

CONTROLE DE QUALIDADE DE PADRÕES GRÁFICOS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO GRADIENTE MORFOLÓGICO

João L. Fernandes

Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense.
Rua Passos da Pátria, 156, Niterói, RJ. E-mail: ccmjlf@vm.uff.br

Aura Conci

Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal Fluminense.
E-mail: aconci@ic.uff.br

Resumo. *A Morfologia Matemática pode ser definida como uma ferramenta que objetiva extrair características em imagens digitais, para utilização em diversas aplicações de processamento de imagens como segmentação e detecção de bordas. Erosão e Dilatação são as operações elementares da Morfologia Matemática e podemos encontrar um grande número de operadores definidos a partir destas funções. O Gradiente Morfológico é uma dessas operações e quando aplicado a imagens em tons de cinza, destaca as transições relevantes dos diversos níveis. Neste trabalho, propomos um processo automatizado para controle de qualidade de imagens coloridas, utilizando o Gradiente Morfológico. As imagens a serem testadas são comparadas com uma imagem padrão, através de um índice que mede as diferenças obtidas nos contornos das imagens, pela aplicação desse operador. Esse processo encontra aplicabilidade na indústria, principalmente em linhas de produção, onde, sem prejuízos de tempo, haja a necessidade de se detectar falhas em padrões gráficos estampados, objetivando garantir a qualidade dos produtos finais. Através dos experimentos realizados, o método mostrou-se simples e eficiente, com resultados positivos em todos os testes que efetuamos.*

Palavras-chave: *controle de qualidade, detecção de falhas, qualidade do produto.*

1. INTRODUÇÃO

A palavra *Morfologia* normalmente designa áreas de estudos relacionadas à forma e estrutura. No campo da Morfologia Matemática o mesmo termo é empregado para definir uma ferramenta que objetiva extrair feições características em imagens digitais, para utilização em diversas aplicações no ramo de processamento de imagens. O princípio básico da Morfologia Matemática consiste em extrair uma informação relativa à geometria e à topologia de um conjunto pela sua transformação por outro conjunto completamente definido chamado “elemento estruturante” (Facon, 1996).

O elemento estruturante é de suma importância nas operações da Morfologia Matemática, e pode ser entendido como uma imagem conhecida a ser operada no conjunto desconhecido da imagem. O resultado dessa operação permite extrair características relevantes da imagem original. O tipo e a natureza da informação extraída depende necessariamente do tipo de elemento estruturante e do tipo de imagem estudada (Facon, 1996).

Basicamente, a Morfologia Matemática se divide em dois campos: Morfologia aplicada a imagens binárias e a Morfologia aplicada a imagens em tons de cinza. Para imagens binárias, os elementos da imagem envolvidos se apresentam em duas formas possíveis, e um modo de caracterizá-los é distinguir entre “elementos do fundo” (por convenção, atribuindo valor 0 aos

pixels) e “elementos válidos” (atribuindo valor 1 aos pixels). A imagem resultante após uma operação morfológica binária apresenta uma nova configuração entre os elementos do fundo e os elementos válidos, que levará em consideração o tipo de operação realizada, o elemento estruturante utilizado, o valor e a vizinhança de cada pixel. Para imagens em tons de cinza, os elementos envolvidos estão no espaço Z^3 (além das coordenadas do pixel, temos a definição do nível de cinza associado), assim, como veremos na seção seguinte, para cada pixel da imagem original, as operações básicas envolverão cálculos relacionados à verificação de máximos ou de mínimos (em uma vizinhança definida pela forma do elemento estruturante), e a imagem resultante apresenta uma nova configuração dos níveis de cinza, de acordo com as condições da operação. Em imagens coloridas utilizamos as mesmas definições desenvolvidas anteriormente, aplicadas a cada canal de cor separadamente.

