



CLASSIFICAÇÃO DE ELEMENTOS EM UM SISTEMA DE PRODUÇÃO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Luciano Alexandre Bratti Paitch (UTFPR) lpaitch@pg.cefetpr.br

Joaquim de Mira Junior (UTFPR) demira@pg.cefetpr.br

Tonia Mansani (CESCAGE) tonia@cescage.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta um sistema capaz de reconhecer e classificar elementos dentro de um ambiente de manufatura integrada por computador. Procurando promover a integração entre os sub-sistemas pertencentes a um Sistema Flexível de Manufatura, este processo determina a que sub-sistema pertence o elemento transportado pelo pallet da linha de produção. Assim, o processo de reconhecimento englobou desde a aquisição da imagem a ser processada até o processamento de imagem propriamente dito. Uma vez determinado o tipo de elemento, o processo de classificação é realizado pelo controle de um manipulador robótico que transporta o elemento até o sub-sistema a que pertence.

Palavras chave: processamento de imagem, manipuladores robóticos, sistemas flexíveis de manufatura.

1. Introdução

A área de Processamento de Imagens vem sendo objeto de crescente interesse por permitir viabilizar grande número de aplicações em duas categorias bem distintas: aprimoramento de informações pictóricas para interpretação humana; e a análise automática por computador de informações extraídas de uma cena. Para a segunda categoria é que se definem termos como ‘análise de imagens’, ou ainda, ‘visão computacional’.

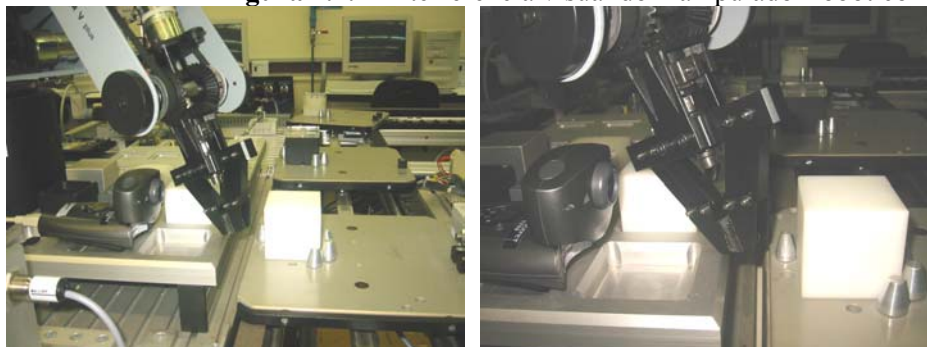
Os sistemas de visão fornecem uma imagem de relativa precisão, capaz de ser analisada e interpretada pelo dispositivo controlador, visando a obtenção de uma informação visual mais específica da planta ou objeto monitorado. A implementação de um sistema de visão, num contexto industrial, exige o cumprimento de uma série de condições básicas para seu correto funcionamento e adequada utilização. Uma destas condições refere-se ao posicionamento da câmera, com objetivo de obter um campo de visão de tamanho e orientação adequados; campos de visão maiores do que o necessário diminuem a resolução do

objeto e, campos pequenos implicam no risco do objeto não se enquadrar na sua totalidade dentro destes,

Outra condição a ser observada consiste em operar em ambientes sem demasiada interferência visual, como poeira ou objetos que possam eventualmente entrar no campo de visão da câmera de maneira não desejada.

Na Figura 1.1 pode ser observada a interferência visual causada pela trajetória do manipulador robótico no campo de visão da câmera acoplada a Planta.

Figura 1.1. – Interferência visual do manipulador robótico



Fonte: do autor.

Uma das aplicações dos sistemas de visão é a identificação de peças e elementos, que se refere ao reconhecimento de parâmetros. Estes parâmetros podem reportar dados tais como área da peça, perímetro, quantidade de furos, ou ainda, posição e orientação da peça dentro da imagem. Para este trabalho foram considerados por métodos de análise relacional os valores de posição, orientação e cor de parâmetros pré-definidos.

Pela própria configuração da Planta CIM (Manufatura Integrada por Computador) utilizada, do Laboratório de Automação de Manufatura (LAUT), foram aplicados através da identificação e classificação dos elementos: seleção de peças, paletização e despaletização e a manipulação de peças posicionadas e orientadas.

