

Desenvolvimento de um aplicativo *Android* para sistemas de comunicação V2V/V2I usando a tecnologia *Optical Camera Communications (OCC)*

Palavras-Chave: Sistemas de Transporte Inteligente, *Optical Camera Communications*, Comunicações veiculares

Autores/as:

Matheus Fortunato Alves - FT/UNICAMP

Prof. Dr. Leandro R. Ximenes (orientador) - FT/UNICAMP

RESUMO

Este projeto desenvolve e implementa uma plataforma de recepção de dados para um sistema de comunicação sem fio baseado na tecnologia OCC adaptado para ambientes veiculares. Essa inédita interface *Open Source* pode ser utilizada num *smartphone Android* fixado ao painel de um veículo automotor, viabilizando comunicação de dados a um baixo custo e alta eficiência energética. Além do enorme potencial de geração de patente devido a escassez de soluções para a implementação do OCC veicular, este projeto gerou a publicação de dois artigos de conferência.

INTRODUÇÃO

O congestionamento dos sistemas de comunicação baseados no espectro de Rádio Frequência (RF - *Radio Frequency*) e a interferência entre diferentes tecnologias de RF (e.g., *Wi-Fi*, *Bluetooth*, entre outros) criou a necessidade da busca de alternativas com baixo custo, alto desempenho e eficiência energética para suprir a demanda massiva de dados gerados com o surgimento de novas tecnologias de comunicação sem fio como o 5G e a Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) [1].

Neste contexto, a tecnologia de Comunicação por Câmeras Ópticas (OCC - *Optical Camera Communications*) tem se mostrado promissora. No OCC, um arranjo de Diodos Emissores de Luz (LEDs - *Light Emitting*

Diodes) age como transmissor enviando sinais luminosos contendo conjuntos de *bits* (i.e., símbolos) pelo espaço livre (ar), e um Sensor de Imagem (IS - *Image Sensor*) como receptor [2]. A Fig. 1 mostra um diagrama de blocos de um típico sistema de comunicação OCC do tipo Tela-para-Câmera (S2C - *Screen to Camera*).

No OCC-S2C, uma tela ou painel (e.g., computador pessoal, *outdoors*, *tablets*, entre outros) formado por milhares ou milhões de LEDs envia dados exibindo padrões de luminosidade no qual mensagens binárias são codificadas em cada um dos seus LEDs, semelhante ao OCC convencional [3].

Então, um *smartphone* embutido com um IS captura esse padrão na forma de uma imagem constituída por *pixels* e uma etapa de decodificação para recuperação de símbolos é realizada [2]. Na tela transmissora, vários *pixels* formam o padrão de símbolos transmitido (i.e., uma imagem), tal que cada *pixel* pode ser representado por um ou mais LEDs.

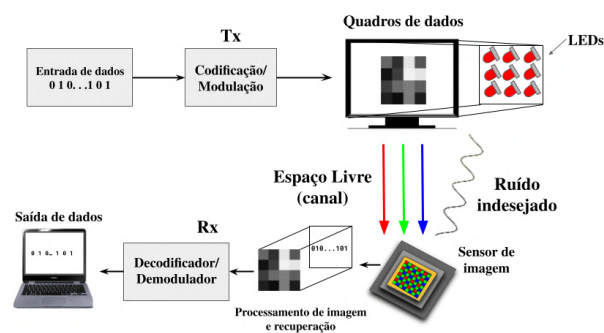


Fig. 1: Diagrama de blocos de um típico sistema de comunicação OCC

Quando vários padrões são exibidos em sequência pelo transmissor, as imagens captadas pelo *smartphone* constituem um vídeo contendo múltiplos quadros (do inglês, *frames*). Sendo assim, a taxa de exibição dos padrões de símbolos no transmissor e a taxa de captura de quadros do receptor são determinadas pela taxa de Quadros por Segundo (FPS - *Frames Per Second*) [3].

O crescente interesse no OCC é justificado pela maior acessibilidade de *smartphones* embutidos com câmeras digitais (i.e., ISs) a população em geral.

Dentre as várias áreas de aplicação dos sistemas de comunicação sem fio, os Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*), que buscam fornecer comunicação de dados em estradas e rodovias de forma ampla visando a diminuição de acidentes tornando o trânsito mais seguro e eficiente é um dos mais prejudicados devido às limitações inerentes das tecnologias baseadas no espectro de RF [4].

