



Análise Forense de Documentos Digitais

Prof. Dr. Anderson Rocha

anderson.rocha@ic.unicamp.br

<http://www.ic.unicamp.br/~rocha>

Reasoning for Complex Data (RECOD) Lab.
Institute of Computing, Unicamp

Av. Albert Einstein, 1251 – Cidade Universitária
CEP 13083-970 • Campinas/SP – Brasil

*** Slides preparados baseados em apresentação de
Tiago Carvalho e Priscila Saboia, MO447 (2010s2)**

Detecção de Splicing

Abordagens Baseadas em Inconsistências de Iluminação

Organização

Organização

- ▶ Introdução.
- ▶ Detecção de Splicing.
 - Tipos de Abordagens.
 - Abordagens Baseadas em Iluminação.
 - Abordagem Baseada na reflexão de raios de luz no olho.
- ▶ Conclusão.

Introdução

Computação Forense Digital

“É o conjunto de técnicas científicas para a preservação, coleção, validação, identificação, análise, interpretação, documentação e apresentação de evidências derivadas de meios digitais com a finalidade de facilitar e/ou permitir a reconstrução de eventos, usualmente de natureza criminal”

Edward Delp – Purdue University

Análise Forense de Documentos Digitais

- ▶ É o campo de pesquisas relacionado à análise de documentos digitais para verificação de sua autenticidade e integridade.

A. Rocha, S. Goldenstein

- ▶ Atualmente é de vital importância devido ao gigantesco número de documentos digitais, dos mais diversos tipos, presentes no nosso dia-a-dia.

Adulteração X Falsificação

- ▶ Existem dois tipos de adulterações em documentos digitais:
 - Ajustes que visam melhorar a aparência do documento (um ajuste de brilho em imagens por exemplo).
 - Ajustes que visam enganar o visualizador, o que caracteriza uma falsificação. Um exemplo é o processo de composição de imagens através de conteúdo retirado de outras imagens.

Detecção de Splicing

Splicing: Definição

- ▶ Uma das possíveis adulterações com o intuito de enganar o visualizador é obtida utilizando-se partes de duas ou mais imagens para compor uma nova.
- ▶ Tal processo é denominado na literatura como *Splicing*.
- ▶ Atualmente, diversos casos de splicing têm sido encontrados principalmente em meios de comunicação como jornais e revistas de diversas partes do mundo.
- ▶ Com o intuito de manipular a opinião dos observadores a maioria dos casos envolvem políticos e personalidades do meio artístico.

Exemplo

Em setembro de 2010 o jornal egípcio Al-Ahram alterou uma foto colocando o presidente Hosni Mubarak sendo seguido por diversos líderes de estado.



© Telegraph Media Group Limited 2010

Tipos de Abordagens

Splicing – Abordagens

- ▶ Há diversas formas de se detectar splicing na literatura.
- ▶ Algumas das possíveis abordagens envolvem:
 - Baseadas em inconsistências em descritores.
 - Baseadas em inconsistências do processo de aquisição.
 - Baseadas em inconsistências de compressão.
 - Baseadas em inconsistências de iluminação.

Abordagens baseadas em inconsistências de iluminação

Abordagens

- ▶ Exposição de Falsificações Detectando Inconsistências na Iluminação.
[Micah K. Johnson and Hany Farid 2005]
- ▶ Exposição de Falsificações Através de Raios de Luz Especulares nos Olhos.
[Micah K. Johnson and Hany Farid 2007]
- ▶ Exposição de Falsificações em Ambientes de Iluminação Complexa. [Micah K. Johnson and Hany Farid 2007b]

Exposição de Falsificações por Inconsistências na Iluminação

Método

- ▶ Estima a posição da fonte de luz da cena através de informações como a superfície normal de um ponto e um termo constante de luz do ambiente.
- ▶ Os autores sugerem três tipos de aproximações:
 - Baseada em uma fonte de luz situada no infinito num modelo 3-D.
 - Baseada em uma fonte de luz situada no infinito em um modelo 2-D.
 - Baseada em uma fonte de luz local em 2-D.

Desvantagens do método

- ▶ A utilização do método requer a localização do limite de oclusão da imagem, feito manualmente por um usuário.
- ▶ Tal localização torna o método muito dependente do conhecimento do usuário.
- ▶ A determinação de uma falsificação envolve a determinação de um limiar (11°) entre as direções de iluminação encontradas na imagem.

Resultados do Método



© M. K. Johnson 2005

Resultados do Método



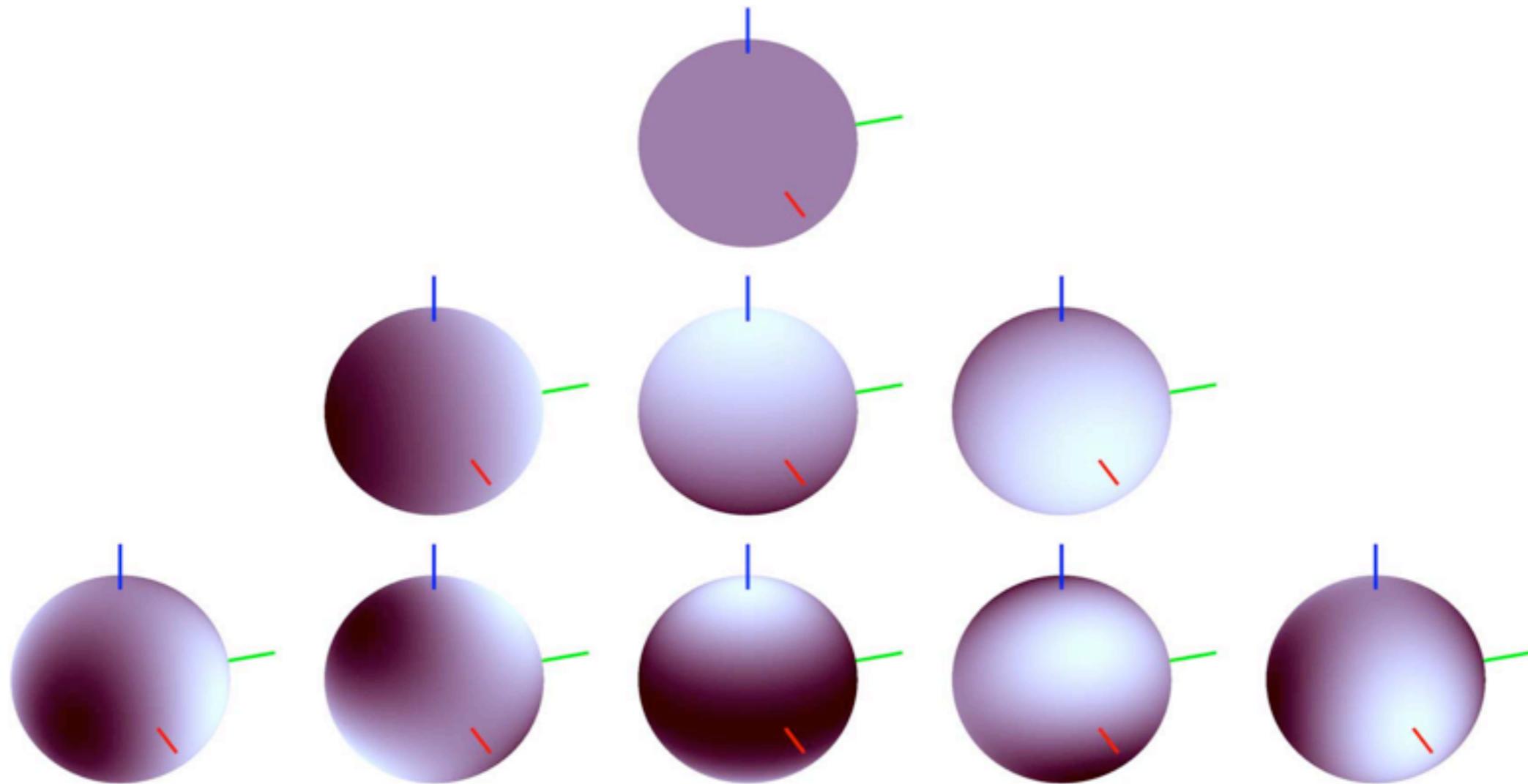
© M. K. Johnson 2005

Exposição de Falsificações em Ambientes de Iluminação Complexa

Método

- ▶ O primeiro passo do método é a criação de um modelo para representar a irradiância (quantidade de luz recebida) em um ponto da imagem.
- ▶ Os autores utilizam uma representação por meio de 9 harmônicos esféricos.

Método



© M. K. Johnson 2007b

Método

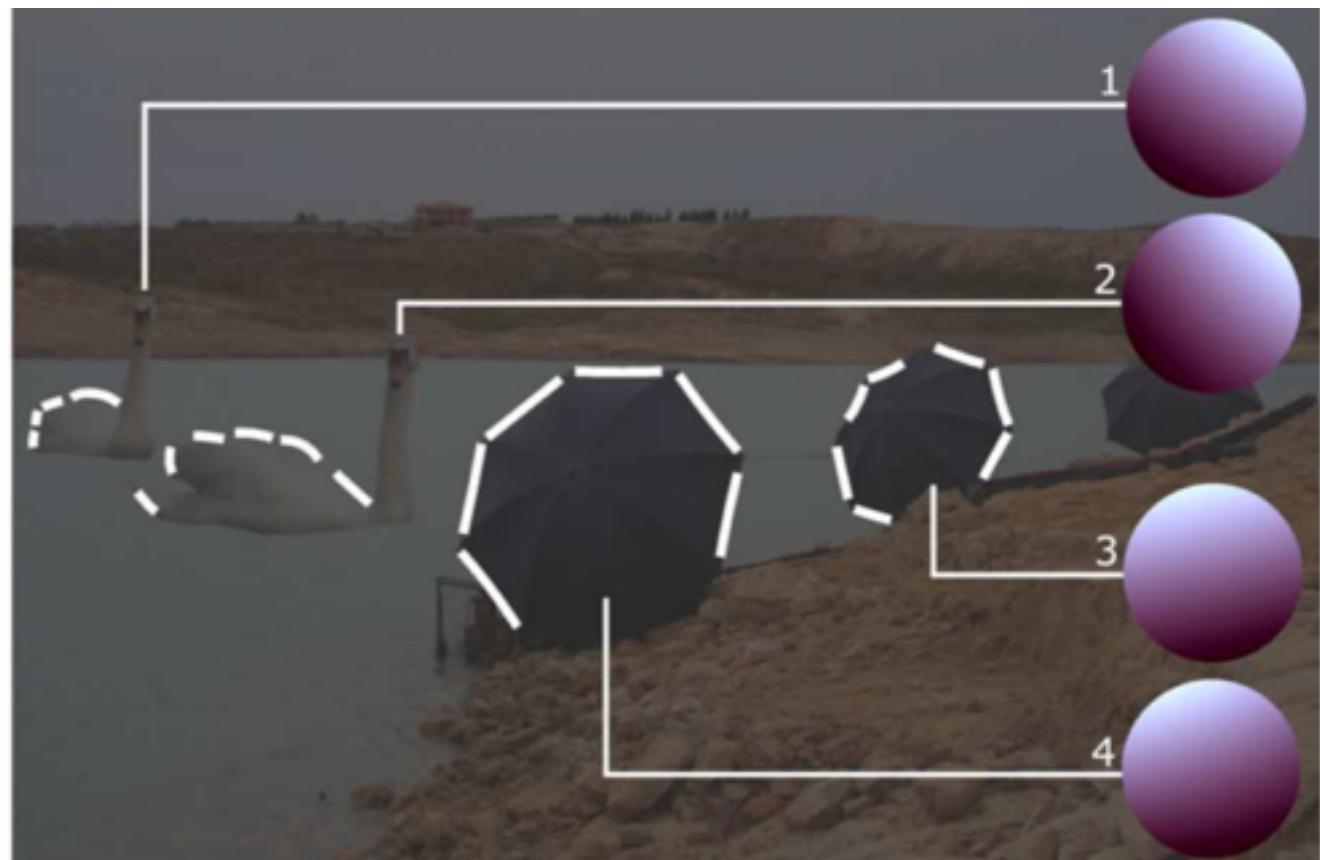
- ▶ A partir de um conjunto de restrições (como assumir que a função de resposta de câmera é linear) os autores expressam a intensidade de iluminação de um pixel através da irradiância e da superfície normal ao pixel.
- ▶ Isso permite que os autores utilizem os harmônicos esféricos para representar a intensidade de luz em um ponto x .

