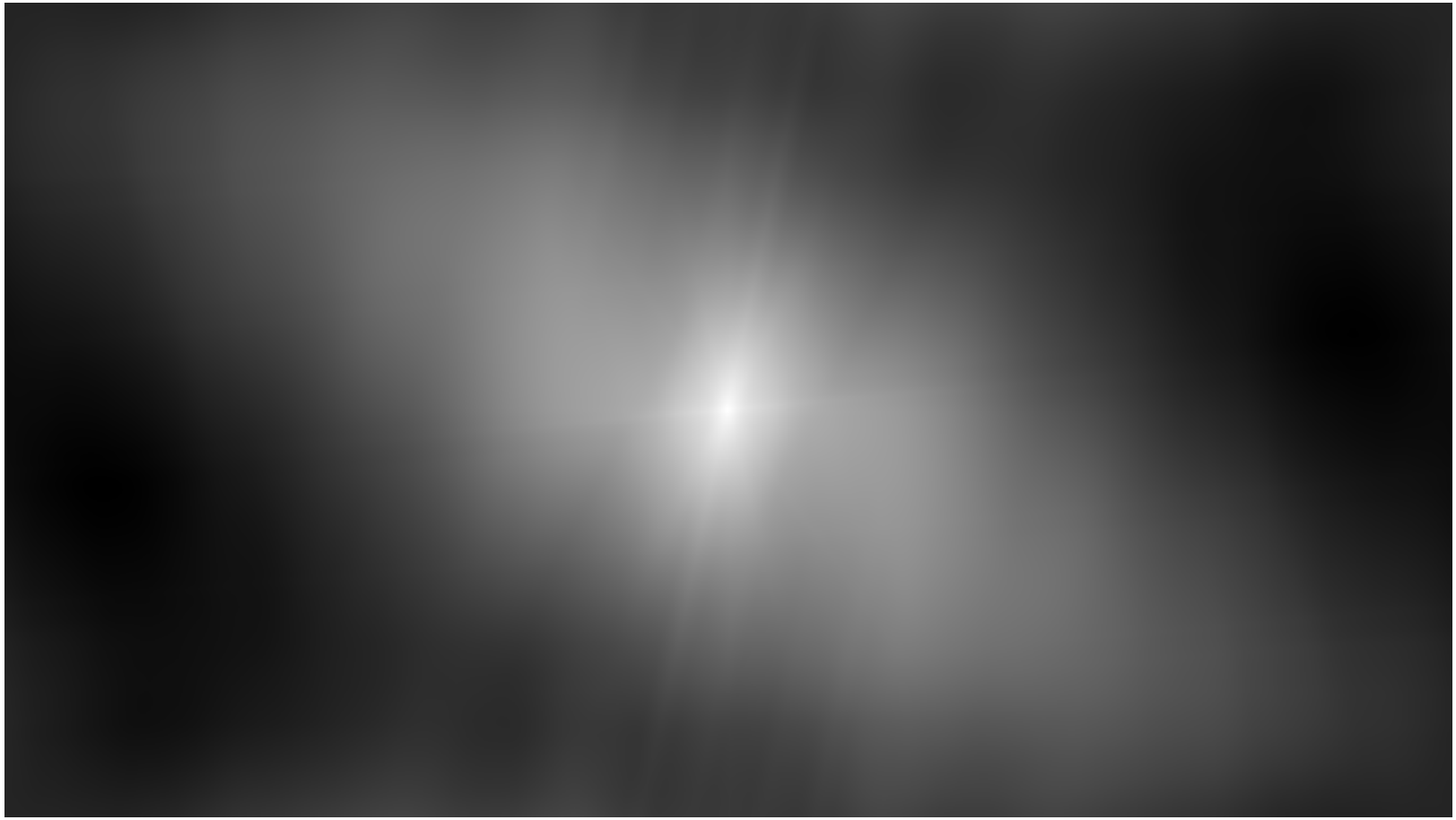
Processamento Digital de Imagens

Prof. Bogdan Tomoyuki Nassu



UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Desafio: registro de imagens

- Problema: alinhar imagens de uma mesma cena.
- Exemplo de aplicação:
  - Quando tiramos uma fotografia em baixa iluminação, é interessante aumentar o tempo de exposição.
    - Tempo de exposição curto → regiões muito escuras, ruído.
    - Tempo de exposição longo → imagem borrada (“tremida”).
  - Truque: soma / média de várias imagens com tempo de exposição curto, alinhadas umas às outras.
- Exemplo de aplicação:
  - Quando gravamos um vídeo segurando a câmera com as mãos, mesmo que tentemos manter a câmera parada, teremos movimentos.
  - Truque: alinhar cada quadro do vídeo a um quadro anterior.

Sobre os modelos de distorção

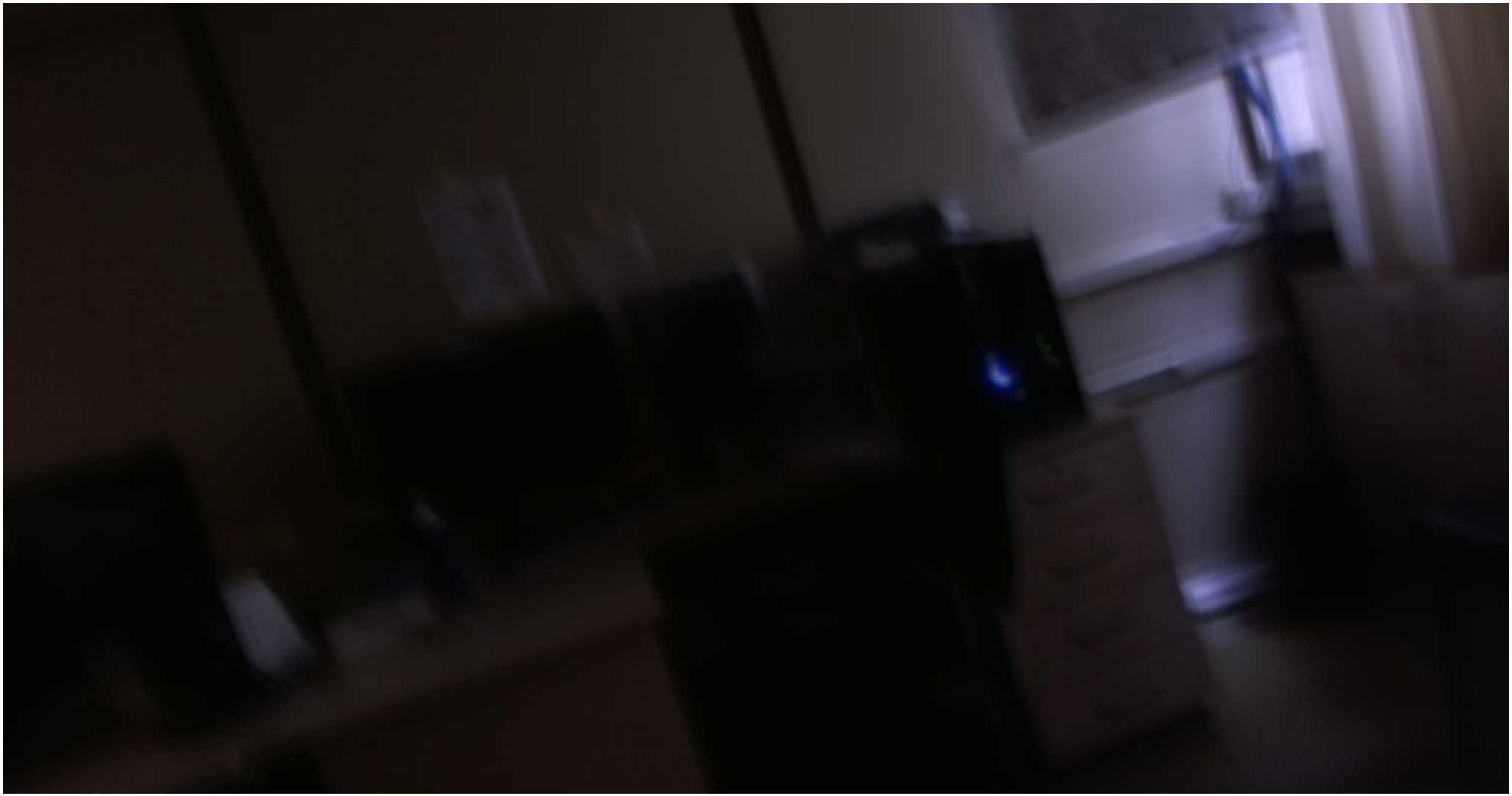
- Toda técnica para registro de imagens pressupõe um certo modelo de distorção.
  - = quais diferenças podem surgir entre as imagens alinhadas.
- Exemplos de distorção:
  - Translação no plano da imagem.
  - Rotação no plano da imagem.
  - Escala no plano da imagem.
  - Transformação afim.
  - Perspectiva (plano).
  - Transformações não rígidas.
- Hoje consideraremos apenas o caso mais simples: translação no plano da imagem.
  - Diferença entre duas imagens = deslocamentos nos eixos *x* e *y*.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo

Imagem com baixa exposição.

Exemplo



Média de 171 imagens, sem alinhamento.

Exemplo

Média de 171 imagens, alinhadas considerando translações.

Exemplo

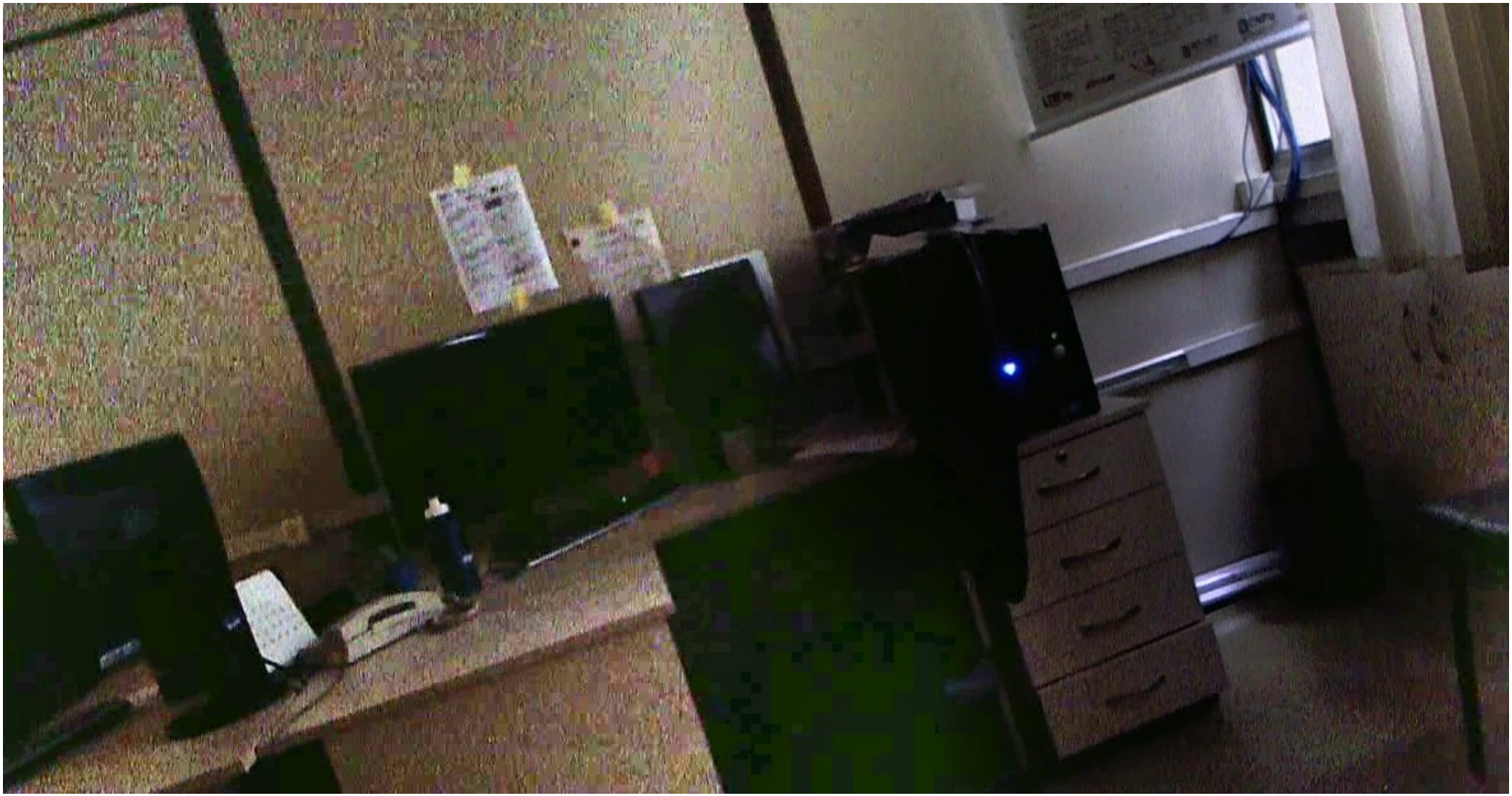
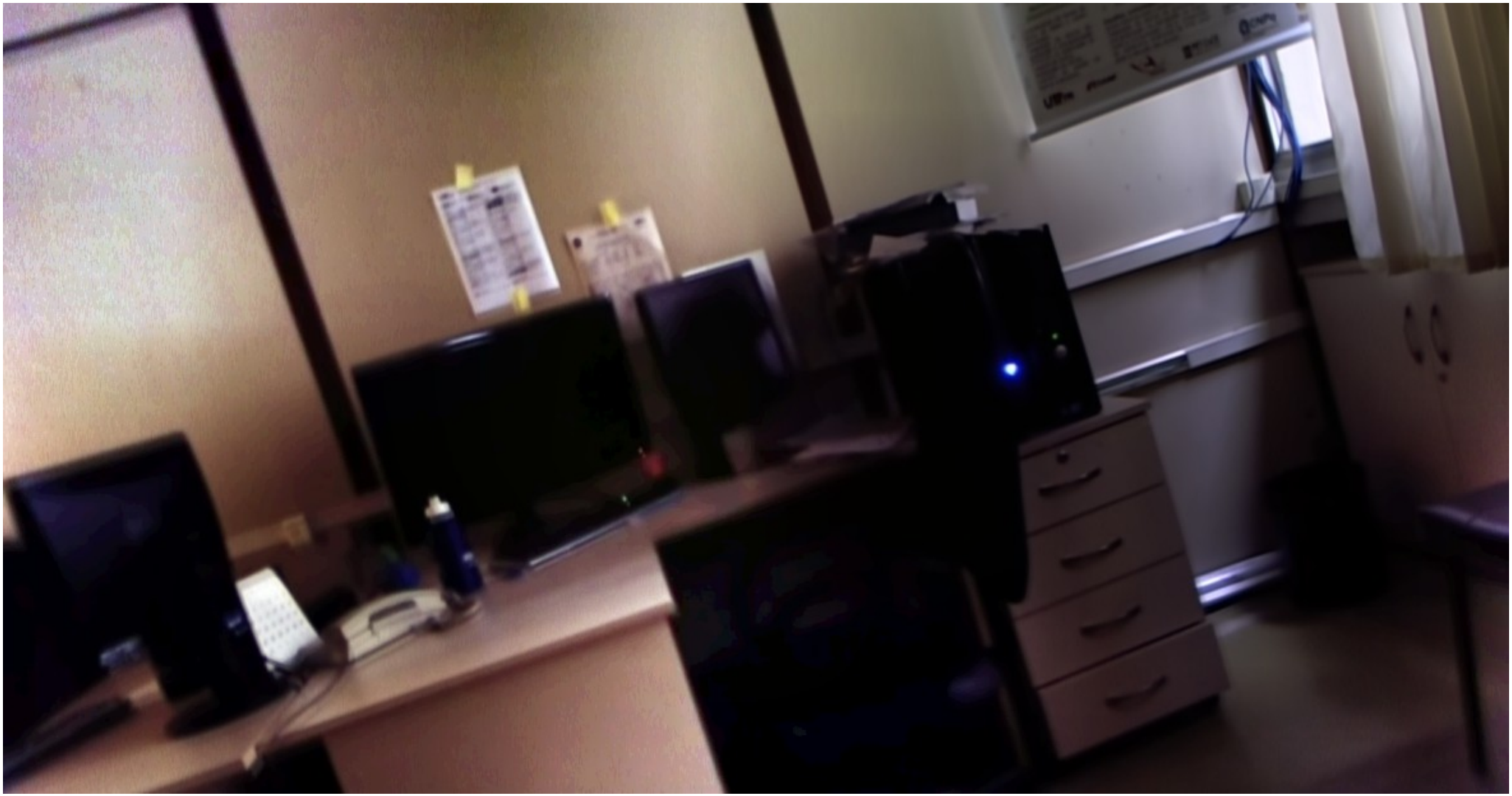


Imagem com baixa exposição (+ normalização local).

