

Utilização de Sensores ToF para desenvolvimento de Tecnologia Assistiva para pessoas com deficiência visual

Use of ToF sensors to develop Assistive Technology for visually impaired people

Aida Araújo Ferreira, Doutora, IFPE

aidaferreira@recife.ifpe.edu.br

Gilmar Gonçalves de Brito, Doutor, IFPE

gilmarbrito@recife.ifpe.edu.br

Carlos Alberto Leal de Barros, Bacharel, UNICAP

carloslbarros@gmail.com

Felipe Santana de Oliveira, IFPE

felipesansoliv01@gmail.com

Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa, Doutora, IFPE

ionarameh@recife.ifpe.edu.br

Vânia Soares de Carvalho, Doutora, IFPE

vaniacarvalho@recife.ifpe.edu.br

Resumo

O presente artigo aborda a relevância dos sensores Time-of-Flight (ToF) para a construção de tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual. É apresentada a importância dessas, seguido pela explicação da tecnologia ToF. Além disso, discute-se aplicações dessa ferramenta, como o óculos Synesthesia Vision, que detecta obstáculos acima da cintura, complementando a bengala, junto a uma relação desse objeto com a sustentabilidade e testes realizados com um equipamento composto por um sensor VL53L1X, a fim de verificar sua viabilidade. Assim, demonstrando como essa tecnologia possui potencial para melhorar a qualidade de vida dos deficientes visuais.

Palavras-chave: Cegueira; Time-of-Flight; Inclusão social; Tecnologia Assistiva

Abstract

The present article addresses the relevance of Time-of-Flight (ToF) sensors for the development of assistive technologies for visually impaired people. It presents the importance of these technologies, followed by how ToF technology works. Furthermore, it discusses applications in which this tool is used, such as the Synesthesia Vision glasses, which detect obstacles above the waist, complementing the cane, along with the relationship of this object with sustainability and tests conducted with a equipment composed of a VL53L1X sensor to verify its viability. Thus, demonstrating how this technology has the potential to improve the quality of life of visually impaired people.

Keywords: Blindness; Time-of-Flight; Social inclusion

1. Introdução

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua(PNADC), realizada em 2022, na faixa etária acima de 2 anos de idade, havia cerca de 18,6 milhões de pessoas com deficiência no Brasil. Ademais, segundo esse mesmo resultado, estima-se que nesse grupo 3,1% tinham dificuldade para enxergar, mesmo usando óculos ou lentes de contato[1]. Dessa forma, é relevante o número de pessoas com deficiência, em especial as com deficiência visual, no país.

De acordo com a Lei Brasileira de Inclusão, tecnologia assistiva são produtos, ferramentas, práticas, serviços, entre outros meios, desenvolvidos a fim de que pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida consigam ser incluídos na sociedade e ter melhor condição de vida[2]. Esses artefatos, como por exemplo a bengala, leitores de tela e teclados em braille, são de suma importância para que as pessoas com deficiência visual tenham uma boa qualidade de vida.



Figura 1: Da esquerda para a direita: Bengala tátil para deficientes visuais e teclado em braille com teclas ampliadas. Fonte: Brinquelibras

A equipe deste projeto trabalha na construção de uma tecnologia assistiva utilizando sensores para facilitar a locomoção de pessoas com deficiência visual. Durante o processo de desenvolvimento dessa solução, nos deparamos com uma tecnologia com grande potencial de aplicação para essa finalidade chamada Time-of-Flight (ToF), que mede o tempo de propagação de uma onda, eletromagnética ou mecânica, como no caso de sensores que utilizam infravermelho ou ultrassom, respectivamente, para medir a distância do sensor até um objeto ou plano[3]. Tal tecnologia já é parte de equipamentos consolidados no mercado, como câmeras de *smartphones*, drones e robôs. Além disso, já existem ferramentas de acessibilidade que utilizam sensores ToF como bengalas inteligentes.

Em síntese, esse trabalho desenvolve-se a partir da pesquisa realizada com o objetivo de entender não só como a tecnologia ToF é utilizada atualmente no meio assistivo, mas também novas possibilidades de aplicação desses dispositivos para que a vida de pessoas com deficiência visual possa ser mais confortável e incluída na sociedade, através do *design* eficiente com essa tecnologia.

