MODELOS FRACTAIS NA INSPECÇÃO DE SUPERFÍCIES NATURAIS

António Miguel de Campos

Investigador do D.E.E. - L.N.E.T.I.
Ministério da Indústria e Comércio
1699 Lisboa Codex Portugal

SUMARIO

Neste trabalho, comenta-se a dificuldade da resolução do problema da inspecção de superfícies de origem natural devida sobretudo á grande variabilidade inerente aos processos físicos envolvidos na sua formação. Apresentam-se os modelos fractais, que parecem extremamente adequados para a análise da textura de superfícies de origem natural, e referem-se duas técnicas para a estimação da dimensão fractal numa imagem. Referem-se ainda os estudos em curso referentes á análise da textura de mosaicos de aglomerado de cortiça.

1. INTRODUÇÃO

Presentemente, a maioria dos processos de inspecção de superfícies industriais é realizada por inspectores humanos resultando dessa situação muitos inconvenientes devido á natureza repetitiva desse tipo de trabalho. A subjectividade dos critérios utilizados e o número relativamente grande de atributos a inspeccionar durante uma mesma operação gera uma taxa de repetibilidade muito baixa.

A determinação de critérios objectivos para a inspecção visual e classificação e a introdução de técnicas de análise automática de texturas para o controlo de qualidade de superfícies industriais é pois uma necessidade premente que é hoje sentida em toda a indústria fabril. A resolução dos problemas que tal automação põe é especialmente difícil para o caso das superfícies de materiais naturais devido á grande variabilidade inerente aos processos físicos envolvidos na sua formação [1].

Neste trabalho apresenta-se uma das técnicas mais promissoras para a análise de textura e que se baseia numa nova classe de funções matemáticas conhecidas por "fractais". Esta técnica têm especial aplicabilidade no caso das superfícies naturais, como se comprova pela boa correlação que se tem obtido entre a classificação obtida por estes métodos e a classificação feita por operadores humanos.

O aspecto mais interessante desta técnica é o de ela potencialmente unificar e simplificar diferentes descrições estatísticas da textura e ao mesmo tempo intoduzir uma interpretação da textura em termos da estrutura de uma superfície Browniana tridimensional associada á imagem [2].

2. OS MODELOS FRACTAIS

Os modelos fractais baseiam-se nas funções fractais, desenvolvidas por B.B. Mandelbrot [4], que se definem formalmente como conjuntos para os quais a dimensão de Hausdorf-Besicovich é estritamente maior do que a dimensão topológica. Esta classe de funções tem sido usada para caracterizar propriedades geométricas de linhas, planos e sólidos, e para a construção de imagens sintéticas de uma variedade de formas e cenas "naturais".

Os modelos fractais permitem relacionar uma propriedade métrica com o elemento de medida usado como base do seu cálculo. O modo mais usual de se estimar uma propriedade métrica M (ex: comprimento, área) é utilizar um instrumento de tamanho F para determinar que n instrumentos desses "cobrem" o objecto a ser medido, e aplicar a fórmula

$$M = n\ F^{D} \qquad (1)$$

em que D é a dimensão topológica do instrumento de medida.

No caso do cálculo de certas propriedades métricas surgem medidas inconsistentes, que dependem do elemento de medida utilizado. É o caso do cálculo do comprimento de uma costa, em que se constata que o valor do comprimento da costa aumenta á medida que o valor do comprimento do elemento de medida diminui. Isso leva a perguntar qual será afinal o valor do comprimento de uma costa.

Mandelbrot [4] mostrou que se generalizarmos o conceito intuitivo de dimensão de modo a incluir objectos de dimensões fraccionárias, é possível obter uma medida consistente de uma costa.

Pelo facto da linha de costa ser escavada, a todas as escalas de observação, quando tentamos medir o seu comprimento todas as características da curva que são menores do que o comprimento do elemento de medida nos escapam.

A introdução de uma potência fraccionária na fórmula de medição é um modo expedito de conseguir uma medida consistente, que compensa o comprimento perdido devido ao facto de não considerarmos os detalhes menores que F:

$$M[F] = n \quad F^{1-D} \tag{2}$$

em que D representa agora a dimensão fractal. Mandelbrot [4] demonstrou que na natureza se encontram extensivamente as fractais, que são o resultado de processos físicos que modificam aleatoriamente a forma dos objectos através de uma acção local.