Exemplo

Média de 171 imagens, sem alinhamento (+ normalização local).

Exemplo



Média de 171 imagens, alinhadas considerando translações (+ normalização local).

Outro exemplo

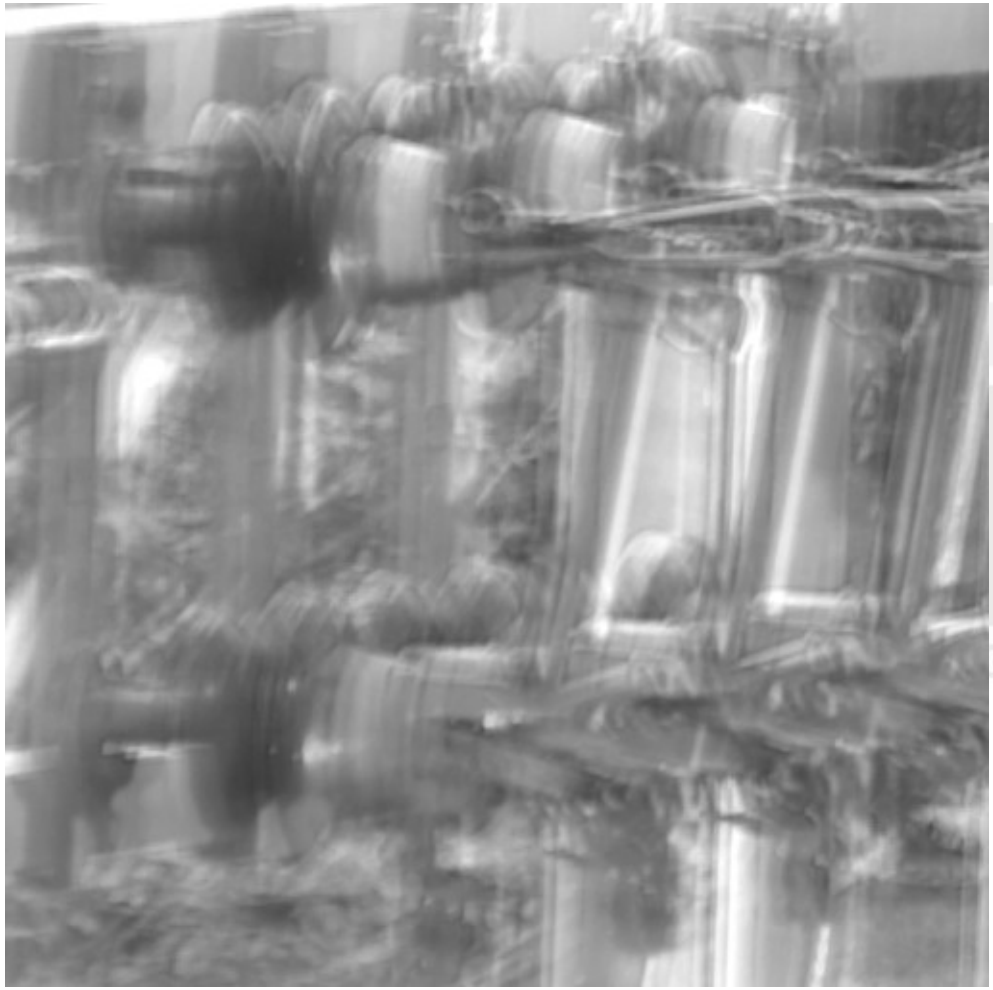
- Outro exemplo:
  - Imagens capturadas periodicamente por uma câmera com pan/tilt.
  - Problema: reproduzir o mesmo enquadramento.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

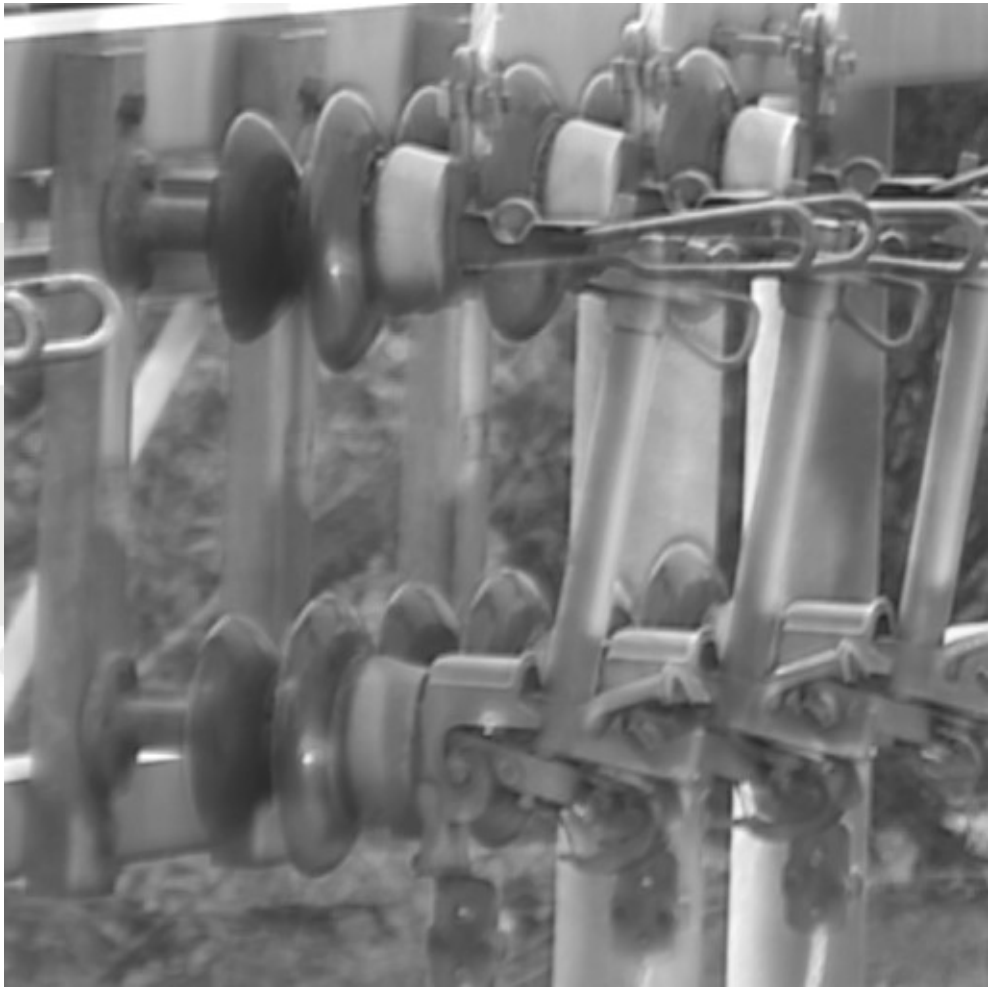
Exemplo

Exemplo

Exemplo



Média de 200 imagens, sem alinhamento.



Média de 200 imagens, com alinhamento.

Como fazer?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Como fazer?

- Vamos começar pensando no domínio espacial...

```
Defina uma margem para a translação.
Considere uma sub-região R da primeira imagem, com:
    (x,y) = (margem, margem)
    largura = largura original - margem*2
    altura = altura original - margem*2
Para cada nova imagem I:
    Procure pelo melhor alinhamento de R em I.
        Dado pela posição (xr, yr) de R.
    Translade I em (-xr,-yr) pixels.
    Agora a imagem I está alinhada à primeira imagem!
```

Esta ideia pode ser modificada, por exemplo, para alinhar cada imagem à sua anterior.

UTFPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Primeira imagem

Outra imagem

Imagens sobrepostas

Região da primeira imagem

Melhor alinhamento da região na segunda imagem

Imagens alinhadas

Melhor alinhamento

- Como podemos determinar o melhor alinhamento da sub-região R na imagem I?

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Template matching

- *Template matching* (casamento de modelo):

```
Dado um modelo T e uma imagem I.
Para cada alinhamento possível de T com I (janela deslizante):
   Calcula uma pontuação para este alinhamento.
Seleciona a posição com o melhor alinhamento.
```

Onde já vimos isso?

Que pontuação usamos?

Diferença absoluta

- Uma medida possível de pontuação: diferença absoluta.
  - Dado um modelo com tamanho NxM, a pontuação para cada posição é:

$$s(x,y)=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}|I(x+i,y+j)-T(i,j)|$$

Como fica a pontuação no melhor caso?
E no pior caso?

Qual a complexidade?

Diferença absoluta

- Pode ser interessante normalizar a pontuação.

$$s(x,y)=\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}|I(x+i,y+j)-T(i,j)|}{MN}$$

Como fica a pontuação no melhor caso?
E no pior caso?

Diferença absoluta

- Pode ser interessante normalizar a pontuação.

$$s(x,y)=\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}|I(x+i,y+j)-T(i,j)|}{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1} argmax(T(i,j),1-T(i,j))}$$

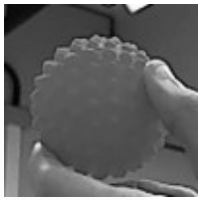
Como fica a pontuação no melhor caso?
E no pior caso?

O melhor casamento pode mudar
se usarmos esta forma de normalizar?

