

Mapeamento topográfico por interferometria utilizando imagens SAR do ERS-1

JOSÉ CLAUDIO MURA

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP, Brasil
mura@dpi.inpe.br

Abstract. Interferometry using Synthetic Aperture Radar provide a means for obtaining high-resolution digital topographic maps from measurements of amplitude and phase of two complex radar images. In this work two complex images from ERS-1 are used to generate a topographic map. The methodology and the results are presented.

1 Introdução

A geração de mapas topográficos a partir de imagens de radar, utilizando a técnica de interferometria, foi proposta e demonstrada com sucesso por [Graham (1974)], [Zebker and Goldstein (1986)], e [Gabriel and Goldstein (1988)].

Uma imagem interferométrica é formada pela interação dos sinais recebidos por duas antenas separadamente. A separação entre as duas antenas é chamada de "baseline". Uma imagem interferométrica pode ser conseguida de duas maneiras: utilizando-se duas antenas na mesma plataforma, chamada de interferometria de uma passagem ("baseline" fixa), ou, utilizando uma antena com duas passagens sobre a mesma área, chamada de interferometria de duas passagens (nesse caso a "baseline" depende da distância entre as duas passagens). No caso de duas passagens, o radar ilumina uma dada superfície duas vezes em tempos diferentes, mas com aproximadamente a mesma geometria de visada.

Nesse trabalho é usado o modo de duas passagens, utilizando-se duas imagens SAR do satélite ERS-1. As duas imagens foram coletadas sobre a região de Uzurlei na ilha da Sardegna, Italia, com seis dias de intervalo entre as aquisições.

Em uma imagem interferométrica a fase de cada pixel esta relacionada com a elevação do terreno, essa fase é contudo representada em módulo de 2π . Para que a informação de altura de cada ponto da imagem seja calculada é necessário que esta fase seja representada de forma absoluta.

O processo de transformação da fase relativa (módulo de 2π) para absoluta é chamado de "phase unwrapping". Nesse trabalho é utilizado o método do resíduo, proposto por [Goldstein et al. (1988)], para a transformação da fase relativa em absoluta. Após essa transformação a elevação do terreno é de-

terminada.

2 Interferometria de duas passagens

A disposição geométrica das antenas para a geração de uma imagem interferométrica é apresentada na Figura (1). As duas antenas S_1 e S_2 estão separadas de uma distância B chamada de "baseline", H é a altura da plataforma da antena S_1 , r é a distância da antena S_1 a um dado ponto no solo, Δr é a diferença da distância em relação a antena S_2 , θ é o ângulo de visada, α é o ângulo da "baseline" e z a altura do terreno no ponto escolhido.

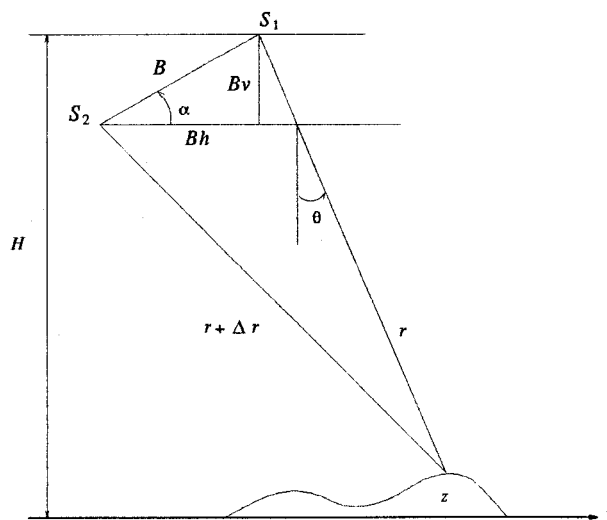


Figura 1: Geometria de radar interferométrico

As relações para a determinação da elevação do terreno são dadas pelas seguintes equações: (1) para a determinação da diferença de fase ($\Delta\phi$), (2) para a determinação do ângulo da "baseline", (3) para a obtenção do ângulo de visada e (4) para o cálculo da

altura (z).

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda}\Delta r \quad (1)$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{Bv}{Bh}\right) \quad (2)$$

$$\sin(\theta - \alpha) = \frac{(r + \Delta r)^2 - r^2 - B^2}{2rB} \quad (3)$$

$$z = H - r \cos \theta \quad (4)$$

2.1 Níveis de processamento

A geração de Modelo Digital de Terreno utilizando a técnica de interferometria por radar, requer certos níveis de processamento que estão representados no diagrama de fluxo da Figura (2). O processamento consiste basicamente na estimativa da fase absoluta, $\Delta\phi$, determinação da "baseline" e suas componentes horizontal e vertical e determinação da altura de cada ponto da imagem.

