

DESENVOLVIMENTO DE ALGORITMOS PARA DECODIFICAÇÃO DO SINAL DO SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Hugo Rafael Gonçalves Cavalcante (UFRN, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: hugo.rafael@crn.inpe.br

José Marcelo Lima Duarte (CRN/INPE, Orientador)
E-mail: jmarcelo@crn.inpe.br

Julho de 2014

I. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados obtidos para o desenvolvimento de um sistema de decodificação de sinais provenientes do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados (SBCD), que realiza a coleta de dados ambientais de forma automática. A ideia do trabalho em desenvolvimento é a criação de uma cadeia completa de simulações que possibilite sintetizar toda a decodificação dos sinais recebidos em um único dispositivo de processamento digital, tudo de forma econômica e buscando o menor custo computacional possível, reduzindo o consumo energético do dispositivo ao máximo. Desta forma, fazemos uso da ferramenta MATLAB, que traz facilidades em trabalhos com códigos de alto nível, sendo assim uma opção coerente para teste dos códigos criados. O SBCD, atualmente encontrado nos satélites brasileiros em órbita, pode ser melhorado através do tratamento digital de sinais que está versão do projeto propõe. O objetivo é criar um algoritmo capaz de ser implementado em uma plataforma FPGA que realize a decodificação dos sinais recebidos a bordo de nano satélites. Essa atualização prevê menores perdas no envio das mensagens, transferindo o trabalho que antes era feito em terra para os nano satélites. No seguinte texto, é apresentada a descrição de todas as etapas já realizadas no projeto: uma técnica para detecção de sinais de PCDs imersas em ruído gaussiano branco através de análise espectral e uma técnica para sincronismo de frequência dos sinais detectados.

Palavras-chaves: processamento digital; análise espectral; sincronismo de frequência; decodificação a bordo de satélites;

II. SUMÁRIO

VISÃO GERAL.....	4
ALGORITMO DE DETECÇÃO DE PCDS	6
ALGORITMO DE SINCRONISMO DE FREQUÊNCIA.....	8
CONCLUSÃO.....	10
TABELA DE IMAGENS.....	11
REFERÊNCIAS	12

III. VISÃO GERAL

Em linhas gerais o SBCD atual é constituído basicamente por um coletor de dados ambientais, um transmissor acoplado a esse coletor, um repetidor e, finalmente um receptor, que possui a função também de decodificação dos dados. Os dados ambientais são coletados da superfície terrestre através dos mais variados tipos de sensores e convertidos a sinais elétricos para então serem transmitidos a uma frequência de 401,65 [MHz] para o satélite repetidor. Esse sinal, que sofre degradação por mais diversas causas ambientais, chega até o satélite completamente imerso em ruído. Assim, o sinal é transladado para uma frequência de até 125 [kHz], para então ser modulada novamente, desta vez em banda-S com 2,26752 [GHz], e transmitida para as estações receptoras em solo. Como síntese, satélites brasileiros atuais funcionam como espelhos para sinais gerados pelas PCDs, encaminhando as informações tal como lhes foram enviadas, de todas as partes do país.

