

Introdução ao Processamento Digital de Imagem MC920 / MO443

Prof. Hélio Pedrini

Instituto de Computação
UNICAMP

<http://www.ic.unicamp.br/~helio>

1º Semestre de 2024

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Áreas de Aplicação
- 3 Etapas de um Sistema de Processamento de Imagens
- 4 Componentes de um Sistema de Processamento de Imagens

- 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.
- A compreensão do funcionamento do sistema visual dos seres humanos, sua capacidade de aprendizagem e sua habilidade em realizar inferências e ações baseadas em estímulos visuais é de grande importância para o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para análise automática ou semi-automática de informações extraídas de uma imagem ou cena com o auxílio de computador.

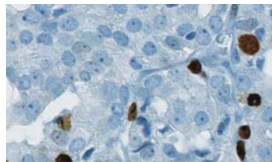
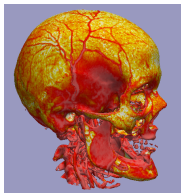
- A *visão computacional* procura auxiliar a resolução de problemas altamente complexos, buscando imitar a cognição humana e a habilidade do ser humano em tomar decisões de acordo com as informações contidas na imagem.
- O *processamento digital de imagens* consiste em um conjunto de técnicas para capturar, representar e transformar imagens com o auxílio de computador.
- 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.
- Uma dificuldade inerente ao processo de análise de imagens é seu caráter multidisciplinar, em que diversos domínios de conhecimento são comumente necessários para solucionar satisfatoriamente o problema, tais como geometria computacional, visualização científica, psicofísica, estatística, teoria da informação e muitos outros.
- Certos passos relevantes que envolvem o processamento e a análise de imagens, muitas vezes, é realizada por um operador humano que detém o conhecimento ou a experiência sobre o domínio da aplicação.

- O crescente avanço da tecnologia digital, associado ao desenvolvimento de novos algoritmos, tem permitido um número de aplicações cada vez maior.
- Exemplos de domínios de conhecimento que envolvem a utilização de técnicas de processamento de imagens para resolver problemas:
 - ▶ medicina
 - ▶ microscopia
 - ▶ biologia
 - ▶ automação industrial
 - ▶ sensoriamento remoto
 - ▶ astronomia
 - ▶ área militar
 - ▶ segurança e vigilância
 - ▶ computação forense
 - ▶ arqueologia
 - ▶ artes
 - ▶ recuperação de imagens por conteúdo

Introdução

Áreas de Aplicação



- Diagnósticos médicos podem ser auxiliados com o uso de imagens capturadas por raios X, tomografia computadorizada, ressonância magnética e ultra-sonografia.
- Vários campos da medicina têm se beneficiado com o aprimoramento de diagnósticos por meio de imagens, em particular, a oncologia, a cardiologia e a ortopedia.
- A análise e a interpretação dessas imagens facilitam, por exemplo, a identificação de lesões ou regiões atingidas por câncer, permitindo aos médicos maior precisão e rapidez nos diagnósticos, bem como melhor planejamento dos tratamentos e das cirurgias.

- A análise de imagens capturadas por meio de microscópios ópticos ou eletrônicos beneficia áreas que variam desde a biologia até a metalurgia.
- Exemplos de aplicação:
 - ▶ contagem e identificação de células sanguíneas em lâminas de microscopia.
 - ▶ análise de estruturas em cristalografia.
 - ▶ sequenciamento e análise de genes.

- Na automação industrial, montagem e inspeção de produtos, visão robótica e controle de qualidade podem ser realizados a partir de técnicas de processamento e análise de imagens.
- Atividades comuns:
 - ▶ verificação de falhas em circuitos impressos.
 - ▶ separação de peças por robôs em uma linha de montagem.
 - ▶ classificação de defeitos em soldas.

