

PROJETOS INTELIGENTES DE PEÇAS INDUSTRIAIS: UM MODELO AUTOMÁTICO DE FIXAÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES

Edson Pacheco Paladini

Universidade Federal de Santa Catarina

CTC / EPS – Caixa Postal 476 – Florianópolis - SC

***Resumo.** O presente trabalho descreve e analisa um modelo que, com o uso de ferramentas de Inteligência Artificial, mais especificamente, de técnicas de Reconhecimento de Padrões, determina, de forma automática, especificações básicas de projetos de peças industriais. O controle destas especificações é feito pela análise das variações ao longo do uso da peça (como a presença de desgaste na peça pelo aparecimento de manchas, por exemplo). O modelo trabalha com imagens da peça sob estudo. Por um processo de Reconhecimento de Padrões, associa-se, a cada imagem coletada, uma estrutura matricial simples. Em função das propriedades destas imagens, representadas por características específicas da estrutura de representação da imagem utilizada, no caso, uma matriz, o modelo determina parâmetros que monitoram, por avaliação contínua, as variações de uma dada propriedade da peça (como a cor de um desenho em um azulejo, por exemplo). O modelo, assim, verifica se, em relação a um conjunto de limites definidos por procedimentos que levam em conta especificidades da peça em estudo, considera-se aceitável, ou não, as variações da característica em questão. Para tanto, o próprio modelo determina que valores de referência deve-se utilizar para avaliar tais variações. O presente trabalho descreve o modelo, relata as situações mais usuais para sua utilização, discute casos práticos onde foi utilizado e procede uma avaliação crítica dos resultados obtidos.*

***Palavras-chave:** Reconhecimento de Padrões, projeto de produto, qualidade industrial.*

1. INTRODUÇÃO

As especificações de projetos industriais são elementos fundamentais do processo produtivo, direcionando a maioria de suas ações. Ocorre, contudo, que, apesar desta importância, sua determinação segue padrões nem sempre adequados à realidade do próprio processo.

A razão é simples e compreensível. Em geral, o mercado fixa as especificações dos produtos. As áreas de pesquisa de mercado captam estes dados, que reflete tendências, necessidades, preferências e gostos de clientes e os repassam aos setores de projeto da organização. O design do produto que deriva destes setores, assim, parte de um projeto que as áreas externas da empresa gostariam de ter, o que nem sempre significa viabilidade automática de fabricação.

O problema é particularmente crítico quando se consideram especificações mais complexas do que simples medidas (dimensões da peça, por exemplo), como é o caso da tonalidade da peça (elemento crucial em azulejos e pisos, por exemplo). Neste caso, tanto é difícil definir modelos de captura da informação do mercado quanto criar mecanismos de avaliação da peça produzida, para verificar até que ponto o padrão especificado foi atingido.

Tecnicamente, trata-se da avaliação da qualidade por atributos, um processo normalmente difícil mas de indiscutível importância em diversos setores industriais.

O presente trabalho descreve e analisa um modelo que, com o uso de ferramentas de Inteligência Artificial, mais especificamente, de técnicas de Reconhecimento de Padrões, determina, de forma automática, especificações básicas de projetos de peças industriais.

O modelo atua em ambas as situações acima descritas, ou seja, pode ser útil (1) para verificar a viabilidade de fabricação de peças com determinadas características pelo processo produtivo hoje em operação e (2) avalia as especificações já agregadas ao produto.

No primeiro caso, o modelo determina as especificações do produto (sua tonalidade, por exemplo) com base em produtos acabados (resultado do processo produtivo) e as compara com um determinado padrão. No segundo caso, a avaliação dos dados do projeto é feita pela análise das variações ao longo do uso da peça (como a presença de desgaste na peça pelo aparecimento de manchas, por exemplo). Aqui, o padrão é própria peça, considerando-se suas características no momento em que saiu da linha de produção. Compara-se, assim, as características da peça recém fabricada com suas especificações após um certo tempo de uso.

O modelo trabalha com imagens da peça sob estudo. Por um processo de Reconhecimento de Padrões, associa-se, a cada imagem coletada, uma estrutura matricial simples. Em função das propriedades destas imagens, representadas por características específicas da estrutura de representação da imagem utilizada, no caso, uma matriz, o modelo determina parâmetros que monitoram, por avaliação contínua, as variações de uma dada propriedade da peça (a perda de tonalidade de um tecido, por exemplo).

O modelo, assim, verifica se, em relação a um conjunto de limites definidos por procedimentos que levam em conta especificidades da peça em estudo, considera-se aceitável, ou não, as variações da característica em questão. Para tanto, o próprio modelo determina que valores de referência devem ser utilizados para avaliar tais variações.