Resultados do Método



© M. K. Johnson 2007b

Resultados do Método



© M. K. Johnson 2007b

Resultados do Método



© M. K. Johnson 2007b

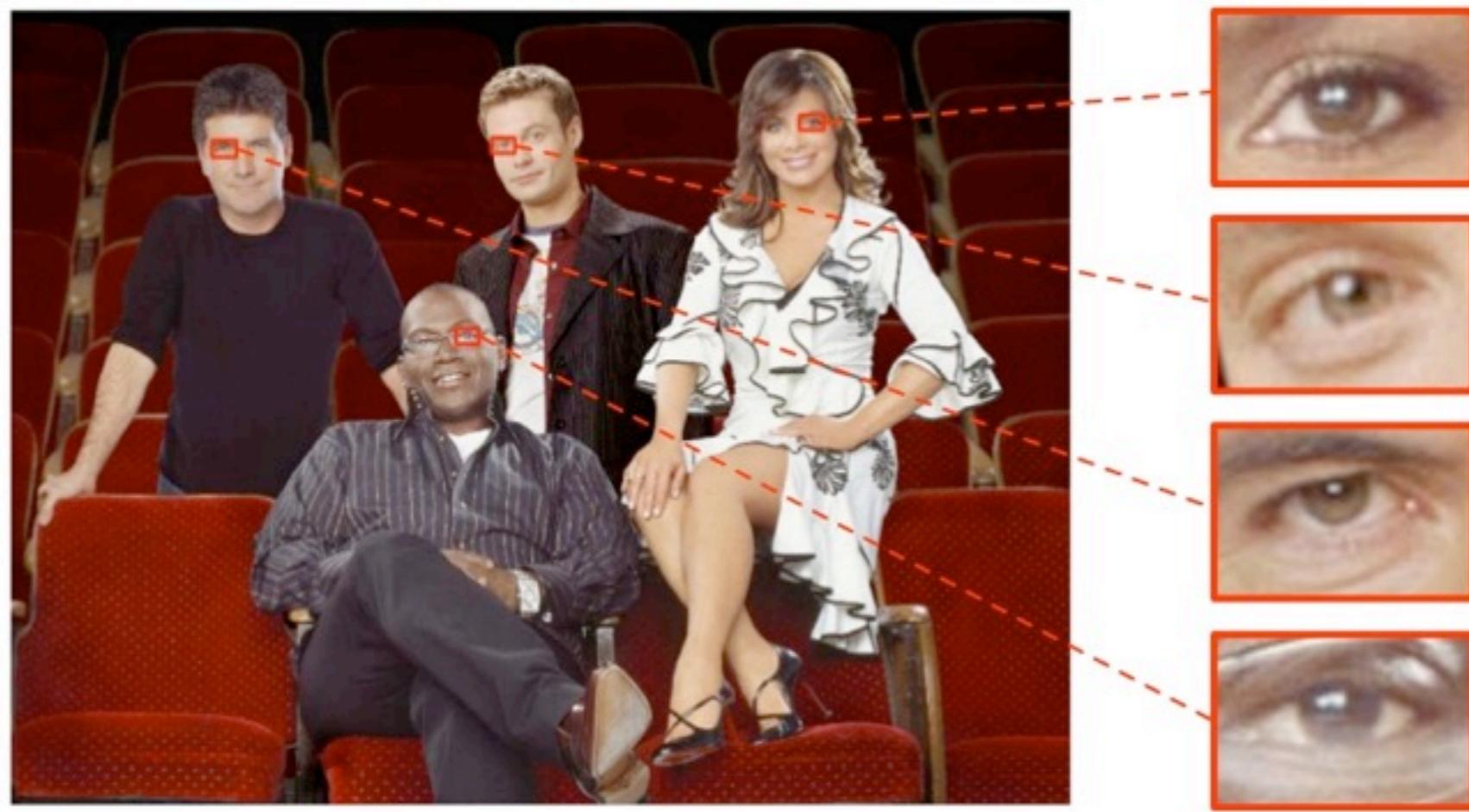
Exposição de Falsificações por Reflexos Oculares

Método

- ▶ Técnica baseada na detecção de inconsistências nos raios de luz refletidos pelos olhos.
- ▶ Supõe que em imagens adulteradas as pessoas foram fotografadas sob diferentes condições de iluminação.

Exemplo

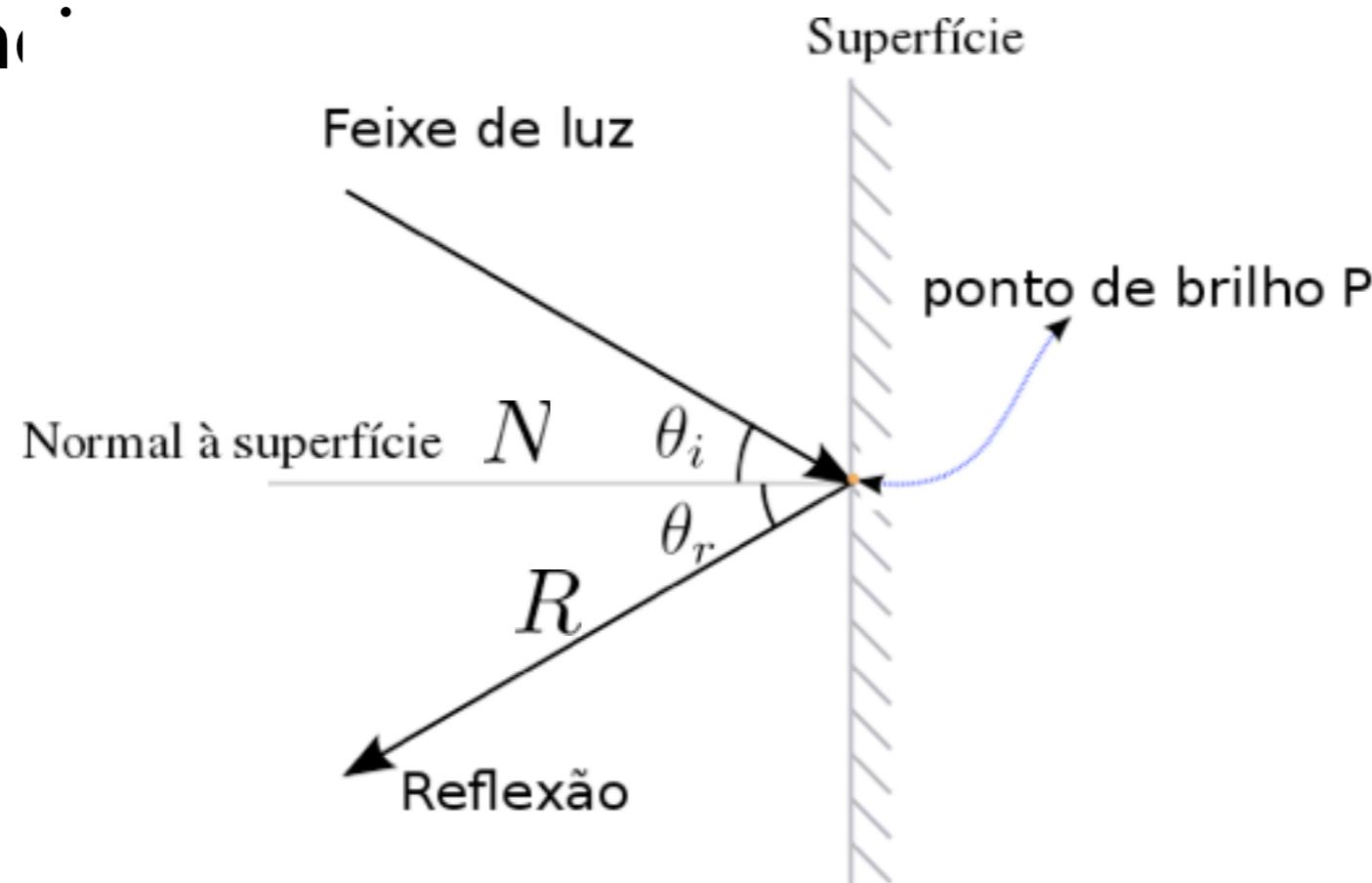
- ▶ Imagem exibindo o apresentador e os juízes da atração americana *American Idol*.