- A análise de fotografias aéreas ou imagens de satélite permite uma melhor compreensão da superfície terrestre, auxiliando tarefas como:
 - ▶ acompanhamento de áreas urbanas.
 - ▶ previsão de fenômenos como terremotos, erupção de vulcões, inundações e furacões.
 - ▶ monitoração de áreas atingidas por erosão.
 - ▶ previsão de safras.
 - ▶ determinação de áreas de desmatamento.
 - ▶ análise de composição do solo.
 - ▶ extração de feições cartográficas (por exemplo, estradas, rios, edificações, divisa de culturas).

- As técnicas de processamento e análise de imagens possuem inúmeras aplicações na área militar, podendo-se destacar:
 - ▶ identificação de alvos em imagens de satélite.
 - ▶ rastreamento de alvos para lançamento de mísseis.
 - ▶ navegação de veículos autônomos.
 - ▶ detecção de obstáculos no trajeto de robôs.

- A identificação de impressões digitais é uma atividade que possibilita a recuperação de uma impressão digital em um banco de imagens.
- A identificação de faces permite a distinção de indivíduos a partir de imagens ou seqüências de vídeo, auxiliando o reconhecimento de pessoas em fichas criminais, a criação de retratos falados e a monitoração em sistemas de vigilância.
- O reconhecimento de assinaturas possibilita a verificação da autenticidade de assinaturas em cheques e outros documentos.
- O reconhecimento automático de placas de veículos visa dotar uma máquina com a capacidade de localizar e interpretar o conteúdo da placa de um veículo para uso em medição e planejamento do fluxo de tráfego, reconhecimento de veículos em situação irregular, controle de pedágios e estacionamentos.

- 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 criminal¹.
- análise de dados (documentos, imagens, vídeos):
 - ▶ atribuição de origem.
 - ▶ verificação de autenticidade ou adulterações.
 - ▶ reconstrução de eventos de manipulação.

¹Prof. Edward Delp, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University.

- Muitas atividades têm sido beneficiadas com o uso de técnicas de processamento e análise de imagens, por exemplo:
 - ▶ restauração de artefatos raros.
 - ▶ pinturas e documentos antigos.
 - ▶ criação de museus virtuais.
 - ▶ avanço da fotografia digital.

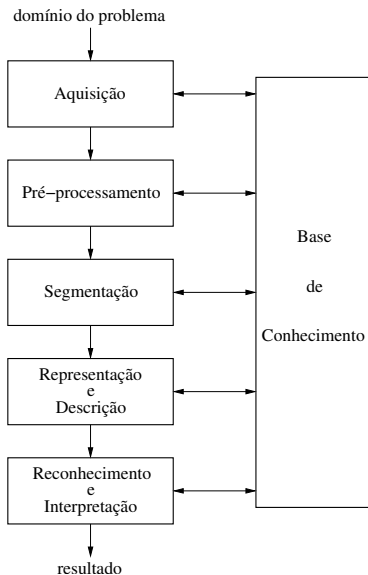
Áreas de Aplicação

Recuperação de Imagens por Conteúdo

- A recuperação de imagens por conteúdo também tem grande utilidade na identificação e na seleção de dados em bases gráficas e vídeos, eliminando determinadas restrições encontradas em sistemas de busca em bases textuais.

Sistema de Processamento de Imagens

Etapas



Sistema de Processamento de Imagens

Domínio do Problema e Base de Conhecimento

- Um sistema de processamento digital de imagens é constituído por um conjunto de etapas capazes de produzir um resultado a partir do *domínio do problema*.
- O conhecimento sobre o domínio do problema está codificado em um sistema de processamento de imagens na forma de uma *base de conhecimento*. A base de conhecimento é dependente da aplicação, cujo tamanho e complexidade podem variar significativamente. A base de conhecimento pode ser utilizada para guiar a comunicação entre os módulos de processamento a fim de executar uma determinada tarefa.

Sistema de Processamento de Imagens

Aquisição

- A etapa de *aquisição* é responsável pela captura da imagem por meio de um dispositivo ou sensor e pela sua conversão em uma representação adequada para o processamento digital subsequente.
- Os principais dispositivos para aquisição de imagens são câmeras de vídeo, tomógrafos médicos, satélites e *scanners*.
- Dentre os aspectos envolvidos nesta etapa estão a escolha do tipo de sensor, as condições de iluminação da cena, a resolução e o número de níveis de cinza ou cores da imagem digitalizada.