Para análises monocromáticas, o programa busca definir parâmetros de referência para a detecção de limites máximos para a variação dos níveis de cinza da face da peça. Isto permite determinar a presença de uma trinca, por exemplo: basta comparar a peça que porta o defeito com o padrão e serão observadas variações inaceitáveis na peça, o que determina a presença de defeito. Em análises policromáticas, fixada uma propriedade específica (por exemplo, intensidade, saturação ou tom cromático), o programa determina os valores mais adequados para esta propriedade. As variações que atendam a estes parâmetros serão consideradas aceitáveis. Os valores máximos e mínimos das variações aceitas podem definir, com precisão, características do projeto da peça a partir de sua efetiva utilização prática.

2. MECANISMOS DE DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS

A digitalização de imagens é um processo que transforma uma imagem capturada por uma câmera em uma estrutura matemática que representa esta imagem. No caso do presente trabalho, utilizam-se matrizes como estruturas de representação das imagens das peças. As estruturas matriciais permitem a visualização da imagem da peça, já que cada número da matriz pode ser associado a um ponto da própria peça (pixel da imagem), sendo, assim, a matriz uma fotografia digitalizada da peça.

O processamento do modelo depende das imagens das peças. Por isso, a transformação destas imagens em estruturas matemáticas que as representam é aspecto crucial do processo.

A extração das informações que compõem a imagem das peças é feita por um conjunto de dispositivos. Este processo chama-se de captura da imagem. A partir dele, são definidas as estruturas de representação da imagem, sobre as quais o modelo trabalha. Garante-se, assim, a viabilidade técnica da estruturação do sistema de avaliação aqui proposto e, ao mesmo tempo,

são definidas as informações que funcionarão como entradas do programa computacional que possibilitará a análise a ser feita.

A associação de valores quantificáveis à cor da peça (ou o seu nível de cinza, no caso de imagens monocromáticas) permite definir a intensidade da propriedade em estudo. Desta forma, utilizando uma abordagem semelhante aquela empregada na avaliação da qualidade por variáveis, é possível eliminar algumas das restrições básicas impostas à avaliação da qualidade por atributos. Este tipo de avaliação é clássico no caso da análise de especificações de projeto.

As características dos pixels de interesse neste trabalho são suas propriedades cromáticas, por não serem medidas na forma convencional. Considera-se, assim, relevantes aspectos como os fatores que influenciam a percepção da cor (Bonsiepe, 1991; Swets, Tanner & Birdsall, 1981), a classificação das cores (acromáticas, cromáticas e paracromáticas - ver mesmas referências), a descrição da cor (Swain & Ballard, 1991) e os modelos de cor (Wilson, 1997).

Os modelos de cor que mais se adaptam ao escopo do presente trabalho são de dois tipos, conforme considerarem as análises mono ou policromática. Os modelos monocromáticos são aqueles que permitem a representação de uma imagem em uma única cor. Em geral, uma imagem monocromática é representada por brancos e pretos, como valores máximos de coloração da imagem. Valores intermediários são definidos como níveis de cinza, conceito fundamental no presente trabalho. Os níveis de cinza aparecem na diagonal do cubo RGB (partes iguais de vermelho, verde e azul), que produz a escala de cinzas. O branco é o valor máximo da escala de cinzas e o preto é o mínimo. Esta estrutura é adequada ao problema aqui estudado.

O segundo tipo de modelos envolve a análise policromática. Os modelos policromáticos de maior interesse para este trabalho são RGB e HSI (Wilson, 1991). Juntamente com os modelos HSV, HLS e CMY (Bonsiepe, 1991), igualmente relevantes, eles formam os casos mais conhecidos. O modelo de maior utilização para a situação descrita no presente trabalho é o HSI. Este modelo é uma maneira mais natural de descrever cores do que o modelo tradicional RGB. Os componentes do modelo HSI fornecem informações importantes de uma forma direta: o tom cromático é a cor efetiva (azul ou amarelo, por exemplo); a saturação é a profundidade da cor (rosa ou vermelho escuro, por exemplo) e a intensidade refere-se ao brilho da cor.

Existem sistemas que fazem a conversão entre os sistemas RGB e HSI. Eles operam com equações de transformação de um sistema para outro (Genz, 1997).