Erosão e Dilatação são as operações elementares da Morfologia Matemática e formam a base para a construção das operações mais complexas. Assim, numa cadeia morfológica de processamento de imagens, podemos encontrar um grande número de operadores utilizados, definidos a partir destas funções elementares. O Gradiente Morfológico, por exemplo, é calculado diretamente a partir destas operações básicas e, quando aplicado a imagens em tons de cinza, destaca as transições relevantes dos diversos níveis, possibilitando um realce de bordas. Diferentemente de outros métodos utilizados em Processamento de Imagens para detectar bordas, o Gradiente Morfológico, obtido através da utilização de elementos estruturantes simétricos, tende a depender menos de aspectos direcionais dos contornos da imagem.

Neste trabalho, propomos um processo automatizado para controle de qualidade de imagens coloridas, utilizando o Gradiente Morfológico. As imagens a serem testadas são comparadas com uma imagem padrão (sem falhas), através de um índice que mede as diferenças obtidas pela aplicação do Gradiente. A idéia fundamental do método proposto se baseia no fato de que possíveis imperfeições nas imagens-teste serão facilmente detectáveis através dos seus contornos, já que estes se apresentarão diferentes na imagem padrão. Um processo intuitivo para controlar a presença de defeitos em uma imagem-teste seria compará-la diretamente com a imagem padrão (através de simples diferenças entre os níveis de cinza, por exemplo). No entanto, como mostramos, esse processo apresentou-se bastante falho na detecção de vários tipos de imperfeições. A utilização do Gradiente, todavia, foi bem sucedida em todos os testes realizados. Nas seções seguintes, definiremos os operadores morfológicos básicos, sua utilização em nosso processo de controle de qualidade e os experimentos efetuados.

2. OPERADORES MORFOLÓGICOS

Para definir os operadores morfológicos básicos aplicados a imagens em níveis de cinza, vamos introduzir a imagem de entrada na forma $f(x,y)$ e o elemento estruturante na forma $b(x,y)$ para $x,y \in Z$. O elemento estruturante também pode ser considerado como uma imagem, ou como uma subimagem, já que, na maioria das aplicações, apresenta dimensões bem menores do que imagem de entrada. As funções f e b representam valores para os níveis de cinza correspondentes a cada pixel (x,y) .

2.1. Dilatação

A Dilatação de f por b , denotada por $f \oplus b$, é definida como (Gonzalez e Woods, 1992):

$$(f \oplus b)(s,t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x,y)\} \quad \forall (s-x), (t-y) \in D_f, (x,y) \in D_b \quad (1)$$

onde D_f e D_b são os domínios das funções f e b , respectivamente. A operação “max” representa o máximo valor entre os elementos resultantes do conjunto.

Podemos notar, pela Eq. 1, que a operação de Dilatação é semelhante a uma convolução 2-D de f pelo “filtro” b . A condição imposta em relação aos domínios das imagens, ou seja, $(s-x, t-y)$

esteja no domínio de f e (x,y) esteja no domínio de b , implica que f e b se sobreponham ao longo do processo. Assim, pode-se perceber que cada pixel da imagem dilatada vai ser substituído pelo máximo obtido considerando os diversos resultados das somas entre f e b ($f + b$), numa vizinhança de f determinada por b .

Tendo em vista que o processo de Dilatação se baseia na escolha do máximo valor de $f + b$ em uma vizinhança definida pela forma e tamanho do elemento estruturante, dois efeitos básicos são percebidos em uma imagem dilatada: se todos os valores de b são positivos, a imagem de saída tende a ser mais clara do que a imagem de entrada (níveis mais altos de cinza) e detalhes escuros na imagem de entrada serão reduzidos ou totalmente eliminados, dependendo, é claro, do tamanho do elemento estruturante (Gonzalez e Woods, 1992).

Na Fig. 1, podemos perceber os efeitos da Dilatação na imagem *Lena* (em tons de cinza), utilizando um elemento estruturante quadrado de 3x3 pixels, com valor de todos os pixels indicado pelo número entre chaves nos títulos da figura. É interessante notar como os níveis de cinza mais altos são acentuados.

A forma do elemento estruturante também é importante para o resultado final obtido na operação de Dilatação. Assim, por exemplo, dependendo da aplicação desejada, um elemento em “cruz” pode realçar detalhes de forma mais adequada do que um elemento estruturante “quadrado”.