2. Procedimentos Metodológicos

Diante dessa conjuntura, o processo realizado para a construção desse trabalho iniciou-se com a revisão bibliográfica da literatura acerca do assunto. Ademais, discutiu-se as atuais aplicações, vantagens e desvantagens da tecnologia ToF. Foi construído um dispositivo [Figura 2] para que fossem realizados em laboratório com o objetivo de analisar dados do

sensor ToF em diferentes condições. O dispositivo é formado por uma placa ESP32 development board [4] e um módulo munido de um sensor VL53L1X[5]. Os componentes foram soldados em uma placa universal perfurada e protegidos por um tubo isolante termo-retrátil. O código que é executado no microcontrolador ESP32, presente na placa de desenvolvimento, foi escrito no ambiente integrado de desenvolvimento do Arduino (Arduino IDE). Os dados foram coletados diretamente da placa de desenvolvimento, através da porta serial para um celular com adaptador OTG e puderam ser visualizados no aplicativo Serial USB Terminal [Figura 3]. A conexão utilizada para a montagem do dispositivo está presente na [Tabela 1]



Figura 2: Preparação do dispositivo para testes com ESP32 e VL53L1X. Fonte: elaborado pelos autores

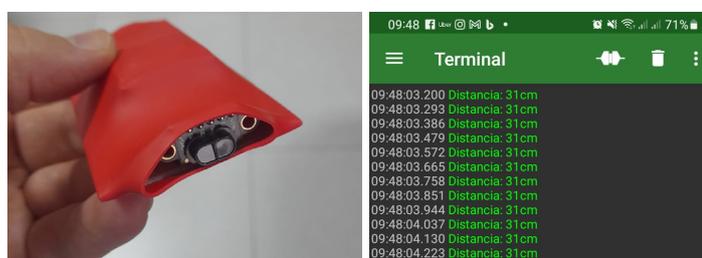


Figura 3: À esquerda, dispositivo finalizado, à direita, leituras obtidas em teste inicial, Fonte: elaborado pelos autores

Pino do sensor VL53L1X	Pino do módulo ESP-WROOM-32
VIN	3V3
GND	GND
SCL	22
SDA	21
GPIO 01	17
XShunt	16

Tabela 1: Pinagem utilizada na montagem do dispositivo

2.1 Revisão bibliográfica

Os sensores ToF são dispositivos poderosos que possuem diversas aplicações, partindo desse princípio, foi notória a necessidade de discutir sua relevância nas tecnologias assistivas. No artigo de John Wang: *Time of Flight Sensor: What It Is and How it Works*, é discutido o princípio de funcionamento dos ToF, além de seus benefícios, limitações e exemplos de aplicações[6]. Além disso, experimentos foram realizados em laboratório pelos autores com o sensor ToF VL53L1X, a fim de observar o comportamento do equipamento em diferentes índices de refletividade e iluminação. Os experimentos foram feitos a partir do uso do sensor junto com a ESP32 development board (placa de desenvolvimento baseada no módulo ESP-WROOM-32) e o código foi escrito na Arduino IDE.

2.2 Sensores Time-of-Flight

Os sensores Time-of-Flight possuem um princípio de funcionamento que se baseia em medir o tempo que uma onda leva para sair do sensor até um objeto. Dessa maneira, esses equipamentos podem utilizar da medição por meio de ondas eletromagnéticas, como feixes de luz ou ondas mecânicas, no caso de sensores ultrassônicos. Além disso, no que diz respeito aos sensores ópticos, esses podem ter dois tipos de medição, direta ou indireta, em que cada uma delas possui suas características específicas[7]. Dessa forma, os sensores com medição direta enviam apenas um pulso de luz e medem quanto tempo a parte da luz que é refletida de volta leva para chegar ao sensor. No entanto, aqueles com medição indireta funcionam enviando continuamente feixes de luz modulados, e depois medem a diferença de fase dos feixes de luz refletidos de volta para o sensor para descobrir a distância.

