

PRINCÍPIOS DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES – TP547

Trabalho Final II

Georgino da Silva Baltazar & Eylen Jhuliana Mercado Ontiveros

Resumo do Artigo

O artigo oferece uma revisão abrangente e comparativa de várias técnicas de modulação QAM (Quadrature Amplitude Modulation) em sistemas de comunicação digital. As técnicas estudadas incluem 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM e 128-QAM. O principal objetivo do estudo é avaliar o desempenho dessas modulações em termos de taxa de erro de bit (BER) sob diferentes condições de canal, especificamente o ruído aditivo branco gaussiano (AWGN).

Análise Crítica

O artigo está bem escrito

Introdução

O artigo começa com uma introdução sobre a importância das técnicas de modulação digital na transmissão de dados através de canais de comunicação. Explica que a seleção de uma técnica de modulação adequada é crucial para maximizar a eficiência espectral e minimizar os erros de transmissão. Destaca-se que, embora as modulações de ordem superior, como 128-QAM, possam oferecer maior eficiência espectral, também são mais suscetíveis ao ruído e às degradações do canal.

Na nossa visão, a introdução estabelece de maneira clara a relevância das técnicas de modulação digital, embora possa ser melhorada ao contextualizar mais sobre a evolução dessas técnicas e o estado da arte. Um ponto positivo é que menciona os critérios para a escolha do melhor esquema de modulação, como medir a qualidade do funcionamento desses esquemas, como avaliar o desempenho de uma técnica de modulação e como quantificar a qualidade da transmissão. Além disso, aborda conceitos como a eficiência espectral e a relação sinal-ruído, que são importantes para entender o artigo e seu enfoque.

Metodologia

O estudo utiliza simulações para analisar o desempenho das diferentes técnicas de modulação. As simulações são realizadas utilizando MATLAB/Simulink e BERTool, onde os canais de comunicação são modelados com AWGN. Os parâmetros-chave considerados nas simulações incluem a relação sinal-ruído (SNR) e a taxa de erro de bit (BER). Detalham-se os algoritmos utilizados para demodular os sinais e calcular a taxa de erro de bit (BER).

A metodologia é bem estruturada, embora pudesse incluir detalhes sobre a configuração específica das simulações, como os parâmetros usados para modelar o AWGN. Seria útil para a reprodutibilidade da simulação. Um ponto positivo é que mostra a configuração da simulação para as técnicas de modulação com AWGN. A escolha de simular os canais com AWGN é bem justificada, pois esses modelos são representativos de muitos cenários reais de comunicação. A avaliação da relação sinal-ruído (SNR) e da taxa de erro de bit (BER) usadas como métricas me parece uma abordagem apropriada para esse tipo de simulação. Talvez uma discussão sobre a suposição de determinados modelos de canal e a falta de consideração de outros fatores, como a mobilidade do usuário ou a interferência entre canais, teria sido ideal.

Equações utilizada no artigo

Para fundamentar os resultados apresentados no estudo, várias equações matemáticas foram utilizadas. Estas equações são cruciais para entender o comportamento das diferentes técnicas de modulação QAM sob condições de canal AWGN.

Os equacionamentos são bem explicados

Abaixo descrevemos uma das equações importantes apresentadas no artigo a equação da taxa de erro de bit (BER) para M-ary QAM:

$$P_b = \frac{2}{\log_2(M)} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3E_b}{2(M-1)} \cdot \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Onde **erfc** é a função de erro complementar, E_b é a energia por bit, e N_0 é a densidade espectral de potência do ruído. Esta equação é fundamental para calcular a probabilidade de erro de bit em diferentes esquemas de modulação QAM.