© Fox News and the
Associated Press

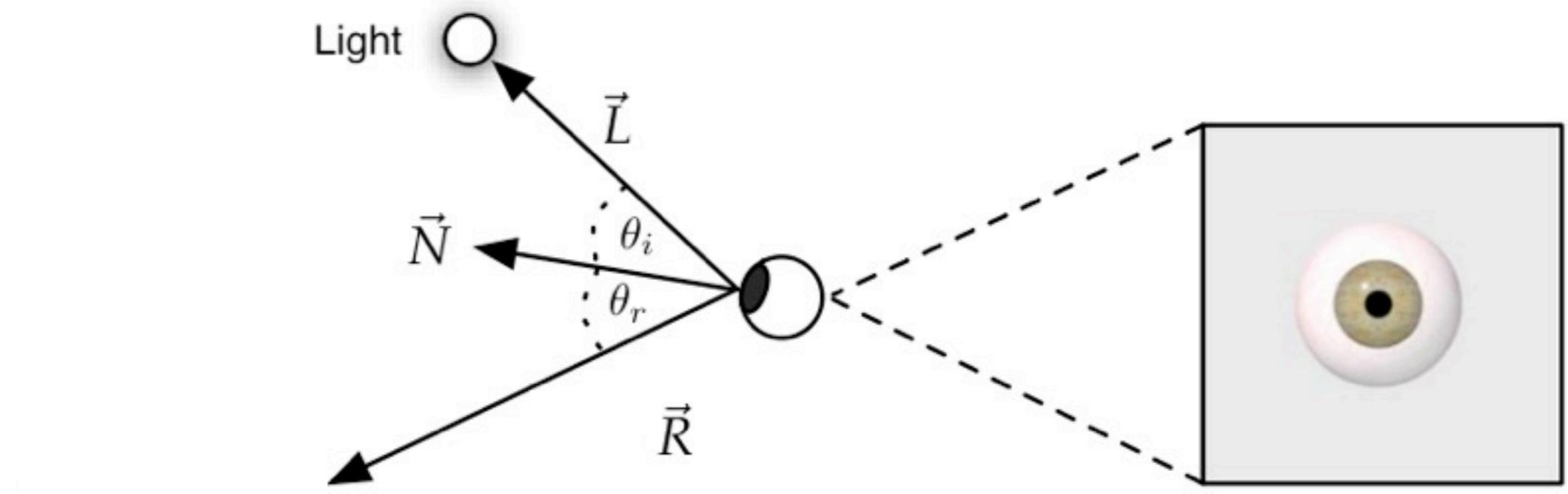
Reflexão Especular

- É a reflexão da luz de uma superfície onde a reflexão incidente se reflete em um ângulo igual ao ângulo de incidência.



©Priscila e Tiago

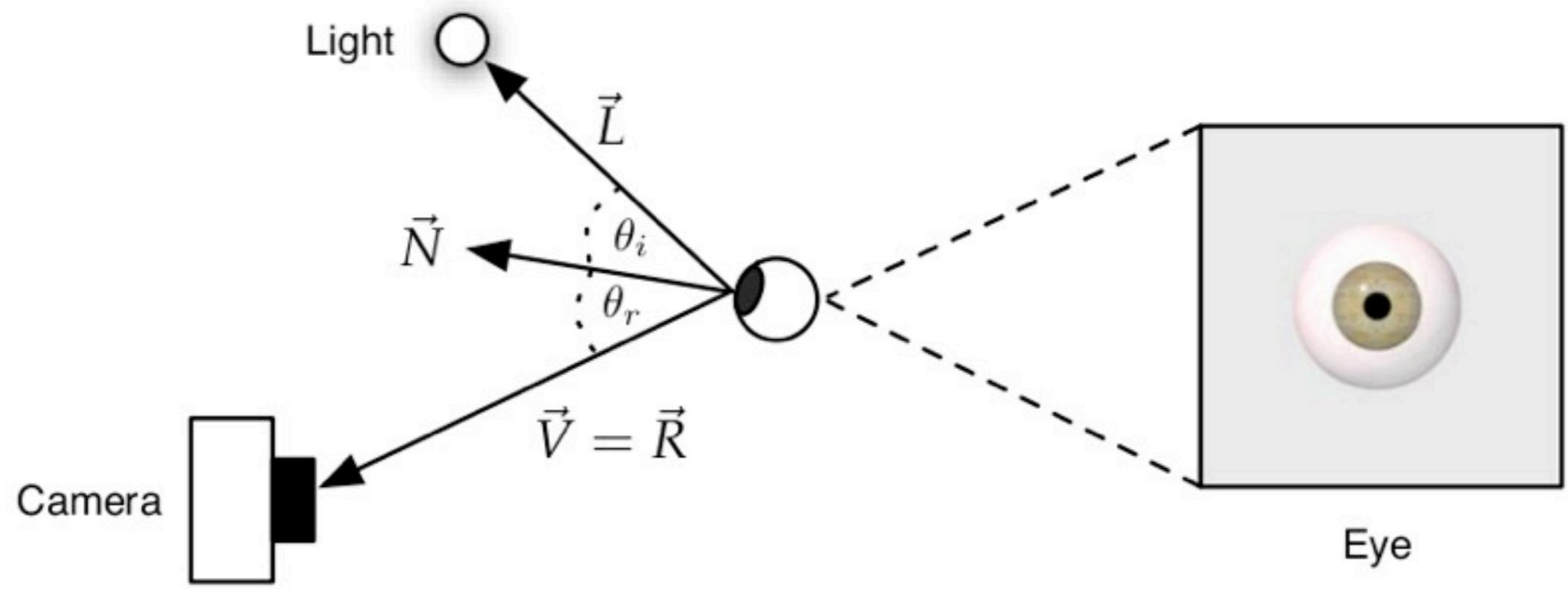
Reflexão Especular nos Olhos



© Micah Kimo Johnson

$$L = 2(V^T N)N - R$$

Reflexão Especular nos Olhos



© Micah Kimo Johnson

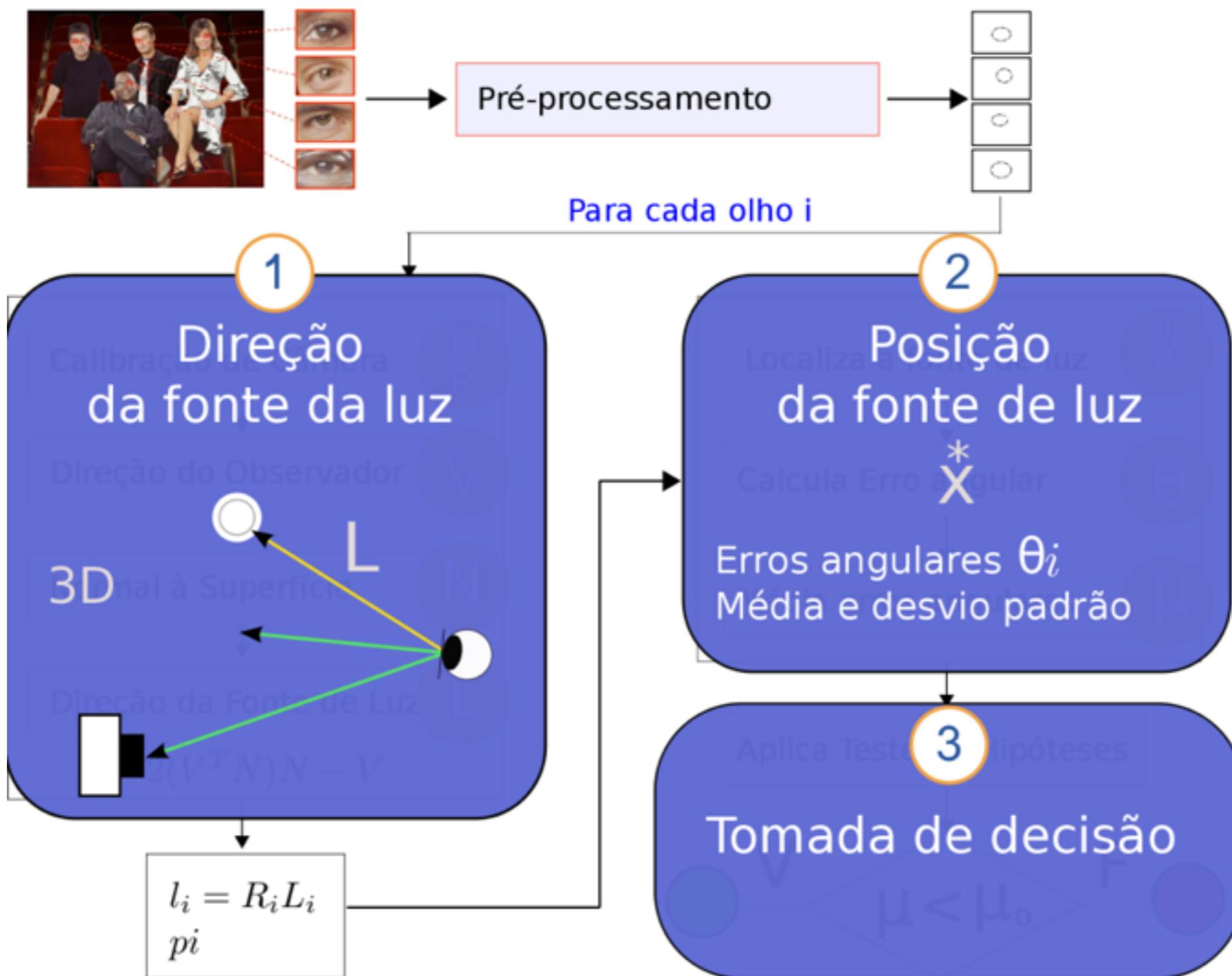
$$L = 2(V^T N)N - V$$

Sistemas de Coordenadas

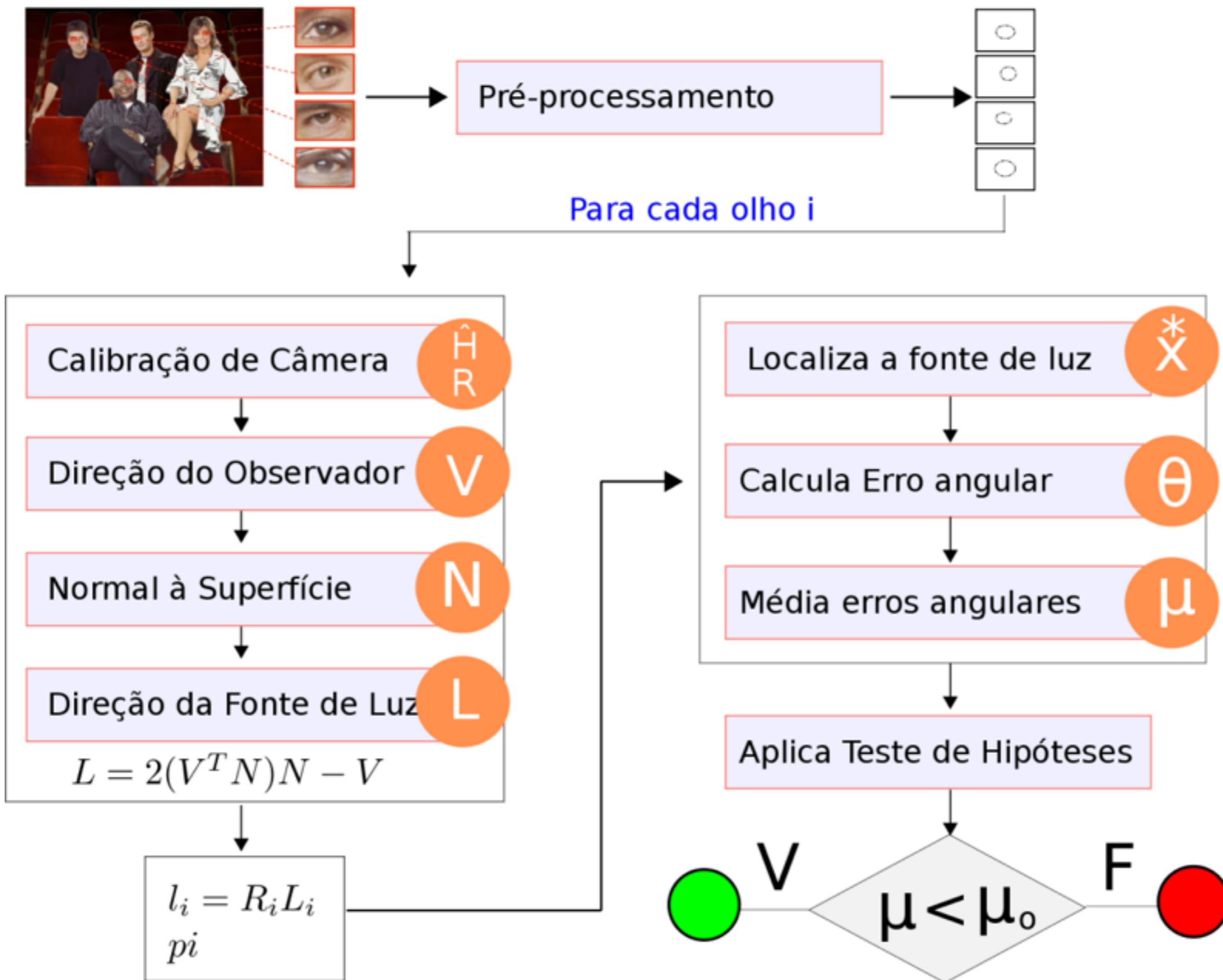
- É importante notar que existem dois sistemas de coordenadas:
 - Sistema relativo ao posicionamento do olho.
 - Caixa Alta
 - Sistema relativo ao posicionamento da câmera.
 - Caixa Baixa

