

VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA A SISTEMAS PRODUTIVOS: FUNDAMENTOS E ESTUDO DE CASO

Marcelo Rudek, Leandro dos Santos Coelho, Osiris Canciglieri Junior

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR/LAS/CCET, Laboratório de Automação e Sistemas
R. Imaculada Conceição 1155, Prado-Velho, Curitiba - Pr - e-mail: {rudek, lscoelho, osiris@rla01.pucpr.br}

Abstract: *The development of computational tools to solve problems to production managing, manufacturing automation and processes control are becoming a real necessity in industries environments. In this context, the computer imaging systems have done a large contribution in many steps of the productive cycle of a product, such as the orientation of robot movement, automation of the specifics tasks in manufacturing cells and quality control. This paper presents an overview of utilization of the computer vision in the productive systems. Several relevant aspects, such as automatic recognition of images, classification of digital images, filtering, pattern recognition are presented and discussed. A case study of application of computer vision for classification and indexing of digital images is also presented.*

Keywords: *productive systems, computer vision, manufacture.*

1. Introdução

As novas tecnologias de visão computacional e processamento de imagens têm sido utilizadas com sucesso em muitas aplicações relevantes, principalmente nas áreas da astronomia, medicina, análise de impressões digitais, sensoriamento remoto, multimídia, entretenimento, reconhecimento de assinaturas, manufatura, robótica de manipuladores, robótica móvel, sistemas produtivos, entre outras.

Devido a crescente automatização dos processos produtivos, busca-se tornar os sistemas computacionais e de robótica capazes de tornar automática a execução de tarefas complexas. No atual estágio de desenvolvimento da indústria brasileira, muitas destas tarefas complexas (que muitas vezes são repetitivas) são realizadas por operadores humanos (ORTH, 1998).

Atualmente o desenvolvimento de sistemas de informação multimídia, tais como bibliotecas virtuais e catálogos eletrônicos, trouxeram a necessidade de gerenciamento de grandes bancos de dados de imagens. Para que este gerenciamento seja eficaz é necessário o desenvolvimento de metodologias que incorporem técnicas eficientes de acesso para o arquivamento e recuperação da informação. Além disso, a necessidade da utilização de métodos baseados em descrição textual tem introduzido o desenvolvimento de mecanismos para consulta de bases de dados através de imagens-exemplo ou pela especificação da imagem desejada, em termos de cores dominantes, textura e formato dos objetos.

Do ponto de vista da manufatura, para que os sistemas de visão possam ser utilizados eficientemente em um ambiente de projeto orientado para manufatura (*DFM - Design for Manufacture*), os atributos da imagem, tais como os tipos de ferramentas usadas e a geometria do produto, devem ser tratados. Em síntese, dependendo do estágio que se encontra a produção (soldagem, pintura, montagem, empacotamento, expedição), requisitos visuais específicos devem ser considerados, pois são atributos que apresentam informações significativas para maior eficiência do sistema produtivo.

Neste contexto, os sistemas de visão computacional, têm contribuído significativamente em diversas fases do ciclo produtivo de um produto, tais como orientação de deslocamento de um robô, automatização de tarefas em células de manufatura, planejamento da produção e controle de qualidade.

Este artigo apresenta um estudo de caso, da utilização de uma ferramenta de processamento de imagens para classificação de parafusos. Desta forma pretende-se munir o usuário de sistemas produtivos, das potencialidades nos recursos oferecidos pela visão por computador, no projeto e implementação de ambientes de manufatura. Desta forma são fornecidos os elementos necessários para a avaliação dos requisitos computacionais necessários para o tratamento dos problemas intrínsecos ao processamento de imagens.

Este artigo propõe também uma metodologia para o arquivamento, recuperação e indexação automática, em bancos de dados que manipulam imagens. Esta proposta é fundamentada na hipótese de que pode-se agrupar imagens semelhantes através de sua variação de cores, e utilizar estes atributos para indexá-las em um banco de imagens. A partir da imagem pode ser extraída uma sequência de atributos de cor, que organizada na forma de um vetor, descreve o posicionamento da distribuição das cores mais significativas presentes na imagem. Desta forma obtém-se um “vetor de comportamento”, que expressa o conteúdo da imagem.

