

Método de reconhecimento automático de wrinkle ridges em Vénus

Automatic recognition method for wrinkle ridges on Venus

T. BARATA – mtbarata@gmail.com (Universidade de Coimbra, Centro de Geofísica)

E.I. ALVES – livo@dct.uc.pt (Universidade de Coimbra, Centro de Geofísica e Dep. de Ciências da Terra)

D. VAZ – vaz.david@gmail.com (Universidade de Coimbra, Centro de Geofísica)

RESUMO: Como as *wrinkle ridges* são as estruturas tectónicas mais abundantes em Vénus é importante compreender as suas características geométricas, como comprimento ou orientação. A determinação destes parâmetros requer, primeiro, a detecção das estruturas. O presente trabalho mostra resultados preliminares de um método para a detecção e a medição automáticas de *wrinkle ridges* em imagens radar da missão Magalhães que permite, além disso, estimar alguns parâmetros estatísticos sobre as medidas.

PALAVRAS-CHAVE: Vénus, wrinkle ridges, análise de imagem.

ABSTRACT: Since *wrinkle ridges* are the most abundant tectonic features on Venus, it is important to understand their geometric characteristics, such as length or orientation. The determination of these parameters requires, first, that *wrinkle ridges* are detected. The present work presents preliminary results of a method for the automatic detection and measurement of *wrinkle ridges* from Magellan radar imagery which also allows for the estimation of some statistical parameters thereon.

KEYWORDS: Venus, wrinkle ridges, image analysis.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas tectónicas mais abundantes em Vénus são as *wrinkle ridges*, estruturas morfologicamente complexas, lineares a sinuosas, resultantes de processos de tensão compressiva, associados a dobramentos e fracturação com encurtamento crustal. A compreensão da evolução tectónica de Vénus requer o estudo destas estruturas, pelo que a sua caracterização morfológica é de crucial importância. Bilotti e Suppe, (1999), apresentam o mapa global da distribuição das cristas tectónicas em Vénus, tal como a correlação entre a localização e orientação destas estruturas. Este trabalho foi efectuado a partir da digitalização manual das *wrinkle ridges*, mas, devido ao grande volume de dados disponível a partir da missão Magellan, os autores optaram por digitalizar imagens de baixa resolução (imagens de “procura”). Tal como explicam Bilotti e Suppe (1999), os resultados obtidos poderiam ter sido diferentes caso o estudo tivesse incidido em imagens de maior resolução. Uma forma de contornar este aspecto consiste em detectar de uma forma automática estas estruturas, recorrendo a técnicas de análise de imagem.

2. METODOLOGIA

Em Vénus, as *wrinkle ridges* são estruturas longas, estreitas e sinuosas, que ocorrem em conjuntos espaçados e paralelos, sendo brilhantes ao sinal de radar, comparativamente com as

superfícies onde ocorrem (Banerdt *et al.*, 1997; Anderson e Smrekar, 1999). A figura 1 mostra uma planície venusiana típica, com *wrinkle ridges*, situada em *Rusalka Planitia*, *Niobe Planitia*.

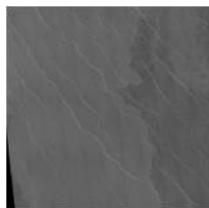


Figura 1 – Imagem SAR da missão Magalhães de Rusalka Planitia (C1-MIDR.00N180, *framelet* 19), abrangendo uma planície com *wrinkle ridges*.

Devido à capacidade de a análise fractal determinar a heterogeneidade textural das imagens, o método desenvolvido neste trabalho inicia-se pelo cálculo da dimensão fractal, com o objectivo de realçar as *wrinkle ridges* e simultaneamente reduzir o ruído das imagens. A figura 2(a) mostra a imagem obtida e como as *wrinkle ridges* são as estruturas mais realçadas e brilhantes, com valores de $D \geq 2.65$, procedeu-se a uma linearização da imagem baseada nesse valor, cujo resultado se apresenta na figura 2(b). Apesar das *wrinkle ridges* serem mais visíveis, isto é, serem realçadas, a imagem é bastante ruidosa. Os passos seguintes envolvem a eliminação de ruído e simultaneamente a preservação da forma das *wrinkle ridges*. Atendendo a estes dois aspectos recorreu-se a operadores morfológicos para imagens binárias (Soille, 2002), descrevendo-se em seguida o método desenvolvido. Inicialmente procedeu-se à filtragem da imagem pela aplicação de uma abertura por área (16 *pixels*), seguida de reconstrução de forma a preservar a forma das estruturas, como se pode observar na figura 2(c).

