

Aplicação de Super-Resolução (SR) de Imagens em Sistemas de Comunicação Screen-to-Camera (S2C)

Palavra-Chave: SUPER RESOLUÇÃO DE IMAGENS, SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SCREEN-TO-CAMERA

Autores/as:

PIETRA GONÇALVES SIMÕES CARDOSO, FT, UNICAMP

Prof. Dr. LEANDRO RONCHINI XIMENES (orientador), FT, UNICAMP

RESUMO:

Este projeto tem como finalidade analisar o comportamento do algoritmo OCC-KRF que descreve um sistema de codificação S2C/OCC que é baseado na decomposição tensorial PARAFAC de reconstrução de imagem por Super-Resolução (SR) aplicado a sistemas de *Optical Camera Communication* (OCC). De forma geral, na SR utiliza-se de combinações de imagens de baixa resolução para se obter imagens de maior resolução, enquanto a tecnologia OCC faz o uso de fontes de sinais ópticos e sensores de imagem para a transmissão de informação digital. Dessa forma, será feita análise dos métodos que envolvem a decomposição tensorial PARAFAC, por meio de simulações que envolvam a análise da taxa de erro de símbolo *versus* razão sinal ruído, visualizando então seu comportamento que permite o aumento da taxa de dados sem aumento da taxa de erro de bit. Os resultados obtidos foram coletados a partir do software MATLAB, que será usado para complementar o estudo de técnicas de super-resolução de imagens e as análises de vantagens e desvantagens sob cada uma delas.

INTRODUÇÃO:

Este projeto propõe avaliar os efeitos de algoritmos de SR em sistemas de comunicação OCC. Utiliza-se o sistema OCC descrito em um estudo [3] que propõe um sistema de

codificação S2C/OCC baseado na decomposição tensorial PARAFAC[4][9]. O algoritmo OCC-KRF descrito nesse estudo [3] permite a restauração de vídeos e a detecção de símbolos codificados nos próprios pixels dos vídeos em uma única rotina, além disso, propõe também uma comparação com os resultados de SRGAN, em redes neurais, proposto no início do projeto.

Os sistemas de *Screen to Camera* (S2C) são uma subcategoria específica dentro das comunicações por câmera óptica (*Optical Camera Communications* - OCC), que se concentram na transmissão de dados a partir de uma tela de exibição para um receptor de câmera. Esta abordagem se torna viável devido ao uso de tecnologias de exibição modernas, como telas LCD, OLED, e microLED, que podem modular a luz visível em altas taxas, invisíveis ao olho humano, mas detectáveis por câmeras.

Optical Camera Communications (OCC) é uma tecnologia de comunicação que utiliza sensores de imagem óptica como receptores, operando nas faixas infravermelha (IR) ou visível do espectro. Também conhecida como comunicação por sensor de imagem, a OCC oferece várias vantagens em relação a outras tecnologias de comunicação óptica sem fio (*Optical Wireless Communication* - OWC)[1]. Primeiramente, pode ser implementada sem modificar o receptor, sendo compatível com dispositivos prontos para uso, como *smartphones*, câmeras digitais, câmeras de veículos e câmeras de vigilância. Essa ampla compatibilidade permite inúmeras aplicações.

Além disso, os receptores OCC utilizam milhões de pixels, proporcionando um alto grau de liberdade (*Degrees of Freedom* - DoFs) para transmissão e recepção de dados. Devido à sua favorável relação custo-benefício, popularidade e capacidade de informações, a tecnologia OCC tem despertado interesse em várias áreas de aplicação, incluindo Internet das Coisas (IoT), localização interna, captura de movimento e sistemas de transporte inteligentes (ITS).

