

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

# Estimação Bayesiana de orientação de câmera através de pontos de fuga

Nicolau L. Werneck

LTI — PCS — Poli  
Universidade de São Paulo

LTI

21/09/2010

# Sumário



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

1 Introdução

2 Metodologia

- Técnicas existentes
- Aproximação da função

3 Conclusão

# Objetivos

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

**Resumo:** Vamos apresentar uma técnica para determinar a orientação de uma câmera em ambientes antrópicos. Assume-se que o ambiente possui muitas arestas em orientações mutuamente ortogonais, e a estimação é feita por maximização de verossimilhança do gradiente da imagem. A técnica é útil na análise de imagens únicas, e também permite uma melhor detecção de bordas.

**Palavras-chave:** ponto de fuga, rastreamento de câmera, estimação bayesiana

# Introdução

## *Ambientes antrópicos internos*

Nosso trabalho é direcionado para computadores portáteis e robôs domésticos em ambientes internos, onde visão monocular é uma boa alternativa de sensor.



**Figura:** Helicóptero, Nao, N900, comp. vestíveis, tablet.



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Introdução

## *Ambientes antrópicos externos (cidades)*

Ambientes antrópicos possuem objetos poliédricos e arestas em direções ortogonais (*Manhattan World*). As mesmas técnicas podem valer para corredores e ruas.



**Figura:** Carro do Google Street View, e imagem de uma rua.



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

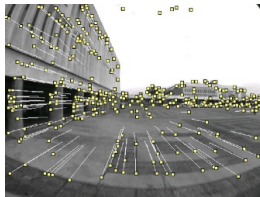
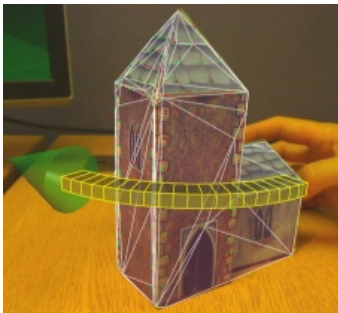
© N. Werneck

# Introdução

## Localização genérica tradicional

Orientação já faz parte de SLAM visual em tempo real.

- Marcos são “cantos” (Harris, KLT, SIFT, FAST).
- Localização e orientação de câmera obtidos simultaneamente (EKF, BA, alg. dos 8 pontos).



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Introdução

## Orientação genérica tradicional



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

Estes métodos para estimar orientação dependem de:

- Estimação simultânea da localização;
- ou da imobilidade translacional [Montiel and Davison, 2006].
- E ainda dependem da realização de mapeamento.

Pode ser interessante determinar a orientação de forma independente. (Acelerômetros, giroscópios, bússolas eletrônicas, etc.)

Com visão, podemos utilizar *pontos de fuga*.

# Introdução

## Pontos de fuga



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

Os desenhistas bem sabem que perspectiva se cria com pontos de fuga.

As projeções de retas paralelas no espaço se encontram em um ponto do desenho.

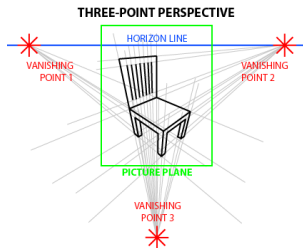
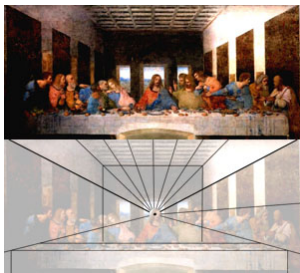


Figura: Pintura renascentista, e perspectiva “de três pontos”.

# Introdução

## Pontos de fuga



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

## Técnicas de detecção de ponto de fuga

- Ponto único dentro da imagem (T. de Hough).
- T. de Hough na esfera Gaussiana.
- Extração de retas seguida de agrupamento [Tardiff, 2009].
- *Estimação Bayesiana pelo gradiente* [Coughlan and Yuille, 2003, Schindler and Dellaert, 2004].

## Nossos requisitos

- Evitar extrair retas antes de determinar orientação.
- Encontrar orientação assumindo direções ortogonais.