2. SISTEMA DE RECONHECIMENTO E CLASSIFICAÇÃO

O sistema de identificação e classificação apresenta dois algoritmos referentes a cada uma destas partes, sendo um para o processamento de imagem e outro para o sistema de controle de classificação, que é responsável pelo controle do manipulador. Estes posteriormente referenciados como SPI e SCT, respectivamente.

O sistema de processamento de imagem (SPI), apresenta como principais etapas: aquisição da imagem, extração de parâmetros, comparação com banco de dados, análise por lógica condicional, e identificação e reconhecimento do elemento. Existem ainda, dois recursos desenvolvidos para controle e acompanhamento do sistema: histograma de fluxo de elementos e histórico do sistema.

Já para o sistema de controle do manipulador, em função do software de interface com o dispositivo de controle (*driver*) do braço robótico utilizado, foram desenvolvidos algoritmos específicos de posição e orientação das articulações para cada elemento que circula pela linha de produção.

2.1 Sistema de processamento de imagens (SPI)

Este algoritmo desenvolvido apresenta as seguintes funções aqui definidas como etapas para a identificação e classificação.

2.2.1. Aquisição da Imagem a ser processada

A aquisição da imagem foi realizada através da captura de uma imagem do elemento a ser identificado. Para tanto, foi utilizada uma câmera (webcam) conectada ao computador por uma porta padrão USB (Universal Serial Bus), e as imagens capturadas são armazenadas no computador.

Abaixo a Figura 2.1, mostra a câmera posicionada na planta.

Figura 2.1. – Câmera posicionada para captura de imagens



Fonte: do autor.

Definiu-se como padrão para as imagens adquiridas as seguintes características:

- Imagem no formato JPEG, com extensão ‘.jpg’.
- Resolução: 640x480 pixels, sendo esta a máxima resolução permitida pela câmera.
- Definição de Cor: TrueColor, isto é, padrão de cor RGB com 24 bits de cores.

Para a captura da imagem foi utilizado o software do fabricante da câmera que disponibiliza a função de monitoração de movimento e captura. Assim quando o *pallet* chega a estação definida como o local onde ocorrerá a aquisição da imagem, o próprio movimento do *pallet* aciona a captura automática da imagem. Enquanto o SPI realiza uma varredura do local onde será armazenada temporariamente a foto.

A tela principal do Sistema de Classificação de Manufatura (SCM) apresenta os padrões da imagem adquirida, como pode ser visualizada na figura 2.2.

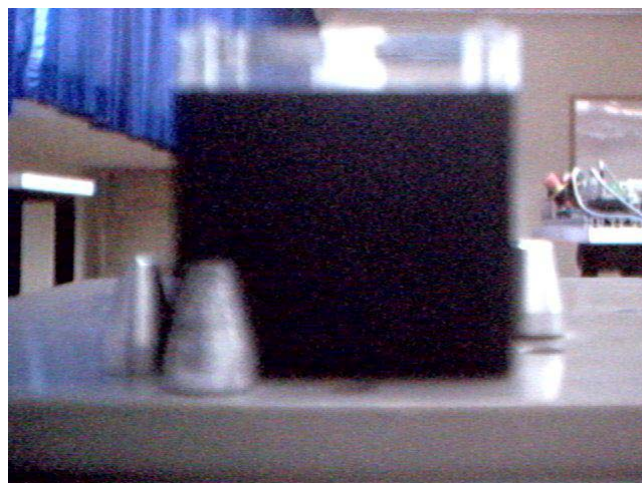
Figura 2.2. – Tela principal do SCM, no detalhe os padrões requeridos.



Fonte: do autor.

Uma vez que o SPI, na etapa de aquisição, reconhece e verifica os padrões da imagem, estará validada a transição para a próxima etapa abaixo descrita. A figura 2.3 apresenta imagens adquiridas e validadas.

Figura 2.3. – Imagem padrão adquirida que será processada.



Fonte: do autor.

Foram utilizadas 580 imagens para teste, imagens estas capturadas em diferentes horários e para diferentes condições de luminosidade. Porém sem variações bruscas por ser em ambiente fechado. Porém este projeto foi desenvolvido para ser utilizado sobre os mais variados ambientes de aplicação.