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

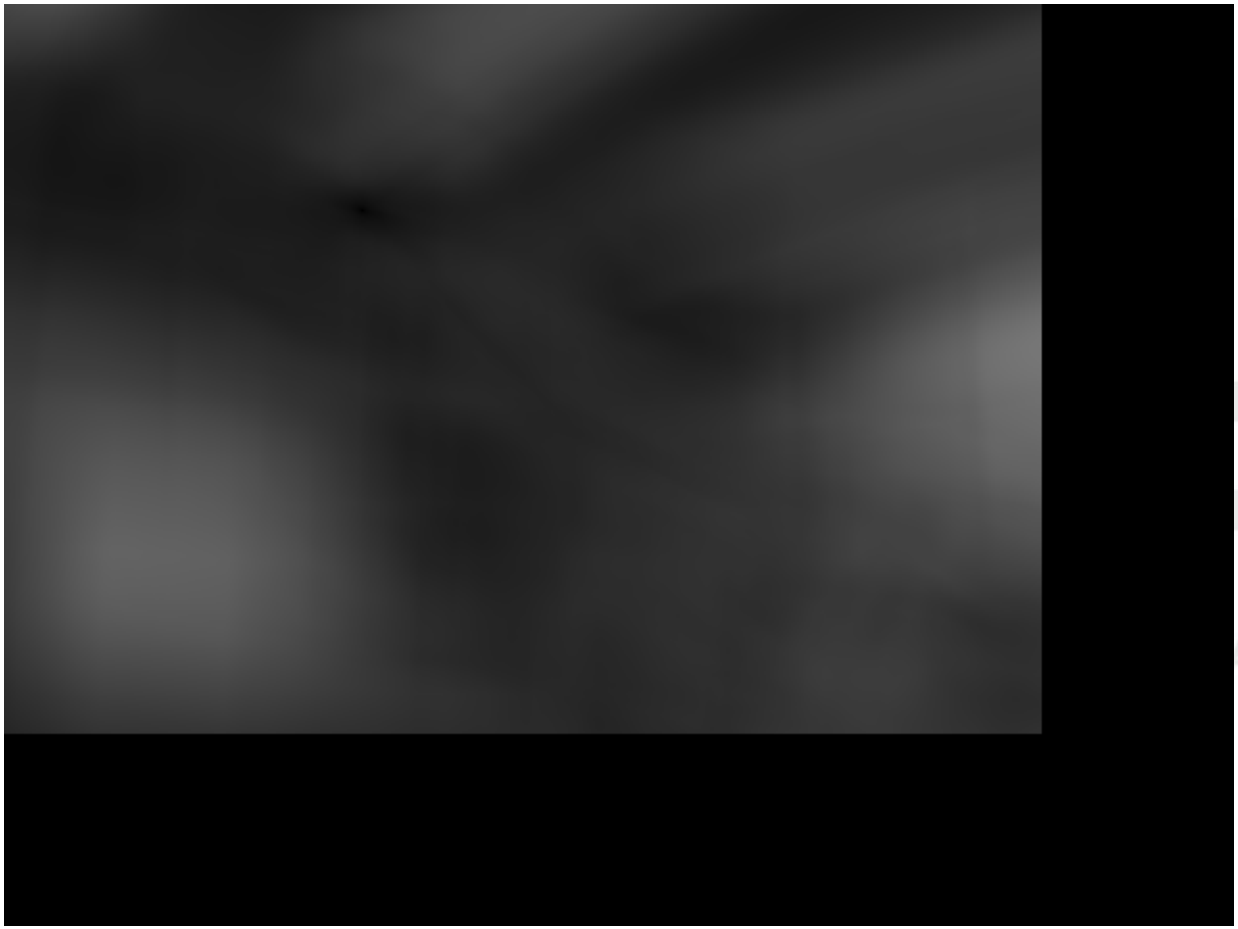
Exemplo

Imagem

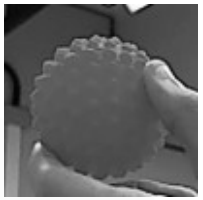


Template

Exemplo



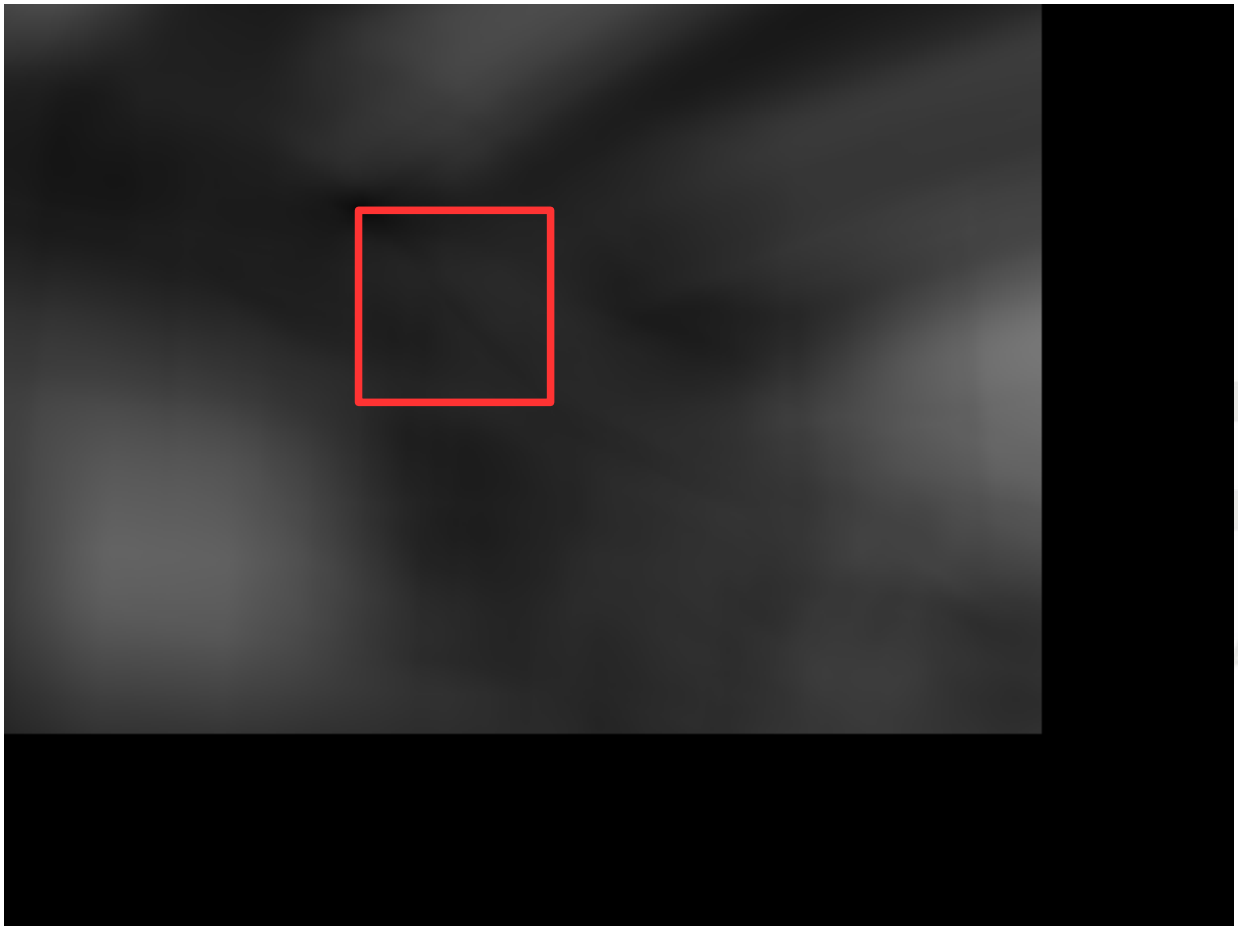
Pontuação



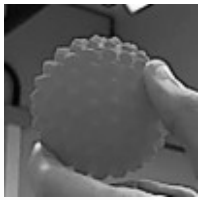
Template

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo



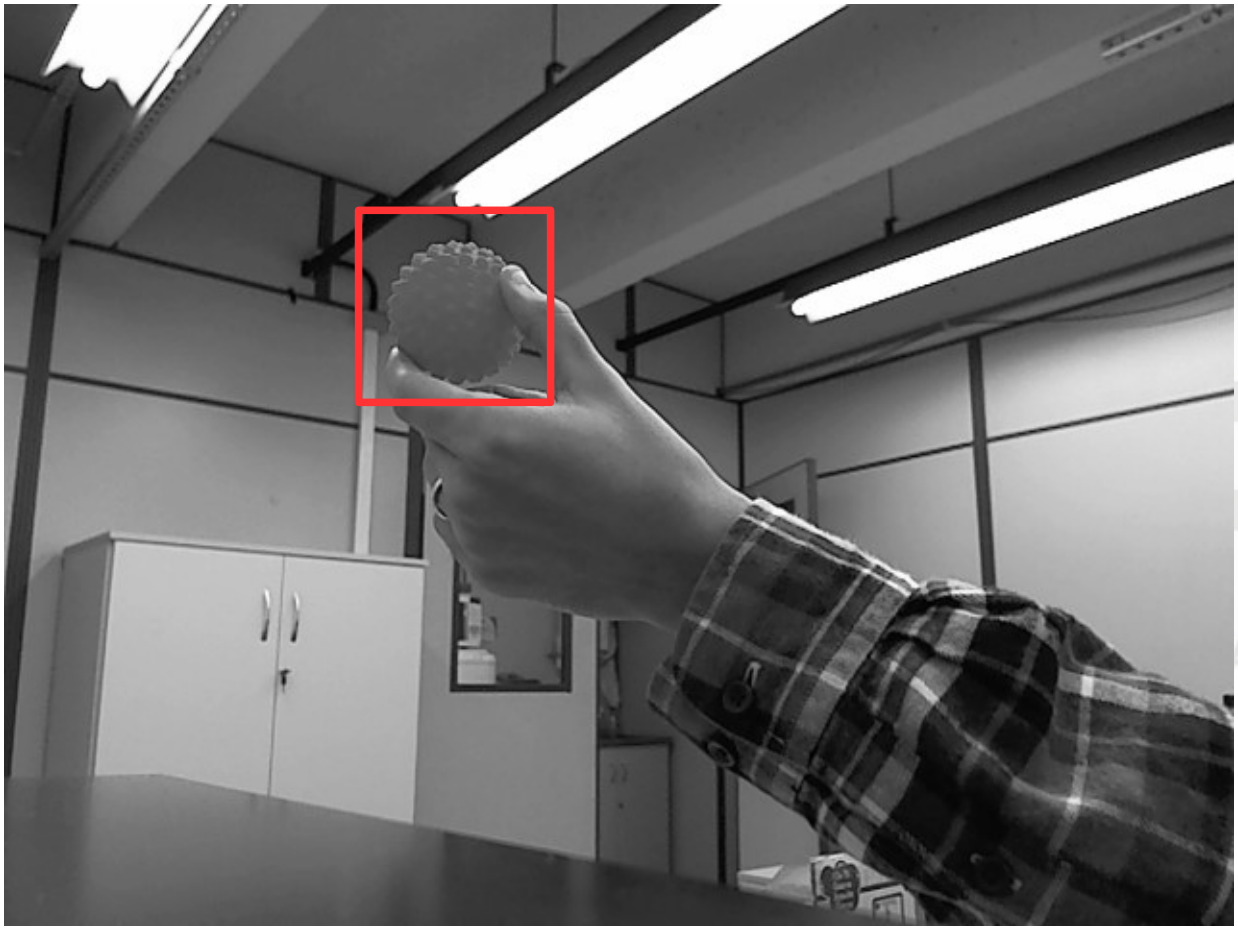
Pontuação



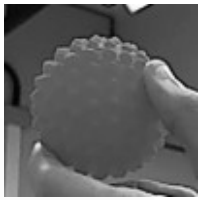
Template

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo



Imagem



Template

Diferença quadrática

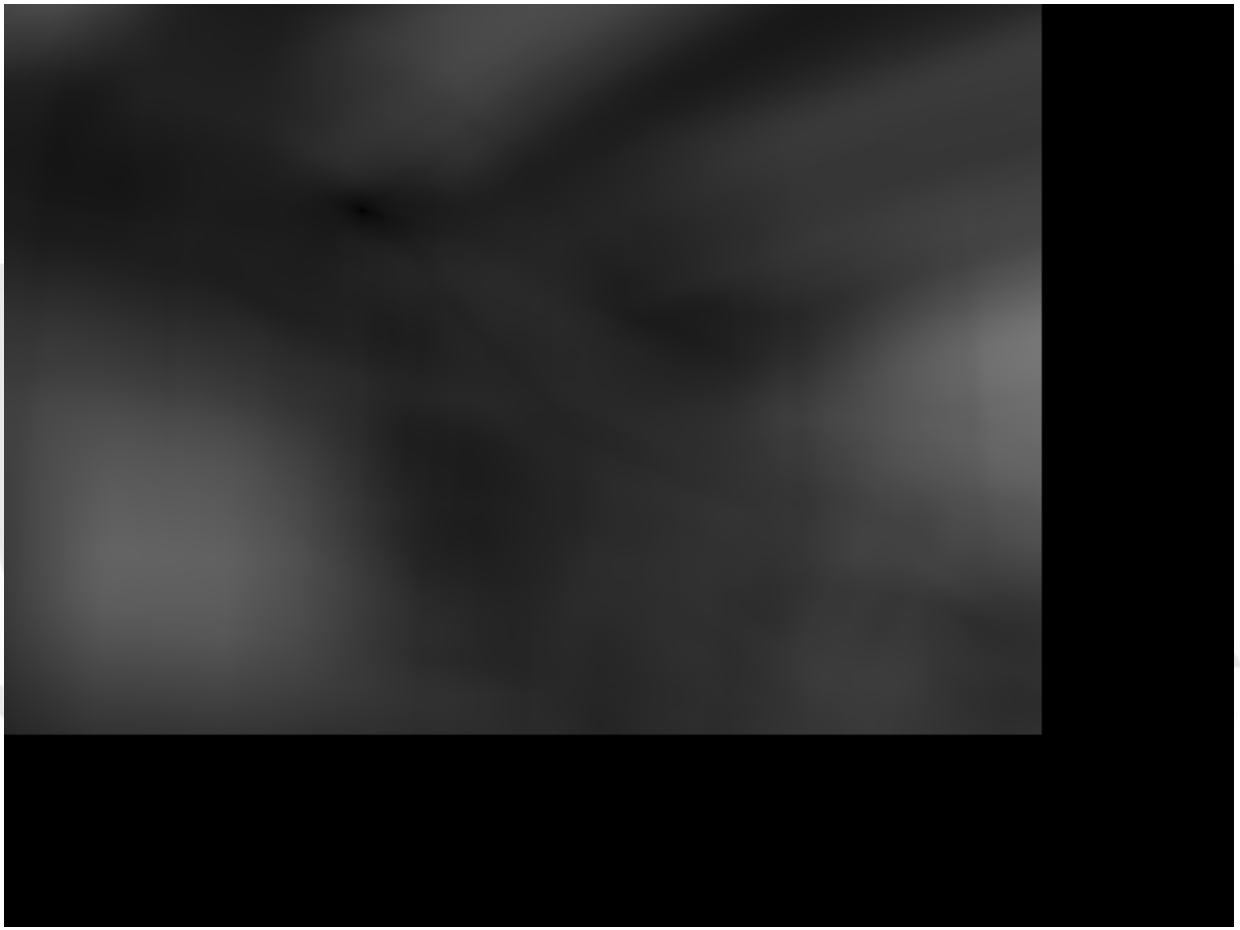
- Outra medida possível é a diferença quadrática.

$$s(x,y)=\sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}\left(I(x+i,y+j)-T(i,j)\right)^2}{MN}}$$

Como fica a pontuação no melhor caso?
E no pior caso?

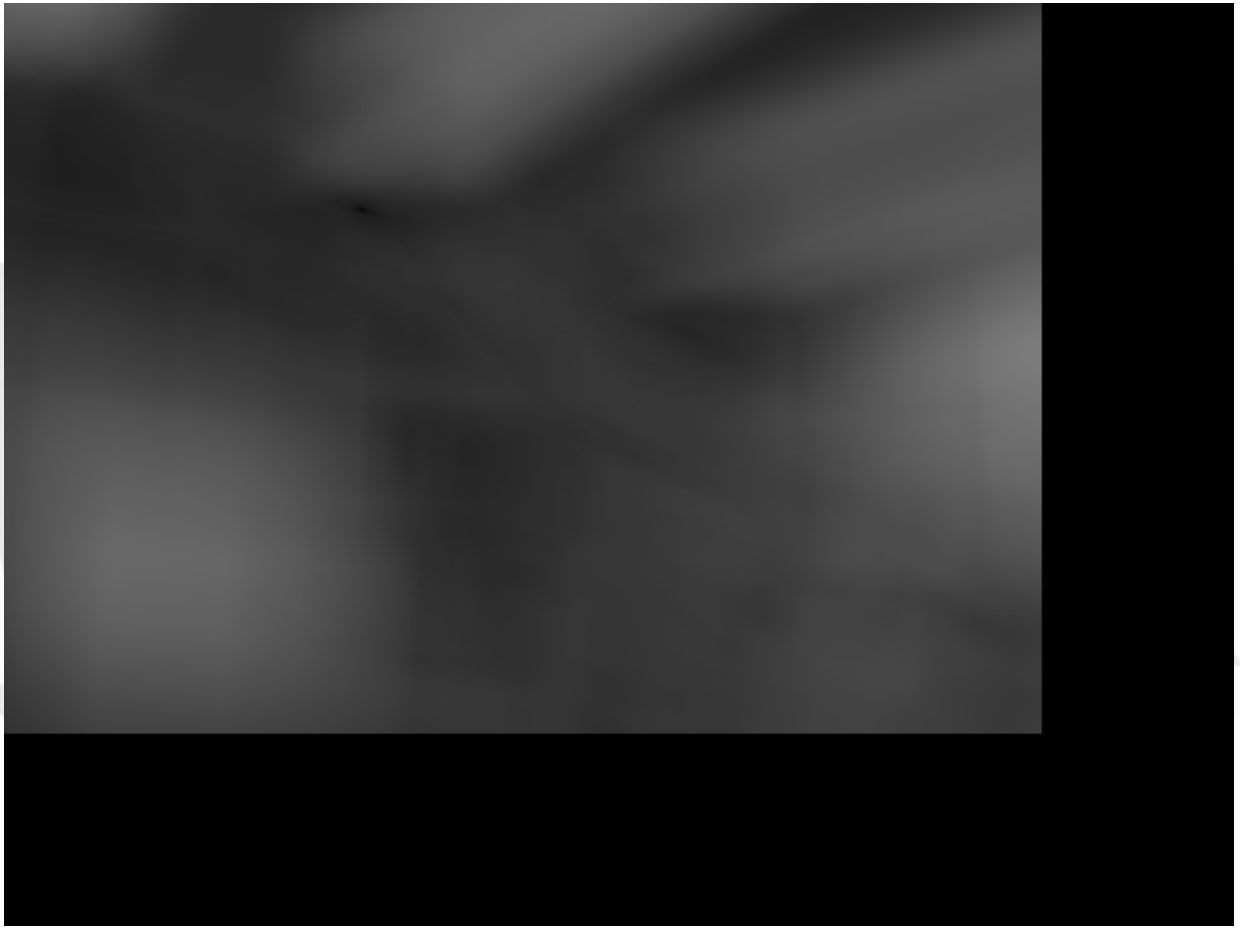
O melhor casamento pode mudar?

Exemplo



Pontuação (diferença absoluta)

Exemplo



Pontuação (diferença quadrática)

A posição da melhor pontuação não muda, mas diferenças maiores são proporcionalmente mais penalizadas.