# Introdução

## Pontos de fuga — acumulação na esfera unitária

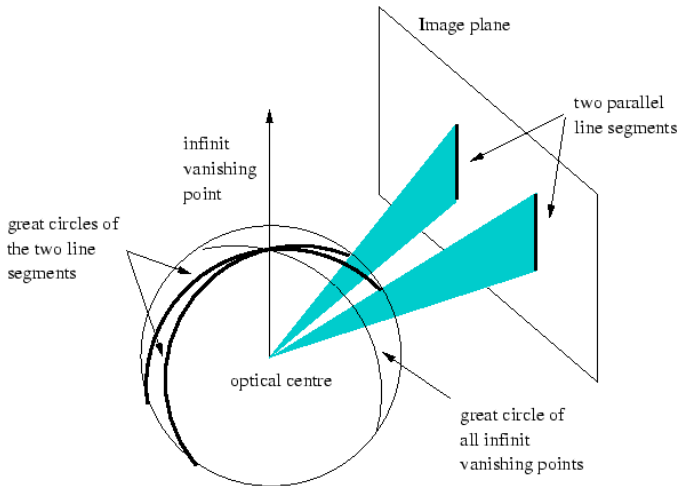


Figura: Determinação da direção do PF através da projeção das retas (ou gradiente) sobre a esfera.

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Introdução

## Pontos de fuga — direções ortogonais

No *Manhattan world* todas arestas estão em direções ortogonais. Localizar os PFs  $\leftrightarrow$  estimar orientação.  
(Imagem de <http://www.elderlab.yorku.ca/YorkUrbanDB/>.)



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

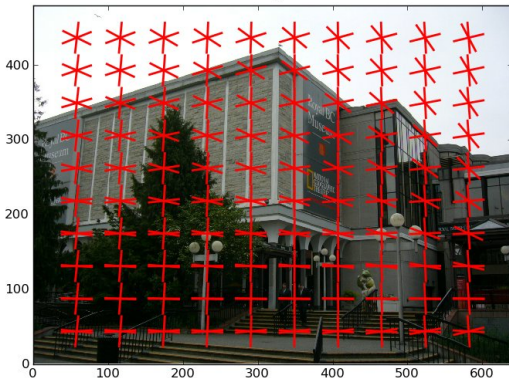
Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

VP directions of yorkdb 1020177



# Metodologia

## Processamento de imagens

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

O primeiro passo é calcular o gradiente das imagens.

- Os três canais são utilizados, considerados separadamente.
- Utilizamos o filtro de Scharr  $3 \times 3$  ( $\simeq$  Sobel).

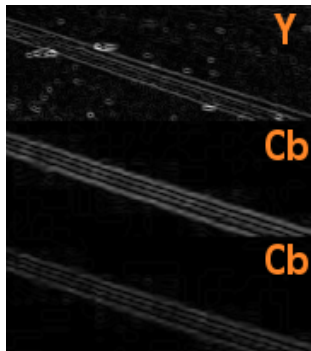


© N. Werneck

# Metodologia

## Processamento de imagens

- Luminância não é necessariamente o melhor canal para achar bordas.
- Mais canais → melhor medição...



USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Metodologia

## Decomposição do gradiente

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

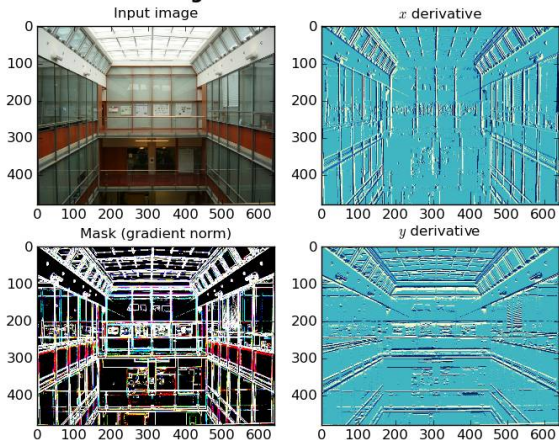
2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

### Edges on human homes



# Metodologia

## Modelo probabilístico



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

### 1-Introdução

### 2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

### 3-Conclusão

A técnica apresentada por Coughlan and Yuille [2003] é utilizar um estimador MAP (*Maximum a posteriori*). O modelo de observação é dado por:

$$P(\vec{E}_{\vec{u}} | m_{\vec{u}}, \vec{\Psi}, \vec{u}) = P(E_{\vec{u}} | m_{\vec{u}}) P(\phi_{\vec{u}} | m_{\vec{u}}, \vec{P}si, \vec{u})$$

As classes  $m_{\vec{u}}$  são não-borda, borda em cada uma das 3 direções do referencial, e borda em direção oblíqua.

