

COM 3105

Processamento Digital de Imagens

LN01 - 2023

Introdução ao Processamento Digital de Imagens

Prof. Eng. Marcos Cordeiro d'Ornellas, Ph.D.

Revisado em 26.03.2023

1 Introdução

Desde o início da IA, o processamento de imagens a ser incorporado em sistemas inteligentes é um projeto perene para as pessoas que trabalham nele. Em sua fase inicial, exigia muita entrada manual, fornecendo instruções aos computadores, para obter alguma saída. Essas máquinas, ou conhecidas como Sistemas Especialistas, foram treinadas para reconhecer imagens.

De acordo com o Gartner em 2021, o número total de adotantes de IA em diferentes setores aumentou 270% nos últimos 4 anos.

Queremos que as máquinas façam mais do que apenas reconhecer imagens. Com o avanço da Inteligência Artificial, os engenheiros ajudam a projetar softwares que podem representar a capacidade humana de observar, entender, reconhecer e descrever o conteúdo de fotos e vídeos com grande precisão.

O aprendizado profundo teve um tremendo impacto em vários campos da tecnologia nos últimos anos. Um dos tópicos mais quentes desse setor é a visão computacional, a capacidade dos computadores de entender imagens e vídeos por conta própria. Carros autônomos, biometria e reconhecimento facial dependem da visão computacional para funcionar. No centro da visão computacional está o processamento de imagens.

1.1 O que é uma imagem?

Antes de entrarmos no processamento de imagens, precisamos primeiro entender o que exatamente constitui uma imagem. Uma imagem bidimensional é representada por suas dimensões (altura e largura) com base no número de pixels. Por exemplo, se as dimensões de uma imagem forem 500 x 400 (largura x altura), o número total de pixels na imagem será 200.000.

Este pixel é um ponto na imagem que assume uma tonalidade, opacidade ou cor específica. Geralmente é representado em um dos seguintes:

- Tons de cinza - Um pixel é um número inteiro com um valor entre 0 e 255 (0 é completamente preto e 255 é completamente branco).



- RGB - Um pixel é composto por 3 inteiros entre 0 e 255 (os inteiros representam a intensidade do vermelho, verde e azul).
- RGBA - É uma extensão do RGB com um campo alfa adicionado, que representa a opacidade da imagem. O processamento de imagens requer sequências fixas de operações que são executadas em cada pixel de uma imagem. O processador de imagem realiza a primeira sequência de operações na imagem, pixel a pixel. Feito isso, ele começará a executar a segunda operação e assim por diante. O valor de saída dessas operações pode ser calculado em qualquer pixel da imagem.

4



Figura 1: Aplicações com imagens.

1.2 O que é processamento de imagem?

Processamento de imagem é o processo de transformar uma imagem em um formato digital e realizar certas operações para obter algumas informações úteis a partir dela. O sistema de processamento de imagem geralmente trata todas as imagens como sinais 2D ao aplicar certos métodos de processamento de sinal predeterminados.

Existem 2 métodos de processamento de imagem:

- **Processamento de imagem analógico:** que é usado para processar fotografias, impressões e outras cópias impressas de imagens
- **Processamento de imagem digital:** que é usado para manipular imagens digitais com a ajuda de algoritmos complexos

Há cinco tipos principais de processamento de imagem:

- Visualização - Encontre objetos que não são visíveis na imagem
- Reconhecimento - Distinguir ou detectar objetos na imagem
- Nitidez e restauração - Crie uma imagem aprimorada a partir da imagem original
- Reconhecimento de padrões - Meça os vários padrões ao redor dos objetos na imagem
- Recuperação - Navegue e pesquise imagens de um grande banco de dados de imagens digitais semelhantes à imagem original.

Os objetivos principais do processamento de imagens são:

- Representar dados processados de forma visual pode-se entender, por exemplo, dar uma forma visual a objetos invisíveis.
- Para melhorar a qualidade da imagem processada, a nitidez e a restauração da imagem funcionam bem.
- A convalescença de imagens ajuda na busca de imagens.
- Ajuda a medir objetos na imagem.
- Com o reconhecimento de padrões, fica fácil classificar objetos na imagem, localizar sua posição e obter uma compreensão geral da cena.