O artigo é organizado da seguinte forma: Na seção 2 são apresentadas características relevantes de sistemas de visão. Na seção 3, um estudo de caso com aplicação de uma técnica de processamento de imagem e na seção 4, considerações e perspectivas do uso destas ferramentas em um ambiente de produção.

2. Características dos Sistemas de Visão

Diversas técnicas de reconhecimento de imagens, tem sido apresentadas na literatura e geralmente são validadas através de protótipo de aplicações, pois em um ambiente industrial, raramente obtém-se as condições ideais de iluminação, contraste, posicionamento correto da peça, e do ângulo de obtenção da imagem, além de outros fatores externos que dificultam a interpretação de uma cena (WEEKS, 1996; RUSS, 1995; YANG & YAN, 2000; CHENG, 2000). Uma imagem digital pode conter várias informações, que deverão ser tratadas em diferentes etapas da produção. Alguns exemplos são:

- i) Em uma operação de soldagem, os atributos a serem extraídos da imagem, dizem respeito à forma do objeto;
- ii) Em um ambiente de pintura, a textura da superfície do objeto pode ser um aspecto relevante;
- iii) O reconhecimento de objetos (partes do produto) pode influenciar as ações de um robô de montagem.

Estas informações impossibilitam que imagens diferentes possam ser tratadas de uma forma única, isto é, imagens diferentes possuem requisitos de programação diferentes.

Uma imagem digital não é interpretada da mesma forma que um ser humano identifica uma cena, mas a partir de atributos que devem ser extraídos da imagem, e que estão relacionados entre si. Portanto num sistema de tratamento de imagens, busca-se capturar alguns atributos da imagem e usar estes elementos para minimizar o espaço de pesquisa (YHONG, 1994). De acordo com o que afirmam LEUNG & ZHENG (1995), é necessário criar um modelo de dados para a representação sistemática do conteúdo de uma imagem. A construção deste modelo consiste em fatos (objetos ou detalhes da imagem), que expressam o seu conteúdo de forma adequada.

De acordo com o apresentado em WEEKS (1996), uma sequência de ações para aquisição e processamento de uma imagem pode ser expressa conforme a representação genérica da figura 1, onde são representadas as principais operações realizadas no tratamento de uma imagem.

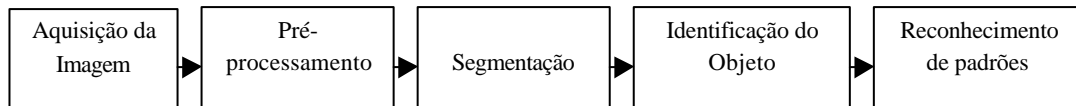


Figura 1: Sequência de Ações para Aquisição e Processamento de uma imagem.

A seguir apresenta-se uma descrição destes conceitos, com enfoque direcionado a sistemas produtivos:

i) Aquisição da Imagem: No procedimento de aquisição da imagem, existem dois elementos relevantes que fazem parte de um sistema de visão computacional. O primeiro se refere aos equipamentos que compõem o ambiente (*hardware*), tais como câmeras, computadores e sistemas de iluminação. E o segundo elemento é o programa (*software*) que processa as imagens e gerencia as ações a serem realizadas. Um sistema de aquisição de imagem consiste usualmente de uma câmera CCD (*Charge Coupled Device*) (WEEKS, 1996; RUSS, 1995), um monitor de vídeo e a placa digitalizadora de vídeo (ORTH, 1998). A câmera coleta a imagem e a envia para a placa digitalizadora. Um *software* específico acessa os dados digitalizados da placa, e extrai as informações relevantes naquele instante para serem processadas. Numa célula de manufatura, pode-se controlar uma operação, através da realimentação dada pela execução de suas ações, em relação às novas imagens que estão sendo obtidas dinamicamente.