2.2.1 Vantagens

Em primeira análise, esses representam uma categoria eficiente de sensores, não só no que diz respeito ao consumo de energia, que é baixo para a precisão de medições que entregam, mas também no que se refere ao tamanho e espaço ocupado. Devido a isso, eles podem e são utilizados em sistemas muito pequenos, como por exemplo câmeras de celulares. Além disso, são uma categoria que possui um baixo custo e que podem operar em ambientes com pouca ou nenhuma luz, devido ao fato de que eles mesmos podem emitir seus feixes[8].

Ademais, os sensores com ToF com medição direta possuem um maior alcance, leituras mais rápidas, já que precisam apenas de uma amostra para conseguir medir a distância e tem menos ambiguidade na leitura, pelo mesmo motivo. Já no que diz respeito aos com medição indireta, eles possuem uma resolução maior de pixels na leitura, sendo ideais para mapeamento espacial e multiplus, além de possuir um menor pico de potência, diminuindo o consumo de energia e consumir menos dados, por fazer menos leituras.

2.2.2 Limitações

Apesar das numerosas vantagens dessa tecnologia, ela também possui pontos que devem ser levados em consideração ao utilizá-la. Primeiramente, em especial para os sensores ópticos, esses não são ideais para utilização em locais com luz intensa, como ambientes externos durante o dia, já que essa condição, principalmente nos modelos mais simples, pode atrapalhar as leituras e causar efeitos indesejados, dificultando a utilização.

Realizar a proteção desses sensores também não é simples, já que ao colocar um material em frente a ele para isolá-lo do espaço externo, mesmo que seja vidro ou algo semelhante, os feixes de luz podem refletir de volta para o sensor antes do esperado, causando erro nas leituras, visto que não existe nenhum material completamente transparente. Além disso, sensores ToF indiretos podem ter medições erradas ao apontar para um plano que possua objetos em diferentes distâncias, já que ele não consegue distinguir as ondas refletidas por cada objeto. Portanto, ele retornará um valor de distância média, ao comparar a diferença de fase das ondas refletidas que voltam “embaralhadas” para o sensor.

2.2.3 Aplicações atuais

Os sensores ToF já são utilizados na indústria, logo, é evidente que observar como eles são utilizados atualmente contribuirá para o desenvolvimento de novas aplicações para tecnologias assistivas. Este é o caso do óculos Synesthesia Vision, desenvolvido por nossa equipe. Além disso, apesar de não ser uma tecnologia assistiva, o computador espacial, um sistema que utiliza o espaço em volta do usuário como tela, Apple Vision Pro, é, também, um

exemplo de uso avançado dos sensores ToF e que pode ser adaptado para a melhoria da acessibilidade. Ademais, o uso de mapeamento espacial e reconhecimento de profundidade que são utilizados em produtos como robôs aspiradores inteligentes, câmeras de reconhecimento facial, entre outros usos, demonstram-se relevantes para o crescimento do desenvolvimento de tecnologias que utilizam esse princípio.

O óculos Synesthesia Vision é uma ferramenta de acessibilidade para pessoas com deficiência visual, que permite que eles sejam avisados de obstáculos acima da linha da cintura, assim ao combinar com a bengala, essas pessoas têm maior autonomia ao circular por ruas, shoppings e outros locais, evitando acidentes. O princípio de funcionamento dele se baseia em três sensores ultrassônicos HC-SR04[9], esses são posicionados de forma a detectar obstáculos à frente, na direita e na esquerda do usuário. A distância é medida até o obstáculo utilizando o princípio ToF, calculada utilizando a velocidade de propagação das ondas sonoras emitidas pelo sensor. Após isso, estímulos são gerados na forma de vibração e *beeps*, por meio de transdutores piezoelétricos e motores de vibração, localizados nas hastes do óculos[Figura 4].



Figura 4: Modelo Mark III do óculos Synesthesia Vision. Fonte: elaborado pelos autores.

Diante disso, no que diz respeito às aplicações que não são focadas para a assistividade, o Apple Vision Pro integra essa tecnologia em seu funcionamento, como é possível observar na imagem abaixo que mostra os scanners LIDAR que usam princípio ToF para mapear pontos em um ambiente[Figura 5]. Assim, apesar dela ser apenas uma parte daquilo que faz funcionar a visão espacial de realidade aumentada tão poderosa desse equipamento, ela é crucial. Logo, é possível observar o impressionante poder dos sensores ToF que compõem o sistema de mapeamento espacial e das câmeras com reconhecimento de profundidade. Em síntese, é inegável que essa tecnologia pode ser adaptada como tecnologia assistiva.

