

Análise Crítica do Artigo:

Development of an Adaptive Acquisition and Transmission System for Digital Processing of ECG Signals under Variable n-QAM Schemes

Adrian Alejandro Chavez Alanes, Everton Vilhena Cardoso

2 de junho de 2025

Resumo

O artigo *Development of an Adaptive Acquisition and Transmission System for Digital Processing of ECG Signals under Variable n-QAM Schemes* [1] propõe uma plataforma adaptativa para aquisição e transmissão de sinais ECG utilizando modulações n-QAM. O sistema integra hardware dedicado (Olimex, AD9361), algoritmos de segmentação, digitalização e modulação de sinais, operando na banda de 2,5 GHz. A proposta visa aplicações em Telemedicina, com destaque para a obtenção de um ACPR (Adjacent Channel Power Ratio) de 28,56 dBc e a possibilidade de utilização de esquemas superiores a 64-QAM para futura análise espectral. O artigo também apresenta resultados práticos com sinais ECG demodulados sob diferentes modulações.

Análise Detalhada

O artigo está bem escrito?

O artigo apresenta uma linguagem técnica clara, com boa estruturação das seções. No entanto, há algumas observações:

- Algumas expressões são redundantes ou excessivamente formais (e.g., "endeavor", "instantiation") que poderiam ser simplificadas.
- A introdução é rica em referências, mas poderia ser mais concisa.
- Figuras e equações são bem organizadas, mas faltam explicações mais detalhadas junto a algumas delas.

O artigo apresenta uma contribuição relevante?

Sim. A aplicação de modulação n-QAM variável em sinais biomédicos com controle adaptativo e análise de ACPR que é a interferência espectral que um transmissor gera fora de sua faixa designada em um contexto real de Telemedicina representa uma contribuição relevante, especialmente considerando a faixa de operação em 2,5 GHz e a proposta de eliminar o gerador vetorial tradicional com uso do AD9361.

Os equacionamentos são bem explicados?

Sim, o artigo apresenta as principais equações utilizadas no processo de modulação e demodulação n-QAM, porém com algumas lacunas. Abaixo destacam-se os pontos abordados:

- As expressões $a_k = a_{kI} + ja_{kQ}$ e $b_k = b_{kI} + jb_{kQ}$ representam os símbolos modulados nos canais I e Q.
- O parâmetro de espaçamento entre símbolos é dado por $d = \sqrt{\frac{3 \log_2(M) E_b}{2(n-1)}}$, mas não é discutido em termos práticos.
- O sinal transmitido é descrito por $s(t) = \sum c_n p(t - nT_s)$ e o sinal recebido como $z(t) = \sum c_n q(t - nT_s) + u(t)$, com $p(t)$ e $q(t)$ representando formas de pulso.
- Algumas variáveis importantes, como f (formação da constelação) e α (relacionada à potência do piloto), não são definidas claramente.
- As equações são apresentadas isoladamente, sem correlação direta com os resultados gráficos mostrados no artigo.

O autor demonstra a contribuição nos resultados?

Sim, mas com limitações:

- Os gráficos de sinais demodulados sob 16-QAM, 32-QAM e 64-QAM são ilustrativos, mas não há uma métrica quantitativa de fidelidade da reconstrução (como NMSE ou BER).
- A Tabela 1 apresenta métricas de potência e ACPR, o que fortalece a análise espectral da transmissão.
- Seria interessante comparar o desempenho do sistema com outros métodos de modulação digital ou cenários sem otimização adaptativa.

Reprodução de Resultados: Sinais Demodulados por Modulação n-QAM

A Figura 1 mostra o sinal ECG original utilizado como base para a simulação dos esquemas de modulação n-QAM. Esta amostra foi obtida do banco de dados público *ECG-ID*

Database [2]. Durante o processo de reprodução dos resultados, foi necessário trabalhar exclusivamente por meio de código, uma vez que os resultados apresentados no artigo original foram obtidos utilizando hardware dedicado, tanto para a aquisição do sinal ECG quanto para a etapa de modulação. Neste caso, foram desenvolvidas funções em software para simular os esquemas de modulação 16, 32 e 64-QAM, utilizando-se um sinal real de ECG proveniente do dataset mencionado anteriormente. Os resultados da sinal recuperado após cada uma dessas modulações estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4.