A operação Dilatação, para imagens coloridas, pode ser executada aplicando-se a Eq. 1 para as imagens correspondentes aos canais de cor vermelho, verde e azul (*red*, *green* e *blue*). A Fig. 2 exemplifica a operação utilizando o elemento estruturante 3x3 (valor 1 para todos os pixels). É interessante observar que pode-se escolher um elemento estruturante diferente para cada canal de cor, dependendo das características a serem acentuadas em uma determinada aplicação.



Figura 1. (a) Imagem original (100x100 pixels). (b) Imagem dilatada (elemento 3x3{1}). (c) Imagem dilatada (elemento 3x3{50}).

2.2 – Erosão

A Erosão de f por b , denotada por $f \ominus b$, é definida como (Gonzalez e Woods, 1992):

$$(f \ominus b)(s,t) = \min\{f(s+x,t+y) - b(x,y)\} \quad \forall (s+x),(t+y) \in D_f, (x,y) \in D_b \quad (2)$$

onde, D_f e D_b são os domínios de f e b , respectivamente. A operação “min” representa o mínimo valor entre os elementos resultantes do conjunto.

De forma análoga ao definido para a operação de Dilatação, podemos perceber que cada pixel da imagem “erodida” vai ser tomado como o mínimo obtido entre os resultados das diferenças entre f e b ($f - b$), numa vizinhança de f determinada pelo elemento estruturante b .

Podemos resumir os efeitos da operação de Erosão de duas formas: se todos os pixels do elemento estruturante são positivos, a imagem resultante tende a ser mais escura do que a imagem de entrada, e os detalhes “brilhantes” da imagem inicial são reduzidos ou eliminados, dependendo, logicamente, dos valores dos pixels e da forma do elemento estruturante.

Na Fig. 3 podemos perceber os efeitos da Erosão na imagem *Lena*. É interessante notar como os detalhes mais claros são sensivelmente diminuídos (ou eliminados), principalmente quando aumentamos os valores dos pixels do elemento estruturante.



(a)



(b)



(c)



(d)

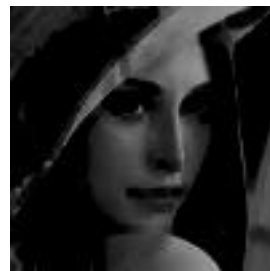


(e)

Figura 2. (a) *Flores*. Imagem original (100x100 pixels). (b),(c) e (d) Dilatação para os canais *red*, *green* e *blue* (elemento estruturante $3 \times 3 \{1\}$). (e) Imagem resultante da combinação de (b),(c) e (d).



(a)



(b)

Figura 3. (a) Erosão da Imagem *Lena* usando o elemento estruturante $3 \times 3 \{1\}$. (b) Erosão com elemento $3 \times 3 \{50\}$.

Da mesma forma que a Dilatação, podemos empregar a Eq. 2 para “erodir” uma imagem colorida, operando em cada canal de cor separadamente. A Fig. 4 ilustra o processo com a imagem *Flores*.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. (a), (b) e (c) Erosão da imagem *Flores* nos canais *red*, *green* e *blue* pelo elemento estruturante $3 \times 3 \{1\}$. (d) Resultado da combinação dos canais.

Um aspecto bastante relevante tanto na Erosão como na Dilatação é a decisão a ser tomada com relação aos resultados obtidos para os pixels fora da escala de níveis de cinza inicialmente adotada (por exemplo, valores negativos obtidos na Erosão). Esse efeito é principalmente sentido quando utilizamos um elemento estruturante com valores altos para os pixels (tons claros). No caso dos exemplos aqui referenciados, simplesmente adotamos valor 0 para todos os resultados negativos e 255 para valores que superaram esse nível, no entanto, dependendo da aplicação, essa pode não ser a melhor solução (talvez a melhor solução, para um problema específico, seja distribuir os valores dos níveis encontrados e criar uma nova escala, de 0 a 255, a partir dos valores máximo e mínimo resultantes).

