

# 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

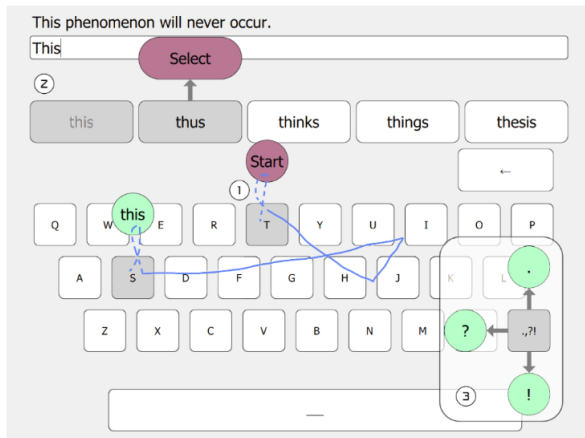
# Rastreamento de olhar

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



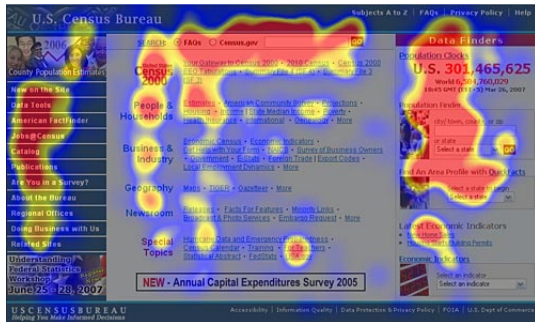
<https://pupil-labs.com/blog/2016-07/new-headset-color/>

## Rastreamento de olhar



# 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>

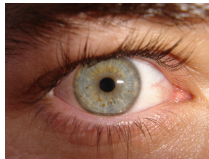
# Rastreamento de olhar

## Rastreamento baseado em vídeo



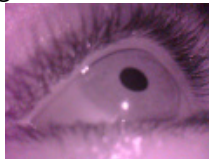
<https://pupil-labs.com/blog/2014-01/new-pupil-pro-headset-capture-software-0-3-7/>

## Imagem do olho em RGB



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:My\\_eye.jpg](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  $m \ll n$ .

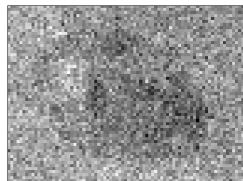


# Compressive Sensing

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](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](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Along_The_Main_Ride_-_Beale_Arboretum)

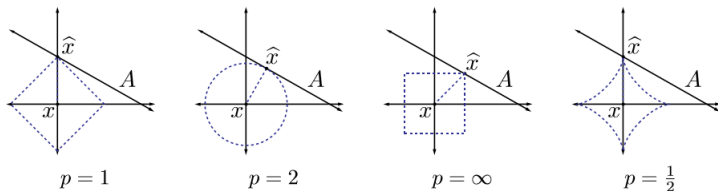
# Compressive Sensing

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 não pode ser resolvido em tempo polinomial.

# 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

Compressive Sensing estuda as condições que  $A$  deve satisfazer para garantir a equivalência entre

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

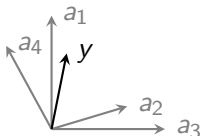
e

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

# 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  $a_{ij} \sim \mathcal{N}(0, 1)$  independentes, 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  $(\lambda_n)$  decrescente.



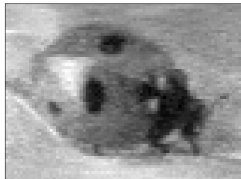
# Compressive Sensing

## Algoritmo de homotopia

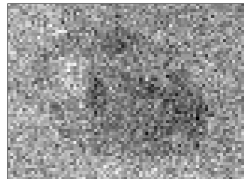
Imagens recuperadas com taxa de compressão de 20%



Imagem original



Homotopia



Mínimos quadrados

Adaptado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:5-stip\\_LHB\\_09.jpg](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

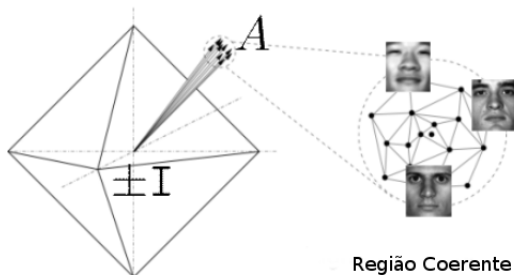
Vamos formular essa pergunta como um problema de Compressive Sensing.