1.3 Processamento de Imagens *versus* Análise de Imagens

O processamento de imagens é um subconjunto do domínio eletrônico, onde a imagem é convertida em uma matriz de pequenos inteiros, chamados pixels. Os pixels representam uma quantidade física como a radiação da cena, que é armazenada em uma memória digital e processada por computador ou outro hardware digital. O processamento digital de imagens oferece vantagens em custo, velocidade e flexibilidade e, com a rápida queda do preço e o aumento do desempenho dos computadores pessoais, tornou-se o método dominante.

A análise de imagens produz informações em menor quantidade, mas mais refinadas do que uma imagem, como a posição e a orientação de um objeto. Em muitos casos, a saída é uma decisão de aceitação/rejeição – a menor quantidade de informação, mas talvez o maior refinamento. O comportamento de saída e a velocidade de execução são difíceis e às vezes impossíveis de caracterizar. Os algoritmos de análise de imagem geralmente são a propriedade intelectual mais importante de um fornecedor.

6

Image Processing | Image Analysis

What's the difference?

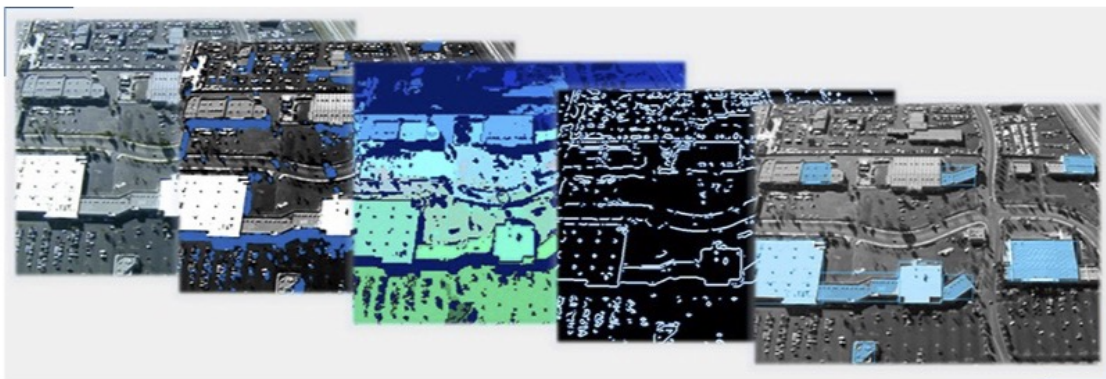


Figura 2: Processamento de imagens e Análise de imagens.

1.4 Etapas Fundamentais de Processamento de

Imagem

Aquisição de imagem

A aquisição de imagens é o primeiro passo no processamento de imagens. Esta etapa também é conhecida como pré-processamento no processamento de imagens. Envolve recuperar a imagem de uma fonte, geralmente uma fonte baseada em hardware.

Melhoria de imagem

O aprimoramento de imagem é o processo de destacar e destacar certos recursos de interesse em uma imagem que foi obscurecida. Isso pode envolver a alteração do brilho, contraste, etc.

Restauração de imagem

A restauração de imagens é o processo de melhorar a aparência de uma imagem. No entanto, ao contrário do aprimoramento da imagem, a restauração da imagem é feita usando certos modelos matemáticos ou probabilísticos.

Processamento de imagem colorida

O processamento de imagens coloridas inclui várias técnicas de modelagem de cores em um domínio digital. Essa etapa ganhou destaque devido ao uso significativo de imagens digitais pela internet.

Wavelets e Processamento Multiresolução

Wavelets são usadas para representar imagens em vários graus de resolução. As imagens são subdivididas em wavelets ou regiões menores para compressão de dados e para representação piramidal.

Compressão

A compactação é um processo usado para reduzir o armazenamento necessário para salvar uma imagem ou a largura de banda necessária para transmiti-la. Isso é feito principalmente quando a imagem é para uso na Internet.

Processamento morfológico

O processamento morfológico é um conjunto de operações de processamento para transformar imagens com base em suas formas.

Segmentação

A segmentação é uma das etapas mais difíceis do processamento de imagens. Envolve particionar uma imagem em suas partes ou objetos constituintes.

Representação e Descrição

Depois que uma imagem é segmentada em regiões no processo de segmentação, cada região é representada e descrita de uma forma adequada para processamento computacional posterior. A representação trata das características da imagem e das propriedades regionais. A descrição lida com a extração de informações quantitativas que ajudam a diferenciar uma classe de objetos da outra.