Sistema de Processamento de Imagens

Pré-Processamento

- A imagem digital resultante do processo de aquisição pode apresentar imperfeições ou degradações decorrentes, por exemplo, das condições de iluminação ou características dos dispositivos.
- A etapa de *pré-processamento* visa melhorar a qualidade da imagem por meio da aplicação de técnicas para atenuação de ruído, correção de contraste ou brilho e suavização de determinadas propriedades da imagem.

Sistema de Processamento de Imagens

Segmentação

- A etapa de *segmentação* realiza a extração e identificação de áreas de interesse contidas na imagem.
- Esta etapa é geralmente baseada na detecção de descontinuidades (bordas) ou de similaridades (regiões) na imagem.

Sistema de Processamento de Imagens

Representação e Descrição

- Estruturas adequadas de *representação* devem ser utilizadas para armazenar e manipular os objetos de interesse extraídos da imagem.
- O processo de *descrição* visa à 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.

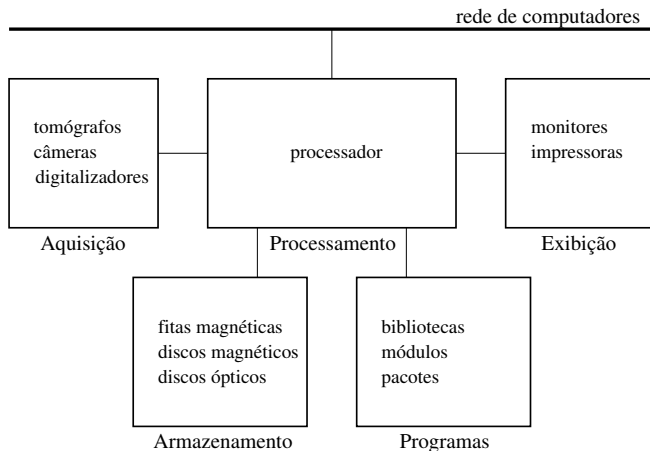
Sistema de Processamento de Imagens

Reconhecimento ou Classificação

- *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.

Sistema de Processamento de Imagens

Componentes



Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos de Entrada e Saída

- Os dispositivos desempenham um papel importante em um sistema de processamento de imagens.
- Esses dispositivos podem ser utilizados para aquisição, armazenamento, processamento, transmissão e exibição de imagens.
- Com o crescente avanço tecnológico e a demanda de determinadas áreas de aplicação, os dispositivos têm evoluído significativamente nas últimas décadas.
- Os parâmetros de funcionalidade e desempenho dos dispositivos são dependentes, em grande parte, das áreas que os utilizam.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Aquisição

- Na etapa de aquisição, 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.
- Dentre os diversos tipos de dispositivos existentes, os mais comuns são câmeras de vídeo, tomógrafos médicos, digitalizadores (*scanners*) e satélites.
- Os dispositivos de aquisição podem apresentar características bem diferentes em termos de resolução espacial, velocidade de operação, precisão e custo.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Armazenamento

- Imagens e vídeos requerem alta capacidade de armazenamento.

Exemplos:

- a) Uma imagem colorida de 1024×1024 pixels, cada pixel representado por 24 bits, requer 3 Mbytes para seu armazenamento sem compressão.
- b) Um vídeo com duração de 1 minuto, formado por imagens de 512×512 pixels, exibidas a uma taxa de 30 imagens por segundo, cada pixel representado por 24 bits, requer aproximadamente 1.4 Gbytes para seu armazenamento.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Armazenamento