No entanto, a OCC apresenta limitações, como baixas taxas de dados devido à baixa taxa de amostragem do receptor, taxas de quadros instáveis e degradação por borrramento/desfocagem, especialmente em cenários de média e longa distância de enlace. Para mitigar esses efeitos, técnicas de Super-Resolução (SR) [2] são pode ser utilizadas em sistemas de comunicação visual para aumentar a resolução das imagens capturadas pelos sensores de imagem. Isso é particularmente útil em aplicações onde a qualidade da imagem é essencial, como vigilância, reconhecimento facial e rastreamento de objetos

Para a perspectiva deste projeto, vale citar que as análises feitas foram estudadas com mais profundidade nos artigos aprovados [6][9], onde se encontra com mais detalhes as análises do sistema OCC-KRF/OCC-ALS combinados e individuais, e também a análise do sistema de divisão em blocos.

METODOLOGIA:

Nesta seção, detalhamos os métodos e abordagens adotados para avaliar os efeitos dos algoritmos de Super-Resolução (SR) em sistemas de comunicação OCC. Inicialmente, revisamos o funcionamento do algoritmo KRF-OCC, e outros métodos, incluindo as redes neurais.

Após um estudo do funcionamento do algoritmo KRF-OCC que descreve um sistema de codificação S2C/OCC que é baseado na decomposição tensorial PARAFAC. Ele introduz a codificação tensorial espaço-tempo em um esquema de comunicação OCC. Este, possui contribuições no processo de degradação da imagem, na detecção de símbolos e no efeito de desfocagem e no borramento por movimento (*motion blurring*). Com o objetivo de melhorar ainda mais o efeito

do uso deste algoritmo, este relatório analisa a modelação das equações que envolvem o tensor, ou seja, suas dimensões como a separação de blocos em blocos independentes, a partir de uma imagem maior, podendo assim observar o comportamento do erro e de diversidade.

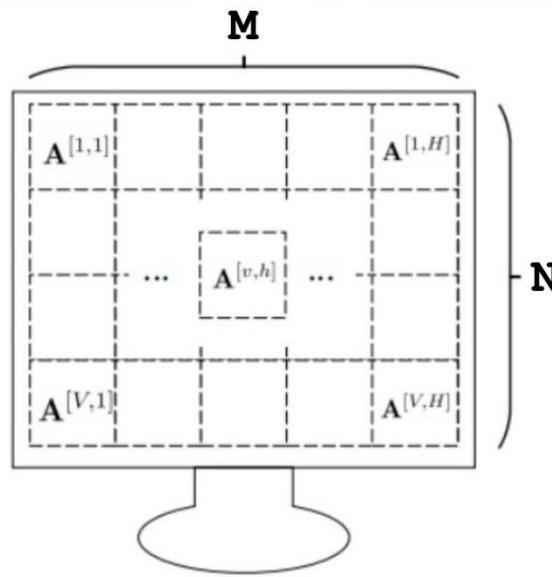


Figura 1-Diagrama de blocos da proposta do KRF

A Figura 1, mostra o funcionamento da divisão dos blocos nesta proposta. A partir de um número máximo de dimensão espacial em *pixels* ($M_{m\acute{a}x} \times N_{m\acute{a}x}$) é feita a divisão $\frac{M_{m\acute{a}x}}{M} \times \frac{N_{m\acute{a}x}}{N}$, que irá formatar as dimensões do tensor. Dessa forma, a divisão destes blocos pode ser utilizada conhecendo ou não a matriz de degradação, que representa fenômenos de degradação de imagem lineares, como desfocagem ou desfocagem linear por movimento, fazendo assim sua média para ver qual irá resultar num resultado de erro de símbolo melhor.

A princípio, a divisão destes blocos pode ser utilizada conhecendo ou não a matriz de degradação por parte do receptor. Esta matriz pode representar fenômenos de degradação de imagem, como desfocagem ou desfocagem linear por movimento. Vale mencionar que quando não conhecemos a matriz de degradação, o algoritmo OCC-ALS [5] pode ser utilizado no lugar do algoritmo OCC-KRF. O algoritmo OCC-ALS iterativo é mais complexo devido ao número de iterações necessárias para estimação da matriz de degradação, do vídeo não codificado e da matriz de símbolos. Ao dividir o tensor de maior resolução em blocos independentes, é possível pensar em

estratégias de combinação do OCC-KRF com o OCC-ALS a partir das necessidades de estimação ou não do processo de degradação.