Visão geral do Método

Entrada



Entrada



Etapa I: Direção da Fonte Luz

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Para obter a direção da luz **L** é necessário conhecer os vetores **V** (direção do observador) e **N** (normal à superfície).
- ▶ Para obter **V** e **N** em um sistema de coordenadas comum, primeiro é necessário estimar a *transformação projetiva H* que descreve a transformação de coordenadas do mundo em coordenadas da imagem.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- A *Transformação projetiva* \mathbf{H} que descreve a transformação de coordenadas do mundo em coordenadas da imagem.

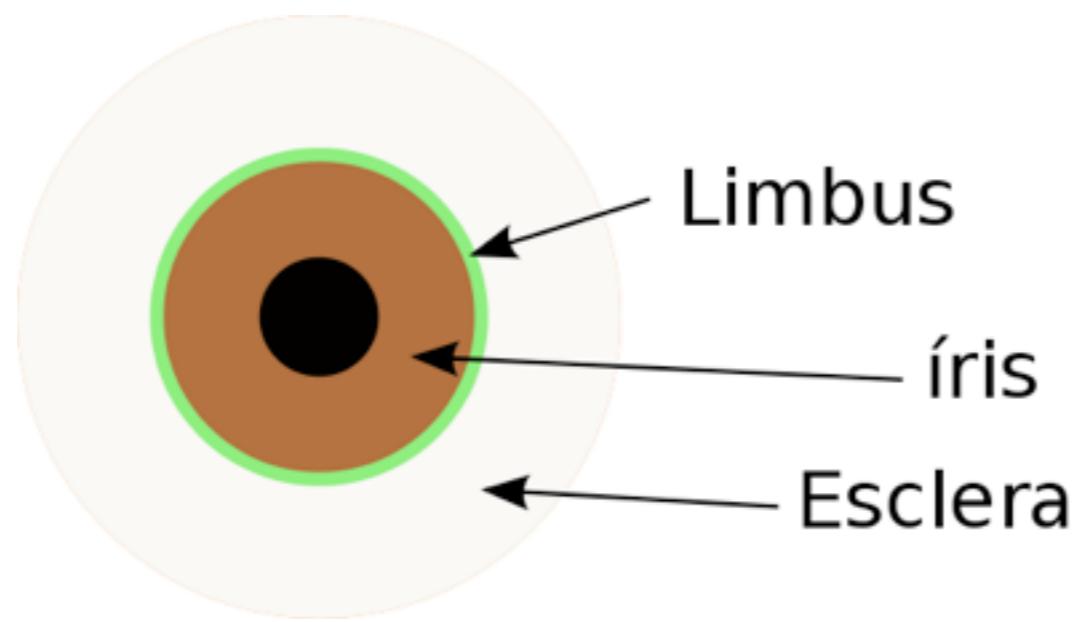
$$x_{im} = HX$$

$$H = \begin{bmatrix} fs_x & f\tau & c_x \\ 0 & fs_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R \ T]$$

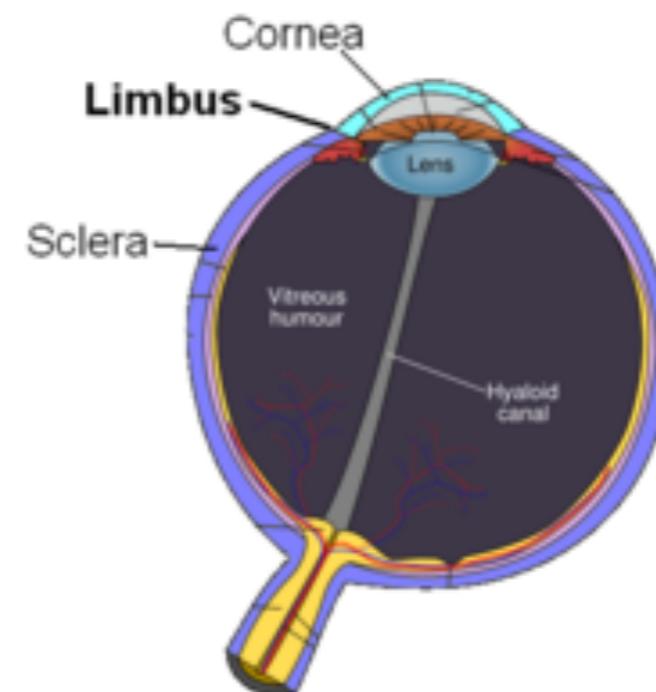
Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ A geometria dos olhos é explorada para estimar a transformação.
- ▶ O **limbus** é a borda entre a esclera (parte branca) e a íris (parte colorida). Ele pode ser modelado um círculo (em verde na Figura).



© Priscila e Tiago

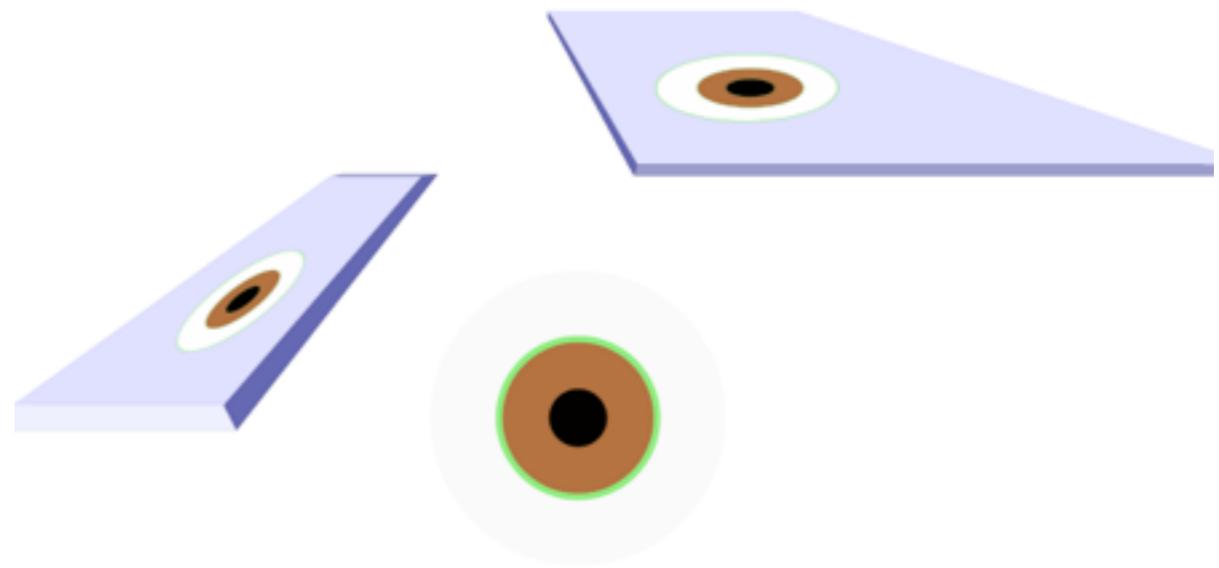


© Rhcastilhos

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ No entanto, a imagem do limbus será uma elipse na imagem capturada pela câmera. Exceto quando os olhos estão exatamente de frente para a câmera.

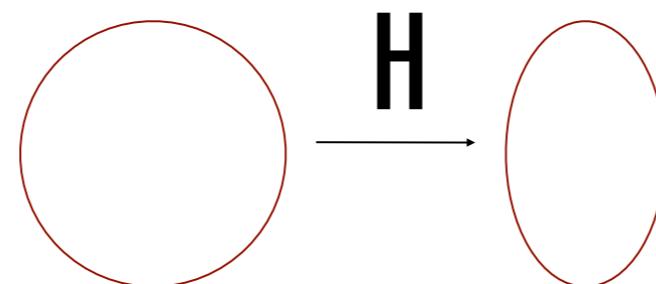


© Priscila e Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Intuitivamente a distorção de uma elipse para um círculo está relacionada com a pose e posição dos olhos em relação à câmera.
- ▶ Desta forma eles procuram a transformação que alinha a imagem do limbus a um círculo.



$$x_{im} = HX$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ No geral, a transformação projetiva que mapeia coordenadas 3D do mundo em coordenadas 2D da imagem são representadas por coordenadas homogêneas, como uma matriz H 3×4 .
- ▶ Eles assumem que pontos no limbus são coplanares e definem as coordenadas do mundo de forma que os pontos do limbus pertencam ao plano $Z = 0$.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Com esse pressuposto, a transformação projetiva é reduzida para uma transformação projetiva planar H 3×3 , onde pontos do mundo X e pontos da imagem x são representados por vetores homogêneos 2D.
- ▶ Assim, pontos do limbus em coordenadas do mundo deve obedecer a seguinte equação implícita do círculo:

$$f(X, \alpha) = (X_1 - C_1)^2 + (X_2 - C_2)^2 - r^2 = 0$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Pontos do limbus em coordenadas do mundo deve obedecer a seguinte equação implícita do círculo:

$$f(X, \alpha) = (X_1 - C_1)^2 + (X_2 - C_2)^2 - r^2 = 0$$

- ▶ O vetor α é formado pelo centro do círculo C e seu raio r.

$$\alpha = (C_1 \ C_2 \ r)^T$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ H e α são encontrados utilizando a seguinte função erro nestes dois parâmetros:

$$E(\alpha, H) = \sum_{i=1}^m \min_{X^*} \|x_i - H X_i^*\|^2$$

- ▶ Esta função de erro é um Problema de Mínimos Quadrados não linear, resolvida usando iteração de Gauss-Newton e Levenberg-Marquadt.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ O problema: com somente um único círculo não existe uma única transformação projetiva H que minimize a equação da soma dos quadrados dos erros.
- ▶ Solução: com dois círculos coplanares a transformação pode ser determinada de forma única.
- ▶ Desta forma a função de erro deve incorporar os dois olhos para estimar a transformação H .