# Metodologia

## Modelo probabilístico

O gradiente  $\vec{E}_{\vec{u}}$  depende da classe  $m_{\vec{u}}$ , e a direção pode depender da orientação  $\vec{\Psi}$ . Cada pixel é independente.

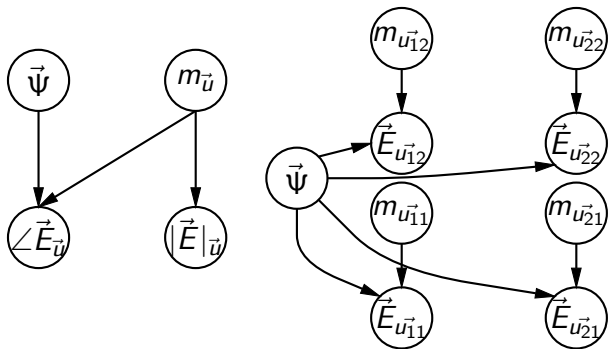


Figura: Dependências entre as variáveis.



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Metodologia

## Modelo probabilístico — medições



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

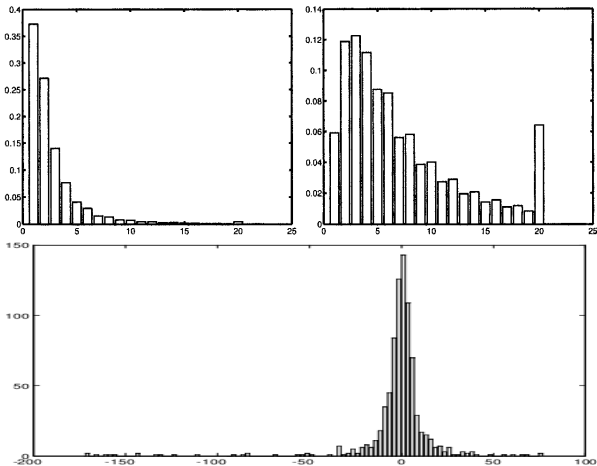


Figura: PDF de  $|\vec{E}_u|$  e  $\angle \vec{E}_u$  para bordas.

# Metodologia

## Modelo probabilístico — algoritmo original



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1—Introdução

2—Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3—Conclusão

Como de costume, fica mais fácil utilizar o logaritmo da função a ser otimizada:

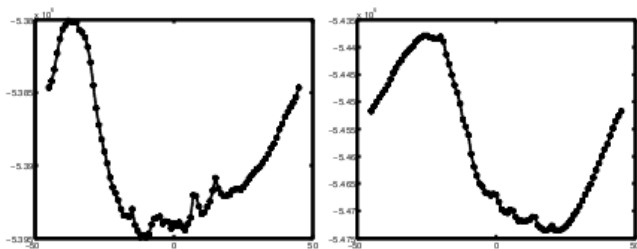
$$\log \left[ P(\{\vec{E}_{\vec{u}}\} | \vec{\Psi}) P(\vec{\Psi}) \right] =$$
$$\log P(\vec{\Psi}) + \sum_{\vec{u}} \log \left[ \sum_{m_{\vec{u}}=1}^5 P(\vec{E}_{\vec{u}} | m_{\vec{u}}, \vec{\Psi}, \vec{u}) P(m_{\vec{u}}) \right]$$

Para encontrar  $\vec{\Psi}$  devemos otimizar esta função.

# Metodologia

## Modelo probabilístico — exemplo

Coughlan and Yuille [2003] simplesmente amostraram uma região do espaço de parâmetros para otimizar.



Schindler and Dellaert [2004] realizaram EM, estimando  $m_{\tilde{U}}$  iterativamente, e com uma otimização “de verdade”.



# Metodologia

## Aproximação da função

Na fórmula possuímos um logaritmo de um somatório. O termo relativo a  $m_{\vec{u}} = 1$  é fixo.

