

# 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.



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

## Aplicações



# Rastreamento de olhar

## Aplicações



# Rastreamento de olhar

## Aplicações



# Rastreamento de olhar

Rastreamento baseado em vídeo



Imagem do olho em RGB

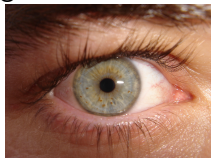


Imagem em Infravermelho



# Rastreamento de olhar

Rastreamento baseado em vídeo

*Head-mounted*



*remoto*



# 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  $m \ll n$ .

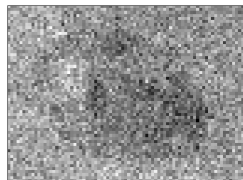


# Compressive Sensing

Poderíamos tentar o método dos mínimos quadrados:

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

mas



# Compressive Sensing

Imagens geralmente são esparsas no espectro da frequência.



Imagem original



Compressão de 40%

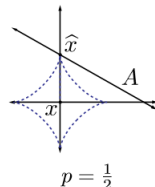
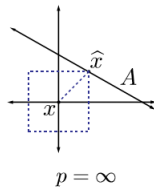
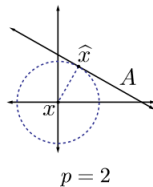
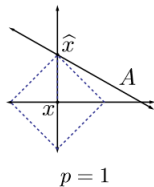
# Compressive Sensing

Queremos encontrar  $x$  mais esparsos 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



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

# Compressive Sensing

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

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

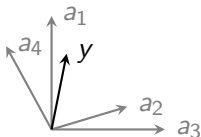
e

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

# 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

$$y = Ax = \sum_{i=1}^n a_i \langle a_i, x \rangle$$

# 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  $(\lambda_n)$  decrescente.



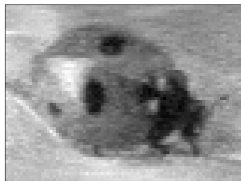
# Compressive Sensing

## Algoritmo de homotopia

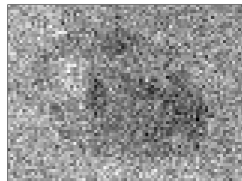
Imagens recuperadas com taxa de compressão de 20%



Imagem original



Homotopia



Mínimos quadrados

# Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet

Dada uma matriz

$$A = \left[ \begin{array}{c|c|c|c|} \text{eye1} & \text{eye2} & \text{eye3} & \dots & \text{eyeN} \end{array} \right]$$

e um vetor

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

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

# Compressive Sensing

## O modelo cross-and-bouquet

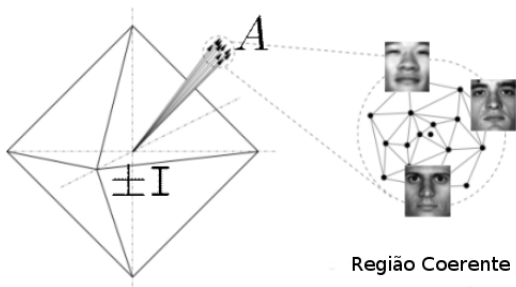
Vamos formular essa pergunta como um problema de CS.

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

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

# Compressive Sensing

O modelo cross-and-bouquet



# 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

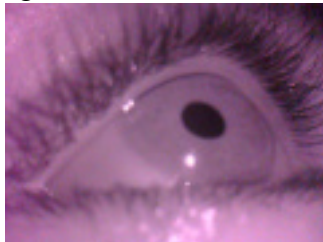
Usamos uma câmera da Pupil Labs



# Desenvolvimento de um rastreador de olhar

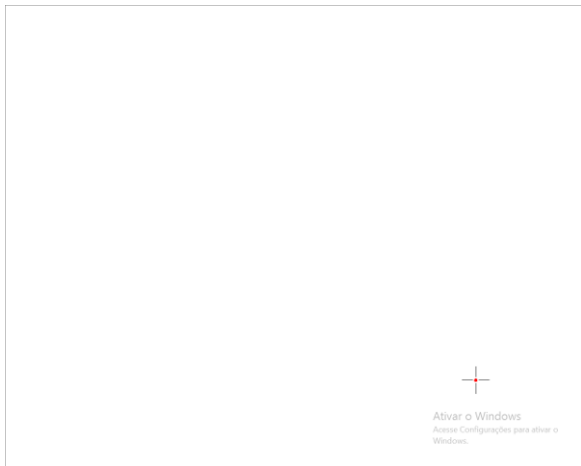
## Coleta

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  $A$ .

$$A = \left[ \begin{array}{c|c|c|c|} \text{eye1} & \text{eye2} & \text{eye3} & \dots & \text{eyeN} \end{array} \right]$$

# 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

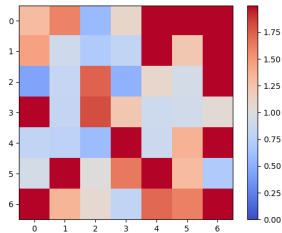
dimensões das imagens	15 × 20	30 × 40	60 × 80
Erro	1, 471 ± 2, 398	1, 113 ± 2, 291	1, 053 ± 2, 279
Imagem			

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

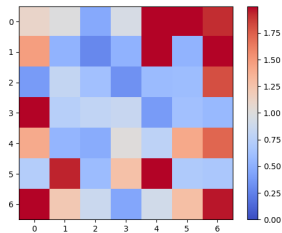
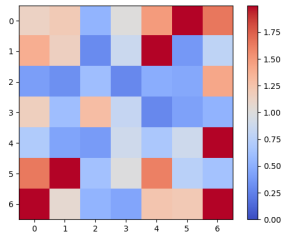
# Desenvolvimento de um rastreador de olhar

## Resultados

usando imagens  $15 \times 20$



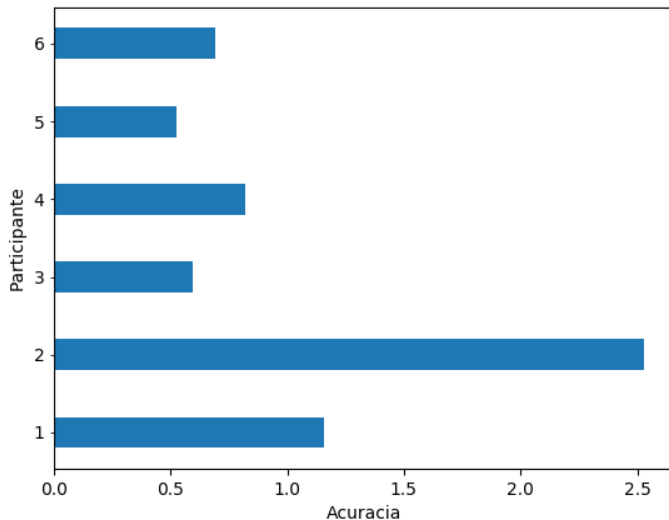
usando imagens  $60 \times 80$



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