

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDREY FABRIS

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS POR MEIO
DE BLUETOOTH 5.1 UTILIZANDO RSSI E AOA.**

CURITIBA

2024

ANDREY FABRIS

**SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS POR MEIO
DE BLUETOOTH 5.1 UTILIZANDO RSSI E AOA.**

**Indoor positioning system using RSSI and AoA from Bluetooth 5.1
Direction Finding.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Elétrica” – Área de Concentração: Automação e Sistemas de Energia.

Orientador: Ohara Kerusauskas Rayel

Coorientador: João Luiz Rebelatto

CURITIBA
2024

Dedico esse trabalho à minha família, que sempre me apoiou e incentivou aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Diversas pessoas contribuíram para tornar possível o desenvolvimento desta dissertação, dentre as quais ficam meus agradecimentos:

Ao professor orientador, Dr. Ohara Keusauskas Rayel, e coorientador, Dr. João Luiz Rebelatto, que desde o início acompanharam e deram toda a ajuda necessária para a elaboração deste trabalho.

Aos professores do PPGSE e demais departamentos de Pós-Graduações de UTFPR, que através de seus ensinamentos permitiu que obtivesse todos os conhecimentos para estar concluindo este trabalho e o mestrado.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por possibilitar o ingresso ao programa de pós-graduação e dispor de toda a estrutura para seus alunos alcançarem todo o conhecimento desejado.

Aos familiares, por todo o apoio durante os momentos de estudos e motivação para que alcançássemos nossos sonhos.

Aos amigos, pelos momentos de lazer e trocas de informação e materiais em demonstrações de amizades.

E a todas as pessoas que fizeram parte direta ou indiretamente em minha formação, meu muito obrigado.

"Strive for perfection in everything you do. Take the best that exists and make it better. When it does not exist, design it.- Sir Henry Royce

RESUMO

FABRIS, Andrey. **Sistema de localização em ambientes internos por meio de bluetooth 5.1 utilizando RSSI e AoA..** 2024. 18 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

Dentre as diversas técnicas de radiofrequência utilizadas para obtenção de localização, como Received Signal Strength Indication (RSSI), Time of Flight (ToF) e Angle of Arrival (AoA), que são combinadas com algoritmos para determinar o posicionamento de um alvo em ambientes internos, o AoA vem ganhando interesse desde sua incorporação ao Bluetooth Low Energy (BLE) 5.1, devido à sua precisão, baixo consumo de energia, baixo custo e facilidade de implementação. Este trabalho tem como objetivo reduzir o erro de posição estimada de um alvo através da multilateração baseada em RSSI, bem como a posição estimada usando AoA e RSSI empregando filtros estocásticos, e propor um sistema com maior precisão usando a saída filtrada combinada de ambas as técnicas. Assim, será possível ter um sistema de posicionamento interno (IPS) BLE 5.1 ??mais preciso e eficiente em comparação com outras técnicas utilizadas, que pode ser utilizado para localizar pessoas e bens em ambientes internos com baixo erro de estimativa. Para atingir esse objetivo, este trabalho utilizará um banco de dados de medições reais de RSSI e AoA de um nó alvo BLE 5.1 ??e um conjunto de antenas em um ambiente de 13,8x8m, fornecido pela comunidade acadêmica, e aplicará o Filtro de Kalman ao algoritmo de localização para reduzir o erro de estimativa. Os erros serão calculados utilizando o Root Mean Square Error (RMSE), e os resultados serão comparados com os da literatura. Espera-se alcançar alta precisão na estimativa da localização de um alvo usando RSSI e AoA e o sistema combinado proposto alcançará um erro de localização menor do que sistemas separados. A técnica de localização indoor apresentada neste trabalho pode ser utilizada para substituir IPS de alto custo ou baixa precisão em diversas aplicações nas indústrias, saúde, comércio, logística, entre outras áreas..

Palavras-chave: Localização interna. Bluetooth. Filtro de Kalman. Ângulo de Chegada.