3. CAPTURA E ANÁLISE DE IMAGENS

Há diversos métodos de captura da imagem, conforme se estiver trabalhando em ambiente monocromático ou policromático. No caso de métodos de captura da imagem monocromática, há três possibilidades: scanning, line scanning e processamento com o uso de placas digitalizadoras. Para as imagens policromáticas, existem sistemas que esquadriham imagens coloridas definindo valores associados a cada pixel da imagem. Os processos de scanning, neste caso, tendem a utilizar um sistema específico de cores, como é o caso dos sistemas RGB ou HSI. A utilização de placas é considerada uma forma mais simples e eficiente de digitalizar a imagem policromática.

Os sistemas de captura de imagem envolvem, em geral, os seguintes elementos: (a) Uma câmera, que captura a imagem; (b) Placas de processamento da imagem; (c) Computador; (d) Software de processamento da imagem e (e) Sistema de acoplamento da placa ao micro.

Para o caso específico aqui estudado, a segmentação de imagens desempenha papel fundamental na análise da área capturada. Na verdade, o tratamento da imagem visa, essencialmente, realçar situações específicas que nela se observam, permitindo que, através do sistema de captação e análise, tenha-se condições efetivas de decisão, considerando particularidades da peça em estudo. No caso da análise de determinadas especificações, em uma primeira análise,

o que se deseja é, na verdade, um processo de segmentação da imagem "lida", onde seja criada uma partição da estrutura (grid) dos pontos da amostra da imagem em estudo. As técnicas de segmentação mais indicadas para este caso são thresholding, clustering e edges (Fu, 1982).

4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MODELO

O modelo descrito neste trabalho objetiva determinar, em função das propriedades da imagem da peça, características específicas da estrutura de representação utilizada, de forma que se possa, sem a utilização de limites externos, definir parâmetros que permitam proceder a avaliação das variações de uma dada característica da peça. O programa, assim, determina limites de variação para a peça, considerando especificidades da peça em estudo e de seu processo produtivo. Em relação a estes limites, o modelo verifica se pode considerar-se aceitável, ou não, as variações de uma dada característica. Como se observa, o próprio modelo determina que valores de referência deve utilizar para avaliar tais variações. Estes valores correspondem, exatamente, às especificações do produto.

No caso de análises monocromáticas, o programa busca definir parâmetros de referência para a detecção de limites máximos para a variação dos níveis de cinza da face da peça. Quando as especificações da peça ultrapassam estes limites, um defeito está configurado.

No caso de análise policromática, fixada uma propriedade específica (por exemplo, intensidade, saturação ou matiz), o modelo determina os valores mais adequados para esta propriedade. As variações que atendam a estes parâmetros serão consideradas aceitáveis.

Em ambos os casos, o programa determina um limiar básico a partir da divisão da peça em regiões específicas, segundo valores assumidos por cada uma das propriedades da imagem. A seguir, usando o operador de Roberts (Fu, 1982), o programa determina edges que a imagem eventualmente apresente. Por fim, o programa procede a aplicação do limiar de Otsu (Otsu, 1979) aos histogramas da imagem, de forma a determinar um limiar baseado nos momentos cumulativos de ordem zero e de ordem um.

Há três situações distintas a considerar: (1) o uso do limiar básico associa características da imagem a locais da peça onde elas ocorrem; (2) no caso do limiar de Otsu, utilizando-se histogramas, pode-se avaliar peças cujo padrão cromático não depende da área da peça, isto é, não é relevante considerar se determinada área mantém sempre o mesmo padrão cromático, caso em que avalia-se apenas a uniformidade da peça como um todo (aqui, não é importante considerar a ocorrência de determinadas motivações cromáticas ou figuras ou, ainda, partes específicas da imagem sempre um mesmo local da peça); (3) por fim, os edges mostram a ocorrência de variações bruscas em áreas significativas da imagem e são, por isso, relevantes para a determinação de níveis aceitáveis para as variações da característica em questão.

O programa que operacionaliza o modelo dispensa padrões e opera diretamente nas peças, sendo necessário, apenas, fornecer alguns valores de referência para os limites que serão determinados. O programa fornece todos os pixels candidatos a integrar cada uma das áreas em que a imagem da peça foi segmentada. Além de determinar tais pixels, o programa os conta.

5. BASE CONCEITUAL

Propõe-se a adoção de três abordagens básicas para a definição de limiares que permitirão a fixação dos limites em questão: (1) A utilização de limiares não espaciais; (2) O emprego da matriz de edges das peças; (3) A aplicação da metodologia de Otsu para definir o limiar. No primeiro caso, o que se deseja é definir um limiar básico para a segmentação da imagem em duas regiões: acima e abaixo deste valor. Mardia & Hainsworth (1988) listaram pelo menos 5 conjuntos de métodos, com diversas variações, para tal fim. Analisados tais métodos, bem

como outros indicados em outras referências, optou-se pelo método de Ridler e Calvard, proposto em 1978. Justifica-se esta seleção pelo fato de ser um procedimento programável, adaptável ao sistema geral em utilização neste trabalho, interativo, ou seja, utilizado com a interferência permanente do usuário, que pode ser empregado para determinar limiares para níveis de cinza e também aplicável a parâmetros que descrevem imagens policromáticas. Além disso, trata-se de um limiar dinâmico, e, por isso, adequado ao estudo de peças que são observadas ao longo de um intervalo de tempo.