Reconhecimento

1.5 Aplicações de Processamento de Imagens

Recuperação de imagens médicas

O processamento de imagens tem sido amplamente utilizado em pesquisas médicas e permitiu planos de tratamento mais eficientes e precisos. Por exemplo, ele pode ser usado para a detecção precoce de câncer de mama usando um algoritmo sofisticado de detecção de nódulo em exames de mama. Como o uso médico exige processadores de imagem altamente treinados, esses aplicativos exigem implementação e avaliação significativas antes de serem aceitos para uso.

Tecnologias de detecção de tráfego

No caso de sensores de tráfego, utilizamos um sistema de processamento de imagens de vídeo ou VIPS. Este consiste em a) um sistema de captura de imagens b) um sistema de telecomunicações ec) um sistema de processamento de imagens. Ao capturar vídeo, um VIPS possui várias zonas de detecção que emitem um sinal de “ligado” sempre que um veículo entra na zona e, em seguida, emitem um sinal de “desligado” sempre que o veículo sai da zona de detecção. Essas zonas de detecção podem ser configuradas para várias faixas e podem ser usadas para detectar o tráfego em uma estação específica.

Além disso, ele pode gravar automaticamente a placa do veículo, distinguir o tipo de veículo, monitorar a velocidade do motorista na estrada e muito mais.

Reconstrução de imagem

O processamento de imagem pode ser usado para recuperar e preencher as partes ausentes ou corrompidas de uma imagem. Isso envolve o uso de sistemas de processamento de imagem que foram treinados extensivamente com conjuntos de dados de fotos existentes para criar versões mais recentes de fotos antigas e danificadas.

Detecção de faces

Uma das aplicações mais comuns de processamento de imagem que usamos hoje é a detecção da face. Ele segue algoritmos de aprendizado profundo onde a máquina é treinada primeiro com os recursos específicos das faces humanas, como o formato do rosto, a distância entre os olhos, etc. Depois de ensinar à máquina esses recursos do rosto humano, ela começará a aceitar todos objetos em uma imagem que se assemelham a um rosto humano. A detecção de rosto é uma ferramenta vital usada em segurança, biometria e até filtros disponíveis na maioria dos aplicativos de mídia social atualmente.

1.6 Benefícios do Processamento de Imagens

A implementação de técnicas de processamento de imagem teve um enorme impacto em muitas organizações de tecnologia. Aqui estão alguns dos benefícios mais úteis do processamento de imagens, independentemente do campo de operação:

- A imagem digital pode ser disponibilizada em qualquer formato desejado (imagem melhorada, raio-x, negativo fotográfico, etc)
- Ajuda a melhorar as imagens para interpretação humana
- As informações podem ser processadas e extraídas de imagens para interpretação de máquina
- Os pixels na imagem podem ser manipulados para qualquer densidade e contraste desejados

- As imagens podem ser armazenadas e recuperadas facilmente
- Permite a fácil transmissão eletrônica de imagens para provedores de terceiros

1.7 GPUs e OpenCL

A **unidade de processamento de gráficos (GPU)** é um circuito eletrônico especializado projetado para manipular e alterar rapidamente a memória para acelerar a criação de imagens em um buffer de quadros destinados a saída a uma exibição. GPUs são usados em sistemas incorporados, telefones celulares, computadores pessoais, estações de trabalho e consolas de jogos. GPUs modernos são muito eficientes em manipular gráficos de computador e processamento de imagens, e sua estrutura altamente paralela os torna mais eficazes do que as CPUs de uso geral.

O **Open Computing Language (OpenCL)** é uma estrutura para escrever programas que são executados em plataformas heterogêneas que consistem em unidades de processamento central (CPUs), Unidades de processamento gráfico (GPUs), processadores de sinal digitais (DSPs), matrizes de portão programáveis de campo (FPGAs) e outros processadores ou aceleradores de hardware.

8

GPUs | OpenCL

What's the difference?



Figura 3: Processamento de imagens e Análise de imagens.