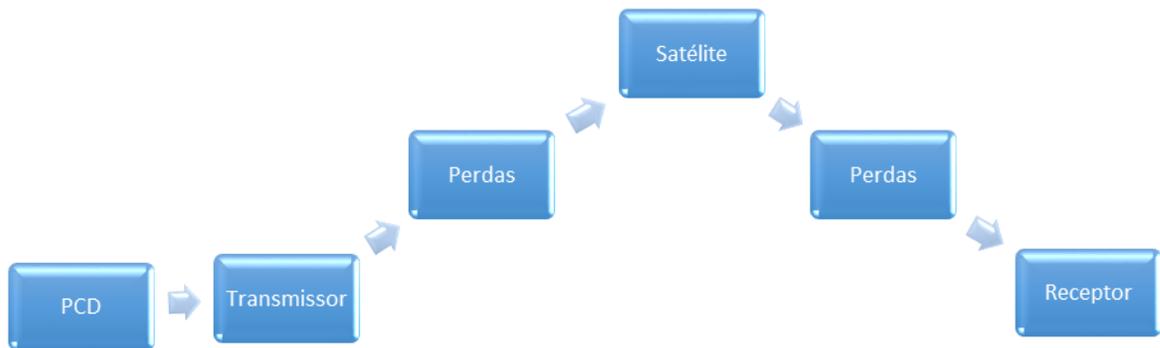


Figura 1 - Diagrama do SBCD

A Figura 1 mostra um diagrama onde se vê a presença de dois blocos de perdas, logo após o transmissor da PCD e logo após o transmissor do satélite. Esses blocos representam as perdas na propagação do sinal pela atmosfera terrestre, que é um dos problemas que contribuem para a perda parcial ou total da informação contida nas mensagens do sinal enviado.

O sinal enviado por cada PCD possui uma taxa de 400 [bits/s] em sinalização biphase-L ($\pm 60^\circ$).

Um outro problema que afeta bastante o sinal, e foi simulado, é a aceleração Doppler encontrada no sinal devida a alta velocidade de deslocamento do satélite em órbita. Essa variação de frequência afeta o sinal com uma taxa de até 120 [Hz/s], conforme visto em [1], o que é bastante significativo, e deve ser levado em consideração nos testes.

O objetivo final de todo o processo é poder identificar cada um dos sinais das PCDs e isola-los de modo a trata-los independentemente através de blocos de processamento paralelo. Assim, imporíamos um limite de simultaneidade, definido pela quantidade de blocos implantáveis na plataforma escolhida para embarcar o circuito.

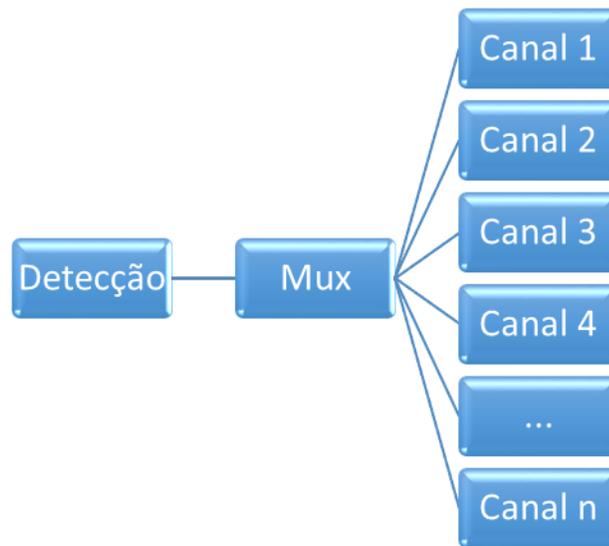


Figura 2 - Processo de detecção e separação em canais.

Cada um desses canais tem a mesma tarefa. Eles recebem o sinal filtrado e executam técnicas de sincronismos de frequência, fase, tempo e símbolo, até poder decodificar o sinal para a retransmissão.

IV. ALGORITMO DE DETECÇÃO DE PCDS

O sistema atual realiza a busca por sinais de PCDs através de uma varredura temporal, ou seja, como numa fila, os diversos sinais de PCDs são recebidos a cada instante de forma imprevisível, podendo haver um ou mais sinais ao mesmo tempo sendo transmitidos. A proposta desse novo algoritmo é a de trabalhar com janelas temporais, para enxergar o espectro em frequência do somatório de sinais que chegam no receptor dentro desta janela de tempo, executando uma seleção de prioridade a aqueles que possuem maior potência. Esse algoritmo está baseado nos critérios estabelecidos em [1], sendo assim, estabelecemos simulações que nos fornecem sinais tal como esperamos encontrar na recepção a bordo do satélite.

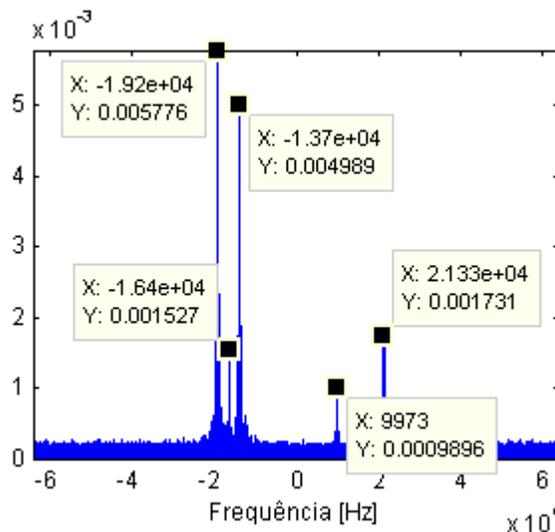


Figura 3 - Espectro em frequência da simulação do sinal de cinco PCDs no receptor.