Suponha  $f(x) = \log(a + x)$ . Podemos aproximar isto por:

$$\log(a + x) \simeq f(0) + x \cdot f'(a)$$
$$\log(a) + \frac{x}{a}$$

Assim podemos transformar:

$$\sum_{\vec{u}} \log [P_{off}(E_{\vec{u}})P(m = 1) + P_{on}(E_{\vec{u}})P(\phi_{\vec{u}}|m = 2) + \dots]$$

$$\rightarrow \sum_{\vec{u}} \sum_k \left[ \frac{P_{on}(E_{\vec{u}})}{P_{off}(E_{\vec{u}})} P(\phi_{\vec{u}}|m_{\vec{u}} = k) \right]$$



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Metodologia

## Aproximação da função

Assim o papel das PDF de  $|\vec{E}_{\vec{u}}|$  é o de uma *máscara* calculada pela função  $M$ , ponderando a verossimilhança dos ângulos dada cada classe.

$$\sum_{\vec{u}} \sum_k M(|\vec{E}_{\vec{u}}|) P(\phi_{\vec{u}} | m_{\vec{u}} = k)$$

Outra aproximação é evitar o cálculo de  $\phi = \angle \vec{E}$  através de  $\arctan()$ , e utilizar multiplicação vetorial.

$$\sum_{\vec{u}} \sum_k M(|\vec{E}_{\vec{u}}|) \frac{\vec{d}_k \cdot \vec{E}_{\vec{u}}}{|\vec{E}_{\vec{u}}|}$$



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Metodologia

## Implementação da função proposta



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

### 1-Introdução

### 2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

### 3-Conclusão

A máscara pode ser calculada inicialmente, enquanto na otimização calcula-se apenas os  $\sin(\phi - \theta(\vec{P}si, \vec{u}))$ .

O cálculo de  $\theta$  é feito por:

$$\theta'_x = \frac{r_x}{r_z} f + u_x \quad \theta'_y = \frac{r_y}{r_y} f + u_y$$

Que deve ser normalizado, o que demanda uma raiz quadrada. Após calcular os  $\theta$  de cada PF, multiplica-se por cada canal, e pela máscara, e então tudo é somado.

PDF do ângulo com modelo linear.

# Metodologia

## Otimização do código



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

Utilizando Python, com Numpy, 16,09s. Melhorias:

- Fazer módulo com Cython.
- Utilizar instrução especial `rsqrt` para  $x^{-1/2}$  e multiplicação por SIMD.
- Fazer um único laço, e somar imediatamente.

Resultado: 1,58s. Aceleração de  $10,18\times!$ ...

# Teste do modelo

## Rotação em uma direção

Estamos testando buscando os melhores parâmetros.

MAP output of 1020171 with  $p_1=30.00$   $p_2=0.05$

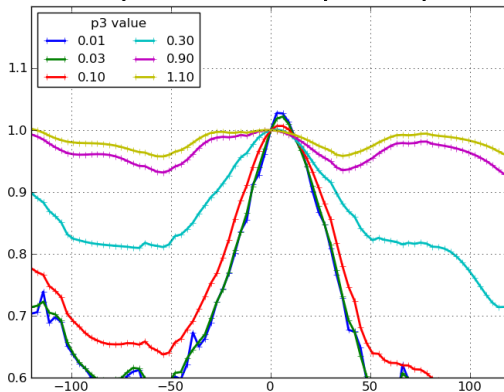


Figura: Rotação em uma única direção.



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

N. Werneck

# Teste do modelo

## *Rotações genéricas*

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

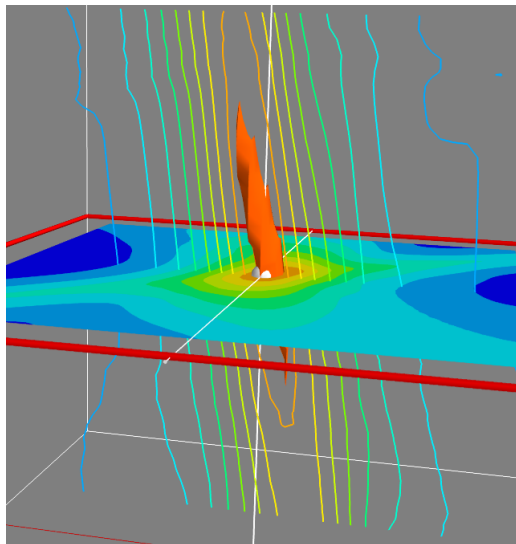


Figura: Avaliação da bacia de atração da solução.