ii) Pré-Processamento: Depois de digitalizar e armazenar a imagem em um computador, de acordo com a figura 1, as técnicas de pré-processamento são usadas para aprimorar a qualidade de uma imagem, corrigindo iluminação, contraste, distorções e nitidez (RUSS, 1995).

iii) Segmentação: Uma imagem exige muito em termos de requisitos do sistema, principalmente a quantidade de memória, velocidade de processamento e capacidade de armazenamento. O que habitualmente se utiliza para reduzir o esforço computacional, é a transformação da imagem em uma escala reduzida de informações, através da segmentação. A idéia utilizada na segmentação (*thresholding*) é dividir a imagem em regiões que correspondem a unidades estruturais da cena (RUSS, 1995; RUDEK, 1999; LIU, 2000), ou que distinguem os objetos de interesse (RUSS, 1995), separando os objetos da imagem (*foreground*) das informações de fundo da imagem (*background*). Com esta abordagem, minimiza-se o tamanho do espaço de onde as informações são retiradas, e opera-se sobre este espaço reduzido, diminuindo-se o esforço computacional necessário para tratar a imagem. Este trabalho utiliza uma técnica denominada de vetor de comportamento para minimizar a informação, e operar com um banco de dados.

iv) Identificação de Objetos: A identificação e extração de objetos de imagens são necessárias em muitos casos. Por exemplo, um ambiente de montagem requer que peças diferentes possam ser identificadas, para que uma dada ação subsequente possa ser realizada. Por exemplo, a junção de partes para formar o produto final. Devido a uma variedade de razões, os dados de imagens usados na entrada de um sistema de visão, nem sempre são perfeitos. Os problemas que frequentemente ocorrem estão relacionados com a oclusão, onde um objeto pode estar parcialmente escondido atrás de outro objeto, ou dois

objetos compondo a mesma imagem (ver figura 2b). De forma análoga, a perda de informações ou deformações, podem ser ocasionadas por ruídos na imagem devido a condições anormais de iluminação, defeitos de digitalização, e de resultados inefficientes de algoritmos de segmentação (BEIS, 1999).

v) Reconhecimento de Padrões: O processamento da imagem é realizado por ambientes computacionais que conseguem operar com as informações obtidas das imagens. A extração de atributos, a exemplo da detecção de borda (LIU, 2000; WONG, 2000), constitui-se numa operação que permite definir quais elementos dos objetos nas imagens e podem ser separados de outros objetos presentes na mesma imagem. As técnicas de reconhecimento de padrões, tratam da identificação de partes da imagem que possuem semelhanças. Uma grande quantidade de ferramentas matemáticas e computacionais, tem sido desenvolvidas para permitir que objetos possam ser extraídos e agrupados em classes específicas de informações. Uma boa representação da forma do objeto, gera facilidades para que ele seja armazenado, transmitido, comparado, reconhecido ou mesmo entendido. A representação deve ser gerada de acordo com regras simples e precisas. Geralmente uma forma é descrita em termos de número de componentes, primitivas, e relacionamentos entre estes componentes.

Diversas ferramentas computacionais têm sido exploradas para o pré-processamento, segmentação de imagens e identificação de objetos. Entre estas metodologias destacam-se os *wavelets* (QUAK & WEYRICH, 1994), transformada rápida de Fourier (OPPENHEIM & SHAFER, 1989), descritores de Fourier (PEARSON & KU, 1997), extração de *features* (GORDON & RANGAYAN, 1984), morfologia matemática (HASAN & KARAM, 2000), técnicas para o processamento de informação geométrica e estatística (SHEN & DAVATZIKOS, 2000), análise de componentes principais (ZHANG et al., 2001), *B-splines* (GU & TIAHJADI, 2000), algoritmos de processamento de imagens implementados em hardware (SPITZ & RECHICHA, 2000; GASTERATOS & ANDREADIS, 2000), algoritmos de *clustering* (BEIS & LOWE, 1999) e paradigmas da inteligência computacional, tais como redes neurais (AUGUSTEIJN & CLEMENS, 1996), algoritmos genéticos (WANG et al., 2001), e sistemas nebulosos (CHENG & XU, 2000).