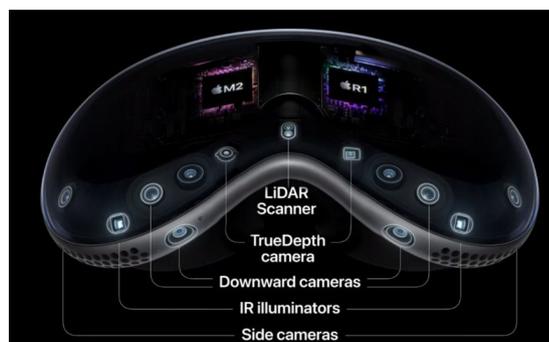


Figura 5: Disposição dos sensores e câmeras no Apple Vision Pro. Fonte: Material de divulgação da Apple.

Entretanto, no que se refere ao uso dessa tecnologia, é fundamental levar em consideração os impactos ambientais dessas aplicações. Portanto, em um mundo cada vez mais atento às consequências dos métodos de produção de novas tecnologias, especialmente quando se leva em conta os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável(ODS) da ONU. No caso das tecnologias assistivas, que se encaixam nas ODS 3 e 11, sobre saúde e bem-estar e cidades e assentamentos humanos inclusivos e sustentáveis, é extremamente relevante levar em conta fatores de sustentabilidade para entregar produtos adequados.

O óculos Synesthesia Vision citado anteriormente integra as ODS durante o processo de design de suas versões, além da preocupação com os materiais usados na produção para que tenham o mínimo impacto ambiental, como o PLA usado nas armações, um plástico biodegradável e produzido de fontes naturais, e sensores RoHS(Restriction of Certain Hazardous Substances), eletrônicos sem materiais como chumbo e mercúrio, exemplificando, assim, que uma inovação de tecnologia assistiva pode ser feita levando em conta fatores sustentáveis.

2.3 Experimentos com o VL53L1X

O equipamento foi utilizado em diferentes ambientes, a fim de testar o comportamento das leituras em diferentes condições de iluminação, refletividade do material observado e distâncias de 10 cm a 400 cm, medidas com uma trena e demarcadas no piso. Desta forma, o equipamento foi acoplado a um tripé de gravação, com o objetivo de aumentar a estabilidade e evitar deslocamentos desnecessários[Figura 6].



Figura 6: Testes com o equipamento na condição de luz solar direta com superfícies opacas. Fonte: elaborado pelos autores.

As seguintes condições foram observadas, conforme a tabela 2:

Condição de iluminação	Tipo de material	Nº da medição
Sala iluminada por lâmpadas	Opaco	1
Sala iluminada por lâmpadas	Reflexivo	2
Sala iluminada por lâmpadas	Transparente	3
Sala com persianas fechadas	Opaco	4
Sala com persianas fechadas	Reflexivo	5
Sala com persianas fechadas	Transparente	6
Luz solar direta	Opaco	7

Tabela 2: Condições em que foram observadas leituras do equipamento. Fonte: Autores.

3. Aplicações e/ou Resultados

Todos os dados obtidos foram salvos na forma de logs gerados a partir do monitor serial da Arduino IDE. Após isso, foram feitas comparações da leitura do sensor com a distância medida até o objeto utilizando uma trena. O erro percentual de medição foi calculado por meio da fórmula 1.

Equação 1: Cálculo para erro de medição

$$Er\% = (S - T)/T \quad (1)$$

Onde: Er% = erro percentual de medição, S = distância medida pelo sensor em cm, T = distância medida pela trena em cm

4. Análises dos Resultados ou Discussões

Posteriormente, os dados foram armazenados em uma planilha eletrônica, com o objetivo de facilitar a visualização dessas informações, foi gerado um gráfico com o erro médio de cada condição observada [Figura 7], em que o número da medição representa cada condição da tabela 2.

