

Processamento de Imagens - PIM

Rogério Eduardo da Silva - rogerio.silva@udesc.br
Gilmário Barbosa dos Santos - gilmario.santos@udesc.br

Universidade do Estado de Santa Catarina
Departamento de Ciéncia da Computaçeo

23 de outubro de 2017

Ementa

- Fundamentos
- Operações globais e de vizinhança
- Transformadas
- Teorema da convolução
- Realce
- Restauração
- Segmentação
- Morfologia
- Reconhecimento
- Compressão
- Aplicações

Objetivo Geral da Disciplina

- Apresentar os principais conceitos envolvidos na aquisição, processamento e análise de imagens digitais.

Objetivo Geral da Disciplina

- Apresentar os principais conceitos envolvidos na aquisição, processamento e análise de imagens digitais.
- Introduzir os conceitos fundamentais das técnicas de processamento e codificação de imagem.

Objetivo Geral da Disciplina

- Apresentar os principais conceitos envolvidos na aquisição, processamento e análise de imagens digitais.
- Introduzir os conceitos fundamentais das técnicas de processamento e codificação de imagem.
- Preparar os alunos para o uso de desenvolvimento de sistemas de processamento e análise de imagens.

Objetivos Específicos

- Compreender os principais métodos de forma esquemática (em alto nível) e matemática para imagens digitais binárias e em níveis de cinza.

Objetivos Específicos

- Compreender os principais métodos de forma esquemática (em alto nível) e matemática para imagens digitais binárias e em níveis de cinza.
- Implementar as técnicas mais simples e protótipos completos de aplicações em uma determinada área da ciência, selecionando informações importantes registradas em imagens digitais de forma semiautomática ou totalmente independente de interferência humana.

Objetivos Específicos

- Compreender os principais métodos de forma esquemática (em alto nível) e matemática para imagens digitais binárias e em níveis de cinza.
- Implementar as técnicas mais simples e protótipos completos de aplicações em uma determinada área da ciência, selecionando informações importantes registradas em imagens digitais de forma semiautomática ou totalmente independente de interferência humana.
- Analisar diversos problemas de visão computacional e propor soluções aparentemente complexas em tempo mínimo, usando as ferramentas apresentadas.

Objetivos Específicos

- Compreender os principais métodos de forma esquemática (em alto nível) e matemática para imagens digitais binárias e em níveis de cinza.
- Implementar as técnicas mais simples e protótipos completos de aplicações em uma determinada área da ciência, selecionando informações importantes registradas em imagens digitais de forma semiautomática ou totalmente independente de interferência humana.
- Analisar diversos problemas de visão computacional e propor soluções aparentemente complexas em tempo mínimo, usando as ferramentas apresentadas.
- Capacitar os alunos com embasamento teórico para trabalhos de pesquisa na área de processamento de imagens → LAPIS - Laboratório de Processamento de Imagens e Sinais.



<http://www2.joinville.udesc.br/~lapis>

Método de Ensino

- Aulas expositivas em sala e em laboratório
- Listas de exercícios teóricos e práticos
- Atendimento presencial (sala do professor) e/ou através da lista de emails da disciplina

bcc-pim@googlegroups.com

- <http://www.rogerioesilva.net/>
- <http://www2.joinville.udesc.br/~lapis>

Avaliações

- Participação em Classe;
- Provas (2 provas previstas – individuais e s/ consulta);
- Trabalhos individuais ou em grupos de 2 ou mais alunos, com o desenvolvimento de soluções para problemas sugeridos;

$$\text{NotaFinal} = Pr_1 * 0.4 + Pr_2 * 0.4 + TF * 0.2$$

Pr₁ Prova 1

Pr₂ Prova 2

TF Trabalho Final da Disciplina

Conteúdo Programático I

1 Apresentação

2 Introdução

- Análise de Imagens
- Áreas de Aplicação
- Etapas do Processamento de Imagens

3 Fundamentos de Imagens Digitais

- Tipos de Sinais
- Modelo de Imagens
- Digitalização
- Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem
- Representação de Imagens Digitais
- Imagens Multibandas ou Multiespectrais
- Imagens Multidimensionais
- Sistema Visual Humano
- Ruídos em Imagens
- Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

4 Realce

5 Segmentação

6 Morfologia Matemática

Bibliografia Básica Sugerida I

-  H. Pedrini and W. R. Schwartz, *Análise de Imagens Digitais – Princípios, Algoritmos e Aplicações*.
Editora Thomson, 2008.
-  R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Processamento de Imagens Digitais*.
São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
-  L. O'Gorman, M. J. Sammon, and M. Seul, *Algorithms for Image Analysis: Description, Examples, Programs, and Projects*.
New York: Cambridge University Press, 2nd ed., 2009.
-  G. A. Baxes, *Digital Image Processing: Principles and Applications*.
John Wiley & Sons, 1st ed., 1994.
-  A. C. Bovik, ed., *Handbook of Image and Video Processing*.
Academic Press, 1st ed., 2003.

Bibliografia Básica Sugerida II

-  E. R. Dougherty and R. A. Lotufo, *Hands-on Morphological Image Processing*.
SPIE Press, 2003.
-  J. Gomes and L. Velho, *Computação Gráfica: Imagem*.
IMPA/SBM, 2nd ed., 2002.
-  J. Kiusalass, *Numerical Methods in Engineering with Python*.
Cambridge University Press, 2005.
-  B. Jähne, *Digital Image Processing*.
Springer, 5th ed., 2005.
-  A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*.
Englewood Cliffs, US: Prentice-Hall, 1988.
-  J. R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision – Bk&CD-Rom*.
John Wiley & Sons, 1996.

Bibliografia Básica Sugerida III

-  W. K. Pratt, *Digital Image Processing: PIKS Inside.*
John Wiley & Sons, 3rd ed., 2001.
-  J. C. Russ, *The Image Processing Handbook.*
CRC, 5th ed., 2006.
-  G. J. F. Banon and J. Barrera, "Bases da morfologia matemática para análise de imagens."
<http://www.vision.ime.usp.br/~jb/books/conteudo.pdf>,
1998.
Acessado em 2017-07-12.
-  A. Falcão, "Fundamentos de processamento de imagem digital."
<http://www.dcc.unicamp.br/~cpg/materialdidatico/mo815/9802/curso/curso.html>.
Acessado em 2017-07-12.

Bibliografia Básica Sugerida IV

-  R. B. Fischer, "CV online: The evolving, distributed, non-proprietary, on-line compendium of computer vision."
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/>.
Acessado em 2017-07-12.
-  K. Price, "Annotated computer vision bibliography: Table of contents." <http://iris.usc.edu/Vision-Notes/bibliography/contents.html>, 2006.
Acessado em 2017-07-12.

Introdução

Introdução

Desafio

Desenvolvimento de sistemas autônomos que reproduzam as capacidades do sistema visual humano e que sejam capazes de reagir a estímulos visuais de forma adequada à área específica sob investigação.

Introdução

Desafio

Desenvolvimento de sistemas autônomos que reproduzam as capacidades do sistema visual humano e que sejam capazes de reagir a estímulos visuais de forma adequada à área específica sob investigação.

Visão Computacional

Procura auxiliar a resolução de problemas altamente complexos, buscando imitar a cognição humana e a habilidade do ser humano em tomar decisões de acordo com as informações contidas na imagem

Introdução

Desafio

Desenvolvimento de sistemas autônomos que reproduzam as capacidades do sistema visual humano e que sejam capazes de reagir a estímulos visuais de forma adequada à área específica sob investigação.

Visão Computacional

Procura auxiliar a resolução de problemas altamente complexos, buscando imitar a cognição humana e a habilidade do ser humano em tomar decisões de acordo com as informações contidas na imagem

Processamento Digital de Imagens

Consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio do computador

Introdução

Análise de Imagens

- O emprego dessas técnicas permite extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspectos estruturais, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de máquinas

Introdução

Análise de Imagens

- O emprego dessas técnicas permite extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspectos estruturais, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de máquinas
- A **análise** ou a **interpretação** de imagens visa obter uma descrição que contenha informação suficiente para distinguir entre diferentes objetos de interesse, de forma confiável e requerendo o mínimo de intervenção humana

Introdução

Análise de Imagens

- O emprego dessas técnicas permite extrair e identificar informações das imagens e melhorar a qualidade visual de certos aspectos estruturais, facilitando a percepção humana e a interpretação automática por meio de máquinas
- A **análise** ou a **interpretação** de imagens visa obter uma descrição que contenha informação suficiente para distinguir entre diferentes objetos de interesse, de forma confiável e requerendo o mínimo de intervenção humana
- A análise de imagens é, tipicamente, baseada na forma, na textura, nos níveis de cinza ou nas cores dos objetos presentes nas imagens

Introdução

Áreas de Aplicação

- Medicina
- Microscopia
- Biologia
- Automação Industrial
- Sensoriamento Remoto
- Astronomia
- Área Militar
- Segurança e Vigilância
- Computação Forense
- Arqueologia e Artes

Introdução

Áreas de Aplicação: Medicina

- Diagnósticos médicos por imagem: raio-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassonografia

Introdução

Áreas de Aplicação: Medicina

- Diagnósticos médicos por imagem: raio-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassonografia
- Diversas áreas médicas de interesse: oncologia, ortopedia, cardiologia, etc.

Introdução

Áreas de Aplicação: Medicina

- Diagnósticos médicos por imagem: raio-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética, ultrassonografia
- Diversas áreas médicas de interesse: oncologia, ortopedia, cardiologia, etc.
- Permitem a identificação de lesões, câncer, partes do corpo; de maneira a facilitar diagnósticos e planejamento de cirurgias e tratamentos.

Introdução

Áreas de Aplicação: Microscopia

- Análise de imagens obtidas pela captura através de microscópios óticas ou eletrônicos

Introdução

Áreas de Aplicação: Microscopia

- Análise de imagens obtidas pela captura através de microscópios óticas ou eletrônicos
- Áreas como biologia ou metalurgia

Introdução

Áreas de Aplicação: Microscopia

- Análise de imagens obtidas pela captura através de microscópios óticas ou eletrônicos
- Áreas como biologia ou metalurgia
- Exemplos:
 - Contagem e identificação de células sanguíneas

Introdução

Áreas de Aplicação: Microscopia

- Análise de imagens obtidas pela captura através de microscópios óticas ou eletrônicos
- Áreas como biologia ou metalurgia
- Exemplos:
 - Contagem e identificação de células sanguíneas
 - Análise de estruturas de cristalografia

Introdução

Áreas de Aplicação: Microscopia

- Análise de imagens obtidas pela captura através de microscópios óticas ou eletrônicos
- Áreas como biologia ou metalurgia
- Exemplos:
 - Contagem e identificação de células sanguíneas
 - Análise de estruturas de cristalografia
 - Sequenciamento e análise de genes

Introdução

Áreas de Aplicação: Automação Industrial

- Montagem e inspeção de produtos, visão robótica, controle de qualidade

Introdução

Áreas de Aplicação: Automação Industrial

- Montagem e inspeção de produtos, visão robótica, controle de qualidade
- Atividades comuns:
 - Verificação de falhas

Introdução

Áreas de Aplicação: Automação Industrial

- Montagem e inspeção de produtos, visão robótica, controle de qualidade
- Atividades comuns:
 - Verificação de falhas
 - Separação de peças em uma linha de montagem

Introdução

Áreas de Aplicação: Automação Industrial

- Montagem e inspeção de produtos, visão robótica, controle de qualidade
- Atividades comuns:
 - Verificação de falhas
 - Separação de peças em uma linha de montagem
 - Classificação de defeitos em soldas

Introdução

Áreas de Aplicação: Sensoriamento Remoto

- Análise de fotos aéreas ou imagens de satélite:

Introdução

Áreas de Aplicação: Sensoriamento Remoto

- Análise de fotos aéreas ou imagens de satélite:
 - Áreas urbanas

Introdução

Áreas de Aplicação: Sensoriamento Remoto

- Análise de fotos aéreas ou imagens de satélite:
 - Áreas urbanas
 - Análise de áreas de desmatamento

Introdução

Áreas de Aplicação: Sensoriamento Remoto

- Análise de fotos aéreas ou imagens de satélite:
 - Áreas urbanas
 - Análise de áreas de desmatamento
 - Previsão de safras

Introdução

Áreas de Aplicação: Sensoriamento Remoto

- Análise de fotos aéreas ou imagens de satélite:
 - Áreas urbanas
 - Análise de áreas de desmatamento
 - Previsão de safras
 - Extração de feições cartográficas: estradas, rios, edificações, etc.

Introdução

Áreas de Aplicação: Área Militar

- Identificação e rastreio de potenciais alvos

Introdução

Áreas de Aplicação: Área Militar

- Identificação e rastreio de potenciais alvos
- Navegação de veículos autônomos

Introdução

Áreas de Aplicação: Área Militar

- Identificação e rastreio de potenciais alvos
- Navegação de veículos autônomos
- Detecção de obstáculos no caminho de robôs e drones

Introdução

Áreas de Aplicação: Segurança e Vigilância

- Identificação biométrica: impressões digitais, faces, silhuetas, etc.

Introdução

Áreas de Aplicação: Segurança e Vigilância

- Identificação biométrica: impressões digitais, faces, silhuetas, etc.
- Reconhecimento de assinaturas e caligrafia

Introdução

Áreas de Aplicação: Segurança e Vigilância

- Identificação biométrica: impressões digitais, faces, silhuetas, etc.
- Reconhecimento de assinaturas e caligrafia
- Reconhecimento automático de placas de veículos

Introdução

Áreas de Aplicação: Computação Forense

- Métodos científicos para preservação, coleta, validação, identificação, análise, interpretação, documentação e apresentação de evidências derivadas de meios digitais com validade probatória em juízo para facilitar a reconstrução de eventos, normalmente de natureza criminal

Introdução

Áreas de Aplicação: Computação Forense

- Métodos científicos para preservação, coleta, validação, identificação, análise, interpretação, documentação e apresentação de evidências derivadas de meios digitais com validade probatória em juízo para facilitar a reconstrução de eventos, normalmente de natureza criminal
- Análise de dados: documentos, imagens, vídeos

Introdução

Áreas de Aplicação: Arqueologia e Artes

- Restauração de artefatos antigos

Introdução

Áreas de Aplicação: Arqueologia e Artes

- Restauração de artefatos antigos
- Pinturas e documentos antigos

Introdução

Áreas de Aplicação: Arqueologia e Artes

- Restauração de artefatos antigos
- Pinturas e documentos antigos
- Museus virtuais

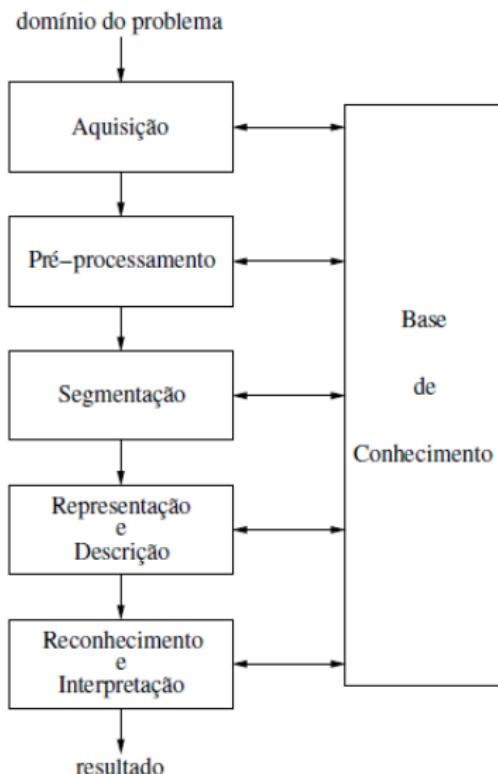
Introdução

Áreas de Aplicação: Arqueologia e Artes

- Restauração de artefatos antigos
- Pinturas e documentos antigos
- Museus virtuais
- Manipulação de fotografia digital

Introdução

Etapas do Processamento de Imagens



Introdução

Domínio do Problema e Base de Conhecimento

- Um sistema de processamento digital de imagens é constituído de etapas, capazes de produzir um resultado a partir do **domínio do problema**

Introdução

Domínio do Problema e Base de Conhecimento

- Um sistema de processamento digital de imagens é constituído de etapas, capazes de produzir um resultado a partir do **domínio do problema**
- O conhecimento sobre o domínio do problema está codicado em um sistema de processamento de imagens na forma de uma **base de conhecimento**.

Introdução

Aquisição

- Etapa responsável pela captura de imagens por meio de dispositivos ou sensores e posterior conversão para uma representação adequada para posterior processamento

Introdução

Aquisição

- Etapa responsável pela captura de imagens por meio de dispositivos ou sensores e posterior conversão para uma representação adequada para posterior processamento
- Dispositivos de captura: câmeras de vídeo, tomógrafos, satélites, scanners, etc.

Introdução

Aquisição

- Etapa responsável pela captura de imagens por meio de dispositivos ou sensores e posterior conversão para uma representação adequada para posterior processamento
- Dispositivos de captura: câmeras de vídeo, tomógrafos, satélites, scanners, etc.
- Dispositivos sensíveis a uma certa banda do espectro eletromagnético, tais como raios-X ou raios infravermelhos, produzem um sinal elétrico de saída proporcional ao nível de energia detectado. Esse sinal elétrico é convertido em informação digital, tornando possível sua interpretação por meio de computadores

Introdução

Aquisição

- Etapa responsável pela captura de imagens por meio de dispositivos ou sensores e posterior conversão para uma representação adequada para posterior processamento
- Dispositivos de captura: câmeras de vídeo, tomógrafos, satélites, scanners, etc.
- Dispositivos sensíveis a uma certa banda do espectro eletromagnético, tais como raios-X ou raios infravermelhos, produzem um sinal elétrico de saída proporcional ao nível de energia detectado. Esse sinal elétrico é convertido em informação digital, tornando possível sua interpretação por meio de computadores
- Aspectos a serem considerados:
 - Tipo de Sensor
 - Condições de iluminação
 - Resolução gráfica
 - Quantidade de níveis de cinza ou cores

Introdução

Pré-Processamento

- A etapa de aquisição pode produzir imperfeições ou degradações decorrentes, por exemplo, das condições de iluminação ou características do dispositivo

Introdução

Pré-Processamento

- A etapa de aquisição pode produzir imperfeições ou degradações decorrentes, por exemplo, das condições de iluminação ou características do dispositivo
- Esta etapa visa melhorar a qualidade da imagem por meio de:
 - Técnicas de atenuação de ruído
 - Correção de contraste ou brilho
 - Suavização de características indesejáveis

Introdução

Segmentação

- Realiza a extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem

Introdução

Segmentação

- Realiza a extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem
- Baseia-se na detecção de descontinuidades (bordas) ou de similaridades (regiões) na imagem

Introdução

Representação e Descrição

- Estruturas adequadas de **representação** devem ser utilizadas para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem

Introdução

Representação e Descrição

- Estruturas adequadas de **representação** devem ser utilizadas para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem
- Imagens e vídeos requerem alta capacidade de armazenamento:
 - Uma imagem colorida 1024×1024 pixels onde cada pixel seja representado por 24 bits, requer 3 Mb para seu armazenamento (sem compressão)

Introdução

Representação e Descrição

- Estruturas adequadas de **representação** devem ser utilizadas para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem
- Imagens e vídeos requerem alta capacidade de armazenamento:
 - Uma imagem colorida 1024×1024 pixels onde cada pixel seja representado por 24 bits, requer 3 Mb para seu armazenamento (sem compressão)
 - Um vídeo de 1 minuto, onde cada quadro seja descrito com imagens $512 \times 512 \times 24$, exibidos a uma taxa de 30 fps, requer 1.4 Gb de armazenamento sem compressão

Introdução

Representação e Descrição

- Estruturas adequadas de **representação** devem ser utilizadas para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem
- Imagens e vídeos requerem alta capacidade de armazenamento:
 - Uma imagem colorida 1024×1024 pixels onde cada pixel seja representado por 24 bits, requer 3 Mb para seu armazenamento (sem compressão)
 - Um vídeo de 1 minuto, onde cada quadro seja descrito com imagens $512 \times 512 \times 24$, exibidos a uma taxa de 30 fps, requer 1.4 Gb de armazenamento sem compressão
- O processo de **Descrição** visa a extração de características ou propriedades que possam ser utilizadas na discriminação entre classes de objetos. Essas características são, em geral, descritas por atributos numéricos que formam um vetor de características

Introdução

Reconhecimento e Interpretação

- **Reconhecimento** ou **classificação** e o processo que atribui um identificador ou rótulo aos objetos da imagem, baseado nas características providas pelos seus descritores

Introdução

Reconhecimento e Interpretação

- **Reconhecimento** ou **classificação** é o processo que atribui um identificador ou rótulo aos objetos da imagem, baseado nas características providas pelos seus descritores
- O processo de **interpretação** consiste em atribuir um significado ao conjunto de objetos reconhecidos.

Introdução

Reconhecimento e Interpretação

- **Reconhecimento** ou **classificação** é o processo que atribui um identificador ou rótulo aos objetos da imagem, baseado nas características providas pelos seus descritores
- O processo de **interpretação** consiste em atribuir um significado ao conjunto de objetos reconhecidos.
- A forma dos contornos de células sanguíneas, por exemplo, pode auxiliar o diagnóstico de anemias por meio da contagem automática das células em uma amostra de sangue

Python

A Linguagem Python



python

<https://www.python.org/downloads/>

A Linguagem Python



python

<https://www.python.org/downloads/>

Materiais de instalação: http:

//www.joinville.udesc.br/portal/professores/alexandre/materiais/materiais.html

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes
- Módulos sobre processamento matemático: SciPy, NumPy, ...

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes
- Módulos sobre processamento matemático: SciPy, NumPy, ...
- Módulos sobre manipulação de imagens: PIL, ia636, ...

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes
- Módulos sobre processamento matemático: SciPy, NumPy, ...
- Módulos sobre manipulação de imagens: PIL, ia636, ...
- Módulos sobre visualização gráfica: Matplotlib

A Linguagem Python

Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes
- Módulos sobre processamento matemático: SciPy, NumPy, ...
- Módulos sobre manipulação de imagens: PIL, ia636, ...
- Módulos sobre visualização gráfica: Matplotlib
- Farto materiais de consulta online (tutoriais)

A Linguagem Python

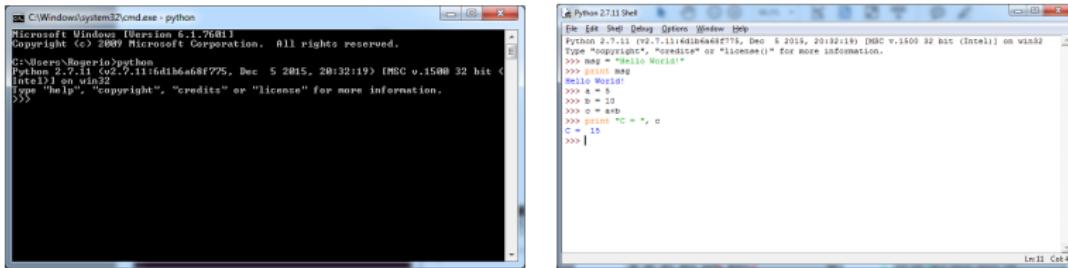
Características

- Python é uma linguagem de programação e ambiente de prototipação de aprendizagem rápida
- Suporta vários paradigmas de programação: orientado a objetos, procedural e outros...
- Manipulação ágil de matrizes
- Módulos sobre processamento matemático: SciPy, NumPy, ...
- Módulos sobre manipulação de imagens: PIL, ia636, ...
- Módulos sobre visualização gráfica: Matplotlib
- Farto materiais de consulta online (tutoriais)
- Duas correntes de desenvolvimento: versão 2.X e 3.X (não são 100% compatíveis entre si) → adotaremos a versão 2.X

A Linguagem Python

Ambientes de Programação

Terminal janela do interpretador Python IDLE Interactive DeveLopment Environment



C:\Windows\system32\cmd.exe - python

```
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Rogério>python
Python 2.7.11 (v2.7.11:6d1b6a6af37f, Dec 5 2015, 20:32:19) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
```

Python 2.7.11 Shell

```
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 2.7.11 (v2.7.11:6d1b6a6af37f, Dec 5 2015, 20:32:19) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> msg = "Hello World!"
>>> print msg
Hello World!
>>> a = 5
>>> b = 10
>>> c = a+b
>>> print "%d + %d = %d" % (a, b, c)
15
>>>
```

A Linguagem Python

Exemplos de Programação (1)

```
1 x = 0
2 a , b = 1, 2
3 p1 = p2 = 1
4 tupla = (1,2,3) #tupla = variavel multivalorada
5
6 print "A = ", a, "B = " b
7 print tupla
8
9 x = input("Digite um valor:")
```

A Linguagem Python

Exemplos de Programação (2)

```
1 if a > 0 and b != -1:  
2     print "1"  
3 elif a <= 0:  
4     print "2"  
5 else:  
6     print "3"  
7  
8 for i in range(0,10):  
9     print i  
10  
11 while x > 0:  
12     ...
```

A Linguagem Python

Exemplos de Programação (3)

```
1 lista = [1,2,3,4,5]
2 listaHeterogenea = [1,3.5, "PIM", (0,0,0)]
3 matriz = [[1,2],[3,4],[5,6]]
4 print len(matriz)
5 print len(matriz[0])
6 print matriz
7
8 dicionario = {"A":0, "B":1, "C":2} #conjunto chave:valor
9 print dicionario ["B"]
10 dicionario ["D"] = 3 #insere novo elemento no dicionario
11 print dicionario
```

A Linguagem Python

Exemplos de Programação (4)

```
1 v1 = v2 = [4,1,0,-2,10,5]
2 v3 = v1 + v2 #concatenacao de listas
3 v3.sort()
4 print v3
5
6 # intercala e soma os elementos em v1 e v2
7 v4 = [x + y for x, y in zip(v1,v2)]
```

A Linguagem Python

Exemplos de Programação (5)

```
1 def sum(a,b):  
2     return a + b  
3  
4 a = 5  
5 b = 6  
6 c = sum(a, b)  
7 print c
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Matrizes e vetores são representados por objetos *array*

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Matrizes e vetores são representados por objetos *array*
- Imagens são matrizes numéricas

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Matrizes e vetores são representados por objetos *array*
- Imagens são matrizes numéricas
- **NumPy** é uma biblioteca para manipulação de *array*

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Matrizes e vetores são representados por objetos *array*
- Imagens são matrizes numéricas
- **NumPy** é uma biblioteca para manipulação de *array*
- Disponível em <http://www.numpy.org/>

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Matrizes e vetores são representados por objetos *array*
- Imagens são matrizes numéricas
- **NumPy** é uma biblioteca para manipulação de *array*
- Disponível em <http://www.numpy.org/>
- Tutoriais online:
 - http://www.python-course.eu/matrix_arithmetic.php
 - http://wiki.scipy.org/Tentative_NumPy_Tutorial
 - http://scipy-lectures.github.io/intro/numpy/array_object.html#indexing-and-slicing
 - http://wiki.scipy.org/NumPy_for_Matlab_Users

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

- Para criar um array 1D:

```
vetor = numpy.array([1,2,3])
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

- Para criar um array 1D:

```
vetor = numpy.array([1,2,3])
```

- Para criar um array 2D:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

- Para criar um array 1D:

```
vetor = numpy.array([1,2,3])
```

- Para criar um array 2D:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
```

- Para criar um intervalo de valores

```
a = numpy.arange(0,10,2)
```

produz o vetor

```
array([0,2,4,6,8])
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

- Para criar um array 1D:

```
vetor = numpy.array([1,2,3])
```

- Para criar um array 2D:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
```

- Para criar um intervalo de valores

```
a = numpy.arange(0,10,2)
```

produz o vetor

```
array([0,2,4,6,8])
```

- O comando `numpy.zeros(2,5)` cria uma matriz 2×5 de valores iguais a zero

```
array([[0.,0.,0.,0.,0.],[0.,0.,0.,0.,0.]])
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Para incluir o módulo:

```
import numpy
```

- Para criar um array 1D:

```
vetor = numpy.array([1,2,3])
```

- Para criar um array 2D:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
```

- Para criar um intervalo de valores

```
a = numpy.arange(0,10,2)
```

produz o vetor

```
array([0,2,4,6,8])
```

- O comando `numpy.zeros(2,5)` cria uma matriz 2×5 de valores iguais a zero

```
array([[0.,0.,0.,0.,0.],[0.,0.,0.,0.,0.]])
```

- A dimensão de um array é dada por

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])  
matriz.shape
```

que resulta em (2,3)

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Permite funções matemáticas como

```
a = numpy.sin(angle)
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Permite funções matemáticas como

```
a = numpy.sin(angle)
```

- Transposição de matriz:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
matriz.T
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Permite funções matemáticas como

```
a = numpy.sin(angle)
```

- Transposição de matriz:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
matriz.T
```

- Operações numéricas:

```
b = matriz * 2
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: NumPy

- Permite funções matemáticas como

```
a = numpy.sin(angle)
```

- Transposição de matriz:

```
matriz = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
matriz.T
```

- Operações numéricas:

```
b = matriz * 2
```

- Multiplicação de matrizes:

```
mat1, mat2 = numpy.array([[1,2,3],[4,5,6]])
mat3 = mat1 * mat2
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: PIL

- **PIL** (*Python Image Library*) ferramenta para manipulação de imagens

A Linguagem Python

Módulos Externos: PIL

- **PIL** (*Python Image Library*) ferramenta para manipulação de imagens
- Disponível em <http://www.pythonware.com/products/pil>

A Linguagem Python

Módulos Externos: PIL

- **PIL** (*Python Image Library*) ferramenta para manipulação de imagens
- Disponível em <http://www.pythonware.com/products/pil>
- Tutoriais online:
 - <http://effbot.org/imagingbook/introduction.htm>
 - <http://www.geeks3d.com/20100930/tutorial-first-steps-with-pil-python-imaging-library/>

A Linguagem Python

Módulos Externos: PIL

- **PIL** (*Python Image Library*) ferramenta para manipulação de imagens
- Disponível em <http://www.pythonware.com/products/pil>
- Tutoriais online:
 - <http://effbot.org/imagingbook/introduction.htm>
 - <http://www.geeks3d.com/20100930/tutorial-first-steps-with-pil-python-imaging-library/>
- Exemplos de Uso:

```
1 from PIL import Image  
2 image = Image.open('python.png')  
3 image.show()  
4 r,g,b = image.getpixel( (x,y) )  
5 image.save('saida.png')
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: SciPy + Matplotlib

- **SciPy** ferramenta para manipulação de imagens

A Linguagem Python

Módulos Externos: SciPy + Matplotlib

- **SciPy** ferramenta para manipulação de imagens
- Disponível em <https://www.scipy.org/>

A Linguagem Python

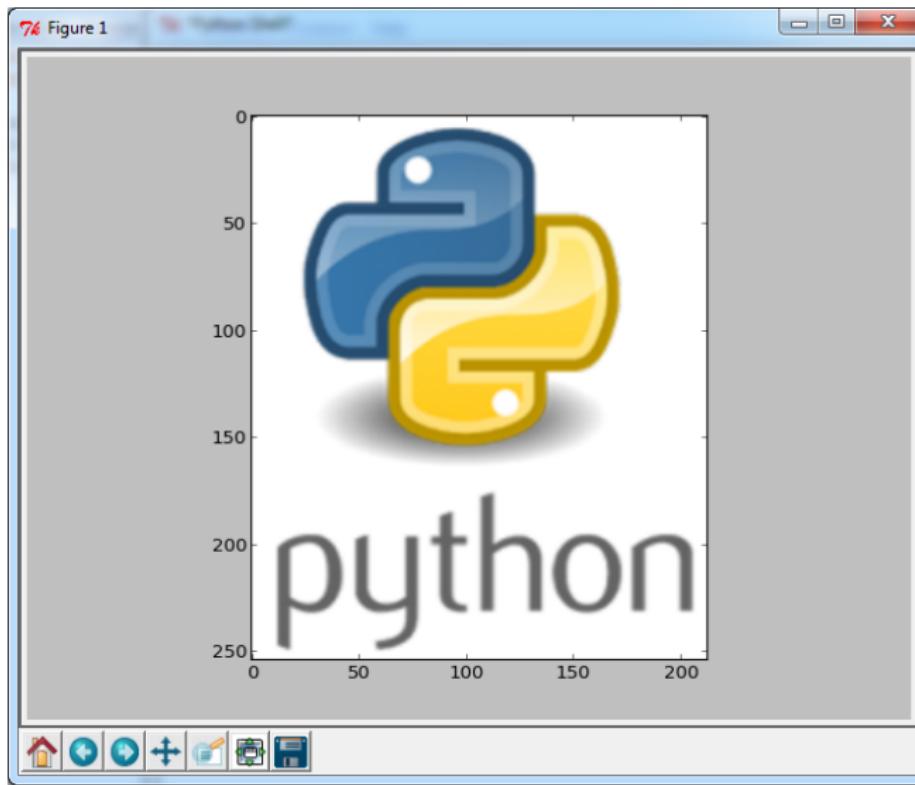
Módulos Externos: SciPy + Matplotlib

- **SciPy** ferramenta para manipulação de imagens
- Disponível em <https://www.scipy.org/>
- Exemplos de Uso:

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 image = scipy.misc.imread('python.png')  
4 plt.imshow(image)  
5 plt.show()
```

A Linguagem Python

Módulos Externos: SciPy + Matplotlib



Fundamentos de Imagens Digitais

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

Sinal

É a manifestação de um fenômeno que pode ser expresso de forma quantitativa

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

Sinal

É a manifestação de um fenômeno que pode ser expresso de forma quantitativa

- É representado como uma função de uma ou mais variáveis independentes

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

Sinal

É a manifestação de um fenômeno que pode ser expresso de forma quantitativa

- É representado como uma função de uma ou mais variáveis independentes
- Contém informações acerca da natureza ou comportamento do fenômeno físico sob consideração

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

Sinal

É a manifestação de um fenômeno que pode ser expresso de forma quantitativa

- É representado como uma função de uma ou mais variáveis independentes
- Contém informações acerca da natureza ou comportamento do fenômeno físico sob consideração
- Exemplo:
 - Sinal de voz = função de uma variável (tempo)

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

Sinal

É a manifestação de um fenômeno que pode ser expresso de forma quantitativa

- É representado como uma função de uma ou mais variáveis independentes
- Contém informações acerca da natureza ou comportamento do fenômeno físico sob consideração
- Exemplo:
 - Sinal de voz = função de uma variável (tempo)
 - Imagem = função de duas variáveis (espaço)

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- Os sinais podem ser classificados em relação a como variam em função do tempo:

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- Os sinais podem ser classificados em relação a como variam em função do tempo:

Discreto é definido por um conjunto de valores enumeráveis ou inteiros, cujo intervalo depende da natureza do sinal

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- Os sinais podem ser classificados em relação a como variam em função do tempo:

Discreto é definido por um conjunto de valores enumeráveis ou inteiros, cujo intervalo depende da natureza do sinal

Contínuo seus estados podem ser definidos em qualquer instante de tempo, ou seja, sem interrupção

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- Os sinais podem ser classificados em relação a como variam em função do tempo:

Discreto é definido por um conjunto de valores enumeráveis ou inteiros, cujo intervalo depende da natureza do sinal

Contínuo seus estados podem ser definidos em qualquer instante de tempo, ou seja, sem interrupção

- Um sinal ainda pode ser classificado como:

Analógico variações contínuas no tempo. Ex.: onda sonora

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- Os sinais podem ser classificados em relação a como variam em função do tempo:

Discreto é definido por um conjunto de valores enumeráveis ou inteiros, cujo intervalo depende da natureza do sinal

Contínuo seus estados podem ser definidos em qualquer instante de tempo, ou seja, sem interrupção

- Um sinal ainda pode ser classificado como:

Analógico variações contínuas no tempo. Ex.: onda sonora

Digital variações discretas no tempo. Ex.: código Morse

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- É possível converter um tipo de sinal em outro através de circuitos eletrônicos:

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- É possível converter um tipo de sinal em outro através de circuitos eletrônicos:
- Exemplos:
 - Ondas sonoras (sinal analógico) podem ser capturadas por um microfone para serem manipuladas em um computador (sinal digital)

Fundamentos de Imagens Digitais

Tipos de Sinais

- É possível converter um tipo de sinal em outro através de circuitos eletrônicos:
- Exemplos:
 - Ondas sonoras (sinal analógico) podem ser capturadas por um microfone para serem manipuladas em um computador (sinal digital)
 - Em contrapartida, para se reproduzir o áudio nos auto-falantes do computador, o sinal digital deve ser convertido para analógico

Fundamentos de Imagens Digitais

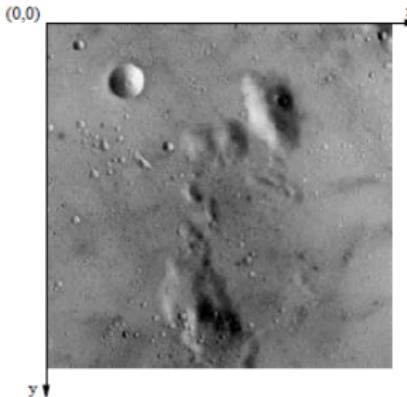
Modelo de Imagens

- Uma imagem pode ser definida como uma função da intensidade luminosa $f(x, y)$, cujo valor ou amplitude nas coordenadas (x, y) denota a intensidade ou brilho da imagem naquele ponto

Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

- Uma imagem pode ser definida como uma função da intensidade luminosa $f(x, y)$, cujo valor ou amplitude nas coordenadas (x, y) denota a intensidade ou brilho da imagem naquele ponto
- Convencionalmente o *pixel* no canto superior esquerdo indica a origem $(0, 0)$ do sistema de coordenadas



Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

Illuminância quantidade de luz incidente na cena $\equiv i(x, y)$

Determinada pela fonte de luz. Unidade de medida:
lumens/ m^2 (*lux*)

Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

Iluminância quantidade de luz incidente na cena $\equiv i(x, y)$

Determinada pela fonte de luz. Unidade de medida:
lumens/m² (*lux*)

Reflectância quantidade de luz refletida na cena $\equiv r(x, y)$

Determinada pela característica dos objetos na cena.
Unidade de medida: valores percentuais [0 . . . 1]

Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

Iluminância quantidade de luz incidente na cena $\equiv i(x, y)$

Determinada pela fonte de luz. Unidade de medida:
lumens/m² (*lux*)

Reflectância quantidade de luz refletida na cena $\equiv r(x, y)$

Determinada pela característica dos objetos na cena.
Unidade de medida: valores percentuais [0 . . . 1]

Intensidade de luz composição das duas componentes:

$$f(x, y) = i(x, y) \times r(x, y)$$

onde: $0 < i(x, y) < \infty$ e $0 < r(x, y) < 1$

Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

Exemplos de $i(x, y)$:

Dia claro de Sol $900.000 \text{ lumens}/m^2$

Dia nublado $10.000 \text{ lumens}/m^2$

Interior de um escritório $1.000 \text{ lumens}/m^2$

Noite com lua cheia $0.1 \text{ lumens}/m^2$

Fundamentos de Imagens Digitais

Modelo de Imagens

Exemplos de $i(x, y)$:

Dia claro de Sol $900.000 \text{ lumens}/m^2$

Dia nublado $10.000 \text{ lumens}/m^2$

Interior de um escritório $1.000 \text{ lumens}/m^2$

Noite com lua cheia $0.1 \text{ lumens}/m^2$

Exemplos de $r(x, y)$:

Neve 0.93

Parede branca 0.80

Aço inoxidável 0.65

Veludo preto 0.01

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

Digitalização

Processo computacional que permite produzir uma imagem digital.
É o resultado de duas etapas: amostragem e quantização

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

Digitalização

Processo computacional que permite produzir uma imagem digital.
É o resultado de duas etapas: amostragem e quantização

Amostragem discretização do domínio da imagem nas direções x e y , gerando uma matriz $M \times N$ amostras

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

Digitalização

Processo computacional que permite produzir uma imagem digital.
É o resultado de duas etapas: amostragem e quantização

Amostragem discretização do domínio da imagem nas direções x e y , gerando uma matriz $M \times N$ amostras

Quantização escolher o número de níveis de cinza (L) em uma imagem monocromática

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Um *pixel* é dado por cada elemento da matriz $f(x, y)$ onde $0 \leq x \leq M - 1$ e $0 \leq y \leq N - 1$

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Um *pixel* é dado por cada elemento da matriz $f(x, y)$ onde $0 \leq x \leq M - 1$ e $0 \leq y \leq N - 1$
- A imagem resultante é dado por uma matriz de tamanho $M \times N$:

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(1, 0) & \dots & f(M - 1, 0) \\ f(0, 1) & f(1, 1) & \dots & f(M - 1, 1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(0, N - 1) & f(1, N - 1) & \dots & f(M - 1, N - 1) \end{bmatrix}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Dimensão de um *pixel* denota o espaçamento físico entre as amostras

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Dimensão de um *pixel* denota o espaçamento físico entre as amostras
- Cada *pixel* está associado a uma **escala de cinza**, no intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ onde $L_{min} \leq f(x, y) \leq L_{max}$

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Dimensão de um *pixel* denota o espaçamento físico entre as amostras
- Cada *pixel* está associado a uma **escala de cinza**, no intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ onde $L_{min} \leq f(x, y) \leq L_{max}$
- Em uma imagem monocromática, cada intensidade f em (x, y) é denominado **nível de cinza**

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- Dimensão de um *pixel* denota o espaçamento físico entre as amostras
- Cada *pixel* está associado a uma **escala de cinza**, no intervalo $[L_{min}, L_{max}]$ onde $L_{min} \leq f(x, y) \leq L_{max}$
- Em uma imagem monocromática, cada intensidade f em (x, y) é denominado **nível de cinza**
- Abordagem clássica: associar preto (0) para os tons escuros e branco (255) para os tons mais claros

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- É usual considerar as dimensões da imagem e o número de níveis de cinza como potências de 2

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- É usual considerar as dimensões da imagem e o número de níveis de cinza como potências de 2
- São chamadas **imagens binárias** àquelas com apenas 2 níveis de cinza

Fundamentos de Imagens Digitais

Digitalização

- É usual considerar as dimensões da imagem e o número de níveis de cinza como potências de 2
- São chamadas **imagens binárias** àquelas com apenas 2 níveis de cinza
- Imagens binárias são de grande importância: reduzem o espaço necessário para representação e permitem fácil manipulação (operações lógicas clássicas)

Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

Resolução Gráfica indica a densidade de pixels da imagem, ou seja, quanto maior a densidade menor o espaçamento da amostragem

Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

Resolução Gráfica indica a densidade de pixels da imagem, ou seja, quanto maior a densidade menor o espaçamento da amostragem

Profundidade de Imagem indica o número de níveis de quantização (b) associado a cada pixel da imagem: $L = 2^b$

Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

Resolução Gráfica indica a densidade de pixels da imagem, ou seja, quanto maior a densidade menor o espaçamento da amostragem

Profundidade de Imagem indica o número de níveis de quantização (b) associado a cada pixel da imagem: $L = 2^b$
A profundidade representa a quantidade de bits necessários para armazenar cada pixel da imagem

Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

Resolução Gráfica indica a densidade de pixels da imagem, ou seja, quanto maior a densidade menor o espaçamento da amostragem

Profundidade de Imagem indica o número de níveis de quantização (b) associado a cada pixel da imagem: $L = 2^b$
A profundidade representa a quantidade de bits necessários para armazenar cada pixel da imagem

Exemplo

Para $L = 256$ temos: cada pixel é representado por valores entre 0 e 255, ou seja, $b = 8$ (bits) ou 1 byte

Fundamentos de Imagens Digitais

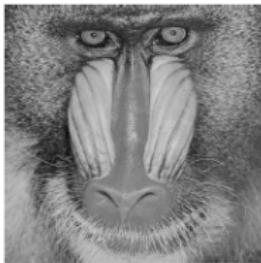
Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

M	N	L = 2	L = 8	L = 32	L = 128	L = 512
320	256	10240	30720	51200	71680	92160
480	320	19200	57600	96000	134400	172800
640	400	32000	96000	160000	224000	288000
800	600	60000	180000	300000	420000	540000
1024	720	92160	276480	460800	645120	829440
1280	800	128000	384000	640000	896000	1152000

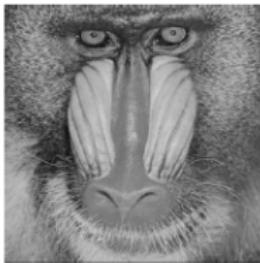
Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

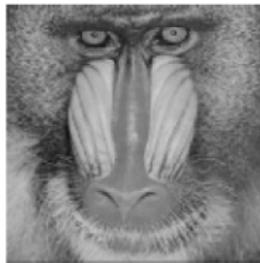
Exemplos de Resolução Gráfica



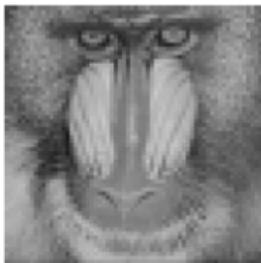
(a) 512×512



(b) 256×256



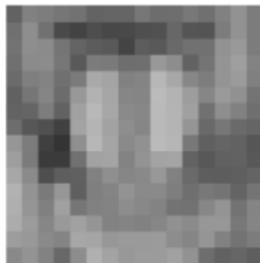
(c) 128×128



(d) 64×64



(e) 32×32

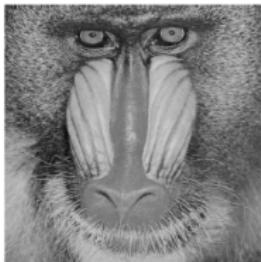


(f) 16×16

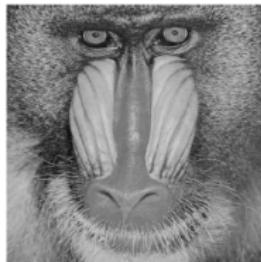
Fundamentos de Imagens Digitais

Resolução Espacial vs Profundidade de Imagem

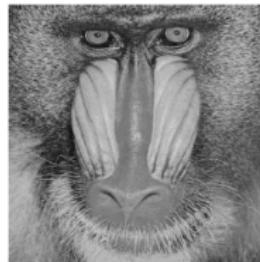
Exemplos de Profundidades de Imagem



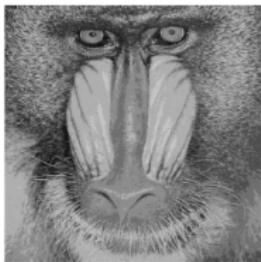
(a) 64



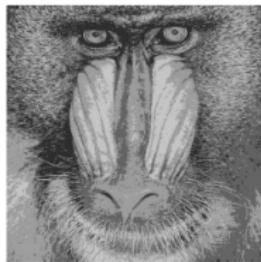
(b) 32



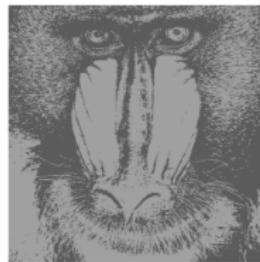
(c) 16



(d) 8



(e) 4



(f) 2

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais - Exercício

- Usando Scipy, extrair as informações de resolução gráfica de uma imagem:

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais - Exercício

- Usando Scipy, extrair as informações de resolução gráfica de uma imagem:

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 path = "imagens/"  
4 image = scipy.misc.imread(path+'mandril.jpg')  
5 print image.shape
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais - Exercício

- Usando Scipy, extrair as informações de resolução gráfica de uma imagem:

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 path = "imagens/"  
4 image = scipy.misc.imread(path+'mandril.jpg')  
5 print image.shape
```

Retorno: (256, 256, 3)

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais - Exercício

- Usando Scipy, extrair as informações de resolução gráfica de uma imagem:

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 path = "imagens/"  
4 image = scipy.misc.imread(path+'mandril.jpg')  
5 print image.shape
```

Retorno: **(256, 256, 3)**

o que indica uma imagem com resolução gráfica 256×256 pixels onde cada um tem 3 níveis de profundidade (RGB)

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 path = "imagens/"  
4 image = scipy.misc.imread(path+'mandril.jpg')  
5 print image
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 path = "imagens/"  
4 image = scipy.misc.imread(path+'mandril.jpg')  
5 print image
```

```
Python Shell  
File Edit Options Windows Help  
Python 2.7.3 (default, Apr 10 2012, 23:31:26) [MSC v.1500 32 bit (Intel)] on win32  
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.  
---- No Subprocess ----  
[[118 88 23]  
[ 87 56  2]  
[174 148 71]  
...  
[124 128 45]  
[257 157 83]  
[179 179 128]]  
[[118 88 23]  
[ 87 56  2]  
[159 118 89]  
...  
[145 142 95]  
[188 137 70]  
[ 84 82 31]]  
[[128 95 33]  
[176 147 81]  
[112 87  0]  
...  
[ 98 96 37]  
[ 95 95 31]  
[105 105 43]]  
...  
[[ 88 129 123]  
[134 174 173]  
[146 187 194]  
...  
[106 107 93]  
[103 101 104]  
[106 102 118]]  
[[108 146 140]  
[141 181 181]  
[130 168 179]  
...  
[ 88 100 100]]
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

- Matrizes são simples de armazenar, manipular e visualizar os dados representados

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

- Matrizes são simples de armazenar, manipular e visualizar os dados representados
- A desvantagem é a invariabilidade espacial, ou seja, não é adaptativa a irregularidades na imagem \Rightarrow redundância de dados

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

- Matrizes são simples de armazenar, manipular e visualizar os dados representados
- A desvantagem é a invariabilidade espacial, ou seja, não é adaptativa a irregularidades na imagem \Rightarrow redundância de dados
- Como solução, utilizam-se modelos de compressão de imagem \Rightarrow redução do espaço de armazenamento e do tempo de transmissão

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

- Pode-se otimizar a representação de uma imagem utilizando-se múltiplas resoluções (resoluções hierárquicas) ⇒ representação em pirâmide

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

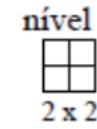
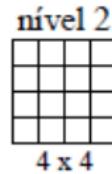
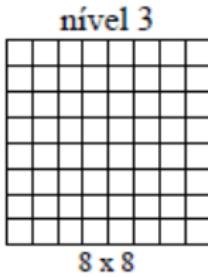
- Pode-se otimizar a representação de uma imagem utilizando-se múltiplas resoluções (resoluções hierárquicas) \Rightarrow representação em pirâmide
- Uma imagem produz uma série de matrizes (níveis) com resoluções diferentes. Assim, para representar uma matriz $N \times N$ (onde N é uma potência de 2) com k versões temos:

$$1 \times 1, \quad \frac{N}{2} \times \frac{N}{2}, \quad \frac{N}{4} \times \frac{N}{4}, \quad \frac{N}{8} \times \frac{N}{8}, \dots$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Representação de Imagens Digitais

Exemplo de Representação hierárquica da Matriz de uma Imagem



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Uma imagem **multibanda** ou **multiespectral** é um tipo de representação hierárquica onde, para cada pixel são armazenados múltiplos níveis de cor $f(x, y) = (L_1, L_2, \dots, L_N)$ onde cada $L_{\max} \leq L_i \leq L_{\min}$ para cada $i = 1, 2, 3, \dots, N$

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Uma imagem **multibanda** ou **multiespectral** é um tipo de representação hierárquica onde, para cada pixel são armazenados múltiplos níveis de cor $f(x, y) = (L_1, L_2, \dots, L_N)$ onde cada $L_{max} \leq L_i \leq L_{min}$ para cada $i = 1, 2, 3, \dots, N$
- Exemplos de imagem multibanda: representação de diferentes grandezas como temperatura, pressão ou frequência

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Uma imagem **multibanda** ou **multiespectral** é um tipo de representação hierárquica onde, para cada pixel são armazenados múltiplos níveis de cor $f(x, y) = (L_1, L_2, \dots, L_N)$ onde cada $L_{max} \leq L_i \leq L_{min}$ para cada $i = 1, 2, 3, \dots, N$
- Exemplos de imagem multibanda: representação de diferentes grandezas como temperatura, pressão ou frequência
- Uma imagem multiespectral pode ser composta de várias imagens monocromáticas

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Uma imagem **multibanda** ou **multiespectral** é um tipo de representação hierárquica onde, para cada pixel são armazenados múltiplos níveis de cor $f(x, y) = (L_1, L_2, \dots, L_N)$ onde cada $L_{max} \leq L_i \leq L_{min}$ para cada $i = 1, 2, 3, \dots, N$
- Exemplos de imagem multibanda: representação de diferentes grandezas como temperatura, pressão ou frequência
- Uma imagem multiespectral pode ser composta de várias imagens monocromáticas
- Aplicações: sensoriamento remoto que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Imagens coloridas são exemplos de imagens multibandas onde cada ponto (x, y) é definido por:

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Imagens coloridas são exemplos de imagens multibandas onde cada ponto (x, y) é definido por:
Luminância quantidade de brilho do ponto

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Imagens coloridas são exemplos de imagens multibandas onde cada ponto (x, y) é definido por:
 - Luminância quantidade de brilho do ponto
 - Matiz comprimento de onda dominante

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Imagens coloridas são exemplos de imagens multibandas onde cada ponto (x, y) é definido por:
 - Luminância quantidade de brilho do ponto
 - Matiz comprimento de onda dominante
 - Saturação grau de pureza da matiz

