

DISPOSITIVO VESTÍVEL DE AUXÍLIO À NAVEGAÇÃO PARA DEFICIENTES VISUAIS COM FEEDBACK TÁTIL, SENSORIAMENTO DE OBSTÁCULOS E RASTREAMENTO GPS

João Victor Benício ¹; Raul Perez ¹; Vinícius Escudeiro ¹; Bruno Xia ¹; Andressa Corrente Martins ²; Rodrigo França ²

¹ Aluno do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

²Professor do Instituto Mauá de Tecnologia(IMT).

Resumo. *Este relatório descreve o desenvolvimento de um dispositivo vestível projetado para auxiliar a navegação de deficientes visuais. O sistema integra uma cinta com feedback tátil, um protótipo de radar para detecção de obstáculos e um módulo GPS para rastreamento de localização. O projeto serve como uma investigação preliminar para um futuro Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). O sistema é composto por dois circuitos independentes, garantindo a privacidade do usuário ao permitir a desativação do rastreamento por GPS. O primeiro circuito, baseado em um microcontrolador Raspberry Pi Pico W, gerencia um sensor de distância ultrassônico montado em um motor de passo para emular um radar, e aciona quatro motores vibratórios para fornecer feedback tátil direcional. O segundo circuito, também utilizando um Raspberry Pi Pico W, é dedicado ao módulo GPS e à comunicação Bluetooth com uma interface de monitoramento em um aplicativo móvel. O desenvolvimento abrangeu desde a concepção e teste de componentes até a montagem de um protótipo funcional e o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso (PCB). Os resultados validam a viabilidade do conceito de feedback tátil para orientação espacial, ao mesmo tempo que expõem as limitações dos componentes de baixo custo, como o alcance do sensor ultrassônico e a precisão do motor de passo.*

Introdução

O desenvolvimento de tecnologias assistivas tem como objetivo primordial a promoção da autonomia e da qualidade de vida para pessoas com deficiência. Para indivíduos com deficiência visual, a navegação em ambientes desconhecidos representa um desafio constante, muitas vezes dependendo de auxílios tradicionais como bengalas ou cães-guia. Com o avanço da microeletrônica e dos sistemas embarcados, surgem novas possibilidades para a criação de dispositivos mais sofisticados e eficazes.

Este projeto se insere nesse contexto como um estudo introdutório e exploratório para um futuro Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), que ambiciona

desenvolver um sistema completo para monitorar e instrumentar um jet-ski, permitindo que deficientes visuais possam pilotá-lo de forma segura através de auxílio tátil ou sonoro. O foco do presente trabalho é a concepção e validação de três subsistemas chave: uma interface de feedback tátil utilizando motores vibratórios, um protótipo de radar para detecção de obstáculos e um sistema de rastreamento de localização via GPS com interface móvel. A integração e o teste desses componentes visam avaliar a viabilidade da abordagem e identificar os desafios técnicos para o projeto final.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e avaliar um protótipo de dispositivo vestível para auxílio à navegação de deficientes visuais, validando os conceitos de feedback tátil para orientação espacial, sensoramento de obstáculos com um radar de baixo custo e monitoramento de localização por GPS. Os objetivos específicos incluem testar a interface com motores vibratórios, construindo uma cinta com quatro motores vibratórios e desenvolvendo um sistema que traduza a localização de obstáculos em feedback tátil, variando a intensidade da vibração de acordo com a proximidade. Além disso, busca-se desenvolver um protótipo de radar, montando e programando um sistema de varredura de ambiente utilizando um sensor de distância ultrassônico acoplado a um motor de passo, emulando o funcionamento de um radar para mapear obstáculos em 360°. Por fim, pretende-se analisar o módulo GPS e a comunicação Bluetooth, implementando um circuito independente com um módulo GPS para capturar coordenadas geográficas e transmiti-las via Bluetooth para um aplicativo móvel, compreendendo as dificuldades e limitações da tecnologia, especialmente em relação à privacidade e à estabilidade do sinal.