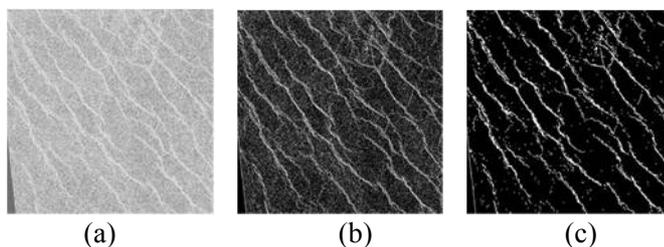


Figura 2 – (a) Dimensão fractal da imagem da figura 1; (b) linearização com base no valor $D \geq 2.65$ e (c) abertura por área seguida de reconstrução.

Observa-se na figura 2(c) que, para além das *wrinkle ridges* estarem bem identificadas, existe algum ruído que importa eliminar. O passo seguinte consiste em encontrar marcadores apropriados das *wrinkle ridges*, para que se possa eliminar o ruído e, posteriormente, reconstruir estas estruturas. Uma das maneiras de atingir tal objectivo, é através da função de distância, que permite determinar os mínimos regionais da imagem, que irão ser usados como marcadores das *wrinkle ridges*. O resultado da função de distância, determinada a partir da imagem abertura por área, seguida de reconstrução, encontra-se na figura 3(a) e na figura 3 (b) os respectivos mínimos regionais, marcadores das *wrinkle ridges*. Estes últimos marcadores, como se pode observar na figura 3(b), são irregulares e por vezes desconexos, sendo estes efeitos minimizados através de um espessamento seguido de dilatação, cujo resultado de apresenta na figura 3(c).

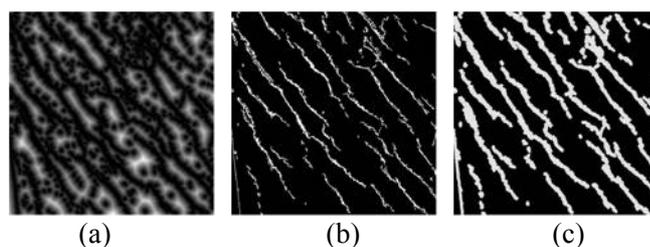


Figura 3 – (a) Função de distância da imagem da figura 2(c); (b) mínimos regionais da função de distância (marcadores das *wrinkle ridges*) e c) espessamento dos marcadores seguido de dilatação.

Como se pode observar, as *wrinkle ridges* estão bem identificadas e, simultaneamente, eliminou-se o ruído. O algoritmo prossegue com o intuito de reduzir a espessura das *wrinkle ridges* a um *pixel*, bastando, para tal, efectuar um adelgaçamento, cujo resultado se apresenta na figura 4(a). Na figura 4(b) encontra-se representado o resultado obtido, sobreposto à imagem original.

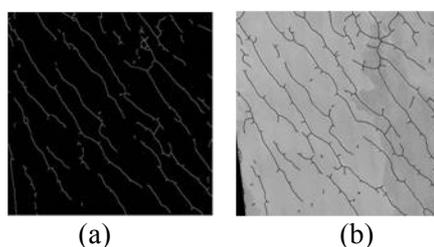


Figura 4 – Detecção das *wrinkle ridges*: (a) adelgaçamento da imagem da figura 3(c) e (b) sobreposição das *wrinkle ridges* à imagem original.

A partir deste resultado pode-se extrair as estruturas em diferentes direcções, bastando para tal efectuar um filtro alternado do tipo abertura-fecho, (isto é, inicia-se por uma abertura e ao resultado obtido aplica-se um fecho), anisotrópico, por uma linha em diferentes direcções. O resultado final desta filtragem, para as diferentes direcções, sobreposto à imagem original, encontra-se na figura 5.

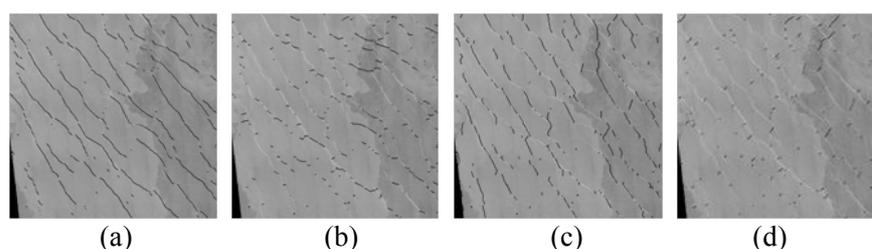


Figura 5 – *Wrinkle ridges* nas diferentes direcções: (a) direcção 135°; b) direcção 0°; c) direcção 90° e d) direcção 45°.

