CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES OMNIDIRECIONAL INFRAVERMELHO E APLICAÇÃO EM SENSORIAMENTO DE DISTÂNCIA E COMUNICAÇÃO PARA ROBÔS EM MINIATURA

Nicolas Martins Machado Pessoa, Grasiela da Silva Ferreira, Yuri Kaszubowski Lopes

INTRODUÇÃO

As anomalias cranianas em crianças, como a plagiocefalia deformacional, representam um desafio significativo para a pediatria e para a neurocirurgia. O diagnóstico precoce é fundamental para que intervenções conservadoras sejam aplicadas com maior eficácia, segurança e menor impacto à qualidade de vida do paciente (ROGERS, 2011; ELLWOOD et al., 2020). Em etapas anteriores deste projeto, desenvolveu-se e finalizou-se um protótipo de medidor craniano automatizado baseado em sensores de refletância infravermelha, utilizando componentes como o TCRT1000 (VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC., 2021). Contudo, identificou-se que diferentes índices de refletância do alvo (como variações na cor do cabelo e da pele) induziam desvios inaceitáveis nas medições. Para contornar essa limitação fundamental, a etapa atual da pesquisa focou na evolução do sistema por meio da tecnologia *Time-of-Flight* (ToF). Inicialmente, foram conduzidos testes com o sensor VL53L0X, porém não obteve-se sucesso devido à sua zona morta (*deadzone*) inicial, o que exigiria um arco estrutural com dimensões elevadas para compensação geométrica. Por este motivo, optou-se por focar na validação do sensor VL6180X, o qual permite trabalhar no ponto zero a partir de calibrações de *offset* e *crosstalk*, com o objetivo de futuramente integrá-lo a uma nova matriz de sensoriamento de 16 pontos.

DESENVOLVIMENTO

A metodologia iniciou-se com a conclusão e análise dos ensaios do protótipo infravermelho anterior, o que embasou empiricamente a necessidade de transição tecnológica e o subsequente descarte do sensor VL53L0X. Na sequência, projetou-se teoricamente a nova arquitetura, que prevê a utilização de uma matriz de 16 sensores ToF VL6180X controlada por um microcontrolador da série ESP32 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2024). Para viabilizar a futura comunicação simultânea, estruturou-se a lógica de mapeamento de múltiplos endereços no barramento I2C. Contudo, antes da manufatura em escala da matriz, a pesquisa concentrou-se na validação rigorosa do componente isolado. Para isso, adquiriu-se inicialmente uma unidade amostral do módulo comercial VL6180X. Para a obtenção de dados brutos, isolamento de variáveis e testes de limites, as bibliotecas padrão de mercado foram descartadas em favor do desenvolvimento de uma rotina própria de controle e manipulação direta dos registradores internos. A estrutura de testes foi modelada parametricamente para alinhar o sensor de forma milimétrica. Tendo em vista a exigência de operar no ponto zero para a aplicação em craniometria, dedicou-se um intenso esforço metodológico na realização de calibrações manuais de *offset* e na avaliação minuciosa do *crosstalk* óptico.

RESULTADOS

A finalização da etapa anterior comprovou que a arquitetura por refletância é clinicamente limitada, validando a premissa de adoção da tecnologia ToF. Nos ensaios de validação do novo componente, a manipulação direta dos registradores I2C provou ser eficiente no controle lógico pelo ESP32. No entanto, os testes revelaram severos desafios de hardware. Durante o foco exaustivo em realizar calibrações sistêmicas para contornar o erro e atingir o ponto zero ideal na primeira unidade adquirida, diagnosticou-se um elevado nível de *crosstalk* óptico interno. Para isolar a variável e descartar a possibilidade de ser uma falha exclusiva daquela peça, uma segunda unidade do sensor foi adquirida