A detecção de edges é uma técnica de segmentação de imagens baseada na detecção de descontinuidade. Fu(1982:24-32) descreve um conjunto de técnicas de segmentação baseadas na detecção de edges, das quais foi selecionada a técnica do operador de Roberts (in: Fu (1982:25-26) e Weszka & Rosenfeld (1979:40), entre outras). Justifica-se a seleção desta técnica pelo fato de utilizar-se operadores baseados no gradiente da função de representação da propriedade da imagem sob estudo em cada ponto, uma questão de particular interesse no presente trabalho. Além disso, a função é definida em termos de uma vizinhança menor para a área da peça, ao contrário de operadores como o laplaciano e dif_1 (Weszka & Rosenfeld, 1979:40), por exemplo, que consideram até 12 pixels ao redor do pixel-base.

Por fim, dentro da idéia de proceder-se uma avaliação estatística dos pixels, propõe-se o uso do operador de Otsu (Otsu, 1979) como um método de seleção de limiares baseado no histograma de níveis de cinza de uma peça. Este método é não supervisionado e procede de forma automática a determinação de um limiar geral para a estrutura de representação da imagem. Basicamente, o método utiliza os chamados momentos cumulativos de ordem zero e de ordem um do histograma da propriedade, em particular, dos níveis de cinza. Tais momentos são definidos como o somatório das probabilidades associadas à ocorrência de cada classe do histograma (ordem zero) e ao somatório do produto do valor da classe pela sua probabilidade de ocorrência (ordem um). A idéia é que o limiar ótimo maximize a variância das classes, ou seja, dados: $U(T)$: nível médio total da imagem; $W(k)$: momento cumulativo de ordem zero; $U(k)$: momento cumulativo de ordem um, determina-se

$$s(k) = [(U(T) \cdot W(k))^2 - U(k)] / [W(k) \cdot (1 - W(k))].$$

O limiar ótimo k^* será tal que $s(k^*) = \max s(k)$, com k variando de 1 até L , o maior valor de cinza ou maior valor assumido pela propriedade cromática em estudo.

6. ESTRUTURA DO MODELO

Inicialmente, para cada imagem considerada, calcula-se o limiar básico $t(q)$, usando o método de Ridler e Calvard. A seguir, determina-se a matriz de edges, usando-se o operador de Roberts. Aplica-se, à matriz obtida, o mesmo método de Ridler e Calvard, de forma a determinar-se um limiar básico para a matriz de edges.

Considera-se o limiar original, $t(q)$, de cada uma das imagens da peça como conjunto-treinamento. Determina-se a média dos valores $t(q)$ associados ao conjunto de peças apresentado. Se R_M for a amplitude média das peças em questão, considera-se como limite superior da referência em estudo o valor $t(q) + R_M$ e, como limite inferior, $t(q) - R_M$. Aplicada a mesma metodologia à matriz de edges, eliminam-se as imagens cujas variações são muito intensas. Por fim, determina-se o limiar de Otsu. A partir deste novo valor, pode-se repetir as operações.

O modelo opera com matrizes cujas entradas são números inteiros, situados entre dois valores específicos (por exemplo, entre 0 e 255). A matriz apresenta porte variável. O processamento é o seguinte:

(1) LIMIAR BÁSICO.

- (1) Seja $q = 0$.
- (2) Calcular a média aritmética de toda a matriz. Seja $t(q)$ esta média. (No caso, $t(0)$.)
- (3) Determinar: [a] Todos os valores da matriz menores ou iguais a $t(q)$. Contar quantos são ($=R_1$); [b] Todos os valores da matriz que ficam acima de $t(q)$. Contar quantos são ($=R_2$).
- (4) Calcular a média dos pontos que caíam em cada uma das duas regiões, ou seja, se $a(i,j)$ for menor que $t(q)$, calcular z_1 como sendo o somatório de todos os $a(i,j)$ dividido por R_1 e z_2 como sendo o somatório de todos os $a(i,j)$ maiores que $t(q)$ dividido por R_2 .
- (5) Determinar o novo valor $t(q)$, como sendo a média das médias de cada região, isto é, $q = q + 1$ e $t(q) = (1/2)(z_1 + z_2)$.
- (6) Verificar se a diferença entre a média global atual e a média anterior é menor do que um dado limite. Se for, pare. O valor atual de $t(q)$ é o limiar procurado. Se não, volte para 3, isto é: $ABS [t(q) - t(q-1)] \leq 0.001$, pare, OU $ABS [t(q) - t(q-1)] > 0.001$, volte para 3.