Pois não é necessário definir um plano de fundo, ou ainda, ambiente específico para a aquisição de imagens, como por exemplo, a cobertura da área de aquisição ou iluminação especial.

2.2.2. Extração de parâmetros

Nesta etapa são extraídos os parâmetros que permitem a comparação com o banco de dados, ou ainda no processo de lógica condicional. Uma vez adquirida a imagem e validada, nesta etapa são utilizadas técnicas de análise relacional que permitem a extração das características pertinentes ao elemento a ser identificado.

Para este caso, os parâmetros extraídos referem-se aos valores das componentes RGB em três pontos. Estes pontos são determinados previamente em função de apresentarem características específicas e que já possibilitam a determinação da identidade do elemento. Isto é, são definidas regiões de interesse na imagem e dessas regiões são extraídos valores de pontos específicos e significativos.

Estes valores de componentes serão repassados às próximas etapas responsáveis pela identificação do elemento a ser classificado, no formato de uma matriz de valores que correspondem a valores determinados por uma associação pertinente de informações.

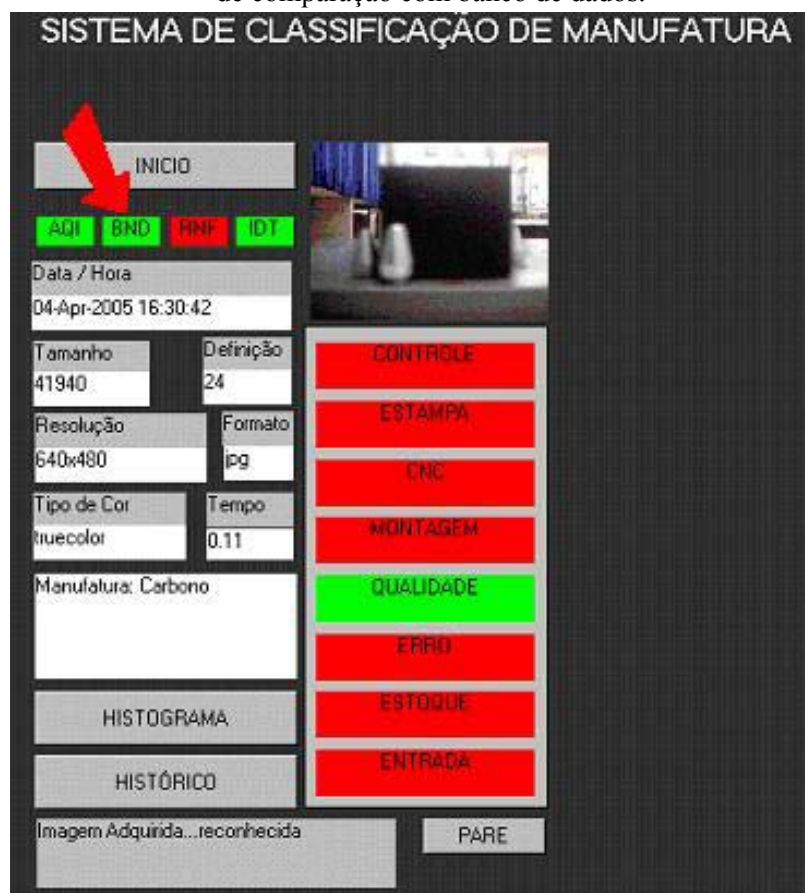
2.2.3. Comparação com banco de dados

Os parâmetros extraídos repassados a esta etapa no formato de uma matriz de valores são comparados com as informações disponíveis num banco de dados. Este banco de dados contém as informações individuais dos elementos que circulam pela linha de produção e que deverão ser reconhecidos.

Portanto, para cada elemento são armazenados os valores da matriz de parâmetros, bem como informações referentes às características estruturais como medidas de diâmetro, material de composição, entre outras. Sendo estas informações repassadas a etapa de identificação e classificação. Em caso negativo de comparação com os valores do banco de dados passa-se a etapa referente à análise por lógica condicional.

A figura 2.4. apresenta a tela do SPI com um valor positivo de reconhecimento por comparação com o banco de dados.