2.3. Gradiente

O Gradiente Morfológico, denotado por g , pode ser calculado como (Gonzalez e Woods, 1992):

$$g = (f \oplus b) - (f \ominus b) \quad (3)$$

onde “ \oplus ” representa uma Dilatação, “ \ominus ” representa a operação de Erosão e “ $-$ ” a subtração dos valores correspondentes aos pixels tratados.

Conforme podemos perceber pela Eq. 3, o Gradiente é definido a partir das operações de Dilatação e Erosão. O processo destaca as transições entre os níveis de cinza (contornos) e o resultado da operação vai depender do elemento estruturante utilizado. Para mostrar contornos delgados e bem definidos, o ideal é utilizar um elemento pequeno; também é interessante notar que a simetria do elemento vai fazer com que o resultado da operação tenda a depender menos dos aspectos direcionais das bordas. Na Fig. 5 notamos as diferenças na aplicação do Gradiente (imagem *Lena*), para elementos estruturantes com diferentes tamanhos.

De forma semelhante às operações de Dilatação e Erosão, para imagens coloridas operamos em cada canal de cor separadamente. A Fig. 6 mostra os resultados obtidos para a imagem *Flores*.

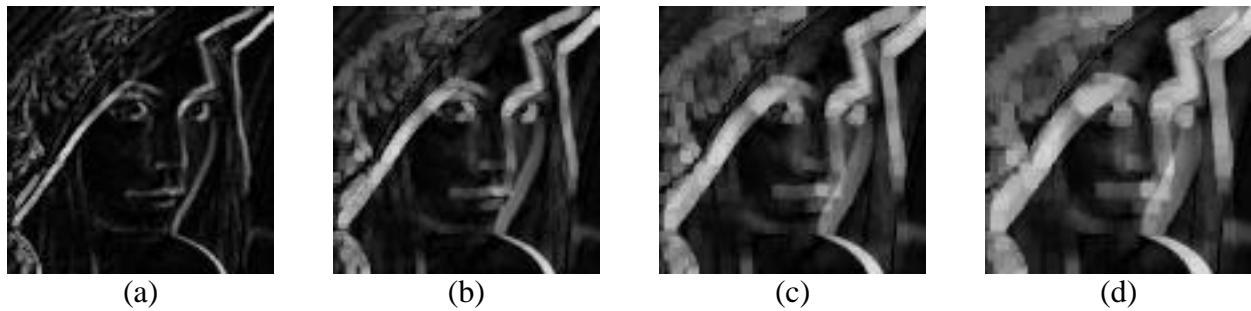


Figura 5. Gradiente morfológico aplicado à imagem *Lena* com diferentes elementos estruturantes. (a) Elemento $2 \times 2 \{1\}$. (b) Elemento $3 \times 3 \{1\}$. (c) Elemento $4 \times 4 \{1\}$. (d) Elemento $5 \times 5 \{1\}$.

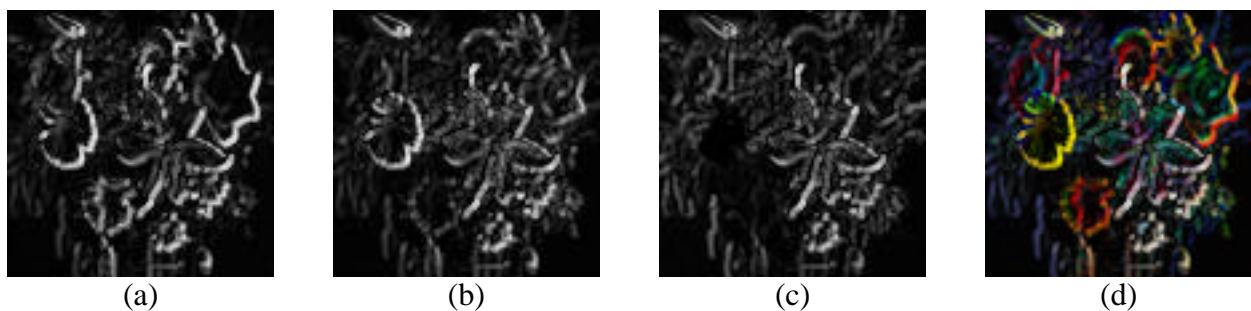


Figura 6. Gradiente morfológico aplicado à imagem *Flores* usando elemento estruturante $2 \times 2 \{1\}$. (a),(b) e (c) Canais *red*, *green* e *blue*. (d) Gradiente combinado dos três canais da Imagem.

