

Relatório de Análise de Robustez de Modulação vs. Ruído (SNR)

1. Objetivo

O objetivo deste experimento é analisar e comparar a robustez das modulações **NRZ (Non-Return-to-Zero)** e **Manchester** quando submetidas a diferentes níveis de ruído gaussiano. A análise busca identificar os seguintes pontos críticos para cada modulação:

- O nível de Relação Sinal-Ruído (SNR) em que o primeiro erro de bit ocorre.
- O nível de SNR em que a comunicação se torna completamente ineficaz (a maioria ou todos os bits são decodificados incorretamente).

2. Metodologia

Para o experimento, foi utilizada a seguinte metodologia:

- **Mensagem Padrão:** Uma sequência de bits fixa, **00111000**, foi usada como dados originais para todos os testes.
- **Codificação:** A mensagem foi codificada separadamente usando as funções `encode_nrz` e `encode_manchester`.
- **Simulação de Ruído:** Foi realizada uma varredura de SNR, variando de **10 dB** (sinal muito mais forte que o ruído) até **-20 dB** (ruído muito mais forte que o sinal), em passos de 1 dB. Para cada nível de SNR, ruído gaussiano foi adicionado ao sinal codificado.
- **Decodificação e Contagem de Erros:** O sinal ruidoso foi decodificado, e a sequência de bits resultante foi comparada com a mensagem original para contar o número de erros.
- **Visualização:** Os resultados foram compilados em um gráfico que mostra o número de erros de bit em função do SNR para ambas as modulações.

3. Resultados e Análise Gráfica

Os resultados da simulação foram compilados no gráfico abaixo. Ele ilustra o número de bits decodificados incorretamente para cada modulação em função da Relação Sinal-Ruído (SNR). O eixo X representa o SNR em decibéis (dB), onde valores mais à direita indicam um sinal mais limpo e valores mais à esquerda indicam um sinal com mais ruído. O eixo Y representa a contagem de erros.

Gráfico 1: Comparação do número de erros de bit em função do SNR para as modulações NRZ e Manchester.

A análise detalhada do gráfico e dos dados da simulação responde à questão A3.1:

A3.1: A partir de que nível de ruído o sistema começa a falhar?

Para a Modulação NRZ:

- **a) Primeiro bit comprometido:** Conforme visível na linha azul do Gráfico 1, a modulação NRZ não apresentou **nenhum erro de decodificação** em toda a faixa de SNR testada (de 10 dB a -20 dB). A linha de erro permanece constante em zero, indicando uma decodificação perfeita mesmo em condições de ruído extremo.
- **b) Falha total:** Consequentemente, não foi observado um ponto de falha total para a modulação NRZ dentro dos parâmetros deste experimento.

Para a Modulação Manchester:

- **a) Primeiro bit comprometido:** A linha laranja no gráfico mostra que a modulação Manchester também é extremamente robusta, mas apresentou seu **primeiro e único erro em SNR = -19 dB**. Este é o ponto onde o nível de ruído se tornou suficientemente alto para confundir o decodificador na detecção de uma transição de frequência.
- **b) Falha total:** Não foi atingido um ponto de falha total. A ocorrência de um único erro em um nível de ruído tão severo demonstra a alta resiliência da modulação, mas também a posiciona como ligeiramente menos robusta que a NRZ neste cenário específico.

4. Análise e Conclusão (Revisada)

Os resultados da simulação atual demonstram uma **robustez ao ruído excepcionalmente alta** para ambas as modulações, um resultado que difere de expectativas teóricas para transmissões de alta velocidade.

Contrariando a hipótese inicial, a modulação **NRZ apresentou um desempenho superior**, não registrando um único erro em toda a faixa de SNR testada. A modulação **Manchester**, embora também muito robusta, apresentou seu primeiro erro em um nível de ruído extremo de -19 dB.

A principal razão para este desempenho notável é, muito provavelmente, a **longa duração de cada bit (BIT_DURATION)**. Com um tempo maior para cada bit, o processo de detecção de frequência (baseado em FFT) tem uma amostra de sinal muito mais rica para analisar. Isso permite que o decodificador identifique a frequência fundamental do sinal com grande precisão, mesmo quando ela está "submersa" em um nível de ruído significativamente alto.

Em conclusão, embora a modulação Manchester seja teoricamente mais resiliente por conta de sua auto-sincronização, este experimento prático mostra que, para taxas de transmissão mais baixas (ou seja, **BIT_DURATION** mais longa), a simplicidade da modulação **NRZ pode ser extremamente eficaz e robusta**, superando a Manchester em condições de ruído intenso.