Material e Métodos

O projeto foi desenvolvido de forma incremental, em seis etapas principais. Na fase de idealização, definiu-se o escopo do projeto, os objetivos e a arquitetura geral do sistema, separando-o em dois subsistemas: radar com feedback tátil e GPS/comunicação. Em seguida, realizou-se a seleção e compra de componentes, escolhendo e adquirindo os dispositivos eletrônicos de acordo com critérios de funcionalidade, custo e disponibilidade.

Depois disso, foi feita a etapa de teste individual de componentes, na qual sensores, atuadores e microcontroladores foram avaliados separadamente para verificar o correto funcionamento e compreender o comportamento de cada um. Concluídos esses testes, passou-se à montagem em protoboard, integrando os componentes em um mesmo circuito, o que permitiu ajustar tanto o hardware quanto a lógica de programação de forma rápida e flexível.

Na sequência, ocorreu o desenvolvimento e a depuração do código. O firmware foi implementado em MicroPython e em linguagem C, conforme a necessidade de cada subsistema, com foco na interação entre sensores e atuadores e em requisitos de

desempenho em tempo real. O código passou por ciclos sucessivos de teste e correção para melhorar a estabilidade e a resposta do sistema.

Por fim, foi projetado o esquemático do subsistema de radar, confeccionada a placa de circuito impresso (PCI) e soldados os componentes, resultando em uma montagem mais robusta e confiável em comparação à fase de prototipagem em protoboard.

Tabela 1 – Componentes utilizados no projeto

Componente	Quantidade	Especificação	Função no Projeto
Microcontrolador	2	Raspberry Pi Pico W	Processamento central dos dois subsistemas
Sensor de Distância	1	HC-SR04	Medição de distância para o radar
Motor de Passo	1	NEMA 17 (ou similar)	Rotação do sensor ultrassônico
Driver de Motor de Passo	1	TMC2209	Controle preciso do motor de passo
Motores de Vibração	4	Com massa desbalanceada	Atuadores para feedback tátil
Driver Ponte H	2	L298N	Controle dos motores de vibração
Módulo GPS	1	Módulo GPS genérico	Aquisição de coordenadas geográficas
Módulo Bluetooth	1	Integrado ao Pico W	Comunicação com o aplicativo móvel
Placa de Circuito Impresso	1	Produzida pela Mauá	Integração dos componentes do subsistema de radar
Fonte de Alimentação	-	Baterias/Fonte externa	Alimentação dos circuitos

Com o objetivo de garantir a privacidade do usuário, a arquitetura do sistema foi dividida em dois circuitos completamente independentes e sem comunicação de dados entre si. O primeiro subsistema é o núcleo da orientação espacial, controlado por um Raspberry Pi Pico W e composto por um radar sintético, uma lógica de atuação e o feedback tátil. O radar sintético consiste em um sensor ultrassônico HC-SR04 montado sobre um motor de passo que realiza uma varredura de 360°, parando em intervalos para que o sensor meça a distância até o obstáculo mais próximo em uma determinada direção. O sistema registra o número de passos do motor para derivar o ângulo de

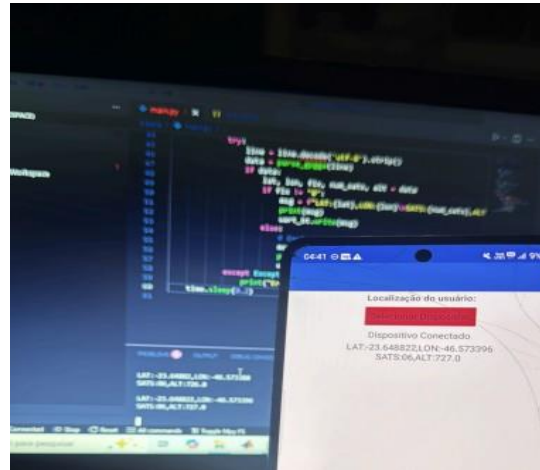
detecção. A lógica de atuação divide o espaço ao redor do usuário em quatro quadrantes (0-90°, 90-180°, 180-270°, 270-360°), e ao detectar um obstáculo, o sistema identifica em qual quadrante ele se encontra e aciona o motor de vibração correspondente. O feedback tátil é composto por quatro motores de vibração posicionados em uma cinta, correspondendo à frente (12h), lateral direita (3h), costas (6h) e lateral esquerda (9h). A intensidade da vibração de cada motor é inversamente proporcional à distância medida, fornecendo uma percepção intuitiva da proximidade do obstáculo.

