

# Aplicação da transformada de wavelets para compressão de dados de telemetria

Sergio Fugivara, Alison de O. Moraes, José C. J. de Almeida

CTA – Centro Técnico Aeroespacial  
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50  
12228-904, São José dos Campos, SP

E-mail: fugivara@iae.cta.br, aom@iae.cta.br, juliano@ieav.cta.br

**Luiz Edival de Souza**

UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá  
Avenida BPS, 1303  
37500-903, Itajubá, MG  
E-mail: edival@unifei.edu.br

O sistema de telemetria do Veículo Lançador de Satélites (VLS) e de foguetes de sondagem é implementado de forma a adquirir os dados de grandezas analógicas e outros de estados digitais em um período anterior ao lançamento do VLS e após o lançamento, em todos os estágios do voo (Figura 1). No período anterior ao lançamento, este sistema deve adquirir os dados e transmiti-los para o banco de controle e a estação em terra a uma taxa de amostragem compatível com as frequências envolvidas.

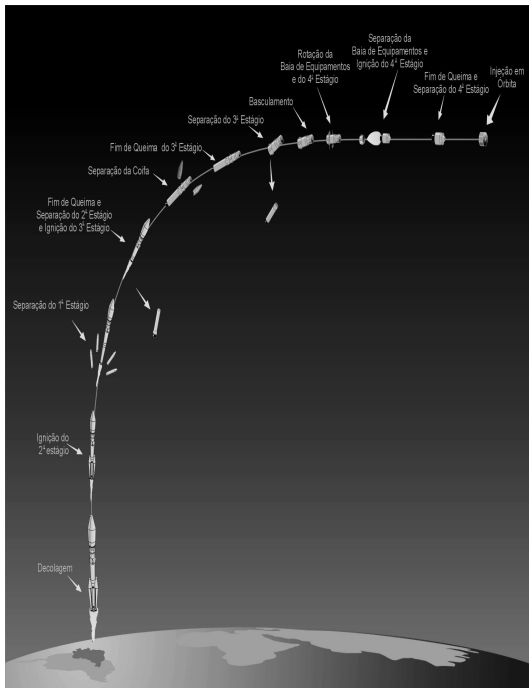


Figura 1: Perfil da missão do VLS-1 [8].

Alguns tipos de medidas monitoradas pela telemetria são temperaturas, pressões, tensões e correntes elétricas, acelerações, vibrações e monitoramentos de separações de estágios, ignições e ativação de subsistemas do veículo.

Estatisticamente, mais de 95% das informações são de sinais denominadas frequências baixas, as demais são de frequências altas.

Considerando-se todos os fatores físicos, mecânicos e elétricos que limitam a concepção deste sistema e o fato de que sinais de frequências baixas devem ser alocados com outros de frequências altas, os sinais de frequências baixas são super-amostrados gerando muitas amostras redundantes [5].

Um outro problema está na forma de armazenamento do sinal original recebido na estação terrena. A gravação magnética ainda é a única forma de preservar o sinal original livre de qualquer processamento digital que altere a sua forma. A principal restrição neste tipo de gravação é a limitação do comprimento da fita magnética.

Devido aos sinais de frequência alta, o sistema de telemetria deve possuir uma alta taxa de bits para atender os requisitos de amostragem.

A alta cadência de bits requer do sistema de registro uma alta velocidade de gravação, o que resulta em um tempo de registro muito próximo do limiar da capacidade da fita magnética, mas ainda suficiente para o registro de todo o voo.

Embora os objetivos tenham sido atingidos, o funcionamento deste sistema não tem proporcionado plena satisfação devido aos problemas técnicos e operacionais já mencionados [5].

A dificuldade para implementar e distribuir milhares de informações em um mesmo sistema de telemetria embarcado, sinais de frequências baixas e altas, de forma otimizada, com baixo custo, compatível com os equipamentos de recepção e utilizando sistemas exclusivos de sinais digitais, motivaram a aplicação da transformada de wavelets para compressão de dados de telemetria. [5]

O sistema de compressão por transformada é composto por três partes distintas conforme a Figura 2. De acordo com a característica do sinal medido, os coeficientes são obtidos em função de uma determinada base que é escolhida através do processo de transformação linear [9,6,7].

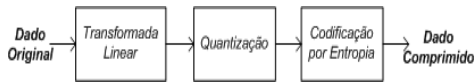


Figura 2: Sistema de compressão por transformada.

Através do processo de quantização, estes coeficientes são truncados em função de uma tabela de valores pré-determinados, gerando desta forma, perdas de informação. A codificação por entropia é uma técnica genérica de codificação sem perdas, totalmente reversível que elimina toda redundância do dado a ser transmitido, resultando no dado comprimido.

