

Rastreamento de Olhar Usando Compressive Sensing

Trabalho de formatura

Rafael Pereira Lima

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hitoshi Morimoto

IME-USP

8 de dezembro de 2016

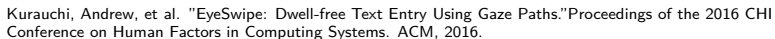
Rastreamento de olhar

Rastreamento de olhar consiste na determinação da posição do olhar em determinado período.



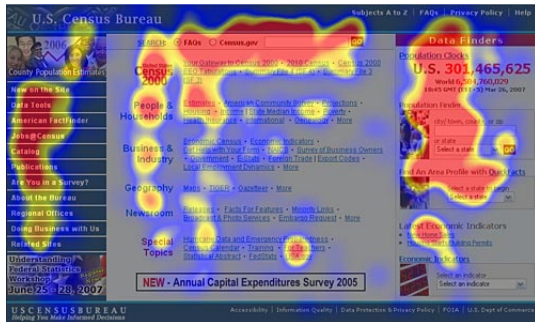
<https://pupil-labs.com/blog/2016-07/new-headset-color/>

Aplicações



Rastreamento de olhar

Aplicações



<https://www.nngroup.com/articles/fancy-formatting-looks-like-an-ad/>

Rastreamento de olhar

Aplicações



<http://www.businessinsider.com.au/eye-tracking-heatmaps-2014-7>

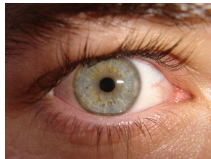
Rastreamento de olhar

Rastreamento baseado em vídeo



<https://pupil-labs.com/blog/2014-01/new-pupil-pro-headset-capture-software-0-3-7/>

Imagem do olho em RGB



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:My_eye.jpg

Imagem em Infravermelho



Rastreamento de olhar

Rastreamento baseado em vídeo

Head-mounted



<https://pupil-labs.com/blog/2014-01/new-pupil-pro-headset-capture-software-0-3-7/>

remoto



<http://www.tobii.com/group/news-media/press-releases/2015/12/tobii-validated-for-windows-hello-login-announces-support-for-facial-recognition/>

Compressive Sensing

Compressive Sensing(CS), ou Compressed Sensing, estuda formas de reconstruir um vetor x com

$$Ax = y$$

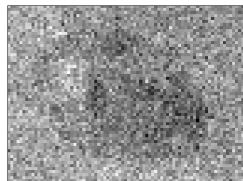
onde A é $m \times n$ e $m \ll n$.

Compressive Sensing

Poderíamos tentar o método dos mínimos quadrados:

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|Ax - y\|_2^2$$

mas



Adaptado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5-stip_LHB_09.jpg

Compressive Sensing

Imagens geralmente são esparsas no espectro da frequência.



Imagem original



Compressão de 40%

Adaptado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Along_The_Main_Ride_-_Beale_Arboretum

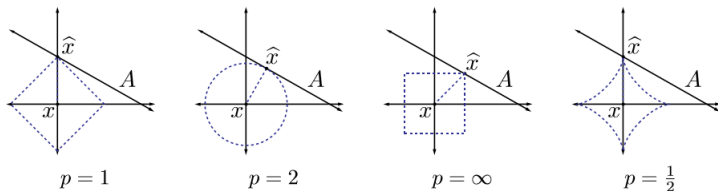
Compressive Sensing

Queremos encontrar x mais esparsa com $Ax = y$, ou seja,

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|x\|_0 \text{ sujeito a } Ax = y \quad (P_0)$$

onde $\|x\|_0$ é a quantidade de elementos não nulos de x .
Mas (P_0) é NP.

Compressive Sensing



Davenport, Mark A., et al. "Introduction to compressed sensing." Preprint 93.1 (2011): 2.

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|x\|_p \text{ sujeito a } Ax = y \quad (P_p)$$

Compressive Sensing

CS estuda as condições que A deve satisfazer para garantir a equivalência entre

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|x\|_0 \text{ sujeito a } Ax = y \quad (P_0)$$

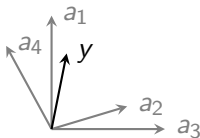
e

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} \|x\|_1 \text{ sujeito a } Ax = y \quad (P_1)$$

Compressive Sensing

Uma dessas condições leva em conta a coerência de A , definida como

$$\mu(A) = \max_{i \neq j} |\langle a_i, a_j \rangle|$$



Note que

$$y = Ax = \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

Compressive Sensing

A com a_{ij} iid $\mathcal{N}(0, 1)$ satisfaz essas condições com alta probabilidade.

Compressive Sensing

Algoritmo de homotopia

Resolve (P_1) encontrando uma sequência (x_n) de soluções para

$$J_n(x) = \|Ax - y\|_2^2 + \lambda_n \|x\|_1$$

com (λ_n) decrescente.

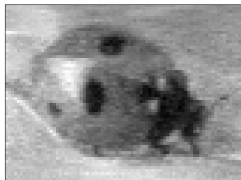
Compressive Sensing

Algoritmo de homotopia

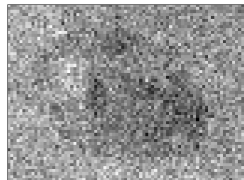
Imagens recuperadas com taxa de compressão de 20%



Imagem original



Homotopia



Mínimos quadrados

Adaptado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5-stip_LHB_09.jpg

Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet

Dada uma matriz

$$A = \left[\begin{array}{c|c|c|c} \text{eye} & \text{eye} & \text{eye} & \dots & \text{eye} \end{array} \right]$$

e um vetor

$$y = \left[\text{eye} \right]$$

qual é a coluna de A (amostra) mais parecida com y ?

Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet

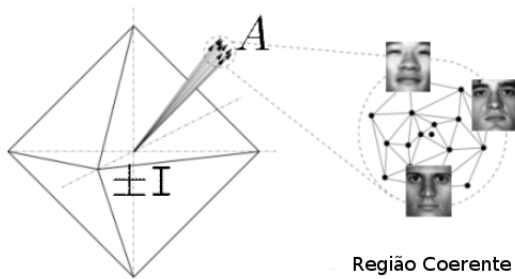
Vamos formular essa pergunta como um problema de CS.

$$y = Ax + e = \begin{bmatrix} A & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ e \end{bmatrix} = Bc$$

$$\min_{c \in \mathbb{R}^n} \|c\|_1 \text{ sujeito a } Bc = y$$

Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet



Yang, Allen Y., et al. A Review of Fast L_1 -Minimization Algorithms for Robust Face Recognition. CALIFORNIA UNIV BERKELEY DEPT OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2010.

Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet

Identificaremos a amostra a_i mais próxima de y satisfazendo

$$i = \arg \max_{1 \leq i \leq n} |x_i|$$

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Usamos uma câmera da Pupil Labs

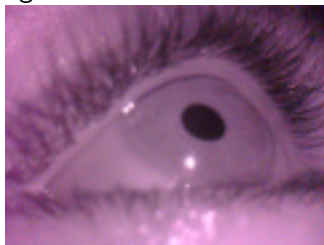


<https://pupil-labs.com/blog/2016-07/new-headset-color/>

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Coleta

Coletamos imagens do olho direito de 6 participantes.



Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Coleta



Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Rastreamento

Escolhemos a primeira imagem registrada para cada alvo, reduzimos a imagem e calculamos a matriz A .

$$A = \left[\begin{array}{c|c|c|c|c} \text{img1} & \text{img2} & \text{img3} & \dots & \text{imgN} \end{array} \right]$$

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Rastreamento

Escolhemos 5 imagens por alvo e estimamos a posição do olhar para cada imagem.

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Rastreamento

$$A = \left[\begin{array}{c|c|c|c|} \text{eye} & \text{eye} & \text{eye} & \dots & \text{eye} \end{array} \right]$$

$$y = \left[\begin{array}{c} \text{eye} \end{array} \right]$$




$$y = Ax + e$$

Calculamos o olhar como a média das posições das três amostras mais próximas de y .

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Resultados

Desempenho do rastreador para diferentes resoluções de imagem

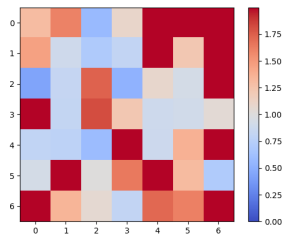
dimensões das imagens	15 × 20	30 × 40	60 × 80
Erro	1,471 ± 2,398	1,113 ± 2,291	1,053 ± 2,279
Imagem			

O rastreador apresenta desempenho semelhante ao Eyex (1,42 ± 1,7)

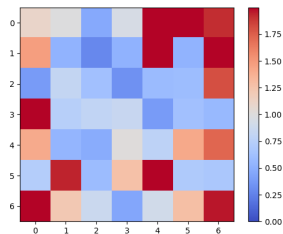
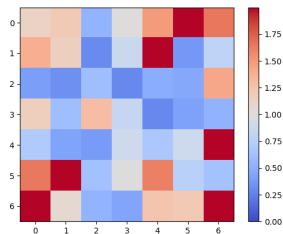
Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Resultados

usando imagens 15×20



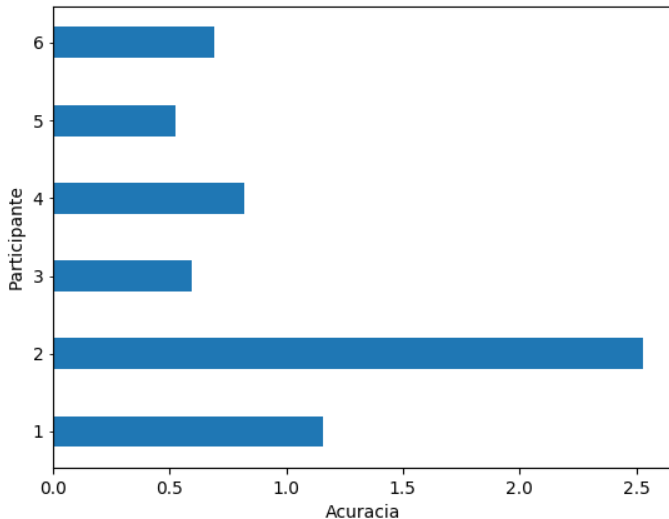
usando imagens 60×80



usando imagens 30×40

Desenvolvimento de um rastreador de olhar

Resultados



Conclusão

- ▶ Neste trabalho estudamos conceitos de rastreamento de olhar e Compressed Sensing
- ▶ Elaboramos um experimento para testar o desempenho do rastreador
- ▶ Apesar das limitações, o rastreador apresenta desempenho semelhante a um rastreador comercial