Os métodos que serão estudados e analisados são usados para mitigar os problemas provenientes da super-resolução como a amplificação de ruídos, artefatos indesejados e perda de detalhes finos nas imagens. A super-resolução pode introduzir distorções que afetam a precisão na detecção de símbolos e a qualidade geral da comunicação. Portanto, técnicas avançadas de processamento são essenciais para garantir que os dados transmitidos sejam claros e precisos, mesmo após a aplicação.

Para este projeto foi abordado dois estudos. A primeira abordagem foi feita realizando a execução do OCC-ALS apenas no primeiro bloco no canto superior, onde é estimulado o parâmetro de borramento e estimulação de transmissão de símbolos, assim, para os demais blocos foi passado o OCC-KRF, com o a matriz de degradação agora conhecida. Na segunda abordagem, foi realizada a média dos quatro cantos dos blocos com a passagem de OCC-ALS e assim então, com essa média, foi passado nos demais o OCC-KRF afim de obter um melhor desempenho [6]. Após essas análises, foi feito uma comparação com os resultados gerados de de SRGAN.

Foi realizada uma análise do algoritmo *Super-Resolution Generative Adversarial Networks* (SRGAN) [7][8]. Para isso, foram treinados diversos modelos utilizando um banco de dados composto por várias imagens. Para complementar os conhecimentos já visto sobre redes neurais, foi feito um estudo mais profundo das GAN's, através da plataforma Udemy, que pode complementar o estudo prático. Assim, com o software MATLAB foi usado uma imagem de referência foi introduzida de baixa resolução e passou pelo algoritmo SRGAN. Com base nos dados obtidos durante o treinamento das demais imagens do banco de dados, foi possível gerar uma imagem de super resolução utilizando os parâmetros analisados durante o treinamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Neste relatório, foi feito a análise da divisão do quadro em blocos independentes, com M_{\max} e N_{\max} no valor de 40, e número de frames igual

a 20 fixos, alterando os valores nas divisões de blocos para analisar o comportamento do KRF em cada uma delas no resultado final, visualizando seu ganho de diversidade e a taxa de erro de símbolo.

O ganho se dá em que quanto maior o número de blocos, mais diversidade irá se resultar, onde todos os estes irão transmitir a mesma matriz, mas será feito a média entre eles, resultando assim num resultado com melhor erro de símbolo.

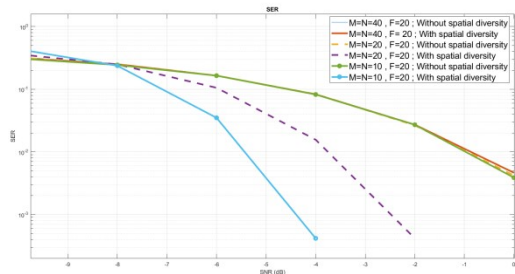


Figura 2- OCC-ALS no primeiro bloco e OCC-KRF nos demais

A partir da Figura 2, podemos analisar com a inclinação das curvas, comparando as curvas $M=N=10$ e $M=N=20$, ambas com diversidade espacial (*with spatial diversity*), a segunda, com a linha tracejada não teve ganho de diversidade, essa análise é possível observando a inclinação com que a reta se encontra, caindo mais rápido com o *Signal Noise Ratio* (SNR). A curva onde $M=N=40$, visto sua inclinação, demonstra ter um ganho de SNR comparando com as demais curvas, assumindo que elas estejam em paralelo (observando o gráfico no ponto $-1, 10^{-1}$). Com a diversidade espacial observamos a exploração as diferentes características de propagação do sinal para melhorar o desempenho do sistema. Isso é alcançado transmitindo-se múltiplas versões do mesmo sinal de maneira separadas, aproveitando as variações na propagação do sinal para reduzir a taxa de erro de símbolo (SER) e melhorar a qualidade da comunicação, nesse caso, um sistema sem diversidade transmite o mesmo sinal conjunto, o que pode não resultar numa melhora na qualidade.