Figura 2.4. – Tela principal do SCM, sinalização de identificação através de comparação com banco de dados.



Fonte: do autor.

Da totalização das imagens utilizadas para testes: 40% (232 imagens) foram reconhecidas por comparação com o banco de dados. Representando assim um valor significativo, porém o diferencial do projeto e que garante o correto funcionamento do sistema está relacionado a próxima etapa.

2.2.4. Análise por lógica condicional

Esta análise forçada da informação foi definida como lógica condicional, pois define o resultado em função dos valores de parâmetros condicionados.

Assim, cada valor da matriz de parâmetros irá passar por comparações lógicas que associados e classificados definirão por aproximação a um elemento integrante da planta. Isto é, os valores serão testados dentro de lógicas condicionais, porém com um valor de limiarização que permitirá uma maior flexibilidade do sistema condicional.

Numericamente o sistema condicional ficou responsável por reconhecer 60% (348 fotos) das imagens adquiridas e que não foram reconhecidas pela etapa de comparação com o banco de dados. Convém ressaltar que com a indexação deste valor de limiar ao algoritmo, a porcentagem de identificações corretas aumentou de 65% para 94%, para testes contínuos de

resposta, testes estes realizados com os diferentes elementos testados alternadamente, definindo assim o diferencial do sistema de identificação.

Uma vez reconhecido o elemento a etapa de identificação e classificação receberá um valor de referência que será associado a um dos elementos do banco de dados. A figura 2.5. apresenta a tela do SPI que indica a identificação por lógica condicional (RNF).

Figura 2.5. – Análise por lógica condicional, indicação RNF



Fonte: do autor.

2.2.5. Identificação e Classificação

A identificação e classificação são definidas pela associação do valor de referência obtido em uma das etapas anteriores a um valor que corresponde a um elemento no banco de dados. Assim que ocorre a correta identificação é apresentado na tela de supervisão do sistema as características do elemento classificado, bem como, será visualmente sinalizado a que sub-sistema da planta o elemento pertence, sendo realizado o transporte deste com a utilização do elemento manipulador, como pode ser observado na figura 2.6..



Figura 2.6. – Identificado o elemento, sinaliza-se a que sub-sistema pertence.
Fonte: do autor.

Portanto, conforme o valor de referência é definido também o código-fonte a ser carregado para o *driver* de controle do braço robótico. Esta interface entre os dois sistemas permite que enquanto o SCT desloque um elemento entre os sub-sistemas, o SPI já esteja realizando a aquisição de uma nova imagem a ser processada.

Uma vez finalizada esta etapa, a imagem será excluída, pois não há necessidade de armazenamento da mesma, o que possibilita a utilização do *software* em sistemas que não tenham disponíveis grandes espaços de memória.

2.3. Histograma de fluxo do processo

O histograma de fluxo do processo foi idealizado para que se possa ter um acompanhamento do sistema no decorrer do tempo, apresentando as quantidades de elementos que já foram identificados e classificados. Assim podem ser realizados estudos que venham a melhorar a *performance* do sistema gerando um quadro de importância e repetibilidade que pode agilizar o processo de comparação com o banco de dados, por exemplo.