(2) EDGES

- (1) Determinar o operador de Roberts para cada ponto da matriz: Para $a(i,j)$, calcula-se $r(i,j) = \text{sqrt}((a(i,j) - a(i+1, j+1))^2 + (a(i,j+1) - a(i-1,j))^2)$.
- (2) Definir a matriz dos edges determinados.
- (3) Aplicar o limiar básico à Matriz dos Edges: [a] Seja $q = 0$; [b] Calcular a média aritmética de toda a matriz. Seja $e(q)$ esta média, ou seja, $e(q)$ é igual ao somatório dos $r(i,j)$ dividido pelo produto $m.n$ ($m \times n$ é a ordem da matriz); [c] Determinar todos os valores da matriz que ficam abaixo de $e(q)$. Contar quantos são ($=R_1$). A seguir, determinar todos os valores da matriz que ficam acima de $e(q)$. Contar quantos são ($=R_2$). [d] Calcular a média dos pontos que caíam em cada uma das duas regiões, ou seja, se $r(i,j) < e(q)$, ou se $r(i,j) = e(q)$, então w_1 será dado pelo quociente do somatório dos $r(i,j)$ por R_1 . Se $r(i,j) > e(q)$, então w_2 será dado pelo quociente do somatório dos $r(i,j)$ por R_2 . [e] Determinar o novo valor $e(q)$, como sendo a média das médias de cada região, ou seja, $q = q + 1$ e $e(q) = (1/2)(w_1 + w_2)$. [f] Verificar se a diferença entre a média global atual e a média anterior é menor do que um dado limite. Se for, pare. O valor atual de $e(q)$ é o limiar procurado. Se não, volte para 3, ou seja, se $ABS [e(q) - e(q-1)] \leq 0.001$ ou se $ABS [e(q) - e(q-1)] > 0.001$, volte para c.

(3) LIMIAR DE OTSU

- (1) Determinar V como sendo número de intervalos do histograma. No caso dos níveis de cinza, $V = 256$.
- (2) Para cada intervalo, determinar quantos pixels caíam em cada intervalo, ou seja, $np(v)$ = número de valores $a(i,j)$ tal que $a(i,j) = v$.
- (3) Somar o número de pixels que caíam nos V intervalos. Seja N este número. N é o somatório dos valores $np(v)$, com v variando de 1 até V , e $N = m*n$. ($m \times n$ é a ordem da matriz).
- (4) Determinar $P(v)$, como sendo a incidência de pixels em cada intervalo considerando-se o total de pontos da matriz. Assim, com v variando de 1 até V , determina-se $P(v) = np(v)/N$. O valor do somatório de $P(v)$, com v variando de 1 a V , deve ser sempre 1.
- (5) Determinar os momentos cumulativos de primeira ordem ($u(k)$) e de ordem zero ($w(k)$) do histograma, ou seja, para k variando de 1 a V , determina-se $w(k)$ como sendo o somatório dos valores de $P(i)$, com i variando de 1 até k . Além disso, $w_1(k) = 1 - w(k)$.
- (6) Determinar o coeficiente de Otsu ($SB(k)$). [a] UT será a soma, como i variando de 1 até V , do produto $i \cdot P(i)$. [b] $U(k)$ será a soma, com i variando de 1 até k , do produto $i \cdot P(i)$. [c] Determina-se: $s(k) = [(U(T) \cdot W(k)^2 - U(k))] / [W(k) \cdot (1 - W(k))]$.

(7) O limiar ótimo k^* será tal que $s(k^*) = \max s(k)$, com k variando de 1 até V . Ou seja, escolhido o maior valor de $SB(k)$, para k variando de 1 a V , o nível k associado ao maior valor de $SB(k)$ é o limiar.

(4) LIMITES

Se R_M for a amplitude média de todas as imagens da peça e L_M o limiar escolhido, os limites serão: $LSC = L_M + R_M$ e $LIC = L_M - R_M$. Aqui, LSC significa o limite superior e LIC o limite inferior (valores máximos admissíveis para as alterações ocorridas na peça).