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

- Imagens coloridas são exemplos de imagens multibandas onde cada ponto (x, y) é definido por:
 - Luminância quantidade de brilho do ponto
 - Matiz comprimento de onda dominante
 - Saturação grau de pureza da matiz
- Uma representação comum de cor utiliza três bandas primárias de cor: vermelha (R), verde (G) e azul (B), com profundidade de 1 byte de cor (24 bits/pixel)

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

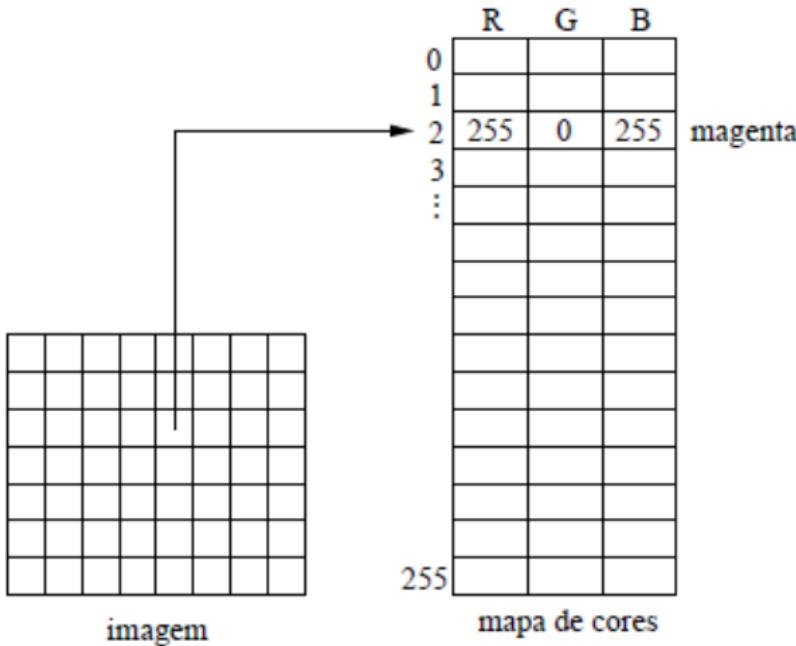
Representação Multibanda RGB de uma Imagem



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

Representação Multibanda RGB de uma Imagem por Tabela de Cores



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

Exemplo de Representação da Matriz de uma Imagem

120	138	120	151	139
110	129	129	139	146
150	138	137	138	129
137	129	129	128	137
146	145	131	132	145



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais

```
1 import scipy . misc  
2  
3 path = "imagens/"  
4 data = [ # 20 linhas com 20 pixels cada uma  
5     [[0,0,0],[0,0,0],...,[0,0,0],[0,0,0]],      #0,0,0 = PRETO  
6     [[0,0,0],[0,0,0],...,[0,0,0],[0,0,0]],  
7     [[255,255,255],[255,255,255],...,[255,255,255]],    #255, 255, 255 = BRANCO  
8     [[255,255,255],[255,255,255],...,[255,255,255]],  
9     ...  
10    ]  
11    scipy . misc.imsave(path+"listras . png",data)
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício

- Desenvolver um programa `xadrez.py`, que crie uma imagem de resolução $W \times H$ como um tabuleiro de xadrez onde o tamanho do quadro é T
- Exemplo de uso: `GeraTabuleiro(256, 256, 64, "xadrez.png")`

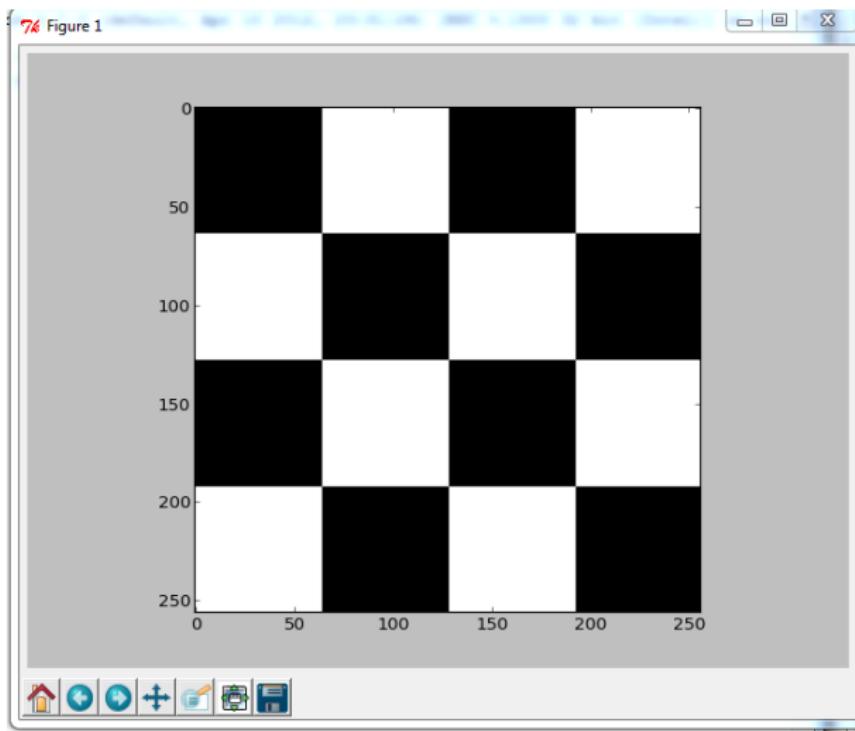
Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício

```
1 import scipy.misc
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 path = "imagens/"
5
6 def GeraTabuleiro(W, H, T, filename):
7     data = []
8     for i in range(0,H):
9         row = []
10        for j in range(0,W):
11            lvl = 0
12            if (j/T) % 2 == 0:
13                if (i/T) % 2 == 0:
14                    lvl = 0
15                else:
16                    lvl = 255
17            else:
18                if (i/T) % 2 == 0:
19                    lvl = 255
20                else:
21                    lvl = 0
22            row.append([lvl , lvl , lvl ])
23        data.append(row)
24
25    scipy.misc.imsave(filename,data)
26
27 # =====
28
29 GeraTabuleiro(256, 256, 64, path+"xadrez.png")
30
31 resultado = scipy.misc.imread(path+"xadrez.png")
32 plt.imshow(resultado)
33 plt.show()
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício

- Desenvolver um programa `piramide.py` que, dados a imagem original e um fator de amostragem T , crie uma imagem que seja a amostragem de cada T pixels da imagem original, ou seja, calcule um nível específico da pirâmide de amostragem para uma imagem
- Exemplo de uso: `GeraNivel('lena.jpg', 8, 'piramide.png')`