3. Ambiente de Automação

O conhecimento sobre o ambiente de trabalho é fundamental para o planejamento e a programação de tarefas de robôs, e outras máquinas controladas por computador. Neste caso, utilizam-se modelos para representar as estruturas geométricas de objetos reais e para treinar os sistemas de processamento de imagem (SHEN, 2000; LOSCOS, 2000; PIZLO & LOUBIER, 2000). Por exemplo, a navegação de robôs móveis, é um fator gerador de problemas, em termos de localização de referências em um cenário (LIM & LEONARD, 2000). Nestes termos, é uma tarefa complexa extrair as informações importantes (KUNDUR & RAVIV, 2000) do cenário, pois o movimento acontece em tempo real, e o cenário é alterado constantemente. Por outro lado, a obtenção de algumas informações importantes da imagem através da extração de atributos pode ser obtida, onde o cenário tem um comportamento menos dinâmico, por exemplo, na classificação de objetos, contagem de peças, inspeção de qualidade, onde a imagem pode ser obtida a partir da mesma orientação (posição de câmera e dos objetos) e de mesmas condições ambientais (iluminação, sombra, oclusão). Neste contexto é que técnicas efficientes de manipulação de imagens, que operam em conjunto com bancos de dados e imagens, são desenvolvidas com sucesso. Para ilustrar as possibilidades da utilização do processamento de imagens, este artigo propõe a utilização de uma ferramenta de reconhecimento e classificação de

imagens, baseada no comportamento dos objetos da cena, para reconhecimento de parafusos e posterior classificação destes em um banco de dados de imagem. Dada a imagem do objeto parafuso, apresentada na figura 2, pode ser importante reconhecer e classificar este objeto de acordo com um padrão. O padrão diz respeito aos requisitos construtivos do parafuso, principalmente em relação a sua forma geométrica.

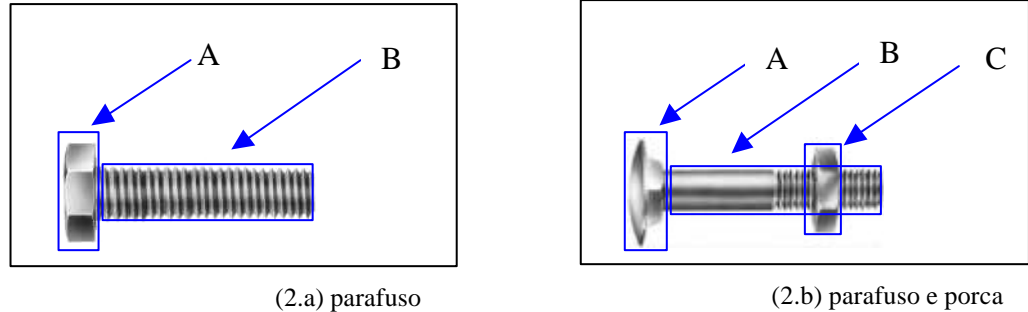


Figura 2: Imagens de parafusos, com identificação de suas regiões importantes (A, B e C).

Das regiões importantes (A, B e C) da imagem da figura 2, podem ser extraídas as seguintes informações:

- A) a cabeça do parafuso pode fornecer informações do seu tipo de classificação, em relação a forma, posição e dimensões;
- B) o corpo do parafuso, também pode fornecer informações do seu tipo de classificação, tais como posição e dimensões, de onde pode-se obter, por exemplo a quantidade e/ou falta de roscas; e
- C) outros objetos podem fazer parte da imagem, e servir de elemento classificador de tipos, dependendo do que se deseja reconhecer.

Em termos de velocidade de processamento é essencial extrair as informações relevantes de uma imagem, e trabalhar com um conjunto reduzido de informações. As regiões importantes podem ser obtidas pelo método de reconhecimento e indexação proposto por RUDEK (1999), dividindo-se a imagem em subáreas de igual tamanho, onde cada uma deve conter informações que podem (ou não) ser relevantes para a identificação de todo o objeto. Na figura 3, é apresentada a divisão da imagem em subáreas de onde são importantes apenas regiões que contém informações.