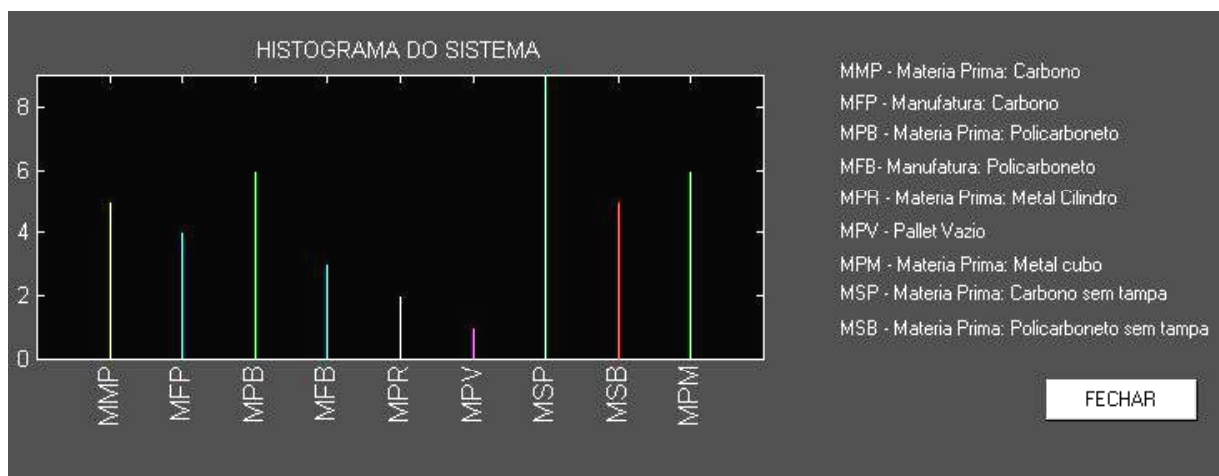


Figura 2.7. – Tela de apresentação do Histograma de Fluxo do Sistema
Fonte: do autor.

2.4. Histórico do Sistema de Classificação

Este recurso gera um controle de entrada e saída de material na planta em função da classificação dos elementos, podendo assim, por exemplo, agilizar pedidos de matéria prima, bem como ser utilizado em sistemas integrados, permitindo um controle exato do que já foi produzido, do que é matéria prima ou esta em produção.

HISTORICO DE MANUFATURAS	
Materia Prima: Metal Cilindro	Data 3-3-2005 Hora 17: 9:53
Materia Prima: Metal Cilindro	Data 3-3-2005 Hora 17:12:51
HISTORICO DE MANUFATURAS	
Pallet Vazio	Data 3-3-2005 Hora 17:15: 1
Manufatura: Policarboneto	Data 3-3-2005 Hora 17:16: 6
Manufatura: Policarboneto	Data 3-3-2005 Hora 17:16:13
Manufatura: Policarboneto	Data 3-3-2005 Hora 17:17:40

Figura 2.8. – Documento com o Histórico, gerado para controle do Sistema.
Fonte: do autor.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos com os testes realizados para o sistema de identificação e classificação podem ser analisados a seguir.

3.1. Condições dos testes

Os testes aplicados foram realizados em diferentes horários e condições de iluminação, tanto com iluminação natural do local, isto é, durante o dia ou sob iluminação artificial com as lâmpadas da própria instalação do Laboratório. Foram, portanto, dispensadas técnicas

específicas de iluminação ou ainda a utilização de anteparos para a aquisição das imagens. Isto já evidencia a perfeita aplicação deste sistema nos mais variados ambientes, conforme o objetivo pretendido. Porém, podem ser utilizadas tais técnicas caso a aplicação necessite, sem a necessidade de modificações significativas no sistema.

3.2. Testes durante o desenvolvimento

Por tratar-se de um sistema desenvolvido para ser dinâmico e com padrão de resposta significativo, os testes realizados durante o desenvolvimento não foram considerados, pois a medida em que as modificações eram realizadas, testes aleatórios eram executados com elementos variados. O valor de 580 imagens utilizadas para teste, refere-se ao valor para os testes realizados depois de concluído o sistema.

A seguir serão apresentados os resultados de testes realizados antes das modificações na análise por lógica condicional.

3.3. Testes finais

Estes testes foram aplicados quando o *software* já estava concluído, assim, têm-se os valores que definem a ótima resposta do sistema, tanto em relação processamento de imagem quanto ao processo de controle do manipulador.

Os elementos foram inseridos de forma contínua, sem grandes intervalos de tempo e aleatória para comprovar o dinamismo do sistema. O sistema foi forçado ao erro, para que apresentasse os possíveis erros se aplicado em ambientes severos, em que necessitasse de alto desempenho, tanto para a correta identificação como em relação ao tempo de processamento.

3.3.1. Análise dos resultados para o SPI

O percentual de acerto alcançado ao final dos testes para a identificação e classificação das 580 imagens foi de 94,48%. No entanto, das 548 imagens corretamente identificadas, 40,32% (221 imagens) foram reconhecidas utilizando a comparação com o banco de dados pré-determinado, e os outros 59,68% (327 imagens) identificadas através da análise por lógica condicional. Como mostram os gráficos abaixo.