Um sinal de uma PCD possui por característica um período inicial de 160 [ms] em que se transmite apenas sua portadora. Assim, uma das exigências para o algoritmo de detecção é que ele seja rápido o bastante para detectar essa portadora muito antes desse tempo, uma vez que ainda é preciso fazer o sincronismo de frequência dentro desse mesmo intervalo. Para tanto o algoritmo de detecção enxerga apenas períodos do sinal por vez, dividindo-o em janelas temporais de tamanho fixo. Cada uma dessas janelas foi configurada então para possuírem 32 [ms], que representa 1/5 do tempo total de portadora.

Para explorar dentro desta pequena janela temporal, usamos o mecanismo da Transformada Rápida de Fourier (TRF, ou FFT, Fast Fourier Transform em inglês), que nos fornece de forma rápida o espectro em frequência do sinal, permitindo rapidamente identificar onde estão posicionadas cada um dos sinais de PCDs.

Desenvolvemos então uma função de identificação dos picos de potência visto no espectro (Figura 3).

Um dos problemas encontrados com o uso da FFT é o espalhamento espectral que causa o aparecimento de harmônicas onde não existem, reduzindo a precisão do algoritmo. Uma das técnicas estudadas em [1] demonstra que uma solução para a redução deste problema é o uso de um filtro temporal através de uma Janela Prólata (Prolate Window) de Ordem Zero, o que reduz consideravelmente esse efeito.

Um mecanismo usado para a redução do tempo de processamento, foi eliminar todo e qualquer sinal abaixo de um limiar regulável estabelecido, eliminando todo o ruído em torno dos sinais das PCDs, e reduzindo a quantidade de pontos a ser processada.

A detecção tem ordem de prioridade, dando ao sinal de maior potência prioridade na detecção, além de um limite na quantidade de PCDs detectáveis em uma mesma janela estabelecido como 10 e um mecanismo de rejeição para dois sinais com frequências muito próximas, abaixo de 1600 [Hz].

A ideia principal da função de detecção é poder isolar apenas um sinal de proveniência das PCDs para tratá-lo digitalmente em um dos canais disponíveis, logo a extrema precisão não é um ponto obrigatório para esse estágio apesar de ser desejável, sendo obrigação do bloco responsável pelo sincronismo de frequência garanti-la.

Os resultados obtidos mostram uma precisão de ± 60 [Hz] entre a frequência da PCD gerada e a obtida pelo algoritmo, e uma taxa de acerto de 92%, sendo esses 8% restantes, PCDs não detectadas ou falsas PCDs provenientes do alto índice de ruído, espalhamento do espectro e aceleração Doppler.

Apesar de que o algoritmo proposto desempenhar bem sua função, acreditamos que ainda é possível melhorias na detecção de picos, já que não houve um estudo comparativo com outros métodos conhecidos, apenas com funções próprias de *Toolboxes* do MATLAB.

V. ALGORITMO DE SINCRONISMO DE FREQUÊNCIA

Através do algoritmo descrito em [2] desenvolvemos uma ferramenta capaz de obter a exata frequência do sinal da PCD garantindo a precisão desejada.



Figura 4 - Esquema de algoritmo de sincronismo de frequência.

A Figura 4 mostra como foi implementada a estimação de frequência para sincronismo. Da esquerda para a direita, o sinal transita sofrendo alterações através de uma malha de realimentação que tenta anulá-lo a cada loop, resultando em um erro constante de fase ao final.

O processo de decimação é um aliado importante ao processo de filtragem, pois tem a função de reduzir o processamento exigido. A estimação de fase é baseada totalmente no descrito em [2] e considera uma aproximação de fase do sinal em até segunda ordem, o que atende a presença da aceleração Doppler:

$$\Theta = \Theta_0 + \omega_D t + \frac{1}{2} \omega_D t^2 \quad (1)$$

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e mostra que o processo de sincronismo é alcançado rapidamente por esse método, num tempo bastante inferior ao tempo de portadora pura de 160 [ms].

