição das atividades

- **Atividade A:** Análise detalhada do projeto MARIA-T21;
- **Atividade B:** Estudo do desenvolvimento dos controladores dos motores de tração;
- **Atividade C:** Aplicação do controlador PID;
- **Atividade D:** Testes de confiabilidade e ajustes dos parâmetros;
- **Atividade E:** Estudo e modelagem do controlador de posicionamento;
- **Atividade F:** Desenvolvimento do controlador de posicionamento;
- **Atividade G:** Aplicação, testes e ajustes do controlador proposto;

- **Atividade H:** Integração do sistema de controle de posicionamento com os demais sistemas da MARIA-T21;
- **Atividade I:** Escrita do relatório final;
- **Atividade J:** Defesa do Projeto de Graduação.

6.2 Cronograma de execução

Definidas as atividades, nessa subseção será apresentado o cronograma previsto para a realização destas, tendo em vista o período de tempo disponível.

O projeto terá a duração de aproximadamente três meses, conforme mostrado no Quadro 1. A data de início será dia 14 de maio de 2021, com previsão de término em 20 de setembro de 2021.

Quadro 1- Cronograma de execução das atividades

Meses	Junho 2021				Julho 2021				Agosto 2021				Setembro 2021			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Atividade A																
Atividade B																
Atividade C																
Atividade D																
Atividade E																
Atividade F																
Atividade G																
Atividade H																
Atividade I																
Atividade J																

Fonte: Produção do próprio autor.

7 ALOCAÇÃO DE RECURSOS

Nessa seção serão abordados os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

As atividades serão realizadas nos equipamentos do próprio autor. São eles: um *desktop* com processador Intel i5, 8GB de memória RAM e 1TB de armazenamento em disco rígido, e um *laptop*, com processador Intel i5, 8GB de memória RAM e 240GB de armazenamento em disco de estado sólido.

As ferramentas necessárias para desenvolvimento dos controladores são de licença gratuita, ou adquiridas pelo autor, sendo elas: Sistema Operacional Windows 10, IDE de desenvolvimento do Arduino e pacote Office completo.

Os demais equipamentos e ferramentas necessárias para a execução do projeto serão de licença do NTA, responsável pelo projeto da MARIA-T21, ou adquiridos pelo próprio autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MALU, S. K.; MAJUMDAR, J.; *Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot. The Global Journal of Researches in Engineering*. [s. l.], vol. 14, n. 1, nov. 2014. Disponível em: <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/1233>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MYINT, C.; WIN, N. N.; *Position and Velocity control for Two-Wheel Differential Drive Mobile Robot. International Journal of Current Engineering and Technology*. [s. l.], vol. 5, n. 9, p. 2849-2855, set. 2016. Disponível em: <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2016/09/IJSETR-VOL-5-ISSUE-9-2849-2855.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2021.

MAULANA, E.; MUSLIM, A. M.; ZAINURI, A.; *Inverse Kinematics of a Two-Wheeled Differential Drive an Autonomous Mobile Robot. In: Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*. 2014. Malang. **Proceedings** [...]. Malang: IEEE, 2014. p. 93-98. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7003726>. Acesso em: 19 abr. 2021.

SALEM, F. A.; *Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots. International Journal of Current Engineering and Technology*. [s. l.], vol. 3, n. 2, p. 253-263, jun. 2013. Disponível em: <https://inpressco.com/kinematics-and-dynamic-models-and-control-for-differential-drive-mobile-robots/>. Acesso em 19 abr. 2021.

BORENSTEIN, J.; EVERETT, H. R.; FENG, L.; WEHE, D.; *Mobile Robot Positioning: Sensors and Techniques. Journal of Robotic Systems*. Nova Jersey, v. 14, p. 231-239, dez. 1998. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291097-4563%28199704%2914%3A4%3A%3AAID-ROB2%3E3.0.CO%3B2-R>. Acesso em: 19 abr. 2021.

STACHNISS, J. R. C.; PFAFF, C. S. P.; BURGARD, G. D. T. W.; *On the Position Accuracy of Mobile Robot Localization based on Particle Filters Combined with Scan Matching. In: International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012, Algarve. Proceedings* [...].

IEEE/RSJ, 2012. p. 3158-3164. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6385988>. Acesso em: 19 abr. 2021.

BARBAZELLI, R. C.; **Estudo de Funções de Lyapunov para a Estabilidade de Sistemas de Potência**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/147-dissertacao_regiani_crystina_barbazelli.pdf. Acesso em: 19 abr. 2021.

MARTINS, F. N.; **Modelagem e Compensação da Dinâmica de Robôs Móveis e sua Aplicação em Controle de Formação**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/9704>. Acesso em: 19 abr. 2021.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Freevale, 2013.