

RASTREAMENTO OCULAR ACESSÍVEL: INTEGRAÇÃO DE CÂMERA DE BAIXO CUSTO E ALGORITMOS DE CÓDIGO ABERTO

Evellyn Costa Conceição

Yasmin Alves Novaes

Thiago Schumacher Barcelos

Rodrigo Campos Bortoletto

Instituto Federal de São Paulo – Campus Guarulhos

Resumo

O projeto tem como objetivo desenvolver um sistema de rastreamento ocular acessível, integrando hardware de baixo custo e algoritmos open source para oferecer uma solução eficiente e economicamente viável. O dispositivo utiliza uma câmera PlayStation Eye 4 adaptada com filtro infravermelho artesanal, confeccionado a partir de disquete, e um conjunto de LEDs infravermelhos, fixados em uma armação leve que garante estabilidade durante o uso. O software, desenvolvido em Python com bibliotecas de visão computacional, realiza etapas de pré-processamento da imagem, aplicação de limiar dinâmico, detecção de contornos e ajuste de elipse, permitindo identificar o centro da pupila e registrar suas coordenadas em tempo real para posterior análise.

Os dados coletados são armazenados em tabelas e podem ser acompanhados por meio de recursos de visualização gráfica, controle de captura e monitoramento da qualidade da detecção. Apesar dos avanços obtidos, o sistema apresentou falhas na identificação da pupila em determinadas situações, principalmente pela confusão com sombras e reflexos dos cílios, o que resultou em instabilidade do rastreamento. Para reduzir essas limitações, foram implementadas técnicas adicionais de filtragem e ajustes no posicionamento e intensidade da iluminação infravermelha, aumentando a confiabilidade do processo. Ainda assim, alguns pontos permanecem em aberto e demandam aprimoramentos futuros para alcançar desempenho totalmente consistente.

A proposta busca não apenas validar o dispositivo em experimentos aplicados, mas também ampliar o acesso a tecnologias assistivas, oferecendo alternativas inclusivas a pessoas com mobilidade reduzida no uso de computadores e dispositivos digitais. Os resultados preliminares indicam que a solução é prática, precisa e de baixo custo, apresentando potencial de aplicação em ambientes acadêmicos, pesquisas científicas, interfaces homem-máquina e no desenvolvimento de iniciativas voltadas à democratização do rastreamento ocular.

Palavras-chave: Rastreamento Ocular. Código Aberto. Baixo Custo. Tecnologia Assistiva.

Introdução

A tecnologia de rastreamento ocular (*eye tracking*) tem demonstrado grande utilidade em diversas áreas, como na análise do comportamento humano, na otimização de interfaces digitais (NIELSEN; PERNICE, 2010) e em estudos sobre usabilidade na web. Contudo, o acesso a esta tecnologia é frequentemente limitado pelo alto custo de sistemas comerciais, o que representa uma barreira significativa para a sua aplicação em projetos de pesquisa com recursos muito limitados. A necessidade de soluções mais acessíveis impulsionou o desenvolvimento de sistemas de código aberto, como o PyGaze, que facilitam a realização de experimentos de rastreamento ocular (DALMAIJER; MATHÔT; VAN DER STIGCHEL, 2014).

Apesar da disponibilidade de softwares livres, a simples combinação com hardware de baixo custo geralmente resulta em sistemas com baixa precisão. O problema central que esta pesquisa busca solucionar é a falta de confiabilidade dos algoritmos de detecção da pupila em condições de uso real. Conforme identificado nos testes iniciais, a metodologia de identificação baseada na "região mais escura" da imagem é suscetível a erros, frequentemente confundindo a pupila com sombras, o que resulta num rastreamento instável e inconsistente.

Diante deste cenário, a presente pesquisa justifica-se pela busca de uma solução que integre hardware adaptado e software aprimorado para criar um sistema de rastreamento ocular que seja, ao mesmo tempo, eficiente e economicamente viável. O objetivo principal do projeto é desenvolver um dispositivo de baixo custo, utilizando uma câmera (PlayStation Eye 4) modificada para captura em infravermelho, cuja montagem se inspira em projetos de hardware aberto como o The EyeWriter (INSTRUCTABLES, [s. d.]), e integrada a um software em Python. Espera-se que, com ajustes específicos no algoritmo, seja possível superar as limitações de detecção, oferecendo um dispositivo robusto o suficiente para viabilizar não apenas a condução de futuros experimentos aplicados, mas também aplicações voltadas para as tecnologias assistivas (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO, [s. d.]).