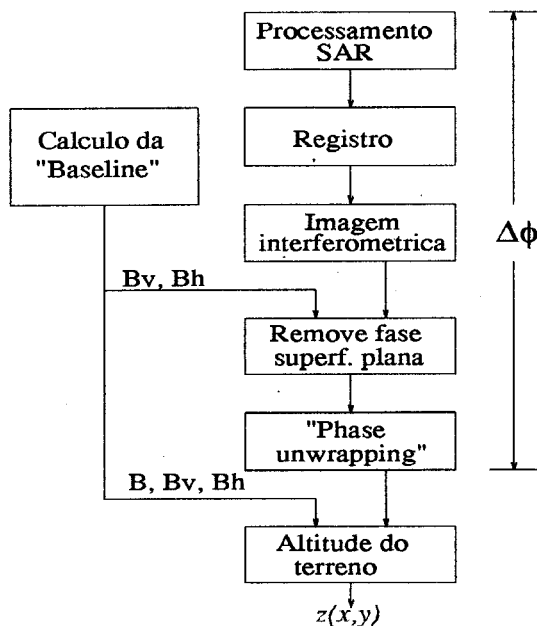


Figura 2: Níveis de processamento

2.1.1 Processamento SAR

O primeiro passo do processamento consiste da geração das duas imagens SAR complexas adquiridas nas duas passagens. A representação complexa é necessária devido a informação de fase. As duas imagens são processadas na máxima resolução possível.

2.1.2 Registro das imagens

Após o processamento SAR, as duas imagens complexas geradas, tem que ser registradas com uma boa

precisão para que a imagem interferométrica tenha um baixo ruído de fase. O registro é realizado determinando-se o deslocamento ("offset") entre as duas imagens, com precisão de subpixel (0.12 pixel), utilizando o método do máximo espectro. Uma grade de 16x16 pontos com os deslocamentos finos é gerada, para a criação dos polinômios de registro das imagens, nas direções de vôo (azimute) e perpendicular a direção de voo ("range"). O registro final consiste da reamostragem das imagens nas direções de azimute e "range", utilizando-se interpolação quadrática. As duas imagens registradas são apresentadas na Figura (3).

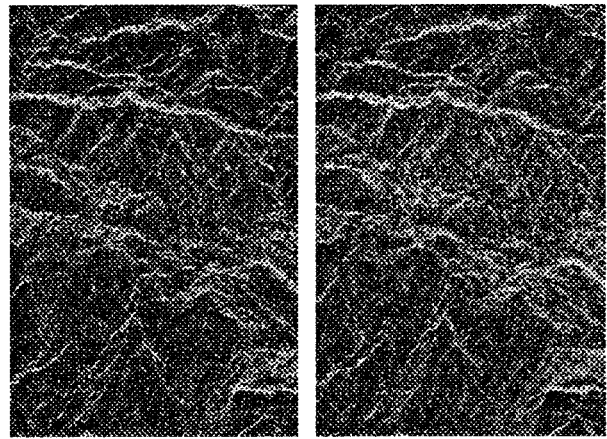


Figura 3: Imagens do ERS-1 corregistradas

2.1.3 Imagem interferométrica

A imagem interferométrica é gerada pela multiplicação dos pixels complexos da primeira imagem, com os respectivos pixels complexos conjugados da segunda imagem. Para diminuir a variância da fase a imagem interferométrica é filtrada no sentido de azimute (direção do vôo), utilizando-se um filtro do tipo média móvel de tamanho 10, e na direção de "range" pelo mesmo tipo de filtro de tamanho 2. Após a filtragem a imagem interferométrica utilizada apresenta uma resolução espacial de 40x40 metros.

2.1.4 Remoção da fase da superfície plana

Uma componente da fase da imagem interferométrica é devido a superfície plana da terra, essa componente não carrega nenhuma informação sobre a altura do terreno, podendo ser removida, facilitando o processo de transformação da fase relativa (módulo de 2π) para fase absoluta. A imagem interferométrica a sua fase (interferograma) é apresentada na Figura (4).

