

2014

Universidade Federal de Pernambuco  
Graduação em Ciências da Computação  
Centro de Informática  
2014.1

# ALGORITMOS DE DECODIFICAÇÃO POR DECISÃO SUAVE APLICADOS A CÓDIGOS BCH

Proposta de Trabalho de Graduação

**Aluno:** Lucas Minoru Ferreira Harada  
**Orientador:** Daniel Carvalho da Cunha

Recife, 09 de abril de 2014

## Sumário

1. Identificação.....	3
2. Introdução.....	3
2.1 – Fundamentação Teórica .....	3
2.2 – Justificativa .....	4
3. Objetivos .....	4
4. Metodologia.....	5
5. Cronograma.....	5
6. Referências.....	6

# 1. Identificação

Orientador: Daniel Carvalho da Cunha  
Aluno: Lucas Minoru Ferreira Harada  
Título do Projeto: Algoritmos de decodificação por decisão suave aplicados a códigos BCH

---

Daniel Carvalho da Cunha  
**Orientador**

---

Lucas Minoru Ferreira Harada  
**Aluno**

## 2. Introdução

### 2.1 – Fundamentação Teórica

A codificação de canal, também conhecida por codificação e controle de erros (códigos corretores de erros), constitui uma das principais técnicas de processamento da informação utilizada em sistemas de comunicação digital. O princípio básico da codificação de canal é a adição de redundância à informação com o objetivo de corrigir erros que possam ocorrer no processo de gravação ou transmissão de dados. Desta maneira, a utilização de códigos corretores de erros permite a recuperação da informação original por parte do usuário final com uma probabilidade de erro arbitrariamente pequena.

A contribuição mais importante da área de codificação de canal foi descoberta por Shannon na década de 1940 [1]. Ele concebeu o teorema de codificação de canal que fornece um limitante superior, denominado capacidade de canal, na taxa com que a informação pode ser transmitida de maneira confiável através de um canal ruidoso. Desde então, atingir a capacidade de Shannon para diversos modelos de canais tem sido a meta da comunidade científica que estuda codificação de canal.

Uma das principais técnicas clássicas de codificação de canal se baseia em códigos de bloco lineares, como, por exemplo, os códigos de Hamming [2]. Os códigos de Hamming são largamente utilizados em controle de erros em comunicação digital e sistemas de armazenamento de dados. Seus algoritmos de decodificação são bastante simples de implementar e são denominados algoritmos de decodificação por decisão abrupta.

Os algoritmos de decodificação por decisão abrupta são baseados na quantização das saídas dos filtros casados localizados nos estágios de demodulação do receptor digital. Devido à quantização, os sinais recebidos são representados por sequências de bits, que são utilizadas

em um método específico de decodificação chamado decodificação por decisão abrupta (do inglês, *Hard Decision Decoding*), conforme mencionado anteriormente. A decodificação por decisão abrupta utiliza a estrutura algébrica do código e, por esta razão, também é chamada de decodificação algébrica. O objetivo deste tipo de decodificação é decodificar a sequência binária recebida mais próxima da palavra-código transmitida em termos de distância de Hamming. Apesar de sua simplicidade, a decodificação por decisão abrupta resulta em perda de informação, o que afeta diretamente o desempenho do sistema.

Para evitar a perda de desempenho provocada pela decodificação por decisão abrupta, existe uma técnica na qual as saídas dos filtros casados não são quantizadas ou são quantizadas em mais de dois níveis. Neste caso, diz-se que o decodificador opera com decisões suaves. Portanto, a sequência observada na saída do demodulador é denominada sequência de decisão suave e o algoritmo de decodificação que a emprega recebe o nome de algoritmo de decodificação por decisão suave [3-4]. A decodificação por decisão suave permite a obtenção de um melhor desempenho quando comparada à decodificação por decisão abrupta, porém exige uma maior complexidade computacional em sua implementação.

## 2.2 - Justificativa

A proposta de trabalho de graduação é na transmissão de informação digitalizada através de canais ruidosos. A informação deve ser transmitida de maneira extremamente eficiente (com altas taxas de transmissão e baixa relação sinal-ruído) e confiável (com baixa probabilidade de erro).

Minimizar o efeito do ruído de canal é a principal meta de um esquema de codificação de canal em um sistema de comunicação digital. Esta minimização se traduz na busca por uma probabilidade de erro muito pequena, necessidade cada vez mais presente em aplicações de telecomunicações do nosso dia-a-dia, como, por exemplo, o acesso à Internet via dispositivo móvel. Desta forma, o domínio da tecnologia de transmissão digital, que se torna cada vez mais sofisticada, é de suma importância para o desenvolvimento tecnológico nacional.

A presente proposta de trabalho de graduação tem como objetivo o estudo, a implementação e a avaliação de desempenho e complexidade de algoritmos de decodificação por decisão suave de códigos de bloco lineares aplicados a sistemas de comunicações. Os algoritmos de decodificação por decisão suave têm sido investigados na literatura em busca de opções que forneçam melhores desempenhos ou menor complexidade computacional [5-7]. Aliado a isso, esforços tem sido realizados para melhorar a implementação em hardware de tais algoritmos [8]. Dessa forma, o estudo de algoritmos de decodificação por decisão suave é de suma importância para a comunidade científica uma vez que são empregados em diversas aplicações de telecomunicações e computação, como códigos turbo produto empregados em transmissão de vídeo [9] e gravação óptica de dados [10].