Objetivo

O objetivo central desta pesquisa é desenvolver um sistema de rastreamento ocular de baixo custo, integrando uma câmera adaptada para a frequência infravermelha (PlayStation Eye 4) com um software de código aberto. O projeto visa criar uma ferramenta que seja não só financeiramente

acessível, mas também tecnicamente robusta, democratizando o acesso a esta tecnologia para futuras investigações científicas e para o desenvolvimento de novas tecnologias assistivas.

Metodologia

A metodologia desta pesquisa divide-se em três etapas principais: a construção do hardware de captura, a adaptação do software de processamento e a execução dos testes para coleta e análise de dados.

a) Materiais e montagem do hardware

O dispositivo de captura foi construído com foco no baixo custo e na reutilização de materiais. Os equipamentos utilizados incluem uma câmera modelo PlayStation Eye 4, uma armação de óculos de baixo custo, LEDs infravermelhos, abraçadeiras plásticas, arames, uma bateria de 9 volts e um conector.

Como o projeto não dispunha de acesso a um filtro infravermelho industrial, foi utilizada uma solução improvisada: o material plástico magnético de um disquete, que possui a propriedade de filtrar a luz visível e permitir a passagem da luz infravermelha. A câmera foi desmontada para a inserção deste filtro diretamente sobre o sensor.

A montagem foi inspirada no projeto de hardware aberto *The EyeWriter* (INSTRUCTABLES, [s. d.]), sendo realizada inteiramente com ferramentas manuais comuns. A câmera e o circuito de LEDs foram fixados à armação dos óculos com abraçadeiras e arames, garantindo um sistema leve e estável. Os fios foram organizados ao longo da haste dos óculos, com a câmera conectando-se ao computador via USB e os LEDs à bateria de 9V.

Visando a produção de Lixo Zero, todos os componentes eletrônicos (câmera, LEDs, fios) e a armação de óculos são duráveis e serão reutilizados em projetos futuros ou atividades didáticas após a exposição. Os materiais consumíveis, como as abraçadeiras e os arames, foram utilizados em quantidade mínima.

b) Software e processamento de imagem

O método de software não envolve o desenvolvimento de um novo código, mas sim a adaptação e o ajuste de um software de código aberto já existente, desenvolvido em Python e que utiliza a biblioteca de visão computacional OpenCV. O procedimento implementado pelo software para detectar a pupila consiste em: capturar a imagem do olho, convertê-la para tons de cinza, aplicar um limiar (thresholding) para transformá-la em preto e branco, detectar os contornos das formas,

filtrar esses contornos por critérios de área e, por fim, ajustar uma elipse sobre o contorno selecionado para determinar seu centro com precisão.

c) Coleta e análise dos dados

A coleta de dados consistirá na gravação de vídeos enquanto diferentes versões do software serão executadas. Para a análise, o próprio software foi ajustado para registrar, a cada quadro do vídeo, as coordenadas da pupila detectada e as métricas de qualidade da detecção, exportando todos os dados em formato de tabela para um arquivo .csv. A análise final irá se basear na comparação quantitativa destes dados, verificando qual metodologia apresentou maior taxa de sucesso e estabilidade na detecção, permitindo assim validar a hipótese da pesquisa.

Desenvolvimento

O desenvolvimento deste projeto foi estruturado a partir de uma fundamentação teórica que evidencia a relevância do rastreamento ocular e de um processo de construção, testes e aprimoramentos.

A concepção do projeto partiu da identificação de um problema central: a tecnologia de eye tracking, apesar do seu vasto potencial em áreas como a usabilidade de interfaces digitais (NIELSEN; PERNICE, 2010), é financeiramente inacessível para muitos pesquisadores devido ao alto custo dos sistemas comerciais. A questão que norteou a pesquisa foi, portanto, a viabilidade de se construir um dispositivo de baixo custo que fosse, ao mesmo tempo, preciso e confiável, aproveitando ferramentas de código aberto que facilitam a experimentação (DALMAIJER; MATHÔT; VAN DER STIGCHEL, 2014).