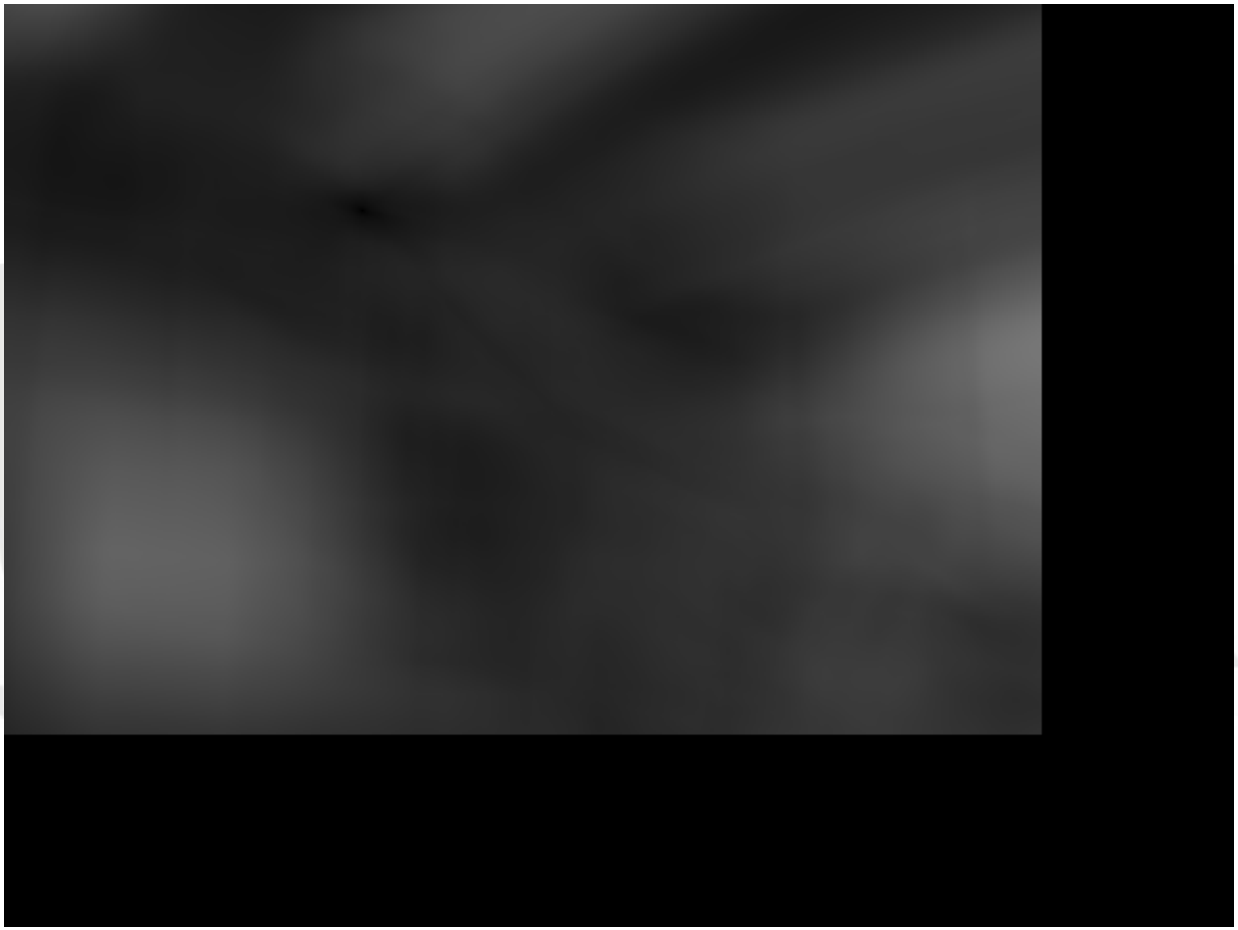
Coeficiente de correlação

- Outra medida possível é o coeficiente de correlação:
  - Seja μ_T o valor médio dos pixels no *template*, e μ_I o valor médio dos pixels na janela da imagem com canto em (x,y).

$$s(x,y)=\frac{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}(T(i,j)-\mu_T)\cdot(I(x+i,y+j)-\mu_I)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}(T(i,j)-\mu_T)^2}\cdot\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{M-1}(I(x+i,y+j)-\mu_I)^2}}$$

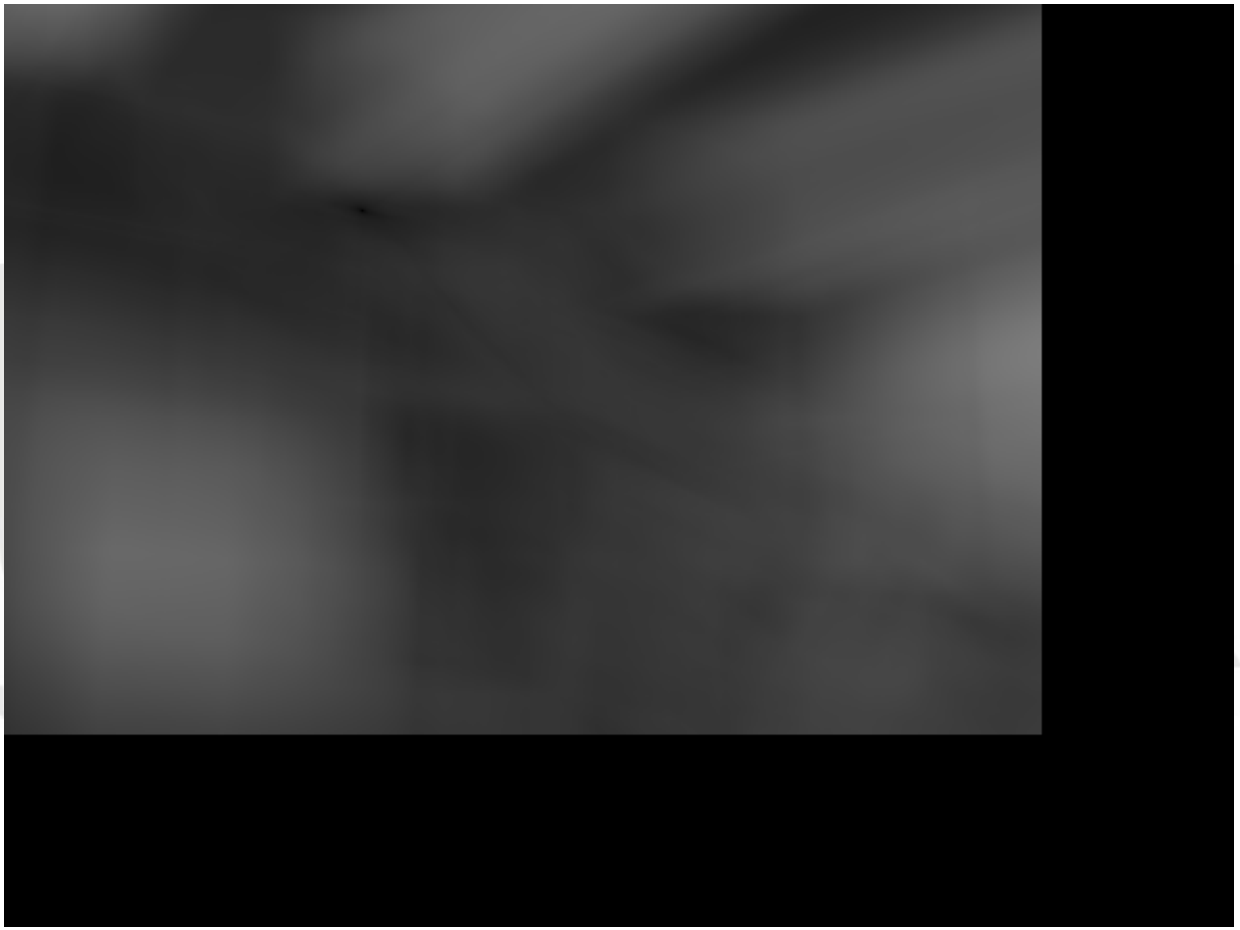
O coeficiente de correlação mede o quanto duas amostras estão correlacionadas. O valor fica no intervalo [-1,1].

Exemplo



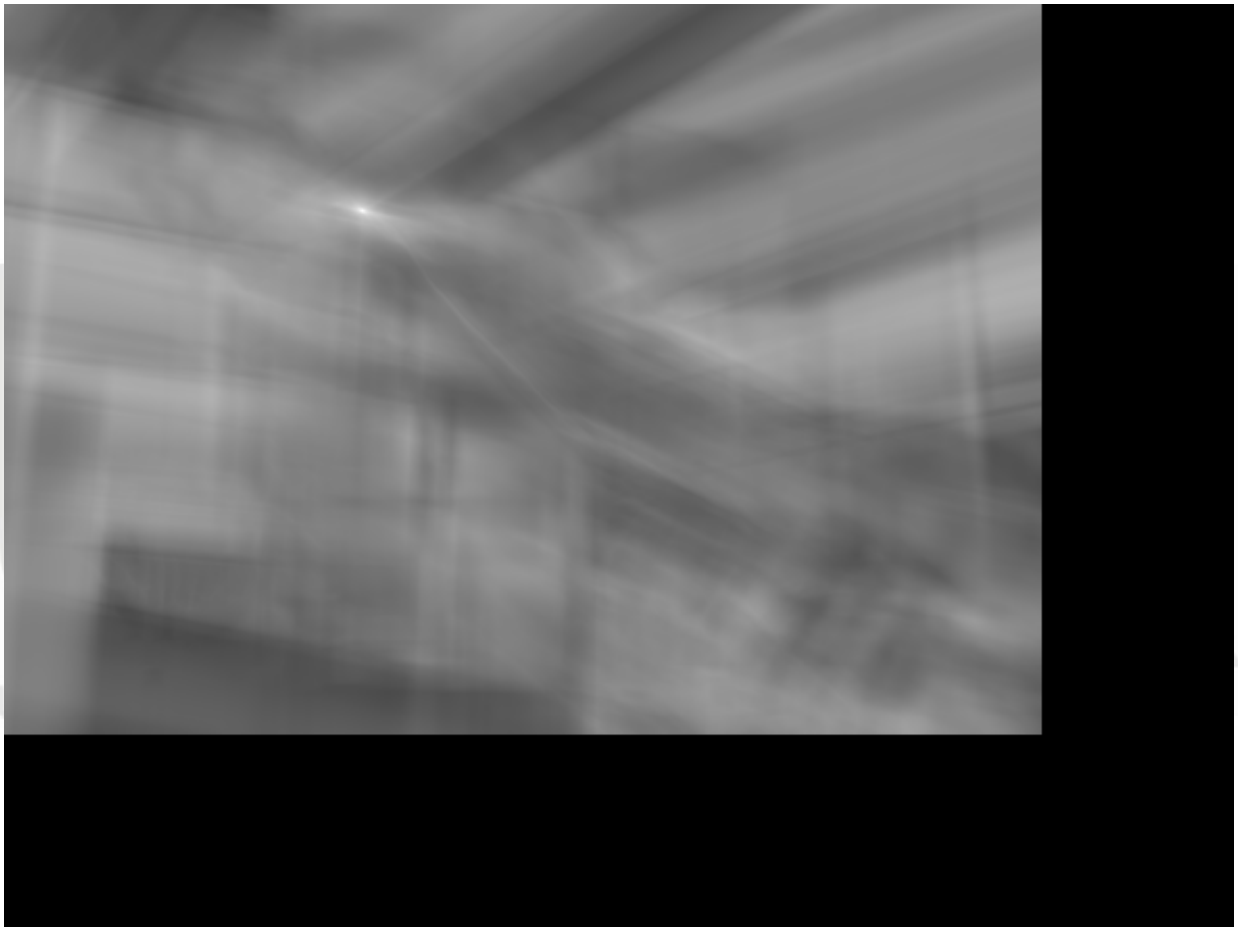
Diferença absoluta

Exemplo



Diferença quadrática

Exemplo



Coeficiente de correlação

Tratando imagens coloridas

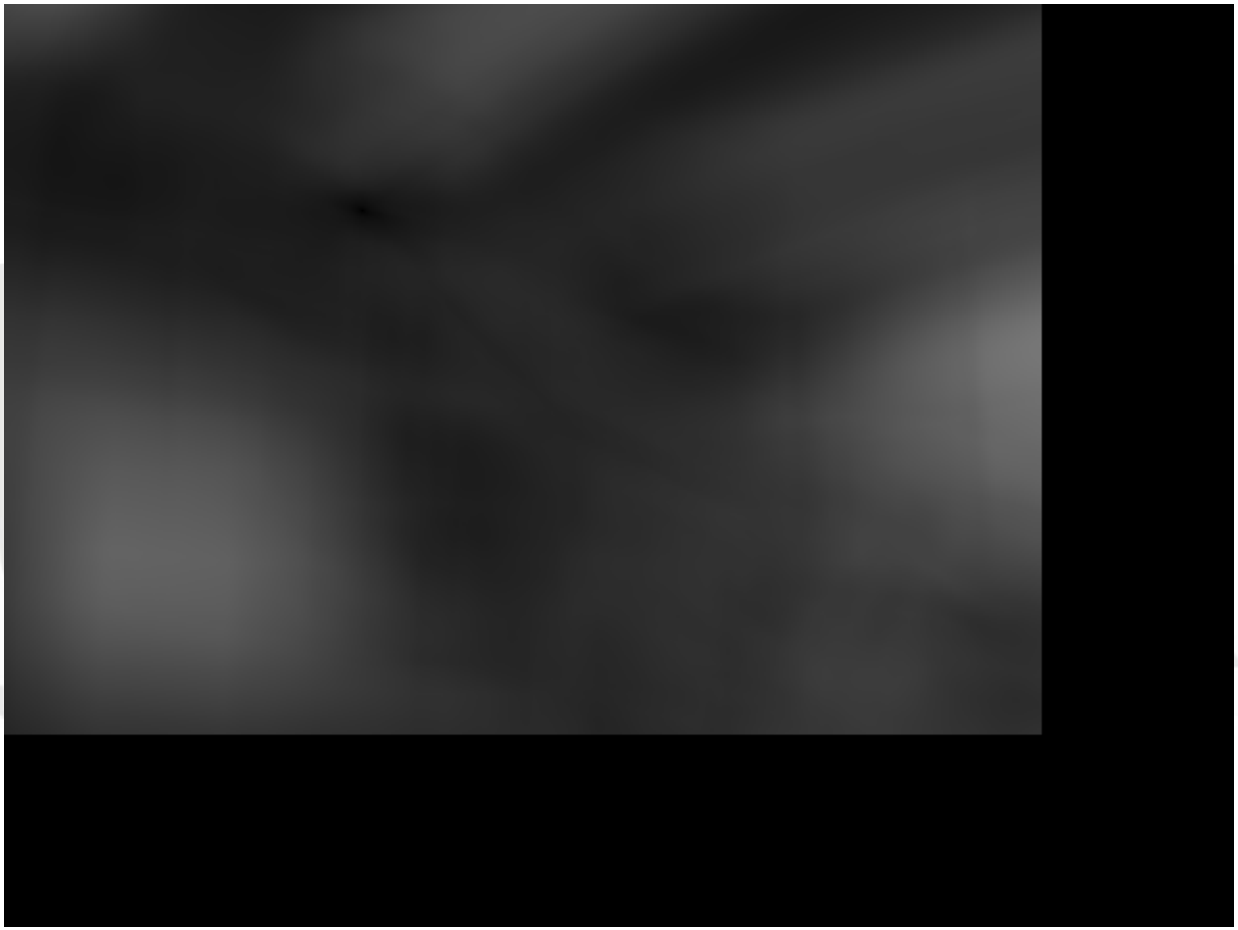
- Várias alternativas:
  - Converter para escala de cinza.
  - Fazer a média das pontuações nos 3 canais.
    - Os resultados são muito parecidos com os da 1ª opção.
  - Usar a maior das 3 diferenças.
  - Substitui as diferenças por distâncias Euclidianas entre as duas cores.
    - (Esta opção não faz muito sentido para o coeficiente de correlação).
  - Substitui as diferenças por distâncias entre as cores em um espaço perceptualmente uniforme.