Neste aspecto, o uso do OCC pode ser providencial para a implementação de ITSs em larga escala, sendo desenvolvido em ambientes de comunicação veicular a partir da reutilização de fontes luminosas presentes em infraestruturas de trânsito baseada em LEDs (e.g., semáforos, lanternas de automóveis), tornando o custo para implementação do OCC veicular relativamente baixo [4].

Algumas das aplicações do OCC veicular são a prevenção de colisão, rastreamento de automóveis, comunicação de informações gerais de trânsito, aviso sobre acidentes ou estradas congestionadas, abertura de cancelas e portões automáticos em edifícios, entre outros [4].

Nota-se que câmeras já têm sido usadas há muito tempo em sistemas de monitoramento de trânsito e de posicionamento de veículos de forma limitada [2]. Contudo, sendo uma tendência a longo prazo, existe uma inerente limitação ao desenvolvimento de sistemas de comunicação veiculares baseados na tecnologia OCC [4].

Assim, devido a escassez de soluções que permitam a implementação do OCC veicular, é necessário propor um esquema de baixo custo para a adaptação de veículos atuais a esta extremamente recente e promissora tecnologia.

Este projeto de Iniciação Científica (IC) desenvolveu uma plataforma de recepção de sinais e imagens para comunicação veicular baseado na tecnologia OCC. Um esquema OCC (transmissor e receptor), assim como uma interface baseada no

sistema operacional *Android* foi adaptada tal que permite a um *smartphone* fixado no painel ou no vidro frontal do automóvel receber e visualizar as informações transmitidas por sinais de trânsito e lanternas traseiras de outros automóveis.

A Fig. 2 ilustra a aplicação da proposta do projeto. Com as contribuições deste projeto, foram submetidos dois artigos de conferência (um nacional e um internacional):

- Alves, M. F.; Ximenes, L. R.; Synchronization Method for Screen-To-Camera (S2C) Systems Using the On-Off Keying (OOK) Modulation. Submetido ao 2022 SBrT – Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais.
- Alves, M. F.; Ximenes, L. R.; Synchronization Method for Screen-To-Camera (S2C) Systems Using the On-Off Keying (OOK) Modulation. Submetido ao 2022 IEEE GLOBECOM.

O maior potencial deste projeto está em propor um produto comercial capaz de oferecer uma alternativa acessível para a adaptação dos automóveis atuais à tecnologia OCC veicular, tornando a comunicação nos sistemas rodoviários viáveis em larga escala.

Essa solução inédita de código aberto é capaz de viabilizar e implementar um sistema de comunicação veicular baseado na tecnologia OCC, apto a ser utilizado por qualquer um que tenha um *smartphone Android* e um automóvel.



Fig. 2: Conceito da proposta do projeto.

METODOLOGIA

Para verificar a funcionalidade do sistema, inicialmente desenvolveu-se um esquema OCC-S2C, utilizando a tela de um *notebook* como fonte transmissora de dados.

Atualmente, para emular e testar o sistema com as infraestruturas de trânsito, transmissores no OCC veicular, um conjunto contendo 64 LEDs na forma de um arranjo de 8 linhas por 8 colunas, formando uma matriz, está em construção.

Nota-se que telas também podem ser utilizadas para implementar o OCC veicular, tomando proveito de *outdoors* e painéis de sinalização nas estradas e rodovias para transmissão de dados.

O transmissor e o formato dos dados de entrada (*input*, na Fig. 1) foram adaptados para a comunicação veicular. Mais especificamente, a modulação *On-Off Keying* (OOK) foi utilizada [2]. Então, experimentos reais foram realizados para validar a funcionalidade do esquema proposto.

Depois, com o auxílio de técnicas de processamento de imagens e de etapas de demodulação de sinais que incluem detecção e seleção de Região de Interesse (RoI - *Region of Interest*) e capacidade de sincronia baseado na modulação OOK, esses dados são recuperados quadro a quadro [4].

A) *Desenvolvimento do Software de recepção e correção de sincronia*

A Fig. 3 exibe um diagrama de blocos que descreve as etapas de desenvolvimento do esquema de comunicação proposto, divididas, de forma resumida, em duas partes.

No transmissor, várias mensagens binárias (i.e., sequências de *bits*) foram geradas, moduladas e codificadas nos *pixels* da tela transmissora no *software* MATLAB.

A técnica de modulação OOK foi utilizada, onde, de forma resumida, um pulso com amplitude finita representa o *bit* 1, enquanto um pulso com amplitude nula representa o *bit* 0 [1].