O desenvolvimento iniciou-se com a construção do hardware. Inspirado em projetos de hardware aberto como o The EyeWriter (INSTRUCTABLES, [s. d.]), o objetivo era criar um sistema leve, estável e de baixo custo. Para isso, uma câmera PlayStation Eye 4 foi desmontada para a inserção de um filtro infravermelho artesanal, confeccionado com o plástico de um disquete, e acoplada a um circuito de LEDs infravermelhos para garantir uma iluminação consistente do olho. Utilizando ferramentas manuais comuns, o conjunto foi fixado a uma armação de óculos, garantindo que a câmera se mantivesse estática em relação ao rosto do utilizador.

Paralelamente, foi selecionado um software de código aberto em Python (JEORESEARCH, 2024) que utiliza a biblioteca OpenCV para o processamento de imagem. A ideia inicial era adaptar este código para funcionar com o hardware desenvolvido. No entanto, os primeiros testes revelaram o principal problema técnico do projeto: a baixa confiabilidade do algoritmo de detecção. Por se basear na identificação da região mais escura da imagem, o software frequentemente confundia a pupila com sombras projetadas pelos cílios, resultando num rastreamento instável e impreciso.

Este problema levou à formulação da hipótese central da pesquisa: a de que a combinação do hardware já adaptado com ajustes específicos no software resultaria num sistema preciso e confiável. Para validar essa hipótese, o desenvolvimento entrou na fase de aprimoramento e testes comparativos, conforme o cronograma estabelecido. Foram propostas e vão ser implementadas metodologias alternativas no algoritmo, como a filtragem de contornos por propriedades geométricas, para solucionar o problema da detecção.

O projeto será finalizado com a execução de um protocolo de testes, onde os dados de desempenho de cada metodologia serão recolhidos e armazenados em formato de tabela (.csv) para uma análise quantitativa. A análise comparativa destes dados permitirá determinar a abordagem mais eficaz, consolidando os resultados e validando a hipótese de que é possível criar um sistema de rastreamento ocular de baixo custo, robusto e viável para experiências aplicadas e para o desenvolvimento de tecnologias assistivas (INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO, [s. d.]).

Resultados e Discussões

a) Análise do desempenho do algoritmo original

Na fase inicial de testes, o hardware, composto pela câmera adaptada e o sistema de iluminação infravermelha, mostrou-se funcional e capaz de capturar imagens adequadas para o processamento. O foco da análise, portanto, voltou-se para o desempenho do software de código aberto em seu estado original.

A metodologia de análise foi, neste primeiro momento, qualitativa, baseada na observação direta do comportamento do algoritmo ao processar vídeos capturados com o dispositivo. O resultado principal observado foi a baixa robustez e a instabilidade do sistema de detecção. Conforme descrito no problema de pesquisa, o algoritmo, por se basear na identificação da região mais escura da imagem, demonstrou ser altamente suscetível a erros. Em diversas situações, o software falhou em identificar corretamente a pupila, confundindo-a com outros artefatos visuais, como sombras projetadas pelos cílios ou mesmo a própria íris em condições de iluminação variável.

Esta observação prática valida a questão de pesquisa do projeto e reforça a hipótese de que simples implementações de baixo custo, sem um aprimoramento de software, não possuem a fiabilidade necessária para aplicações práticas. A discussão presente na literatura apoia esta conclusão, indicando que a criação de sistemas acessíveis e, ao mesmo tempo, precisos, depende fundamentalmente de algoritmos mais sofisticados (DALMAIJER; MATHÔT; VAN DER STIGCHEL, 2014).

b) Características técnicas e aplicações do produto

O produto desenvolvido até o momento é um protótipo funcional de um sistema de eye tracker de baixo custo. Suas principais características técnicas são:

- Utiliza uma câmera PlayStation Eye 4 modificada com um filtro infravermelho artesanal (feito com material de disquete) e um circuito de iluminação com LEDs infravermelhos. O conjunto é montado numa armação de óculos, garantindo portabilidade e estabilidade.
- Opera com um código-fonte aberto em Python, utilizando a biblioteca OpenCV para o processamento de imagem em tempo real (JEORESEARCH, 2024).
- O sistema é alimentado por uma bateria de 9V (para os LEDs) e conecta-se a qualquer computador via USB, não exigindo equipamentos especializados.