como contraprova, a qual apresentou exatamente o mesmo comportamento anômalo. Constatou-se que as falhas não eram de software, mas sim indicativos de que as placas testadas possuíam defeitos estruturais de fabricação no isolamento físico entre o emissor e o receptor. O vazamento de luz gerou erros que excederam substancialmente os limites de correção previstos pelo algoritmo interno do chip, comprometendo a precisão exigida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa obteve êxito ao finalizar a avaliação do protótipo infravermelho, justificando cientificamente a mudança de paradigma para a tecnologia ToF e o descarte de sensores de longo alcance com *deadzone* elevada. Conclui-se que a arquitetura eletrônica com o ESP32 e o endereçamento I2C direto atende aos requisitos lógicos para a futura matriz de medição. Contudo, os testes com as unidades de amostragem do hardware comercial VL6180X demonstraram limitações físicas estruturais de *crosstalk* óptico, evidenciando tratar-se de um provável lote danificado que inviabiliza a montagem imediata da matriz de 16 sensores com estes módulos. Para a consolidação do próximo protótipo, a pesquisa demandará a substituição do lote, o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso (PCB) customizada com o isolamento óptico adequado, ou a seleção de um novo modelo de sensor ToF.

Palavras-chave: calibração de sensores; craniometria; endereçamento I2C; ESP32; sensores de refletância; Time-of-Flight; VL53L0X; VL6180X.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ELLWOOD, Julie; DRAPER-RODI, Jerry; CARNES, Dawn. The effectiveness and safety of conservative interventions for positional plagiocephaly and congenital muscular torticollis: a synthesis of systematic reviews and guidance. Chiropractic & Manual Therapies, v. 28, n. 1, 2020.

ESPRESSIF SYSTEMS. ESP32 Series Datasheet. [S. l.]: Espressif Systems, 2024. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.

ROGERS, Gary F. Deformational plagiocephaly, brachycephaly, and scaphocephaly. Part II: prevention and treatment. Journal of Craniofacial Surgery, v. 22, n. 1, 2011.

STMicroelectronics. VL6180X Proximity and ambient light sensing (ALS) module. Datasheet. 2016.

VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. TCRT1000 and TCRT1010 Datasheet. [S. l.]: Vishay, 2021. Disponível em: https://www.vishay.com/docs/83752/tcrt1000.pdf. Acesso em: 17 ago. 2026.