Este trabalho tem como objetivo abordar a parte inicial do sistema de compressão por transformada onde, é apresentada uma análise sobre a eficiência da aplicação da transformada de wavelets para compressão de dados de telemetria [2,3].

A transformada wavelet discreta consiste em decompor o sinal  $s[n]$  inúmeras vezes em componentes de resolução inferior. Este algoritmo é implementado por meio de um banco de filtros digitais composto por um filtro passa-baixas  $h_0[n]$  e outro passa-altas  $h_1[n]$ . A Figura 3 mostra um exemplo da transformada wavelet discreta com três níveis de decomposição. A saída de todos os filtros é sub-amostrada por um fator de 2. O resultado obtido pela filtragem passa-altas representa os coeficientes de detalhe enquanto o resultado da filtragem passa-baixas representa os coeficientes de aproximação.

Na transformada wavelet discreta os coeficientes resultantes da filtragem passa-baixas podem ser novamente processados como dados de entrada para um banco de filtros subsequente, gerando assim outro conjunto de coeficientes de aproximação e detalhe com um nível de resolução inferior [9,3,7].

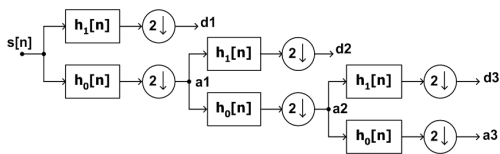


Figura 3: Transformada wavelet discreta.

A transformada wavelet packet é uma generalização da transformada wavelet discreta que possui maior flexibilidade com relação à localização em frequência. Nesta transformada os coeficientes de detalhes assim como os de aproximação podem também ser decompostos, estendendo os conceitos da Análise Multiresolução para a saída do filtro passa-altas  $h_1[n]$ . Para otimizar este processo de decomposição, obtendo-se uma representação mais adequada do sinal, é empregado o algoritmo de *best basis* que analisa a energia contida nos ramos da árvore binária de decomposição selecionando os

ramos mais apropriados. Neste trabalho o critério de entropia de Shannon foi adotado. A Figura 4 mostra uma árvore de decomposição obtida pelo algoritmo *best basis*.

Para comparação do desempenho de cada um dos algoritmos wavelet foram utilizados um sinal de temperatura, um de pressão e outro de campo magnético, mostrados na Figura 5 [1,2,7,9].

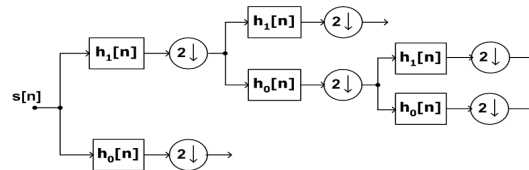


Figura 4: Transformada wavelet packet.

Dois tipos de sinais foram escolhidos devido a grande quantidade de sensores de temperatura e pressão distribuídos na estrutura do VLS e o sinal de um sensor magnético de um foguete de sondagem durante o vôo, devido à rotação em torno de seu próprio eixo.

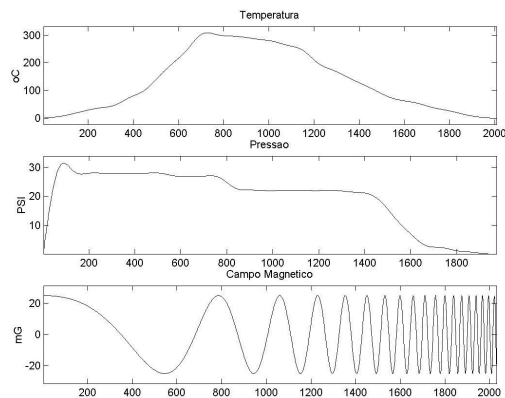


Figura 5: Sinais monitorados através de telemetria.

Os experimentos computacionais foram realizados aplicando-se aos três sinais a transformada wavelet discreta e a wavelet packet. Após a decomposição os coeficientes abaixo de um determinado valor foram eliminados com o objetivo de gerar a maior quantidade possível de zeros, reduzindo-se assim a quantidade de dados a serem processados pelo codificador por entropia.

Conseqüentemente, a eliminação de parte dos coeficientes resulta em perda de informação. A distorção entre o sinal original  $s[n]$  e o reconstruído  $\hat{s}[n]$  é medida utilizando como critério de avaliação a *percentage root mean square difference (PRD)*, definida por [6]:

$$PRD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [s[n] - \hat{s}[n]]^2}{\sum_{n=1}^N s[n]^2}} \times 100$$

Com base neste critério foram analisados e comparados diversos filtros de wavelet com 9 níveis de decomposição. As curvas de PRD, mostradas nas Figuras 6, 7 e 8, apresentam os melhores resultados obtidos para os três tipos de sinais.

