

Unidade Curricular de Comunicações Digitais

Enunciado de Projeto (2024/2025)

Projeto e Análise de Desempenho de um Sistema de Comunicações Digitais

Descrição do Projeto:

Este projeto foca-se no desenho, simulação e análise de um sistema de comunicações digitais usando codificação convolucional e vários esquemas de modulação (BPSK, QAM e OFDM) para avaliar o impacto das imperfeições rádio (*RF impairments*) e respetivas técnicas de mitigação. O sistema incluirá um transmissor, um canal com imperfeições realistas, como Ruído Branco Gaussiano Aditivo (AWGN), ruído de fase, desvio Doppler e desvanecimento multipercurso, e um recetor que utilizará técnicas de correção, como sincronização e equalização, para restaurar a qualidade do sinal.

O ponto principal deste projeto é a implementação da codificação convolucional para deteção e correção de erros. Este esquema de codificação irá codificar os dados transmitidos para aumentar a robustez do sistema contra o ruído e outras imperfeições do canal. No recetor, o sinal será decodificado usando um decodificador *Viterbi*, que é o método ótimo para códigos convolucionais, para recuperar os dados transmitidos de forma precisa.

Adicionalmente, será criado um modelo de canal multipercurso determinístico para simular um ambiente típico *outdoor/indoor* com baixa mobilidade do recetor. O desempenho do sistema de comunicações será avaliado usando métricas como a Taxa de Erro de Bits (BER) e a Magnitude de Erro Vetorial (EVM).

O projeto abordará especificamente:

- Implementação de esquemas de modulação como BPSK, 16/64/256-QAM e OFDM.
- Codificação e decodificação convolucional;
- Design e análise das imperfeições rádio como ruído de fase, desequilíbrio de I/Q e desvio Doppler;
- Implementação de técnicas de sincronização para compensar desvios de frequência e fase;
- Avaliação do desempenho do sistema usando métricas como BER, EVM e diagramas de constelação.

Tarefas e Etapas do Projeto

1. Design do Sistema e Implementação do Transmissor:

- Implementar esquemas de modulação BPSK, 16/64/246-QAM e OFDM.
- Usar codificação convolucional com um comprimento de restrição não superior a 7 e uma taxa de codificação de 1/2 para codificar os dados.
- Criar um *script* em MATLAB para gerar bits aleatórios, codificá-los usando codificação convolucional e convertê-los em símbolos.

2. Modelação de Canal e Imperfeições RF:

- Projetar um modelo de canal multipercurso determinístico usando resultados de *ray-tracing* para simular um ambiente outdoor/indoor realista.
- Implementar imperfeições de canal como AWGN, ruído de fase, desequilíbrio de I/Q, desvio *Doppler* e não-linearidades.
- Introduzir mobilidade no recetor para simular cenários de movimento típicos em ambientes outdoor/indoor.

3. Design do Recetor e Sincronização:

- Implementar a compensação de frequência bruta usando a função `comm.CoarseFrequencyCompensator`.
- Implementar sincronização fina usando `comm.CarrierSynchronizer` para corrigir erros residuais de frequência e fase.
- Usar um decodificador *Viterbi* para decodificar os dados codificados convolucionalmente no recetor.

4. Simulação do Link de Comunicações:

- Configurar um link de comunicações usando codificação convolucional, 64-QAM e OFDM com 256 subportadoras.
- Configurar o sistema para transmitir múltiplos frames codificados convolucionalmente, cada um consistindo num número específico de símbolos OFDM.
- Implementar o `comm.ViterbiDecoder` para decodificar os dados codificados convolucionalmente recebidos.

5. Avaliação de Desempenho e Análise:

- Medir e analisar a BER para diferentes esquemas de modulação e condições das imperfeições do sistema.
- Avaliar a eficácia das técnicas de sincronização e compensação usando ferramentas visuais como diagramas de constelação.
- Comparar o desempenho dos diferentes esquemas de modulação sob variadas condições de canal.

Parâmetros do Sistema

- Esquemas de Modulação: BPSK, 16-QAM e 64/256-QAM.
- Esquema de Codificação: Codificação convolucional com comprimento de restrição não superior a 7 e taxa de codificação = 1/2.
- Modelo de Canal: AWGN, ruído de fase, desequilíbrio de I/Q, desvio Doppler e desvanecimento multipercurso determinístico.
- Configuração OFDM: 256 subportadoras, modulação 64-QAM por subportadora.
- Sincronização: Compensação de frequência bruta e correção fina de fase.
- Métricas de Desempenho: Taxa de Erro de Bits (BER), Magnitude de Erro Vetorial (EVM) e Relação Sinal-Ruído (SNR).

Critérios de Avaliação

O sucesso do projeto será avaliado com base nos seguintes critérios (e pesos relativos):

1. Implementação Técnica (40%):

- Implementação correta dos esquemas de modulação BPSK, QAM e OFDM.

- Implementação correta da codificação e decodificação convolucional usando funções MatLab.
 - Modelação eficaz das imperfeições do canal, como desvanecimento multipercurso, AWGN, ruído de fase e desvio de *Doppler*.
 - Implementação bem-sucedida das técnicas de correção de desvio de frequência e fase para sincronização.
2. Simulação e Análise de Desempenho (30%):
- Uso adequado do MATLAB para simular todo o sistema de comunicações.
 - Avaliação abrangente do desempenho usando métricas como BER, EVM e SNR.
 - Demonstração clara dos efeitos das diferentes imperfeições do sistema e da eficácia das técnicas de correção.
3. Relatório Intercalar (10%):
- Entrega do relatório intercalar com uma descrição sucinta do projeto, incluindo objetivos, requisitos e plano de implementação.
 - Relatório bem estruturado, com clareza e concisão.
4. Documentação e Relatório (15%):
- Documentação clara e concisa do desenho do sistema, detalhes de implementação e resultados da simulação.
 - Explicação do contexto teórico das técnicas implementadas.
 - Análise dos resultados e discussão das conclusões.
5. Apresentação e Demonstração (5%)
- Apresentação bem estruturada que resume o projeto, principais resultados e conclusões.
 - Demonstração eficaz da simulação MatLab com visualizações em tempo real e explicações claras.

Documentação e Relatório

Prepare documentação técnica completa para o projeto:

1. Relatório Intercalar: Será necessária a entrega de um relatório intercalar até 4 páginas, que deverá incluir uma descrição sucinta do projeto a desenvolver, incluindo a proposta inicial, objetivos, requisitos, metodologia a ser utilizada, e plano de implementação. Este relatório deverá ser entregue durante a fase inicial do desenvolvimento e terá um peso de 10% na avaliação final do projeto.
2. Documentação de Código: Documente o código-fonte, incluindo comentários claros e informações sobre a estrutura do software, funções e algoritmos implementados.
3. Relatório Técnico: Compile um relatório técnico que descreva sucintamente o projeto, os requisitos, as especificações, o processo de desenvolvimento, os resultados dos testes e quaisquer desafios enfrentados durante o projeto.

Entregáveis do Projeto

- Software funcional de um sistema de comunicação simulado.

- Vídeo do demonstrador (de 2 minutos, com voz off).
- Código fonte comentado.

Condições do trabalho

- **Material disponibilizado:** MatLab, bibliotecas e documentação técnica relevante.
- **Nº de alunos por grupo:** 2 estudantes
- A classificação do trabalho é individual.

Prazos de entrega

- Relatório intercalar: 08.11.2024
- Vídeo do demonstrador, defesa oral e demonstração: 24.01.2025