Tendências atuais do processamento de imagens com GPUs

As principais tendências que influenciam o processamento de imagens hoje em dia incluem:

- computação pervasiva e conectividade de baixo custo estão transformando as formas como a ciência e o desenvolvimento são conduzidas;
- poder de processamento massivo é acessível através de “nuvens” de serviços de Internet e computação, fornecendo ferramentas compartilháveis, aplicativos e conteúdo e dados vinculados de forma inteligente. Computação local as capacidades não são mais uma barreira para obter acesso a serviços de computação de classe mundial;
- a ciência pode exigir uma capacidade crescente de coletar, analisar e reutilizar coleções massivas e distribuídas de dados através de processamento de números;
- indivíduos e amadores são cada vez mais capazes de criar e gerenciar informações sofisticadas e conhecimento. Essa “democratização” da ciência e da Internet atrai muito mais pessoas e instituições para os processos de pesquisa e desenvolvimento.

Dados visuais e semânticos

Os dados visuais estão se tornando uma parte importante da nossa vida digital. A maioria das pessoas tem acesso fácil a algum tipo de vídeo ou câmera digital. Esses dados visuais podem ser facilmente carregados na Internet, onde podem ser compartilhados. Em muitos casos, as pessoas também gostariam de imprimir alguns desses dados visuais em papel para uma navegação conveniente. À medida que o tamanho dos dados aumenta e os clientes esperam níveis cada vez melhores de qualidade, o processamento desses dados está se tornando cada vez mais demorado. Para manter o desempenho adequado, os fornecedores de software podem comprometer parte da qualidade ou recorrer a hardwares mais poderosos e caros.

Acreditamos que uma solução melhor pode ser otimizar o código existente para atender às necessidades de desempenho.

2 O Sistema Visual Humano

Os seres humanos são visuais por natureza. Mais de 30% do nosso poder cerebral é dedicado ao processamento de entrada visual e nossas habilidades ópticas vão muito além de simplesmente "ver" o que está na nossa frente. O poder real do nosso sentido mais valioso é como fortemente fatores na tomada de decisões. Nós ativamente interpretamos e avaliamos quase tudo através da lente do visual.

A visualização funciona a partir de uma perspectiva humana porque respondemos e processamos os dados visuais melhor do que qualquer outro tipo de dados. Na verdade, o cérebro humano processa imagens 60.000 vezes mais rápido que o texto, e 90% das informações transmitidas ao cérebro é visual. Como somos visuais por natureza, podemos usar essa habilidade para melhorar o processamento de dados e a eficácia organizacional.

10

Human Beings are Visual by Nature..

A good sensor is worth ten thousand words.

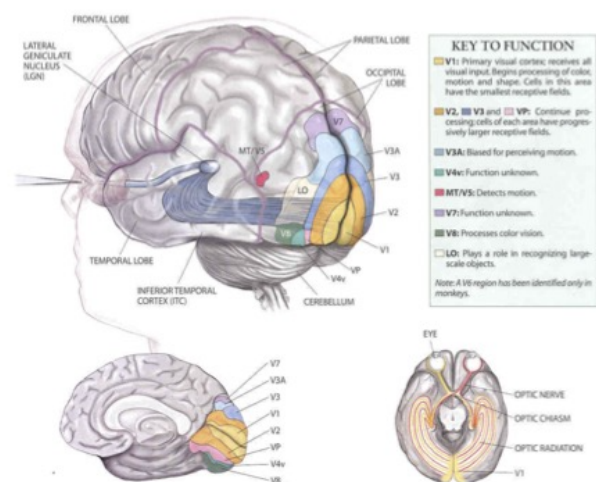
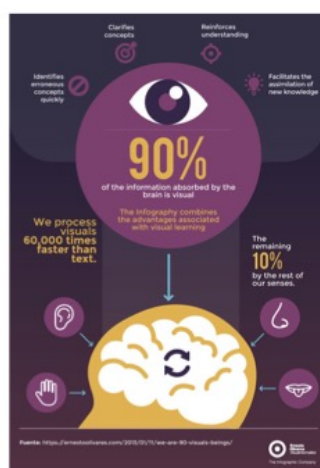


Figura 4: Processamento de imagens e Análise de imagens.

2.1 O Olho Humano

A primeira diferença entre a retina e o sensor da sua câmera é óbvio: a retina é curvada ao longo da superfície traseira do globo ocular, não é plana como o sensor de silicone na câmera. A curvatura tem uma vantagem óbvia: as bordas da retina são aproximadamente a mesma distância da lente como o centro. Em um sensor plano, as bordas estão mais longe da lente e no centro mais próximo. Vantagem Retina - Deve ter melhor "nitidez de canto".

