

Reconhecimento dos padrões das linhas de força do campo magnético coronal solar observado no extremo ultra-violeta

Claudinei Walker da Silva¹, Reinaldo Roberto Rosa², Joaquim E. R. Costa³

¹Programa de Doutorado em Computação Aplicada – CAP
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

²Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

³Divisão de Astrofísica – DAS
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

{claudinei.walker, reinaldo}@lac.inpe.br, jercosta@das.inpe.br

Abstract. *The study of magnetic fields observed in the solar corona has great importance on Solar Astrophysics. This work presents a new approach for the recognition of patterns of the magnetic force field lines observed in the solar corona, based on the development of an algorithm for the segmentation of the field lines, highlighting the development of an algorithm that uses the Hough Transform.*

Resumo. *O estudo dos campos magnéticos observados na coroa solar tem grande importância em Astrofísica Solar, devido à forte evidência de sua associação com os diversos fenômenos verificados naquela região. Apresentamos neste trabalho uma nova abordagem para o reconhecimento de padrões de linhas do campo magnético observado na coroa solar baseada no desenvolvimento de um conjunto de algoritmos para a segmentação das linhas de campo, destacando-se o desenvolvimento de um algoritmo de segmentação que utiliza a Transformada de Hough.*

Palavras-chave: *Reconhecimento de Padrões, Processamento de Imagens, Transformada de Hough, Astrofísica Solar, Computação Científica.*

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia automática de reconhecimento das linhas de campo magnético nas imagens da Coroa Solar obtidas no EUV, comparando as linhas extraídas das imagens com aquelas geradas sinteticamente pelo modelo físico. Para isto adotamos uma abordagem computacional para o problema, voltada principalmente ao processamento das imagens da Coroa Solar, o cálculo das linhas de campo a partir do modelo físico e o reconhecimento dos padrões de linhas de campo nas imagens observadas, para então efetuar a comparação com aquelas geradas pelo modelo.

Nas próximas seções apresentaremos os detalhes deste trabalho abordando a metodologia utilizada para o desenvolvimento.

2. Metodologia e resultados

Este trabalho surgiu da necessidade de desenvolver-se uma metodologia totalmente automática de reconhecimento das linhas de força do campo magnético coronal solar le-

vando em consideração as informações do campo magnético fornecidas pelos magnetogramas. Uma revisão bibliográfica nesta área mostrou o ineditismo desta abordagem, pois os métodos desenvolvidos até o momento são semi-assistidos ou utilizam apenas as informações fornecidas pelas imagens obtidas no EUV para o reconhecimento das linhas de força. A presente abordagem utiliza o pré-processamento das imagens, sua segmentação e uma etapa de pós-segmentação baseada na Transformada de Hough [Duda and Hart 1972]. Detalharemos a seguir as etapas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

2.1. Pré-processamento

As imagens utilizadas no presente trabalho foram obtidas pelo satélite TRACE no EUV, na linha espectral de 171\AA , por ser uma das linhas onde verifica-se maior intensidade da emissão do ferro ionizado (Fe IX, em 171\AA) [Aschwanden and Nightingale 2005]. A base do pré-processamento das imagens consiste na aplicação de sucessivas fases de eliminação do ruído e melhoramento na nitidez e contraste das imagens utilizando diferentes técnicas. Neste desenvolvimento aplicou-se um filtro de mediana com uma máscara de tamanho 3×3 pixels para minimizar a presença de ruído na forma de pixels claros e escuros (conhecido como ruído *salt and pepper*). Em seguida aplicamos na imagem uma nova correção na intensidade dos pixels com o objetivo de aumentar sua nitidez. Finalmente aplicamos um melhoramento no contraste gerando uma nova imagem cujo valor de intensidade de cada pixel foi obtido calculando a raiz quadrada do valor da intensidade do pixel da imagem cuja nitidez foi melhorada.