Exemplo

Imagem

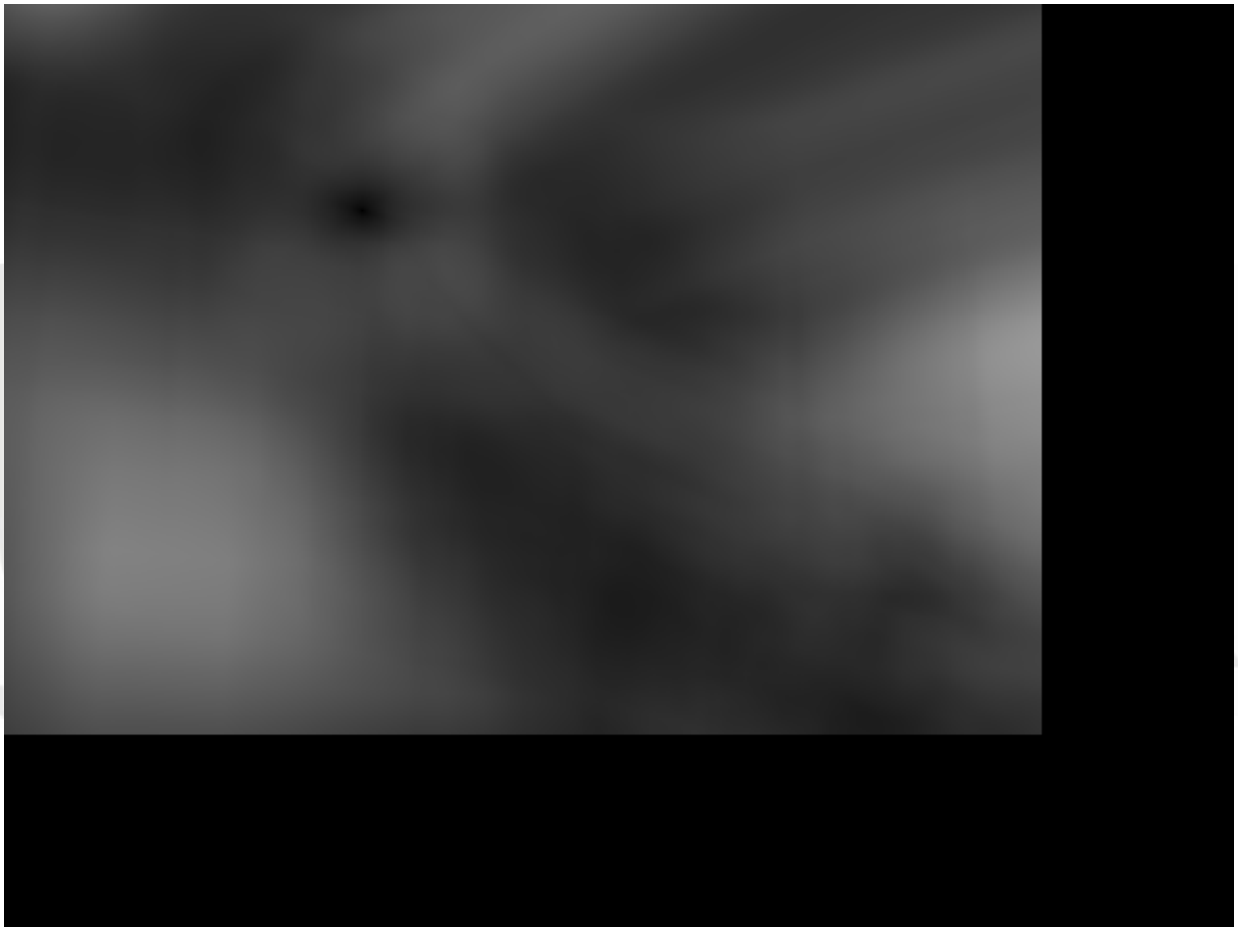
Template

Exemplo



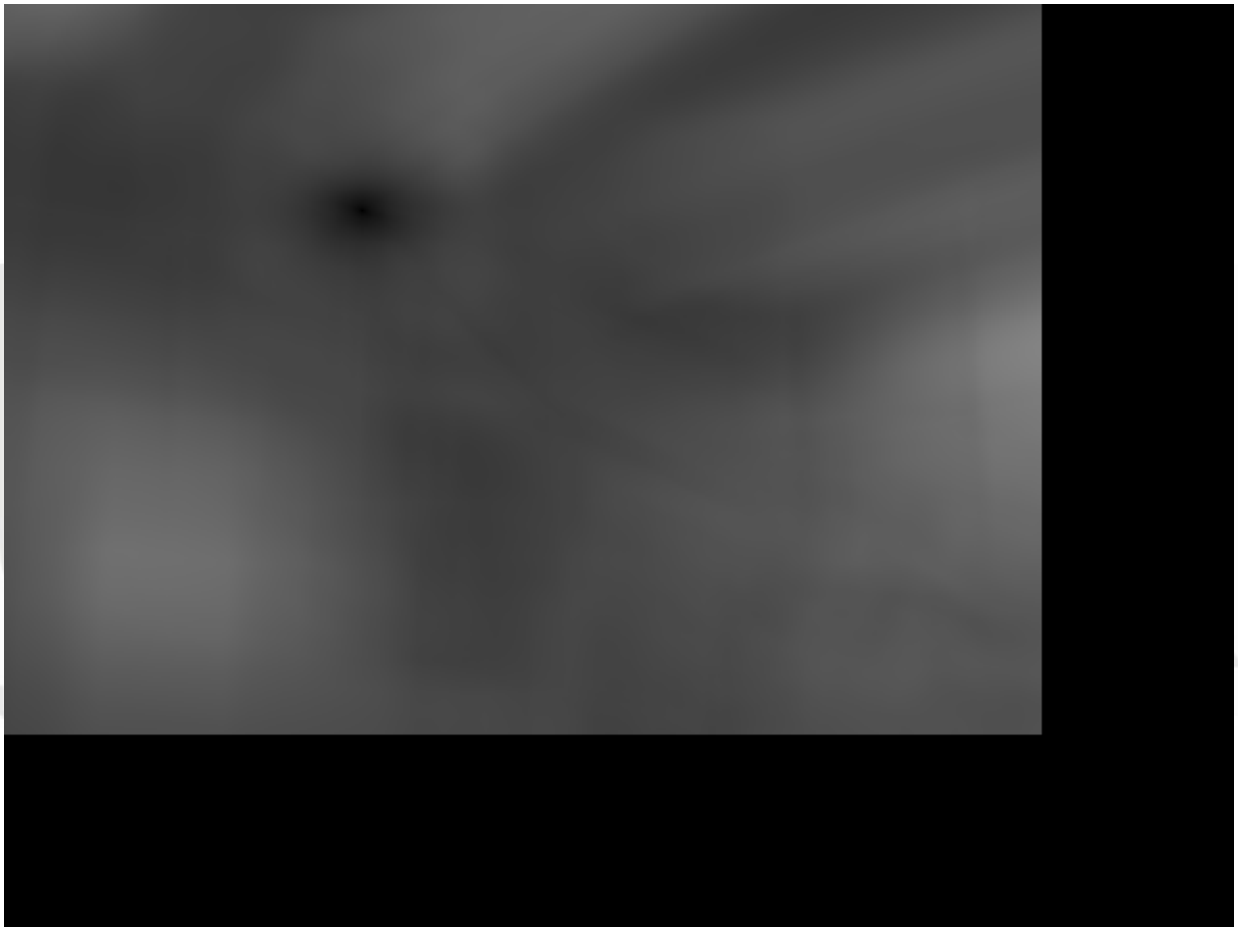
Diferença absoluta – escala de cinza

Exemplo



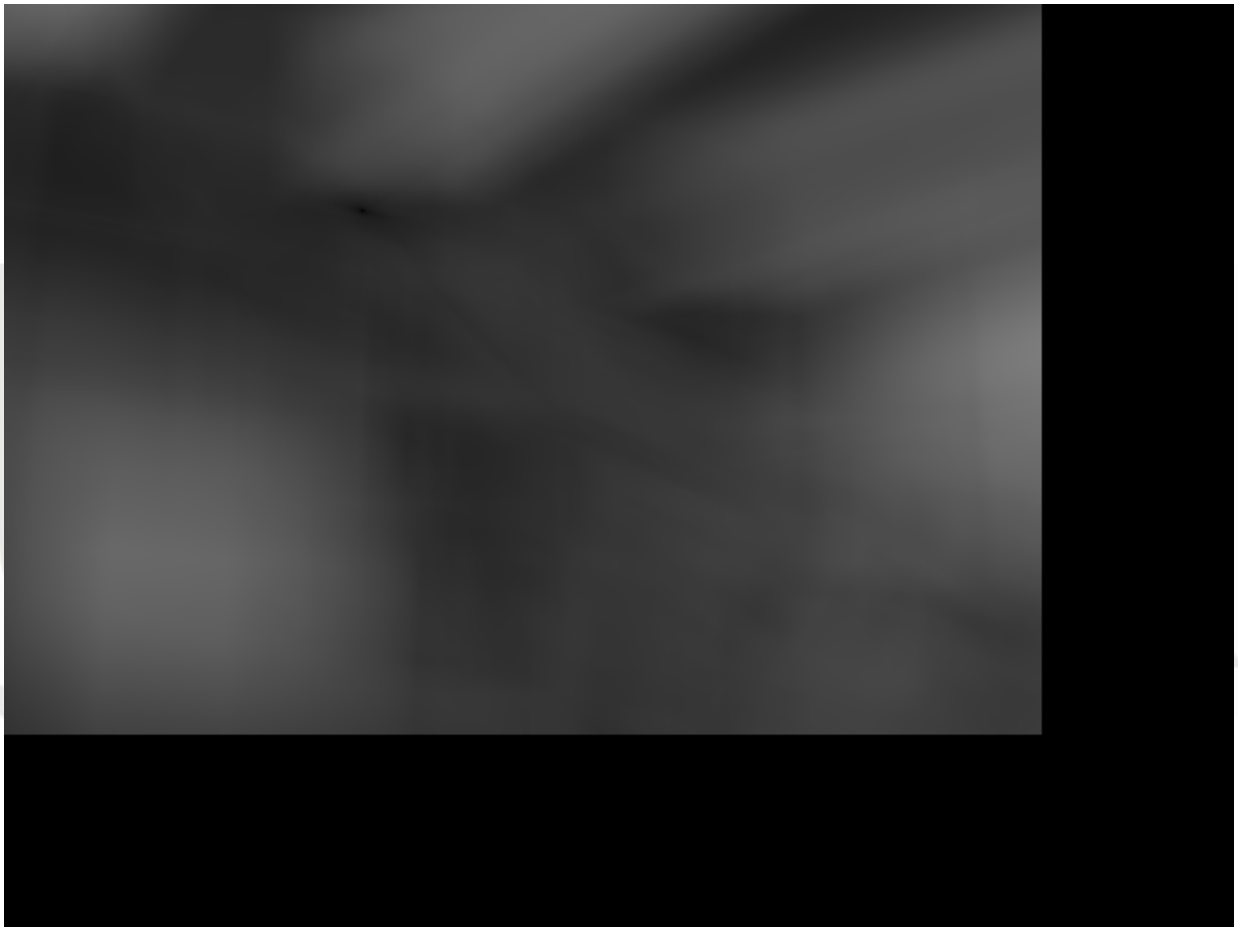
Diferença absoluta – maior de 3

Exemplo



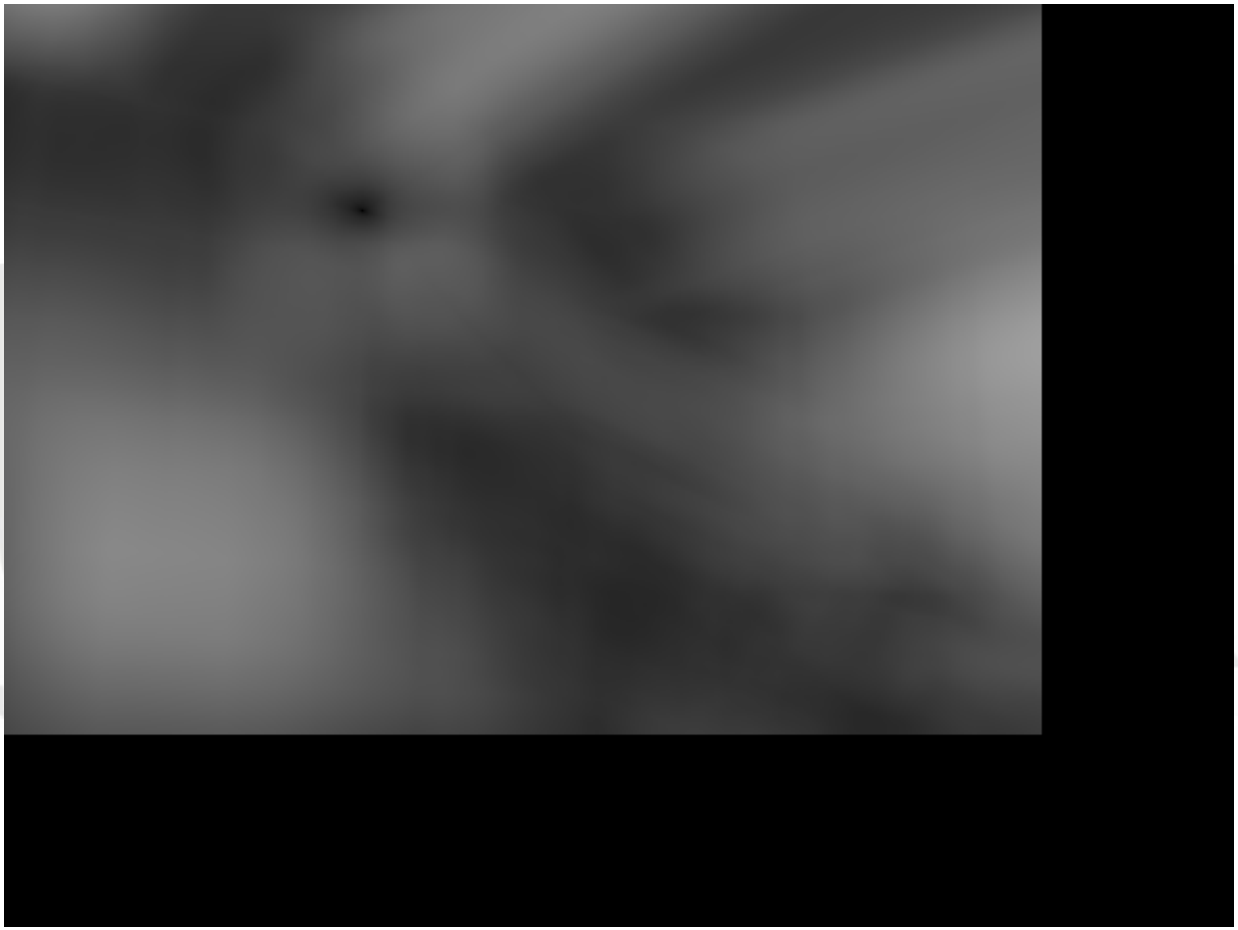
Diferença absoluta – distância Euclidiana