O olho humano também tem muito mais pixels do que sua câmera, cerca de 130 milhões de pixels (você 24- megapixel os proprietários de câmera se sentindo humilde agora?). No entanto, apenas cerca de 6 milhões dos pixels dos olhos são cones (que vêem cor), os restantes 124 milhões apenas vêem preto e branco.

Em um sensor de câmera, cada pixel é definido em um padrão de grade regular. Cada milímetro quadrado do sensor tem exatamente o mesmo número e padrão de pixels. Na retina há uma pequena área central que contém a concentração mais densa de fotorreceptores no olho. A porção central da mácula (a fóvea) é densamente empacotada com apenas células cônicas (sensores de cor). O resto da mácula em torno dessa área central "somente colorida" contém bastonetes e cones. A parte central do nosso campo visual tem muito mais capacidade de resolução do que a melhor câmera. O resto da retina tem muito menos 'pixels', a maioria dos quais são apenas detecção de preto e branco. Ele fornece o que geralmente consideramos "visão periférica", as coisas que vemos "no canto do olho". O campo de visão total do olho humano é de 160 graus, mas fora do cone de atenção visual não podemos realmente reconhecer detalhes, apenas formas amplas e movimentos.

13

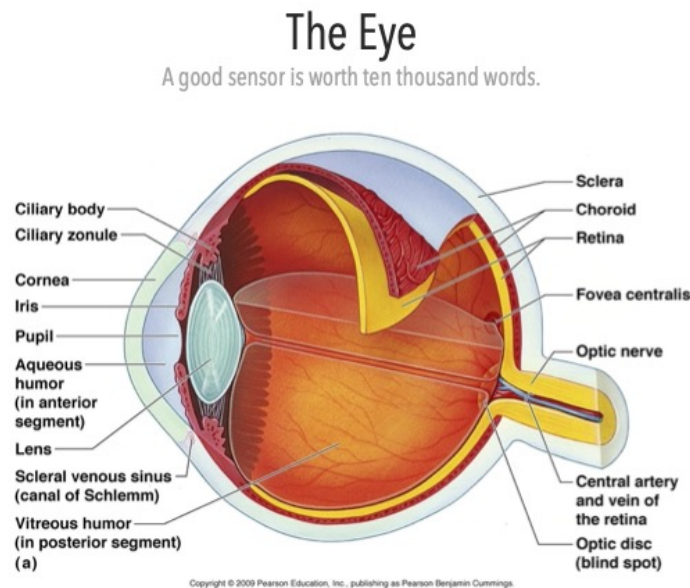


Figura 5: Processamento de imagens e Análise de imagens.

2.2 Limitações da visão humana

Nossos olhos têm limites, então não podemos ver objetos extremamente pequenos sem ajuda. Certas ferramentas, como lupas, microscópios e telescópios, ampliam objetos para que possamos vê-los. Ampliação significa fazer algo parecer maior sem realmente alterar seu tamanho físico. As ferramentas de ampliação usam uma lente especial (ou uma combinação de lentes) para dobrar a luz em um ângulo para

aumentar o tamanho da imagem que é enviada ao olho. À medida que a imagem enviada ao olho por meio da lente aumenta, você vê um objeto com mais facilidade, mesmo que seu tamanho físico não tenha mudado.

Especialistas acreditam que a olho nu – um olho normal com visão regular e sem a ajuda de outras ferramentas – pode ver objetos tão pequenos quanto cerca de 0,1 milímetro. Para colocar isso em perspectiva, as menores coisas que um ser humano geralmente pode ver a olho nu são coisas como

3 A natureza da visão computacional

3.1 Diferenças entre visão computacional, visão de máquina e visão robótica

Os Sistemas de **Visão Computacional** tornaram-se vitais na indústria manufatureira. As crescentes demandas de controle de qualidade de consumidores, fabricantes e regulamentações governamentais tornam imperativa a necessidade da tecnologia de visão de máquina. A Computer Vision aproveita a tecnologia e a experiência para fornecer inspeção e análise automatizadas baseadas em imagem (câmera) para aplicativos como medição, leitura de texto, controle de processo e orientação de robôs.