No receptor, uma plataforma de aquisição de vídeos pela câmera (ver Fig. 2), baseada na linguagem de programação *Java* e desenvolvido no *software* *Android Studio* instalada num *smartphone* foi produzida em um projeto de IC anterior realizado pelo bolsista, intitulado “Desenvolvimento de um esquema simplificado de recepção para sistemas do *Optical Camera Communications* usando dispositivos *Android*”.

Em seguida, rotinas de processamento de imagem foram desenvolvidas no *software* MATLAB para tratamento dos quadros contendo os padrões de símbolo emitidos pela tela adquiridos pela câmera, assim como para a subsequente detecção dos *bits* transmitidos.

O uso de técnicas de recuperação e restauração de imagem são necessárias para obter um desempenho satisfatório na recepção dos dados, cuja captura pode ser comprometida devido a efeitos de degradação no receptor (ver Fig. 1).

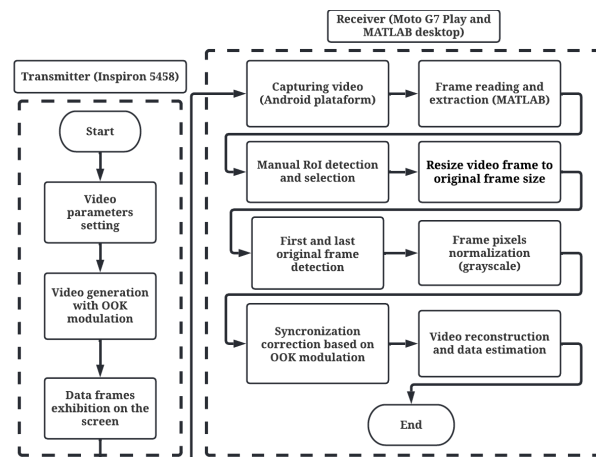


Fig. 3: Diagrama de blocos do *setup* experimental.

Conforme a Fig. 3, uma técnica manual de detecção de RoI é utilizada para remover elementos indesejados nos quadros capturados pela câmera, que possui dimensões espaciais (i.e., resolução) maiores que as do *notebook*.

Devido à variação da taxa de exibição da tela transmissora ou da taxa de captura pelo IS, os quadros capturados podem ou não estar sincronizados com a sequência de *frames* transmitida.

Por isso, um método de sincronia baseado na modulação OOK foi proposto. Devido às características da modulação OOK, as mensagens transmitidas geram imagens codificadas repetidas ao longo do tempo para representar cada conjunto de *bits*, exibidos pela tela (ver Fig. 1).

Sendo assim, vários *frames* repetidos são exibidos pelo transmissor a cada conjunto de *bits* gerado. O método de sincronização proposto consiste em avaliar e escolher, em cada conjunto de quadros repetidos que representam a mesma mensagem, aquele que possui melhor correlação com o “*frame* médio”. O “*frame* médio” aqui é representado pelo cálculo da média das intensidades de *pixel* de cada conjunto de quadros repetidos capturados pela câmera.

A etapa final do método de sincronização proposto é substituir todos os quadros repetidos capturados (com alta e baixa correlação) pelo “*frame* mais provável”. Este quadro é aquele com a melhor correlação em relação ao “*frame* médio”.

A Fig. 4 exemplifica o esquema de sincronia proposto. Note que, neste caso, cada conjunto de *bits* é representado por quatro quadros repetidos exibidos pela tela. A quantidade de quadros repetidos é definida pelos parâmetros de codificação utilizados no transmissor.

Por último, usando o vídeo reconstruído, foi possível obter a sequência de *bits* codificada

nos *pixels* do transmissor. Foi possível obter então as curvas de Erro Quadrático Médio Normalizado (NMSE – *Normalized Mean Square Error*) dos símbolos detectados, usadas para validar a funcionalidade da plataforma.

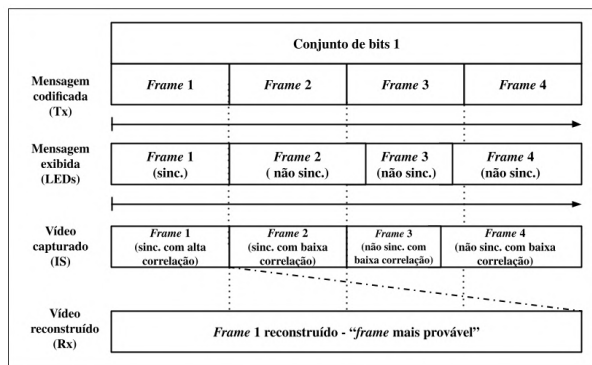


Fig. 4: Efeitos de sincronia no OCC.