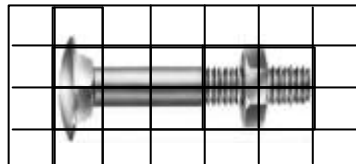


Figura 3: Divisão da imagem em subáreas .

Após a divisão das subáreas, cada região é codificada através de sua distribuição de cores. Um histograma (RUDEK, 1999; WEEKS, 1996; RUSS, 1995) descreve esta distribuição baseada na concentração de *pixels* de uma determinada faixa de cor. A cor predominante de cada região corresponde ao conteúdo de cada subárea, reduzindo a imagem à uma sequência de cores. A relação existente entre as cores de cada subárea, descreve o comportamento da imagem. Na figura 4 é apresentada uma sequência de 28 subáreas que formam o vetor de comportamento (RUDEK, 1999). A figura 5 apresenta este vetor que expressa de forma reduzida o conteúdo da imagem. Cada elemento no vetor

de comportamento corresponde a um valor na base hexadecimal, da maior concentração de *pixels* de cores semelhantes de cada subárea.

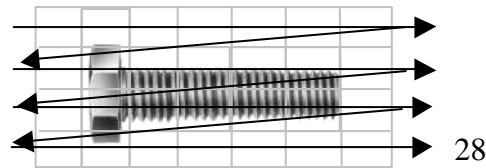


Figura 4: Sentido de agrupamento das regiões.

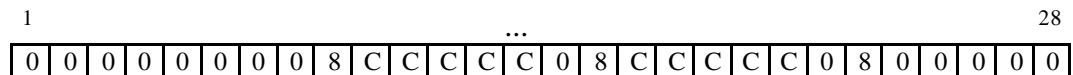


Figura 5: Vetor de comportamento a partir da imagem da figura 4.

O vetor de comportamento passa a representar a imagem original, e pode ser usado como elemento indexador ou chave de busca de uma imagem em um banco de imagens. Um banco de dados que possua informações sobre parafusos, pode conter a imagem, a representação gráfica e descrição textual de seus atributos, que podem ser acessados através do vetor de comportamento. A figura 6 apresenta três tipos diferentes de parafusos que podem fazer parte de um banco de dados, e podem estar associadas a um tipo específico de imagem. A base de dados pode conter ainda as especificações técnicas de cada parafuso, conforme mostrado na tabela 1, obtida de MARTIGNONI (1984).

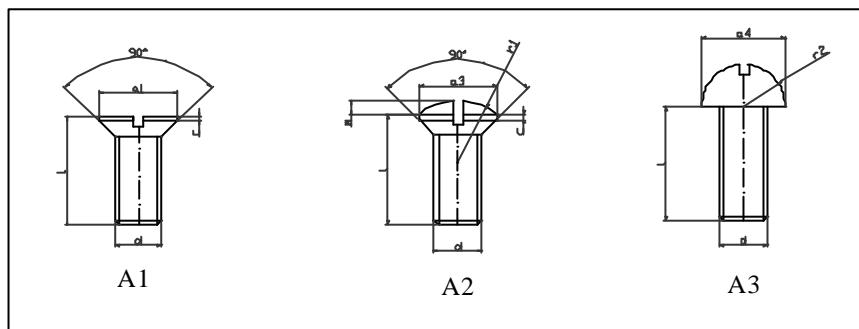


Figura 6: Exemplos de descrições geométricas para 3 tipos de parafusos

Uma aplicação possível para este sistema é que se um parafuso puder ser identificado corretamente em uma célula de manufatura. A célula poderá obter todas as informações relativas a este objeto, a partir do banco de dados e permitir que as operações que utilizam parafusos sejam realizadas de forma eficiente. Entretanto, se a peça não puder ser encontrada, ela pode vir a ser classificada no banco, com outros atributos. Por conseguinte, o sistema também pode operar na classificação de objetos e controle de qualidade.

Tabela 1: Informações descritivas dos parafusos da figura 6.