A **Visão de Máquina** também é conhecida como “visão industrial” ou “sistemas de visão”. O sistema de visão de máquina pode consistir em várias câmeras, às vezes montadas em linhas de montagem para inspecionar produtos, capturar dados, ler rótulos, direcionar o produto e muito mais, tudo sem intervenção humana. Existem quatro aplicações básicas de visão de máquina: inspeção, medição, orientação e identificação.

15

Computer Vision | Machine Vision | Robot Vision

What's the difference?



Figura 6: Processamento de imagens e Análise de imagens.

3.2 Reconhecimento de Padrões

O **reconhecimento de padrões** é um ramo do aprendizado de máquina que se concentra no reconhecimento de padrões e regularidades em dados, embora em alguns casos seja considerado quase sinônimo de aprendizado de máquina. Os sistemas de reconhecimento de padrões são, em muitos casos,

treinados a partir de dados de "treinamento" rotulados (aprendizagem supervisionada), mas quando não há dados rotulados disponíveis, outros algoritmos podem ser usados para descobrir padrões previamente desconhecidos (aprendizagem não supervisionada).

Os termos **reconhecimento de padrões, aprendizado de máquina, mineração de dados e descoberta de conhecimento em bancos de dados (KDD)** são difíceis de separar, pois se sobrepõem **amplamente em seu escopo**. O aprendizado de máquina é o termo comum para métodos de aprendizado supervisionado e se origina da inteligência artificial, enquanto o KDD e a mineração de dados têm um foco maior em métodos não supervisionados e uma conexão mais forte ao uso comercial. O reconhecimento de padrões tem suas origens na engenharia, e o termo é popular no contexto da visão computacional.

17

Pattern Recognition

Patterns are everywhere...

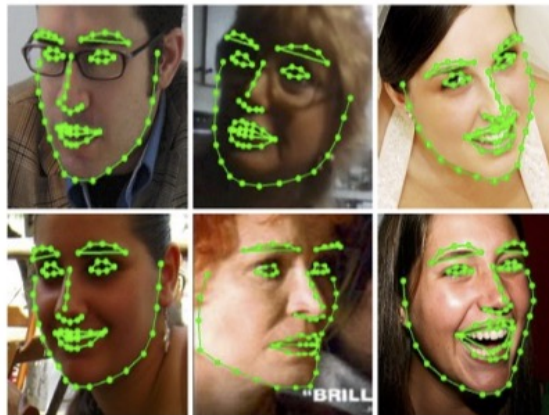


Figura 7: Reconhecimento de padrões.

4 Representação da imagem com matrizes n-dimensionais

Uma imagem analógica é uma imagem 2D $F(x,y)$ que tem precisão infinita nos parâmetros espaciais x e y e precisão infinita na intensidade em cada ponto espacial (x,y) .

Uma imagem digital também pode ser denominada como uma imagem 2D $I(r,c)$ representada por uma matriz 2D discreta de amostras de intensidade, cada uma das quais representada usando uma precisão limitada.

O modelo matemático de uma imagem em função de dois parâmetros espaciais reais é extremamente útil tanto para descrever imagens quanto para definir operações sobre elas. Os pixels de uma imagem são amostras de uma imagem contínua tirada em vários pontos (x,y) do plano da imagem. Se houver M amostras na direção X ao longo de uma distância de w , então o espaçamento D_x entre os pixels será w/M .

An Image as a Matrix

2D, 3D, nD...

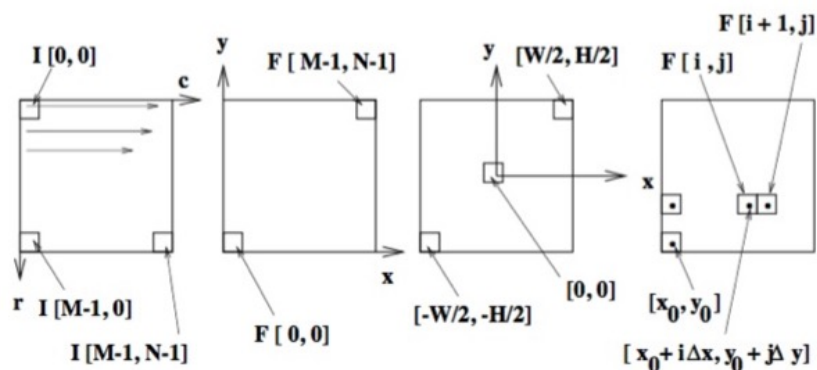


Figura 8: Representação da imagem.

