

**SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5362-NTC/302

TÉCNICAS PARA MEDIDAS DE QUALIDADE DE UMA IMAGEM

Otávio Santos Cupertino Durão

**INPE
São José dos Campos
1992**

INPE-5362-NTC/302

TÉCNICAS PARA MEDIDAS DE QUALIDADE DE UMA IMAGEM

Otávio Santos Cupertino Durão

**INPE
São José dos Campos
1992**

621.373.5

Durão, O.S.C.

Técnicas para medidas de qualidade de uma imagem. / O.S.C. Durão. -- São José dos Campos: INPE, 1992. 13p. -- (INPE-5362-NTC/302)

1. Processamento de imagem. 2. Medidas quantitativas. I. Título

RESUMO

Medidas quantitativas da qualidade de uma imagem processada digitalmente procuram refletir o julgamento subjetivo feito por humanos. Este trabalho pretende discutir algumas destas técnicas desde as mais simples até aquelas que levam em conta a modelagem do sistema de visão humano; são mostradas técnicas para medidas da qualidade de imagens monocromáticas. Ao final do trabalho é mostrado um exemplo de aplicação retirado da literatura.

1 INTRODUÇÃO

Muito pouco tem-se publicado na literatura a respeito da medição quantitativa da qualidade de uma imagem processada digitalmente. Entretanto esta é uma medida importante caso se pretenda classificar algoritmos e/ou sistemas que operam digitalmente uma imagem. Deixar-se que esta avaliação seja feita somente através do julgamento subjetivo de humanos insere um risco de viés que pode invalidar a classificação. Além disso, a oportunidade de uma avaliação quantitativa possibilita a busca de um sistema/algoritmo ótimo.

Por outro lado tem sido muito difícil o desenvolvimento de uma medida que reflita, sem contra-exemplos, a qualidade de uma imagem (Pratt, 1978). O objetivo tem sido a determinação de um índice obtido através de um modelo que emule, o melhor possível, o sistema de visão humano.

Estas técnicas são muito úteis para a avaliação de sistemas de codificação de imagens transmitidas por satélites. Isto é, para determinar qual o sistema de codificação que melhor mantém a qualidade da imagem codificada. A resposta a esta indagação pode inclusive influir no sistema de telemetria da carga útil de um satélite de sensoriamento remoto. Este índice de qualidade serve também para determinar qual o método de codificação a ser usado no armazenamento de uma imagem. Também para a avaliação de novos algoritmos de processamento de imagens esta medida quantitativa é útil, seja na área médica seja na área industrial.

Existem duas medidas de qualidade de uma imagem: fidelidade e inteligibilidade. A primeira indica a

qualidade de reprodução da imagem original; a segunda indica a capacidade da obtenção de informações úteis de uma determinada imagem. No presente trabalho tratar-se-á do primeiro caso, ou seja, da fidelidade com relação à imagem original. Também somente será discutido o caso discreto, onde imagens são processadas digitalmente, não se incluindo o caso de um domínio contínuo, como no caso de imagens de televisão, por exemplo.

Outra distinção a ser feita é com relação à medida de qualidade de uma imagem monocromática e de imagens a cores. Este último caso é muito mais complexo em virtude do aumento da dimensionalidade da imagem e não será discutido aqui.

2 MEDIDAS DA QUALIDADE DE UMA IMAGEM

2.1 - MEDIDAS DIRETAS DE ERRO

A medida mais comum utilizada para quantificar a qualidade de uma imagem é o Erro Médio Quadrático (EMQ), definido por:

$$EMQ = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (s_{i,j} - \bar{s}_{i,j})^2$$

onde:

N é a dimensão da matriz imagem N x N

$s_{i,j}$ é a imagem alterada

$\bar{s}_{i,j}$ a imagem original

Como consequência, EMQ normalizado (EMQN) é definido por:

$$EMQN = \frac{EMQ}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_{i,j}^2}$$

Da mesma forma, medidas baseadas em erros absolutos têm sido definidas:

$$(\text{Erro Médio Absoluto}) \text{ EMA} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |s_{i,j} - \bar{s}_{i,j}|$$

$$(\text{EMA Normalizado}) \text{ EMAN} = \frac{\text{EMA}}{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |s_{i,j}|}$$

Estas medidas são de fácil manipulação numérica, porém não se correlacionam bem com avaliações subjetivas feitas por observadores humanos, apesar das medidas normalizadas, EMQN e EMAN, apresentarem desempenho melhor do que EMQ e EMA, respectivamente. EMAN tem bom desempenho para níveis de baixa intensidade porque mudanças incrementais a baixa intensidade são mais distinguíveis do que aquelas a altas intensidades. Entretanto, e apesar de sua simplicidade, o Erro Médio Absoluto Normalizado não é de fácil manipulação, o que torna o seu uso menos frequente do que o EMQN.