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Depois de estimar a matriz de transformação H esta deve ser decomposta em termos de parâmetros **intrínsecos** e **extrínsecos** da câmera.

$$H = \begin{bmatrix} fs_x & f\tau & c_x \\ 0 & fs_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R \ T]$$

intrínsecos

Extrínsecos

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

► Os parâmetros intrínsecos da câmera:

- Distância focal f ;
- Centro da câmera;
- Distorção geométrica introduzida pelo sistema ótico;
- Proporção do pixel (relação largura/comprimento).

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

► Simplificação:

- O centro da câmera é o centro da imagem;
- Não há distorção radial;
- a proporção do pixel é 1.

► Resta somente o foco f .

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Parâmetros extrínsecos da câmera:
 - Matriz de rotação **R** e vetor de translação **t**.
- ▶ Juntos eles definem a transformação entre o sistema de coordenadas do mundo no sistema de coordenadas da câmera.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Uma vez que os pontos do limbus pertencem a um único plano, a transformação projetiva pode ser decomposta da seguinte forma em termos dos seus parâmetros intrínsecos e extrínsecos:

$$H = \lambda K \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & t \end{pmatrix} \quad K = \begin{pmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- ▶ onde λ é um fator de escala, os vetores colunas **r1** e **r2** são a primeira e a segunda coluna da matriz de rotação **R**, **t** é o vetor de translação e **K** é uma matriz 3x3 diagonal com o foco.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Relembrando: \mathbf{H} é a transformação das coordenadas do mundo para as **coordenadas da \hat{H} imagem**.
- ▶ Pretende-se encontrar a transformação \hat{H} que transforma as coordenadas do mundo em **coordenadas da câmera**, e a rotação \mathbf{R} .

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f conhecida é possível estimar \hat{H} diretamente:

$$\frac{1}{\lambda} K^{-1} H = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & t \end{pmatrix}$$

$$\hat{H} = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & t \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda} K^{-1} H$$

$$R = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & r_1 \times r_2 \end{pmatrix}$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- ▶ Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .
- ▶ Estima-se a distância focal decompondo a matriz H em oito variáveis desconhecidas:
 - Distância focal;
 - Fator de escala λ ;
 - Ângulos de rotação para o eixos x, y e z;
 - Três coordenadas do vetor de translação t .



Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .

$$H = \lambda \begin{pmatrix} fc_y c_z & fc_y s_z & ft_x \\ f(s_x s_y c_z - c_x s_z) & f(s_x s_y s_z + c_x c_z) & ft_y \\ c_x s_y c_z + s_x s_z & c_x s_y s_z - s_x c_z & t_z \end{pmatrix}$$

onde $c_x = \cos(\theta_x)$ e $s_x = \sin(\theta_x)$, $c_y = \cos(\theta_y)$ e $s_y = \sin(\theta_y)$, e $c_z = \cos(\theta_z)$ e $s_z = \sin(\theta_z)$.

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .

$$H_{2x2} = \begin{pmatrix} \lambda f c_y c_z & \lambda f c_y s_z \\ \lambda f (s_x s_y c_z - c_x s_z) & \lambda f (s_x s_y s_z + c_x c_z) \end{pmatrix}$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .

$$H_{2x2} = \begin{pmatrix} \lambda f c_y c_z & \lambda f c_y s_z \\ \lambda f (s_x s_y c_z - c_x s_z) & \lambda f (s_x s_y s_z + c_x c_z) \end{pmatrix}$$

$$\hat{f} = \lambda f$$

$$H_{2x2} = \begin{pmatrix} \hat{f} c_y c_z & \hat{f} c_y s_z \\ \hat{f} (s_x s_y c_z - c_x s_z) & \hat{f} (s_x s_y s_z + c_x c_z) \end{pmatrix}$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .

$$H_{2x2} = \begin{pmatrix} \hat{f}c_y c_z & \hat{f}c_y s_z \\ \hat{f}(s_x s_y c_z - c_x s_z) & \hat{f}(s_x s_y s_z + c_x c_z) \end{pmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix}$$

$$E(\theta_x \theta_y \theta_z, \hat{f}) = \\ (\hat{f}c_y c_z - h_1)^2 + (\hat{f}c_y s_z - h_2)^2 + (\hat{f}(s_x s_y c_z - c_x s_z) - h_4)^2 + (\hat{f}(s_x s_y s_z + c_x c_z) - h_5)^2$$

Etapa I: Direção da Luz

Calibração de Câmera

- Com a distância focal f desconhecida para estimar \hat{H} é necessário primeiro estimar f .

$$E(\theta_x \theta_y \theta_z, \hat{f}) = (\hat{f}c_y c_z - h_1)^2 + (\hat{f}c_y s_z - h_2)^2 + (\hat{f}(s_x s_y c_z - c_x s_z) - h_4)^2 + (\hat{f}(s_x s_y s_z + c_x c_z) - h_5)^2$$

$$f_1 = \frac{\hat{f}(c_x s_y c_z + s_x s_z)}{h_7} \text{ e } f_2 = \frac{\hat{f}(c_x s_y s_z - s_x c_z)}{h_8}$$

$$f = \frac{h_7^2 f_1 + h_8^2 f_2}{h_7^2 + h_8^2}$$

Etapa I: Direção da Luz

Direção da Câmera \mathbf{V}

- ▶ Na etapa de calibração de câmera foi estimado o centro do círculo $\mathbf{C} = (\mathbf{C1}; \mathbf{C2})$.
- ▶ O centro do limbus no sistema de coordenadas do mundo é dado por $\mathbf{X}_c = (\mathbf{C1} \ \mathbf{C2} \ 1)^T$.
- ▶ No sistema de coordenadas da câmera o centro passa a ser:

$$\mathbf{x}_c = \hat{\mathbf{H}}\mathbf{X}_c$$

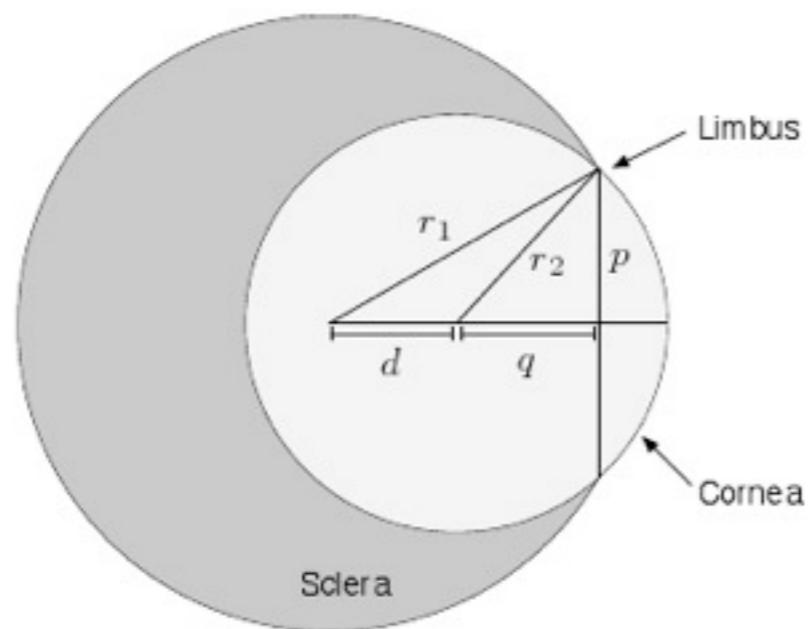
- ▶ A direção de Câmera é o vetor que parte do centro do limbus para a origem do sistema de coordenadas da câmera:

$$\mathbf{v} = -\frac{\mathbf{x}_c}{\|\mathbf{x}_c\|}$$

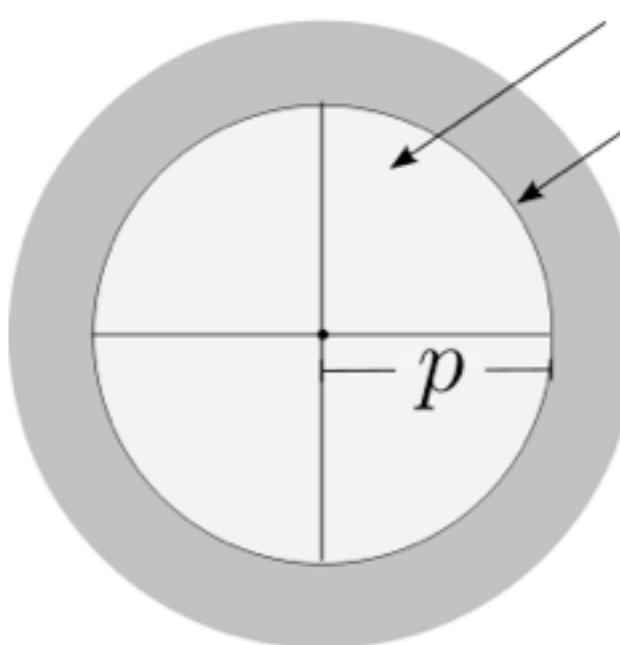
Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.



© Micah 2007



Esfera da Córnea
Limbus

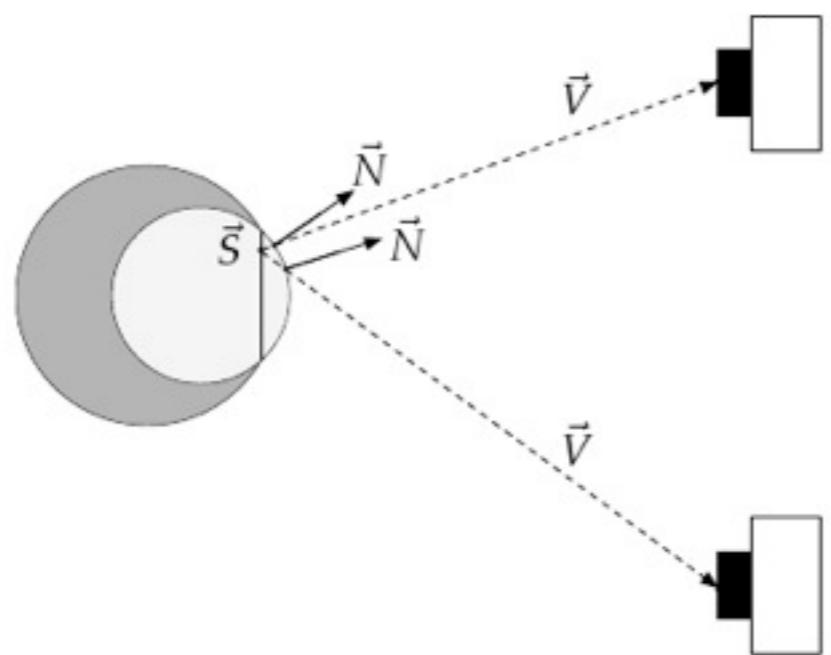
$r_1 = 11,5\text{ mm}$
 $r_2 = 7,8\text{ mm}$
 $d = 4,7\text{ mm}$
 $p = 5,8\text{ mm}$
 $q = 5,25\text{ mm}$
 $0,1\text{ mm}$