Exemplo



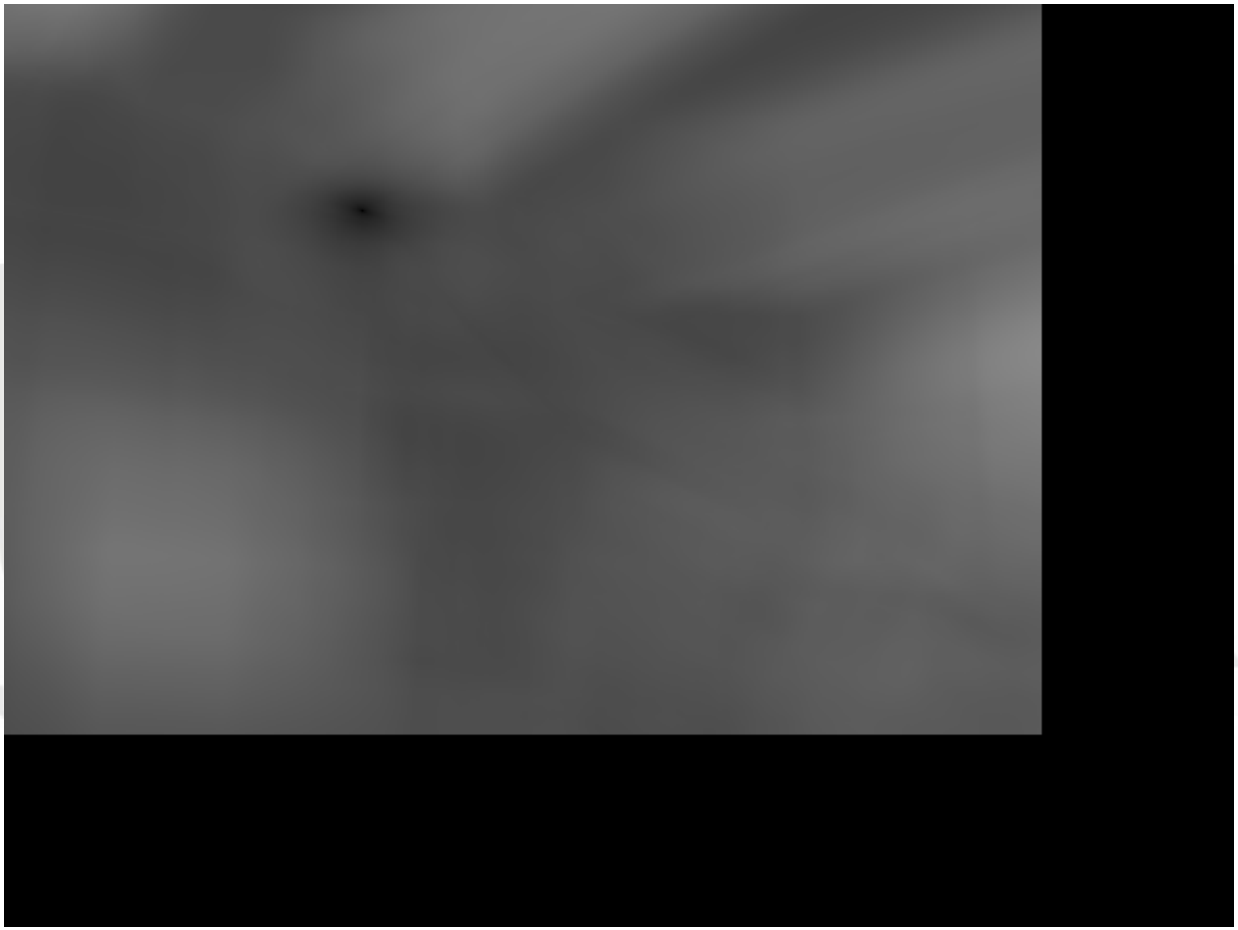
Diferença quadrática – escala de cinza

Exemplo



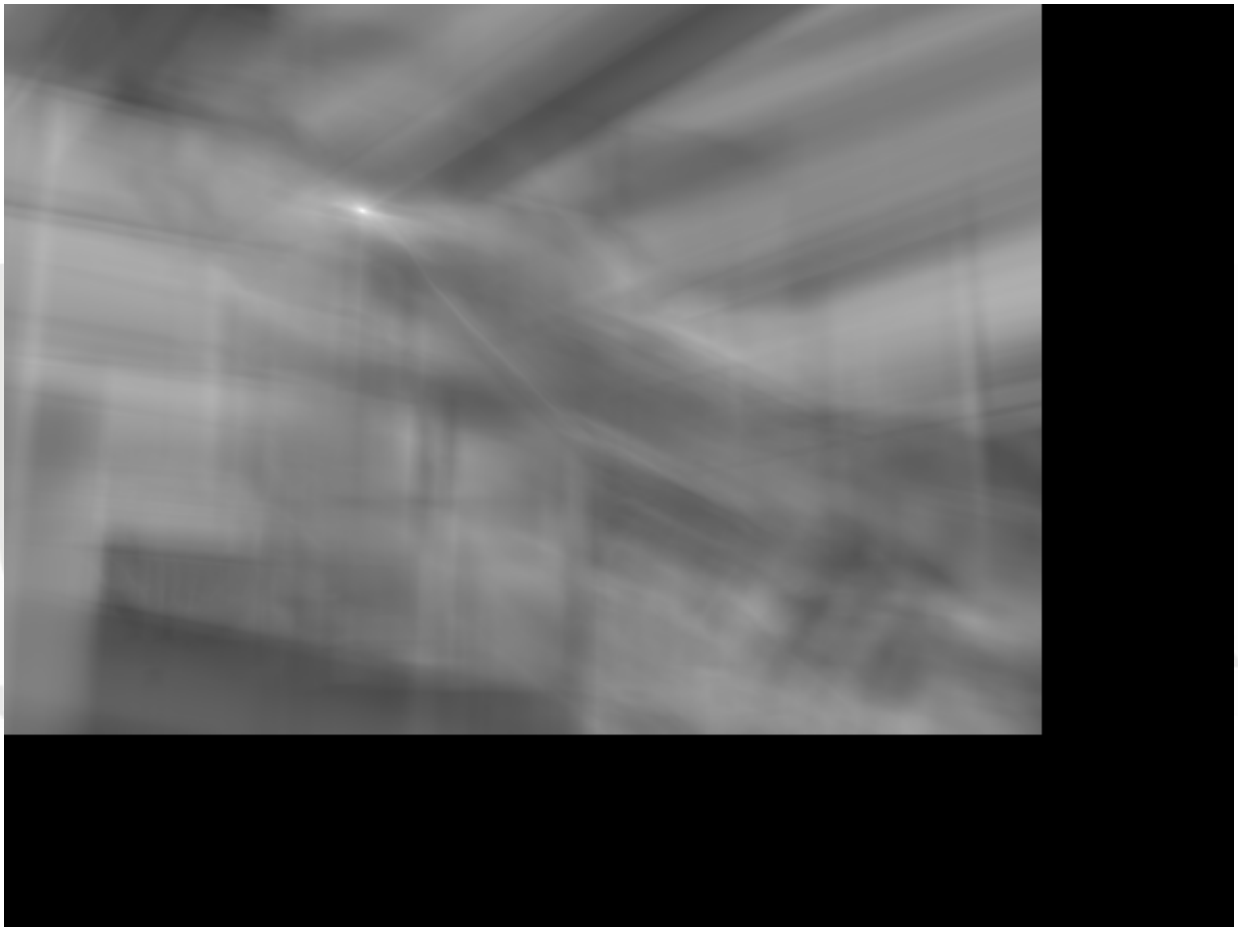
Diferença quadrática – maior de 3

Exemplo



Diferença quadrática – distância Euclidiana

Exemplo



Coeficiente de correlação – escala de cinza

Exemplo

Coeficiente de correlação – menor de 3

Exemplo

- Vamos tentar fazer novamente a estabilização da câmera...

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Exemplo

Média de 50 imagens, sem alinhamento.

Exemplo

Média de 50 imagens, alinhamento com janela deslizante e diferença quadrática.

Exemplo

Média de 50 imagens, alinhamento com janela deslizante e coeficiente de correlação.

Exemplo

Média de 81 imagens, sem alinhamento.

Exemplo

Média de 81 imagens, alinhamento com janela deslizante e diferença quadrática.

Exemplo

Média de 81 imagens, alinhamento com janela deslizante e coeficiente de correlação.

Precisão sub-pixel

- Pontuações calculadas posição-a-posição → os alinhamentos ocorrem somente em posições inteiras.
  - Podemos tentar fazer um ajuste para obter precisão sub-pixel.
- Abordagem ingênua:
  - Após localizar o alinhamento, repetir o procedimento usando imagens com largura/altura dobrada.
    - Isso é feito apenas na vizinhança do alinhamento localizado.
    - Podemos repetir recursivamente, a cada passo reduzindo a unidade mínima de distância pela metade.
- Abordagem mais sofisticada (e aproximada):
  - Tentar ajustar uma função quadrática 2D ao ponto e aos seus vizinhos.
    - O ponto para o alinhamento fica no topo ou no vale da curva.
  - Como a superfície nem sempre se ajusta bem aos resultados obtidos, esta abordagem pode na verdade piorar o alinhamento (!).

```
Entradas:
(x,y): ponto do melhor alinhamento
S: imagem com as pontuações

Saída:
(x',y'): ponto do melhor alinhamento, com precisão sub-pixel

dx = S(x+1,y) - S(x-1,y)
dy = S(x,y+1) - S(x,y-1)
dxx = S(x+1,y) + S(x-1,y) - 2*S(x,y)
dyy = S(x,y+1) + S(x,y-1) - 2*S(x,y)
dxy = (S(x+1,y+1) + S(x-1,y-1) - S(x-1,y+1) - S(x+1,y-1))/4

Monta o sistema:
|Dxx Dxy|*|ox|=|-dx|
|Dxy Dyy| |oy| |-dy|

Resolve o sistema para descobrir (ox,oy):
ox = (dxy*dy - dyy*dx) / (dxx*dyy - dxy*dxy)
oy = (dxy*dx - dxx*dy) / (dxx*dyy - dxy*dxy)

retorna (x+ox, y+oy)
```

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Uma outra abordagem

- Uma abordagem diferente, e computacionalmente mais barata, é usar uma FFT e trabalhar no domínio da frequência.
- Qual propriedade podemos usar?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Uma outra abordagem

- Uma abordagem diferente, e computacionalmente mais barata, é usar uma FFT e trabalhar no domínio da frequência.
- Conceito: se a imagem *B* é uma versão transladada da imagem *A*, o espectro de ambas possui as mesmas magnitudes, com as fases deslocadas de algum valor.

Correlação de fase (phase correlation)

```
Computa as DFTs das duas imagens:
  dft (f, 0s, Fr, Fi)
  dft (g, 0s, Gr, Gi)

Para cada posição (x,y), tome:
   R (x,y) = (Fr*Gr + Fi*Gi);
   I (x,y) = (-Fr*Gi + Fi*Gr);
   Cr (x,y) /= sqrt (R(x,y)*R(x,y) + I(x,y)*I(x,y))
   Ci (x,y) /= sqrt (R(x,y)*R(x,y) + I(x,y)*I(x,y))

Calcula a dft inversa usando Cr e Ci:
   idft (Cr, Ci, outr, outi)

Procura o ponto (x',y') com o maior valor em outr

retorna (x'-largura/2, y'-altura/2)
```

Em muitos casos, não fazer a divisão produz resultados melhores!!!

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

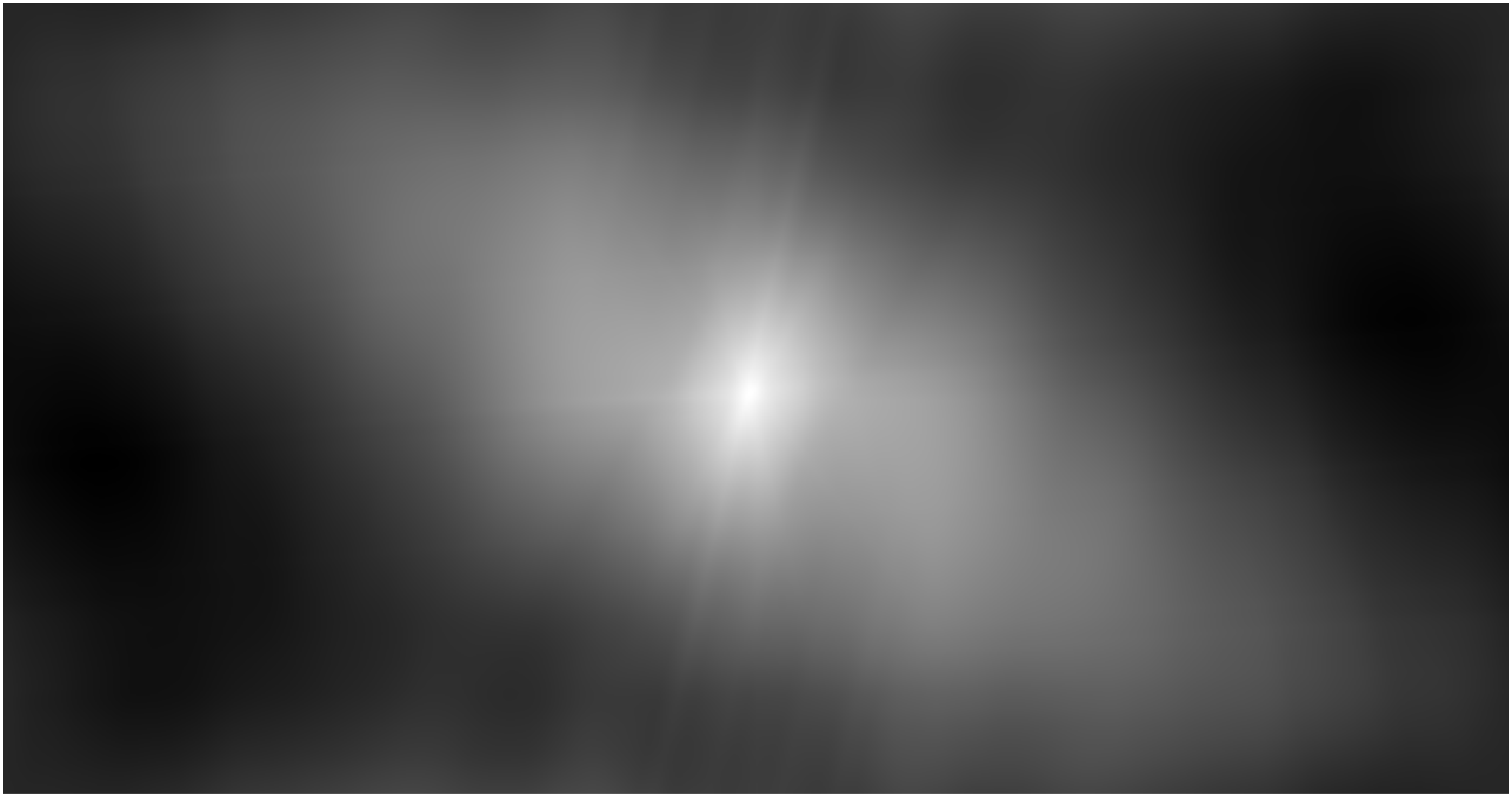
Exemplo

Média de 50 imagens, alinhamento com janela deslizante e diferença quadrática.

Exemplo

Média de 50 imagens, alinhamento com correlação de fase.