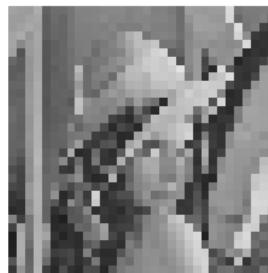
Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício

```
1 import scipy.misc
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 path = "imagens/"
5
6 def GeraNivel(input, T, output):
7
8     imagemIN = scipy.misc.imread(input)
9     W,H = imagemIN.shape
10
11    data = []
12    for i in range(0,H,T):
13        row = []
14        for j in range(0,W,T):
15            lvl = imagemIN[i][j]
16            row.append([lvl, lvl, lvl])
17        data.append(row)
18
19    scipy.misc.imsave(output,data)
20
21 # =====
22
23 input = path + "lena.jpg"
24 output = path + "piramide.png"
25
26 GeraNivel(input, 8, output)
27
28 resultado = scipy.misc.imread(output)
29 plt.imshow(resultado)
30 plt.show()
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multibandas ou Multiespectrais - Exercício

- Adaptar o programa anterior para que crie uma imagem cuja amostragem seja a média de cada área $T \times T$ pixels da imagem original

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multidimensionais

Definição

Uma imagem multidimensional 3D é representada como uma sequência de imagens monocromáticas ou multibandas ao longo de um eixo dimensional z ou temporal t

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multidimensionais

Definição

Uma imagem multidimensional 3D é representada como uma sequência de imagens monocromáticas ou multibandas ao longo de um eixo dimensional z ou temporal t

- Nas tomografias computadorizadas realizam uma sequência de fatias de varredura (cortes), geralmente uniformemente variadas no espaço, assim produzindo uma imagem multimensional (volumétrica)

Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multidimensionais

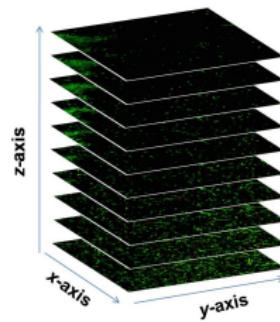
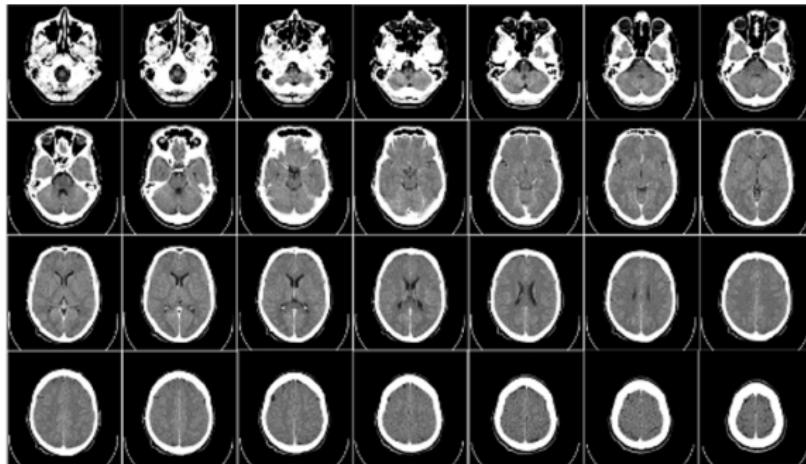
Definição

Uma imagem multidimensional 3D é representada como uma sequência de imagens monocromáticas ou multibandas ao longo de um eixo dimensional z ou temporal t

- Nas tomografias computadorizadas realizam uma sequência de fatias de varredura (cortes), geralmente uniformemente variadas no espaço, assim produzindo uma imagem multimensional (volumétrica)
- Nestas imagens, um pixel é representado por suas dimensões $p \times p$ e o espaçamento d nos cortes. Desta forma, um pixel 3D é dado por $p \times p \times d$ e é denominado **voxel** (*volumetric pixel*)

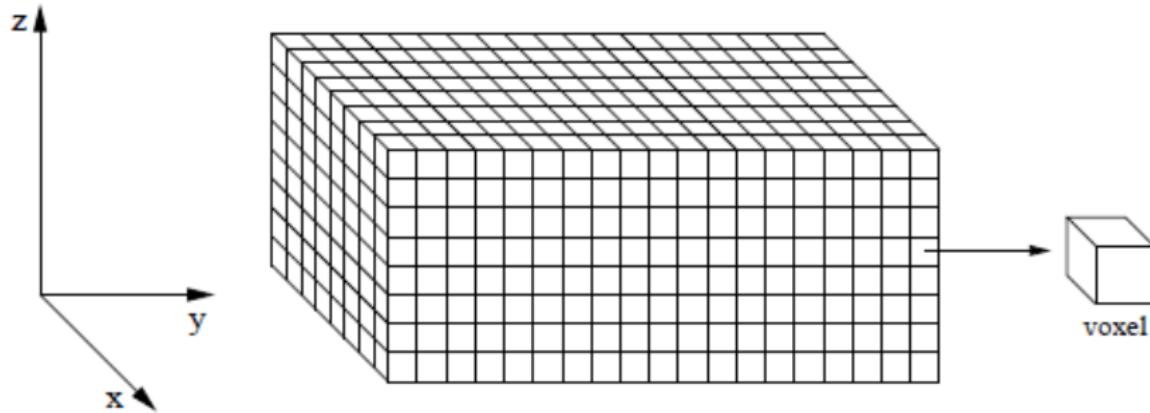
Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multidimensionais



Fundamentos de Imagens Digitais

Imagens Multidimensionais



Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

- Visão é um dos principais sentidos humanos e envolve funções complexas como detecção, localização, reconhecimento e interpretação do ambiente

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

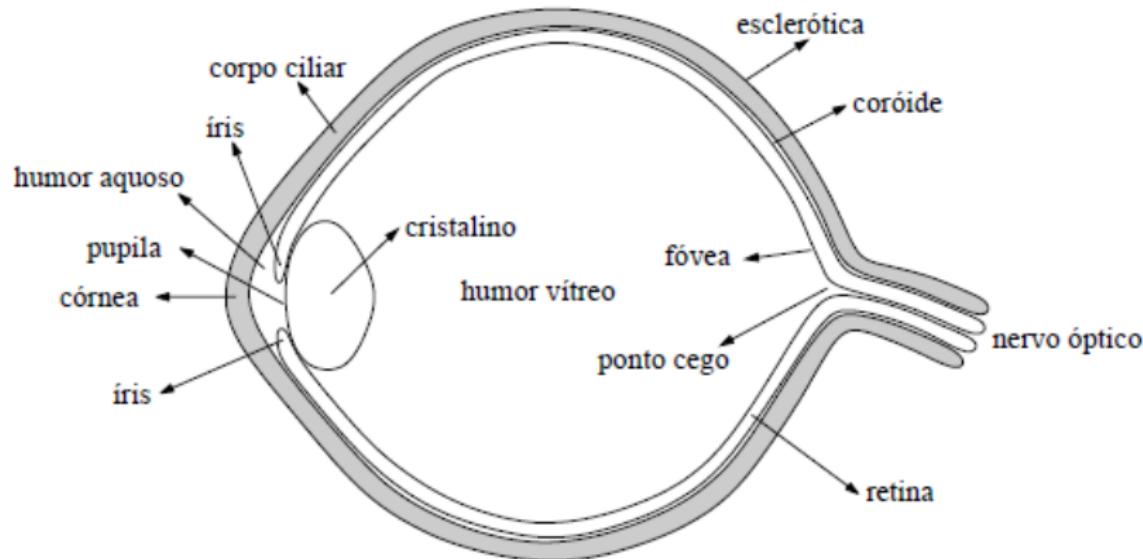
- Visão é um dos principais sentidos humanos e envolve funções complexas como detecção, localização, reconhecimento e interpretação do ambiente

Visão Computacional

É a área da computação que visa dotar as máquinas com capacidades visuais inspirada no funcionamento do sistema visual humano, tais como: adquirir, analisar e interpretar informações visuais

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano



Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

Córnea funciona como uma lente cujo poder de refração permite a formação de uma imagem sobre a retina

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

Córnea funciona como uma lente cujo poder de refração permite a formação de uma imagem sobre a retina

Íris e Pupila é a abertura frontal variável do olho que controla a quantidade de luz que entra no olho

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

Córnea funciona como uma lente cujo poder de refração permite a formação de uma imagem sobre a retina

Íris e Pupila é a abertura frontal variável do olho que controla a quantidade de luz que entra no olho

Cristalino lente gelatinosa e elástica que auxilia a córnea na focalização da luz, ajustando a visão para objetos próximos e distantes

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

Córnea funciona como uma lente cujo poder de refração permite a formação de uma imagem sobre a retina

Íris e Pupila é a abertura frontal variável do olho que controla a quantidade de luz que entra no olho

Cristalino lente gelatinosa e elástica que auxilia a córnea na focalização da luz, ajustando a visão para objetos próximos e distantes

Retina camada de tecidos nervosos composta por células sensíveis à luz:

Fundamentos de Imagens Digitais

Sistema Visual Humano

Córnea funciona como uma lente cujo poder de refração permite a formação de uma imagem sobre a retina

Íris e Pupila é a abertura frontal variável do olho que controla a quantidade de luz que entra no olho

Cristalino lente gelatinosa e elástica que auxilia a córnea na focalização da luz, ajustando a visão para objetos próximos e distantes

Retina camada de tecidos nervosos composta por células sensíveis à luz:

Cones células sensíveis à cor

Bastonetes células responsáveis por perceber a intensidade de energia luminosa do ambiente (claro/escuro)

Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano

- Olho Humano ⇒ Câmera Fotográfica = princípio de funcionamento

Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano

- Olho Humano ⇒ Câmera Fotográfica = princípio de funcionamento
- Tampa da lente ⇒ pálpebra do olho = abertura para entrada de luz

Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano

- Olho Humano ⇒ Câmera Fotográfica = princípio de funcionamento
- Tampa da lente ⇒ pálpebra do olho = abertura para entrada de luz
- Obturador da câmera ⇒ íris/pupila do olho = controle da quantidade de luz incidente

Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano

- Olho Humano ⇒ Câmera Fotográfica = princípio de funcionamento
- Tampa da lente ⇒ pálpebra do olho = abertura para entrada de luz
- Obturador da câmera ⇒ íris/pupila do olho = controle da quantidade de luz incidente
- Lentes da câmera ⇒ córnea & cristalino = focalização

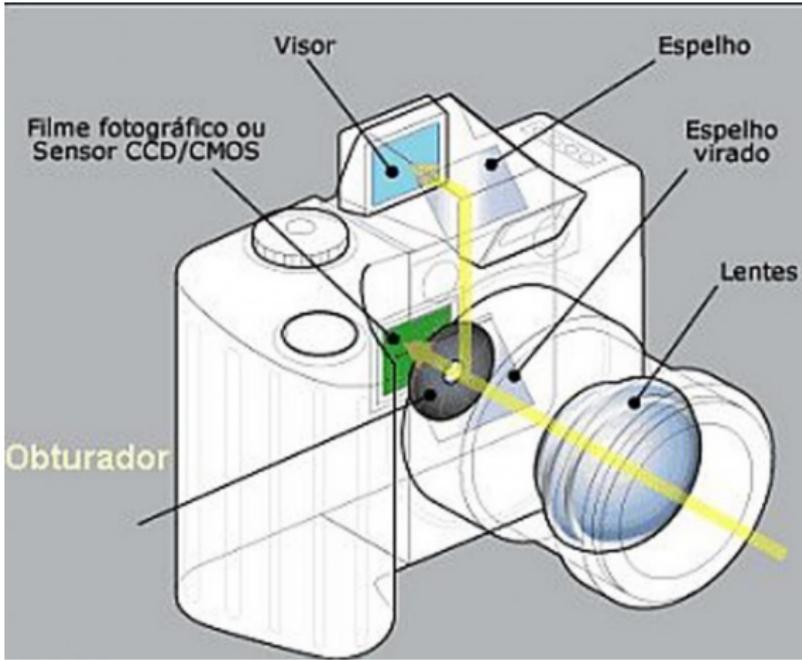
Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano

- Olho Humano ⇒ Câmera Fotográfica = princípio de funcionamento
- Tampa da lente ⇒ pálpebra do olho = abertura para entrada de luz
- Obturador da câmera ⇒ íris/pupila do olho = controle da quantidade de luz incidente
- Lentes da câmera ⇒ córnea & cristalino = focalização
- Filmes fotográficos e/ou sensor CCD ⇒ retina = captação e armazenamento da informação ótica

Fundamentos de Imagens Digitais

Sensores digitais como uma Metáfora para o Sistema Visual Humano



<http://www.gazetadopovo.com.br/blogs/foto-sintese/cursode-fotografia/>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens

Ruído

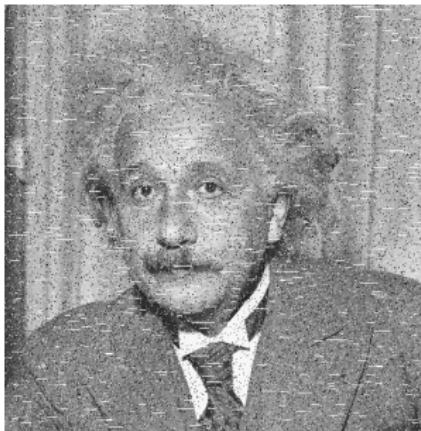
É uma degradação inerente a muitos processos de captura, transmissão e/ou processamento de imagens

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens

Ruído

É uma degradação inerente a muitos processos de captura, transmissão e/ou processamento de imagens



<http://www.vision.ime.usp.br/~nina/cursos/mac5746-03/pratica.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens

- Pode ser modelado como uma variável aleatória z , caracterizada por uma função de probabilidade $p(z)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens

- Pode ser modelado como uma variável aleatória z , caracterizada por uma função de probabilidade $p(z)$
- Tipos mais comuns de ruído:
 - Impulsivo
 - Gaussiano
 - Uniforme
 - Erlang
 - Exponencial
 - Rayleigh
 - Poisson

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: impulsivo

- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores de luminosidade diferem significativamente de seus vizinhos

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: impulsivo

- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores de luminosidade diferem significativamente de seus vizinhos
- Tipo comum: ruído **sal-e-pimenta** = pixels brancos e pretos

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: impulsivo

- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores de luminosidade diferem significativamente de seus vizinhos
- Tipo comum: ruído **sal-e-pimenta** = pixels brancos e pretos

$$p(z) = \begin{cases} P_a & z = a \\ P_b & z = b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: impulsivo

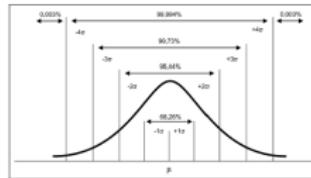


<https://maalencar.wordpress.com/2012/05/17/bconvolution-examples-with-matlab/>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: gaussiano

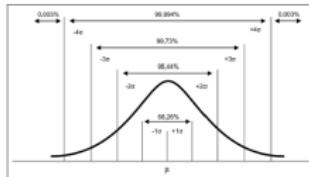
- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores variam de intensidade de acordo com uma distribuição gaussiana



Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: gaussiano

- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores variam de intensidade de acordo com uma distribuição gaussiana

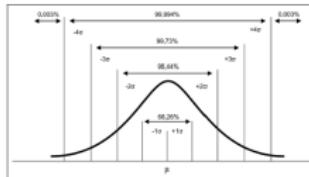


- Usado para modelar degradação proveniente da aquisição digital de imagens

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: gaussiano

- Caracteriza-se pela ocorrência de *pixels* cujos valores variam de intensidade de acordo com uma distribuição gaussiana



- Usado para modelar degradação proveniente da aquisição digital de imagens

$$p(z) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ = média e σ^2 = variância da variável aleatória z

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: gaussiano



<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/mylene/proj.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: uniforme

- Também chamado de **ruído de quantização** é originado do processo de conversão analógico-digital

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: uniforme

- Também chamado de **ruído de quantização** é originado do processo de conversão analógico-digital
- Apresenta uma distribuição uniforme ou retangular (distribuição aleatória)

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: uniforme

- Também chamado de **ruído de quantização** é originado do processo de conversão analógico-digital
- Apresenta uma distribuição uniforme ou retangular (distribuição aleatória)

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq z \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

onde: $\mu = \frac{a+b}{2}$ e $\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: uniforme



<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/mylene/proj.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: Erlang

- Também chamado de **ruído gama** é aquela que apresenta uma distribuição da forma:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az} & \text{para } z \geq 0 \\ 0 & \text{para } z < 0 \end{cases}$$

onde: $a > 0$ e b é um valor inteiro positivo.

E ainda:

$$\mu = \frac{b}{a} \quad \text{e} \quad \sigma^2 = \frac{b}{a^2}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: exponencial

- É um caso particular de ruído Erlang onde $b = 1$:

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az} & \text{para } z \geq 0 \\ 0 & \text{para } z < 0 \end{cases}$$

onde: $a > 0$ e

$$\mu = \frac{1}{a} \quad \text{e} \quad \sigma^2 = \frac{1}{a^2}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: exponencial



<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/mylene/proj.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: Rayleigh

- O ruído Rayleigh segue a seguinte distribuição de probabilidade:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z - a)e^{-\frac{(z-a)^2}{b}} & \text{para } z \geq a \\ 0 & \text{para } z < a \end{cases}$$

onde:

$$\mu = a + \sqrt{\pi \frac{b}{4}} \quad e \quad \sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: Rayleigh



<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/mylene/proj.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: Poisson

- O ruído Rayleigh segue a seguinte distribuição de probabilidade:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{e^{-\mu} \mu^z}{z!} & \text{para } z \geq 0 \\ 0 & \text{para } z < 0 \end{cases}$$

onde: μ = média da função de probabilidade e a variância $\sigma^2 = \mu$

Fundamentos de Imagens Digitais

Ruídos em Imagens: Poisson



<http://www.dca.fee.unicamp.br/~lotufo/Courses/ia-636-1995/mylene/proj.html>

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

Entropia ou Incerteza

É uma medida da quantidade de informação transferida por um canal ou gerada por uma fonte

Foi proposta por Shannon (1948)

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

Entropia ou Incerteza

É uma medida da quantidade de informação transferida por um canal ou gerada por uma fonte

Foi proposta por Shannon (1948)

- Quanto maior o valor da entropia, mais incerteza e portanto mais informação estará associada ao canal

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

Entropia ou Incerteza

É uma medida da quantidade de informação transferida por um canal ou gerada por uma fonte

Foi proposta por Shannon (1948)

- Quanto maior o valor da entropia, mais incerteza e portanto mais informação estará associada ao canal
- O princípio fundamental da teoria de informação estabelece que a geração de informação pode ser modelada como um processo probabilístico

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

Entropia ou Incerteza

É uma medida da quantidade de informação transferida por um canal ou gerada por uma fonte

Foi proposta por Shannon (1948)

- Quanto maior o valor da entropia, mais incerteza e portanto mais informação estará associada ao canal
- O princípio fundamental da teoria de informação estabelece que a geração de informação pode ser modelada como um processo probabilístico
- Uma imagem pode ser considerada como o resultado de um processo aleatório, no qual a probabilidade p_i corresponde à probabilidade de um pixel em uma imagem digital assumir um valor de intensidade i , $i = 0, 1, \dots, L_{max}$

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

- A distribuição dos níveis de intensidade da imagem pode ser transformada em uma função densidade de probabilidade, dividindo-se o número de pixels de intensidade i , denotado n_i , pelo número total n de pixels na imagem:

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$

onde:

$$\sum_{i=0}^{L_{max}} p_i = 1$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

- A distribuição dos níveis de intensidade da imagem pode ser transformada em uma função densidade de probabilidade, dividindo-se o número de pixels de intensidade i , denotado n_i , pelo número total n de pixels na imagem:

$$p_i = \frac{n_i}{n}$$

onde:

$$\sum_{i=0}^{L_{max}} p_i = 1$$

- A entropia H de uma imagem pode ser calculada por

$$H = - \sum_{i=0}^{L_{max}} p_i \log p_i$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

- A entropia de uma imagem é uma medida positiva e, quando a base do logaritmo for dois, a unidade resultante é dada em bits

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

- A entropia de uma imagem é uma medida positiva e, quando a base do logaritmo for dois, a unidade resultante é dada em bits
- O menor valor para a entropia é zero, ocorrendo quando todos os pixels possuem uma mesma intensidade de cinza

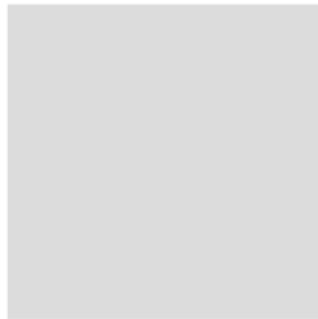
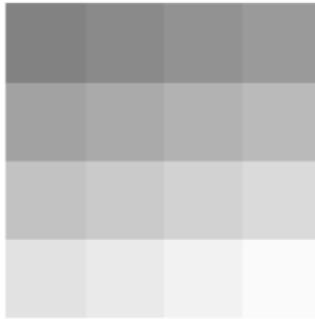
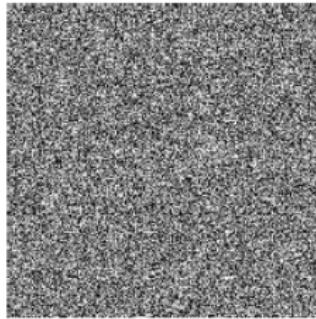
Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

- A entropia de uma imagem é uma medida positiva e, quando a base do logaritmo for dois, a unidade resultante é dada em bits
- O menor valor para a entropia é zero, ocorrendo quando todos os pixels possuem uma mesma intensidade de cinza
- Por outro lado, a máxima entropia ocorre quando uma imagem contém a mesma quantidade de pixels para todas as intensidades

Fundamentos de Imagens Digitais

Entropia

(a) $H=0$ (b) $H=1$ (c) $H=1$ (d) $H=2$ (e) $H=4$ (f) $H=8$

Fundamentos de Imagens Digitais

Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

Elementos:

Pixel elemento f em uma matriz bidimensional denotado por
 $f(x, y)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

Elementos:

Pixel elemento f em uma matriz bidimensional denotado por
 $f(x, y)$

Voxel elemento f em uma matriz tridimensional denotado por
 $f(x, y, z)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Relacionamento entre Elementos de uma Imagem

Elementos:

Pixel elemento f em uma matriz bidimensional denotado por $f(x, y)$

Voxel elemento f em uma matriz tridimensional denotado por $f(x, y, z)$

Relacionamento entre elementos:

- Vizinhança
- Conectividade
- Adjacência
- Caminho
- Componentes Conexos
- Borda e Interior

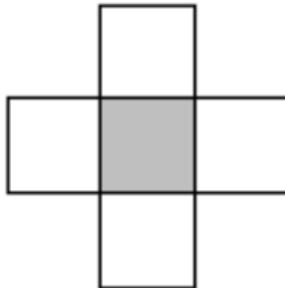
Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança

Vizinhança-4

Definida pelos quatro pixels vizinhos (horizontal e verticalmente)

$$(x - 1, y); (x + 1, y); (x, y - 1); (x, y + 1)$$

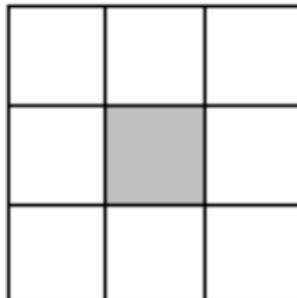


Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança

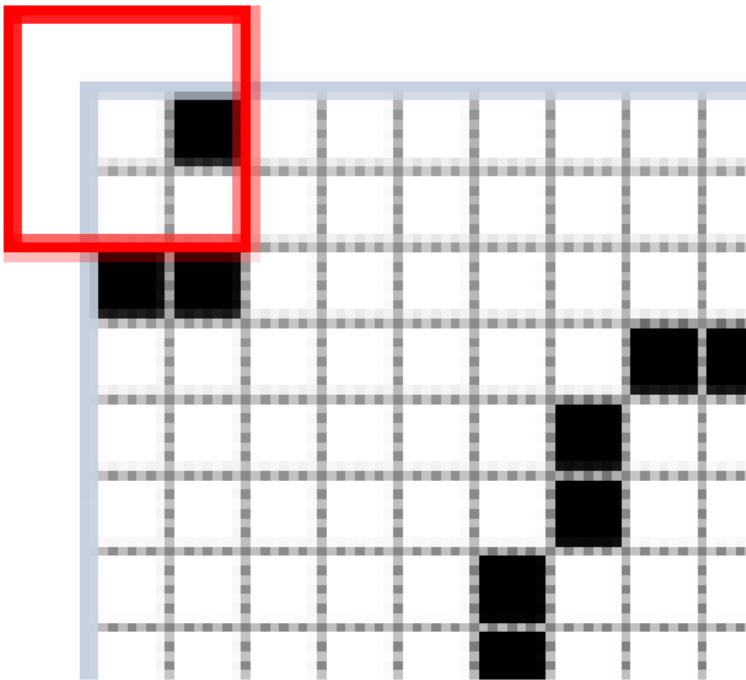
Vizinhança-8

Definida pelos oito pixels vizinhos (horizontal e vertical e diagonalmente)

$$(x - 1, y); (x + 1, y); (x, y - 1); (x, y + 1)$$
$$(x - 1, y - 1); (x + 1, y + 1); (x - 1, y + 1); (x + 1, y - 1)$$


Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Tratamento de bordas



Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Tratamento de bordas

Três abordagens:

Extensão de borda Um pixel extra de valor nulo é adicionado a todo o contorno da matriz da imagem

Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Tratamento de bordas

Três abordagens:

Extensão de borda Um pixel extra de valor nulo é adicionado a todo o contorno da matriz da imagem

Para uma imagem cujos índices variam entre $0 \dots (M - 1)$ e $0 \dots (N - 1)$, a matriz passa a ter $(M + 1) \times (N + 1)$ pixels

Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Tratamento de bordas

Três abordagens:

Extensão de borda Um pixel extra de valor nulo é adicionado a todo o contorno da matriz da imagem

Para uma imagem cujos índices variam entre $0 \dots (M - 1)$ e $0 \dots (N - 1)$, a matriz passa a ter $(M + 1) \times (N + 1)$ pixels

Reflexão de borda Ao invés de aumentar o tamanho da imagem, essa abordagem reflete as margens opostas da imagem (matriz circular) $\Rightarrow (-1, 0) \equiv (M, 0)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Tratamento de bordas

Três abordagens:

Extensão de borda Um pixel extra de valor nulo é adicionado a todo o contorno da matriz da imagem

Para uma imagem cujos índices variam entre $0 \dots (M - 1)$ e $0 \dots (N - 1)$, a matriz passa a ter $(M + 1) \times (N + 1)$ pixels

Reflexão de borda Ao invés de aumentar o tamanho da imagem, essa abordagem reflete as margens opostas da imagem (matriz circular) $\Rightarrow (-1, 0) \equiv (M, 0)$

Redução de Máscara desconsiderar os pixels que estejam fora da área da imagem, o que exige testes condicionais extra para o processamento da máscara da vizinhança = mais lento

Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Exercício

- Crie uma função em Python que leia uma imagem binária e conte a quantidade de pixels pretos isolados que a imagem possui em função de um dado critério de vizinhança
- Um ponto (x, y) é dito ser isolado se todos os seus vizinhos tiverem valor diferente do ponto

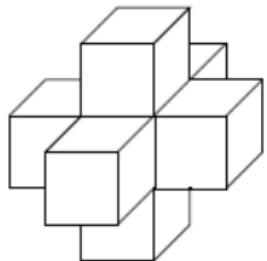
Fundamentos de Imagens Digitais

Vizinhança - Resolução do Exercício

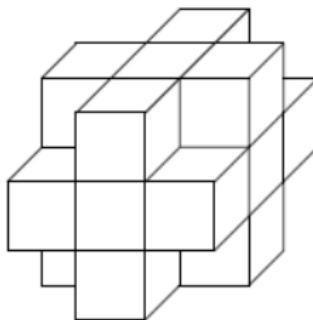
```
1 import scipy.misc
2 import numpy as np
3
4 path = "imagens/"
5
6 def TestaPixelIsolado (matriz,L,C):
7     if matriz[L][C][0] != 0:
8         return False
9     if L-1 >= 0:
10        if matriz[L-1][C][0] != 255:
11            return False
12        if L+1 < matriz.shape[0]:
13            if matriz[L+1][C][0] != 255:
14                return False
15        if C-1 >= 0:
16            if matriz[L][C-1][0] != 255:
17                return False
18        if C+1 < matriz.shape[1]:
19            if matriz[L][C+1][0] != 255:
20                return False
21    return True
22
23 def ContaPixel4( inputFile , outputFile ):
24     image = scipy.misc.imread( inputFile )
25     size = image.shape
26     npixels = 0
27     for L in range(0, size [0]):
28         for C in range(0, size [1]):
29             if TestaPixelIsolado (image,L,C):
30                 npixels = npixels + 1
31                 image[L][C] = [255,0,0] #substitui o pixel por vermelho
32     scipy .misc.imsave(outputFile ,image)
33     return npixels
34
35 print "Foram encontrados ", ContaPixel4(path+"teste.png", path+"resultado.png"), " pixels isolados "
```

Fundamentos de Imagens Digitais

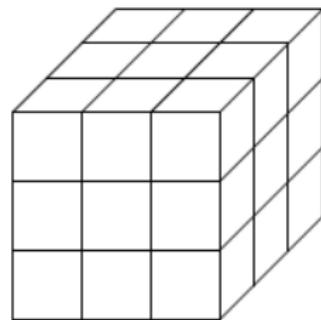
Vizinhança em Voxels



(a) vizinhança-6



(b) vizinhança-18



(c) vizinhança-26

Fundamentos de Imagens Digitais

Conectividade

Conectividade

Dois elementos são conexos se forem vizinhos e ainda apresentem **similaridade** (p.ex.: intensidade de cinza, cor ou textura)

Fundamentos de Imagens Digitais

Conectividade

Conectividade

Dois elementos são conexos se forem vizinhos e ainda apresentem **similaridade** (p.ex.: intensidade de cinza, cor ou textura)

- Exemplo: Em uma imagem binária, dois pixels serão conexos se forem vizinhos e se tiverem o mesmo valor (0 ou 1)

Fundamentos de Imagens Digitais

Adjacência

- Um elemento f_1 será adjacente a um elemento f_2 se estes forem conexos de acordo com o critério de vizinhança adotado

Fundamentos de Imagens Digitais

Adjacência

- Um elemento f_1 será adjacente a um elemento f_2 se estes forem conexos de acordo com o critério de vizinhança adotado
- Dois subconjuntos S_1 e S_2 serão adjacentes se pelo menos um elemento de S_1 for adjacente a algum elemento de S_2

Fundamentos de Imagens Digitais

Caminho

Caminho: $(x_1, y_1) \rightarrow (x_n, y_n)$

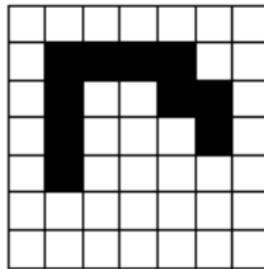
É uma sequência de pixels adjacentes distintos de coordenadas $(x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n)$ onde n é o comprimento do caminho

Fundamentos de Imagens Digitais

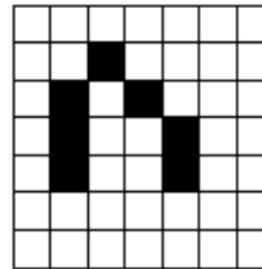
Caminho

Caminho: $(x_1, y_1) \rightarrow (x_n, y_n)$

É uma sequência de pixels adjacentes distintos de coordenadas $(x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n)$ onde n é o comprimento do caminho



(a) caminho-4



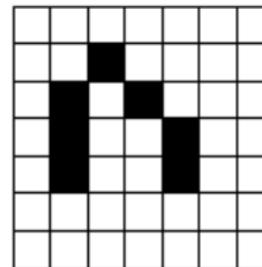
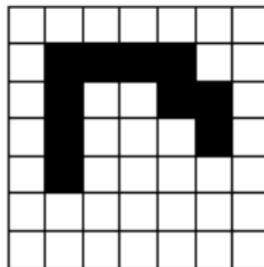
(b) caminho-8

Fundamentos de Imagens Digitais

Caminho

Caminho: $(x_1, y_1) \rightarrow (x_n, y_n)$

É uma sequência de pixels adjacentes distintos de coordenadas $(x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n)$ onde n é o comprimento do caminho



(a) caminho-4 (b) caminho-8

- O caminho-4 tem comprimento 10
- O caminho-8 tem comprimento 7
- O conceito de caminho é extensível também para voxels em 3D

Fundamentos de Imagens Digitais

Componentes Conexos

Componentes Conexos

Qualquer subconjunto de elementos C que são conexos entre si

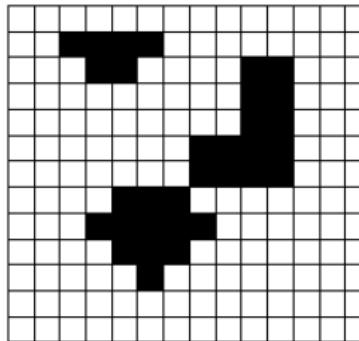
Fundamentos de Imagens Digitais

Componentes Conexos

Componentes Conexos

Qualquer subconjunto de elementos C que são conexos entre si

- Quantos componentes conexos há na imagem abaixo ?



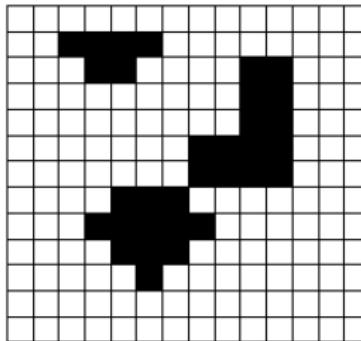
Fundamentos de Imagens Digitais

Componentes Conexos

Componentes Conexos

Qualquer subconjunto de elementos C que são conexos entre si

- Quantos componentes conexos há na imagem abaixo ?



Vizinhança-4 3 componentes conexos

Vizinhança-8 2 componentes conexos

Fundamentos de Imagens Digitais

Borda e Interior

Borda

É o conjunto de pixels pertencentes a um componente conexo S e que possuem vizinhança-4 com um ou mais pixels externos a $S =$ contorno do componente S

Fundamentos de Imagens Digitais

Borda e Interior

Borda

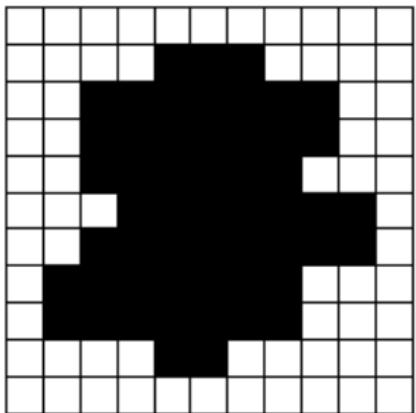
É o conjunto de pixels pertencentes a um componente conexo S e que possuem vizinhança-4 com um ou mais pixels externos a $S =$ contorno do componente S

Interior

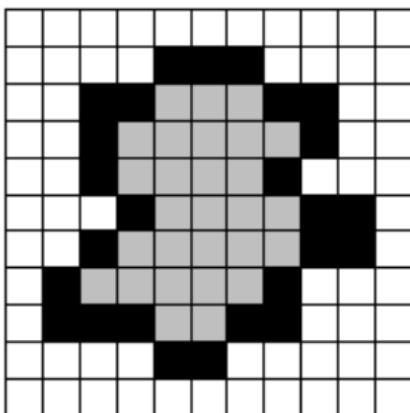
É o conjunto de pixels pertencentes ao componente S e que não estejam na sua borda

Fundamentos de Imagens Digitais

Borda e Interior



(a) imagem original



(b) pixels da borda e interior

■ borda
■ interior

Fundamentos de Imagens Digitais

Medidas de Distância

- Existem diversas maneiras de se medir distância entre elementos em uma imagem → convenção matemática

Fundamentos de Imagens Digitais

Medidas de Distância

- Existem diversas maneiras de se medir distância entre elementos em uma imagem → convenção matemática
- Dados três elementos f_1, f_2 e f_3 com coordenadas $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$, qualquer métrica de distância D deve apresentar as seguintes propriedades:
 - ➊ $D(f_1, f_2) \leq 0$ ($D(f_1, f_2) = 0$ se e somente se $f_1 = f_2$)

Fundamentos de Imagens Digitais

Medidas de Distância

- Existem diversas maneiras de se medir distância entre elementos em uma imagem → convenção matemática
- Dados três elementos f_1, f_2 e f_3 com coordenadas $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$, qualquer métrica de distância D deve apresentar as seguintes propriedades:
 - ① $D(f_1, f_2) \leq 0$ ($D(f_1, f_2) = 0$ se e somente se $f_1 = f_2$)
 - ② $D(f_1, f_2) = D(f_2, f_1)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Medidas de Distância

- Existem diversas maneiras de se medir distância entre elementos em uma imagem → convenção matemática
- Dados três elementos f_1, f_2 e f_3 com coordenadas $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$, qualquer métrica de distância D deve apresentar as seguintes propriedades:
 - ➊ $D(f_1, f_2) \leq 0$ ($D(f_1, f_2) = 0$ se e somente se $f_1 = f_2$)
 - ➋ $D(f_1, f_2) = D(f_2, f_1)$
 - ➌ $D(f_1, f_3) \leq D(f_1, f_2) + D(f_2, f_3)$

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância Euclidiana

Distância Euclidiana

$$D_E(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância Euclidiana

Distância Euclidiana

$$D_E(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

- Considerando um elemento central de coordenadas (x, y) , abaixo é apresentado o conjunto de distâncias $D_E \leq 3$:

			3			
	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$	
	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	
3	2	1	0	1	2	3
	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	
	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$	
			3			

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância Euclidiana

Distância Euclidiana

$$D_E(f_1, f_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

- Considerando um elemento central de coordenadas (x, y) , abaixo é apresentado o conjunto de distâncias $D_E \leq 3$:

			3			
	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$	
	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	
3	2	1	0	1	2	3
	$\sqrt{5}$	$\sqrt{2}$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	
	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	2	$\sqrt{5}$	$2\sqrt{2}$	
			3			

- A distância Euclidiana está mais próxima do caso contínuo, entretanto, requer mais esforço computacional e pode produzir valores fracionários

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância D_4

Distância D_4 ou *city-block*

$$D_4(f_1, f_2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância D_4

Distância D_4 ou *city-block*

$$D_4(f_1, f_2) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

- Considerando um elemento central de coordenadas (x, y) , abaixo é apresentado o conjunto de distâncias $D_4 \leq 3$:

						3
			3	2	3	
		3	2	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
	3	2	1	2	3	
		3	2	3		
			3			

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância D_8

Distância D_8 ou *chessboard*

$$D_8(f_1, f_2) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|)$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Distância D_8

Distância D_8 ou *chessboard*

$$D_8(f_1, f_2) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|)$$

- Considerando um elemento central de coordenadas (x, y) , abaixo é apresentado o conjunto de distâncias $D_8 \leq 3$:

3	3	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	3	3

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Aritméticas

- Adição

$$\min(f_1(x, y) + f_2(x, y), 255)$$

- Subtração

$$\max(f_1(x, y) - f_2(x, y), 0)$$

- Multiplicação

$$\text{int}(\max(f_1(x, y) \times \epsilon, 255))$$

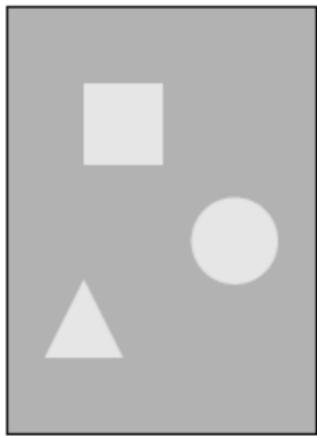
- Divisão¹

$$\text{int}\left(\frac{f_1(x, y)}{f_2(x, y)} \times 255\right)$$

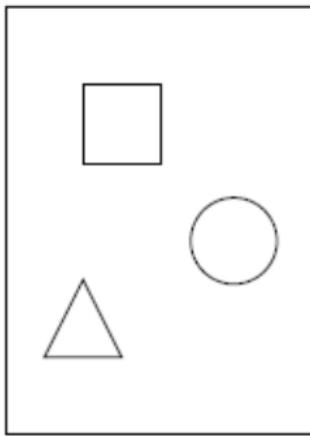
¹Prevenir divisão por zero

Fundamentos de Imagens Digitais

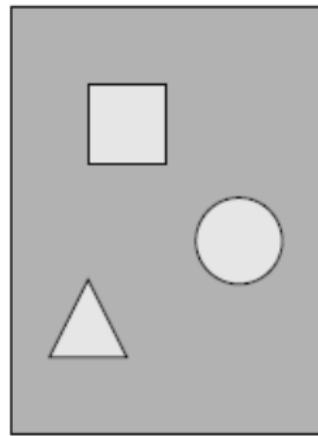
Operações Aritméticas



(A) imagem original



(B) mapa de bordas



Adição: (A) + (B)

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Aritméticas

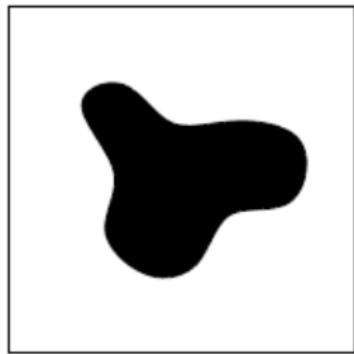


Imagen (A)

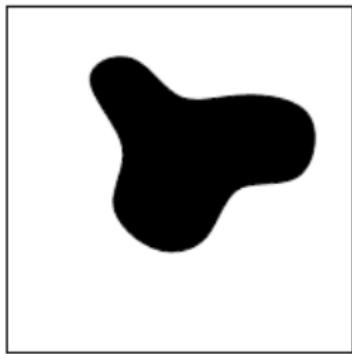


Imagen (B)



Diferença: (A) - (B)

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Aritméticas



Imagen original (A)

$\times 3 =$



Multiplicação: $(A) * 3$

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Aritméticas

- Crie um programa que modifique os pixels de uma imagem por um fator ϵ

Fundamentos de Imagens Digitais

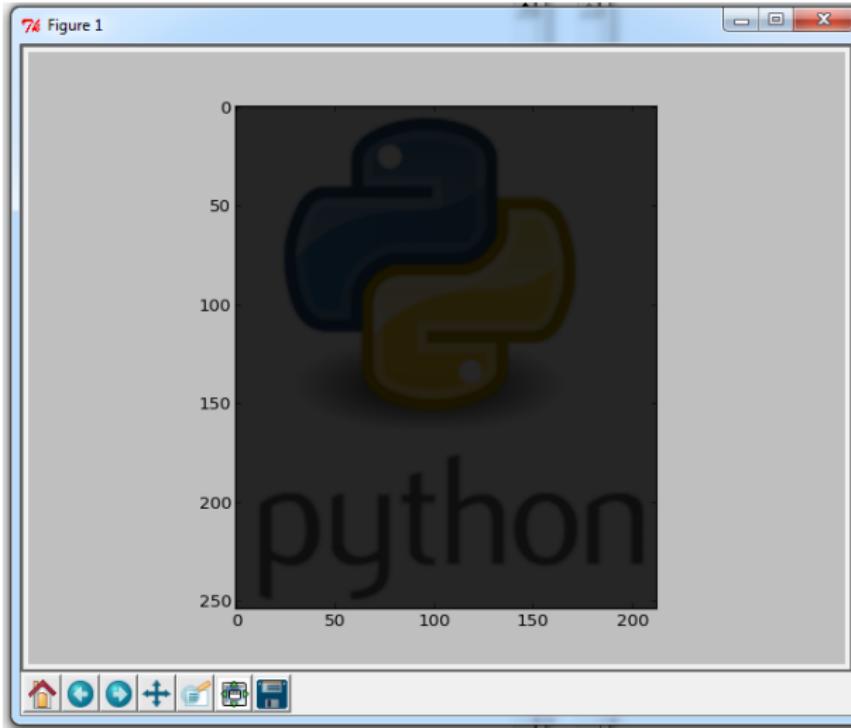
Operações Aritméticas

- Crie um programa que modifique os pixels de uma imagem por um fator ϵ