O segundo subsistema opera de forma autônoma e é responsável pelo rastreamento de localização. Um segundo Raspberry Pi Pico W é conectado a um módulo GPS, lendo continuamente os dados de geolocalização (latitude, longitude, altitude, número de satélites). Os dados de GPS são transmitidos via Bluetooth para um smartphone, onde um aplicativo simples, desenvolvido na plataforma App Inventor, recebe e exibe os dados de localização, permitindo que um acompanhante possa monitorar a posição do usuário em tempo real.

Resultados e Discussão

O desenvolvimento do projeto permitiu alcançar resultados funcionais, validando a prova de conceito, mas também revelou desafios importantes. O sistema, especialmente durante a fase de testes em protoboard, operou conforme o esperado. O radar sintético foi capaz de realizar a varredura do ambiente, e o feedback tátil na cinta respondeu corretamente à detecção de obstáculos, com a intensidade da vibração variando de acordo com a distância. O subsistema de GPS também se mostrou funcional, capturando coordenadas e transmitindo-as com sucesso para o aplicativo de monitoramento, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Interface do aplicativo móvel exibindo dados de GPS em tempo real.



O desenvolvimento da placa de circuito impresso (Figura 2) para o subsistema de radar representou um avanço significativo em relação à montagem em protoboard, resultando em um protótipo mais estável e compacto. A PCB foi projetada utilizando software de design de circuitos e fabricada nas instalações do Instituto Mauá de Tecnologia. A soldagem dos componentes foi realizada manualmente, garantindo conexões confiáveis e reduzindo problemas de mau contato que eram frequentes na montagem em protoboard.

Figura 2 – Diagrama elétrico desenvolvida para o subsistema de radar.

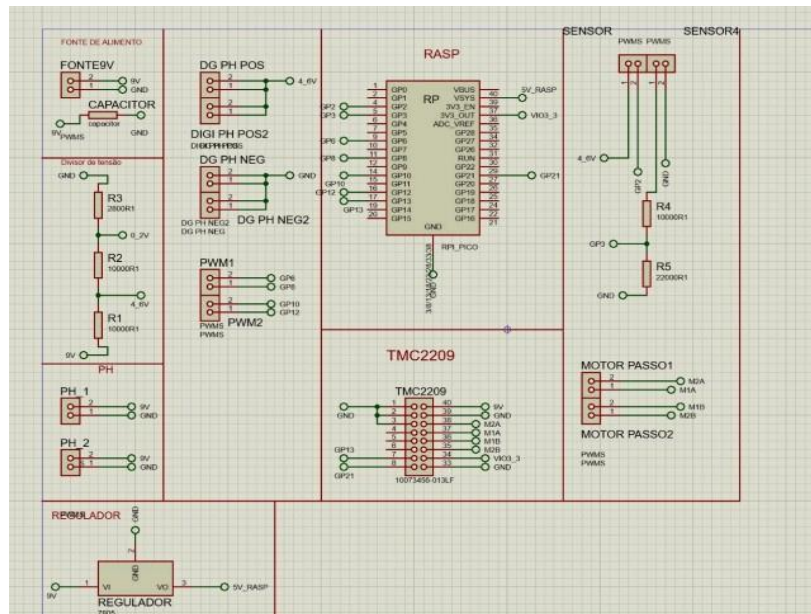
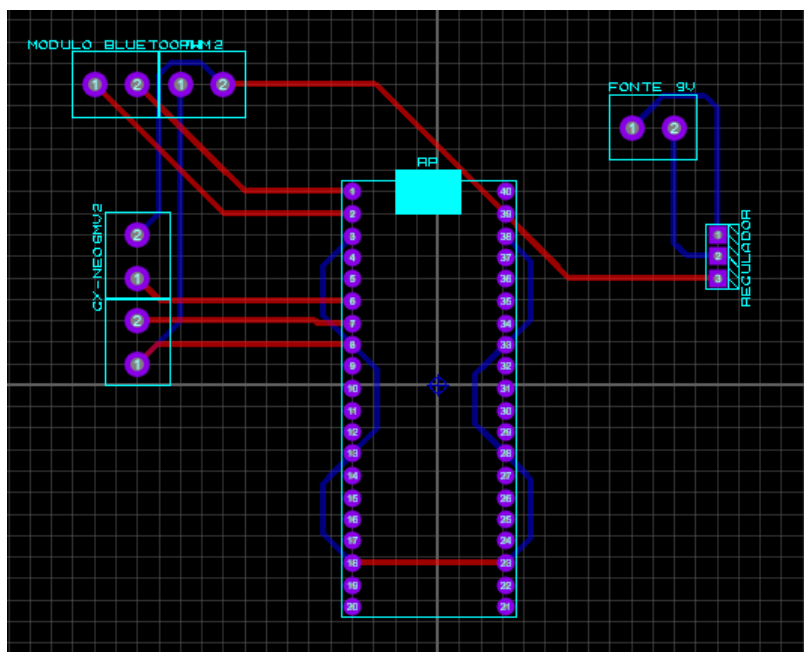