2.2. Segmentação

O objetivo na etapa de segmentação foi o de destacar as linhas de força do campo magnético coronal de forma que as imagens segmentadas pudessem posteriormente ser utilizadas em etapas subsequentes. Para as imagens utilizadas neste trabalho buscamos utilizar um algoritmo de segmentação que levasse em conta a direção das estruturas presentes nas imagens. Nossa abordagem nesse estudo utilizou o algoritmo de Strous, que consiste em uma técnica que basicamente destaca os pixels de uma estrutura com base em seu gradiente de brilho [Strous 2007]. Há duas variações do algoritmo de Strous, por simplicidade chamadas 1 e 2, onde na primeira o pixel que está sendo processado é comparado com seus pares de vizinhos para cada uma das direções vertical, horizontal, e as duas diagonais. Se o pixel em questão for simultaneamente maior que seus vizinhos na vertical, por exemplo, soma-se 1 em um acumulador do mesmo tamanho da imagem original. Repete-se o processo para as outras direções. Ao final do processamento somam-se essas quatro matrizes, de forma que a matriz resultante poderá conter valores de zero a quatro. As estruturas que tenham componentes direcionais tenderão a ser destacadas e aparecerão com valores significativos no acumulador (valores 3 ou 4, por exemplo). A variação 2 do algoritmo compara o pixel central com a média dos seus vizinhos.

Aplicou-se o algoritmo de Strous a cada uma das imagens obtidas na etapa de pré-processamento, onde verificamos que os melhores resultados foram obtidos com o uso da imagem cujos arcos coronais foram destacados através do aumento do contraste e diminuição do ruído em comparação com a imagem original.

2.3. Transformada de Hough

Buscou-se melhorar a segmentação já obtida com o algoritmo de Strous utilizando uma técnica de extração de linhas nas imagens baseada no fato de que muitas linhas de força do campo magnético apresentam uma estrutura geométrica curva e alongada. A idéia utilizada foi a de que dividindo-se uma linha curva em pequenos fragmentos cada um deles se aproximará de um segmento de reta que poderia ser reconhecido na imagem. Assim seria possível utilizar a Transformada de Hough [Duda and Hart 1972] para esta tarefa pois a mesma apresenta boa eficiência na recuperação de linhas retas em imagens ruidosas. A Transformada de Hough baseia-se na parametrização da equação da reta e na criação de um espaço discreto destes parâmetros chamado espaço de Hough. Para a reta $ax + b$ o espaço de Hough seria formado por uma matriz acumuladora cujas colunas representariam o parâmetro a e as linhas o parâmetro b . Pontos com maiores contagens no espaço de Hough estão associados à coordenadas que representam retas no espaço da imagem. Desenvolveu-se um algoritmo capaz de fragmentar uma imagem, aplicar a Transformada de Hough em cada fragmento e finalmente recompor a imagem por completo.

A Figura 1 ilustra o processo desenvolvido até aqui. A partir de uma imagem de uma região ativa da coroa solar obtida no EUV (1) selecionamos uma região de interesse para análise e aplicamos os algoritmos de pré-processamento para aumento da nitidez e diminuição do ruído na imagem (2). Aplicamos o algoritmo de Strous nesta região, obtendo uma imagem resultante com as linhas de campo magnético destacadas (3). Esta imagem foi subdividida em 64 pequenos fragmentos, e em cada um deles aplicamos a Transformada de Hough (4 e 5) obtendo uma imagem resultante (6) cujos segmentos de linhas de campo estão devidamente identificados, e que por inspeção visual apresenta menor quantidade de ruído.

