

Filtro de Correção Cromática em Tempo Real para Acessibilidade Digital de Pessoas com Discromatopsia

Carlos Eduardo Rodrigues Simões Rissati¹, José Luis Seixas Junior¹

¹Ciência da Computação
Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR)
Apucarana – Paraná

1. Introdução

As cores desempenham um papel central na vida cotidiana, sendo utilizadas para transmitir informações, sinalizar perigos e organizar dados visuais. No entanto, para indivíduos com discromatopsia, ou daltonismo, a incapacidade de distinguir certas tonalidades pode impor barreiras significativas, desde dificuldades em identificar sinais de trânsito até a complexidade no uso de interfaces digitais que não seguem princípios de design inclusivo [1, 2]. O daltonismo classifica-se majoritariamente em tricromacia anômala, dicromacia e monocromacia, sendo a dicromacia caracterizada pela ausência funcional de um dos tipos de cones na retina [3]. Dentre as variações, a deuteranopia, que afeta a percepção da cor verde, destaca-se como uma das mais comuns.

No contexto da computação gráfica, a manipulação digital de cores oferece uma oportunidade de mitigar essas limitações, permitindo a reinterpretação visual de conteúdos em tempo real para torná-los acessíveis [4]. Embora existam soluções nativas em sistemas operacionais, como os filtros do Windows 10, estas muitas vezes apresentam impacto restrito ou falta de flexibilidade perceptual [5, 6]. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar um filtro de correção cromática global para o sistema operacional Windows, operando em tempo real com foco na deuteranopia. A solução proposta busca equilibrar precisão cromática e desempenho computacional, utilizando aceleração por hardware para interceptar e corrigir quadros de vídeo sem comprometer a usabilidade do sistema.

2. Desenvolvimento

Para fundamentar a solução proposta, investigou-se a mecânica da visão humana e os modelos matemáticos de cor. O método baseia-se no espaço de cores LMS, que simula a resposta dos cones (Longo, Médio, Curto) da retina humana [7]. A correção cromática foi implementada utilizando duas abordagens distintas: o algoritmo de Daltonização LMS e o método baseado em Tabelas de Busca, ou LUT (Look-Up Table). O algoritmo LMS realiza uma conversão matricial dos pixels de RGB para o espaço LMS, simula a perda de informação percebida pelo dicromata e realoca o contraste perdido para frequências de onda visíveis, devolvendo a imagem para o espaço RGB [8, 9]. Já o método LUT pré-calculta essas transformações, permitindo uma aplicação mais rápida durante a execução [10].

A implementação técnica utilizou a linguagem C++ e APIs gráficas do Windows. A captura de tela foi realizada via GDI+, enquanto o processamento de imagem foi delegado à GPU através de OpenGL e GLSL (OpenGL Shading Language). A aplicação foi

projetada como uma camada de sobreposição transparente e global, interceptando o framebuffer do sistema operacional antes da renderização final. Isso garante que a correção seja aplicada a qualquer software em execução, sem necessidade de modificações individuais em cada programa. O fluxo de execução compreende a inicialização do ambiente gráfico, captura contínua de quadros, aplicação do shader de correção (LMS ou LUT) e renderização do quadro processado.

Para validar a eficiência do sistema, foram realizados experimentos quantitativos e qualitativos. A performance foi medida através de um contador de Quadros Por Segundo (QPS). Os resultados indicaram que o sistema mantém uma mediana próxima a 15 QPS, mesmo em modos de economia de energia, valor considerado o limiar mínimo para evitar o fenômeno de cintilação (flickering) e manter a percepção de movimento fluido [11]. Em condições ideais (conectado à fonte de energia), o desempenho foi superior, garantindo estabilidade visual.

A fidelidade cromática foi avaliada utilizando a métrica CIEDE2000 no espaço de cor CIELAB, que modela a percepção humana de diferenças de cor [12]. Comparou-se a distância perceptual entre as cores originais e as corrigidas pelos dois métodos. Os dados demonstraram que o algoritmo LMS oferece maior precisão teórica na redistribuição espectral, enquanto o método LUT apresenta uma leve perda de fidelidade. Contudo, a análise visual qualitativa confirmou que ambos os métodos aumentam efetivamente o contraste entre vermelho e verde para observadores deuteranópes, tornando as imagens mais distinguíveis. O método LUT, apesar da pequena margem de erro, mostrou-se vantajoso pelo menor custo computacional, sendo ideal para aplicações em tempo real.

3. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um filtro de correção cromática global para acessibilidade digital, focado na deuteranopia. Os resultados obtidos demonstraram que é possível realizar a correção de cores em tempo real utilizando técnicas de computação gráfica aceleradas por hardware. A comparação entre os métodos implementados revelou que o uso de LUTs representa um equilíbrio eficiente entre qualidade visual e desempenho, viabilizando a aplicação contínua sem degradar a experiência de uso do computador. O sistema alcançou o objetivo de mitigar as barreiras visuais, proporcionando maior distinção cromática em elementos críticos da interface.

Como limitações, identificou-se a restrição da ferramenta às versões 10 e 11 do Windows e comportamentos inconsistentes na sobreposição gráfica durante certas operações de sistema, como a troca de janelas. Além disso, o estudo focou exclusivamente na deuteranopia. Trabalhos futuros podem expandir a solução para abranger outros tipos de discromatopsia, como protanopia e tritanopia, bem como portar a tecnologia para outros sistemas operacionais, ampliando o alcance da ferramenta como recurso de tecnologia assistiva.

Referências

- [1] Sandra Mazur. Colour vision deficiencies in the digital age: A survey of user experiences with digital displays. Master's thesis, University of Waterloo, 2024.
- [2] Zhenyang Zhu and Xiaoyang Mao. Image recoloring for color vision deficiency compensation: a survey. *The Visual Computer*, 37(12):2999–3018, 2021.

- [3] Zihao Yang et al. Dyschromatopsia: a comprehensive analysis of mechanisms and cutting-edge treatments for color vision deficiency. *Frontiers in Neuroscience*, 18, 2024.
- [4] Mateus Pinheiro de Góes Carneiro. Simulações de daltonismo no desenvolvimento de jogos cromaticamente acessíveis para dispositivos móveis. 2024.
- [5] Isa Paiva, Sean Siqueira, and Simone Ferreira. O recurso de filtro de cores do windows 10 como auxílio para daltônicos no uso de sites. In *Anais do XX Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais*. SBC, 2021.
- [6] Júlia Peixoto Violato. Real-time computer game recoloring for dichromats. 2022.
- [7] D.H. Foster. Chromatic function of the cones. In *Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology*. Elsevier, 2017.
- [8] Gustavo M. Machado, Manuel M. Oliveira, and Leandro A. F. Fernandes. A physiologically-based model for simulation of color vision deficiency. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(6):1291–1298, 2009.
- [9] Hans Brettel, Françoise Viénot, and John D Mollon. Computerized simulation of color appearance for dichromats. *Journal of the Optical Society of America A*, 14 (10):2647–2655, 1997.
- [10] Jeremy Selan. Using lookup tables to accelerate color transformations. In *GPU Gems 2*, chapter 24. Addison-Wesley Professional, 2005.
- [11] Christina Salchow et al. Rod driven frequency entrainment and resonance phenomena. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10:413, 2016.
- [12] Ivar Farup. A computational framework for colour metrics and colour space transforms. *PeerJ Computer Science*, 2, 2016.