```
1 import scipy.misc  
2 import matplotlib.pyplot as plt  
3 import numpy as np  
4  
5 path = "imagens/"  
6 logo = scipy.misc.imread(path+"python.png")  
7  
8 logo1 = np.array(logo*0.15, dtype=np.uint8)  
9  
10 plt.imshow(logo1)  
11 plt.show()
```

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Aritméticas



Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas

- São aplicáveis apenas a imagens binárias onde preto (= 0) indica objetos e branco (= 1) indica fundo da imagem

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas

- São aplicáveis apenas a imagens binárias onde preto ($= 0$) indica objetos e branco ($= 1$) indica fundo da imagem

AND $f_1(x, y)$ AND $f_2(x, y)$

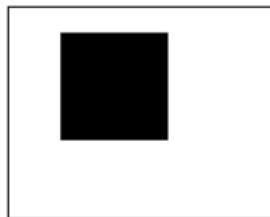
OR $f_1(x, y)$ OR $f_2(x, y)$

XOR $f_1(x, y)$ XOR $f_2(x, y)$

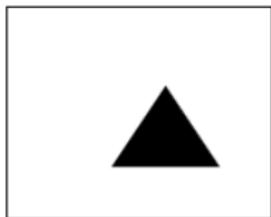
NOT NOT($f_1(x, y)$)

Fundamentos de Imagens Digitais

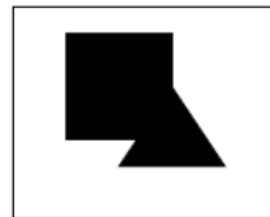
Operações Lógicas



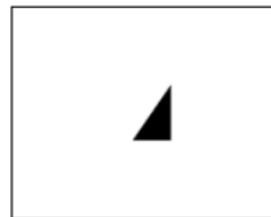
A



B



A OR B



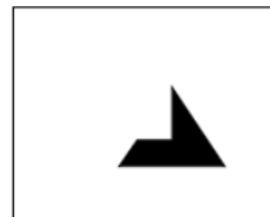
A AND B



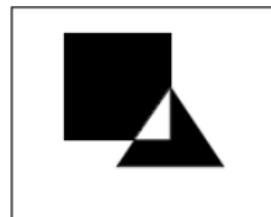
NOT(A)



NOT(B)



NOT(A) AND B



A XOR B

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas e Aritméticas

- Além de operações pixel-a-pixel, também é possível realizar operações orientadas à vizinhança

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas e Aritméticas

- Além de operações pixel-a-pixel, também é possível realizar operações orientadas à vizinhança
- Processo: uso de “máscaras” (ou janelas ou filtros) que são sub-regiões de amostragem para a qual um certo processamento é realizado

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas e Aritméticas

- Além de operações pixel-a-pixel, também é possível realizar operações orientadas à vizinhança
- Processo: uso de “máscaras” (ou janelas ou filtros) que são sub-regiões de amostragem para a qual um certo processamento é realizado
- Exemplo: para uma vizinhança 3×3 substitui-se o elemento na posição $f(x, y)$ pela média de seus 9 vizinhos:

$$\bar{f}(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(x + m, y + n)$$

Fundamentos de Imagens Digitais

Operações Lógicas e Aritméticas

- Além de operações pixel-a-pixel, também é possível realizar operações orientadas à vizinhança
- Processo: uso de “máscaras” (ou janelas ou filtros) que são sub-regiões de amostragem para a qual um certo processamento é realizado
- Exemplo: para uma vizinhança 3×3 substitui-se o elemento na posição $f(x, y)$ pela média de seus 9 vizinhos:

$$\bar{f}(x, y) = \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(x + m, y + n)$$

$$\begin{aligned}\bar{f}(x, y) = \frac{1}{9} & [f(x - 1, y - 1) + f(x, y - 1) + f(x + 1, y - 1) + f(x - 1, y) + \\ & f(x, y) + f(x + 1, y) + f(x - 1, y + 1) + f(x, y + 1) + f(x + 1, y + 1)]\end{aligned}$$

Realce de Imagens

Realce de Imagens

Realce

Técnicas de realce buscam acentuar ou melhorar a aparência de determinadas características da imagem, tornando-a mais adequada para a aplicação em questão

Realce de Imagens

Realce

Técnicas de realce buscam acentuar ou melhorar a aparência de determinadas características da imagem, tornando-a mais adequada para a aplicação em questão

- Quando o realce é necessário ?

Realce de Imagens

Realce

Técnicas de realce buscam acentuar ou melhorar a aparência de determinadas características da imagem, tornando-a mais adequada para a aplicação em questão

- Quando o realce é necessário ?
- Sempre que ocorrer degradação ou perda de qualidade devido a:
 - ruído
 - perda de contraste
 - borramento
 - distorção devido ao equipamento de aquisição
 - condições inadequadas de iluminação

Realce de Imagens

Realce

Técnicas de realce buscam acentuar ou melhorar a aparência de determinadas características da imagem, tornando-a mais adequada para a aplicação em questão

- Quando o realce é necessário ?
- Sempre que ocorrer degradação ou perda de qualidade devido a:
 - ruído
 - perda de contraste
 - borramento
 - distorção devido ao equipamento de aquisição
 - condições inadequadas de iluminação

Domínio Espacial processamento baseado na manipulação direta dos pixels

Realce de Imagens

Realce

Técnicas de realce buscam acentuar ou melhorar a aparência de determinadas características da imagem, tornando-a mais adequada para a aplicação em questão

- Quando o realce é necessário ?
- Sempre que ocorrer degradação ou perda de qualidade devido a:
 - ruído
 - perda de contraste
 - borramento
 - distorção devido ao equipamento de aquisição
 - condições inadequadas de iluminação

Domínio Espacial processamento baseado na manipulação direta dos pixels

Domínio de Frequência processamento baseado na modificação da imagem com a aplicação de transformadas (ex: Fourier)

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Brilho

Sensação visual da intensidade luminosa de uma fonte

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Brilho

Sensação visual da intensidade luminosa de uma fonte

- A habilidade do sistema visual humano em perceber diferentes níveis de brilho deve ser considerada na hora de apresentar resultados que envolvem imagens digitais

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Brilho

Sensação visual da intensidade luminosa de uma fonte

- A habilidade do sistema visual humano em perceber diferentes níveis de brilho deve ser considerada na hora de apresentar resultados que envolvem imagens digitais
- Evidências experimentais: sensibilidade tem resposta logarítmica em relação à intensidade de luz incidente

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Brilho

Sensação visual da intensidade luminosa de uma fonte

- A habilidade do sistema visual humano em perceber diferentes níveis de brilho deve ser considerada na hora de apresentar resultados que envolvem imagens digitais
- Evidências experimentais: sensibilidade tem resposta logarítmica em relação à intensidade de luz incidente
- O fato dessa resposta não ser linear produz uma série de fenômenos ópticos observáveis

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Bandas de Mach

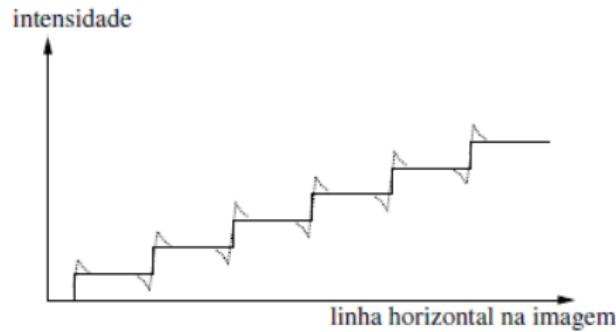
É baseado no princípio de que o sistema visual tende a subestimar ou superestimar a intensidade próxima às transições entre regiões de intensidades diferentes

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Bandas de Mach

É baseado no princípio de que o sistema visual tende a subestimar ou superestimar a intensidade próxima às transições entre regiões de intensidades diferentes



Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Contraste Simultâneo

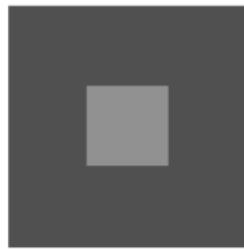
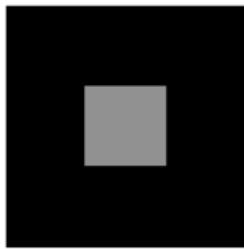
Está relacionado ao fato de que o brilho aparente de uma região depende fortemente da intensidade do fundo

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Contraste Simultâneo

Está relacionado ao fato de que o brilho aparente de uma região depende fortemente da intensidade do fundo



Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Benussi-Koffka

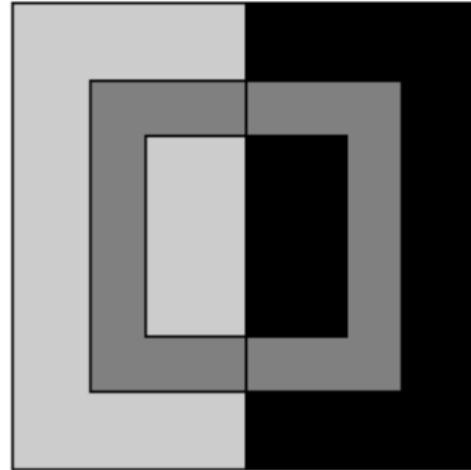
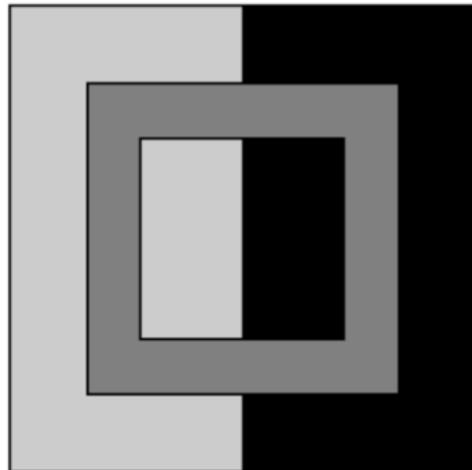
Em que um anel com intensidade uniforme aparenta ter brilho diferente quando uma reta separa os fundos da imagem

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Benussi-Koffka

Em que um anel com intensidade uniforme aparenta ter brilho diferente quando uma reta separa os fundos da imagem



Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Contraste

Pode ser definido como uma medida da variação relativa da luminância, ou seja, da intensidade luminosa por unidade de área

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

Contraste

Pode ser definido como uma medida da variação relativa da luminância, ou seja, da intensidade luminosa por unidade de área

Lei de Weber a resposta do sistema visual humano depende significativamente de variações locais de luminância, ao invés da luminância absoluta

Realce de Imagens

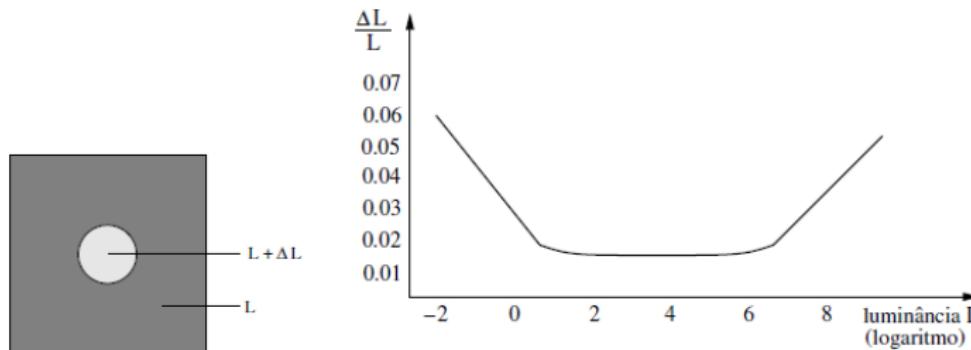
Brilho & Contraste

- Uma experimento que determina a habilidade do sistema visual humano em discriminar mudanças de luminância, consiste em se apresentar a um observador um objeto com luminância $L_F = L + \Delta L$ em um fundo $L_B = L$

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

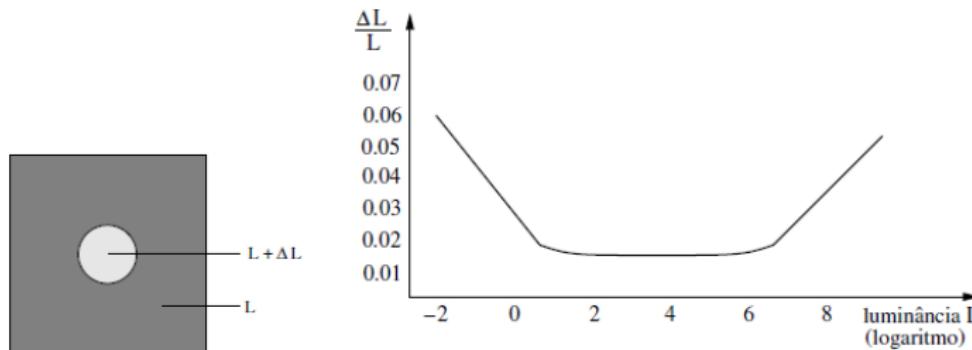
- Uma experiência que determina a habilidade do sistema visual humano em discriminar mudanças de luminância, consiste em se apresentar a um observador um objeto com luminância $L_F = L + \Delta L$ em um fundo $L_B = L$



Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Uma experiência que determina a habilidade do sistema visual humano em discriminar mudanças de luminância, consiste em se apresentar a um observador um objeto com luminância $L_F = L + \Delta L$ em um fundo $L_B = L$



Questão de interesse identificar qual a diferença $\Delta L = L_F - L_B$ permite o discernimento entre objeto/fundo

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- A lei de Weber estabelece que a intensidade adicional de estímulo (luminância) necessária para que o sistema visual humano possa observar uma alteração é proporcional à intensidade inicial, em uma relação constante = **contraste de Weber** ou **Lei Weber-Fechner**

$$C_W = \frac{\Delta L}{L}$$

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- A lei de Weber estabelece que a intensidade adicional de estímulo (luminância) necessária para que o sistema visual humano possa observar uma alteração é proporcional à intensidade inicial, em uma relação constante = **contraste de Weber** ou **Lei Weber-Fechner**

$$C_W = \frac{\Delta L}{L}$$

- Devido à capacidade de adaptação do sistema visual humano, a nossa capacidade de percepção do contraste mínimo não se altera em grandes intervalos de intensidades: $C_W \approx 2\%$

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Outra medida de contraste (**contraste de Michelson**) utilizada em padrões periódicos (ex: senoidais) é dado por

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

onde L_{min} e L_{max} correspondem a luminância (intensidade de luz por unidade de área)

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Outra medida de contraste (**contraste de Michelson**) utilizada em padrões periódicos (ex: senoidais) é dado por

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

onde L_{min} e L_{max} correspondem a luminância (intensidade de luz por unidade de área)

- C_W e C_M não são equivalentes

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Outra medida de contraste (**contraste de Michelson**) utilizada em padrões periódicos (ex: senoidais) é dado por

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

onde L_{min} e L_{max} correspondem a luminância (intensidade de luz por unidade de área)

- C_W e C_M não são equivalentes
- C_M varia no intervalo $[0 \dots 1]$, enquanto que C_W varia no intervalo $[-1 \dots \infty)$

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Outra medida de contraste (**contraste de Michelson**) utilizada em padrões periódicos (ex: senoidais) é dado por

$$C_M = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

onde L_{min} e L_{max} correspondem a luminância (intensidade de luz por unidade de área)

- C_W e C_M não são equivalentes
- C_M varia no intervalo $[0 \dots 1]$, enquanto que C_W varia no intervalo $[-1 \dots \infty)$
- Essas medidas são boas para padrões simples mas falham como preditores de contrastes em padrões mais complexos

Realce de Imagens

Brilho & Contraste

- Medida de **contraste local de Beghdadi e Khellaf** dado um pixel f com coordenadas (x, y) , centrado na vizinhança w_f é dada por:

$$C_f = \frac{|l_{(x,y)} - \bar{l}_{(x,y)}|}{\bar{l}_{(x,y)}}$$

onde $l_{(x,y)}$ é o nível de cinza do pixel e $\bar{l}_{(x,y)}$ é o nível de cinza médio na vizinhança w_f

Realce de Imagens

Histograma

Histograma

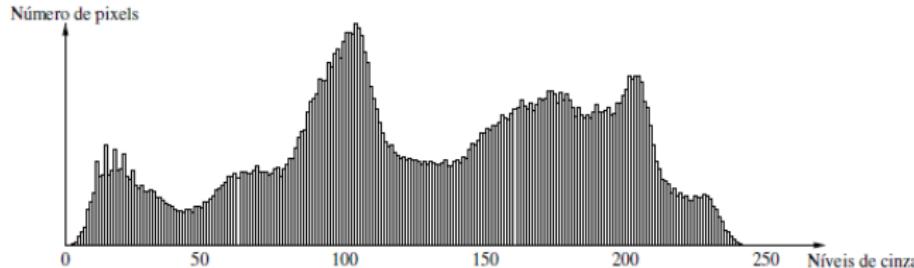
Corresponde à distribuição de frequência dos níveis de cinza de uma imagem

Realce de Imagens

Histograma

Histograma

Corresponde à distribuição de frequência dos níveis de cinza de uma imagem



Realce de Imagens

Histograma

- Seja uma imagem representada por uma matriz bidimensional, denotada por $f(x, y)$ de tamanho $M \times N$ e contendo L níveis de cinza no intervalo $[0 \dots L_{max}]$

Realce de Imagens

Histograma

- Seja uma imagem representada por uma matriz bidimensional, denotada por $f(x, y)$ de tamanho $M \times N$ e contendo L níveis de cinza no intervalo $[0 \dots L_{max}]$
- O cálculo do histograma dessa imagem é obtido a partir do seguinte algoritmo:

```
1      for i in range(Lmax):
2          H[i] = 0
3
4      for x in range(M-1):
5          for y in range(N-1):
6              H[f(x,y)] = H[f(x,y)] + 1
7
```

Realce de Imagens

Histograma

- Uma imagem possui um único histograma porém o contrário não é verdade

Realce de Imagens

Histograma

- Uma imagem possui um único histograma porém o contrário não é verdade
- Um histograma é uma distribuição discreta de probabilidade = define a chance de se encontrar um pixel com um determinado nível de cinza em uma imagem f :

$$p_k(f) = \frac{H(k)}{M \times N}$$

Realce de Imagens

Histograma

- Uma imagem possui um único histograma porém o contrário não é verdade
- Um histograma é uma distribuição discreta de probabilidade = define a chance de se encontrar um pixel com um determinado nível de cinza em uma imagem f :

$$p_k(f) = \frac{H(k)}{M \times N}$$

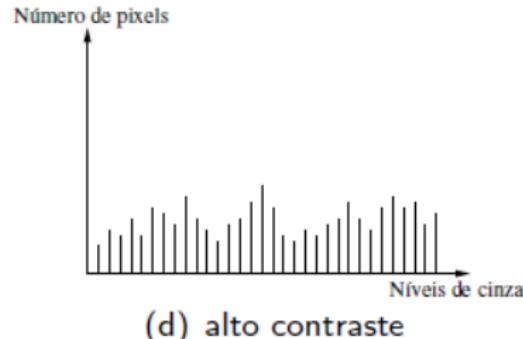
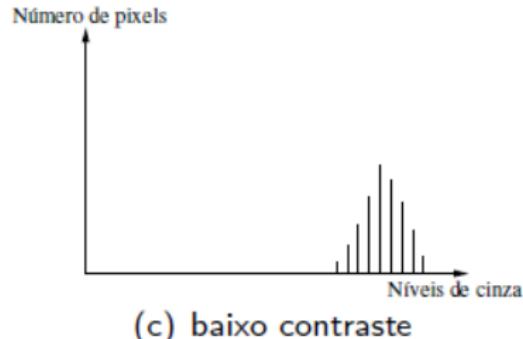
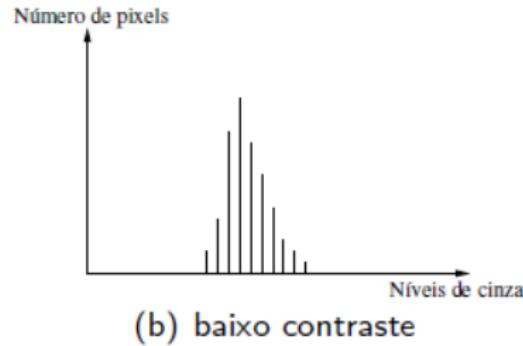
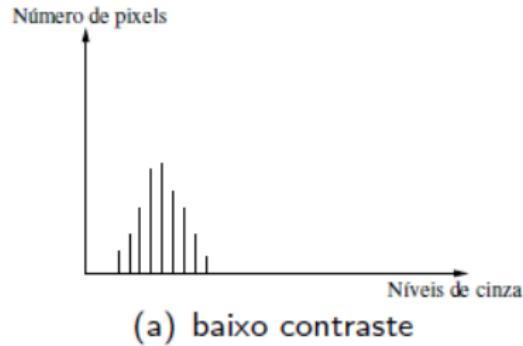
$H(k)$ quantidade de pixels na imagem com nível de cinza k

M resolução horizontal da imagem

N resolução vertical da imagem

Realce de Imagens

Histograma vs Contraste



Realce de Imagens

Histograma - Exercício

- Usando Numpy, extrair as informações de histograma de uma imagem:

Realce de Imagens

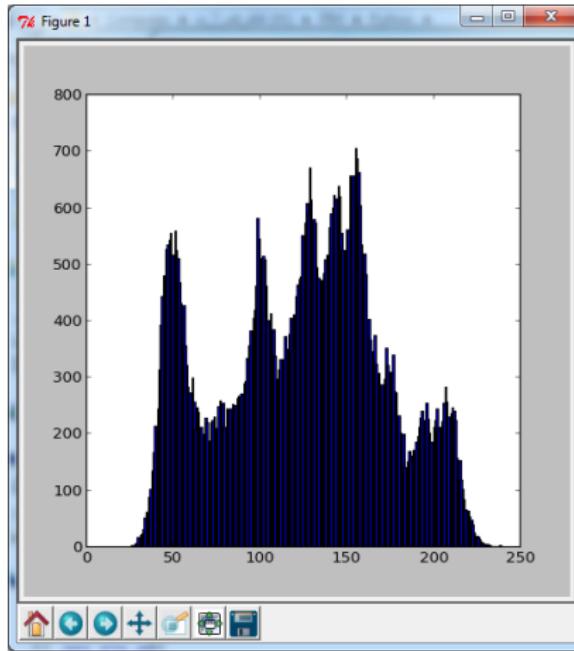
Histograma - Exercício

- Usando Numpy, extrair as informações de histograma de uma imagem:

```
1 import numpy as np
2 import scipy.misc
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 path = "imagens/"
6 imagem = scipy.misc.imread(path+"lena.jpg")
7
8 # gera o histograma e seus intervalos
9 histograma, intervalos = np.histogram(imagem,bins=np.arange(0,256))
10
11 # determina o valor do centro dos intervalos
12 center = (intervalos[:-1] + intervalos[1:])/2
13
14 # exibe o histograma
15 plt.bar(center, histograma, align='center')
16 plt.show()
```

Realce de Imagens

Histograma - Exercício



Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- O objetivo das transformações de contraste é melhorar a qualidade da imagem = enfatizar informações de interesse

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- O objetivo das transformações de contraste é melhorar a qualidade da imagem = enfatizar informações de interesse
- **Contraste:** diferença entre os valores máximo e mínimo nos níveis de cinza em $f(x, y)$

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- O objetivo das transformações de contraste é melhorar a qualidade da imagem = enfatizar informações de interesse
- **Contraste:** diferença entre os valores máximo e mínimo nos níveis de cinza em $f(x, y)$
- Se a imagem não ocupar todo o espectro de níveis de cinza disponível pode-se realizar uma operação de *ampliação de contraste* através do mapeamento do intervalo de níveis de cinza $[L_{min}, L_{max}]$ da imagem original para o intervalo disponível que geralmente é $[0, 255]$

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- O objetivo das transformações de contraste é melhorar a qualidade da imagem = enfatizar informações de interesse
- **Contraste:** diferença entre os valores máximo e mínimo nos níveis de cinza em $f(x, y)$
- Se a imagem não ocupar todo o espectro de níveis de cinza disponível pode-se realizar uma operação de *ampliação de contraste* através do mapeamento do intervalo de níveis de cinza $[L_{min}, L_{max}]$ da imagem original para o intervalo disponível que geralmente é $[0, 255]$

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- Uma função de transformação de contraste T pode ser descrita na forma $g = T(f)$, onde:

Realce de Imagens

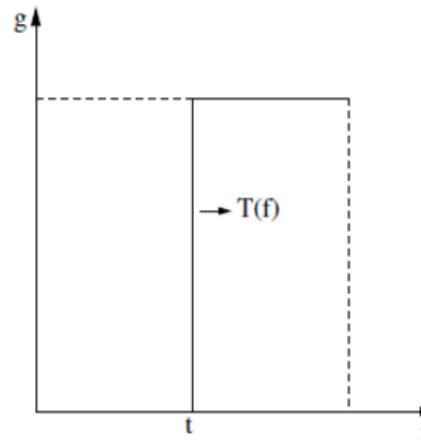
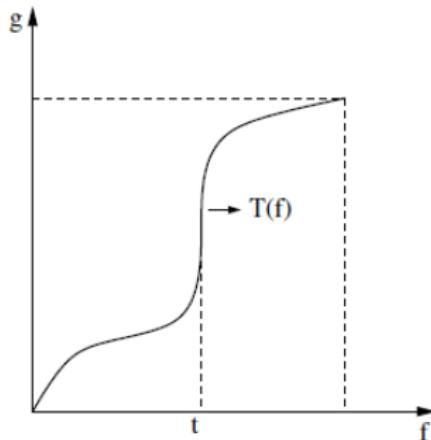
Transformação da Escala de Cinza

- Uma função de transformação de contraste T pode ser descrita na forma $g = T(f)$, onde:
 - f representa o nível de cinza na imagem original
 - g representa o novo nível de cinza transformado

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza

- Uma função de transformação de contraste T pode ser descrita na forma $g = T(f)$, onde:
 - f representa o nível de cinza na imagem original
 - g representa o novo nível de cinza transformado
- Exemplos:



Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza (1/2)

```
1 import numpy as np
2 import scipy .misc
3 import matplotlib .pyplot as plt
4
5 def Binariza( imagem, threshold ):
6     shape = imagem.shape
7
8     imagemBin = []
9     for L in range( shape[0] ):
10        row = []
11        for C in range( shape[1] ):
12            if( imagem[L][C] <= threshold ):
13                row.append( [0, 0, 0] )
14            else:
15                row.append( [255, 255, 255] )
16            imagemBin.append( row )
17
return imagemBin
```

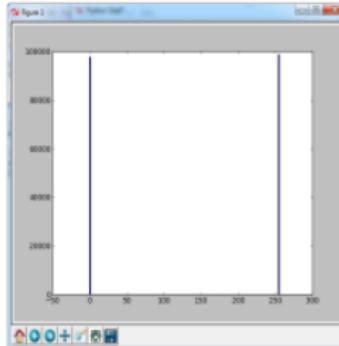
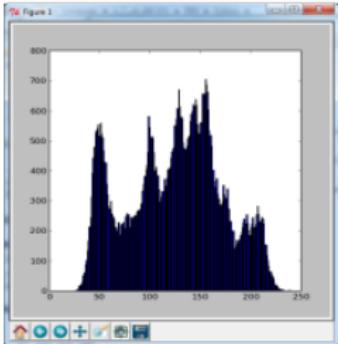
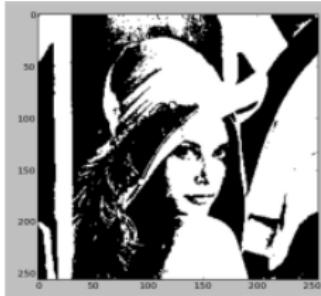
Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza (2/2)

```
21 imagem = scipy.misc.imread( "imagens/lena.jpg" )
22 scipy .misc.imsave( "imagens/lena-binaria.png", Binariza( imagem, 128 ) )
23
24 plt.imshow( scipy .misc.imread( "imagens/lena-binaria.png" ) )
25 plt.show()
```

Realce de Imagens

Transformação da Escala de Cinza



Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma função de transformação linear pode ser descrita na forma $g = af + b$, onde:

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma função de transformação linear pode ser descrita na forma $g = af + b$, onde:
 - **a** controla a escala de níveis de cinza da imagem
 - **b** ajuste de brilho da imagem

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma função de transformação linear pode ser descrita na forma $g = af + b$, onde:
 - **a** controla a escala de níveis de cinza da imagem
 - **b** ajuste de brilho da imagem
- Seja uma imagem f onde seus níveis de cinza variam entre $[f_{min}, f_{max}]$ que se deseja mapear sobre uma nova imagem no intervalo $[g_{min}, g_{max}]$ temos:

$$g = \frac{g_{max} - g_{min}}{f_{max} - f_{min}}(f_{xy} - f_{min}) + g_{min}$$

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma função de transformação linear pode ser descrita na forma $g = af + b$, onde:
 - **a** controla a escala de níveis de cinza da imagem
 - **b** ajuste de brilho da imagem
- Seja uma imagem f onde seus níveis de cinza variam entre $[f_{min}, f_{max}]$ que se deseja mapear sobre uma nova imagem no intervalo $[g_{min}, g_{max}]$ temos:

$$g = \frac{g_{max} - g_{min}}{f_{max} - f_{min}}(f_{xy} - f_{min}) + g_{min}$$

- Considerando $a = \frac{g_{max} - g_{min}}{f_{max} - f_{min}}$ então pode-se perceber que:

$$\left\{ \begin{array}{ll} a = 1 & \text{O intervalo não se altera, apenas se desloca} \\ a < 1 & \text{O intervalo é comprimido em seu tamanho} \\ a > 1 & \text{O intervalo é expandido em seu tamanho} \end{array} \right.$$

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma **transformação linear por partes** é caracterizada pela composição de múltiplas transformações lineares

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma **transformação linear por partes** é caracterizada pela composição de múltiplas transformações lineares
- Realce baseado em intervalos específicos de níveis de cinza

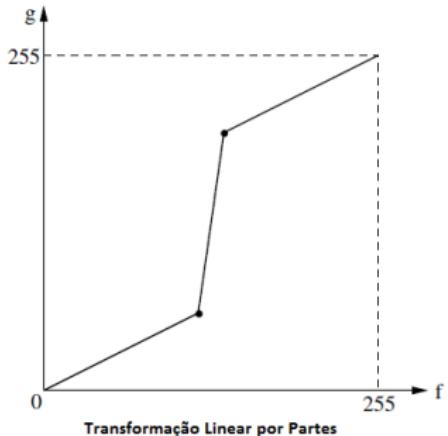
Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- Uma **transformação linear por partes** é caracterizada pela composição de múltiplas transformações lineares
- Realce baseado em intervalos específicos de níveis de cinza
- Permitir realçar aspectos específicos na imagem ou corrigir irregularidades muito acentuadas na imagem

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares



Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- A **transformação linear inversa** é caracterizada pela reflexão horizontal do histograma da imagem

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- A **transformação linear inversa** é caracterizada pela reflexão horizontal do histograma da imagem
- Níveis claros se tornam escuros e vice-versa → negativo da imagem

Realce de Imagens

Transformações Lineares e Não-Lineares

- A **transformação linear inversa** é caracterizada pela reflexão horizontal do histograma da imagem
- Níveis claros se tornam escuros e vice-versa → negativo da imagem
- Dado por:

$$g = (f_{max} - f) + f_{min}$$

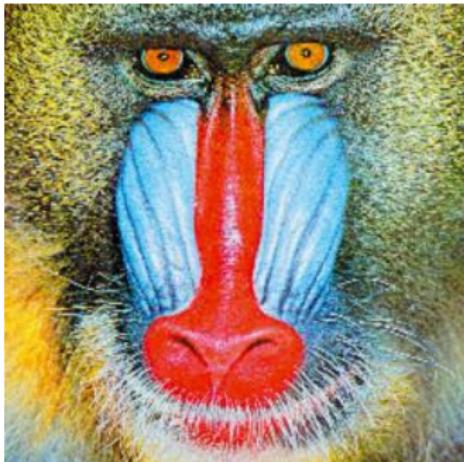
Realce de Imagens

Transformações Lineares Inversa: Exercício