An Image as a Matrix

2D, 3D, nD...

A picture function is a mathematical representation $f(x,y)$ of a picture as a function of two spatial variables x and y . x and y are real values defining points of the picture and $f(x,y)$ is usually also a real value defining the intensity of the picture at point (x,y) .



Figura 9: A imagem como uma matriz.

4.1 Imagens e a semântica

22

Image and Semantics

Semantics is almost everything... An image is just a patch...



COM 3105: Digital Image Processing

Prof. Eng. Marcos Cordeiro d'Ornellas, Ph.D.



www.casaufsm.org

Figura 10: A imagem como uma matriz.

4.2 Vivendo com os pixels e voxels

23

Living With Pixels

How many pixels do I need?

What are pixels? The word "pixel" means a picture element. Every photograph, in digital form, is made up of pixels. They are the smallest unit of information that makes up a picture. Usually round or square, they are typically arranged in a 2-dimensional grid. In the image on the right, one portion has been magnified many times over so that you can see its individual composition in pixels. As you can see, the pixels approximate the actual image. The more pixels you have, the more closely the image resembles the original.



COM 3105: Digital Image Processing

Prof. Eng. Marcos Cordeiro d'Ornellas, Ph.D.



www.casaufsm.org

Figura 11: A imagem como uma matriz.

24

Living With Pixels

How many pixels do I need?

5 Trabalhando com imagens médicas e reconstrução 3D

5.1 Pilhas de imagens e fatias (slices)

Uma pilha de imagens é um grupo de exposições individuais enquadrando o mesmo objeto ou campo. Pilhas de imagens são normalmente usadas para acumular longos tempos totais de exposição que, de outra forma, seriam impraticáveis ou impossíveis em uma única exposição. Essas exposições individuais são registradas/alinhadas, normalizadas, rejeitadas e combinadas para criar uma imagem composta. As pilhas de imagens podem ser processadas para remover artefatos indesejáveis da imagem composta.

Os TCs espirais e multicortes estão substituindo rapidamente as unidades de TC mais antigas. Melhorias no poder de processamento do computador melhoram a velocidade de análise do aumento da carga de dados. Como várias fatias de imagem são obtidas em sequência, os dados podem ser empilhados e uma imagem tridimensional pode ser reconstruída. Uma vez que a precisão da reconstrução 3D depende de qual conjunto de fatias de imagem é usado no processo de reconstrução, deve-se lidar com a localização de um conjunto de fatias de imagem que levam a uma reconstrução 3D ideal.

37

Image Stacks and Image Slices

Slicing the world

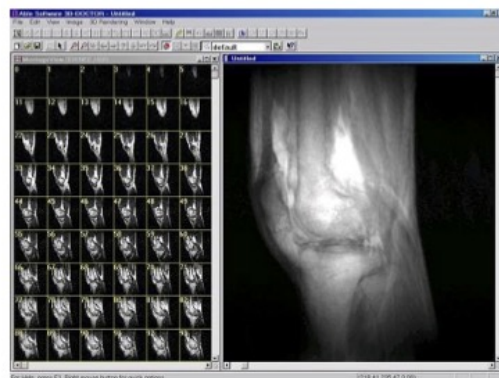
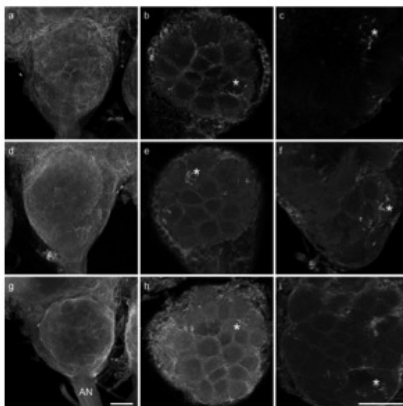


Figura 8: A imagem como uma matriz.

5.2 Reconstrução 3D

Para um humano, geralmente é uma tarefa fácil ter uma ideia da estrutura 3D mostrada em uma imagem. Devido à perda de uma dimensão no processo de projeção, a estimativa da verdadeira geometria 3D é difícil porque geralmente infinitas superfícies 3D diferentes podem produzir o mesmo conjunto de imagens. O objetivo da reconstrução 3D multiview é inferir a estrutura geométrica de uma cena capturada por uma coleção de imagens.