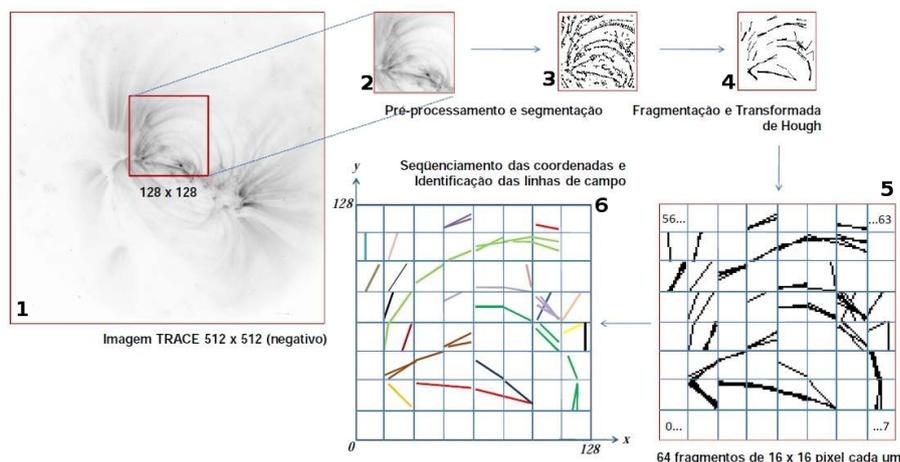


Figura 1. Representação esquemática das etapas de pré-processamento e segmentação de uma imagem da coroa solar obtida pelo satélite TRACE.

A fim de verificar a aplicação prática dos resultados obtidos até esta etapa do trabalho, integrou-se o desenvolvimento realizado com ambiente para análise em física solar *Solar Soft* [Bentley and Freeland 1998]. Na figura 2 pode-se observar os resultados da integração das imagens processadas na etapa de segmentação com o *Solar Soft*, onde verificamos no quadro 6 uma boa aproximação entre o magnetograma e as linhas de campo geradas, o que é de extrema importância para as fases que se seguirão neste trabalho.

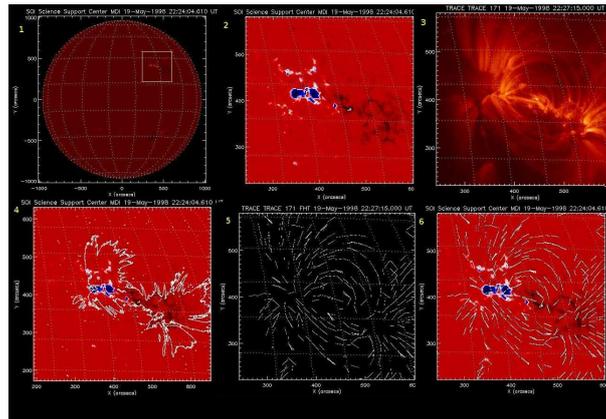


Figura 2. Resultados obtidos a partir da integração dos algoritmos de pré-processamento e segmentação com o ambiente *Solar Soft*.

3. Conclusões

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia robusta para o reconhecimento de padrões das linhas de força do campo magnético coronal solar. Verificou-se através de técnicas de processamento de imagens que a aplicação de sucessivos filtros é importante para ressaltar as linhas de campo, preparando a imagem para uma etapa de segmentação que foi desenvolvida utilizando-se o algoritmo de Strous e a Transformada de Hough. Os resultados da segmentação se mostraram satisfatórios e compatíveis com as estruturas presentes no disco solar, o que foi verificado com o uso do ambiente *Solar Soft*.

Este trabalho prosseguirá com foco no reconhecimento das linhas de campo magnético obtidas na etapa de segmentação. Será utilizada uma técnica para a interconexão dos segmentos de linhas obtidos até aqui com a utilização de contornos ativos (*snakes*) para a identificação das linhas de campo. Iremos comparar nossos resultados com o modelo de linhas de campo livres de força (*linear force-free field*) a fim de avaliar o reconhecimento das linhas de campo extraídas das imagens obtidas no EUV frente àquelas geradas pelo modelo físico.

Referências

- Aschwanden, M. J. and Nightingale, R. W. (2005). Elementary Loop Structures in the Solar Corona Analyzed from TRACE Triple-Filter Images. *Astrophysical Journal*, 633:499–517.
- Bentley, R. D. and Freeland, S. L. (1998). SOLARSOFT - an Analysis Environment for Solar Physics. In *Crossroads for European Solar and Heliospheric Physics. Recent Achievements and Future Mission Possibilities*, volume 417 of *ESA Special Publication*, pages 225–+.
- Duda, R. O. and Hart, P. E. (1972). Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Commun. ACM*, 15(1):11–15.
- Strous, L. H. (2007). Loop detection. Disponível em: www.lmsal.com/aschwanden/stereo/2000_easton/cdaw.html. Acessado em 28/08/2007.