Mm	Pol.	A1	A2	A3	C	R1	R2	W	Mm	Pol.	A1	A2	A3	C	R1	R2	W
M1	-	-	2,6	2,6	0,1	6	2	0,2	M10	-	-	-	16	0,5	-	8	-
M1,4	-	-	2,6	2,6	0,2	4	1,3	0,2	M12	-	-	-	18	0,5	-	9	-
M2	-	3,5	4	4	0,2	6	2	0,35	M14	-	-	-	22	0,5	-	11	-
M2,6	-	4,5	5	5	0,2	7	2,5	0,35	M16	-	-	-	24	0,5	-	12	-
M3	-	5	6	5,5	0,2	9	2,5	0,5	6,35	1/4"	-	13	11	0,3	-	5,5	1,1
M4	-	6,5	8	7	0,3	12	3,5	0,7	7,94	5/16"	-	16	13	0,4	-	6,5	1,5
M5	-	-	10	9	0,3	15	4,5	0,9	9,53	3/8"	-	19	16	0,5	-	8	1,7
M6	-	-	-	10	0,3	-	5	-	12,7	1/2"	-	24	19	0,5	-	9,5	2,1
M8	-	-	-	13	0,4	-	6,5	-	15,88	5/8"	-	30	24	0,6	-	12	2,26

4. Conclusões e Perspectivas

Neste artigo foi apresentado um estudo de caso para sistemas produtivos, onde são apresentadas as técnicas atuais no uso de visão computacional, e os vários requisitos necessários à sua utilização em recuperação e indexação automática de imagens. Esta proposta fundamenta-se na hipótese de que pode-se agrupar imagens semelhantes através de sua variação de cores, e utilizar estes atributos para indexá-las em um banco de imagens. A partir da imagem, é possível extrair uma seqüência de atributos de cor, que organizada na forma de um vetor, descreve o posicionamento da distribuição das cores mais significativas presentes na imagem. Desta forma obtém-se um “vetor de comportamento”, que expressa o seu conteúdo. Na perspectiva de suprir necessidades da indústria, não apenas questões técnicas devem ser consideradas, mas também questões de ergonomia sobre o grau de conforto dos postos de trabalho. Existe uma evolução natural intrínseca a automação, que é o crescente desenvolvimento tecnológico, seguido da mudança de postura na utilização do trabalho humano, que deixa aos poucos de ser manual e repetitivo e passa a ser mais especializado. O objetivo do uso da visão computacional, não é eliminar o operador humano de suas funções, mas dar-lhe ferramentas adequadas e eficientes para que trabalhos repetitivos possam ser executados com rapidez e precisão, visando basicamente a redução de custos e melhor aproveitamento de tempo. Neste contexto, é que os recursos de visão por computador estão podendo auxiliar no aprimoramento dos meios produtivos presentes na indústria.

5. Referências Bibliográficas

- AUGUSTEIJN, M. F.; CLEMENS, L. E. A neural-network approach to the detection of texture boundaries, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, vol. 9, no. 1, 1996, pp. 75-81.
- BEIS, J. S.; LOWE, D. G. Indexing without invariants in 3D object recognition, **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 21, no. 10, 1999, pp. 1000-1014.
- CHEN, H. D.; XU, H. A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement, **Pattern Recognition**, vol. 33, 2001, pp. 809-819.
- CHENG, H. D.; XU, H. X.; A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement, **Pattern Recognition**, vol.33, 2000, pp. 809-819.
- GASTERATOS, A.; ANDREDIS, I. Non-linear image processing in hardware, **Pattern Recognition**, vol. 33, 2001, pp. 1013-1021.
- GORDON, R.; RANGANYAN, R. M. Feature enhancement of film mamograms using fixed and adaptive neighborhoods, **Appl. Optics**, vol. 23, no. 4, 1984, pp. 560-564.
- GU, Y.-H.; TIAHJADI, T. Coarse-to-fine planar object identification using invariant curve features and B-spline modeling, **Pattern Recognition**, vol. 33, 2000, pp. 1411-1422.
- HASAN, Y. M. Y.; KARM, L. J. Morphological reversible contour representation, **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 22, no. 3, 2000, pp. 227-240.
- KUNDUR, S.; RAVIV, D; Active vision-based control schemes for autonomous navigation tasks, **Pattern Recognition**, V.33, 2000, p.295-308.
- LIM, J. H.; LEONARD, J. J.; Mobile Robot Relocation from Acholocation Constraints, **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, V.22, N.9, 2000, p.1035.
- LIU, X.; WANG, D, RAMIREZ, J. R.; Boundary detection by contextual non-linear smoothing, **Pattern Recognition**; vol. 33, 2000, p.263-280.
- LOSCOS, C.; DRETTAKIS, G.; ROBET, L.; Interactive Virtual Relighting of Real Scenes; **IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics**, V. 6, N.4, 2000, p.289-305.
- MARTIGNONI, A. **Construção eletromecânica**, Editora Globo, 4^a. edição, RJ, 1984.