(5) VARIAÇÕES ACEITÁVEIS

Serão aceitáveis as variações de todas as imagens da peça cujos pixels estejam dentro dos limites especificados e cuja matriz de edges ficou dentro dos limites respectivos. Uma análise conjunta, entretanto, dos valores relativos aos pixels da imagens e dos valores dos edges observados, pode permitir a identificação preliminar de situações onde se observam variações inaceitáveis. Assim, em princípio, são candidatos a rejeição (por portarem variações muito relevantes), peças cujos pixels apresentem: [a] Nível de cinza acima do último valor de $q(t)$ e também algum edge cujo valor é maior que o último valor de $e(t)$. [b] Nível de cinza abaixo do último valor de $q(t)$ e também algum edge cujo valor é maior que o último valor de $e(t)$. [c] Nível de cinza acima do valor ótimo de k ($SB(k)=\text{máx}$) e também algum edge cujo valor é maior que o último valor de $e(t)$. [d] Nível de cinza abaixo do valor ótimo de k ($SB(k)=\text{máx}$) e também algum edge cujo valor é maior que o último valor de $e(t)$.

SAÍDAS:

O programa informa:

(1) **Limiar básico** (1) Limiar encontrado: último valor de $q(t)$; (2) peças cujos valores ficaram acima e abaixo dos limites obtidos a partir de $q(t)$; (3) número de peças nesta situação.

(2) **Edges:** (4) Matriz de edges, ou seja, valores de edges correspondentes a cada ponto da matriz dada; (5) pontos cujos valores ficaram acima e abaixo dos limites obtidos a partir de $e(t)$; (6) número de peças nesta situação.

(3) **Limiar de Otsu:** (7) Valor máximo de $SB(k)$; (8) valor de k para o qual $SB(k)$ é o máximo; (9) peças cujos valores ficaram acima e abaixo dos limite obtidos a partir de k ; (10) número de peças nesta situação.

(4) **Limites:** (11) Limites para cada limiar.

8. APLICAÇÃO

Considere-se a matriz abaixo. Ela representa uma determinada área de um azulejo. Os valores referem-se aos níveis de cinza da área escolhida.

Imagem da Peça	60	60	80	Matriz de edges	30.2	15.3	15.3
	85	77	75		9.4	24.1	15.3
	72	93	61		9.4	24.1	24.1

Para este caso: (1) Média: 73,667; valor máximo: 93; valor mínimo: 60; amplitude: 33; (2) Limiar básico: 72,6250; (3) Limiar de Otsu : 71,0000 ($SB(k)$: 88.8882); (4) Matriz de edges: (5) Média de edges: 18.58; valor máximo: 30.23; valor mínimo: 9.43; amplitude: 20.80. (6) Limiar básico da matriz de edges: 19.2861

Esta peça foi acompanhada por dois meses, e sucessivas imagens foram obtidas. Utilizando-se os dados acima, foi possível mostrar que houve variações bruscas de coloração, o que mostrou defeitos na consistência das cores da peça. Fazendo-se a mesma análise acima repetidas vezes, em diferentes momentos do uso da peça, foi possível determinar as áreas que mais

se deterioraram e que, por isso, não podem atender ao projeto original da peça. No caso, observou-se que as “bordas” da peça influenciavam na perda de cor: quanto mais próximo da borda, maior perda. Isto cria mecanismos de correção e prevenção de defeitos na produção.

As seguintes aplicações foram feitas neste mesmo contexto:

- (1) 77 azulejos foram acompanhados ao longo de 2 meses (conforme o esquema acima). 1463 imagens foram estudadas. O resultado final mostrou que 40,26% das peças tinham variações inaceitáveis após um período médio de 35 dias de uso. As especificações originais das cores (projeto), assim, eram inconsistentes e os produtos não conseguiam mantê-las.
- (2) 65 azulejos, em um lote de 125 recém fabricados (52%), tinham variações inaceitáveis em relação ao projeto original da peça. Foram estudadas 2375 imagens. Isto mostrou a incapacidade da fábrica em produzir o azulejo projetado.
- (3) O estudo de 14 peças mostrou que determinadas áreas tem mais variações do que outras. Dividindo-se a peça em 4 regiões, as matrizes que representam os cantos superiores a esquerda tinham mais variações inaceitáveis do que as demais regiões. Isto levou a descoberta de uma imperfeição na correia (na linha de acabamento do produto) que gerava o defeito. A análise das imagens permitiu corrigir e prevenir defeitos de processo.