Resultados

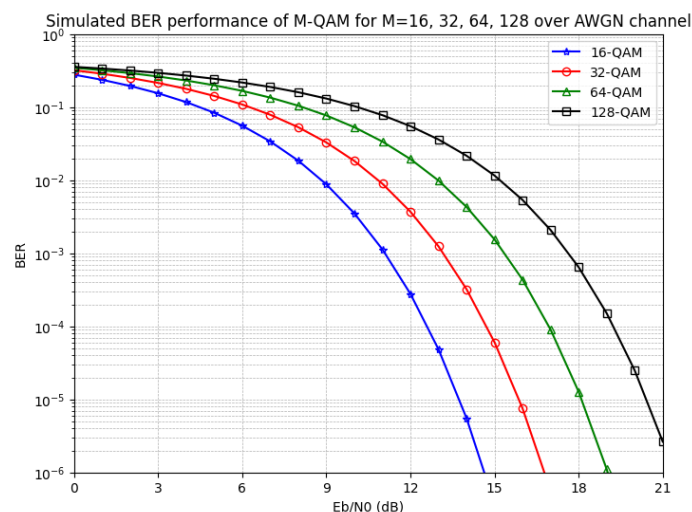
Os resultados do estudo são apresentados em forma de gráficos e tabelas que comparam o BER de cada técnica de modulação sob diferentes condições de SNR. No trabalho, eles analisam o valor de BER de diferentes técnicas de modulação em canais AWGN com diferentes valores de SNR. As principais descobertas incluem:

- 16-QAM: Melhora a eficiência espectral (quatro bits por símbolo) mas é mais sensível ao ruído, resultando em um BER mais alto em condições de SNR baixas.
- 32-QAM: Oferece um compromisso entre eficiência espectral e sensibilidade ao ruído, com um desempenho intermediário.
- 64-QAM: Proporciona uma maior eficiência espectral (seis bits por símbolo) mas é ainda mais suscetível ao ruído e desvanecimento, resultando em um BER elevado a menos que o SNR seja alto.
- 128-QAM: Apresenta a maior eficiência espectral, mas também a maior susceptibilidade ao ruído, sendo adequada apenas para cenários com SNR muito altos.

Esta sessão de resultados, poderia ser melhorada incluindo etiquetas nos gráficos, como unidades de medida e legendas que expliquem os dados apresentados. Apesar disso, os gráficos mostram visualmente o desempenho das diferentes técnicas de modulação. A discussão dos resultados é concisa e fornece uma interpretação clara dos dados apresentados. Nesse sentido, poderia ser aprimorada ampliando a discussão e comparando-a com outros trabalhos anteriores na literatura, o que melhoraria a profundidade e o impacto do artigo.

Reprodução da Figura 2 do artigo

Fizemos a reprodução de alguns resultados utilizando python que resultou na figura 2 do artigo original, que apresenta a performance simulada da taxa de erro de bit (BER) para diferentes ordens de modulação QAM (16, 32, 64 e 128) sobre um canal AWGN. A figura gerada mostra os resultados das simulações e confirma a precisão dos dados apresentados no artigo, apesar de algumas pequenas diferenças nas curvas que é normal. O código encontra-se no repositório do github: [Trabalho Final II/codigoTrabalhoFinalII.ipynb](#)



Conclusões

O artigo conclui que não existe uma técnica de modulação única que seja ótima para todas as condições. A seleção da técnica de modulação deve adaptar-se às condições específicas do canal e aos requisitos do sistema de comunicação. Sugere-se que os sistemas modernos poderiam beneficiar-se de técnicas de modulação adaptativa, onde o esquema de modulação pode mudar dinamicamente em resposta às condições do canal.

Contribuições Relevantes

Para o ano em que foi publicado, parece-me que foi importante, pois a avaliação e comparação de técnicas de modulação digital eram temas de alta relevância devido ao rápido avanço e adoção de tecnologias de comunicação sem fio. O artigo contribui

fornecendo uma comparação sistemática e detalhada de diferentes técnicas de modulação, o que é crucial para o design e a otimização de sistemas de comunicação.

Em geral, a conclusão é apresentada de forma clara e resume adequadamente os principais resultados do estudo. Talvez pudessem ser acrescentadas recomendações específicas para pesquisas futuras com base nas limitações encontradas no estudo.