- OPPENHEIM, A. V.; SHAFER, R. W. **Discrete-time signal processing**, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.
- ORTH, A.; Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Reconhecimento Automático de Peças Mecânicas em uma Célula Flexível de Manufatura. Projeto RAP. **Laboratório de Automação Industrial, UFSC. Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, SBC 98**. <http://www.lcmi.ufsc/~orth/rap/rap.html>
- PERSOON, E.; FU, K. S. Shape discrimination using Fourier descriptors, **IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics**, vol. 7, 1997, pp. 170-179.
- PIZLO, Z.; LOUBIER, K.; Recognition of a solid shape from its single perspective image obtained by a calibrated camera, **Pattern Recognition**, vol. 33, 2000, pp. 1675-1681.
- QUAK, E.; WEYRICH, N. Decomposition and reconstruction algorithms for spline wavelets on a bounded interval, **Applied and Computational Harmonic Analysis**, vol. 1, no. 3, 1994, pp. 217-231.
- RUDEK, M. **Uma Proposta Para Indexação e Recuperação Automática de Imagens e Reconhecimento de Cheques Bancários Baseadas no Vetor de Comportamento**. Dissertação de Mestrado, CEFET PR, Curitiba, PR, 1999.
- RUSS, J. C. **The Image Processing Handbook**; 2nd Edition, CRC, 1995.
- SHEN, D.; DAVATZIKOS, C. An adaptive-focus deformable model using statistical and geometric information, **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 22, no. 8, 2000, pp. 906-912.
- SHEN, D.; DAVATZIKOS, C.; An adaptive-focus deformable model using statistical and geometric information, **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, vol. 22, no. 8, 2000, pp. 906-912.
- SPLITZ, S. N.; RECHICHA, A. A. G. Accessibility analysis using computer graphics hardware, **IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics**, vol. 6, no. 3, 2000, pp. 208-219.
- WANG, R.-Z.; LIN, C.-F.; LIN, J.-C. Image hiding by optimal LSB substitution and genetic algorithm, **Pattern Recognition**, vol. 34, 2001, pp. 671-683.
- WEEKS, ARTHUR R. JR.; **Fundamentals of Electronic Image Processing**, SPIE/IEEE Series on Imaging Science & Engineering, IEEE PRESS, 1996.
- WONG, H.; CAELLI, T.; GUAN, L.; A model based neural network for edge characterization; **Pattern Recognition**; vol. 33, 2000, pp. 427-444.
- YANG, Y.; YAN, H. An adaptive logical method for binarization of degraded document images, **Pattern Recognition**, vol. 33, 2000, pp. 787-807.
- YHONG, G.; HONGJIANG, Z.; Image Database System With Fast Image Indexing Capability Based on Color Histograms, **Proceedings of 1994 IEEE region 10's 9th Annual International Conference**, 1994.
- ZHANG, B.; FU, M.; YAN, H. A nonlinear neural network model of mixture of local principal component analysis: application to handwritten digits recognition, **Pattern Recognition**, vol. 34, 2001, pp. 203-214.