ABSTRACT

FABRIS, Andrey. **Indoor positioning system using RSSI and AoA from Bluetooth 5.1 Direction Finding..** 2024. 18 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

Among the various radiofrequency techniques used for obtaining location, such as Received Signal Strength Indication (RSSI), Time of Flight (ToF), and Angle of Arrival (AoA), which are combined with algorithms to determine the positioning of a target in indoor environments, AoA has been gaining interest since its incorporation into Bluetooth Low Energy (BLE) 5.1, due to its precision, low energy consumption, low cost, and ease of implementation. This work aims to reduce the estimated position error of a target through multilateration based on RSSI, as well as the estimated position using AoA and RSSI employing stochastic filters, and to propose a system with improved accuracy by using the combined filtered output of both techniques. Thus, it will be possible to have a more precise and efficient BLE 5.1 indoor positioning system (IPS) compared to other techniques used, which can be used to locate people and assets in indoor environments with low estimation error. To achieve this goal, this work will use a database of real RSSI and AoA measurements from a BLE 5.1 target node and a set of antennas in a 13.8x8m environment, provided by the academic community, and apply the Kalman Filter to the localization algorithm to reduce estimation error. Errors will be calculated using the Root Mean Square Error (RMSE), and the results will be compared with those in the literature. It is expected to achieve high accuracy in estimating the location of a target using RSSI and AoA and the proposed combined system will achieve a lower location error than separate systems. The indoor localization technique presented in this work can be used to replace high-cost or low-precision IPS in several applications in industries, healthcare, commerce, logistics, and other areas.

Keywords: Indoor Positioning. Bluetooth. Kalman Filter. Angle of Arrival

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Exemplo de uma figura	14
----------	---	-----------------------	-------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Exemplo de uma tabela	15
----------	---	-----------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

PPGSE	Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	comprimento de onda
v	velocidade
f	frequência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	FIGURAS	14
2.2	TABELAS	14
2.3	EQUAÇÕES	15
2.4	SIGLAS E SÍMBOLOS	15
3	CONCLUSÃO	16
	Apêndice A – NOME DO APÊNDICE	17
	Anexo A – NOME DO ANEXO	18

1 INTRODUÇÃO

O presente documento é um exemplo de uso do estilo de formatação \LaTeX elaborado para atender às Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos da UTFPR. O estilo de formatação `normas-utf-tex.cls` tem por base o pacote $\text{ABN}\text{\TeX}$ – cuja leitura da documentação (??) é fortemente sugerida – e o estilo de formatação \LaTeX da UFPR.

Para melhor entendimento do uso do estilo de formatação `normas-utf-tex.cls`, aconselha-se que o potencial usuário analise os comandos existentes no arquivo \TeX (`modelo_*.tex`) e os resultados obtidos no arquivo PDF (`modelo_*.pdf`) depois do processamento pelo software \LaTeX + $\text{BIB}\text{\TeX}$ (????). Recomenda-se a consulta ao material de referência do software para a sua correta utilização (?????????).

1.1 MOTIVAÇÃO

Uma das principais vantagens do uso do estilo de formatação `normas-utf-tex.cls` para \LaTeX é a formatação *automática* dos elementos que compõem um documento acadêmico, tais como capa, folha de rosto, dedicatória, agradecimentos, epígrafe, resumo, abstract, listas de figuras, tabelas, siglas e símbolos, sumário, capítulos, referências, etc. Outras grandes vantagens do uso do \LaTeX para formatação de documentos acadêmicos dizem respeito à facilidade de gerenciamento de referências cruzadas e bibliográficas, além da formatação – inclusive de equações matemáticas – correta e esteticamente perfeita.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Prover um modelo de formatação \LaTeX que atenda às Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos da UTFPR (??).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Obter documentos acadêmicos automaticamente formatados com correção e perfeição estética.

- Desonerar autores da tediosa tarefa de formatar documentos acadêmicos, permitindo sua concentração no conteúdo do mesmo.
- Desonerar orientadores e examinadores da tediosa tarefa de conferir a formatação de documentos acadêmicos, permitindo sua concentração no conteúdo do mesmo.