© Priscila & Tiago

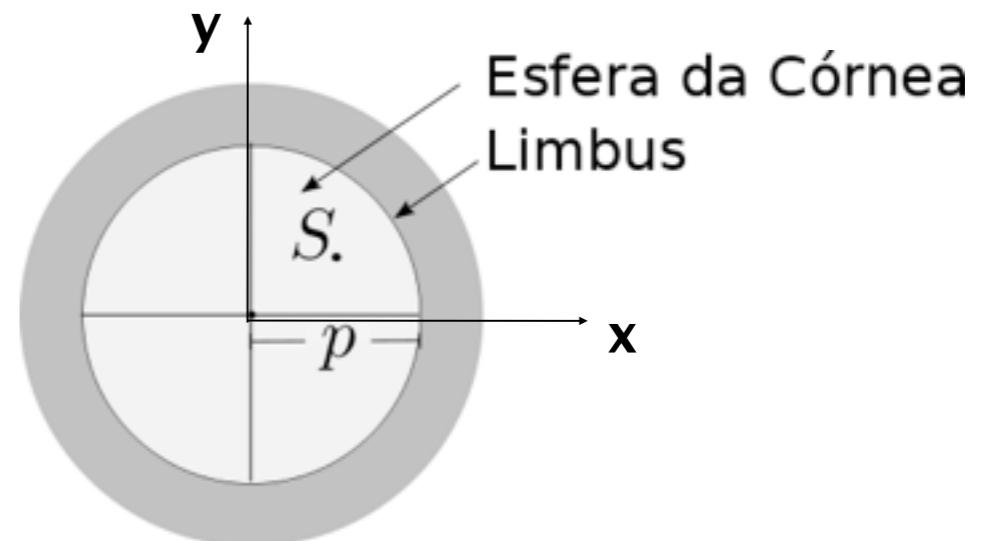
Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal \mathbf{N}

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho \mathbf{N} é estimado a partir de um modelo do olho.



© M. K. Johnson 2007

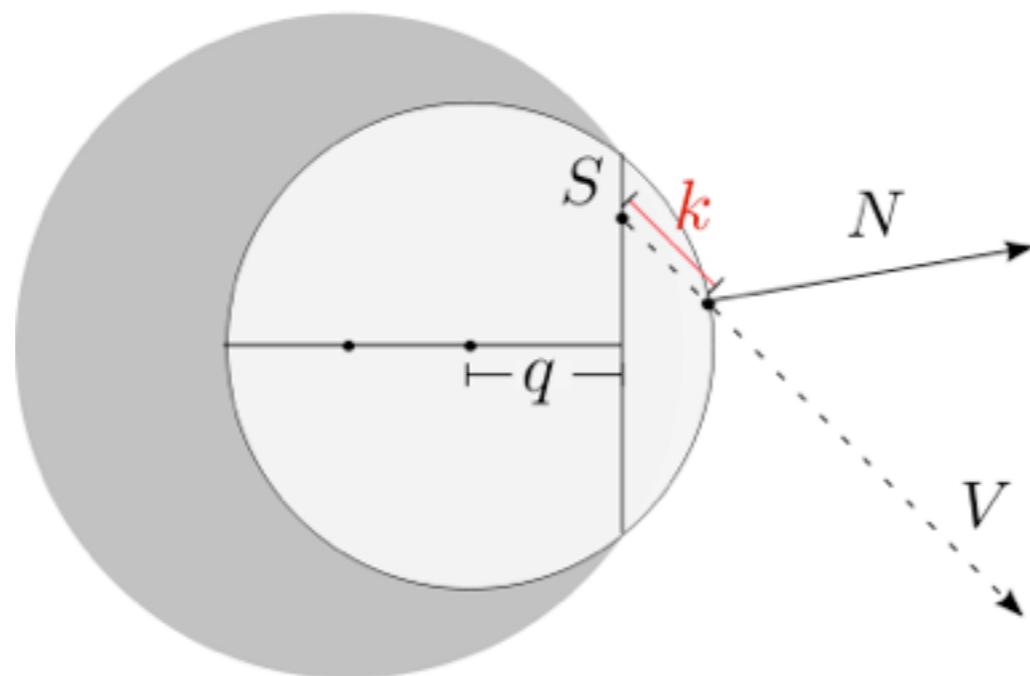


© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal \mathbf{N}

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho \mathbf{N} é estimado a partir de um modelo do olho.

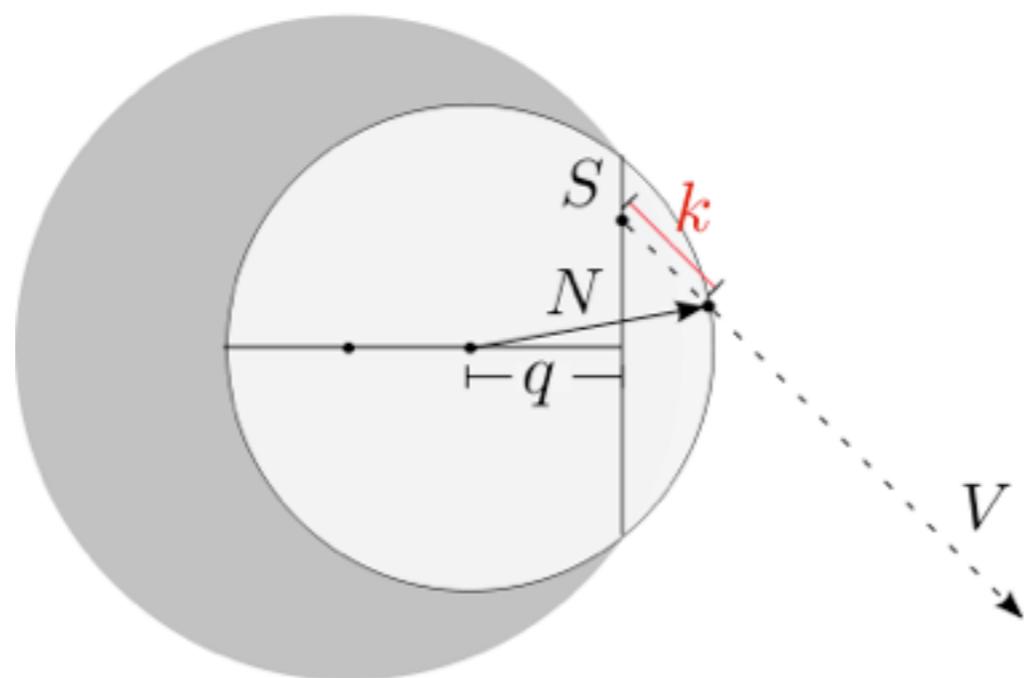


© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal \mathbf{N}

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho \mathbf{N} é estimado a partir de um modelo do olho.

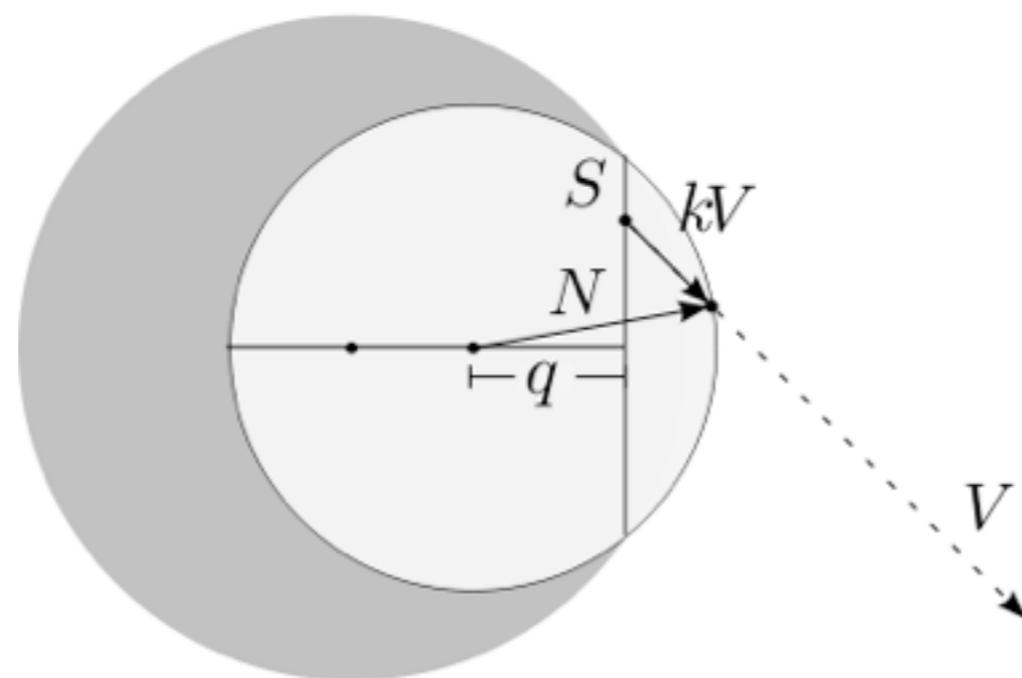


© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.

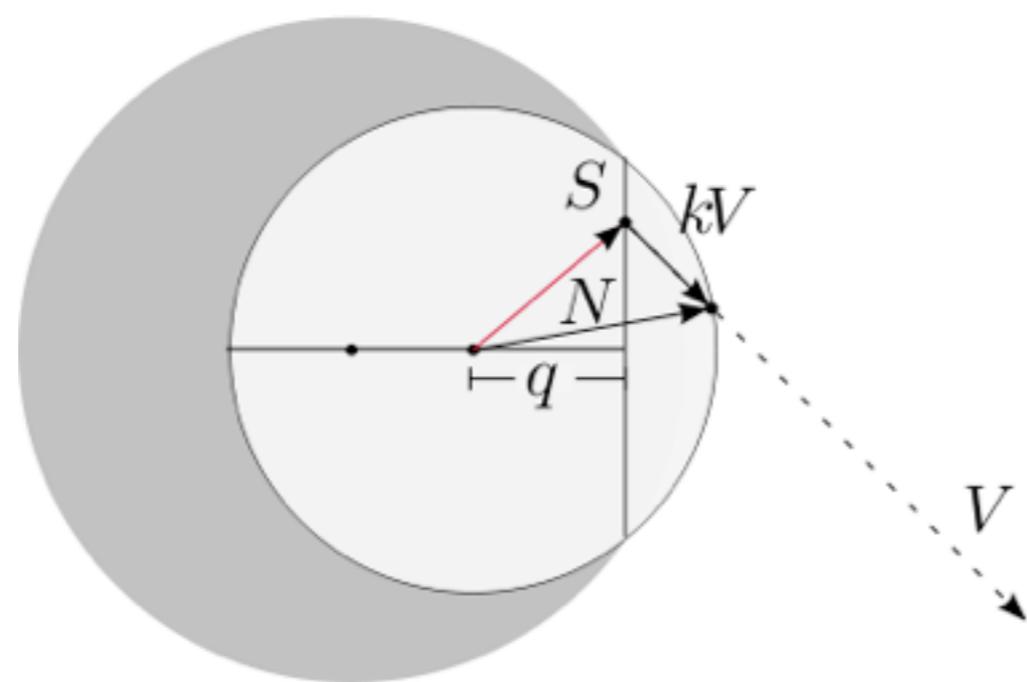


© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.