3. ÍNDICES DE CONTROLE DE QUALIDADE

Objetivando um controle automatizado para reprodução de imagens baseado na comparação com um padrão (visando a detecção de possíveis falhas em um processo de produção em série), são criados índices comparativos, de modo a rejeitar ou aceitar uma imagem-teste, de acordo com o grau de semelhança com a imagem padrão. Assim, uma imagem “aceita” é aquela que se enquadra dentro dos níveis estéticos de semelhança e uma imagem “rejeitada” é aquela que apresenta defeitos que inviabilizariam sua utilização, por exemplo, para fins comerciais.

Um processo para comparação entre duas imagens em tons de cinza é simplesmente computar diferenças entre os valores dos pixels. Assim, se $f_p(x,y)$ é a imagem padrão e $f_t(x,y)$ é a imagem a ser testada, temos que:

$$Id = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |f_p(i, j) - f_t(i, j)|}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M f_p(i, j)} \quad (4)$$

onde Id é o índice calculado a partir do valor absoluto das diferenças entre os pixels das imagens (com tamanho $N \times M$). No caso de imagens coloridas, teremos um índice para cada canal de cor e, para que uma imagem seja aceita, torna-se necessário que todos os valores para Id estejam abaixo de um determinado limite.

Numa alternativa a esse processo podemos utilizar o Gradiente das imagens. Nesse caso, a partir das imagens resultantes do Gradiente Morfológico, realizamos uma avaliação quantitativa para os pixels pertencentes aos contornos e criamos um índice de diferenças. Assim, para imagens em tons de cinza:

$$Ig = \frac{|Np - Nt|}{Np} \quad (5)$$

onde Np e Nt representam o número de pixels pertencentes aos contornos das imagens padrão e teste, respectivamente. Tal relação justifica-se pelo fato de que possíveis falhas nas imagens serão amplamente detectáveis a partir da presença ou ausência dos pixels das bordas.

Uma questão importante para cálculo dos valores de Np e Nt é decidir quais são os pontos pertencentes aos contornos das imagens. O problema está em separarmos os pixels do fundo e das bordas, e a maneira mais simples de realizar essa operação é a partir da limiarização das imagens do Gradiente. Assim, assumimos que os pixels pertencentes às bordas são aqueles com valores acima de um determinado limiar (*threshold*). A avaliação desse limite é bastante relevante já que valores pequenos demais farão com que Ig não considere somente bordas, por outro lado, grandes valores farão com que Ig não considere pontos que podem ser cruciais ao processo de detecção.

No caso do índice Ig , para imagens coloridas, teremos um número para cada canal de cor e todos os índices deduzidos devem estar abaixo de um determinado limite, para que uma imagem teste seja aceita.

Através da experimentação verificamos que, na obtenção do Gradiente, a utilização de elementos estruturantes pequenos (proporcionalmente ao tamanho das imagens) e simétricos produz melhores resultados, já que estes elementos permitirão contornos delgados e uniformes. O *threshold* utilizado na operação de limiarização do Gradiente é bastante dependente dos valores dos pixels do elemento estruturante. Constatamos que, para elementos com valor 1 em todos os pixels, o nível de cinza 40 é adequado para o processo. Também através dos experimentos foi observado que, tanto para o índice Ig como para Id , o limite a ser utilizado para aceitar ou não uma imagem teste pode ser fixado em 0,03 (3 %), nos três canais de cor.