Na Figura 2, foi feito uma análise do algoritmo ainda em forma de divisão de blocos. Nos quatro cantos foi utilizado o algoritmo OCC-ALS, onde o parâmetro de degradação é conhecido, assim foi realizado um cálculo da média e com o resultado, foi continuado com o algoritmo OCC-KRF nos demais blocos $M \times N$ do sistema.

Analisando a Figura 2, pode-se observar que algoritmo OCC-ALS foi eficaz em reduzir a SER com o aumento do SNR, tendo seu melhor desempenho com uso da diversidade, ou seja, aumentando o número de blocos. Por outro lado, na segunda abordagem de OCC-ALS nos quatro cantos e OCC-KRF nos demais, obteve-se uma melhor estimativa de degradação, já que nesta é feita a média da matriz de degradação, para ser usado nos demais blocos do sistema.

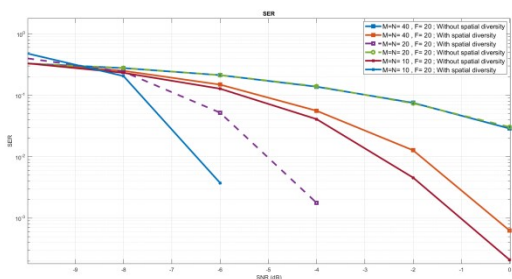


Figura 3- OCC-ALS nos cantos e OCC-KRF nos demais blocos

Na Figura 3, podemos ver o resultado da segunda abordagem, nela é possível ver que as curvas em laranja ($M=N=40, F=20$) e a curva em vermelho ($M=N=10, F=20$) podemos ver que elas estão em paralelo, no entanto possuem um ganho de SNR ao invés de um ganho de diversidade. Por mais que os resultados em termos de diminuição de erro não sejam de melhora para a segunda abordagem, em comparação ao resultados de super-resolução, que será tratado a seguir, a divisão em blocos com OCC-ALS nos cantos e OCC-KRF nos demais, gera melhores resultados comparados com SRGAN das redes neurais.

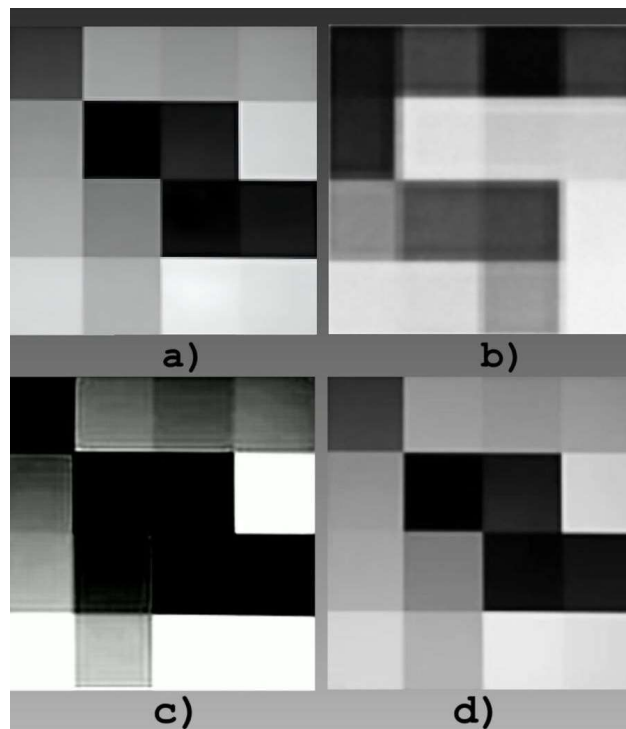


Figura 4-a) Imagem Original, b) Imagem de baixa resolução c) Imagem gerada pelo SRGAN d) Imagem gerada pelo OCC-ALS

Na Figura 4, podemos já concluir que visualmente o uso de redes neurais causam um borrando de pixels excessivos, quando aumentamos a imagem, gerados do SRGAN. Os resultados de OCC-ALS apresentam um resultado de melhoramento de resolução, de acordo com estudos abordados [9]. Mas os resultados de super-resolução serão ainda analisados com mais detalhes para uma conclusão final.