# Teste do modelo

Colhendo dados na nuvem

## CV research on AWS

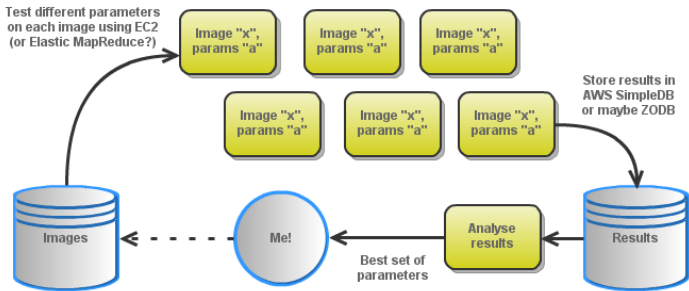


Figura: Plano para estudar o melhor conjunto de parâmetros.



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

© N. Werneck

# Teste do modelo

Colhendo dados na nuvem

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

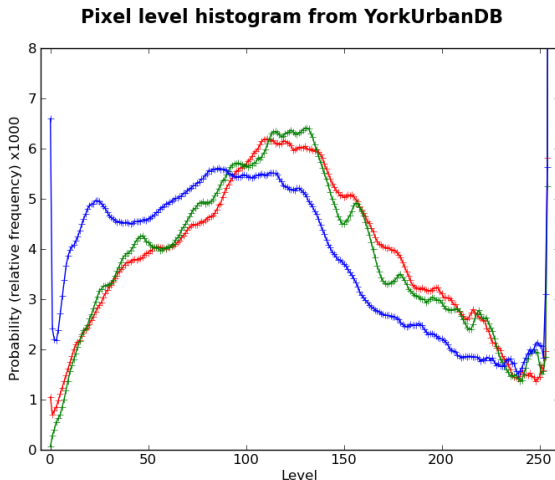


Figura: Resultado do teste com AWS, histograma de todas imagens do York Urban DB.

# Teste do modelo

Colhendo dados na nuvem

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da função

3-Conclusão

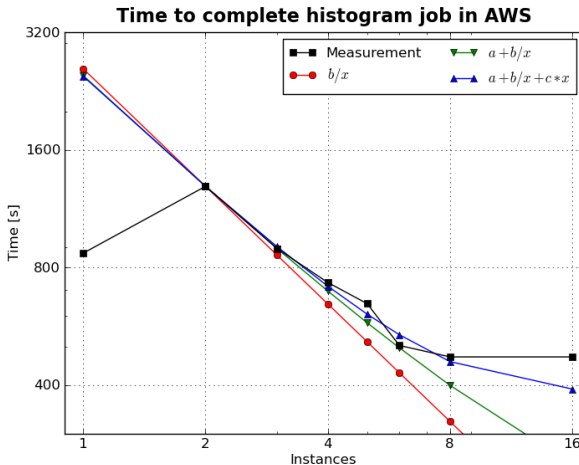


Figura: Tempo de execução do trabalho de calcular o histograma em função do número de instâncias.

# Conclusão

## *Próximos Passos*



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

1-Introdução

2-Metodologia

Técnicas existentes

Aproximação da  
função

3-Conclusão

- Determinar parâmetros para o estimador.
- Realizar rastreamento da orientação em um corredor.
- Utilizar os dados no sistema completo de reconstrução.

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

Fim

Referências

Referências

🔄 N. Werneck

# FIM



## Referências Bibliográficas

- James M. Coughlan and A. L. Yuille. Manhattan world: Orientation and outlier detection by bayesian inference. *Neural Computation*, 15(5):1063–1088, Maio 2003. URL [doi:10.1162/089976603765202668](https://doi.org/10.1162/089976603765202668).
- J. M. M. Montiel and Andrew J. Davison. A visual compass based on SLAM. In *ICRA*, pages 1917–1922. IEEE, 2006. URL [doi:10.1109/ROBOT.2006.1641986](https://doi.org/10.1109/ROBOT.2006.1641986).
- Grant Schindler and Frank Dellaert. Atlanta world: an expectation maximization framework for simultaneous low-level edge grouping and camera calibration in complex man-made environments. pages 203–209, jun. 2004. URL [doi:10.1109/CVPR.2004.1315033](https://doi.org/10.1109/CVPR.2004.1315033).



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

Fim

Referências

Referências

© N. Werneck

USP



LTI-PCS-EPUSP

OriBayes

N. Werneck

Fim

Referências

Referências

Jean-Philippe Tardiff. Non-iterative approach for fast and accurate vanishing point detection. pages 1250–1257, sep. 2009. URL [doi:10.1109/ICCV.2009.5459328](https://doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459328).

🔄 N. Werneck