5. EXPERIMENTOS

Dois grupos de imagens foram usados nos experimentos. Na Fig. 7 podemos notar variações na imagem *Flores*. Em (a), temos a imagem considerada padrão, e as outras são as imagens a serem testadas. Visualmente é possível declarar como adequadas as imagens (d) e (f). A primeira apresenta apenas poucos ruídos e a segunda, tonalidade um pouco abaixo da padrão; da mesma forma, são recusáveis as outras imagens, pelas imperfeições que apresentam. Do mesmo modo, para a imagem *Rótulo* (Fig. 8), tem-se em (a) um padrão. As imagens (d) e (e) estão visualmente aceitáveis, e as outras não, pois se apresentam com muitos problemas.

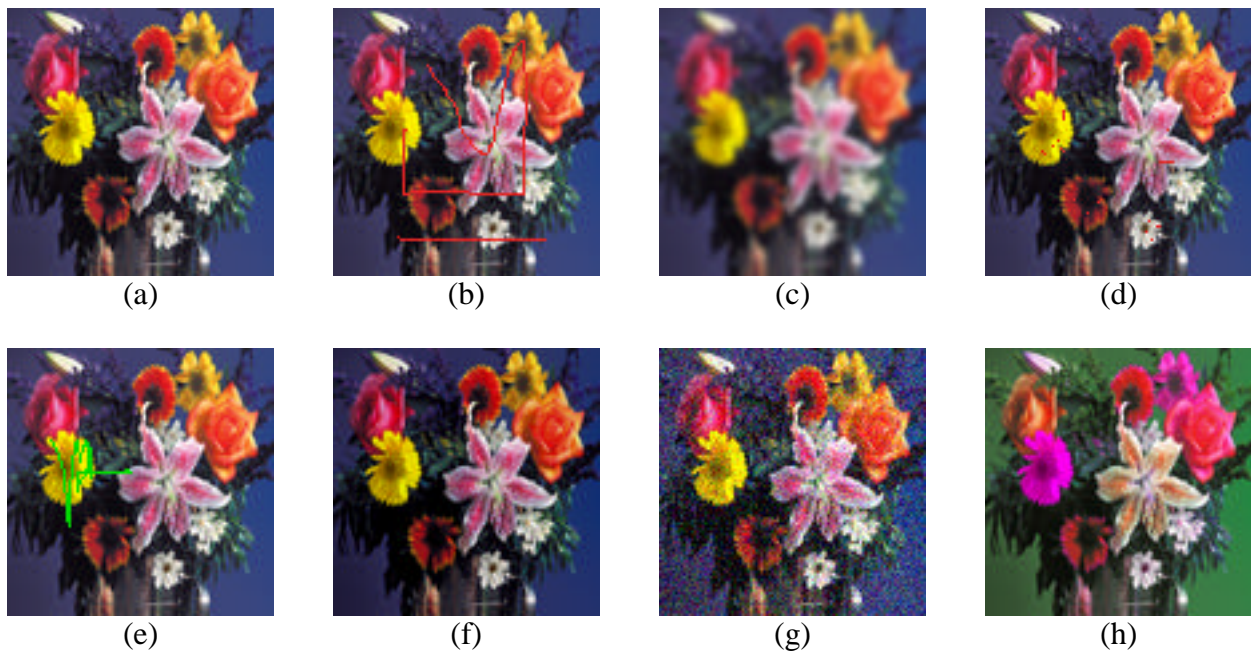


Figura 7. Imagem *Flores* (100x100 pixels). (a) Imagem padrão. (b) a (h) Imagens a serem testadas.