CONCLUSÕES:

Dessa forma, conclui-se que os objetivos gerais propostos até esta etapa do projeto de iniciação científica foram atingidos com a ajuda do software MATLAB, ou seja, de maneira geral foi realizado o estudo para a análise e comportamento de métodos aplicados a super-resolução, e a importância dos parâmetros escolhidos para a estimativa e melhoramento de erro com a imagem gerada.

A análise da divisão do quadro em blocos independentes foi feita para observar o comportamento do algoritmo OCC-KRF em cada um destes blocos de forma individual e combinada. De forma combinada, foi possível observar ganhos de diversidade quando múltiplos blocos transmitiam a mesma mensagem. Em outras palavras, foi importante para analisar como a combinação de múltiplos

blocos espaciais poderia melhorar a taxa de erro de símbolo em um sistema S2C. De forma geral, concluiu-se que OCC-ALS foi, comparado com outros métodos de super-resolução, a que resultou uma melhor performance, tendo em vista a similaridade com a imagem original.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SAEED, N.; GUO, S.; PARK, K.-H.; AL-NAFFOURI, T. Y.; ALOUINI, M.-S. Optical Camera Communication: Survey, use cases, challenges, and future trends. *Physical Commun.*, vol. 37, p. 100900, 2019.
- [2] PARK, S.C.; PARK, M.K.; KANG, M.G. Super-resolution image reconstruction: a technical overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp-21-36, May 2023, doi: 10.1109/MSP.2003.1203207.
- [3] XIMENES, Leandro R.; LAREDO, Bruno A.; ARTHUR, Rangel. Integrated data detection and video restoration for optical camera communications. *Digital Signal Processing*, [S. l.], p. 1-12, 13 set. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1051200423002877>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- [4] HARSHMAN, R. Foundations of the Parafac procedure: Models and conditions for an “explanatory” multi-modal factor analysis. *UCLA Work. Papers in Phonetics*, vol. 16, 1970.
- [5] XIMENES, L. R.; ALVES, M. F. Tensor-Based Screen-to-Camera Communications. *IEEE Communications Letters*, vol. 27, no. 10, pp. 2787-2791, Oct. 2023. doi: 10.1109/LCOMM.2023.3305836.
- [6] XIMENES, Leandro Rochini; GONCALVES, Piettra. Esquema de comunicação Screen-to-Camera (S2C) tensorial em blocos de vídeos segmentados espacialmente. **XLII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS**, [S. l.], p. 1-5, 15 jul. 2024. Disponível em: <https://sbrt2024.sbrt.org.br/>. Acesso em: 26 jul. 2024.
- [7] LI, J.; WU, L.; WANG, S.; WU, W.; SONG, F.; ZHENG, G. Super Resolution Image Reconstruction of Textile Based on SRGAN. 2019 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT), Tianjin, China, 2019, pp. 436 -439. DOI: 10.1109/SmartIoT.2019.00078.
- [8] PARK, S.C.; PARK, M.K.; KANG, M.G. Super-resolution image reconstruction: a technical overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 21-36, May 2003. DOI: 10.1109/MSP.2003.1203207.
- [9] XIMENES, Leandro R.; GONCALVES, Piettra; ALVES, Matheus F.; ARTHUR, Rangel. Achieving Super-Resolution Reconstruction in Optical Camera Communications. **International Symposium on Wireless Communication Systems**, [S. l.], p. 1-6, 13 jul. 2024.