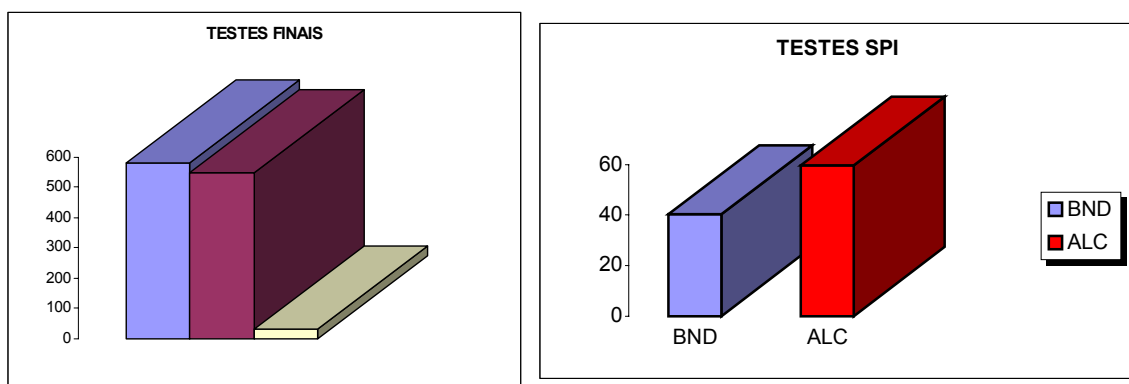


Figura 3.0. – Gráficos dos resultados obtidos. Sendo ALC, análise por lógica condicional e BND, comparação com o banco de dados.

Fonte: do autor.

Através da análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o sistema alcançou os objetivos desejados. Convém, porém ressaltar que o percentual de 4% de erro, número que corresponde a 32 imagens capturadas, foi obtido no máximo “esforço” do sistema, isto é, sob péssimas condições de iluminação ou ainda sob condições limitantes da câmera, quanto à calibração da mesma.

A resposta alcançada para o tempo de processamento foi otimizada com a inclusão da limiarização na análise por lógica condicional, caindo de 0,45s para 0,08s, tempo este calculado entre a aquisição da imagem pelo *software* e a correta classificação.

Foram ainda realizados testes em que não se utilizou a etapa de comparação com o banco de dados, cerca de 50 fotos foram adquiridas e somente reconhecidas através da lógica de análise condicional. Para este teste a resposta ficou próxima de 98% de identificações corretas. Com isto, para uma falha do sistema de banco de dados, ainda assim a etapa de análise condicional garante a adequada funcionalidade do sistema como um todo.

3.3.2. Análise dos resultados para o SCT

O sistema de controle de transporte desenvolvido para o controle do manipulador robótico apresentou ótima resposta em relação ao tempo de deslocamento dos elementos, bem como, em relação às características relacionadas aos movimentos de manipuladores como precisão, repetibilidade e dinâmica. A primeira delas pode ser definida como a capacidade do manipulador de atingir um ponto especificado, seja qual for o sistema de coordenadas utilizado. A repetibilidade é a capacidade do manipulador de retornar seguidamente a um ponto determinado do espaço de trabalho. E por fim, a dinâmica de um sistema é a relação entre as forças ou torques que movimentam cada junta, com as trajetórias, velocidades e acelerações desenvolvidas.

Como o sistema SCT está associado à classificação dos elementos, para as 580 imagens capturadas e utilizadas nos testes, foram por consequência executadas 580 seqüências de movimentos do manipulador, sem apresentar para tais, nenhuma alteração na posição e nem na orientação que gerassem erro de precisão.

Assim, o tempo de deslocamento dos elementos pelo manipulador irá variar em função da trajetória projetada, variando assim somente em relação à distância a ser percorrida pelo efetuador, no caso a garra do manipulador, pois a velocidade e aceleração serão sempre as mesmas.

4. CONCLUSÃO

Foi de fato desenvolvido um sistema autônomo capaz de realizar a identificação e classificação dos elementos que circulam pela planta de manufatura. Os resultados dos testes foram satisfatórios tanto para o SPI, quanto para o SPC. Considerando-se ainda, que os erros se deram em condições extremas, para um perfeito funcionamento do sistema, se forem mantidas condições adequadas, este apresentará ótima resposta no decorrer do tempo.