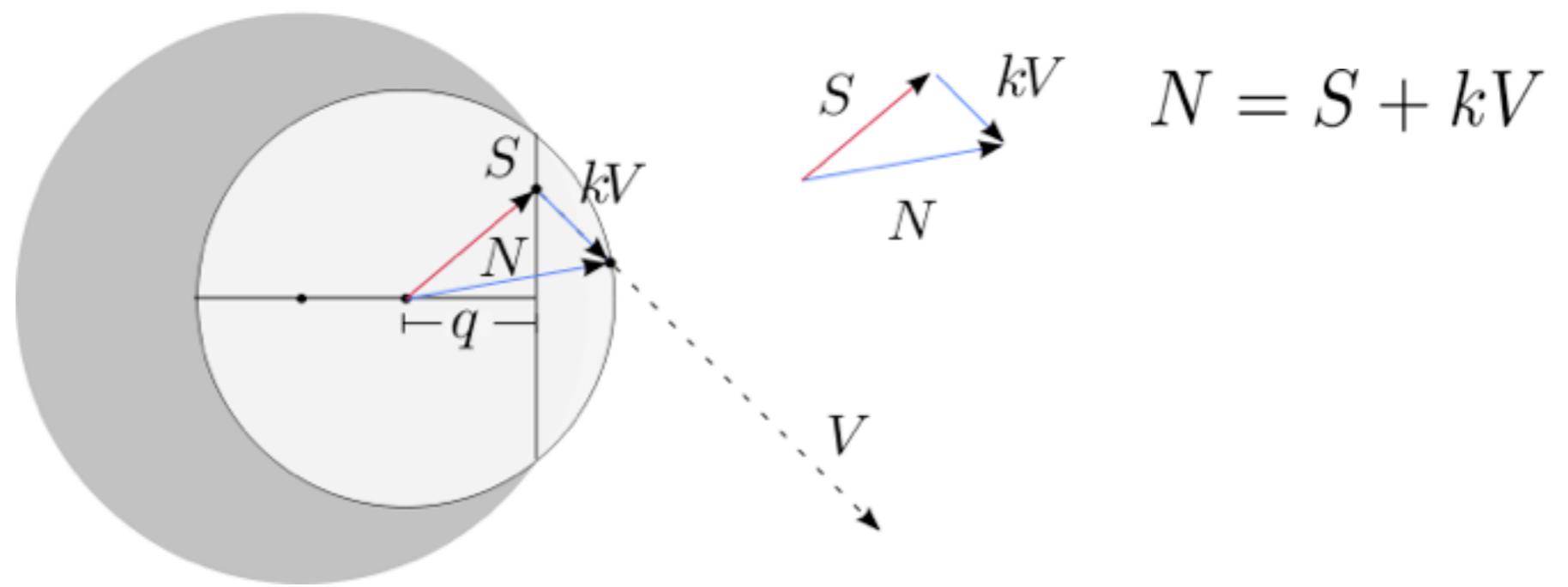
$$S = \begin{pmatrix} S_x \\ S_y \\ q \end{pmatrix}$$

© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.

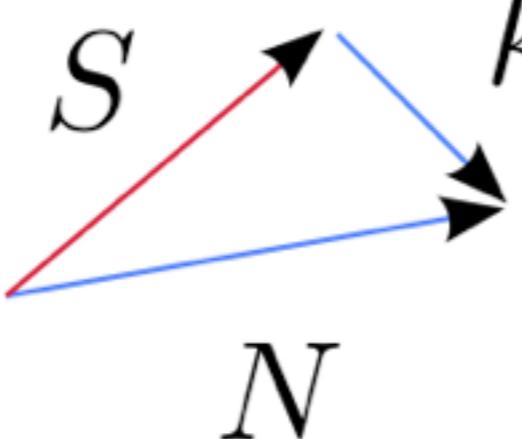


© Priscila & Tiago

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal \mathbf{N}

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho \mathbf{N} é estimado a partir de um modelo do olho.


$$N = S + kV$$
$$N = \begin{pmatrix} S_x + kV_x \\ S_y + kV_y \\ q + kV_z \end{pmatrix}$$

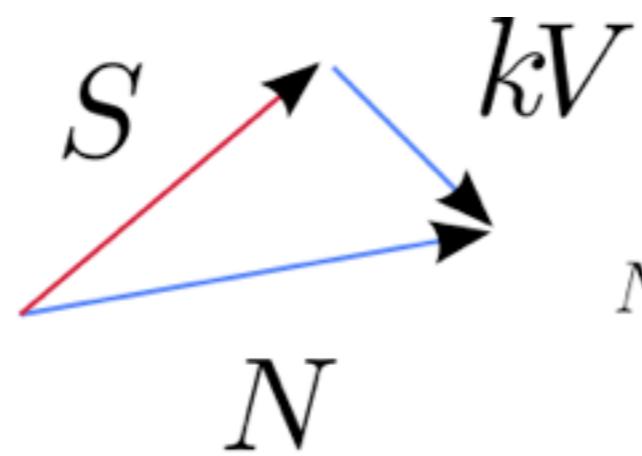
$$X_s = H^{-1}x_s$$

$$S = \frac{q}{r}(X_s - C)$$

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.

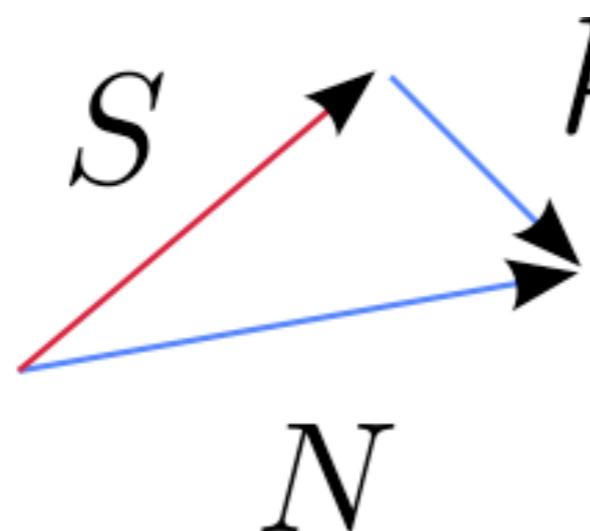

$$N = \begin{pmatrix} S_x + kV_x \\ S_y + kV_y \\ q + kV_z \end{pmatrix}$$

$$V = R^{-1}v$$

Etapa I: Direção da Luz

Direção Normal **N**

- ▶ O vetor 3D normal à superfície do olho **N** é estimado a partir de um modelo do olho.


$$N = \begin{pmatrix} S_x + kV_x \\ S_y + kV_y \\ q + kV_z \end{pmatrix}$$

$$r_2 = \sqrt{(S_x + kV_x)^2 + (S_y + kV_y)^2 + (q + kV_z)^2}$$

$$k^2 + 2(S_x V_x S_y V_y + q k V_z)k + (S_x^2 + S_y^2 + q^2 - r_2^2) = 0$$

Etapa I: Direção da Luz

Direção da Luz L

$$L = 2(V^T N)N - V$$

$$l = RL$$

Etapa 2:
**Estimar a posição da fonte
de luz e erros angulares**

Consistências das Estimativas

- ▶ Estimado o raio de luz refletido para cada pessoa da foto, é necessário se verificar se todos eles partiram de uma mesma fonte de luz.
- ▶ O primeiro passo é se estimar a fonte de iluminação da cena.
- ▶ Para isso é necessário que sejam assumidas algumas restrições.

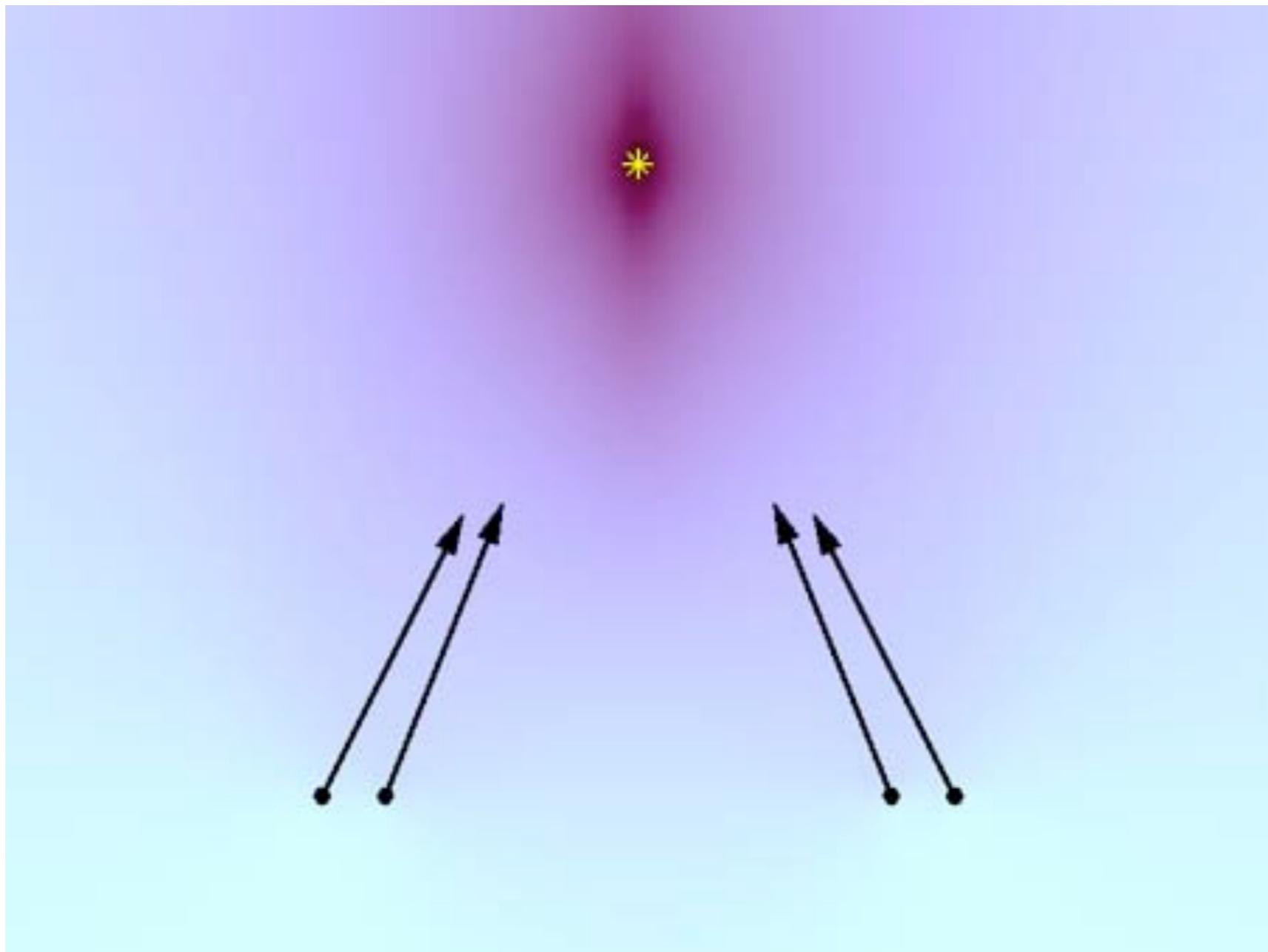
Consistências das Estimativas

- ▶ Fontes de luz são pontuais.
- ▶ Raios convergem em direção à fonte de luz.
- ▶ Para cada um dos i raios de luz especulares, o ângulo entre o vetor para a fonte de luz na posição x e a direção estimada é

$$\theta_i(\vec{x}) = \cos^{-1} \left(\vec{l}_i^T \frac{\vec{x} - \vec{p}_i}{\|\vec{x} - \vec{p}_i\|} \right)$$

- ▶ \vec{p}_i É a posição do i -ésimo raio de luz specular.