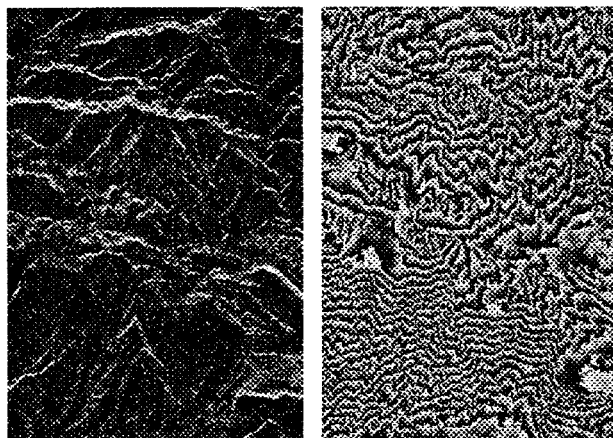


Figura 4: Imagem interferométrica e interferograma

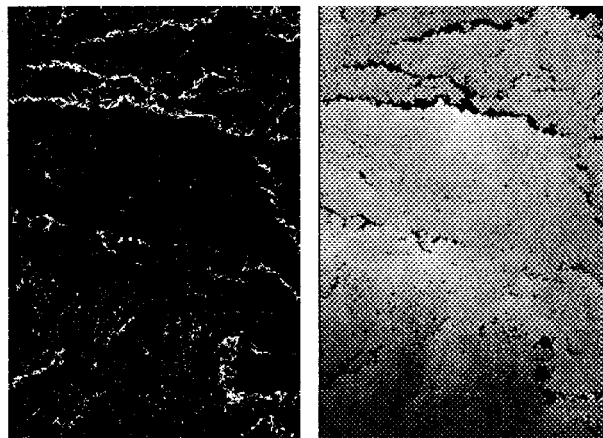


Figura 5: "Cut lines" e a fase absoluta estimada

2.1.5 "Phase unwrapping"

A fase da imagem interferométrica, interferograma, é representada em módulo de 2π . Para se obter a informação da altura do terreno é necessário transformar a fase relativa (módulo de 2π) em fase absoluta, esse processo é chamado de "phase unwrapping". O processo de transformação da fase é muito difícil ou mesmo impossível quando esta apresenta ruídos, causados por: ruído térmico, ruído "Speckle", erros no processamento SAR, decorrelação temporal, decorrelação espacial devido a separação das antenas e efeito de "layover". Nesse caso pode haver propagação do erro, causando uma medida errônea no processo de determinação da altura do terreno.

Para evitar a propagação de erros durante o processo de "phase unwrapping", é utilizado o método dos resíduos proposto por [Goldstein et al. (1988)]. Esse método identifica os pontos onde estão presentes ruídos (resíduos) e alerta o algoritmo de "phase unwrapping" (criando linhas barreiras, "cut lines") para evitar esses pontos. A Figura (5) apresenta imagens onde estão representados as linhas barreiras ("cut lines") e a fase absoluta estimada.

2.1.6 Determinação da "baseline"

O método de interferometria por radar utilizando duas passagens, requer a determinação da "baseline" (distância entre as duas órbitas nos instantes de imageamento) e suas componentes horizontal e vertical. Essas distâncias são calculadas utilizando-se os vetores de posição do satélite durante os dois imageamentos. Nas imagens utilizadas a "baseline" determinada é de 144.73 metros, e as componentes horizontal e vertical de 143.72 e 10.76 metros respectivamente.

2.1.7 Determinação da elevação do terreno

A elevação do terreno é determinada a partir da fase absoluta recuperada e da "baseline" determinada, utilizando-se as equações (1), (2), (3) e (4). A Figura (6) apresenta uma representação 3D da elevação do terreno da região de Uzurlei na ilha de Sardegnia, Italia.

3 Conclusão

Interferometria utilizando imagens SAR é uma técnica promissora para a geração de mapas topográficos digitais. Problemas devido a decorrelação temporal e espacial entre as duas imagens, tem limitado o uso dessa técnica. Esses problemas podem ser superados no futuro com o uso de plataformas (avião ou satélite) com duas antenas fixas. Infelizmente não foi possível comparar os resultados obtidos na região de Uzurlei com um DTM local devido a falta desse.

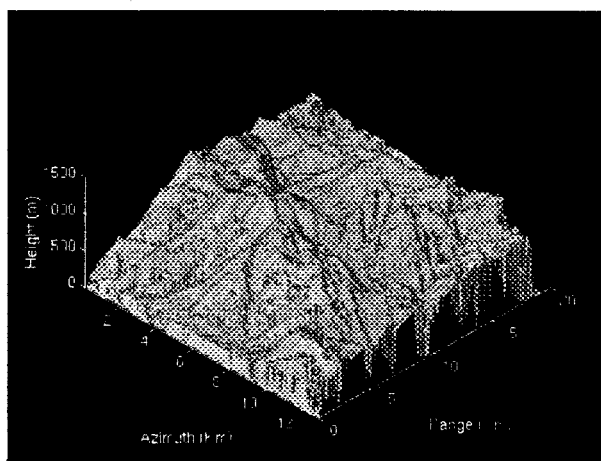


Figura 6: Representação 3D do mapa de elevação

4 Referências

- L.C. Graham, Synthetic interferometer radar for topographic mapping, *Proc. IEEE*, **62** (1974) 763–768.
- H. Zebker and R. Goldstein, Topographic mapping from interferometric SAR observations, *J. Geophys. Res.*, **91** (1986) 4993–4999.
- A. K. Gabriel and R. M. Goldstein, Crossed orbit interferometry: theory and experimental results from SIR-B, *Int. J. Remote Sensing*, **9** (1988) 857–872.
- R. M. Goldstein, H. A. Zebker and C. Werner, Satellite radar interferometry: two-dimensional phase unwrapping, *Radio Sci.*, **23** (1988) 713–720.