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

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

# 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

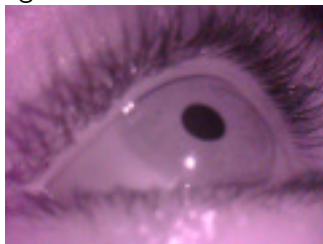


<https://pupil-labs.com/blog/2016-07/new-headset-color/>

# Desenvolvimento de um rastreador de olhar

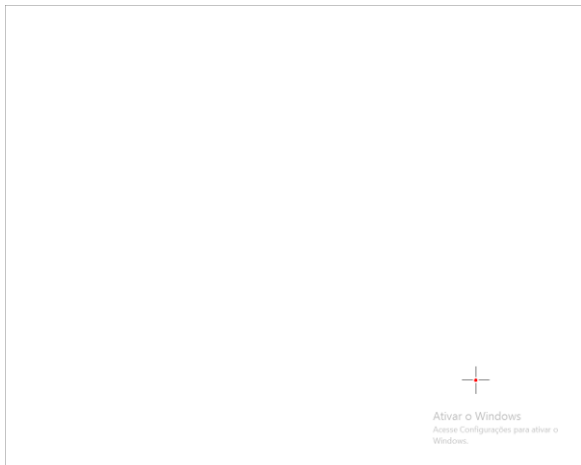
## Coleta

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 ponderada das posições das três amostras mais próximas de  $y$ .

# Compressive Sensing

## Rastreamento

Poderíamos estimar a amostra mais parecida com  $y$  como a coluna  $a_i$  que maximiza, em módulo, a correlação entre  $y$  e  $a_i$ . Fizemos um teste para identificar a posição do olho e taxa de acerto foi de 14,286%.

# Compressive Sensing

## Rastreamento




Taxa de acertos para identificar imagens

proporções da imagem	correlação	<i>cross-and-bouquet</i>
640 × 480	14, 29%	—
320 × 240	12, 25%	—
160 × 120	10, 20%	—
80 × 60	8, 16%	90, 61%
40 × 30	6, 12%	91, 02%
20 × 15	2, 04%	86, 94%

# Desenvolvimento de um rastreador de olhar

## Resultados

Desempenho do rastreador para diferentes resoluções de imagem

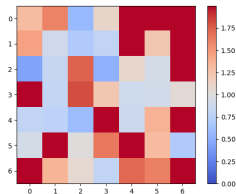
Dimensões das imagens	15 × 20	30 × 40	60 × 80
Erro	1,471 ± 2,398	1,113 ± 2,291	1,053 ± 2,279
Imagem			
Tempo necessário	13,46s	55,42s	22,98 min

O rastreador apresenta desempenho semelhante ao Eyex (  $1,42 \pm 1,7$  )

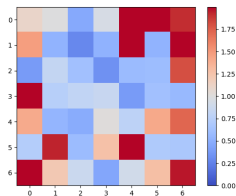
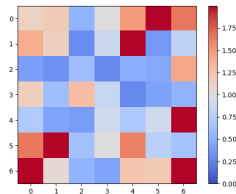
# Desenvolvimento de um rastreador de olhar

## Resultados

usando imagens  $15 \times 20$



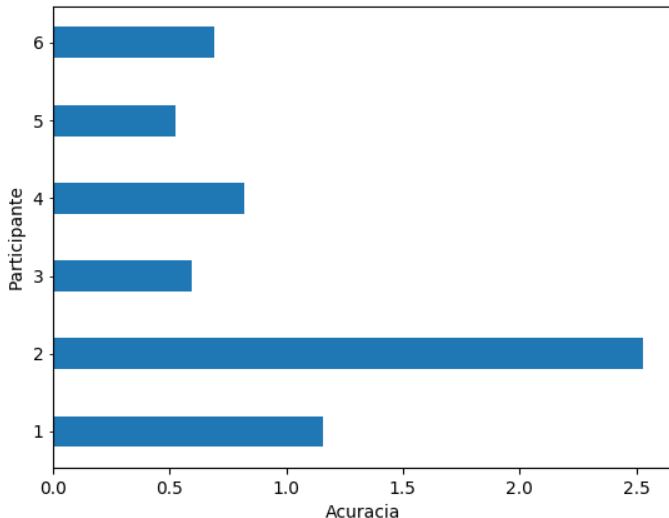
usando imagens  $60 \times 80$



usando imagens  $30 \times 40$

# 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