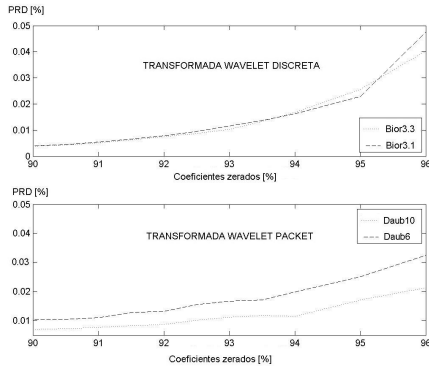


Figura 6: PRD para o sinal de temperatura em relação à porcentagem de coeficientes zerados.

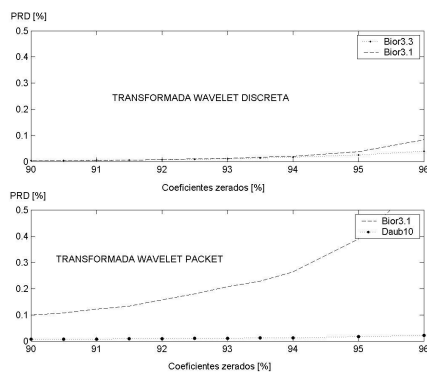


Figura 7: PRD para o sinal de pressão em relação à porcentagem de coeficientes zerados.

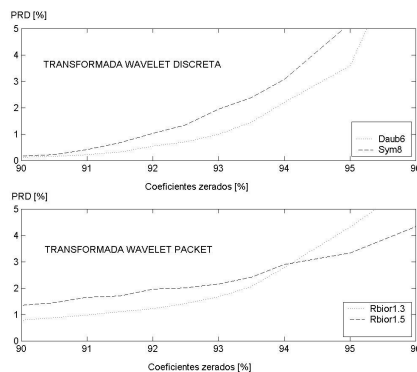


Figura 8: PRD para o sinal de campo magnético em relação à porcentagem de coeficientes zerados.

A compressão de dados de telemetria embarcada utilizando transformada wavelet discreta e wavelet packet mostraram-se plenamente satisfatórias. Os

resultados dos experimentos computacionais indicam que as escolhas adequadas das funções wavelets para compressão dos sinais de telemetria embarcada influenciam diretamente na qualidade do sinal reconstruído. A transformada wavelet discreta e a wavelet packet apresentaram desempenhos muito próximos. As wavelets biortogonais apresentaram um desempenho superior em relação as demais wavelets (ortogonais), devido a sua característica de fase linear que possibilita uma melhor reconstrução do sinal. Do ponto de vista computacional ambos os algoritmos possuem baixa complexidade  $O(n)$  e  $O(n \log_2 n)$  e podem ser implementados na prática.

## Referências

- [1] R. R. Coifman and M. V. Wickerhauser, "Entropy Based Algorithms from Best Basis Selection", IEEE Transactions on Information Theory, Mar. 1992, pp.713-18.
- [2] I. Daubechies. "The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and signal analysis", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 36, no 5, 1990, pp. 961-1005.
- [3] I. Daubechies, "Ten Lectures on Wavelets", in Proc. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics Philadelphia, PA, SIAM, Vol. 61, 1992.
- [4] Donoho, D.L.; Vetterli, M.; DeVore, R.A.; Daubechies, I.; "Data compression and harmonic analysis", IEEE Transactions on Information Theory Volume 44, Issue 6, Oct. 1998 Page(s):2435 – 2476
- [5] S. Fugivara, "Implementação e Aprimoramento de um Sistema de Telemetria para Veículos Lançadores de Satélite", Dissertação de Mestrado, UNIFEI, Abr, 2005.
- [6] M. L. Hilton "Wavelet and wavelet Packet Compression of Elettrocardiograms", IEEE Transactions on biomedical engineering, May 1997, pp. 394-402.
- [7] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing". New York, Academic, 1998.
- [8] T. S., Ribeiro (2005, Feb). "The Brazilian Program Sounding Rockets and Satellite Launching Vehicle." [Online] Available: [http://www.iae.cta.br/historico\\_esp](http://www.iae.cta.br/historico_esp).
- [9] Wickerhauser, M. V., "Adapted Wavelet Analysis From Theory to Software". New York: Peters, 1995.