Diagrama de conexão para o RPi Pico com os seguintes componentes:

- GY-NEO6MV2:** Conectado aos pinos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.
- MODULO BLUETOOTH:** Conectado aos pinos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.
- REGULADOR:** Conectado aos pinos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.
- FONTE 9V:** Conectado aos pinos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40.

Figura 5 – Placa de circuito impresso para o subsistema de GPS.



Rotinas de processamento de posição

O firmware de localização foi estruturado em um conjunto de rotinas responsáveis pelo tratamento das informações de GPS. Inicialmente, as sentenças NMEA recebidas do módulo são filtradas, sendo consideradas apenas aquelas do tipo RMC, por conterem latitude, longitude e o estado de validade da posição. Em seguida, as coordenadas no formato NMEA (ddmm.mmmmm) são convertidas para graus decimais, o que facilita a aplicação de operações matemáticas e geodésicas.

Com o objetivo de reduzir o ruído inerente às medições de GPS, o sistema não utiliza uma leitura isolada. Em vez disso, são obtidas sucessivas posições válidas dentro de uma janela de tempo e, a partir delas, calcula-se a média das latitudes e das longitudes. Esse procedimento de filtragem por média aritmética resulta em uma posição geográfica mais estável e representativa do local real em que o dispositivo se encontra.

Uma vez determinada a posição filtrada, o firmware a compara com um conjunto de pontos de interesse pré-cadastrados (waypoints). Cada waypoint é definido por um nome, por uma coordenada em graus decimais e por um raio de detecção em metros. Para cada ponto cadastrado, é calculada a distância entre a posição atual e a posição de referência utilizando a fórmula de Haversine, que fornece uma boa aproximação da distância entre dois pontos na superfície terrestre. Quando a distância calculada é menor ou igual ao raio estabelecido para determinado waypoint, considera-se que o

dispositivo se encontra dentro da área desse ponto, e o nome correspondente é retornado para uso nas demais partes do sistema.

Programa principal (função main)

A função main integra as rotinas descritas anteriormente e coordena o funcionamento contínuo do módulo de localização. Após a inicialização dos recursos necessários, o programa entra em um laço cíclico no qual, a cada iteração, solicita uma nova posição geográfica ao bloco de processamento. Caso não seja possível obter uma posição confiável naquele instante, o sistema apenas registra essa condição e informa a ausência de fix, sem alterar o estado dos demais subsistemas.