2.2 - MEDIDAS TRANSFORMADAS

Na tentativa de melhor correlacionar estas medidas com o sistema visual humano, várias outras que incluem não linearidades e características de respostas espaciais têm sido propostas:

Erro Médio Logarítmico Quadrático (Log EMQ)

$$\text{Log EMQ} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\log(1+s_{i,j}) - \log(1+\tilde{s}_{i,j})]^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\log(1+s_{i,j})]^2}$$

Erro Médio Quadrático Laplaciano (EMQL)

$$\text{EMQL} = \frac{\sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} (G_{i,j} - \hat{G}_{i,j})^2}{\sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} G_{i,j}^2}$$

onde:

$$G_{i,j} = s_{i+1,j} + s_{i-1,j} + s_{i,j+1} + s_{i,j-1} - 4s_{i,j}$$

$\hat{G}_{i,j}$ é definido como $G_{i,j}$, usando-se $\tilde{s}_{i,j}$

EMQL baseia-se na relevância das bordas na observação humana. Esta medida tem bom desempenho para imagens que tenham sido filtradas em banda baixa. Entretanto, ainda assim, é possível a geração de imagens severamente degradadas com ruídos de baixa frequência espacial, que venham a obter um índice de "boa qualidade" com o uso do EMQL. Além disso, EMQL é de difícil tratamento computacional.

Estas medidas possuem uma melhor correlação com avaliações subjetivas feitas por humanos do que outras medidas como EMQ. Ainda assim, existem contra-exemplos com baixa avaliação subjetiva de qualidade que obtêm boa classificação com estas medidas quantitativas. Uma medida universalmente aceita para quantificar a qualidade de uma imagem ainda não foi desenvolvida.

2.3 - UMA MEDIDA PERCEPCIONAL DA QUALIDADE DE UMA IMAGEM

Visando uma melhoria na correlação das medi-
das citadas anteriormente com classificações subjetivas fei-
tas por humanos, uma medida definida no domínio da percep-
ção do sistema visual humano (Hall, 1978) foi desenvolvida.
Foi adotado um modelo do sistema visual humano (SVH), que
consiste de uma não-linearidade logarítmica, seguida de um
filtro com características de banda passante no domínio de
frequência espacial (Fig. 1).

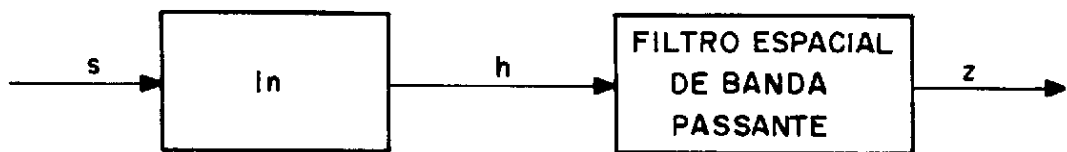


Fig. 1 - Modelo Simplificado Acromático do SVH.

O modelo acima é baseado em um extenso estudo do SVH (Mannos e Sakrison, 1974). O Erro Perceptual Médio Quadrático (EPMQ) é definido como:

$$EPMQ = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (z_{i,j} - \bar{z}_{i,j})^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N z_{i,j}^2}$$

onde:

$$z = \ln(s) \otimes h$$

\otimes indica o operador de convolução, e

h é a resposta ao impulso, dado pelo SVH após a não-linearidade logarítmica.

Esta medida pode também ser definida no domínio de Fourier por:

$$EPMQ = \frac{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N (Z_{m,n} - \bar{Z}_{m,n})^2}{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N Z_{m,n}^2}$$

onde:

$$Z = F[\ln(s)].H$$

H representa a função de transferência do SVH

$F[.]$ representa a Transformada de Fourier e

m, n estão no domínio da frequência espacial

A determinação experimental da função de transferência H para condições padrão de observação resulta em:

$$H(f) \cong 2,6 [0,0192 + 0,114 f] \exp [-(0,114 f)^{1,4}]$$

onde:

f representa a frequência espacial

Assume-se que $H(f)$ é isotrópica para imagens bi-dimensionais.