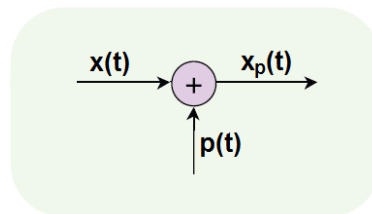
2 DESENVOLVIMENTO

A seguir ilustra-se a forma de incluir figuras, tabelas, equações, siglas e símbolos no documento, obtendo indexação automática em suas respectivas listas. A numeração sequencial de figuras, tabelas e equações ocorre de modo automático. Referências cruzadas são obtidas através dos comandos `\label{}` e `\ref{}`. Por exemplo, não é necessário saber que o número deste capítulo é 2 para colocar o seu número no texto. Isto facilita muito a inserção, remoção ou relocação de elementos numerados no texto (fato corriqueiro na escrita e correção de um documento acadêmico) sem a necessidade de renumerá-los todos.

2.1 FIGURAS

Na figura 1 é apresentado um exemplo de gráfico flutuante. Esta figura aparece automaticamente na lista de figuras. Para uso avançado de gráficos no \LaTeX , recomenda-se a consulta de literatura especializada (??).

Figura 1 – Exemplo de uma figura onde aparece uma imagem sem nenhum significado especial.



Fonte: Adaptado de (??)

2.2 TABELAS

Também é apresentado o exemplo da tabela 1, que aparece automaticamente na lista de tabelas. Informações sobre a construção de tabelas no \LaTeX podem ser encontradas na literatura especializada (????????).

Tabela 1 – Exemplo de uma tabela mostrando a correlação entre x e y.

x	y
1	2
3	4
5	6
7	8

Fonte: Autoria própria.

2.3 EQUAÇÕES

A transformada de Laplace é dada na equação (1), enquanto a equação (2) apresenta a formulação da transformada discreta de Fourier bidimensional¹.

$$X(s) = \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t) e^{-st} dt \quad (1)$$

$$F(u, v) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \exp \left[-j2\pi \left(\frac{um}{M} + \frac{vn}{N} \right) \right] \quad (2)$$

2.4 SIGLAS E SÍMBOLOS

O pacote ABNT_{EX} permite ainda a definição de siglas e símbolos com indexação automática através dos comandos `\sigla{}` e `\simbolo{}`. Por exemplo, o significado das siglas PPGSE, DAELT e UTFPR aparecem automaticamente na lista de siglas, bem como o significado dos símbolos λ , v e f aparecem automaticamente na lista de símbolos. Mais detalhes sobre o uso destes e outros comandos do ABNT_{EX} são encontrados na sua documentação específica (??).

¹Deve-se reparar na formatação esteticamente perfeita destas equações!

3 CONCLUSÃO

Espera-se que o uso do estilo de formatação \LaTeX adequado às Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos da UTFPR (`normas-utf-tex.cls`) facilite a escrita de documentos no âmbito desta instituição e aumente a produtividade de seus autores. Para usuários iniciantes em \LaTeX , além da bibliografia especializada já citada, existe ainda uma série de recursos (??) e fontes de informação (????) disponíveis na Internet.

Recomenda-se o editor de textos Kile como ferramenta de composição de documentos em \LaTeX para usuários Linux. Para usuários Windows recomenda-se o editor \TeX nicCenter (??) ou TexMaker. O \LaTeX normalmente já faz parte da maioria das distribuições Linux, mas no sistema operacional Windows é necessário instalar o software \MiKTeX (??).

Além disso, recomenda-se o uso de um gerenciador de referências como o JabRef (??) ou Mendeley (??) para a catalogação bibliográfica em um arquivo \BibTeX , de forma a facilitar citações através do comando `\cite{}` e outros comandos correlatos do pacote \ABNTTeX . A lista de referências deste documento foi gerada automaticamente pelo software \LaTeX + \BibTeX a partir do arquivo `reflatex.bib`, que por sua vez foi composto com o gerenciador de referências JabRef.

O estilo de formatação \LaTeX da UTFPR e este exemplo de utilização foram elaborados por Diogo Rosa Kuiaski (diogo.kuiaski@gmail.com) e Hugo Vieira Neto (hvieir@utfpr.edu.br), com contribuições de César Vargas Benitez. A adaptação para o PPGSE foi feita por Glauber Brante (gbrante@utfpr.edu.br). Sugestões de melhorias são bem-vindas.

APÊNDICE A – NOME DO APÊNDICE

Use o comando `\appendice` e depois comandos `\chapter{}` para gerar títulos de apêndices.

ANEXO A – NOME DO ANEXO

Use o comando `\anexo` e depois comandos `\chapter{}` para gerar títulos de anexos.