Quando uma posição válida é obtida, a função main utiliza o resultado filtrado de latitude e longitude para duas finalidades principais: (i) disponibilizar essas informações para fins de monitoramento e registro, e (ii) acionar a rotina de verificação de waypoints. Se essa verificação indicar que a posição atual se encontra dentro da área de algum ponto cadastrado, o programa identifica o nome do local correspondente e gera uma mensagem de chegada, que pode ser encaminhada a um dispositivo externo e/ou utilizada para disparar uma resposta física no protótipo, como a ativação de um indicador luminoso ou de outro atuador.

Dessa forma, o laço principal passa a funcionar como um monitor de localização em tempo real, responsável por transformar coordenadas brutas de GPS em eventos significativos para o projeto, tais como “entrada na área da loja” ou “aproximação de um ponto de interesse pré-definido”.

Desafios e dificuldades

Diversas dificuldades foram encontradas durante o desenvolvimento. O sensor ultrassônico HC-SR04, apesar de seu baixo custo, possui um alcance limitado e um cone de detecção relativamente amplo, o que pode levar a imprecisões. A velocidade de varredura é restrita pela necessidade de rotação do motor de passo e pelo tempo de resposta do sensor. Foi observado que, após uso contínuo, o motor de passo pode perder passos, resultando em um erro acumulado na determinação do ângulo e, consequentemente, na localização do feedback tátil. O módulo GPS apresentou dificuldade em obter sinal em ambientes fechados, uma limitação inerente à tecnologia. A comunicação via Bluetooth também se mostrou suscetível a interferências e perda de conexão com o aumento da distância entre o dispositivo e o smartphone. Problemas de mau contato nos conectores e fios foram uma fonte recorrente de falhas durante a fase de prototipagem. A integração do software com o hardware, especialmente a calibração da resposta do sensor de distância, exigiu depuração extensiva.

Conclusões

O projeto atingiu com sucesso seus objetivos principais, demonstrando a viabilidade de um sistema vestível com feedback tátil para auxílio à navegação. A prova de conceito validou que a utilização de motores vibratórios com intensidade variável é uma forma intuitiva e eficaz de comunicar informações espaciais sobre obstáculos ao usuário. As limitações encontradas, no entanto, são cruciais para a evolução do projeto. A montagem do radar sintético, embora funcional para validação, não se mostra robusta o suficiente para uma aplicação real devido às imprecisões do sensor ultrassônico e à perda de passos do motor. A resolução espacial do feedback, limitada a quatro quadrantes, também pode ser aprimorada para fornecer uma orientação mais precisa. Conclui-se que, embora a abordagem seja promissora, a transição para um produto final, como o sistema de auxílio para pilotagem de jet-ski, exigirá a substituição de componentes chave por soluções de nível comercial e maior robustez.

Com base nas conclusões deste trabalho, as seguintes melhorias são propostas para o desenvolvimento futuro do projeto, visando a aplicação no TCC. Primeiramente, propõe-se aumentar a resolução tátil, utilizando um número maior de motores vibratórios na cinta para fornecer uma indicação de direção mais granular e precisa. Em segundo lugar, sugere-se implementar feedback sonoro, adicionando um fone de ouvido ao sistema para fornecer informações complementares por áudio, como alertas de voz (“Obstáculo à direita”, “Velocidade: 10 km/h”), utilizando o conceito de áudio espacial para indicar a direção. Por fim, recomenda-se substituir o radar sintético, incorporando um módulo de radar comercial (tecnologia de micro-ondas ou LiDAR) para obter uma detecção de obstáculos mais rápida, precisa e com maior alcance, eliminando os problemas mecânicos do motor de passo.

Referências Bibliográficas

Bailey, D.D.; Ollis, D.F. (1986) *Biochemical Engineering Fundamentals*. 2nd edition. New York, McGraw-Hill.

Vela, F.J.; Gianotti, E.P.; Foresti, E.; Zaiat, M. (1999) Estimation of Substrate Effective Diffusivities in Anaerobic Bioparticles. *Environmental Technology*, **20**, 1163-1170.