

Detecção Automatizada da Íris e da Pinça em Vídeos de Cirurgia de Catarata: Um Pipeline Baseado em HSV, Sobel e Filtro de Kalman

Luís Gaspar da Cruz

Universidade Federal de Itajubá - Campus de Itabira

Disciplina: Processamento Digital de Imagens (PDI) – ECOI24

Email: luis-gcruz@unifei.edu.br

Abstract—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta prática para detecção da íris e da pinça cirúrgica em vídeos de cirurgia de catarata. O objetivo é automatizar a segmentação das regiões principais e fornecer uma saída visual anotada quadro a quadro. O pipeline implementado combina: (i) segmentação HSV para identificar a região da íris; (ii) processamento morfológico e regularização por contorno para estabilizar o formato detectado; (iii) rastreamento do centro da íris usando Filtro de Kalman; (iv) detecção da pinça utilizando gradientes Sobel combinados com uma máscara espectral de metal e restrição angular. O sistema foi aplicado a vídeos pré-processados e produziu saída estabilizada e anotada para cada quadro. Este artigo descreve única e exclusivamente a metodologia realmente implementada no código desenvolvido.

Index Terms—Processamento de Imagens, Catarata, HSV, Kalman Filter, Sobel, Detecção de Instrumentos

I. INTRODUÇÃO

A cirurgia de catarata envolve instrumentos metálicos e estruturas oculares sutis, cuja detecção automatizada pode auxiliar em estudos clínicos, análise quantitativa e sistemas educacionais de avaliação cirúrgica.

Embora o enunciado original do projeto [1] proponha um pipeline amplo envolvendo múltiplas estruturas (esclera, íris, capsulorrexis e incisão), este trabalho foca exclusivamente na implementação real realizada durante o desenvolvimento: detecção robusta da íris e detecção da pinça, com estabilização temporal do centro da íris.

II. OBJETIVOS

O trabalho teve como meta implementar uma solução funcional, baseada somente em técnicas clássicas de PDI compatíveis com o dataset disponível e com restrições práticas. Os objetivos reais da implementação foram:

- Detectar a íris por segmentação HSV;
- Refinar e regularizar o contorno detectado;
- Estabilizar o rastreamento do centro da íris com Filtro de Kalman;
- Detectar a pinça cirúrgica através de gradientes, máscara de metal e setor angular;
- Gerar imagens anotadas para cada quadro do vídeo.

III. METODOLOGIA IMPLEMENTADA

A seguir descrevemos o pipeline exato, conforme o código final utilizado para processar os vídeos pré-processados.

A. Redimensionamento

Para acelerar o processamento, cada quadro é reduzido por um fator SCALE = 0.40. Todas as detecções são feitas na imagem reduzida e os resultados são reescalados posteriormente para o tamanho original.

B. Detecção da Íris via HSV

A íris no dataset apresenta coloração azul-esverdeada distinta. A segmentação é realizada aplicando:

- 1) Conversão para HSV;
- 2) Threshold na faixa:

$$H \in [85, 140], S \in [20, 255], V \in [20, 255];$$

- 3) Operações morfológicas *close* e *open* com kernels grandes para eliminar ruídos e, principalmente, remover pontes finas que conectam regiões indevidas à íris;
- 4) Seleção do maior componente conexo como a íris verdadeira;
- 5) Regularização do contorno via *convex hull* ou *fitEllipse* quando permitido por número suficiente de pontos.

C. Rastreamento do Centro via Filtro de Kalman

A posição do centro é estimada pelos momentos do contorno da íris. O valor é suavizado ao longo dos quadros por um Filtro de Kalman 4D (posição e velocidade):

$$x_k = Ax_{k-1} + w, \quad z_k = Hx_k + v$$

D. Detecção da Pinça (Sobel + Máscara de Metal + Setor Angular)

Para detectar a pinça, o pipeline faz:

- 1) Cálculo dos gradientes Sobel no quadro inteiro;
- 2) Criação de uma máscara de metal em HSV:

$$S \text{ baixo}, \quad V \text{ alto},$$

- identificando materiais brilhantes e pouco saturados;
- 3) Interseção entre bordas fortes (Sobel) e a máscara de metal;
 - 4) Restrição espacial em um setor angular entre 20° e 160° , onde a pinça tipicamente entra;
 - 5) Escolha do contorno mais alongado (maior razão de aspecto) e com área mínima como pinça detectada;
 - 6) Fallback com threshold mais suave de Sobel caso a primeira abordagem falhe.