B) Desenvolvimento de hardware de transmissão para emulação de comunicação V2I

Para emular as infraestruturas de trânsito, que exibem o mesmo padrão de símbolos mostrado na tela transmissora, um módulo MAX7219 que controla um arranjo com 64 LEDs está atualmente em construção para testes futuros. Ele possui compatibilidade com os microcontroladores da família Arduino.

Utilizando uma placa Arduino Uno R3, o arranjo de 64 LEDs controlado pelo MAX7219 é conectado à placa utilizando fios *jumper* a 3 portas digitais e uma conexão com o 5V e Terra (GND - Ground) para troca de dados, alimentação e aterramento, respectivamente.

Em seguida, os *bits* dos quadros são enviados para o Arduino. Os LEDs individuais são ativados de acordo com o elemento da sequência de símbolos que correspondia a cada LED. A Fig. 5 exhibe o funcionamento do transmissor.

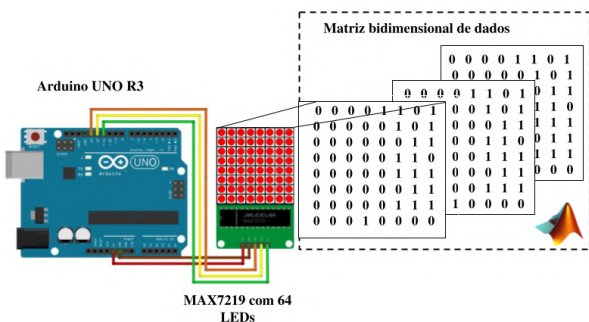


Fig. 5: Esquema de transmissão proposto usando a plataforma Arduino.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar o sistema completo de recepção, um conjunto de capturas dos quadros exibidos por um *notebook* foram realizadas alterando-se o nível de luminosidade do ambiente de testes.

O nível de luminosidade é medido em *lux*. A análise foi realizada contemplando dois casos distintos. Um em que é desprezível a interferência de luz ambiente na comunicação (i.e., 30 *lux*) e outro em que outras fontes de luz artificiais (e.g., lâmpadas convencionais) estão presentes no momento da captura dos quadros (i.e., 300 *lux*).

A intenção de variar a luminosidade ambiente é para estimar o impacto que a luz ambiente regular poderia produzir na performance experimental do sistema OCC veicular proposto, uma vez que em ambientes de comunicação veicular muitas fontes de interferência estão presentes.

A resolução da câmera foi fixada em 320×240 (padrão QVGA), com uma distância de 30 centímetros em relação ao *notebook*. Tanto a tela quanto o receptor (IS) trabalham com taxas de exibição de captura de 15 FPS, cujos descompassos são compensados pelo método de sincronia desenvolvido.

Em todos os experimentos, um *notebook* Dell Inspiron 5458 foi utilizado. Esse dispositivo possui resolução 1366×768 *pixels*. Cada *pixel* da imagem codificada era representado por uma área de 13×13 centímetros na tela transmissora.

As curvas usadas para validação foram geradas em função da SNR de recepção no esquema OCC-S2C. O ruído branco gaussiano para o cálculo do SNR foi adicionado artificialmente na saída do receptor, embora ruídos inerentes do experimento prático certamente estavam presentes.

A Fig. 6 exhibe o *setup* experimental utilizando *notebook* transmissor (à esquerda, OCC-S2C) e o arranjo de LEDs (à direita) que está atualmente sobre testes para validação do esquema OCC.

A Fig. 7 apresenta os níveis de NMSE de símbolos calculados com e sem o ajuste de sincronia para os dois diferentes níveis de luminosidade utilizados no ambiente de testes (i.e., 30 *lux* e 300 *lux*).

Fica evidente pela Fig. 7 que, sem o esquema de ajuste proposto, a recuperação e restauração dos símbolos (i.e., conjunto de *bits*) original ficam fortemente prejudicados.

Também, da Fig. 7, é possível afirmar que a presença de outras fontes luminosas que não de comunicação (300 lux) prejudicam o desempenho do sistema em relação ao caso sem interferência (30 lux), pois se misturam com o sinal de mensagem transmitido pela tela/arranjo de LEDs, dificultando a decodificação dos *bits* transmitidos.

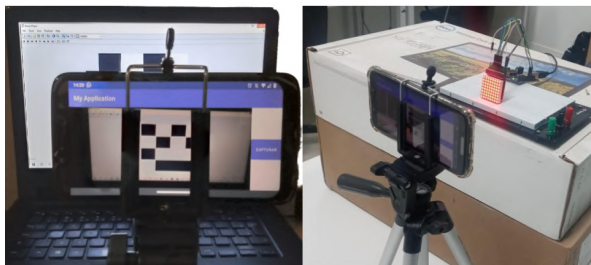


Fig. 6: *Setup* experimental para validação da plataforma.