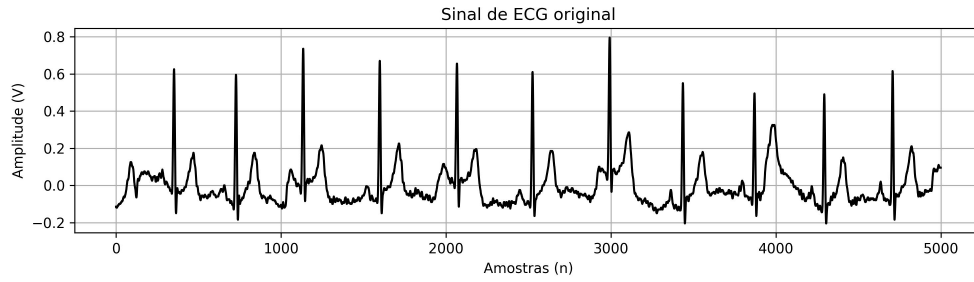


Figura 1: Sinal ECG original utilizado para a modulação

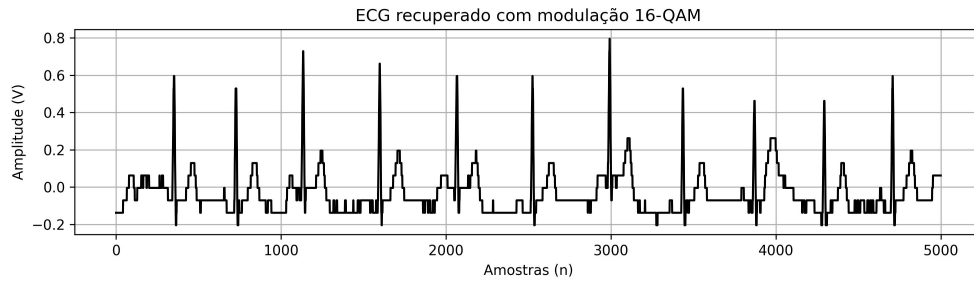


Figura 2: Sinal ECG recuperado após modulação 16-QAM

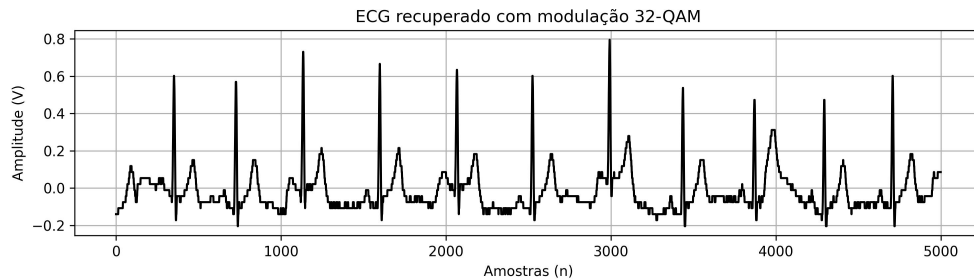


Figura 3: Sinal ECG recuperado após modulação 32-QAM

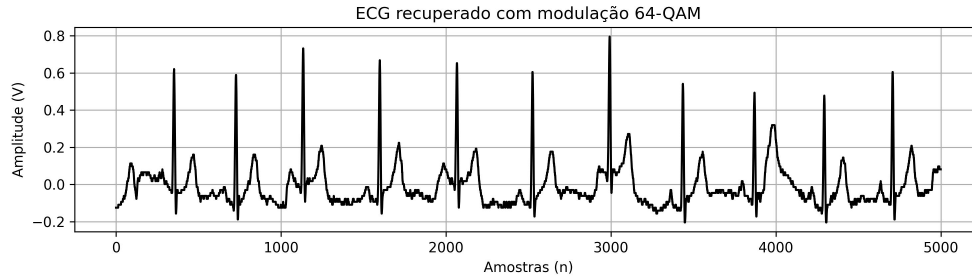


Figura 4: Sinal ECG recuperado após modulação 64-QAM

Sugestões de Melhoria

1. Adicionar métricas quantitativas como NMSE (Normalized Mean Square Error) ou correlação entre sinal original e demodulado.
2. Padronizar nomenclaturas e variáveis matemáticas.
3. Discutir a influência de ISI (Inter-Symbol Interference) e filtros utilizados no desempenho dos esquemas n-QAM.
4. Disponibilizar código-fonte e sinais utilizados para facilitar a reprodutibilidade.
5. Incluir uma análise de BER versus ordem de modulação.

Referências

- [1] J. R. Cárdenas-Valdez, F. Ramírez-Arzate, A. H. Corral-Domínguez, C. Hurtado-Sánchez, A. Calvillo-Téllez, and E. E. García-Guerrero, “Development of an adaptive acquisition and transmission system for digital processing of ecg signals under variable n-qam schemes,” in *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 44, pp. 117–127, Asociación Mexicana de Ingeniería Biomédica, 2023.
- [2] A. L. Goldberger, L. A. Amaral, L. Glass, J. M. Hausdorff, P. C. Ivanov, R. G. Mark, J. E. Mietus, G. B. Moody, C.-K. Peng, and H. E. Stanley, “Physiobank, physiotoolkit, and physionet: components of a new research resource for complex physiologic signals,” *Circulation*, vol. 101, pp. e215–e220, 2000.