3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO (Hall, 1978)

3.1 - AVALIAÇÃO SUBJETIVA

Neste experimento 12 imagens foram codificadas da imagem original (Fig. 2).



Fig. 2 - Imagem Original (256x256).

Os codificadores utilizados foram: bloco coseno (8x8 e 16x16) e espectro perceptual de potência, respectivamente com 2, 1, 0,75 e 0,5 bits/pixel e 1, 0,50, 0,25 e 0,10 bits/pixel.

As imagens eram mostradas em pares, em monitor, aos observadores. A sequência final foi obtida através de uma média ponderada:

$$R_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M n_{ij} I_i$$

onde:

M = número de observadores (avaliações)

R_i = posição da i-ésima imagem I

$n_{i,j}$ = posição dada à imagem I_i pelo observador (avaliação) j

A Tabela 1 mostra a classificação obtida na avaliação subjetiva.

TABELA 1

CLASSIFICAÇÃO SUBJETIVA

Imagem	Bloco	Bits/pixel	Colocação
1	16x16	2	3
2	"	1	5
3	"	0,75	7
4	"	0,50	10
5	8x8	2	1
6	"	1	6
7	"	0,75	8
8	"	0,50	11
9	256x256	1	2
10	"	0,50	4
11	"	0,25	9
12	"	0,10	12

3.2 - AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

O mesmo conjunto de imagens gerado para a avaliação subjetiva foi utilizado para medidas quantitativas da qualidade da imagem, em relação à original. As medidas de erro utilizadas foram o Erro Médio Quadrático Laplaciano (EMQL), o Erro Médio Quadrático Normalizado (EMQN) e o Erro Perceptual Médio Quadrático (EPMQ), respectivamente com as equações definidas anteriormente neste trabalho.

Desta forma, o menor erro foi considerado como indicativo da "melhor" imagem e assim sucessivamente, até que a medida máxima de erro indique a "pior" imagem. Os resultados estão mostrados na Tabela 2, onde também foi incluída a classificação subjetiva, para comparação.

TABELA 2

COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS QUANTITATIVAS E SUBJETIVA

IMAGEM	EMQN (%)	EMQL (%)	EPMQ (%)	CLASSIFICAÇÃO SUBJETIVA
1	0,27	60	3,2	3
2	0,43	81	5,4	5
3	0,51	89	6,1	7
4	0,67	100	7,8	10
5	0,28	64	3,0	1
6	0,43	89	4,6	6
7	0,57	100	6,1	8
8	0,83	133	8,6	11
9	0,26	75	1,2	2
10	0,42	85	2,5	4
11	0,73	93	5,0	9
12	1,55	99	9,1	12

correlação
c/ classif. 0,85 0,84 0,92
subjetiva

Da tabela acima vê-se que existe uma melhora significativa quando se usa o EPMQ para quantificar a qualidade do conjunto de imagens utilizado, com a classificação subjetiva feita por observadores humanos. Para um conjunto de 12 unidades (tamanho do conjunto de imagens), o intervalo de confiança das correlações é superior a 99,9% (Montgomery, 1976). Portanto, para este conjunto de dados, o EPMQ é definitivamente uma melhor medida da distorção da imagem.

5 CONCLUSÃO

Vários índices de medida quantitativa da qualidade de uma imagem foram apresentados. Infelizmente pouco se tem publicado sobre o assunto na literatura seja em desenvolvimento ou aplicações, especificamente para processamento digital. Ainda não há um índice universalmente aceito e "à prova" de contra-exemplos; o que é reconhecido é que índices baseados em modelos do sistema visual humano possuem desempenho superior, quando comparados com avaliações subjetivas.

Um dos objetivos deste trabalho é suscitar que os índices aqui expostos sejam utilizados e melhor avaliados no campo de processamento digital de imagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pratt, W. K. Digital image processing. New York, John Wiley and Sons; 1978.
- Hall, C.F. Digital color image compression in a perceptual space. Califórnia, University of Southern California. Fev. 1978. (Image Processing Institute, Report 790).
- Pennsylvania State University. Digital image processing: electrical engineering course, class notes, set. 84.
- Gonzalez, R. C.; Wintz, P. Digital image processing, Reading, Addison-Wesley, 1977.
- Mannos, J.L.; Sakrison, D.J. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images. IEEE Trans. Inform. Theory; IT-20(4):525-536; 1974.
- Montgomery, D.C. Design and analysis of experiments. New York, John Wiley and Sons, 1976.