Exemplo



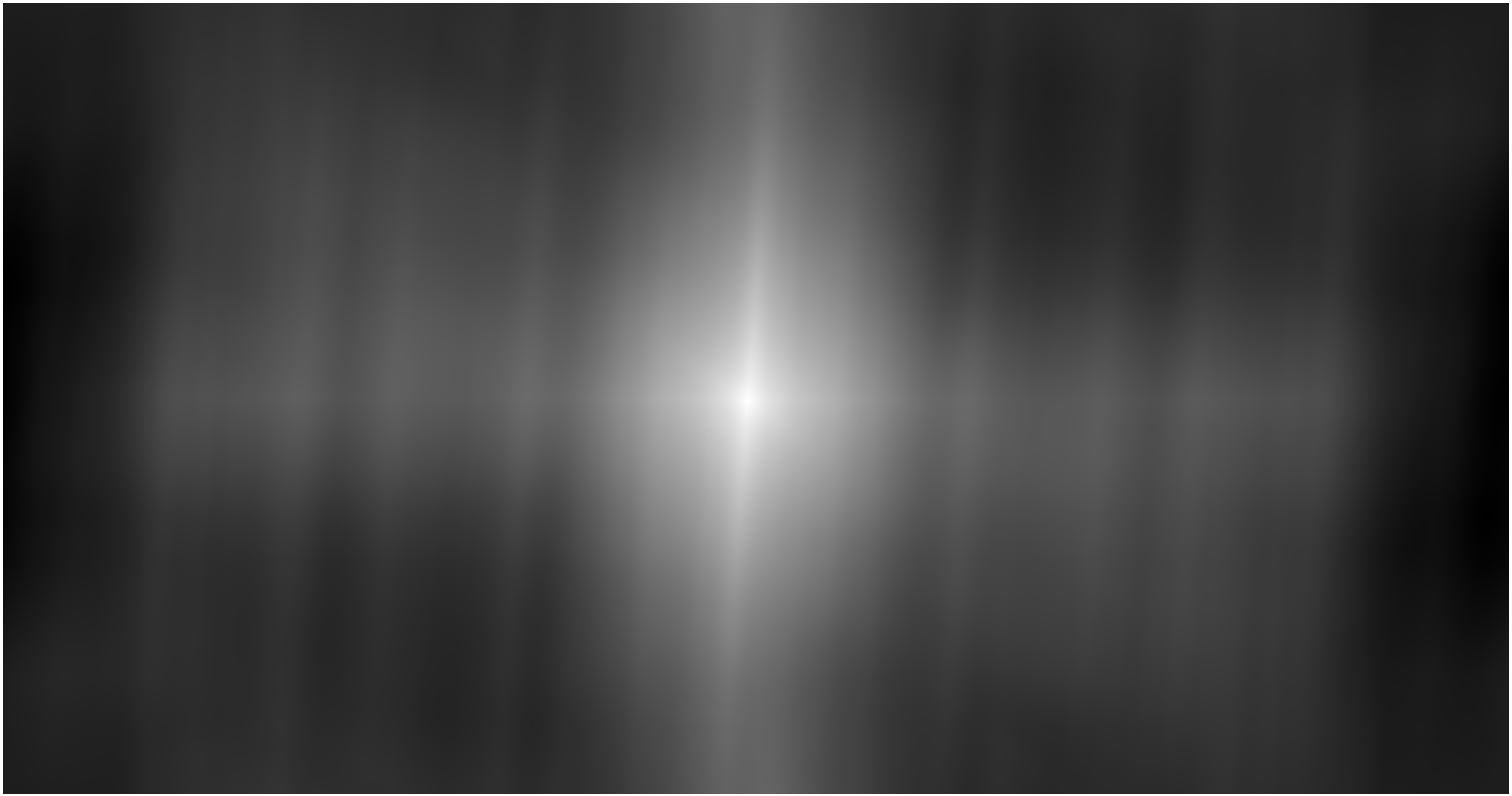
Exemplo

Média de 81 imagens, alinhamento com janela deslizante e diferença quadrática.

Exemplo

Média de 81 imagens, alinhamento com correlação de fase.

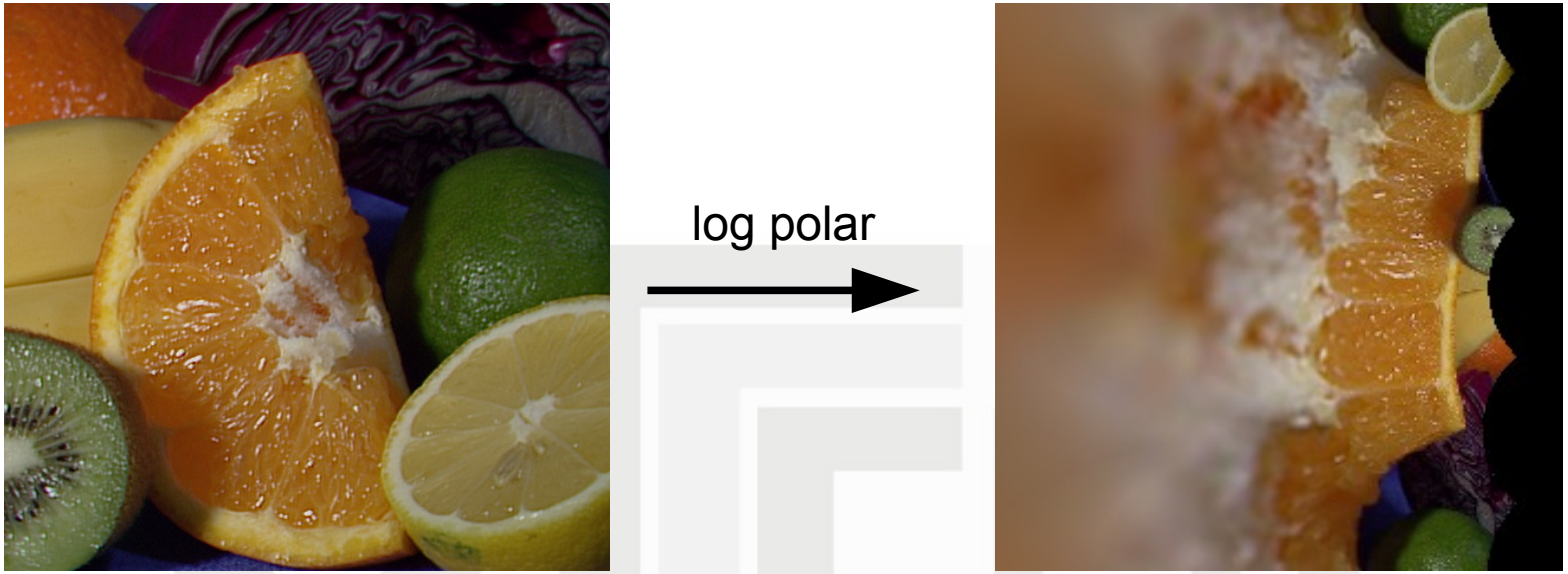
Exemplo



Correlação de fase: limitações

- O registro por correlação de fase pode falhar em alguns casos:
  - Quando existem padrões repetitivos nas imagens.
    - Pode gerar vários pontos máximos!
  - Quando a translação faz surgir muitos dados nas bordas.
    - Quanto mais distantes do ideal de “padrão de azulejos”, pior.

Modelos mais complexos



- As técnicas vistas funcionam apenas para translações.
- Como tratar outros tipos de distorção geométrica?
  - Expandir a ideia da janela deslizante para outros tipos de distorção.
    - Resulta em espaços de busca grandes, e pode exigir heurísticas.
  - Correlação de fase no espaço log-polar (para rotação e escala).
  - Casamento de pontos de interesse.

Distorções fotométricas

- Outro desafio: como tratar de distorções fotométricas?
- Exemplo de aplicação: criação de um vídeo de *timelapse*.
  - Em condições adequadas, é muito simples...

http://www.youtube.com/watch?v=8gD_9WPPFb4

Distorções fotométricas

- Mas e se não tivermos condições tão boas e precisarmos preparar o ambiente para cada nova imagem?
  - Variações de enquadramento e iluminação.

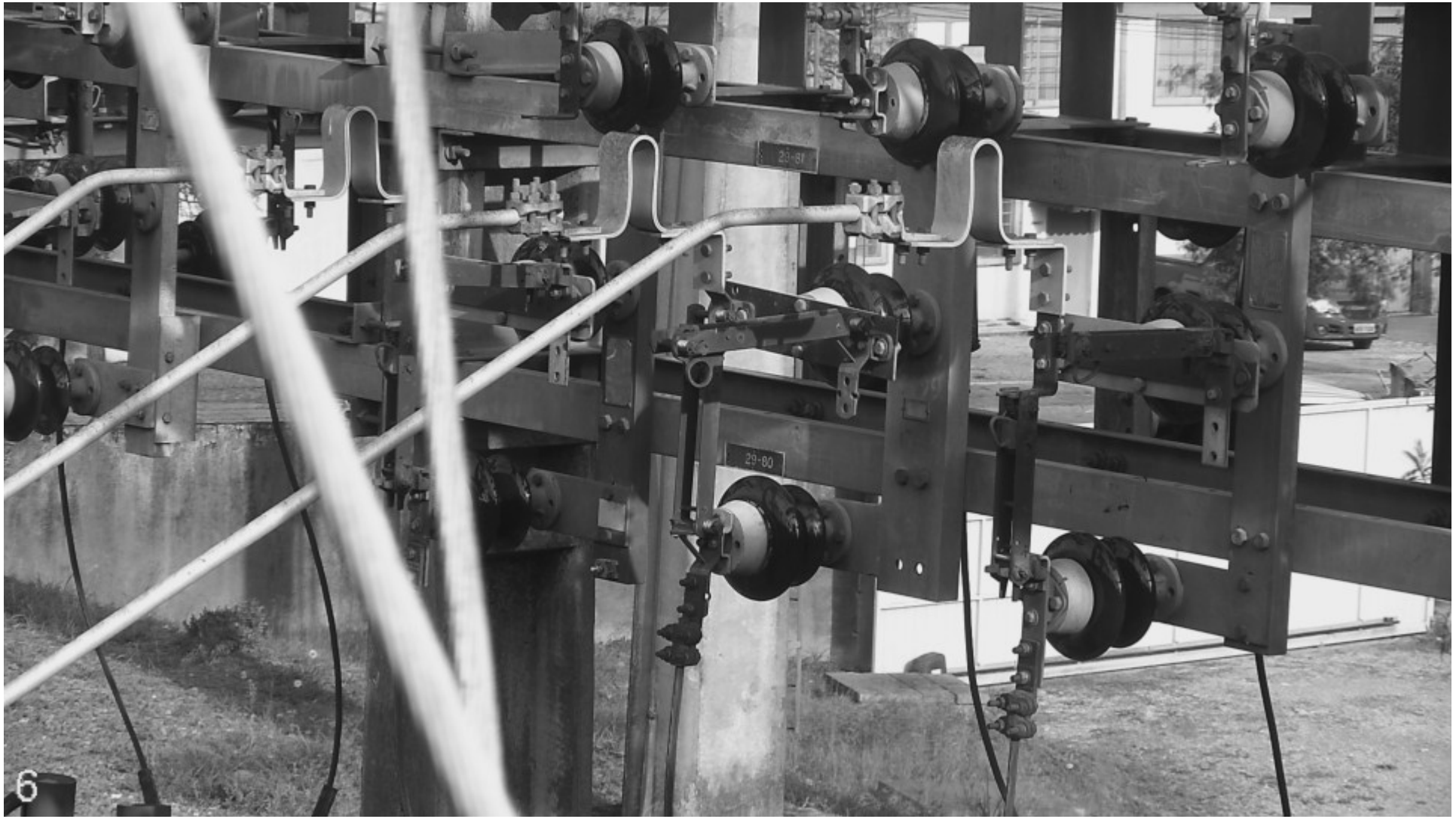
Como tratar?

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Como tratar?

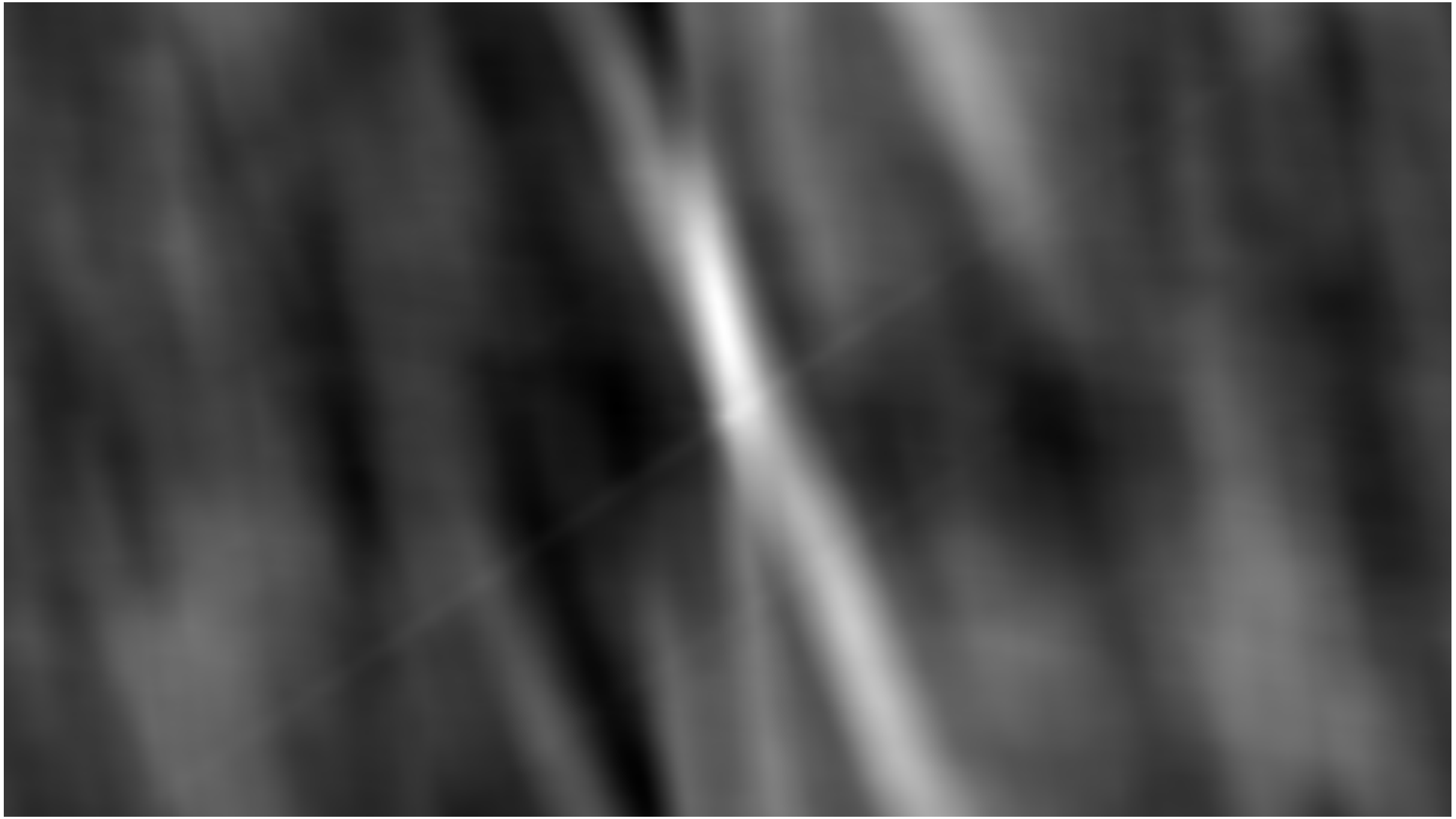
- Ideia #1:
  - Computar imagens com as magnitudes dos gradientes.
  - Alinhar estas imagens usando correlação de fase.
- Conceito:
  - As imagens com as magnitudes dos gradientes serão mais parecidas entre si.