Portanto, a análise pela lógica condicional desenvolvida aparece como o diferencial deste trabalho, pois apresentou ótimo resultado tanto em relação ao tempo de processamento quanto ao número de identificações realizadas.

A forma como foi elaborado o sistema de controle de transporte permite que futuramente, se necessário, sejam facilmente substituídos os algoritmos de interface com o *driver* do manipulador. Com isto, este sistema se torna flexível o suficiente para poder

trabalhar com outros modelos de manipuladores ou atuadores em qualquer planta de manufatura a que se aplique um sistema de identificação e classificação.

Quanto ao desempenho do sistema, o mesmo pode ser melhorado com a utilização de câmeras específicas pra automação industrial, que possibilitam a realização do pré-processamento e redução de informação em sistemas embutidos no próprio dispositivo de aquisição. Porém, o custo é significativamente maior quando comparado ao de uma câmera como a que foi utilizada.

O número de linhas de produção que trabalham com plantas de manufatura integrada por computador vem se expandindo no país nestas últimas décadas. Assumindo que o mercado interno está ainda defasado em relação a evolução tecnológica, soluções aqui empregadas geralmente vêm de integradores internacionais que limitam e controlam o mercado. Isto dificulta o surgimento e crescimento de empresas nacionais de desenvolvimento de soluções e sistemas.

Porém soluções como esta aqui apresentada, com baixo custo e alto desempenho, vêm atraindo o mercado para as empresas nacionais, tanto pela criatividade na solução de problemas encontrados nestas linhas como pelo fácil acesso a manutenção destes sistemas.

Com isto, abre-se o leque de oportunidades, isto é, de aplicações reais para o sistema desenvolvido.

5. POSSIBILIDADES DE MELHORIAS

Embora se tenha conseguido valores significativos nos resultados dos teste do sistema, ainda podem ser realizadas modificações na etapa de aquisição das imagens, utilizando dispositivos com melhor resolução de imagem ou mesmo que já possuam o pré-processamento embutido, passando ao sistema uma imagem que terá suas informações melhor interpretadas.

A velocidade de processamento pode ser melhorada, se desenvolvido um algoritmo de importância e repetibilidade de imagens de entradas, no caso da comparação com o banco de dados. Esta velocidade pode ainda ser aumentada se para a etapa de análise por lógica condicional, forem utilizados algoritmos de redes neurais com alto poder de aprendizado.

A etapa de análise por lógica condicional para a versão atual foi modificada e transformada num sistema de malha fechada. Com isso, o valor de limiarização é agora calculado através da ponderação do valor de repetibilidade de imagens.

Com estas melhorias, o sistema estará trabalhando muito próximo do “melhor possível”, permitindo um melhor desempenho e gerando ainda a possibilidade de aplicações que vão além da identificação e classificação de elementos, como em sistemas de qualidade e de inspeção visual.

Desta forma o sistema tornar-se-á completo para determinadas aplicações, pois o mesmo programa será capaz de: identificar e classificar o elemento, realizar a inspeção visual da matéria-prima a procura de defeitos, controlar o transporte dos elementos com o manipulador e ainda, realizar a verificação de qualidade da manufatura produzida.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PAZOS, F., **Automação de Sistemas e Robótica**, Axel Books do Brasil Editora Ltda, 2002.
- MARQUES F., O.; VIEIRA N. H., **Processamento Digital de Imagens**, Brasport, 1999.
- GONZALEZ R. C.; WOODS R. E., **Digital Image Processing**, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- ESQUEF, I. A.; ALBUQUERQUE, M. P.; ALBUQUERQUE, M. P. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro. 12 f. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Cap3webfinal. Disponível em: <<http://www.cbpf.br/cat/pdsi/tutoriais.html>>, acesso em: 21/09/2004.
- FIORANTE, G. R. C., **Aplicações em Visão Robótica Estéreo com Sensores de Imagem**. São Paulo. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://sim.lme.usp.br/linhas/iinteligente/pimagem/sistaquisicao/aplicarobotica.pdf>>, acesso em: 20/11/2004
- ASFAHL, C. R., **Robots and Manufacturing Automation**. John Wiley & Sons, Inc. Arkansas, USA, 2 ed. 1992