ANEXOS

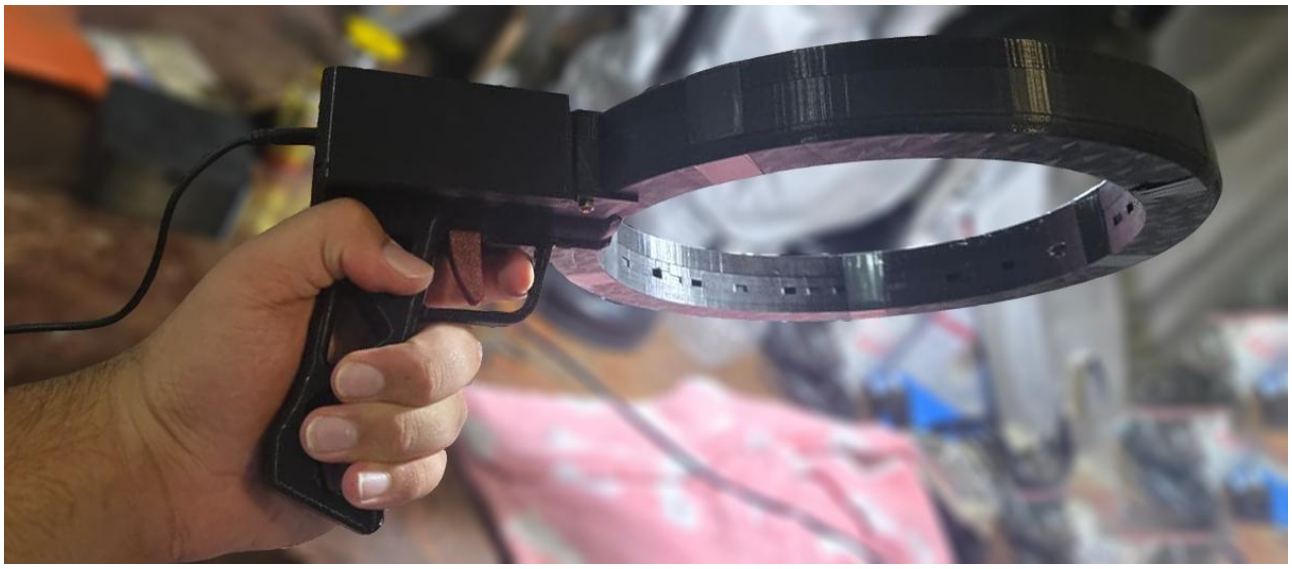


Figura 1. *Figura 1. Protótipo utilizando sensores TCRT1000 finalizado.*

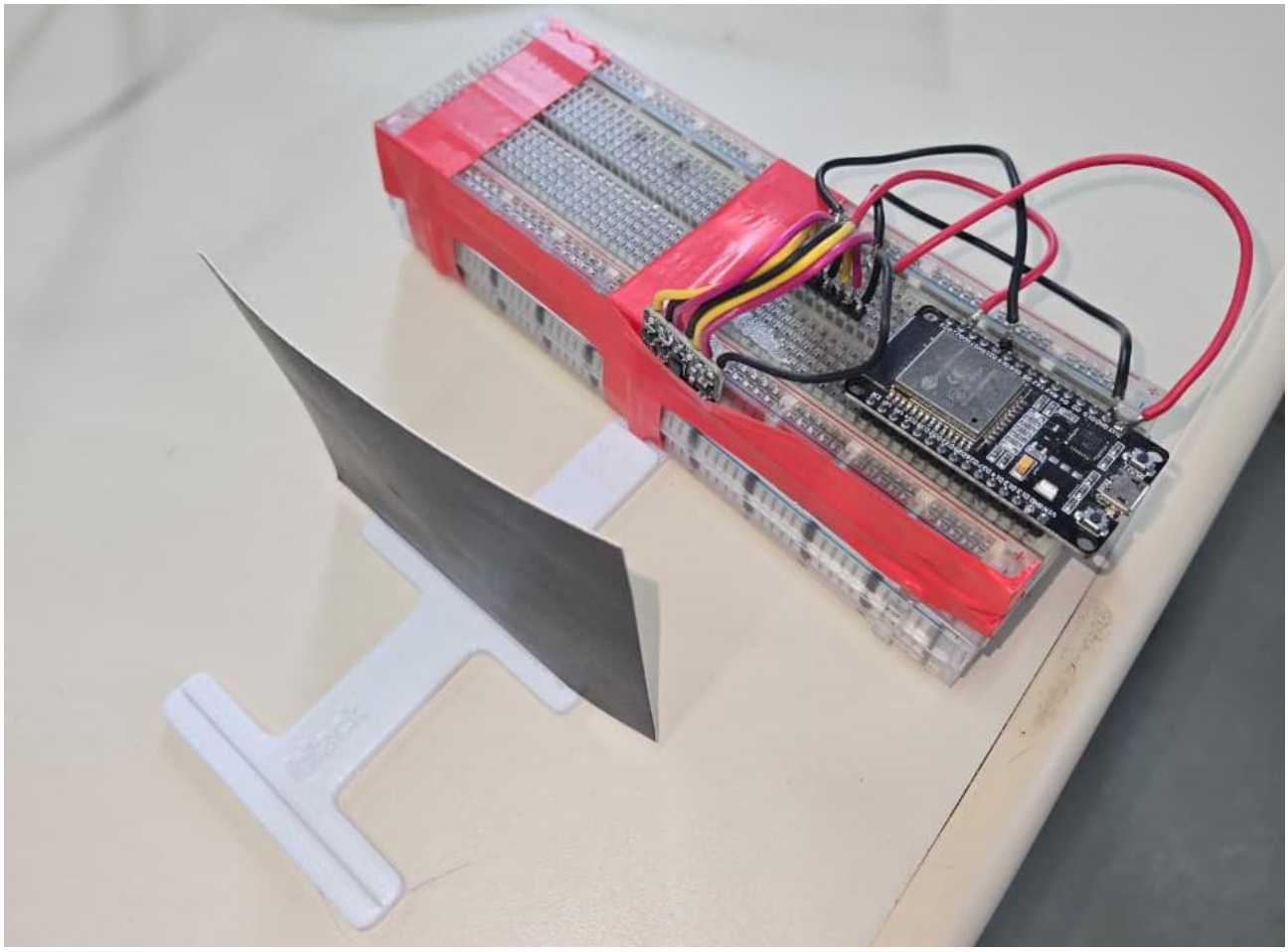


Figura 2. *Arranjo de calibração de Off-set e Crosstalk do VL6180X.*