Os dados que entram no bloco de sincronismo são decimados a uma taxa de 256 vezes. Para um sinal amostrado em 128 [kHz], em 160 [ms] de portadora temos 80 amostras, que precisam ser agrupadas para estimação do algoritmo. Assim, elegemos grupos de 16 amostras, nos dando a capacidade de realizar até 5 iterações nesse mesmo período. O algoritmo se mostrou capaz de realizar a tarefa de sincronismo com apenas 32 dessas amostras, ou seja, em apenas 64 [ms].

A Figura 5 mostra o erro resultante do processo, e que facilmente é corrigido por um bloco de sincronismo de fase.

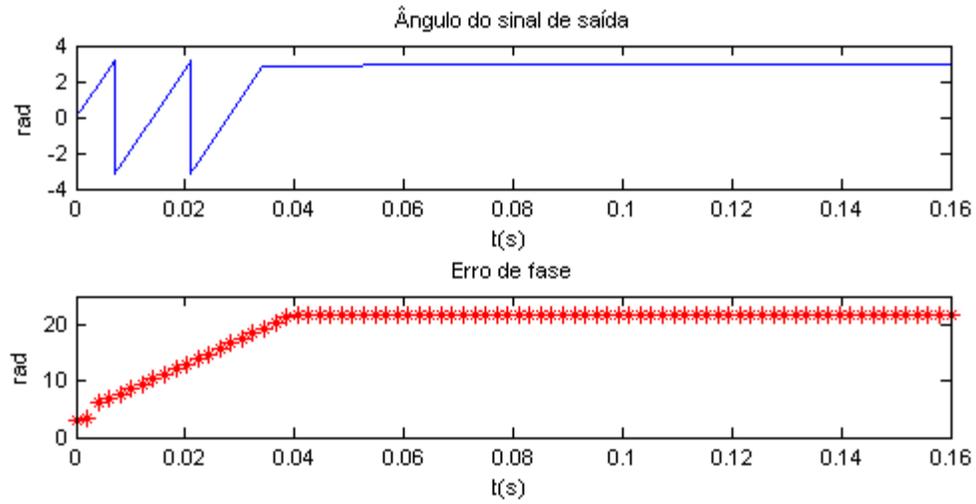


Figura 5 - Resultados do sincronismo em frequência.

Um problema verificado no processo é a inserção de atraso pelo uso do filtro FIR, que gera um atraso proporcional a sua ordem. Esse problema gerou um erro que precisou ser compensado para o funcionamento do algoritmo.

VI. CONCLUSÃO

Importantes resultados foram alcançados neste projeto até então, mostrando que o processo como um todo, não só é totalmente viável, mas também importante no avanço da tecnologia de comunicações digitais para os satélites brasileiros, visto que muitos países já dominam essa tecnologia. Alguns estudos ainda são requeridos na finalização do projeto, para iniciar sua implementação física e as etapas previstas em cronograma são: O estudo e desenvolvimento de um algoritmo de sincronismo de tempo; O estudo e desenvolvimento de um algoritmo para reconhecimento de bits; O estudo e desenvolvimento de um algoritmo para integração de todos os algoritmos previamente desenvolvidos e reconhecimento da mensagem.

VII. TABELA DE IMAGENS

Figura 1 - Diagrama do SBCD	4
Figura 2 - Processo de detecção e separação em canais.....	5
Figura 3 - Espectro em frequência da simulação do sinal de cinco PCDs no receptor.	6
Figura 4 - Esquema de algoritmo de sincronismo de frequência.	8
Figura 5 - Resultados do sincronismo em frequência.	9

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] J. C. P. RAE, *Detector de Sinais para os Satélites do Sistema Brasileiro de Coletas de Dados usando Análise Espectral Digital*, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 2005, p. 121f.
- [2] Y. T. SU e R.-C. WU, “Frequency Acquisition and Tracking in High Dynamic Environments,” *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, VOL. 49, NO.6, p. 11f, 2000.