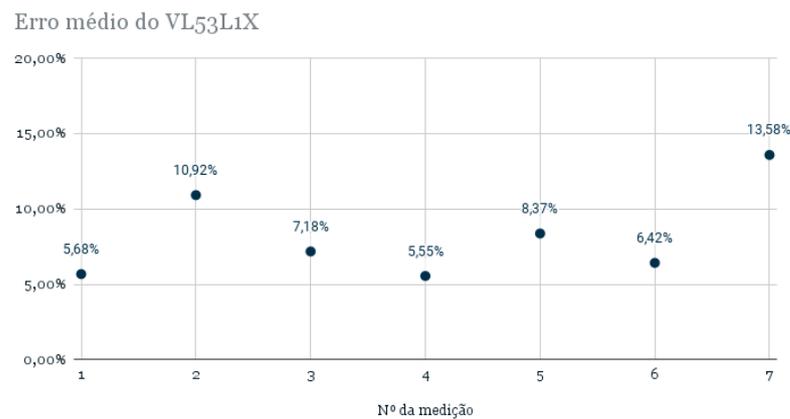


Figura 7: Gráfico com erro médio de cada condição observada. Fonte: elaborado pelos autores.

É notório, no que diz respeito às informações do gráfico, que o equipamento estudado tem o maior erro quando exposto à luz solar direta e intensa, medição 7, enquanto ele possui maior acurácia em ambientes escuros. Dessa forma, o sensor apresenta um comportamento esperado e documentado em seu *datasheet*.

Entretanto, apesar da grande variação de leituras do sensor na condição 7, é possível utilizá-lo de forma satisfatória se implementado alguma forma de filtro de dados no programa codificado para coletar as leituras. Além disso, foi observado que esse cuidado pode ser dispensado em caso de leituras que exijam distâncias menores que 100 cm ou em ambientes externos ou de baixa luminosidade.

5. Conclusão ou Considerações Finais

Tal trabalho discute a tecnologia de sensores Time-of-Flight com foco nos atuais e potenciais usos dela para tecnologias assistivas. Diante disso, tornou-se notório que ela já é

aplicada de forma a melhorar a qualidade de vida das pessoas com deficiência visual e que a utilização dela de forma que a inovação da área possa aliar-se à eficiência e conforto tem uma tendência a ser aplicada cada vez mais nessa área.

Ademais, o VL53L1X, demonstrou-se uma alternativa barata e eficiente para essas aplicações. Assim, a equipe de autores, responsáveis pelo desenvolvimento do óculos Synesthesia Vision, vê ele como uma alternativa mais compacta ao sensor utilizado atualmente. Levando, portanto, ao desenvolvimento de uma nova versão do equipamento.

Referências

[1]GOMES, I. Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda. Agência de Notícias IBGE, [s.l]. 07 de Jun. 2023. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda>>. Acesso em: 29 de Fev. 2024.

[2]BRASIL. Lei Brasileira de Inclusão. Brasil, 6 de Jul. 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm>. Acesso em: 29 de Fev. 2024.

[3]LI, L. Time-of-Flight Camera - An Introduction. Texas, Texas Instruments. Jan. 2014. Disponível em: <<https://www.ti.com/lit/wp/sloa190b/sloa190b.pdf?ts=1709204863316>>. Acesso em: 29 de Fev. 2024.

[4]Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Datasheet. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 29 de Fev. 2024

[5]STMicroElectronics. VL53L1X Datasheet. Disponível em: <<https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l1.html>>. Acesso em: 29 de Fev. 2024

[6]WANG, J. Time of Flight Sensor: What It Is and How it Works. PCB Assembly, PCB Manufacturing, PCB design - OURPCB. Disponível em: <<https://www.ourpcb.com/time-of-flight-sensor.html>>. Acesso em: 29 de Fev. de 2024.

[7]BLOG RAISA. Visão geral do sensor de Tempo-de-Voo (Time-of-Flight) – Blog Raisia. Disponível em: <<https://blog.raisa.com.br/visao-geral-do-sensor-de-tempo-de-voo-time-of-flight/>>. Acesso em: 4 mar. 2024.

[8]TERABEE. Time-of-Flight principle (ToF): Brief overview, Technologies and Advantages. Disponível em: <<https://www.terabee.com/time-of-flight-principle>>. Acesso em: 11 mar. 2024.

[9]Morgan, J. Eijah. HCSR04 Ultrasonic Sensor. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf/1380136/ETC/HC-SR04/1>>. Acesso em: 11 de Mar. 2024