Uma imagem

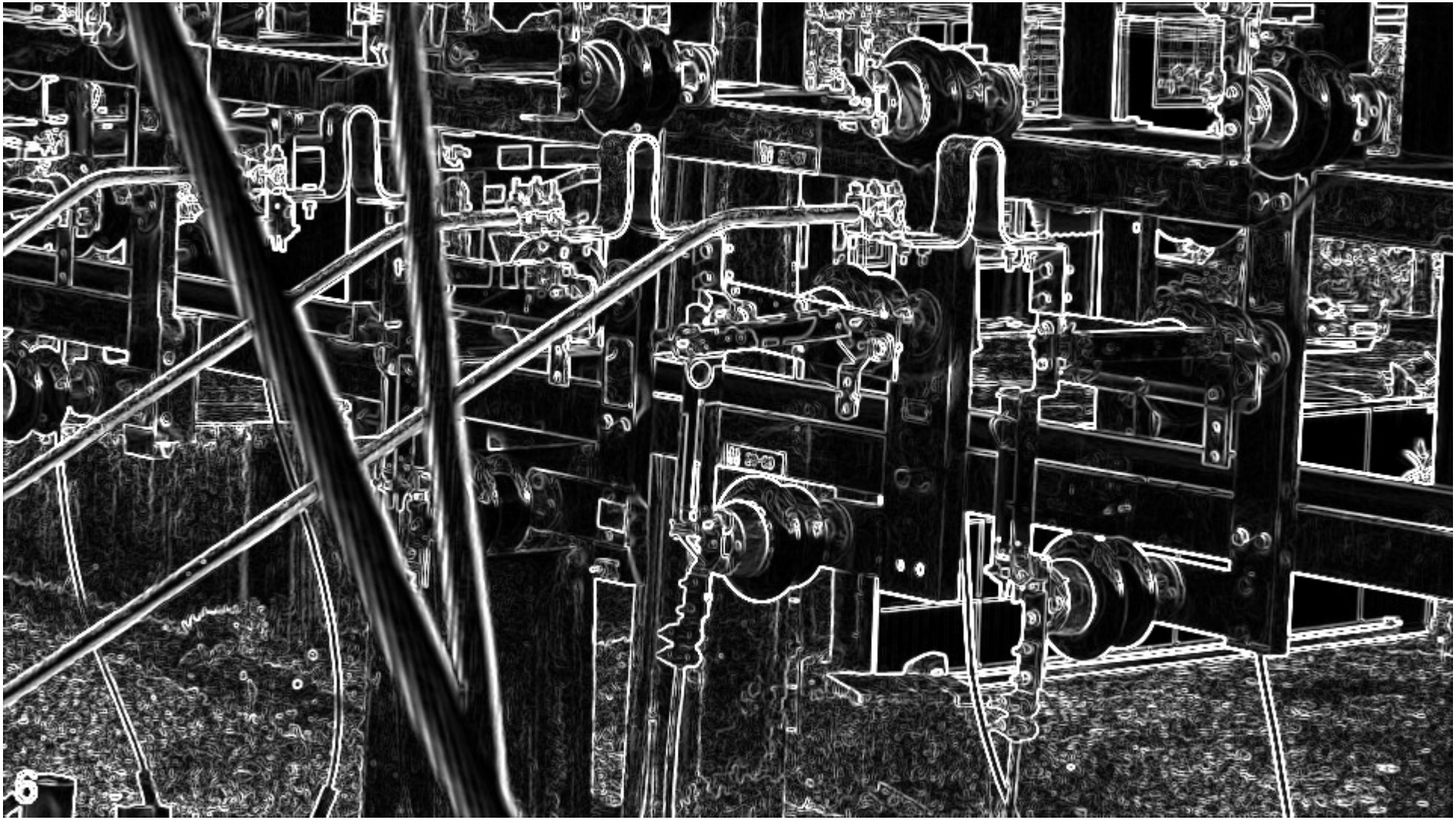


Outra imagem

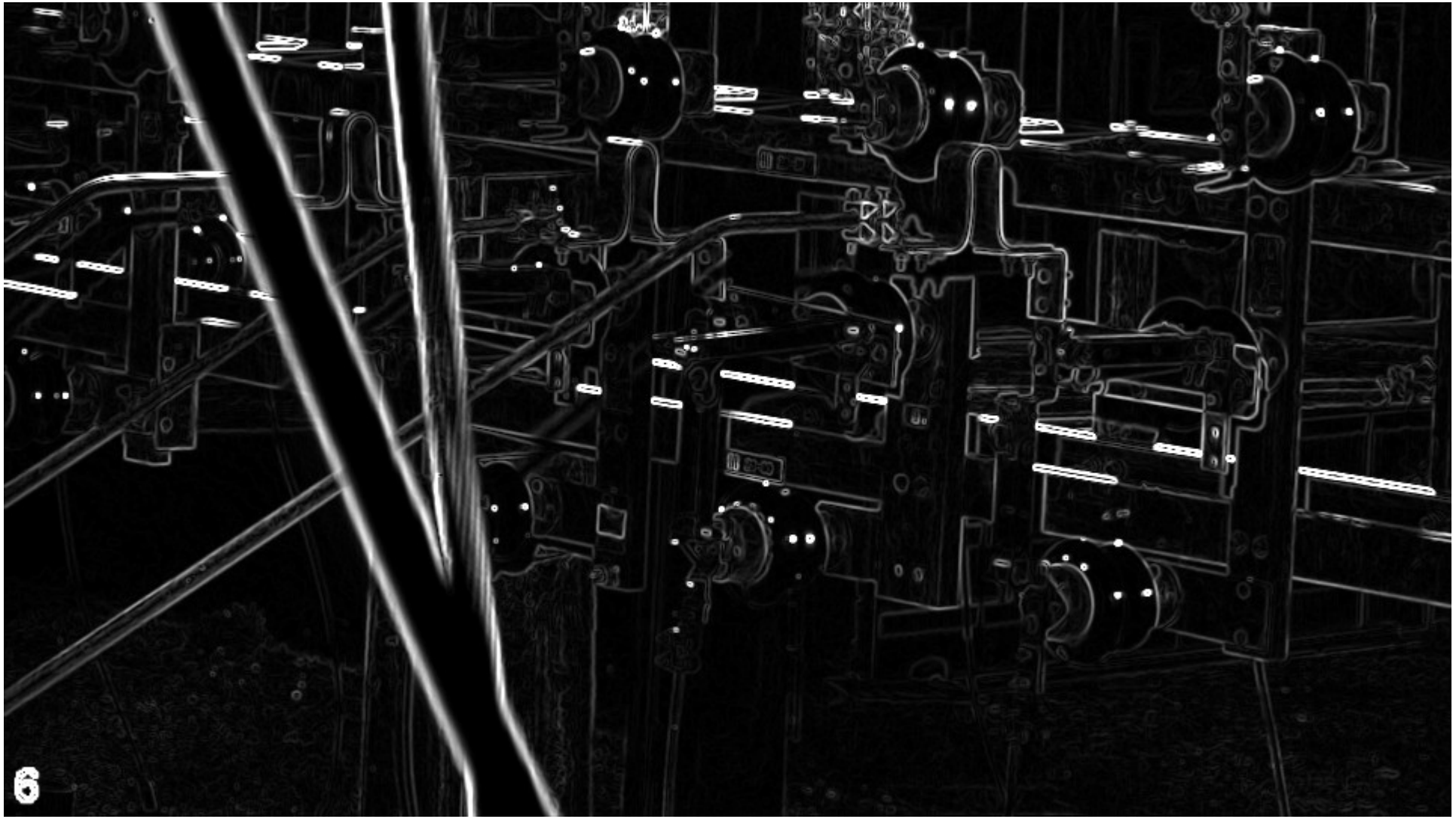
Correlação de fase



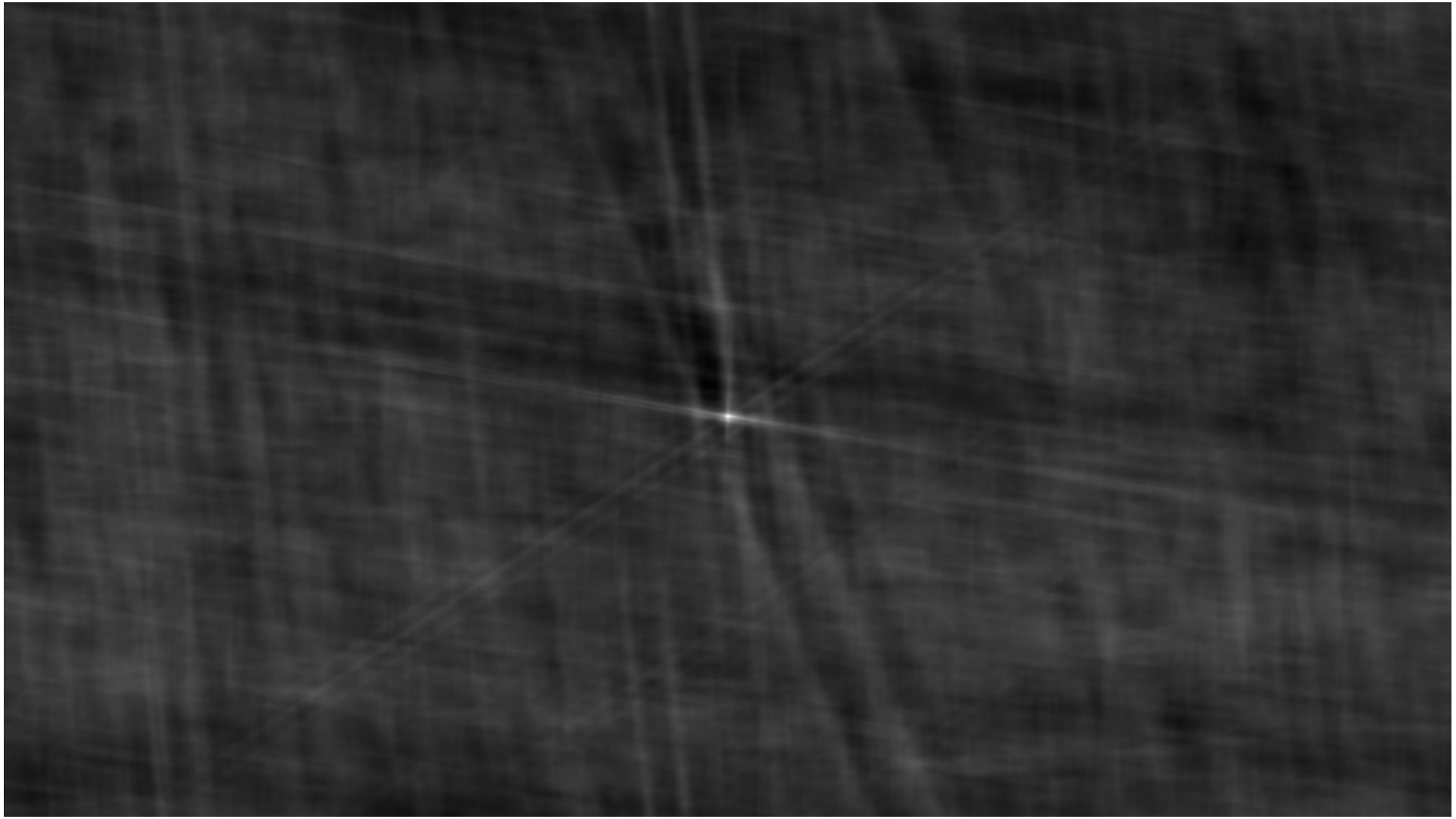
Uma imagem



Outra imagem



Correlação de fase



Média de 81 imagens...

… sem registro.

Média de 81 imagens...

… correlação de fase (imagens originais).

Média de 81 imagens...

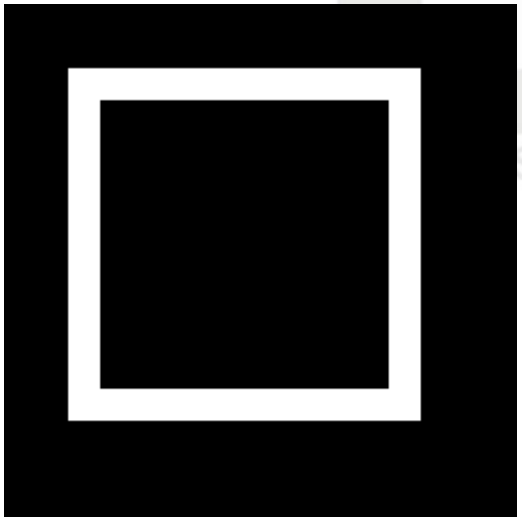
… correlação de fase (magnitudes dos gradientes).

Problema resolvido?

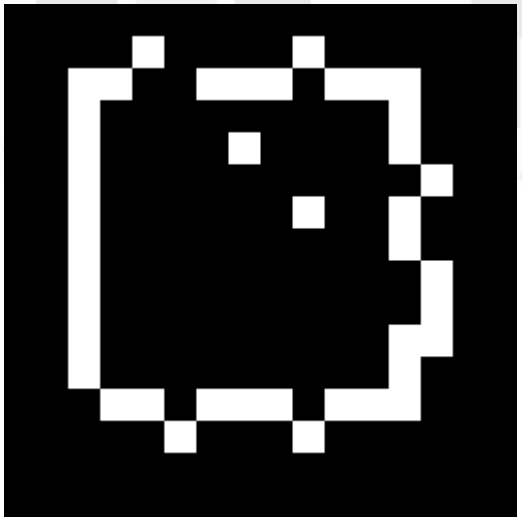
•Problema: grande variação de conteúdo na cena.

Como tratar?

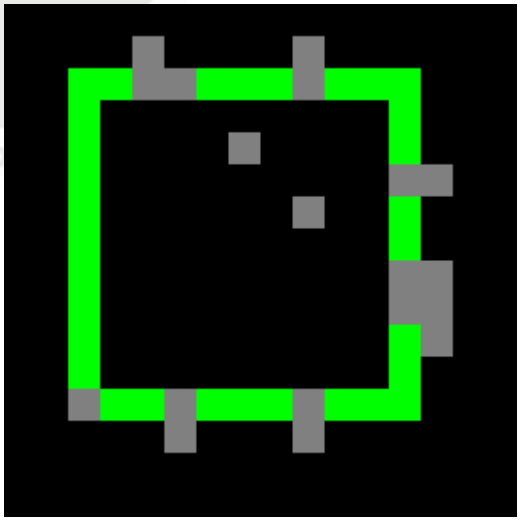
- Ideia #2:
  - Usar janelas deslizantes, mas com outra medida de pontuação.
- Uma estratégia muito simples para calcular a pontuação:
  - Extrair bordas das imagens (detector de Canny).
  - Contar quantos pixels estão “setados” em ambas as imagens.



Padrão



Região da imagem



Intersecção
(31 pixels)

Casamento de bordas

- Apesar da simplicidade, a pontuação com intersecção pode produzir bons resultados, sob determinadas condições.
  - Se a variação entre as imagens for suficientemente pequena.
  - Se as imagens não tiverem textura muito pobre.
    - Se o fundo for muito “limpo”, podemos não ter bordas o suficiente!
  - Se as imagens não tiverem “entulho” (bordas demais).
- Existem outras formas de se comparar imagens de bordas...
  - Distância chamfer.
  - Distância de Hausdorff.
  - Considerar o sinal dos gradientes (claro-escuro x escuro-claro).
  - Considerar a orientação dos gradientes.
  - Considerar os ângulos entre segmentos de reta.

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