- Um modo de prover o armazenamento temporário é por meio da memória principal do computador.
- Outra opção é o uso de placas gráficas especializadas (*frame buffers*) que armazenam uma ou mais imagens, permitindo alta velocidade de acesso (por exemplo, 30 imagens/segundo).
- Discos magnéticos são outra forma de armazenamento, podendo atingir dezenas de Gbytes de armazenamento.
- O armazenamento de imagens também pode ser caracterizado por grandes volumes de informações, entretanto, sem a necessidade de acesso frequente.
- Fitas magnéticas de alta densidade e discos ópticos são meios comuns de armazenamento nessas situações.
- Técnicas de compressão de imagens podem reduzir significativamente a quantidade de informações a ser armazenada.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Transmissão

- A transmissão de imagens digitais entre sistemas de computadores locais ou remotos pode ser realizada por meio de protocolos de comunicação existentes nas redes de computadores disponíveis.
- A transmissão de imagens a longas distâncias ainda é um desafio em virtude da grande quantidade de dados contidos em uma imagem, especialmente quando os canais de comunicação possuem baixa velocidade e banda passante estreita.

Exemplo:

Suponha um canal de comunicação com taxa de transmissão igual a 64000 bits/segundo. Aproximadamente 7 minutos seriam necessários para a transmissão de uma imagem com dimensões 1024×1024 pixels, 24 bits para cada pixel.

- Ligações sem fio utilizando estações intermediárias, tais como satélites, são mais rápidas, porém, consideravelmente mais caras.
- Técnicas de compressão de imagens podem ser utilizadas para reduzir a quantidade de informações a ser transmitida de um ponto a outro.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Exibição

- O monitor de vídeo é o principal dispositivo de saída utilizado em sistemas de processamento de imagens.
- Nos monitores de tubos de raios catódicos, a tela do monitor, composta por camadas de fósforo, é atingida por feixes de elétrons controlados por um sistema que percorre toda a extensão da tela, tanto no sentido horizontal quanto vertical. Um ponto de luz é gerado quando o elétron atinge o fósforo. Esse processo de geração da imagem ponto a ponto é conhecido como varredura.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Exibição

- Outras tecnologias têm sido desenvolvidas para melhorar a qualidade das imagens exibidas pelos dispositivos de vídeo, dentre elas estão os monitores de cristal líquido e de plasma.
- Nos monitores de cristal líquido, a imagem é formada pela polarização de pequenas células de cristal líquido colocadas entre duas camadas de vidro. As principais vantagens desses monitores em relação aos monitores de tubos são o baixo consumo de energia, menor volume ocupado e baixa ou nenhuma emissão de radiação nociva.
- Nos monitores de plasma, a imagem é gerada por meio de eletrodos carregados entre painéis de cristal, que originam pequenas explosões de gás xenônio que, por sua vez, interagem com luz ultravioleta para excitar uma fina camada de fósforo. A imagem da tela de plasma apresenta alta nitidez e não possui problemas de distorção nas extremidades da tela.

Sistema de Processamento de Imagens

Dispositivos para Exibição

- Além dos monitores de vídeo, há diversas formas de exibição de imagens em papel.
- A reprodução fotográfica possui alta qualidade.
- Outra possibilidade é o uso de papel sensível à temperatura, muito difundido em equipamentos de fax.
- A utilização de impressoras térmicas coloridas tem aumentado consideravelmente nos últimos anos. Essas impressoras baseiam-se na deposição de cera colorida sobre um papel especial para produzir a impressão.
- Outros tipos incluem as impressoras *laser* e de jato de tinta para exibir as imagens em papel.

Sistema de Processamento de Imagens

Unidade de Processamento

- A unidade de processamento pode variar conforme o nível de desempenho requerido pela aplicação.
- Determinadas tarefas podem demandar alto poder de processamento, por exemplo, o reconhecimento de objetos em tempo real. Entretanto, muitos sistemas de processamento de imagens podem ser atualmente executados em microcomputadores convencionais.
- Os programas para processamento de imagens consistem em rotinas ou módulos específicos para realizar uma determinada tarefa.
- Bibliotecas podem ser integradas em códigos desenvolvidos por usuários ou em pacotes sofisticados de processamento de imagens.