Consistências das Estimativas



© Micah 2007

Consistências das Estimativas

- Dados N raios de luz e as respectivas posições de fontes de luz estimadas, a fonte de luz pontual pode ser estimada maximizando a função de erro abaixo, através do método não-linear do gradiente conjugado

$$\hat{E}(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N \vec{l}_i^T \frac{\vec{x} - \vec{p}_i}{\|\vec{x} - \vec{p}_i\|}$$

Consistências das Estimativas

- ▶ Assim, \vec{x}^* denota a posição da fonte de luz.
- ▶ Logo o ângulo entre o i-ésimo raio de luz e fonte de luz é dado por

$$\theta_i(\vec{x}^*)$$

- ▶ Mesmo depois de estimar a fonte de iluminação da cena, os autores preferem não trabalhar com um limiar para dizer se uma imagem possui ou não splicing.

Etapa 3: Tomada de Decisão

Consistências das Estimativas

- ▶ Utilizam um método estatístico denominado “Teste de Hipóteses”.

$$z = \frac{\mu - \mu_0}{\sigma_0 / \sqrt{N}}$$

- ▶ μ, μ_0, σ_0 Representam respectivamente a média dos N erros angulares da imagem, a média e o desvio padrão estimados de imagens normais.

Consistências das Estimativas

- ▶ Por fim a significância do Teste de Hipóteses é dada em termos da função de erro padrão

$$p(z) = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right)$$

- ▶ Onde

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$$

Consistências das Estimativas

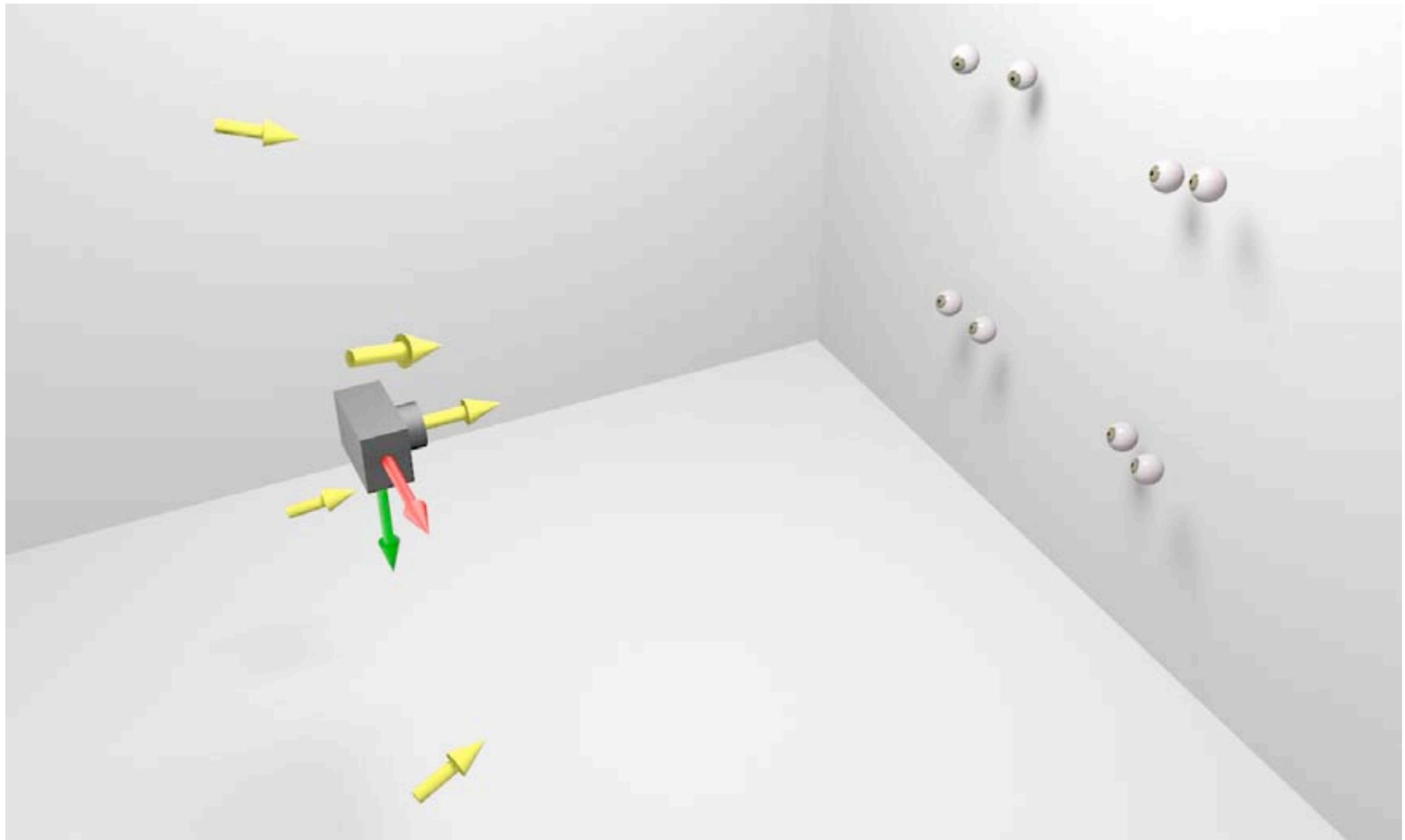
- ▶ Se a significância do Teste de Hipóteses for menor que um determinado nível escolhido (e.g. 1%) então o erro angular médio dos raios de luz é maior que o esperado e considerado inconsistente. Caso contrário a estimativa não pode ser considerada inconsistente.

Resultados

Imagens Sintéticas

- ▶ Imagens sintéticas dos olhos foram geradas utilizando o software “pbrt”.
- ▶ Foram utilizadas 12 posições diferentes para os olhos.
- ▶ Os olhos foram iluminados com duas fontes de luz:
 - Uma fonte fixa alinhada com a câmera.
 - Uma fonte colocada em 1 de 4 posições diferentes.
- ▶ Imagens de 1200 x 1600 com a córnea ocupando menos de 0,01% da imagem.

Imagens Sintéticas



© Micah 2007

Imagens Sintéticas

- ▶ A posição do limbus e dos raios de luz especulares são extraídos automaticamente.
- ▶ Todas as variáveis (como a transformação projetiva H , a superfície normal, a direção do visualizador, e a direção da fonte de luz foram estimadas).
- ▶ Com uma distância focal conhecida o erro angular médio foi de 2.8° com desvio padrão de 1.3° e erro máximo de 6.8° .
- ▶ Com uma distância focal desconhecida o erro angular médio foi de 2.8° com desvio padrão de 1.3° e erro máximo de 6.3° .

Imagens Reais Com Iluminação Controlada

- ▶ Um segundo cenário exibe um sujeito fotografado em um ambiente de iluminação controlada.
- ▶ A posição do sujeito, bem como das fontes de luz foram ajustados manualmente.
- ▶ A posição do limbus e dos raios de luz especulares foram manualmente selecionados.
- ▶ Com um comprimento focal conhecido, o erro angular médio foi de 8.6° e com um comprimento desconhecido a média foi de 10.5° .

Imagens Reais Com Iluminação Controlada



© Micah 2007

Imagens Reais

- ▶ 20 imagens retiradas do Flickr.
- ▶ Elipses foram ajustadas manualmente ao redor do limbus.
- ▶ Os raios especulares foram localizados selecionando um limite retangular ao redor dos raios de luz e computando o centróide da seleção.
- ▶ No total foram estimadas 88 direções de luz (44 pessoas).
- ▶ O erro angular médio foi de 6.4° , com desvio padrão de 2.8° e erro máximo de 12.8° .

Imagens Reais



© Micah 2007

Falsificações



© Micah 2007

Falsificações

- ▶ Os erros médios das falsificações sempre foram maiores que os erros das imagens autênticas, o que pode ser

	Idol (L)	Idol (R)	Kiss (L)	Kiss (R)	Bogart	Clooney
mean	11.5	17.8	23.9	12.9	11.2	13.1
std. dev	6.0	8.5	11.0	5.0	3.1	6.1

Conclusões

Conclusões e Críticas

- ▶ O autor valida seu método com pouquíssimas imagens.
- ▶ O método só funciona em imagens que possuem pessoas.
- ▶ Para que o método funcione de maneira correta é necessário que o raio de luz seja refletido nos olhos.
- ▶ O método pode ser facilmente burlado se o reflexo de luz nos olhos for removido.

Conclusões e Críticas

- ▶ Método estendido por P. Saboia, T. Carvalho e A. Rocha, ICIP 2011 para incorporar novas características e aprendizado de máquina

Referências

Referências

- [Micah K. Johnson and Hany Farid 2007b] M.K. Johnson and H. Farid. Exposing Digital Forgeries in Complex Lighting Environments. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 3(2):450–461, 2007.
- [Micah K. Johnson and Hany Farid 2007] M.K. Johnson and H. Farid. Exposing digital forgeries through specular highlights on the eye. In *9th International Workshop on Information Hiding*, Saint Malo, France, 2007.
- [Micah K. Johnson and Hany Farid 2005] M.K. Johnson and H. Farid. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting. In *ACM Multimedia and Security Workshop*, New York, NY, 2005.
- [Micah K. Johnson 2007]. M. K. Johnson. *Lighting and Optical Tools for Image Forensics*. PhD thesis, Department of Computer Science, Dartmouth College, Hanover, NH, 2007.
- [Anderson R. Rocha and Siome K. Goldenstein 2010] A.R. Rocha and S.K. Goldenstein. Atualizações em Informática, chapter CSI: Análise Forense de Documentos Digitais, pages 263–317. Sociedade Brasileira de Computacao (SBC), 2010.

Obrigado!