```
1 import numpy as np
2 import scipy.misc
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 path = "imagens/"
6 imagem = scipy.misc.imread(path+"mandril.jpg")
7 shape = imagem.shape
8
9 for L in range(shape[0]):
10     for C in range(shape[1]):
11         r,g,b = imagem[L][C]
12         imagem[L][C] = [255-r,255-g,255-b]
13
14 scipy.misc.imsave(path+"mandril-neg.jpg", imagem)
15
16 plt.imshow(imagem)
17 plt.show()
```

Realce de Imagens

Transformações Lineares Inversa: Exercício



Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares

- Em uma transformação não-linear, o parâmetro **a** em $g = af + b$ deixa de ser um valor constante (como ocorre com as transformações lineares)

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares

- Em uma transformação não-linear, o parâmetro **a** em $g = af + b$ deixa de ser um valor constante (como ocorre com as transformações lineares)

- Tipos:
 - Logaritmo
 - Raiz Quadrada
 - Exponencial
 - Quadrado

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu logaritmo

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu logaritmo
- Propicia um maior realce nos pixels com baixa intensidade, ou seja, nas regiões escuras

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu logaritmo
- Propicia um maior realce nos pixels com baixa intensidade, ou seja, nas regiões escuras
- Abordagem usual: usar logaritmo base 10 → a base não influencia na curva em si, apenas na escala de tons

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu logaritmo
- Propicia um maior realce nos pixels com baixa intensidade, ou seja, nas regiões escuras
- Abordagem usual: usar logaritmo base 10 → a base não influencia na curva em si, apenas na escala de tons
- E como $\log 0 = \text{?}$ usa-se um fator de correção (a) na fórmula:
$$g = a \log(f + 1)$$
 para garantir que a função esteja no intervalo $[0, 255]$

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu logaritmo
- Propicia um maior realce nos pixels com baixa intensidade, ou seja, nas regiões escuras
- Abordagem usual: usar logaritmo base 10 → a base não influencia na curva em si, apenas na escala de tons
- E como $\log 0 = \frac{1}{0}$ usa-se um fator de correção (a) na fórmula:
$$g = a \log(f + 1)$$
 para garantir que a função esteja no intervalo $[0, 255]$
- Se f_{max} for a maior intensidade de cor então $a = \frac{255}{\log(f_{max}+1)}$

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Exponencial

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu exponencial

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Exponencial

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu exponencial
- Propicia um maior realce nos pixels com alta intensidade, ou seja, nas regiões claras

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Exponencial

- Substitui cada valor de pixel na imagem pelo seu exponencial
- Propicia um maior realce nos pixels com alta intensidade, ou seja, nas regiões claras
- A fórmula: $g = T(f) = a(e^f - 1)$

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Quadrado

- É dada pela fórmula: $g = T(f) = af^2$

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Quadrado

- É dada pela fórmula: $g = T(f) = af^2$
- Semelhante à transformação exponencial: aumenta o contraste entre as regiões de média e alta intensidades

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Raiz Quadrada

- É dada pela fórmula: $g = T(f) = a\sqrt{f}$

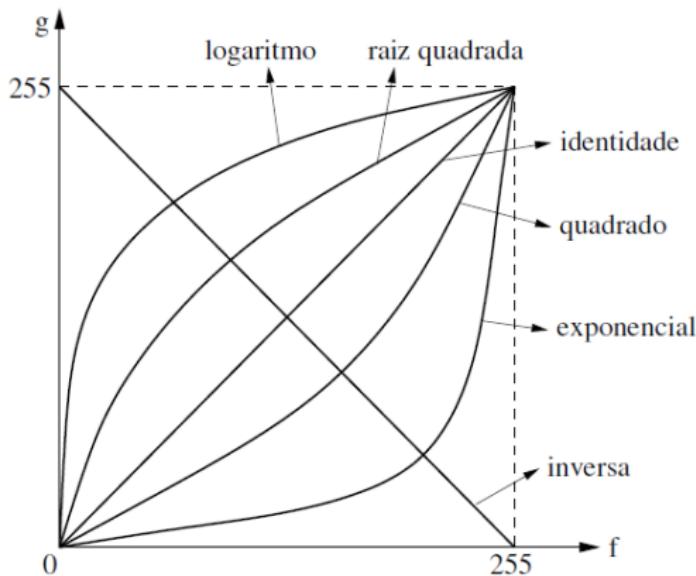
Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Raiz Quadrada

- É dada pela fórmula: $g = T(f) = a\sqrt{f}$
- Semelhante à transformação logaritmo: aumenta o contraste entre as regiões de média e baixa intensidades

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares



Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares



Imagen Original



Logaritmo



Raiz Quadrada



Exponencial



Quadrado

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares: Exemplo Prático

```
1 import numpy as np  
2 import scipy.misc  
3  
4 original = scipy.misc.imread( "imagens/lena.jpg" )  
5 a = 255.0/np.log(256) # fmax + 1 = 255 + 1  
6 transformada = np.log( original ) * a  
7 scipy.misc.imsave("imagens/lena-log.jpg", transformada)
```

Transformações Não-Lineares: Logaritmo

Realce de Imagens

Transformações Não-Lineares



Realce de Imagens

Equalização do Histograma

Equalização do Histograma

Modifica o histograma da imagem f de maneira que a imagem resultante g possua uma distribuição mais uniforme dos seus níveis de cinza \equiv todos os valores são aproximados com a mesma frequência

Realce de Imagens

Equalização do Histograma

- Dado que os níveis de cinza normalizados de uma imagem são valores aleatórios entre $[0, 1]$, temos então as funções densidade de probabilidade $p_f(f)$ e $p_g(g)$

Realce de Imagens

Equalização do Histograma

- Dado que os níveis de cinza normalizados de uma imagem são valores aleatórios entre $[0, 1]$, temos então as funções densidade de probabilidade $p_f(f)$ e $p_g(g)$

$$p_g(g) = \left[p_f(f) \frac{df}{dg} \right]_{f=T^{-1}(g)} \quad (1)$$

onde $f = T^{-1}(g)$ é a transformação inversa dos níveis de cinza de g para f

Realce de Imagens

Equalização do Histograma

- Dado que os níveis de cinza normalizados de uma imagem são valores aleatórios entre $[0, 1]$, temos então as funções densidade de probabilidade $p_f(f)$ e $p_g(g)$

$$p_g(g) = \left[p_f(f) \frac{df}{dg} \right]_{f=T^{-1}(g)} \quad (1)$$

onde $f = T^{-1}(g)$ é a transformação inversa dos níveis de cinza de g para f

- Exemplo de transformação T (*Função de Distribuição Acumulada*):

$$g = T(f) = \int_0^f p_f(w)dw \quad 0 \leq f \leq 1 \quad (2)$$

onde w é a variável de integração

Realce de Imagens

Equalização do Histograma

- Para que seja útil ao processamento de imagens, é necessário que tratemos essas equações em sua forma discreta:

Realce de Imagens

Equalização do Histograma

- Para que seja útil ao processamento de imagens, é necessário que tratemos essas equações em sua forma discreta:

$$g_k = \sum_{i=0}^k p_f(f_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L - 1 \quad (3)$$

onde: $p_f(f_i)$ é a probabilidade do i-ésimo nível de cinza; n_i é o número de ocorrências do nível de cinza i , n é a quantidade de pixels da imagem (dado por $n = M \times N$) e k indica um dado nível de cinza com valores entre 0 e $L - 1$

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Algoritmo

- ➊ Calcular o histograma da imagem a ser transformada
- ➋ Normalizar o histograma de maneira que cada nível de cinza esteja entre $0 \leq f_k \leq 1$
- ➌ for k in range(0, L-1):
 - ➍ Calcular a função de Distribuição Acumulada de Probabilidade

$$g_k = \sum_{i=0}^k p_f(f_i)$$

- ➎ Arredondar os valores para o nível de cinza mais próximo

$$g_k = \text{round}(g_k \times L_{\max})$$

- ➏ Agrupar valores f_k para formar g_k

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático

- Considere uma imagem com 8 níveis de cinza que apresente o seguinte histograma abaixo:

Histograma a ser equilizado

Níveis de cinza (k)	0	1	2	3	4	5	6	7
# de Pixels (n_k)	1314	3837	5820	4110	2374	921	629	516

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático

Passo #1 - Encontrar as probabilidades p_f para cada nível de cinza k

$$p_f(f_0) = 1314/19521 \approx 0.067$$

$$p_f(f_1) = 3837/19521 \approx 0.197$$

$$p_f(f_2) = 5820/19521 \approx 0.298$$

$$p_f(f_3) = 4110/19521 \approx 0.211$$

$$p_f(f_4) = 2374/19521 \approx 0.122$$

$$p_f(f_5) = 921/19521 \approx 0.047$$

$$p_f(f_6) = 629/19521 \approx 0.032$$

$$p_f(f_7) = 516/19521 \approx 0.026$$

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático

Passo #2 - Calcular as funções de distribuição acumulada de probabilidade

$$g_0 = T(f_0) = \sum_{i=0}^0 p_f(f_0) = 0.067$$

$$g_1 = T(f_1) = \sum_{i=0}^1 p_f(f_1) = 0.264$$

⋮

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático

Passo #2 - Calcular as funções de distribuição acumulada de probabilidade

$$g_0 = T(f_0) = \sum_{i=0}^0 p_f(f_0) = 0.067$$

$$g_1 = T(f_1) = \sum_{i=0}^1 p_f(f_1) = 0.264$$

⋮

De forma similar, temos:

$$g_2 = 0.562 \quad g_3 = 0.773 \quad g_4 = 0.895$$

$$g_5 = 0.942 \quad g_6 = 0.974 \quad g_7 = 1.000$$

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático

Passo #3 - Arredondar para o nível de cinza mais próximo

$$g_0 = \text{round}(0.067 \times 7) = 0.469 \approx 0$$

$$g_1 = \text{round}(0.264 \times 7) = 1.848 \approx 2$$

$$g_2 = \text{round}(0.562 \times 7) = 3.934 \approx 4$$

$$g_3 = \text{round}(0.773 \times 7) = 5.411 \approx 5$$

$$g_4 = \text{round}(0.895 \times 7) = 6.265 \approx 6$$

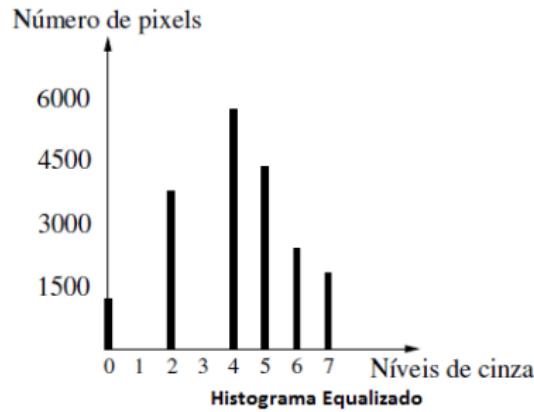
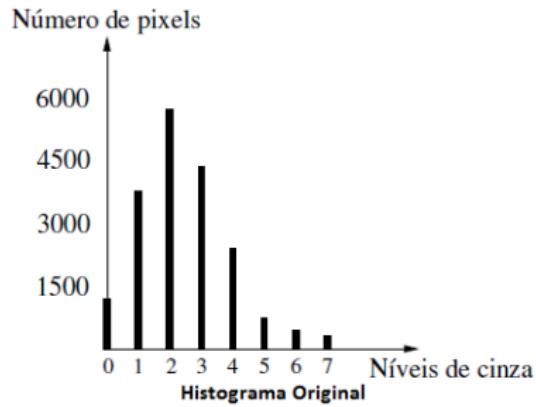
$$g_5 = \text{round}(0.942 \times 7) = 6.594 \approx 7$$

$$g_6 = \text{round}(0.974 \times 7) = 6.818 \approx 7$$

$$g_7 = \text{round}(1.000 \times 7) = 7.000 = 7$$

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Exemplo Prático



Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Implementação (1/2)

```
1 import numpy as np
2 import scipy.misc
3
4 car = scipy.misc.imread("imagens/car.png")
5 histograma, intervalos = np.histogram(car, bins=np.arange(0,256))
6
7 # passo 1: calculo das probabilidades
8 npixels = car.shape[0] * car.shape[1] * 1.0 # usado para converter para float
9 probabilidades = histograma / npixels
10
11 FDP = np.zeros(256)
12 for i in range(256):
13     for j in range(i):      # passo 2: calculo da FDP
14         FDP[i] = FDP[i] + probabilidades[j]
15     FDP[i] = round(FDP[i]*255) # passo 3: arredondamento
```

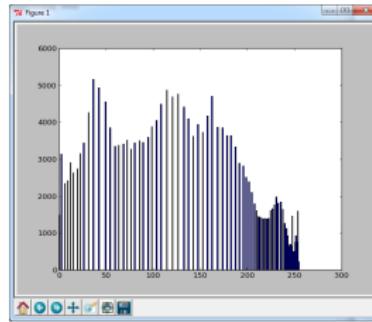
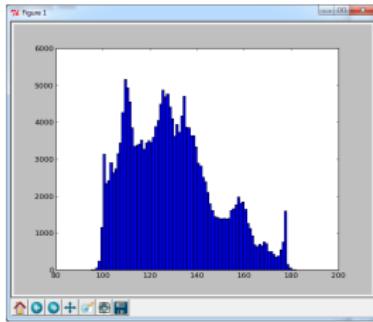
Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Implementação (2/2)

```
16  # passo 4: agrupar os níveis de cinza
17  car1 = np.zeros(car.shape)
18  for i in range(car.shape[0]):
19      for j in range(car.shape[1]):
20          car1[i][j] = int(FDP[car[i][j]])
21
22  scipy.misc.imsave("imagens/car1.png",car1)
```

Realce de Imagens

Equalização do Histograma: Resultado



Realce de Imagens

Filtragem de Imagens

Filtros de Imagens

São transformações aplicadas a imagens no domínio espacial, que não dependem apenas do valor do nível de cinza em cada pixel. Os filtros consideram a sua vizinhança para o cálculo.

Realce de Imagens

Filtragem de Imagens

Filtros de Imagens

São transformações aplicadas a imagens no domínio espacial, que não dependem apenas do valor do nível de cinza em cada pixel. Os filtros consideram a sua vizinhança para o cálculo.

Tipos de filtros:

Passa-baixa atenua as altas frequências que estão relacionadas com a informação de detalhes da imagem

Realce de Imagens

Filtragem de Imagens

Filtros de Imagens

São transformações aplicadas a imagens no domínio espacial, que não dependem apenas do valor do nível de cinza em cada pixel. Os filtros consideram a sua vizinhança para o cálculo.

Tipos de filtros:

Passa-baixa atenua as altas frequências que estão relacionadas com a informação de detalhes da imagem

Passa-alta realça as altas frequências e são normalmente usados para realçar os detalhes na imagem

Realce de Imagens

Filtragem de Imagens

Filtros de Imagens

São transformações aplicadas a imagens no domínio espacial, que não dependem apenas do valor do nível de cinza em cada pixel. Os filtros consideram a sua vizinhança para o cálculo.

Tipos de filtros:

Passa-baixa atenua as altas frequências que estão relacionadas com a informação de detalhes da imagem

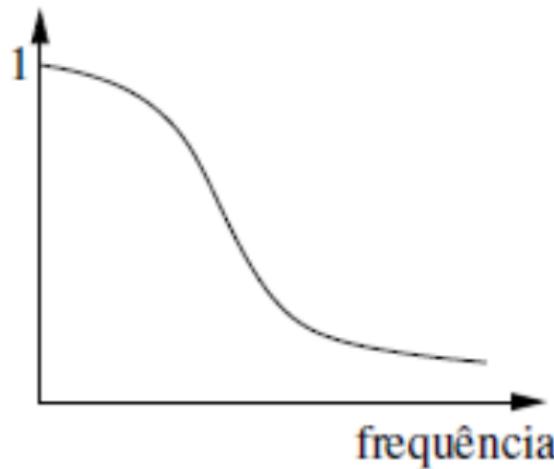
Passa-alta realça as altas frequências e são normalmente usados para realçar os detalhes na imagem

Passa-faixa seleciona um intervalo de frequências do sinal para ser realçado

Realce de Imagens

Filtragem de Imagens: filtros passa-baixa

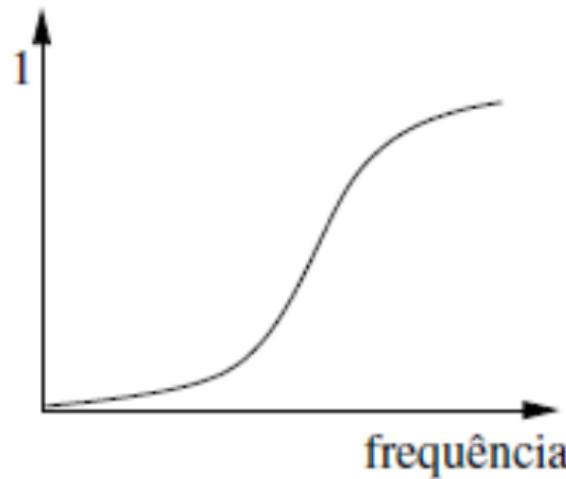
- O efeito visual de um filtro passa-baixas é o de suavização da imagem, uma vez que as altas frequências, que correspondem às transições abruptas, são atenuadas. A suavização tende também, pelas mesmas razões, a minimizar o efeito do ruído em imagens



Realce de Imagens

Filtragem de Imagens: filtros passa-alta

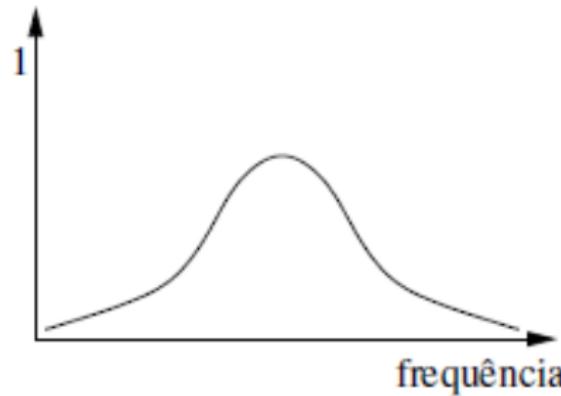
- O efeito obtido é, em geral, o de tornar mais nítidas as transições entre regiões diferentes, conhecidas como bordas. Um efeito indesejado desses filtros é o de enfatizar o ruído presente na imagem



Realce de Imagens

Filtragem de Imagens: filtros passa-faixa

- O efeito obtido é, em geral, é a ênfase de uma faixa de valores de interesse



Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial

Domínio Espacial refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de pixels que compõe uma imagem.

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial

Domínio Espacial refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de pixels que compõe uma imagem.

- O valor do nível de cinza em um ponto $f(x, y)$ é o resultado da computação de sua vizinhança e da distância dos vizinhos ao ponto de interesse = pontos próximos influenciam mais que os distantes

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial

Domínio Espacial refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de pixels que compõe uma imagem.

- O valor do nível de cinza em um ponto $f(x, y)$ é o resultado da computação de sua vizinhança e da distância dos vizinhos ao ponto de interesse = pontos próximos influenciam mais que os distantes
- Dois tipos de filtros no domínio espacial: *lineares* e *não-lineares*

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial

Domínio Espacial refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de pixels que compõe uma imagem.

- O valor do nível de cinza em um ponto $f(x, y)$ é o resultado da computação de sua vizinhança e da distância dos vizinhos ao ponto de interesse = pontos próximos influenciam mais que os distantes
- Dois tipos de filtros no domínio espacial: *lineares* e *não-lineares*
- A matriz que influencia os valores de um pixel no filtro é denominado **máscara**. Cada posição na máscara é denominado *peso* ou *coeficiente*

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial

Domínio Espacial refere-se ao próprio plano da imagem, ou seja, ao conjunto de pixels que compõe uma imagem.

- O valor do nível de cinza em um ponto $f(x, y)$ é o resultado da computação de sua vizinhança e da distância dos vizinhos ao ponto de interesse = pontos próximos influenciam mais que os distantes
- Dois tipos de filtros no domínio espacial: *lineares* e *não-lineares*
- A matriz que influencia os valores de um pixel no filtro é denominado **máscara**. Cada posição na máscara é denominado *peso* ou *coeficiente*
- O nível de cinza de um pixel é o resultado da média ponderada dos vizinhos em relação aos pesos na máscara

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial: máscara

- Por exemplo: uma máscara 3×3 é denotada por
 $z_i = f(x, y), 1 \leq i \leq 9$

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial: máscara

- Por exemplo: uma máscara 3×3 é denotada por
$$z_i = f(x, y), 1 \leq i \leq 9$$

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

onde w_i representa os coeficientes da máscara

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial: máscara

- Por exemplo: uma máscara 3×3 é denotada por
$$z_i = f(x, y), 1 \leq i \leq 9$$

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

onde w_i representa os coeficientes da máscara

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Realce de Imagens

Filtragem no Domínio Espacial: máscara

- Por exemplo: uma máscara 3×3 é denotada por
$$z_i = f(x, y), 1 \leq i \leq 9$$

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

onde w_i representa os coeficientes da máscara

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- O centro da máscara é posicionado em um pixel P da imagem; a seguir, o valor de P é substituído por R . Finalmente, a máscara é deslocada para o próximo pixel

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- A correlação mais é a *filtragem de média* que, no caso unidimensional temos que o valor do nível de cinza de um pixel é obtida pela média de seus dois vizinhos

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- A correlação mais é a *filtragem de média* que, no caso unidimensional temos que o valor do nível de cinza de um pixel é obtida pela média de seus dois vizinhos
- Seja a imagem unidimensional f representada pelo vetor:

...	5	4	2	3	7	4	6	5	4	6	...
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- A correlação mais é a *filtragem de média* que, no caso unidimensional temos que o valor do nível de cinza de um pixel é obtida pela média de seus dois vizinhos
- Seja a imagem unidimensional f representada pelo vetor:

...	5	4	2	3	7	4	6	5	4	6	...
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

- O cálculo da média para o pixel de valor 3 produzirá o valor 4 que é a média entre 2, 3, e 7. Neste caso considera-se apenas uma janela de tamanho 3

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- A correlação mais é a *filtragem de média* que, no caso unidimensional temos que o valor do nível de cinza de um pixel é obtida pela média de seus dois vizinhos
- Seja a imagem unidimensional f representada pelo vetor:

...	5	4	2	3	7	4	6	5	4	6	...
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

- O cálculo da média para o pixel de valor 3 produzirá o valor 4 que é a média entre 2, 3, e 7. Neste caso considera-se apenas uma janela de tamanho 3
- A filtragem é feita deslocando-se uma máscara de tamanho 3 ($w = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$) pela imagem. Em geral, filtros sempre tem tamanho ímpar para produzir um elemento central

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- A correlação mais é a *filtragem de média* que, no caso unidimensional temos que o valor do nível de cinza de um pixel é obtida pela média de seus dois vizinhos
- Seja a imagem unidimensional f representada pelo vetor:

...	5	4	2	3	7	4	6	5	4	6	...
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

- O cálculo da média para o pixel de valor 3 produzirá o valor 4 que é a média entre 2, 3, e 7. Neste caso considera-se apenas uma janela de tamanho 3
- A filtragem é feita deslocando-se uma máscara de tamanho 3 ($w = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$) pela imagem. Em geral, filtros sempre tem tamanho ímpar para produzir um elemento central

Correlação Unidimensional

$$w.f(x) = \sum_{i=-\lfloor m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} w(i).f(x+i)$$

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

Correlação Bidimensional

$$w.f(x, y) = \sum_{i=\lfloor -m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{j=\lfloor -n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} w(i, j).f(x + i, y + j)$$

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

Correlação Bidimensional

$$w.f(x, y) = \sum_{i=\lfloor -m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{j=\lfloor -n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} w(i, j).f(x + i, y + j)$$

Convolução

$$w * f(x, y) = \sum_{i=\lfloor -m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{j=\lfloor -n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} w(i, j) * f(x - i, y - j)$$

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

Correlação Bidimensional

$$w.f(x, y) = \sum_{i=\lfloor -m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{j=\lfloor -n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} w(i, j).f(x + i, y + j)$$

Convolução

$$w * f(x, y) = \sum_{i=\lfloor -m/2 \rfloor}^{\lfloor m/2 \rfloor} \sum_{j=\lfloor -n/2 \rfloor}^{\lfloor n/2 \rfloor} w(i, j) * f(x - i, y - j)$$

O filtro de convolução consiste na matriz de correlação rotacionada em 180 graus

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- Os pixels na região de borda devem ser tratados de forma diferente por não terem todos os vizinhos

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- Os pixels na região de borda devem ser tratados de forma diferente por não terem todos os vizinhos
- Abordagem tradicional: usar filtros com matrizes quadradas $n \times n$ com n ímpar com valores pequenos (para eficiência computacional)

Realce de Imagens

Correlação e Convolução

- Os pixels na região de borda devem ser tratados de forma diferente por não terem todos os vizinhos
- Abordagem tradicional: usar filtros com matrizes quadradas $n \times n$ com n ímpar com valores pequenos (para eficiência computacional)
- Exemplo: para uma máscara 3×3 em uma imagem 512×512 temos 9 multiplicações e 8 adições para cada pixel, portanto 2.359.596 multiplicações e 2.097.152 adições (**sem considerar ainda as computações para os pixels de borda!!**)

Realce de Imagens

Correlação e Convolução: Exemplo

Seja uma região de uma imagem cujos níveis de cinza são de acordo com a matriz abaixo, e o filtro de convolução w :

137	115	153
177	213	103
115	182	158

-1	0	1
-2	1	2
-1	0	1

Realce de Imagens

Correlação e Convolução: Exemplo

Seja uma região de uma imagem cujos níveis de cinza são de acordo com a matriz abaixo, e o filtro de convolução w :

137	115	153
177	213	103
115	182	158

-1	0	1
-2	1	2
-1	0	1

A correlação para o pixel em questão é dada por:

$$137 \cdot (-1) + 115 \cdot 0 + 153 \cdot 1 + 177 \cdot (-2) + 213 \cdot 1 + 103 \cdot 2 + 115 \cdot (-1) + 182 \cdot 0 + 158 \cdot 1 = 124$$

A convolução é dada por:

$$137 \cdot 1 + 115 \cdot 0 + 153 \cdot (-1) + 177 \cdot 2 + 213 \cdot 1 + 103 \cdot (-2) + 115 \cdot 1 + 182 \cdot 0 + 158 \cdot (-1) = 302$$

Realce de Imagens

Correlação e Convolução: Exercício

- Faça um programa que filtre uma imagem P/B a partir da média da vizinhança-8

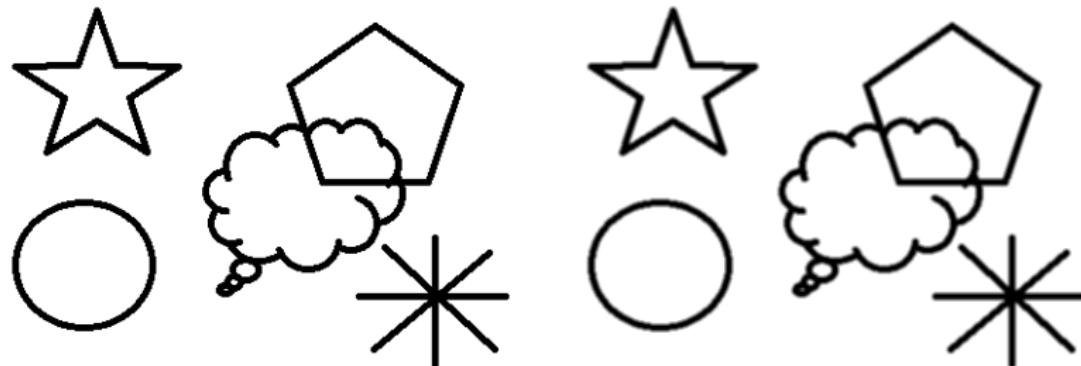
Realce de Imagens

Correlação e Convolução: Exercício