3. RESULTADOS

O método de extracção automática de *wrinkle ridges*, relativamente aos métodos tradicionais, em que um perito digitaliza manualmente as estruturas, para além de eliminar qualquer subjectividade que possa haver por parte de um digitalizador manual, é menos moroso. Uma outra vantagem é o facto de se poder obter, também de uma forma automática, parâmetros caracterizadores destas estruturas, como sejam comprimento, sinuosidade, direcções principais, entre outros. Na tabela 1 encontram-se alguns parâmetros estatísticos, como o comprimento e sinuosidade, bem como a rosa de direcções (figura 6) que se obteve para a imagem de Rusalka Planitia. Relativamente ao comprimento, verifica-se que as *wrinkle ridges*, para este caso concreto, são mais extensas na direcção 135°.

A sinuosidade relaciona o comprimento real das *wrinkle ridges* com a distância em linha recta entre os seus extremos e foi determinada automaticamente. Significa que as estruturas tendem a ser rectilíneas para valores próximo de 1; valores superiores a 2 significam estruturas de baixa sinuosidade. Para valores intermédios, as estruturas são consideradas formas transicionais, podendo ser mais ou menos irregulares. Neste caso quer a máxima quer a mínima sinuosidade ocorrem principalmente nas direcções 0° e 90°, enquanto as *wrinkle ridges* nas direcções 45° e 135°, tendem a ter formas transicionais.

	<i>Comp. médio (m)</i>	<i>Comp. máx. (m)</i>	<i>Comp. mín. (m)</i>	<i>Sinuosidade média</i>	<i>Sinuosidade máx.</i>	<i>Sinuosidade mín.</i>
45°	1352.71	21150	225	1.55	2.00	0.03
135°	3537.17	117000	225	1.50	2.79	0.04
0°	2123.91	22050	225	1.51	3.44	1.06
90°	2857.93	28350	225	1.41	4.92	0.01

Tabela 1- Parâmetros estatísticos das *wrinkle ridges*.

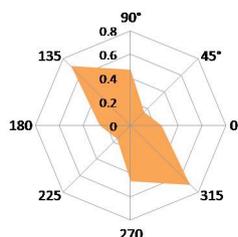


Figura 6 - Rosa de direcções obtidas para a imagem de Rusalka Planitia.

Para medir a sensibilidade do método desenvolvido, comparam-se os resultados obtidos com a digitalização manual efectuada por um perito, recorrendo-se ao *Kappa Index Agreement* (KIA), que considera no seu cálculo quer os erros de omissão, quer os erros de comissão. Varia entre 1 e 0, sendo que 0 indica claramente que não há concordância entre os resultados obtidos e os de referência, contrariamente a 1, que significa concordância perfeita (valores superiores a 0.75 são resultados excelentes; entre 0.75 e 0.4, bons resultados; inferiores a 0.4 resultados pouco razoáveis (Mather, 1999). Para a imagem em estudo, obteve-se um KIA de 0.8591. Este método está a ser testado para outras zonas de Vénus e têm-se obtidos valores de KIA acima de 0.75, o que claramente indica bons resultados, apesar de a qualidade, em muitas das imagens da missão Magalhães, estar degradada devido ao processo de aquisição das imagens.

Referências

- Anderson F.S., Smrekar S. E. (1999) - *Tectonics effects on climate change on Venus*, Journal of Geophysics Research., 104(E12), pp. 30743–30756.
- Bilotti F., Suppe J. (1999) - *The global distribution of wrinkle ridges on Venus*, Icarus 139, pp. 137-157.
- Banerdt W.B., McGill G.E., Zuber M.T. (1997) – Plains tectonics on Venus. In: S. W. Bougher, D. M. Hunten and R. J. Phillips (Eds.) *Venus II – Geology, Geophysics, Atmosphere, and Solar Wind Environment*, Ariz. Univ. Press, Tucson, pp. 901-930.
- Mather P. (1999) – Computer processing of remotely-sensed images. An introduction. 2ª edição, John Wiley & Sons (eds.).
- Soille P. (2002) - Morphological Image Analysis - Principles and Applications. 2nd Ed., Berlin: Springer-Verlag.