## 3. Objetivos

Este trabalho de graduação visa contribuir com atividades de pesquisa, por meio da abertura de novas frentes de trabalho, juntamente com alunos de Iniciação Científica e professores do Centro de Informática da UFPE e da colaboração com grupos já existentes em

outras instituições. A intenção é criar uma massa crítica bastante sedimentada de atuação nacional e internacional de destaque na área de Códigos Corretores de Erros e Transmissão Digital, representada por publicações em periódicos e simpósios, bem como buscar colaborações de caráter interinstitucional com universidades e grupos de pesquisa reconhecidos na área.

Os objetivos específicos do presente projeto são:

1. Desenvolver estudos sobre algoritmos de decodificação por decisão suave (do inglês, *Soft Decision Decoding*) de códigos de bloco lineares, como, por exemplo, o algoritmo de Chase e o algoritmo de Chase Estocástico (do inglês, *Stochastic Chase*) [11] em canais com ruído aditivo Gaussiano.
2. Avaliar a relação entre a complexidade de implementação e o desempenho dos algoritmos de decodificação a serem estudados por meio de curvas de probabilidade de erro de bit versus relação sinal-ruído.

## 4. Metodologia

A metodologia empregada para a execução do trabalho de graduação iniciar-se-á pela formação básica na área do projeto, que se divide em transmissão digital e códigos corretores de erros. Em seguida, serão necessárias a leitura e a familiarização com a literatura diretamente relacionada com o tema do projeto por meio de uma revisão bibliográfica. Reuniões periódicas serão realizadas entre aluno e orientador com o objetivo de discutir os conceitos estudados e aprimorar os conhecimentos dos envolvidos.

A pesquisa na área de códigos corretores de erros se utiliza de diversas ferramentas computacionais, uma vez que os resultados analíticos são escassos. Sendo assim, simulações computacionais serão necessárias para a obtenção dos resultados. A execução do projeto terá como suporte a linguagem de programação C++ para o desenvolvimento de programas com finalidades diversas. As etapas de simulação serão realizadas com auxílio de ferramentas computacionais como o MATLAB. Por fim, os resultados da pesquisa serão utilizados para escrever o trabalho de graduação.

## 5. Cronograma

As etapas de execução do projeto, bem o cronograma de atividades do aluno, estão descritos a seguir:

- A. Estudo do algoritmo de decodificação por síndrome para códigos de bloco binários;  
**Abril/14**
- B. Estudos sobre decodificação por decisão suave: algoritmo de Chase;  
**Abril/14 – Maio/14**
- C. Implementação do algoritmo de Chase para o código de Golay estendido;  
**Maio/14**
- D. Estudos sobre códigos BCH e o algoritmo de decodificação de Berlekamp-Massey (BM);  
**Maio/14**

- E. Implementação do algoritmo BM para códigos BCH;  
**Maio/14 – Junho/14**
- F. Implementação do algoritmo de Chase para códigos BCH.  
**Junho/14**
- G. Implementação do algoritmo de Chase estocástico [3] e comparação com o Chase tradicional.  
**Julho/14**
- H. Redação da monografia de conclusão de curso.  
**Julho/14 – Agosto/14**

## 6. Referências

- [1] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," Bell Syst. Tech. J., v. 27, 379-423, 1948.
- [2] R.W. Hamming, "Error Detecting and Error Correcting Codes," Bell Syst. Tech. J., v. 29, 147-160, 1950.
- [3] D. Chase, "A Class of Algorithms for Decoding Block Codes with Channel Measurement Information," IEEE Trans on Inf. Theory, v. IT-18, 170-182, 1972.
- [4] M. Fossorier and S. Lin, "Soft-Decision Decoding of Linear Block Codes Based on Ordered Statistics," IEEE Trans. on Inf. Theory, v. IT-41, 1379-1396, Set 1995.
- [5] I. Chana et. al., "An Efficient New Soft-Decision Algorithm for Binary Cyclic Codes," in Proc. of the Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems (ICMS 2011), 1-6, Ouarzazate, Morocco, 2011.
- [6] D. C. Cunha et. al., "Symbol-Wise Chase Decoding of q-ary Block Codes over BI-AWGN Channels," IEEE Commun. Letters, v. 15, n. 2, 229-231, 2011.
- [7] X. Zhang et. al., "A Chase-type Koetter-Vardy Algorithm for Soft-Decision Reed-Solomon Decoding," in Proc. of the Int. Conf. on Computing, Networks and Commun. (ICCNC 2012), 466-470, Hawaii, 2012.
- [8] A. Ahmed, R. Koetter and N. R. Shanbhag, "VLSI Architectures for Soft-Decision Decoding of Reed-Solomon Codes," IEEE Trans. on Inf. Theory, v. 57, n. 2, 648-667, 2011.
- [9] J. Zhang et. al., "Turbo product code method for real-time video radio transmission," in Proc. of the Int. Conf. Multimedia Technology (ICMT 2011), 930-933, Hangzhou, China, 2011.
- [10] D. Hepper et. al., "Increasing the Storage Density for a 4th-Generation Optical Disc," in Proc. of the Int. Conf. on Consumer Electronics (ICCE 2009), 1-2, Las Vegas, EUA, 2009.
- [11] Leroux, C.et. al., "Stochastic Chase Decoding of Reed-Solomon Codes," IEEE Commun. Letters, v. 14, n. 9, 863-865, 2010.