Para o caso de uma superfície teremos analogamente:

$$A[F] = n \quad F^{2-D} \tag{3}$$

em que A[F] representa a área da superfície. E diremos então que uma superfície fractal é aquela que pode ser aproximada de uma forma precisa por uma só função fractal, dentro de uma certa banda de escalas [2].

Processos de agregação, de erosão ou de turbulência de fluidos produzem tipicamente superfícies fractais, depois de inúmeras repetições. Nuvens, montanhas, água turbulenta e mesmo a música têm uma forma fractal. No caso das superfícies, a parte fracçionária da dimensão dá-nos uma noção da variação da área da superfície com as diferentes escalas de resolução e permite-nos, ainda que um tanto "grosseiramente", classificar essa superfície em termos do processo que a formou.

Verificou-se experimentalmente que a medida fractal se correlaciona quase perfeitamente com as estimativas de rugosidade feitas por humanos [2].

Um plano considerado como liso tem aproximadamente uma dimensão D=2.0, uma colina de declive suave terá uma dimensão próxima de D=2.1, uma cordilheira de montanhas velhas corresponderá a D=2.3 e uma montanha nova e rugosa D=2.8.

Se partirmos da hipótese de que, no processo da percepção da textura de uma superfície, os humanos utilizam uma interpretação tri-dimensional, os modelos fractais serão bons candidatos para capturar todas as características relevantes da textura, uma vez que são os únicos modelos tridimensionais conhecidos para a textura.

É possível aplicar este modelo a imagens desde que estas sejam consideradas como imagens tridimensionais de superfícies. O valor da intensidade luminosa em cada ponto (nível de cinzento em cada pixel) representa o valor da terceira dimensão.

Um dos aspectos mais interessantes do modelo fractal para imagens de superfícies é que ele poderá unificar e simplificar descrições de textura baseadas em estatísticas de coocorrencia, espectros de Fourier, processos de Markov, ou autocorrelação e ao mesmo tempo intoduzir uma interpretação em termos da estrutura de uma superfície tridimensional [2].

3. ANÁLISE DA DIMENSÃO FRACTAL

Para se determinar a dimensão fractal da superfície de intensidades associada a uma imagem pode-se considerar a imagem como uma função fractal Browniana bidimensional e estudar o comportamento das diferenças de intensidade entre pixels com a distância entre eles (estatísticas de segunda ordem) [2]. Uma função fractal Browniana F[x] é uma função para a qual se verifica, para todo o x e dx:

$$\Pr\left[\frac{|F[x+dx]-F[x]|}{\|dx\|^{H}} < y \right] = F[y] \qquad (4)$$

em que F[y] é a função de distribuição cumulativa. No caso bidimensional x é um vector (coordenadas dos pixels) e a dimensão fractal da superfície é:

$$D = 3 - H \qquad (5)$$

A partir de (4) temos que:

$$E\left[\frac{|F[x+dx]-F[x]|}{\|dx\|^{H}} \right] = E\left[\frac{|F[x+1]-F[x]|}{\|1\|^{H}} \right] \qquad (6)$$

ou, depois de uma transformação logarítmica:

$$\log\,[E\{|dF[dx]|\}] = H \log\,[|dx|] + \log\,[E\{|dF[1]|\}] \qquad (7)$$

em que $E\{|dF[dx]|\}$ é o valor esperado da mudança de intensidade (nível de cinzento) para uma distância dx.

O valor da dimensão fractal D é determinado então pela determinação da inclinação de uma recta correspondendo á regressão linear efectuada sobre a curva log [Var(|dF[dx]|)] vs. log [|dx|]. Em que Var(|dF[dx]|) representa a variância da distribuição das diferenças de intensidade interpixel para a distância dx [2].