```
1 def Smooth(matriz):
2     size = matriz.shape
3
4     H = size[0]
5     W = size[1]
6
7     mascara = np.ones((3,3))
8
9     suavizado = np.zeros((H,W))
10    for x in range(H):
11        for y in range(W):
12            R = 0
13            components = 0
14            for ix in range(-1,2):
15                for iy in range(-1,2):
16                    if x+ix >= 0 and x+ix < H and y+iy >= 0 and y+iy < W:
17                        R = R + mascara[ix][iy] * matriz[x+ix][y+iy]
18                        components += 1
19            suavizado[x][y] = int(round(R/components))
20
return suavizado
```

Realce de Imagens

Correlação e Convolução: Exercício



Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa

- Filtros passa-baixa produz o efeito de suavização da imagens dado que as altas frequências que correspondem às transições abruptas são atenuadas

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa

- Filtros passa-baixa produz o efeito de suavização da imagens dado que as altas frequências que correspondem às transições abruptas são atenuadas
- Outro efeito desejável dos filtros passa-baixa é a redução do ruído

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa

- Filtros passa-baixa produz o efeito de suavização da imagens dado que as altas frequências que correspondem às transições abruptas são atenuadas
- Outro efeito desejável dos filtros passa-baixa é a redução do ruído
- Por outro lado, este tipo de filtro causa o '*borramento*' das imagens e, desta forma, detalhes finos podem ser removidos da imagem

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa: exemplos

$$h_1 = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_3 = \frac{1}{49} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_4 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_5 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa: exemplos

- $h_1, h_2,$ e h_3 são denominados **filtros de média** ou **filtros-caixa**

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa: exemplos

- $h_1, h_2,$ e h_3 são denominados **filtros de média** ou **filtros-caixa**
- Esse filtro suaviza regiões com variações no nível de cinza e preservam regiões constantes

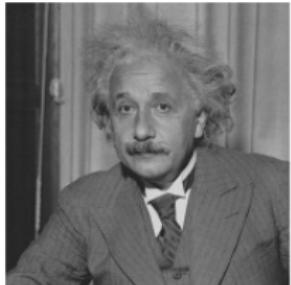
Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa: exemplos

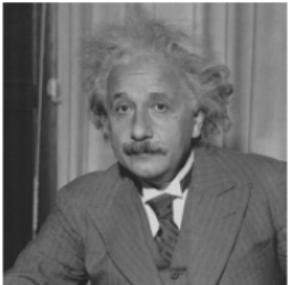
- $h_1, h_2,$ e h_3 são denominados **filtros de média** ou **filtros-caixa**
- Esse filtro suaviza regiões com variações no nível de cinza e preservam regiões constantes
- Os filtros h_4, h_5 representam uma ponderação em função da distância e orientação dos vizinhos

Realce de Imagens

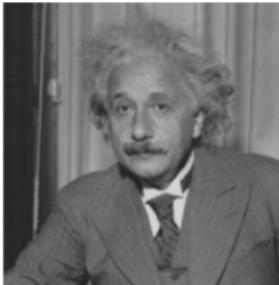
Filtros Passa-baixa: exemplos



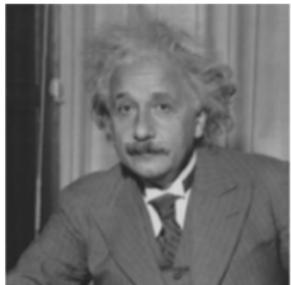
(a) imagem original



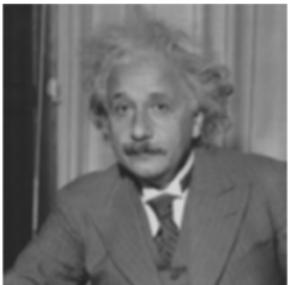
(b) máscara 3×3



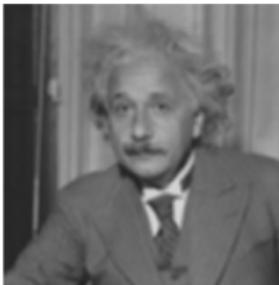
(c) máscara 5×5



(d) máscara 7×7



(e) máscara 9×9



(f) máscara 11×11

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- O processamento com filtros não-lineares procura evitar a suavização homogênea

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- O processamento com filtros não-lineares procura evitar a suavização homogênea
- Um tipo popular de filtro não-linear são os **filtros estatísticos de ordem**

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- O processamento com filtros não-lineares procura evitar a suavização homogênea
- Um tipo popular de filtro não-linear são os **filtros estatísticos de ordem**
- Para uma vizinhança contendo m pixels, estes são ordenados em um conjunto p_1, p_2, \dots, p_m onde $p_i \leq p_{i+1} \quad i = 1, 2, \dots, m - 1$

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- O processamento com filtros não-lineares procura evitar a suavização homogênea
- Um tipo popular de filtro não-linear são os **filtros estatísticos de ordem**
- Para uma vizinhança contendo m pixels, estes são ordenados em um conjunto p_1, p_2, \dots, p_m onde $p_i \leq p_{i+1} \quad i = 1, 2, \dots, m - 1$
- Em imagens monocromáticas, ordena-se em função das intensidades dos pixels. Já nas multibandas, usam-se as cores

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Um filtro não-linear bastante importante é o **filtro da mediana** o qual consiste em se substituir a intensidade de cada pixel pela mediana da vizinhança

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Um filtro não-linear bastante importante é o **filtro da mediana** o qual consiste em se substituir a intensidade de cada pixel pela mediana da vizinhança
- Para uma vizinhança contendo $n \times n$ pixels com n ímpar, a mediana encontra-se na posição $(n^2 + 1)/2$

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Um filtro não-linear bastante importante é o **filtro da mediana** o qual consiste em se substituir a intensidade de cada pixel pela mediana da vizinhança
- Para uma vizinhança contendo $n \times n$ pixels com n ímpar, a mediana encontra-se na posição $(n^2 + 1)/2$
- Este filtro ajuda a reduzir o efeito de ruído impulsivo (sal-e-pimenta)

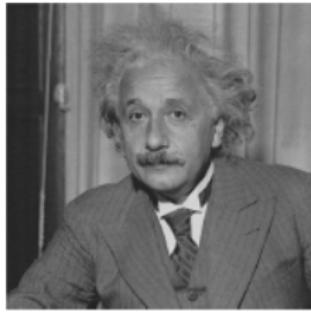
Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

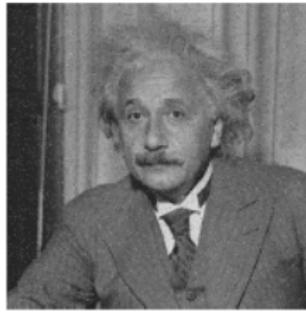
- Um filtro não-linear bastante importante é o **filtro da mediana** o qual consiste em se substituir a intensidade de cada pixel pela mediana da vizinhança
- Para uma vizinhança contendo $n \times n$ pixels com n ímpar, a mediana encontra-se na posição $(n^2 + 1)/2$
- Este filtro ajuda a reduzir o efeito de ruído impulsivo (sal-e-pimenta)
- E ainda, este filtro não introduz valores de níveis de cinza diferentes daqueles contidos na imagem original e, por afetar menos as bordas, pode ser aplicado iterativamente

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

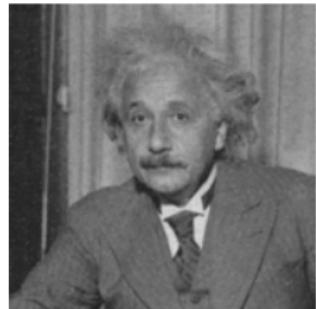


(a) imagem original

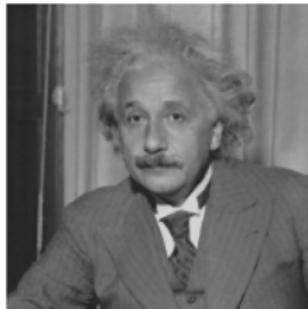


(b) com ruído impul-

sivo



(c) após filtro da
média 5×5



(d) após filtro da me-
diana 5×5

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Outros exemplos de filtros não-lineares são: filtro mínimo, máximo e de moda

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Outros exemplos de filtros não-lineares são: filtro mínimo, máximo e de moda

Mínimo O pixel no centro da máscara é substituído pelo valor mínimo da vizinhança. Desta forma, regiões escuras são aumentadas, dominando as regiões mais claras

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Outros exemplos de filtros não-lineares são: filtro mínimo, máximo e de moda

Mínimo O pixel no centro da máscara é substituído pelo valor mínimo da vizinhança. Desta forma, regiões escuras são aumentadas, dominando as regiões mais claras

Máximo Analogamente, neste filtro o pixel central é substituído pelo valor máximo, dando ênfase nas regiões claras

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

- Outros exemplos de filtros não-lineares são: filtro mínimo, máximo e de moda

Mínimo O pixel no centro da máscara é substituído pelo valor mínimo da vizinhança. Desta forma, regiões escuras são aumentadas, dominando as regiões mais claras

Máximo Analogamente, neste filtro o pixel central é substituído pelo valor máximo, dando ênfase nas regiões claras

Moda seleciona o valor de maior frequência na vizinhança e o substitui no pixel central

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares

15	10	25
20	35	10
35	40	35

original

15	10	25
20	10	10
35	40	35

mínimo

15	10	25
20	40	10
35	40	35

máximo

15	10	25
20	25	10
35	40	35

mediana

15	10	25
20	35	10
35	40	35

moda

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

Filtro Gaussiano

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right)$$

- 1 É um filtro *isotrópico*, ou seja, é simétrico em relação à rotação, o que produz o mesmo resultado em todas as direções

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

Filtro Gaussiano

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right)$$

- ① É um filtro *isotrópico*, ou seja, é simétrico em relação à rotação, o que produz o mesmo resultado em todas as direções
- ② A suavização é feita pela substituição de cada pixel pela média ponderada da vizinhança, sendo que o peso de um vizinho decresce monotonicamente em função da distância ao pixel central

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

Filtro Gaussiano

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right)$$

- ➊ É um filtro *isotrópico*, ou seja, é simétrico em relação à rotação, o que produz o mesmo resultado em todas as direções
- ➋ A suavização é feita pela substituição de cada pixel pela média ponderada da vizinhança, sendo que o peso de um vizinho decresce monotonicamente em função da distância ao pixel central
- ➌ O grau de suavização desse filtro está associado ao parâmetro σ . Quanto maior o seu valor, maior a largura do filtro e a suavização

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

Filtro Gaussiano

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right)$$

- ➊ É um filtro *isotrópico*, ou seja, é simétrico em relação à rotação, o que produz o mesmo resultado em todas as direções
- ➋ A suavização é feita pela substituição de cada pixel pela média ponderada da vizinhança, sendo que o peso de um vizinho decresce monotonicamente em função da distância ao pixel central
- ➌ O grau de suavização desse filtro está associado ao parâmetro σ . Quanto maior o seu valor, maior a largura do filtro e a suavização
- ➍ Gaussianas são separáveis, ou seja, uma convolução Gaussiana pode ser realizada com um filtro unidirecional aplicado 2x ortogonalmente, o que reduz consideravelmente o número de operações utilizadas

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

- Um uso comum de Gaussianas é através da expansão binomial:

$$(a + b)^n = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} a^{n-k} b^k$$

- Os coeficientes da expansão binomial podem ser obtidas pelo *Triângulo de Pascal*:

			1								
				1	1	1					
					1	2	1				
						3	3	1			
							1	1			
								4	1		
									5		
										6	
											1
1	6	15	20	10	10	15	15	6	1		
1											

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

- Uma máscara unidimensional de tamanho n pode ser obtida pela n -ésima linha do triângulo de Pascal

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

- Uma máscara unidimensional de tamanho n pode ser obtida pela n -ésima linha do triângulo de Pascal
- Exemplo:

$$\frac{1}{16} \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ \hline \end{array}$$

é obtida pela quinta linha do triângulo de Pascal dividido pela soma dos coeficientes, ou seja, 2^{n-1}

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

- Uma máscara unidimensional de tamanho n pode ser obtida pela n -ésima linha do triângulo de Pascal
- Exemplo:

$$\frac{1}{16} \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ \hline \end{array}$$

é obtida pela quinta linha do triângulo de Pascal dividido pela soma dos coeficientes, ou seja, 2^{n-1}

- O desvio padrão do filtro Gaussiano é dado por:

$$\sigma = \frac{\sqrt{n - 1}}{2}$$

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

- Para o caso bidimensional, uma máscara para o filtro Gaussiano com $\sigma = 1$, é obtida por duas máscaras unidimensionais (horizontal e vertical):

$$\frac{1}{16} \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ \hline \end{array} = \frac{1}{256} \quad (4)$$

$\frac{1}{16}$ $\frac{1}{16}$ $\frac{1}{16}$

1	4	6	4	1
4	16	24	16	4
6	24	36	24	6
4	16	24	16	4
1	4	6	4	1

Realce de Imagens

Filtros Passa-baixa Não-Lineares: Gaussianos

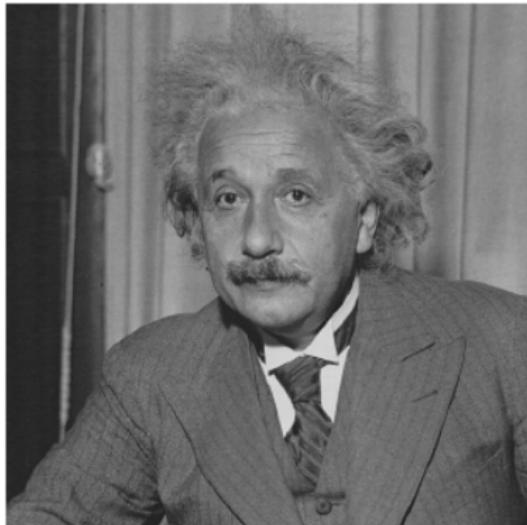


Imagen Original

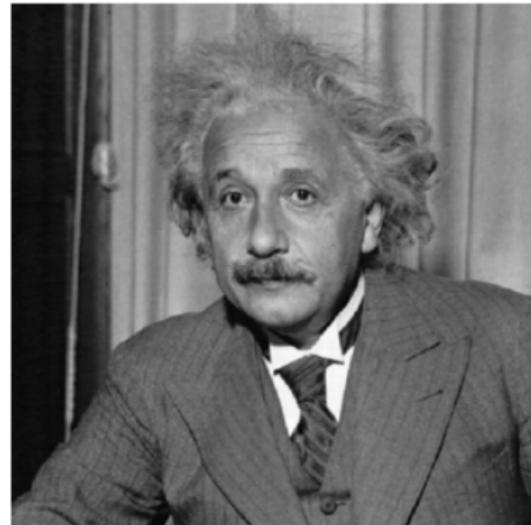


Imagen suavizada por filtro Gaussiano

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- Filtros passa-baixa para redução de ruído podem suprimir linhas finas ou cantos de objetos

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- Filtros passa-baixa para redução de ruído podem suprimir linhas finas ou cantos de objetos
- Motivo: tais filtros não levam em consideração se um pixel está localizado sobre uma borda ou se seus vizinhos apresentam uma orientação específica

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- Filtros passa-baixa para redução de ruído podem suprimir linhas finas ou cantos de objetos
- Motivo: tais filtros não levam em consideração se um pixel está localizado sobre uma borda ou se seus vizinhos apresentam uma orientação específica
- As figuras (a) e (b) abaixo ilustram regiões contendo uma linha vertical e um canto de objeto, tal que a aplicação de um filtro da mediana causaria a supressão de detalhes

0	1	0
0	1	0
0	1	0

(a)

0	0	0
1	1	0
1	1	0

(b)

Realce de Imagens

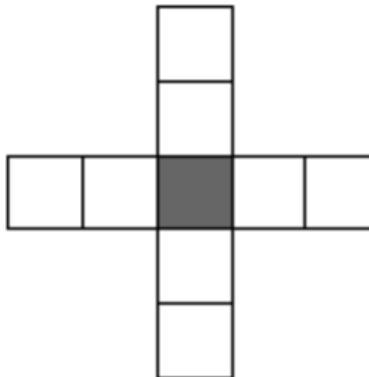
Filtragem com Preservação de Bordas

- Máscaras não retangulares podem ser utilizadas para reduzir o efeito da supressão de determinados detalhes da imagem

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- Máscaras não retangulares podem ser utilizadas para reduzir o efeito da supressão de determinados detalhes da imagem
- O exemplo a seguir, centrado em um pixel de interesse, pode ser utilizado para preservar linhas horizontais e verticais na filtragem mediana

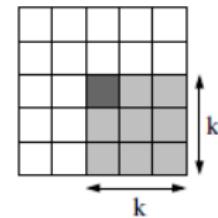
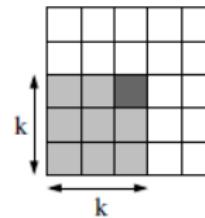
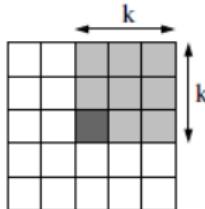
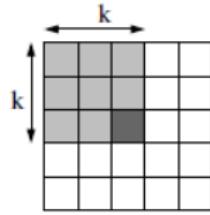


Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

Máscara de Kuwahara

Considera uma região quadrada $(2k - 1)^2$ ao redor do pixel (x, y)
Essa região é subdividida em quatro janelas de $k \times k$ pixels



Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- A variância dos níveis de cinza é calculada para cada janela

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- A variância dos níveis de cinza é calculada para cada janela
- O valor de cada pixel (x, y) é substituído pela média dos níveis de cinza da janela de variância mínima

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- A variância dos níveis de cinza é calculada para cada janela
- O valor de cada pixel (x, y) é substituído pela média dos níveis de cinza da janela de variância mínima
- A ideia é que regiões que contém bordas possuem variância mais alta do que regiões homogêneas

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas

- A variância dos níveis de cinza é calculada para cada janela
- O valor de cada pixel (x, y) é substituído pela média dos níveis de cinza da janela de variância mínima
- A ideia é que regiões que contém bordas possuem variância mais alta do que regiões homogêneas

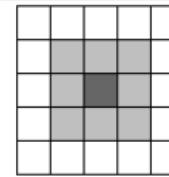
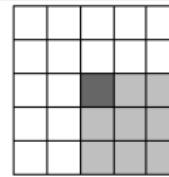
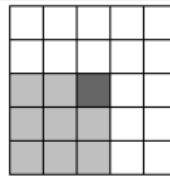
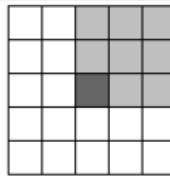
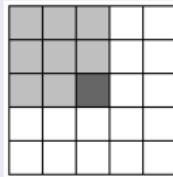
Algoritmo

- ① **for** cada pixel $f(x, y)$ **do**
- ② calcular variância de cada máscara do conjunto sobre o pixel $f(x, y)$
- ③ escolher a máscara de variância mínima
- ④ atribuir ao pixel $f(x, y)$ a intensidade média da máscara selecionada

Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas: variantes

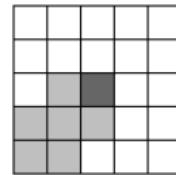
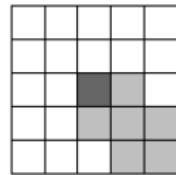
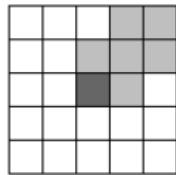
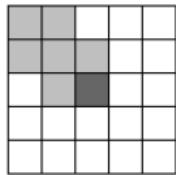
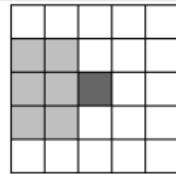
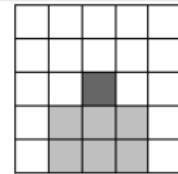
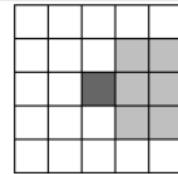
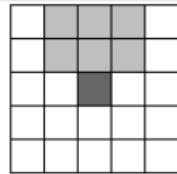
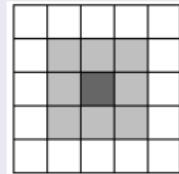
Máscaras de Tomita e Tsuji



Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas: variantes

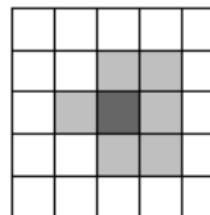
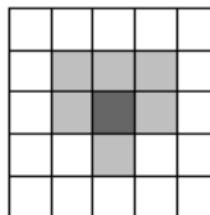
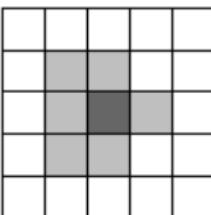
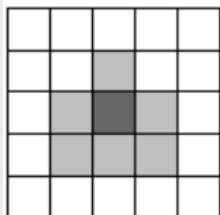
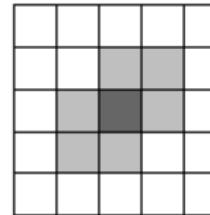
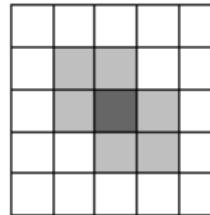
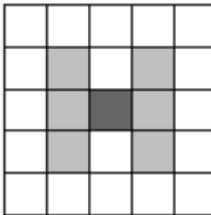
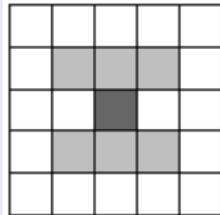
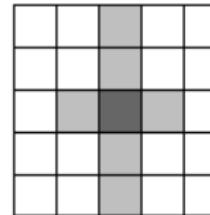
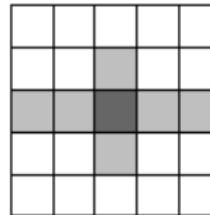
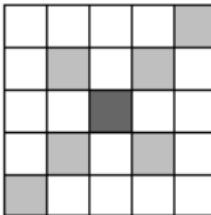
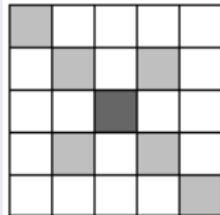
Máscaras de Nagao e Matsuyama



Realce de Imagens

Filtragem com Preservação de Bordas: variantes

Máscaras de Somboonkaew



Realce de Imagens

Filtragem Passa-Alta

- Usados para realçar áreas como bordas, linhas ou regiões de interesse

Realce de Imagens

Filtragem Passa-Alta

- Usados para realçar áreas como bordas, linhas ou regiões de interesse

Exemplos:

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Realce de Imagens

Filtragem Passa-Alta

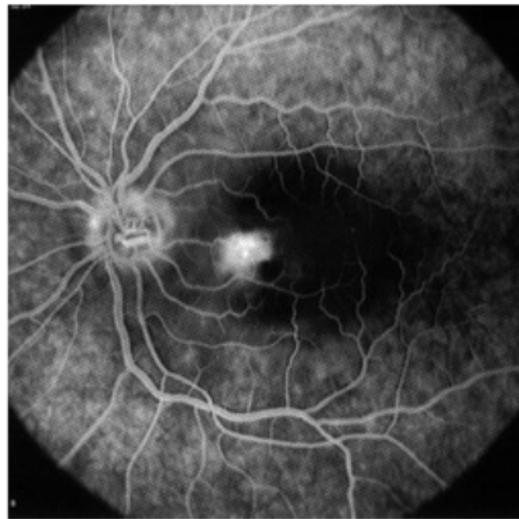
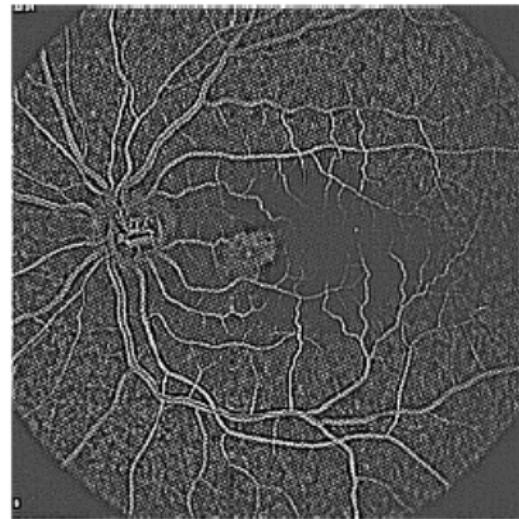


Imagen original



Filtro Passa-alta

Realce de Imagens

Realce de Imagem baseado em Cores

Transformação pseudocor

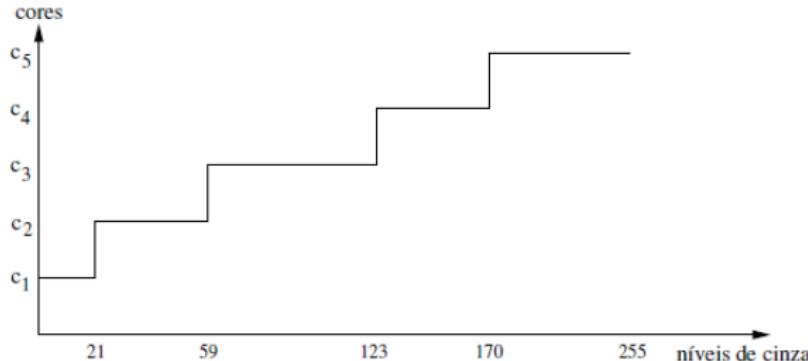
Também chamada de *fatiamento por densidade*, converte níveis de cinza em uma imagem colorida através do mapeamento de um nível de cinza (ou faixa de níveis) em uma cor

Realce de Imagens

Realce de Imagem baseado em Cores

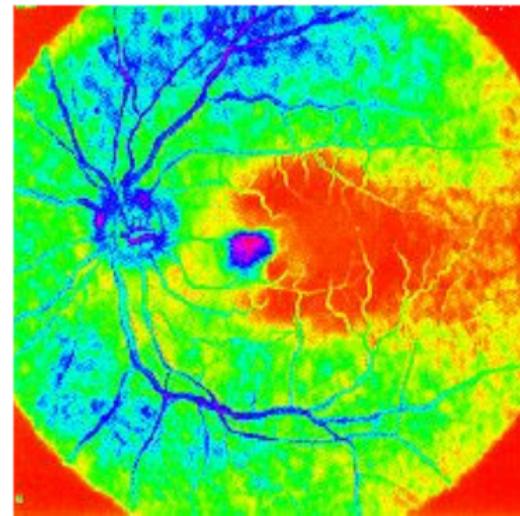
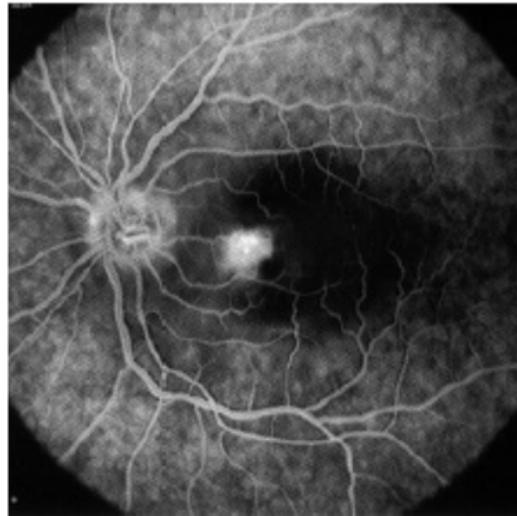
Transformação pseudocor

Também chamada de *fatiamento por densidade*, converte níveis de cinza em uma imagem colorida através do mapeamento de um nível de cinza (ou faixa de níveis) em uma cor



Realce de Imagens

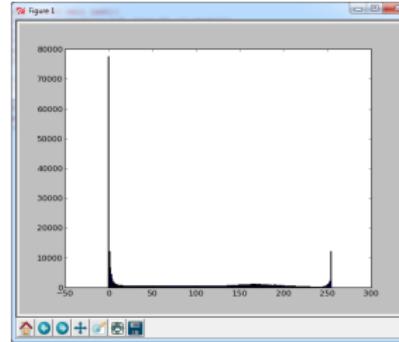
Realce de Imagem baseado em Cores



Realce de Imagens

Realce de Imagem baseado em Cores: exercício

- Implementar uma função para realce por fatiamento por densidade para imagens em tons de cinza
- A função pseudocor deve receber (além do nome do arquivo da imagem), um vetor de tuplas na forma ($lvl, [r, g, b]$) onde lvl representa um nível de cinza e $[r, g, b]$ a pseudocor a ser utilizada no fatiamento
- Exemplo:
`pseudocor("r-x.jpg", [(20, [0,0,0]), (128, [255,0,0]), (230, [255,255,0]), (255, [0,255,0])])`



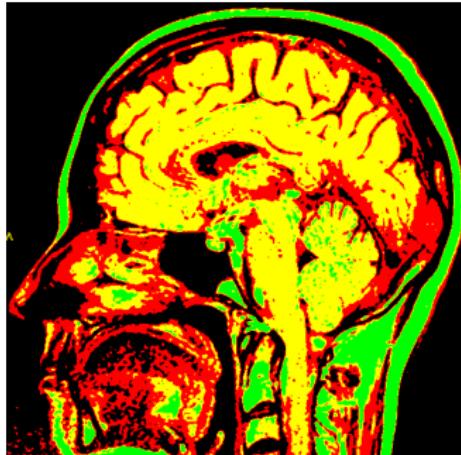
Realce de Imagens

Realce de Imagem baseado em Cores: exercício