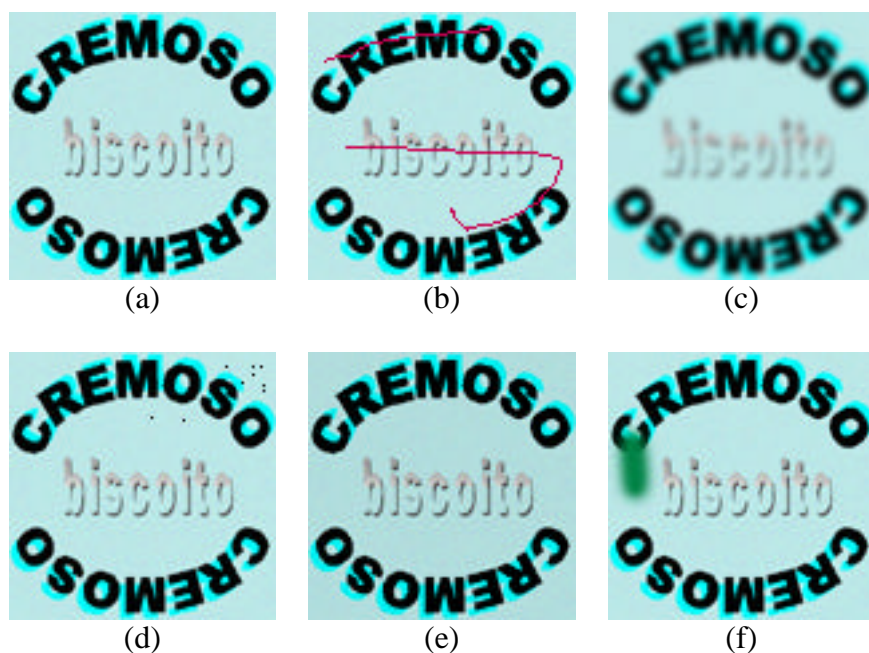


Figura 8. Imagem *Rótulo* (100x100 pixels). (a) Imagem padrão. (b) a (f) Imagens a serem testadas.

A Tabela (1) mostra os resultados para I_d , de acordo com a Eq. 4, para os três canais das imagens *Flores* e *Rótulo*. Através dos resultados demonstrados nas linhas sombreadas da Tabela, percebemos que o índice não se comportou adequadamente. Mesmo que adotássemos um limite maior do que aquele considerado (0,03), é observável pela análise das diversas situações que continuaríamos com resultados negativos. Deve-se notar ainda que, na Tabela, os valores de I_d estão multiplicados por 100, assim, o valor limite (para efeitos de comparação) é 3,00.

Os resultados para o cálculo de I_g , de acordo com a Eq. 5, estão demonstrados na Tab. (2). Podemos perceber que todos os testes atingiram o objetivo final. Para obtenção do Gradiente das imagens utilizamos um elemento estruturante de 2×2 (com valor 1 para todos os pixels). Na Fig. 9, pode-se observar as diferenças entre o Gradiente obtido para a imagem *Rótulo* padrão (Fig. 8(a)) e uma imagem teste (Fig. 8(b)).

Tabela 1. Índice I_d calculado para as imagens em teste. As linhas sombreadas na tabela indicam resultado fora do padrão esperado.

Padrão original	Imagem teste	$I_d \times 100$			Resultado
		<i>red</i>	<i>green</i>	<i>blue</i>	
<i>Flores.</i> Fig. 7 (a)	(b)	3,00	2,38	1,89	Aceita
	(c)	12,60	15,40	12,94	Recusada
	(d)	0,19	0,48	0,30	Aceita
	(e)	2,25	1,38	0,26	Aceita
	(f)	19,67	25,23	22,81	Recusada
	(g)	16,32	21,76	20,06	Recusada
	(h)	0,0	44,43	40,84	Recusada
<i>Rótulo.</i> Fig. 8 (a)	(b)	1,17	1,78	1,25	Aceita
	(c)	8,75	9,38	9,36	Recusada
	(d)	0,11	0,10	0,10	Aceita
	(e)	6,14	4,74	4,74	Recusada
	(f)	2,36	1,21	1,70	Aceita

Tabela 2. Índice I_g calculado para as imagens em teste.