9. CONCLUSÕES

O modelo aqui descrito é usado sempre que não existam limites para determinar se as variações de uma peça são aceitáveis, como também permite que sejam definidos referenciais para intervalos dentro dos quais as mudanças operadas nas imagens posteriores da peça devem estar situadas. Pontos fora dos limites significam valores que extrapolaram os limites. Deverão ser considerados como situações críticas do processo. Não se recomenda, em hipótese alguma ou sob qualquer pretexto, desconsiderá-los, já que fazem parte integrante do processo e por isso ajudam a descrevê-lo. Os limites determinados definem as especificações do projeto a partir do uso da peça e, por extensão, do processo produtivo que a gera.

Cabe observar que as imagens portadoras de variações inaceitáveis são eliminadas do processamento e, por isso, não influenciam na determinação dos limites e limiares. Neste caso específico, os limites usados para a avaliação prévia das variações são 40 e 100 (valores obtidos a partir de simulações experimentais do modelo). Evidentemente, estes limites poderão ser desconsiderados, situação em que peças muito claras ou muito escuras seriam incluídas na análise e na formulação dos limites e limiares, que, por isso, teriam seus valores um tanto distorcidos. De fato, como o eixo de referência da função dos níveis de cinza é $g(x,y) = 255 - f(x,y)$, se o limite inferior 40 for desconsiderado, entrarão na análise imagens muito claras e, por conseqüência, o limiar básico e o de Otsu serão menores; caso o limite 100 seja relaxado, passam a integrar a análise as imagens muito escuras, e os limiares aumentam. Em ambos os casos, os limites serão maiores do que se considerar-se os valores prescritos acima.

A fixação dos limites básicos é questão fundamental. O primeiro modo de fixar-se tais limitantes gerais é considerar duas peças portadoras de defeitos e definir, nelas, os limitantes, que passam a valer para todo o grupo que se está considerando. Se preciso eliminar os limitantes, utiliza-se um artifício sem provocar alteração no programa: fixam-se os valores dos limitantes em 0 e 255, valores máximos dos níveis de cinza que os dispositivos de hardware determinam, ou 0% e 100% em casos de propriedades como a saturação, que é medida com percentuais. Assim, o programa pode ser flexibilizado, sem alterações de qualquer natureza.

Sem perda de generalidade, assim, pode-se aplicar os limitantes gerais - 40 e 100 ou quaisquer outros valores - para que se obtenham apenas limiares e limites adequados à situação real do processo, e, assim, desconsiderar, de imediato, peças que apresentam anomalias notá-

veis, que podem conferir a tais parâmetros valores que não representam a realidade do processo. De toda a maneira, os limites específicos, que serão efetivamente utilizados, serão aqueles determinados pelo processamento do modelo.

Pode-se também utilizar as matrizes de edges para definir, em apoio à análise feita com limiares, se uma dada peça é "candidata" a portar variações consideradas inaceitáveis. De fato, os edges representam uma descontinuidade da imagem, causada, quase certamente, pela ocorrência de variações inaceitáveis na imagem da peça. Os resultados do programa permitem que sejam tiradas algumas conclusões sobre o uso dos limiares e limites propostos.

(1) *Limiar Básico e Edges:*

- (a) Pontos que estão fora dos limites para o limiar básico e edges apresentam falta de uniformidade. Neste situação, provavelmente as variações da peça serão inaceitáveis;
- (b) O número de pontos fora de controle para o limiar básico tende a acompanhar o número de pontos fora do controle dos edges;
- (c) Peças cujas imagens não tem variações significativas têm faixas uniformes de variação, no limiar básico e nos edges. Os limites básicos usados para definir tais defeitos foram 40 e 100, chamados limitantes gerais, abaixo ou acima dos quais os níveis de cinza passam a caracterizar a presença de manchas. Estes valores foram determinados empiricamente;
- (d) Os pontos fora de controle para a análise de edges não são os mesmos para o caso dos limiares. O que se nota, nesta situação, é o seguinte: *Pontos fora do controle de limiares:* uniformidade mais espalhada, cobrindo áreas maiores da peça; *pontos fora do controle dos edges:* uniformidade mais localizada, pontual, em áreas mais restritas. No primeiro caso, as variações são menos perceptíveis do que no segundo;
- (e) Não existe relação direta entre os dois valores - limiar básico e edges.