As utilidades e aplicações deste dispositivo, uma vez que o software seja aprimorado, são amplas. Além de permitir a realização de experiências de baixo custo em áreas como psicologia e usabilidade de interfaces (NIELSEN; PERINCE, 2010), o seu principal potencial está no campo das tecnologias assistivas. O sistema poderá ser utilizado como um dispositivo de entrada para que pessoas com mobilidade reduzida possam controlar computadores e outros dispositivos por meio do movimento dos olhos.

c) Viabilidade técnica e econômica

Do ponto de vista técnico, a viabilidade encontra-se em desenvolvimento. O hardware provou ser viável, mas os resultados atuais indicam que o software, em sua forma original, não possui a robustez necessária para uma implementação prática. Portanto, a viabilidade técnica do produto final está condicionada ao sucesso dos próximos passos do projeto, que consistem na implementação e teste das metodologias de aprimoramento do algoritmo, conforme detalhado no cronograma. O protótipo atual já foi implementado e serve como uma prova de conceito que valida o problema e a necessidade das melhorias propostas.

Do ponto de vista econômico, a viabilidade é o maior destaque do projeto. O custo total dos materiais utilizados (câmera usada, disquete, LEDs, armação de óculos e componentes eletrônicos básicos) é inferior a R\$150,00. Este valor é baixíssimo quando comparado aos sistemas comerciais de rastreamento ocular, cujos preços podem chegar a dezenas de milhares de dólares. O uso de software livre (JEORESEARCH, 2024) e de um método de montagem acessível (INSTRUCTABLES, [s. d.]) elimina custos de licenciamento e fabricação especializada.

Não há, no momento, projeções para a implementação do produto em larga escala. O impacto potencial de uma produção em maior escala seria a democratização do acesso à tecnologia de rastreamento ocular, permitindo que estudantes, pesquisadores independentes e instituições com

recursos limitados possam conduzir seus próprios estudos e desenvolver novas aplicações, principalmente na área de acessibilidade.

Considerações Finais

Esta pesquisa conclui que é tecnicamente viável e economicamente vantajoso construir um protótipo de hardware para rastreamento ocular utilizando materiais de baixo custo. A montagem de um dispositivo funcional, com uma câmera adaptada e iluminação infravermelha, foi realizada com sucesso. A pesquisa confirmou, no entanto, que o software de código aberto em sua forma original não atende aos requisitos de precisão para aplicações práticas, uma vez que seu algoritmo de detecção da pupila se mostrou instável.

Atualmente, o projeto encontra-se na transição da fase de construção para a de validação. Com o hardware finalizado e os problemas do software claramente identificados, a pesquisa avança para a etapa de aprimoramento e análise quantitativa.

Conforme o cronograma, os próximos passos incluem a implementação e o teste comparativo de metodologias para aprimorar o algoritmo, seguidos pela execução de testes sistemáticos para coleta de dados de desempenho. Em seguida, os dados serão analisados para possibilitar os ajustes finais no sistema. O projeto será concluído com a redação do relatório, consolidando os resultados, e com a apresentação na FECEG. Dessa forma, o trabalho estabelece uma base sólida para o desenvolvimento de uma solução de rastreamento de olhar de baixo custo.

Referências Bibliográficas

DALMAIJER, E. S.; MATHÔT, S.; VAN DER STIGCHEL, S. PyGaze: An open-source, cross-platform toolbox for minimal-effort programming of eyetracking experiments. *Behavior Research Methods*, [s. l.], v. 46, n. 4, p. 913–921, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0422-2>.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO. Tecnologias Assistivas. Disponível em: <https://dsaestudantil.ifmt.edu.br/conteudo/pagina/tecnologias-assistivas/>. Acesso em: 04 abr. 2025.

INSTRUCTABLES. The EyeWriter. [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.instructables.com/The-EyeWriter/>. Acesso em: 10 mar. 2025.

NIELSEN, J.; PERNICE, K. Eyetracking web usability. [S. l.]: New Riders, 2010.

ORLOSKY, Jason. DIY Infrared Eye Tracker for under \$100. [S. l.]: Jason Orlosky, 18 nov. 2024. 1 vídeo (3 min 34 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8lZqCMRMtC8>. Acesso em: 25 mar. 2025.

ORLOSKY, Jason. How Pupil Fitting Works in Eye Tracking Algorithms. [S. l.]: Jason Orlosky, 2 jun. 2024. 1 vídeo (4 min 6 seg). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bL92JUBG8xw>. Acesso em: 25 mar. 2025.

JEORESEARCH. EyeTracker. Disponível em: <https://github.com/JEOresearch/EyeTracker>. Acesso em: 26 mar. 2025.

ZHANG, X.; SUGANO, Y.; BULLING, A. Evaluation of Appearance-Based Methods and Implications for Gaze-Based Applications. In: ACM SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS (CHI), 2019, [S. l.]. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3290605>.