Considerando uma cena dinâmica que muda ao longo do tempo, a reconstrução 3D pode ser aplicada a cada passo de tempo de forma independente. No entanto, pode-se obter resultados temporalmente mais consistentes usando as informações de vários quadros de tempo juntos, calculando assim uma

hipersuperfície espaço-temporal no espaço 4D. A estimativa da geometria 3D a partir de uma única imagem é um caso especial de reconstrução 3D baseada em imagem a partir de várias imagens.

39

3D Reconstruction

From 2D to 3D



COM 3105: Digital Image Processing

Prof. Eng. Marcos Cordeiro d'Ornellas, Ph.D.



www.casauism.org

6 Bibliotecas de Código Aberto para o Processamento de Imagens

As bibliotecas de visão computacional contêm funções e algoritmos comuns de processamento de imagens. Estão disponíveis várias bibliotecas de código aberto que podem ser usadas para desenvolver recursos de processamento de imagem e visão computacional.

OpenCV

A Open Source Computer Vision Library (OpenCV) é uma biblioteca de visão computacional popular que fornece amplos algoritmos e funções que suportam os algoritmos. Ele inclui vários módulos, como módulo de processamento de imagem, módulo de detecção de objetos e módulo de aprendizado de máquina, para citar alguns. Essa biblioteca pode ser usada para executar tarefas de processamento de imagem, como aquisição, compactação, aprimoramento, restauração e extração de dados.

<http://www.opencv.org> (<http://www.opencv.org>)

Scikit-Image

scikit-image é uma biblioteca de processamento de imagens que implementa algoritmos e utilitários para uso em aplicações de pesquisa, educação e indústria. Ele é lançado sob a licença liberal de código aberto Modified BSD, fornece uma API bem documentada na linguagem de programação Python e é desenvolvido por uma equipe internacional ativa de colaboradores. Neste artigo, destacamos as vantagens do código aberto para atingir os objetivos da biblioteca scikit-image e apresentamos vários aplicativos de processamento de imagem do mundo real que usam scikit-image. Mais informações podem ser encontradas na página inicial do projeto, <http://scikit-image.org> (<http://scikit-image.org>).

Fiji

Fiji (Fiji Is Just ImageJ) é um pacote de processamento de imagem de código aberto baseado no ImageJ2. O objetivo principal de Fiji é fornecer uma distribuição do ImageJ2 com muitos plugins empacotados. Fiji possui um sistema de atualização integrado e visa fornecer aos usuários uma estrutura de menu coerente, extensa documentação na forma de descrições detalhadas de algoritmos e tutoriais, e a capacidade de evitar a necessidade de instalar vários componentes de diferentes fontes. <https://fiji.sc/> (<https://fiji.sc/>).

Fiji também é direcionado a desenvolvedores, através do uso de um sistema de controle de versão, um rastreador de problemas, canais de desenvolvimento dedicados e uma infraestrutura de prototipagem rápida na forma de um editor de scripts que suporta BeanShell, Jython, JRuby, Clojure, Groovy, JavaScript, e outras linguagens de script, bem como desenvolvimento Java just-in-time.

VXL

A biblioteca VXL é um conjunto de bibliotecas para visão computacional e implementa uma série de algoritmos populares de tecnologia de visão computacional e funcionalidades relacionadas. <http://vxl.github.io> (<http://vxl.github.io>).

AForge.NET

AForge.NET, uma biblioteca de visão computacional com várias bibliotecas que podem ser usadas para processamento de imagens e visão computacional para redes neurais e cálculos difusos. Além disso, o AForge.NET fornece arquivos de ajuda e um conjunto de aplicativos de exemplo que demonstram como usar essa estrutura. <http://www.aforgenet.com/> (<http://www.aforgenet.com/>).

LTI-Lib

A biblioteca LTI-Lib facilita o compartilhamento e a manutenção do código enquanto ainda fornece algoritmos rápidos para aplicativos do mundo real.

Ele fornece uma ampla gama de recursos que podem ser usados para resolver problemas matemáticos, um conjunto de ferramentas de classificação e vários algoritmos de processamento de imagem e visão