Padrão original	Imagem teste	$I_g \times 100$			Resultado
		<i>red</i>	<i>green</i>	<i>blue</i>	
<i>Flores.</i> Fig. 7 (a)	(b)	10,16	4,57	3,87	Recusada
	(c)	41,72	61,71	71,43	Recusada
	(d)	1,12	2,03	0,85	Aceita
	(e)	4,85	2,21	0,55	Recusada
	(f)	1,28	2,03	1,36	Aceita
	(g)	30,81	29,26	28,34	Recusada
	(h)	0,0	3,97	2,28	Recusada
<i>Rótulo.</i> Fig. 8 (a)	(b)	7,00	9,72	12,65	Recusada
	(c)	14,88	6,53	7,38	Recusada
	(d)	1,68	1,60	1,60	Aceita
	(e)	1,63	1,06	1,28	Aceita
	(f)	3,97	0,31	2,83	Recusada

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, a idéia de uso do Gradiente Morfológico para auxílio no processo de controle de qualidade de estamperia colorida é proposto e testado. Não foi considerado, no entanto, a influência

da forma do elemento estruturante nos resultados obtidos; um elemento em cruz (ou circular), por exemplo, poderia realçar detalhes que tornariam o método mais preciso.

O método proposto tem-se mostrado adequado e eficiente, produzindo melhores resultados do que técnicas tradicionais baseadas apenas na diferença entre as estampas. Como extensão, sugerimos um tratamento estatístico dos resultados alcançados a partir de situações distintas, obtendo assim, uma avaliação da aplicabilidade do método em diversos tipos de imagens, pois, dependendo do contexto da aplicação, o método pode não funcionar bem. Por exemplo, um pequeno ruído posicionado em determinadas áreas de uma imagem pode não ser detectável e provocar um efeito contrário ao esperado (pontos escuros no “sorriso” de uma pessoa cuja imagem estampasse uma embalagem de produto dental, por exemplo). Nesse caso, talvez haja necessidade de uma segmentação prévia da imagem (por processos como o *Watershed* (Hirata Jr, 1997)) antes de aplicar o método.



Figura 9. Gradiente para as imagens das Fig. 8(a) e (b)

Outro ponto a considerar é a eficiência do algoritmo na operação do Gradiente. Gil e Kimmel (2002) propõem algoritmos determinísticos mais eficientes para operações de Erosão e Dilatação. Considerando o acréscimo dos recursos computacionais necessários ao processamento, à medida que aumentamos o tamanho das imagens, e considerando ainda que o método pode estar condicionado aos limites de tempo impostos por uma linha de produção em série, detalhes relacionados à eficiência do processo podem ser de suma importância para sua aplicabilidade prática.

5. REFERÊNCIAS

- Facon, J., 1996, “Morfologia Matemática: Teoria e Aplicações”, Editora Universitária – Pontifícia Universidade Católica/Paraná, Curitiba, Brasil.
- Gil, J. and Kimmel, R., 2002, “Efficient Dilation, Erosion, Opening and Closing Algorithms”, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24(12), pp. 1606-1617.
- Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., 1992, “Digital Image Processing”, Reading, Addison-Wesley.
- Hirata Jr., R., 1997, “Segmentação de Imagens por Morfologia Matemática”, Dissertação de Mestrado/ IME –Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

QUALITY CONTROL OF GRAPHIC PATTERNS THROUGH THE USE OF THE MORPHOLOGIC GRADIENT

João L. Fernandes

Universidade Federal Fluminense

Passos da Pátria, 156, Niterói, RJ, Brasil. E-mail: ccmjlf@vm.uff.br

Aura Conci

Universidade Federal Fluminense. E-mail: aconci@ic.uff.br

Abstract. *The Mathematical Morphology can be defined as a tool to extract digital features, for use in several applications of image processing such as segmentation and edge detection. Erosion and Dilation are the elementary operations of Mathematical Morphology and we can find a number of operators defined from these elementary functions. The Morphologic Gradient is one of this and when applied to images in grayscale, it detaches the relevant transitions of the several levels, improving edge detection. In this work, we propose an automated process for quality control of color printing, using the Morphologic Gradient. The images to be tested are compared with an standard, through measures obtained from image outlines, obtained using the Gradient. This process can be used in the industry, mainly in production lines, for quality control of printed materials without waste of time. Through the experiments, we show that the method is simple and efficient, with good results in all the tests done.*

Keywords. *Quality control, fault detection, product quality.*