```
1 import scipy . misc
2
3 path = "imagens/"
4
5 def pseudocor(filename , fatiamento ):
6     imagem = scipy.misc.imread(filename)
7     H,W = imagem.shape
8
9     resultado = []
10    for i in range(H):
11        row = []
12        for j in range(W):
13            for fatia in fatiamento:
14                if imagem[i][j] <= fatia [0]:
15                    row.append(fatia [1])
16                    break
17            resultado . append(row)
18
19    scipy . misc.imsave(path+r-x-color.png",resultado)
20
21 # -----
22
23 pseudocor(path+r-x.jpg", [(20,[0,0,0]), (128, [255,0,0]), (230, [255,255,0]), (255, [0,255,0])])
```

Realce de Imagens

Realce de Imagem baseado em Cores: exercício



Realce de Imagens

Realce por Falsa Cor

- A mesma técnica da *pseudocor* também pode ser utilizada para imagens coloridas RGB

Realce de Imagens

Realce por Falsa Cor

- A mesma técnica da *pseudocor* também pode ser utilizada para imagens coloridas RGB
- Neste caso, as cores originais da imagem são substituídas por um conjunto pré-definido de cores, desta forma aumentando-se o realce de regiões de interesse da imagem

Realce de Imagens

Realce por Falsa Cor

- A mesma técnica da *pseudocor* também pode ser utilizada para imagens coloridas RGB
- Neste caso, as cores originais da imagem são substituídas por um conjunto pré-definido de cores, desta forma aumentando-se o realce de regiões de interesse da imagem
- Um exemplo disso é apresentado abaixo em uma imagem de satélite:



Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

- Se tentassemos converter uma cor no modelo RGB para seu correspondente tom de cinza usando a média aritmética de seus componentes

$$Lvl_{gray} = \frac{R + G + B}{3}$$

apesar do aparente sucesso, o resultado estaria um tanto deslocado da realidade

Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

- Se tentassemos converter uma cor no modelo RGB para seu correspondente tom de cinza usando a média aritmética de seus componentes

$$Lvl_{gray} = \frac{R + G + B}{3}$$

apesar do aparente sucesso, o resultado estaria um tanto deslocado da realidade

- Isso se deve porque o olho humano percebe a luz através de células fotoreceptoras denominadas cones e bastonetes

Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

- Se tentassemos converter uma cor no modelo RGB para seu correspondente tom de cinza usando a média aritmética de seus componentes

$$Lvl_{gray} = \frac{R + G + B}{3}$$

apesar do aparente sucesso, o resultado estaria um tanto deslocado da realidade

- Isso se deve porque o olho humano percebe a luz através de células fotoreceptoras denominadas cones e bastonetes
- Os bastonetes percebem a **luminância** (quantidade de luz refletida); já os cones percebem as diferentes frequências de luz, ou seja, as **cores** (vermelho, verde e azul) porém são mais eficientes para identificar as altas frequências (vermelho > verde > azul)

Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

- Se tentassemos converter uma cor no modelo RGB para seu correspondente tom de cinza usando a média aritmética de seus componentes

$$Lvl_{gray} = \frac{R + G + B}{3}$$

apesar do aparente sucesso, o resultado estaria um tanto deslocado da realidade

- Isso se deve porque o olho humano percebe a luz através de células fotoreceptoras denominadas cones e bastonetes
- Os bastonetes percebem a **luminância** (quantidade de luz refletida); já os cones percebem as diferentes frequências de luz, ou seja, as **cores** (vermelho, verde e azul) porém são mais eficientes para identificar as altas frequências (vermelho > verde > azul)
- Uma fórmula mais adequada para converter RGB em tons de cinza leva essas questões em consideração:

$$Lvl_{gray} = R \times \frac{299}{1000} + G \times \frac{587}{1000} + B \times \frac{114}{1000}$$

Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

```
1 from PIL import Image  
2 path = "Imagens/"  
3 img = Image.open(path+'nature.jpg').convert('L')  
4 img.save(path+'nature-PB.jpg')
```

Realce de Imagens

Conversão RGB → Tons de Cinza

```
1 from PIL import Image  
2 path = "Imagens/"  
3 img = Image.open(path+'nature.jpg').convert('L')  
4 img.save(path+'nature-PB.jpg')
```



Segmentação de Imagens

Segmentação

Particiona o conjunto de dados em estruturas com conteúdo semântico relevante ao domínio de aplicação

Segmentação de Imagens

Segmentação

Particiona o conjunto de dados em estruturas com conteúdo semântico relevante ao domínio de aplicação

- Propriedades geométricas e topológicas como área, forma e textura

Segmentação de Imagens

Segmentação

Particiona o conjunto de dados em estruturas com conteúdo semântico relevante ao domínio de aplicação

- Propriedades geométricas e topológicas como área, forma e textura
- O processo de análise de imagens é considerado:

Supervisionado quando se dispõe de informações que permitem a identificação de uma ou mais classes de interesse

Segmentação de Imagens

Segmentação

Particiona o conjunto de dados em estruturas com conteúdo semântico relevante ao domínio de aplicação

- Propriedades geométricas e topológicas como área, forma e textura
- O processo de análise de imagens é considerado:

Supervisionado quando se dispõe de informações que permitem a identificação de uma ou mais classes de interesse

Não-Supervisionado quando a região é associada a uma classe que é aprendida com base na similaridade entre amostras de treinamento

Segmentação de Imagens

- Segmentação de imagens se baseia convencionalmente em se detectar propriedades básicas dos níveis de cinza:

Segmentação de Imagens

- Segmentação de imagens se baseia convencionalmente em se detectar propriedades básicas dos níveis de cinza:

Descontinuidades procuram mudanças abruptas nos níveis de cinza, caracterizadas por pontos isolados, linhas ou bordas

Segmentação de Imagens

- Segmentação de imagens se baseia convencionalmente em se detectar propriedades básicas dos níveis de cinza:

Descontinuidades procuram mudanças abruptas nos níveis de cinza, caracterizadas por pontos isolados, linhas ou bordas

Similaridades procuram agrupar pontos que apresentam valores similares para um dado conjunto

Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades

- Tipos básicos de descontinuidades: pontos, segmentos de retas, junções e bordas

Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades

- Tipos básicos de descontinuidades: pontos, segmentos de retas, junções e bordas
- Uma maneira de se detectar descontinuidades é através da varredura da imagem por máscaras de convolução

Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades

- Tipos básicos de descontinuidades: pontos, segmentos de retas, junções e bordas
- Uma maneira de se detectar descontinuidades é através da varredura da imagem por máscaras de convolução
- Exemplo: máscara 3×3

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades

- Tipos básicos de descontinuidades: pontos, segmentos de retas, junções e bordas
- Uma maneira de se detectar descontinuidades é através da varredura da imagem por máscaras de convolução
- Exemplo: máscara 3×3

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- O valor R em um dado ponto da imagem é dado por:

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i \quad (5)$$

onde z_i é o nível de cinza e w_i o coeficiente da máscara

Segmentação de Imagens

Detecção de Descontinuidades

- Tipos básicos de descontinuidades: pontos, segmentos de retas, junções e bordas
- Uma maneira de se detectar descontinuidades é através da varredura da imagem por máscaras de convolução
- Exemplo: máscara 3×3

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

- O valor R em um dado ponto da imagem é dado por:

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i \quad (5)$$

onde z_i é o nível de cinza e w_i o coeficiente da máscara

- Para pixels na fronteira usa-se vizinhanças parciais

Segmentação de Imagens

Detecção de Pontos

- A detecção de pontos isolados é dado por:

$$h = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Pontos

- A detecção de pontos isolados é dado por:

$$h = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

- Um ponto é detectado se

$$|R| > T$$

em que T é um limiar não-negativo e R é dado pela equação 5

Segmentação de Imagens

Detecção de Retas

- Para imagens com fundo constante temos as seguintes máscaras de segmentação:

$$h_{hor} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline 2 & 2 & 2 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array} \quad h_{45^\circ} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & 2 \\ \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline 2 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$h_{vert} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline \end{array} \quad h_{135^\circ} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 2 & -1 \\ \hline -1 & -1 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Retas

```
1 import numpy as np
2 import scipy .misc
3 from PIL import Image
4
5 maskV = [[-1,2,-1],[-1,2,-1],[-1,2,-1]] #vertical
6 maskH = [[-1,-1,-1],[2,2,2],[-1,-1,-1]] #horizontal
7
8 def Segmenta(imagem, mascara, T):
9     shape = imagem.shape
10    resultado = []
11    for L in range(shape [0]):
12        row = []
13        for C in range(shape [1]):
14            R = 0
15            for y in range(-1,2):
16                for x in range(-1,2):
17                    if L+y>=0 and L+y<shape[0] and C+x>=0 and C+x<shape[1]:
18                        R += imagem[L+y][C+x] * mascara[y+1][x+1]
19                    if abs(R) > T:
20                        row.append(255)
21                    else:
22                        row.append(0)
23                resultado.append(row)
24    return np.array( resultado )
```

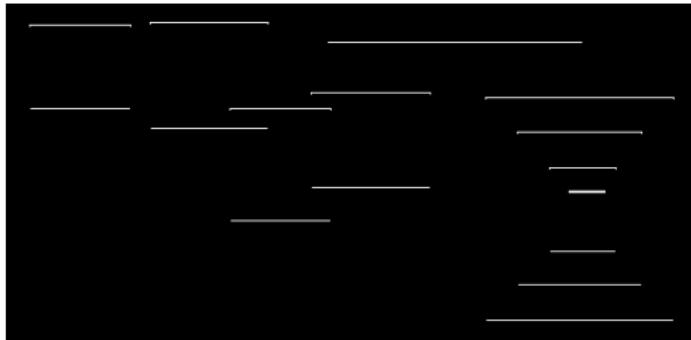
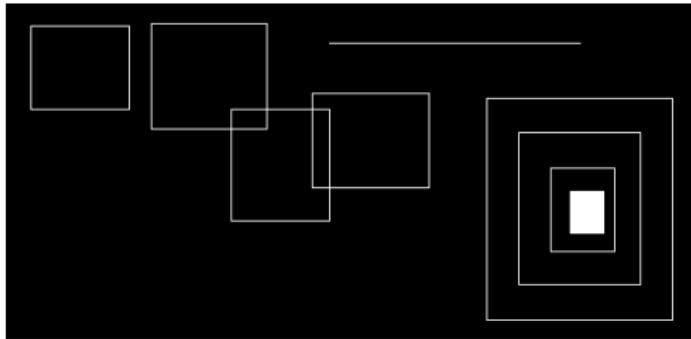
Segmentação de Imagens

Detecção de Retas

```
26 imagem = np.array(Image.open('images/shapes.png').convert('L'))  
27 resH = Segmenta(imagem,maskH,400)  
28 scipy.misc.imsave("imagens/shapes-seg.png", resH)
```

Segmentação de Imagens

Detecção de Retas



Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Uma borda é o limite entre duas regiões relativamente distintas em níveis de cinza

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Uma borda é o limite entre duas regiões relativamente distintas em níveis de cinza
- A detecção é feita do cálculo de um operador local diferencial → derivadas parciais

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Uma borda é o limite entre duas regiões relativamente distintas em níveis de cinza
- A detecção é feita do cálculo de um operador local diferencial → derivadas parciais
- A derivada primeira é positiva nas transições de uma região escura para um região clara; negativa nas transições de regiões clara para escuras e nula para regiões constantes

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Uma borda é o limite entre duas regiões relativamente distintas em níveis de cinza
- A detecção é feita do cálculo de um operador local diferencial → derivadas parciais
- A derivada primeira é positiva nas transições de uma região escura para um região clara; negativa nas transições de regiões clara para escuras e nula para regiões constantes
- A derivada segunda é positiva na parte escura da transição, negativa na parte clara e nula na região constante

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operador **gradiente** é um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operador **gradiente** é um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação
- A derivada primeira é obtida pela magnitude do gradiente em um ponto da imagem

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operador **gradiente** é um vetor cuja direção indica os locais nos quais os níveis de cinza sofrem maior variação
- A derivada primeira é obtida pela magnitude do gradiente em um ponto da imagem
- A derivada segunda é obtida pelo operador **laplaciano** no ponto

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Entradas: imagem f com dimensões $M \times N$ e um limiar T

Algoritmo do Gradiente

```
1 for x in range(M):  
2     for y in range(N):  
3          $\nabla f(x, y) = \sqrt{(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f(x, y)}{\partial y})^2}$   
4         if( $\nabla f(x, y) > T$ ):  
5             (x, y) é um ponto de borda
```

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Entradas: imagem f com dimensões $M \times N$ e um limiar T

Algoritmo do Gradiente

- ① for x in range(M):
- ② for y in range(N):
- ③ $\nabla f(x, y) = \sqrt{(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f(x, y)}{\partial y})^2}$
- ④ if($\nabla f(x, y) > T$):
- ⑤ (x, y) é um ponto de borda

- Mudanças na intensidade podem ser detectadas pela diferença entre pixels adjacentes

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Entradas: imagem f com dimensões $M \times N$ e um limiar T

Algoritmo do Gradiente

- ① for x in range(M):
- ② for y in range(N):
- ③ $\nabla f(x, y) = \sqrt{(\frac{\partial f(x, y)}{\partial x})^2 + (\frac{\partial f(x, y)}{\partial y})^2}$
- ④ if($\nabla f(x, y) > T$):
- ⑤ (x, y) é um ponto de borda

- Mudanças na intensidade podem ser detectadas pela diferença entre pixels adjacentes
- Bordas *verticais* são detectadas pela diferença horizontal e bordas *horizontais* pela diferença vertical

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- A magnitude do gradiente da imagem em um dado ponto (x, y) pode ser aproximado pela equação:

$$\nabla f \approx \sqrt{[f(x, y) - f(x + 1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y + 1)]^2}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- A magnitude do gradiente da imagem em um dado ponto (x, y) pode ser aproximado pela equação:

$$\nabla f \approx \sqrt{[f(x, y) - f(x + 1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y + 1)]^2}$$

- Operadores de Prewitt:

$$G_x = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$G_y = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de *Sobel*:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

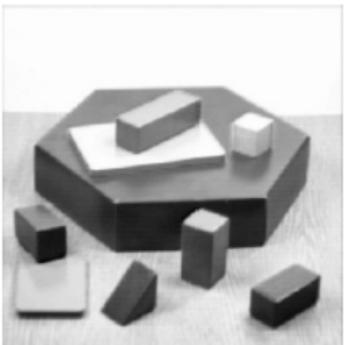
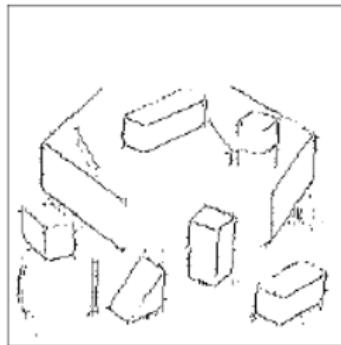
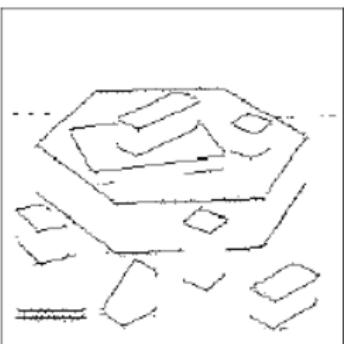


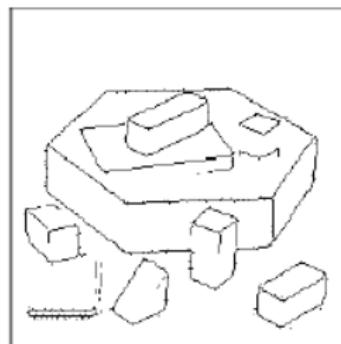
Imagen original



Resultado de Gx



Resultado de Gy



Resultado de Gx+Gy

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de Kirsch:

5	-3	-3
5	0	-3
5	-3	-3

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

-3	-3	-3
-3	0	5
-3	5	5

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

-3	5	5
-3	0	5
-3	-3	-3

5	5	5
-3	0	-3
-3	-3	-3

5	5	-3
5	0	-3
-3	-3	-3

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de Kirsch:

5	-3	-3
5	0	-3
5	-3	-3

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

-3	-3	-3
-3	0	-3
5	5	5

-3	-3	-3
-3	0	5
-3	5	5

-3	-3	5
-3	0	5
-3	-3	5

-3	5	5
-3	0	5
-3	-3	-3

5	5	5
-3	0	-3
-3	-3	-3

5	5	-3
5	0	-3
-3	-3	-3

- O cálculo da magnitude do gradiente neste caso é obtido pela maior resposta quando se aplica cada uma das oito máscaras

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de *Robinson*:

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de *Robinson*:

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

- Analogamente às máscaras de Kirsch, usa-se a maior resposta da aplicação de cada uma das oito máscaras

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de *Frei-Chen*:

$$M_1 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & \sqrt{2} & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_3 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & -1 & \sqrt{2} \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline -\sqrt{2} & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$M_4 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \sqrt{2} & -1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & -\sqrt{2} \\ \hline \end{array}$$

$$M_5 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$M_6 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_7 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline -2 & 4 & -2 \\ \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_8 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -2 & 1 & -2 \\ \hline 1 & 4 & 1 \\ \hline -2 & 1 & -2 \\ \hline \end{array}$$

$$M_9 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas

- Operadores de *Frei-Chen*:

$$M_1 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & \sqrt{2} & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_2 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_3 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & -1 & \sqrt{2} \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline -\sqrt{2} & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$M_4 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \sqrt{2} & -1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 1 & -\sqrt{2} \\ \hline \end{array}$$

$$M_5 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline -1 & 0 & -1 \\ \hline 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array}$$

$$M_6 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_7 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline -2 & 4 & -2 \\ \hline 1 & -2 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$M_8 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -2 & 1 & -2 \\ \hline 1 & 4 & 1 \\ \hline -2 & 1 & -2 \\ \hline \end{array}$$

$$M_9 = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

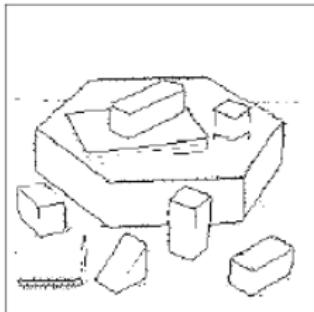
- As máscaras M_1 a M_4 são utilizadas para detecção de bordas, M_5 a M_8 detectam retas, M_9 representa a média dos pixels numa região 3×3

Segmentação de Imagens

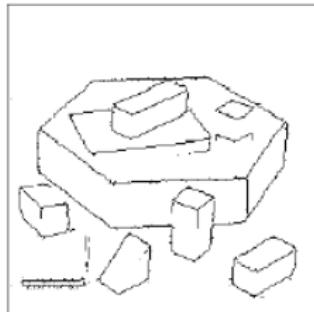
Detecção de Bordas



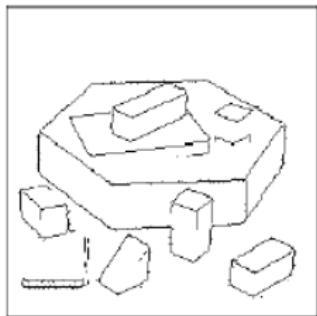
(a) imagem original



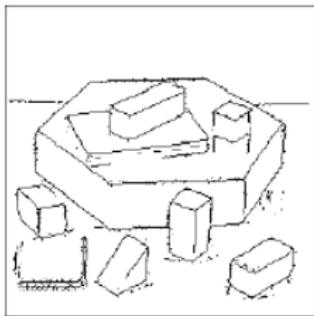
(b) Roberts



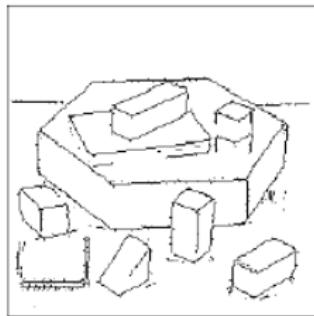
(c) Prewitt



(d) Sobel



(e) Kirsch



(f) Frei-Chen

Segmentação de Imagens

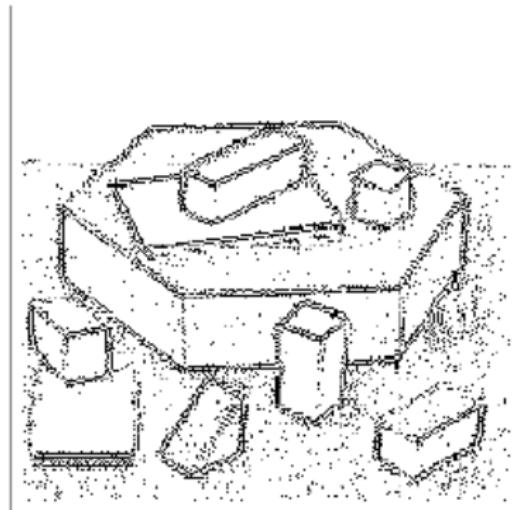
Detecção de Bordas

- Operadores *Laplaciano*:

$$h_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Segmentação de Imagens

Detecção de Bordas



Morfologia Matemática

Próxima Seção

Em Construção [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]