Um outro método é o de determinar directamente o comportamento da área da superfície a várias escalas de observação. Para isso, a imgem é amostrada usando intervalos espaciais crescentes de amostragem [3]. Considera-se a superfície como sendo composta por um conjunto de sólidos rectangulares de alturas correspondendo á intensidade de cada pixel e com uma secção quadrada de lado igual ao valor do intervalo de amostragem. A cada pixel associa-se então uma superfície com área

$$A = F^2 + F\ (I[x,y]-I[x+F]) + F\ (I[x,y]-I[x,y+F]) \qquad (8)$$

em que E representa o valor do intervalo de amostragem, e I[x,y], I[x+1,y], I[x,y+1] representa o valor de intensidade para o pixel considerado e para os seus vizinhos imediatos á direita e em baixo. A superfície associada a cada amostragem da imagem tem um valor que corresponde á soma de todas estas áreas elementares. Efectua-se então uma regressão linear sobre a curva Log (A[F]) vs. Log (F) para determinar o valor de D.

4. INSPECÇÃO DE DEFEITOS EM AGLOMERADOS DE CORTIÇA

Foi feita uma avaliação da aplicabilidade do modelo fractal á textura de mosaicos de aglomerados de cortiça, através do estudo do comportamento da área da superfície tridimensional associada ás imagens de vários aglomerados com a variação do intervalo de amostragem. Uma regressão linear efectuada sobre a relação Log(A[E]) vs. Log(E) para determinar a dimensão fractal da superfície revelou que o modelo fractal parece adequado. A correlação da regressão obtida é elevada (0.98-0.99).

Decorrem estudos para determinar que tipo de variações de textura nos aglomerados são detectáveis de um modo eficiente pela utilização do modelo fractal.

É de notar que a definição da dimensão fractal é feita dentro de uma certa banda de escalas, podendo por isso um determinado material exibir diversas dimensões fractais em escalas diferentes. Esse facto pode ser interpretado como um dado que nos permite inferir que mais de um processo esteve envolvido na formação da superfície, e que cada processo agiu em diferentes zonas de escala. Pode-se fazer, nesse caso, uma análise da curva de variação da dimensão fractal com a escala, ou seja, analisar a chamada "assinatura fractal" do material.

No caso da detecção de defeitos em aglomerados de cortiça, podemos interpretar uma variação significativa na dimensão fractal como uma pista para a dedução da existêencia de variações no processo de formação da textura.

5. CONCLUSÕES

A utilização de modelos fractais pode obviar uma enfermidade comum a todos os outros tipos de modelos estatísticos: os seus parâmetros não correspondem directamente a qualquer qualidade significativa dos padrões texturais e, em particular, a qualquer atributo associado á percepção humana desses padrões. Quando se utilizam esses modelos, nunca se pode estar bem certo de quais são as propriedades dos padrões texturais em que se baseia a discriminação.

Os modelos fractais parecem capturar eficientemente a estimativa de "rugosidade", tida como implícita na inspecçao de superfícies de origem natural. Embora isto corresponda a modelar a densidade do campo aleatório bidimensional associado á imagem por especificação de algumas propriedades do campo que podem corresponder a mais do que uma densidade de probabilidade, do ponto de vista da discriminação visual humana esta aproximação parece revelar-se como suficiente e mesmo vantajosa em certos casos [5].

No caso dos aglomerados de cortiça, o critério final de aprovaçáo de um determinado mosaico parece dever ser ao fim e ao cabo o de que esse mosaico "fique bem" no meio de outros, por exemplo, no revestimento decorativo de uma parede. É extremamente difícil capturar esse critério usando os modelos estatísticos habituais, parecendo mais prometedora a utilização de modelos fractais visto se ter demonstrado que eles se correlacionam bem com atributos associados á percepção humana da textura.

6. REFERÊNCIAS

[1] L. Serafim, M. de Campos, "Automated Classification and Inspection of Cork Mosaics", Advances in Intelligent Robotics Systems Symposium, SPIE, Cambridge, Nov 1987

[2] Pentland, "Fractal-based description of Natural Scenes", IEEE PAMI-5, Vol 1, Jan 1981

[3] Lundahl et al, "Analysis and Interpolation of Angiographic Images by use of Fractals", IEEE Computers in Cardiology 1985

[4] Mandelbrot, "The fractal geometry of Nature", Freeman 1982

[5] Ahuja, Rosenfeld, "Mosaic Models for Textures", IEEE PAMI-3 Vol 1, Jan 1981