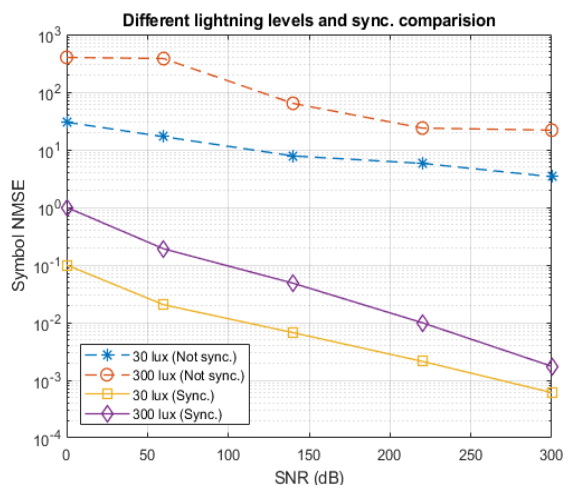


Fig. 7: NMSE de símbolo (em dB) com e sem sincronia em diferentes níveis de iluminação do ambiente de testes.

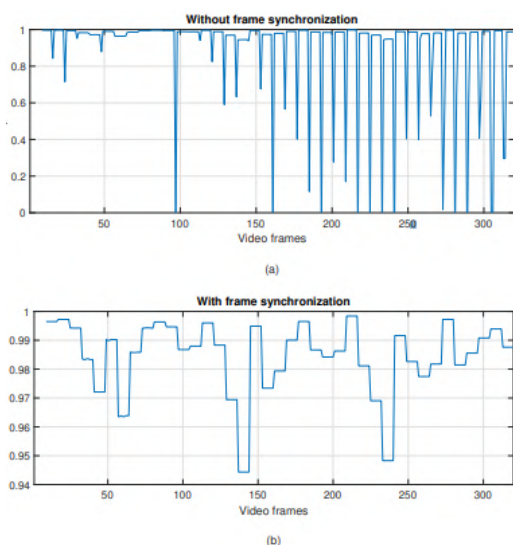


Fig. 8: Coeficiente de correlação de Pearson entre quadros transmitidos e recebidos.

Os experimentos também foram analisados em relação à presença ou ausência do método de sincronia proposto.

Na Fig. 8(a), o coeficiente de correlação de Pearson entre os quadros de vídeo capturados e os respectivos quadros de vídeo gerados (antes da transmissão através da tela) demonstra que, durante a transmissão, existem descompassos eventuais entre os quadros de vídeo capturados e os originais.

Quando o método de correção de sincronia é colocado na prática, existe uma melhora notável, como pode ser visto na Fig. 8(b).

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

A recente tecnologia do OCC é uma das principais alternativas para o estabelecimento das novas tecnologias de comunicações móveis. Seu uso em ITSs é visto como solução para o desenvolvimento em larga escala desses sistemas.

Além da submissão de dois artigos acadêmicos, este trabalho produziu uma solução inédita *Open Source* de baixo custo para implementação do OCC veicular, que pode ser utilizada através de uma plataforma de captura e processamento de imagens contendo dados instalada em qualquer *smartphone Android*.

Devido a escassez de soluções para implementação do OCC no mercado atual, este projeto possui alta geração de patente, aspecto este que será explorado em projetos futuros

Foram feitos testes de validação da plataforma, através da montagem de um *setup*. Os resultados mostram que o sistema é funcional.

BIBLIOGRAFIA

- [1]: M. Z. Chowdhury, M. T. Hossan, A. Islam and Y. M. Jang, "A Comparative Survey of Optical Wireless Technologies: Architectures and Applications," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9819-9840, 2018
- [2]: T. Nguyen, A. Islam, T. Hossan and Y. M. Jang, "Current Status and Performance Analysis of Optical Camera Communication Technologies for 5G Networks," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4574-4594, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2681110
- [3]: Cahyadi, W.A.; Chung, Y.H.; Ghassemlooy, Z.; Hassan, N.B. *Optical Camera Communications: Principles, Modulations, Potential and Challenges. Electronics* **2020**, *9*, 1339. <https://doi.org/10.3390/electronics9091339>
- [4]: A. Căilean and M. Dimian, "Current Challenges for Visible Light Communications Usage in Vehicle Applications: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 4, pp. 2681-2703,