(2) *Limiar Básico, Médias e Limiar de Otsu:*

- (a) Em peças sem variações inaceitáveis e com uma uniformidade pelo menos razoável, o limiar básico e a média dos valores da propriedade da peça tendem a ter valores próximos;
- (b) O limiar de Otsu é sempre um valor inteiro nos exemplos aqui mostrado. Isto ocorre porque, na verdade, o cálculo do limiar é feito pela escolha de um dado valor que a propriedade assume. No caso dos níveis de cinza, estes valores são sempre inteiros. No caso de um parâmetro como a saturação, medida em percentuais de 0 a 100, o limiar de Otsu será um percentual inteiro (54%, por exemplo);
- (c) O limiar básico divide melhor a peça, separando "grupos" de valores. Já a média é influenciada pela concentração de valores e tende a se aproximar dos níveis para onde convergem os valores da propriedade em questão, ou seja, a média fornece uma tendência central para o processo. A média é facilmente influenciável por pequenas alterações de valores, sobretudo se esta alteração eleva (ou reduz) um determinado nível da propriedade de forma significativa. O limiar básico, ao contrário, é uma medida mais estável;
- (d) O limiar de Otsu tende a ficar próximo do limiar básico mas é influenciado por um único valor que possa assumir valores muito discrepantes em relação ao resto da população. É uma medida menos estável que o limiar básico, mas não sofre o mesmo nível de influência que atinge a média. No caso da média, o valor do parâmetro é alterado pela anormalidade; no caso do limiar de Otsu, ela é separada do restante da população por um limiar mais elevado ou mais reduzido, conforme for o caso.

Em face aos resultados observados e às análises feitas, propõe-se o seguinte: (1) não deve ser utilizada a média aritmética dos valores da propriedade como limiar em nenhuma situação. Este parâmetro tende a fornecer uma falsa idéia da realidade da peça e é muito afetada por agrupamentos de valores ou por anomalias nos níveis que a propriedade da peça possa assumir; (2) para peças que tendem a ser muito uniformes, o limiar de Otsu é recomendado; (3)

para peças que, historicamente, têm apresentado variações significativas, o limiar básico, por ser uma medida muito mais estável, é recomendado.

Como regra geral, propõe-se o limiar básico como o mais indicado para situações gerais, sem características específicas, ou seja, para a grande maioria dos casos.

REFERÊNCIAS

- Bonsiepe, G. Estrutura e Estética do Produto. Florianópolis, LBDI/SC, 1991.
- Fu, K. Syntactic Pattern Recognition and Applications. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1982.
- Genz, S. E. Real Time Chip Set Color Image Processing. in: Image Processing. Marlboro, MA, DataTranslation, 1997. Págs. 14-16.
- Mardia, K. & Hainsworth, T. Spatial Thresholding Method for Image Segmentation. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 10, 6, Nov. 1988. Págs. 919-927.
- Otsu, N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Vol. SMC-9, N. 1, Jan. 1979. Págs. 62-66.
- Ridler, T. W. & Calvard, S. Picture Thresholding using an interactive selection method. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. vol. SMC-8, Aug. 1978. Págs. 630-632.
- Swets, J. A.; Tanner, W. P. Birdsall, T. G. Decision Processes in Perception. Psychological Review. Vol. 68, N. 5, 1981. P. 301-340.
- Swain, M. & Ballard, D. Color Indexing. International Journal of Computer Vision. Vol. 7, N. 1. 1991. Págs. 11-32.
- Weszka, J. S. A Survey of Threshold Selection Techniques. Comput. Graphics Image Processing. No. 7, 1978. Págs. 259-265.
- Weszka, J. S. & Rosenfeld, A. Histogram Modification for Threshold Selection. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. Vol. SMC - 9, n. 1, Jan. 1979. Págs. 38-52.
- Wilson, A. Color is Color? Image Processing. Marlboro, MA. DataTranslation 1997. P.7-9.

INTELLIGENT DESIGN OF INDUSTRIAL PIECES: AN AUTOMATIC MODEL TO DEFINE SPECIFICATIONS

Abstract: This paper describes and also analyzes a model that, with the use of Artificial Intelligence tools, more specifically, of Pattern Recognition techniques, determine, in automatic way, basic specifications of industrial piece design. The control of these specifications is made by the analysis of the variations along the use of the piece (as the defect occurrence in the piece because it shows stains, for example). The model works on the images of the piece under study. Using pattern Recognition techniques, the model associates, to each collected image, a simples matrix structure. Considering the properties of these images, represented by specific characteristics of the image representation structure, in this case, a matrix, the model determines parameters that control, in a continuous evaluation, the variations of a given property of the piece (as the color of a drawing in a tile, for example). The model checks characteristic of the piece, matching them to some patterns. Then it decides if the variations observed in the piece under study are considered acceptable, or not. The model determines reference values that should be used to evaluate such variations. The present paper describes the model and the most usual situations for its use. The paper discusses also practical cases where it was used and a critical evaluation of the obtained results is done.

Key-words: Pattern Recognition, product design, industrial quality.