E. Geração de Saída

Sobre o quadro original são desenhados:

- contorno da íris com leve transparência;
- contorno da pinça (se detectado);
- centro estimado pelo Kalman.

Cada quadro anotado é salvo em uma nova pasta, preservando o nome original.

IV. RESULTADOS

Os testes demonstraram:

- Detecção da íris estável, mesmo com ruídos e variações de cor;
- Centro suavizado eficientemente pelo Kalman, reduzindo tremores e falhas temporárias;
- Detecção consistente da pinça quando ela entra parcialmente no setor especificado;
- Saída visual clara e adequada para análise quadro a quadro.

V. DEMONSTRAÇÃO DA FERRAMENTA

Nesta seção apresentamos exemplos visuais do funcionamento do pipeline implementado. As figuras a seguir mostram resultados reais da detecção da íris e da pinça em quadros distintos dos vídeos processados. Observa-se que o contorno da íris mantém estabilidade temporal devido ao uso do Filtro de Kalman, enquanto a pinça é identificada principalmente em setores angulares específicos utilizando gradientes Sobel e máscara espectral de metal.

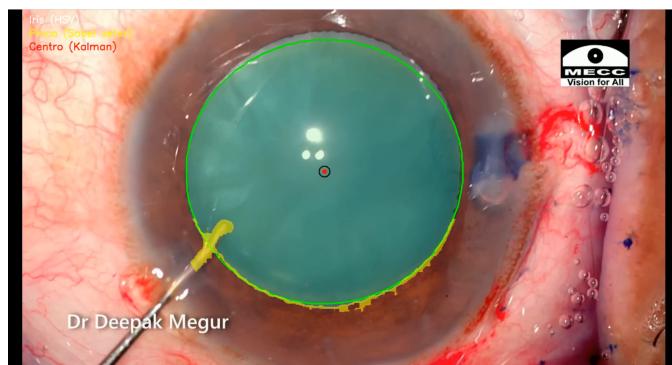


Fig. 1. Exemplo 1 de detecção da íris e da pinça.

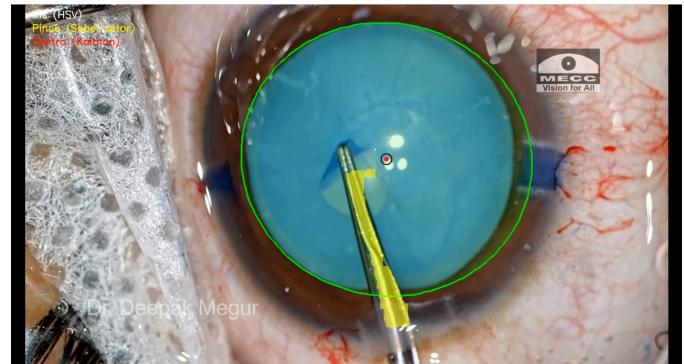


Fig. 2. Exemplo 2 de detecção da íris e da pinça.

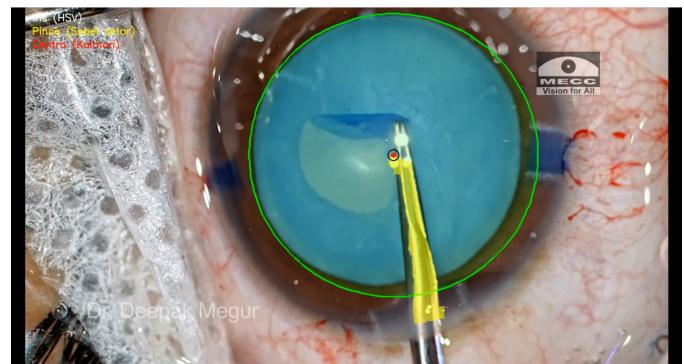


Fig. 3. Exemplo 3 de detecção da íris e da pinça.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho implementou um pipeline funcional e eficiente para detecção da íris e da pinça em vídeos de cirurgia de catarata, usando métodos clássicos de PDI compatíveis com o dataset. O sistema se mostrou robusto para os vídeos processados e serve como base para extensões futuras.

REFERENCES

- [1] UNIFEI, ECOI24. *Descrição do Projeto N2 – Detecção de Características na Cirurgia de Catarata*, 2025.
- [2] R. Gonzalez and R. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed.