

PHÂN TÍCH CÁC THÔNG SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU SUẤT CỦA HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG QUANG SỬ DỤNG CAMERA

ANALYSIS OF PARAMETERS AFFECTING THE PERFORMANCE OF OPTICAL CAMERA COMMUNICATION SYSTEM

Nguyễn Duy Thông¹, Phạm Văn Khoa²

¹Trường Đại học Quy Nhơn, Việt Nam

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 21/6/2021, ngày phản biện đánh giá 3/7/2021, ngày chấp nhận đăng 15/7/2021.

TÓM TẮT

Hệ thống truyền thông quang sử dụng camera (OCC) là mô hình sử dụng đèn LED và cảm biến hình ảnh (IS) để truyền và nhận tín hiệu. Tuy nhiên, các ứng dụng của OCC vẫn còn giới hạn do tốc độ dữ liệu thấp và khoảng cách truyền ngắn. Để cải thiện hơn nữa hiệu suất của hệ thống, nghiên cứu này sẽ đánh giá các thông số ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống. Các kết quả phân tích và thực nghiệm cho thấy rằng, hiện tượng nhấp nháy và khoảng cách giữa hai khung (IFG) làm giảm đáng kể tốc độ dữ liệu của hệ thống. Hiện tượng chói (Blooming) cũng làm cho khoảng IFG trở nên lớn hơn, và tác động đến khoảng cách truyền tín hiệu. Bên cạnh đó, cường độ ánh sáng của phía phát cần phải xem xét để phù hợp với hệ thống chiếu sáng và tránh hiện tượng bão hòa. Bài báo cũng đưa ra so sánh hiệu suất của hệ thống với tốc độ dữ liệu 1.8 kbps và 3.6 kbps. Các kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng có sự đánh đổi giữa tốc độ dữ liệu và khoảng cách truyền. Do đó, phụ thuộc vào từng ứng dụng cụ thể, các thông số của cảm biến hình ảnh cần được xem xét một cách cẩn thận và phù hợp.

Từ khóa: Hệ thống quang sử dụng camera (OCC); cảm biến hình ảnh (IS); hiện tượng nhấp nháy; khoảng giữa hai khung (IFG); hiện tượng bão hòa.

ABSTRACT

Optical camera communication (OCC) system is a scheme that uses LED and an image sensor (IS) to transmit and receive signal. However, the applications of OCC are still limited due to low data rate and short transmission distance. To further enhance the system performance, this study will evaluate the parameters that affect the system performance. The experimental and analytical results show that flickering and inter-frame gap (IFG) significantly reduce the data rate of the system. Blooming phenomenon also causes the IFG to become wider, and affects the transmission distance. The light intensity of the transmitter needs to be considered to conform the lighting system and avoid the saturation problem. In this paper, the performance of system is compared with data rate of 1.8 kbps and 3.6 kbps. The experimental results show that there is a trade-off between data rate and transmission distance. Therefore, depending on the specific application, the parameters of the image sensor should be considered carefully and appropriately.

Keywords: Optical camera communication (OCC); image sensor (IS); flickering; inter-frame gap (IFG); saturation.

1. GIỚI THIỆU

Trong thập kỉ qua, với sự phát triển mạnh mẽ của các dịch vụ băng thông rộng, sự gia tăng của các thiết bị di động đã dẫn

đến sự gia tăng lưu lượng truy cập của các mạng viễn thông bao gồm cả mạng không dây. Trong những năm qua, công nghệ truyền thông không dây giữ vai trò quan trọng trong

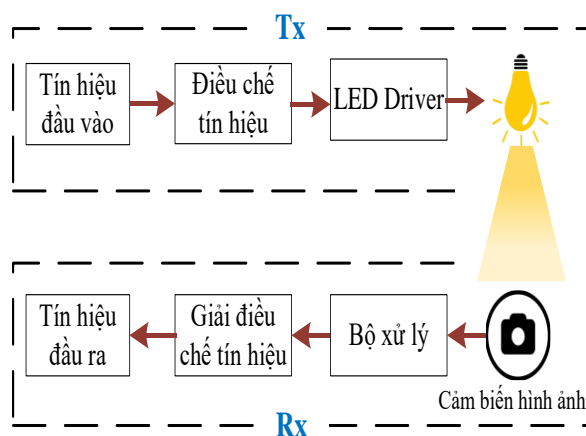
hệ thống viễn thông. Tuy nhiên, nhu cầu sử dụng mạng vô tuyến ngày càng cao đã làm cho các phổ băng tần vô tuyến (RF) trở nên quá tải. Việc nghiên cứu và phát triển các công nghệ truyền thông mới là yêu cầu hết sức cấp bách để giảm tải cho công nghệ RF truyền thông.

Cùng với sự phát triển của công nghệ bán dẫn là sự phát triển của công nghệ đèn LED (Light Emitting Diode), cảm biến hình ảnh và công nghệ truyền không dây sử dụng ánh sáng khả kiến VLC (Visible Light Communication) [1]. Nó được xem là một giải pháp bổ sung và thay thế cho công nghệ vô tuyến trong tương lai bởi những ưu điểm của nó. VLC là công nghệ có các tính năng nổi bật như tận dụng ánh sáng của hệ thống chiếu sáng, không ảnh hưởng đến sức khỏe con người, và tiêu tốn ít năng lượng. Công nghệ VLC sử dụng các nguồn ánh sáng như là một máy phát tín hiệu. Nói chung, máy phát thường là đèn LED có thể dễ dàng tích hợp trong các hệ thống chiếu sáng hiện có. Trong khi các thiết bị ở phía thu là diode quang hay cảm biến hình ảnh (IS). Truyền thông ánh sáng khả kiến sử dụng camera (OCC- Optical Camera Communication) là một nhánh của truyền thông VLC, trong đó OCC sử dụng IS như một bộ nhận tại phía thu [2-3]. Công nghệ OCC có tốc độ dữ liệu thấp hơn nhiều so với VLC [4]. Tuy nhiên với sự tích hợp của IS trong hầu hết các thiết bị di động hiện nay đã mở ra một tiềm năng to lớn cho việc ứng dụng công nghệ OCC vào thực tế.

Các máy ảnh hiện nay đều nhằm mục đích là quay phim, chụp ảnh. Do đó, nó tồn tại những hạn chế nhất định khi được sử dụng cho các hệ thống truyền thông. Nghiên cứu này sẽ đi phân tích các thông số của IS cũng như các thông số quan trọng khác trong hệ thống làm ảnh hưởng đến hiệu năng của hệ thống OCC. Nội dung các chương được trình bày như sau: Phần 1 giới thiệu, đặt vấn đề; Phần 2 giới thiệu tổng quan về hệ thống quang sử dụng camera OCC; Phần 3 phân tích các thông số trong hệ thống OCC và cuối cùng là phần kết luận.

2. TỔNG QUAN HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG QUANG SỬ DỤNG CAMERA (OCC- OPTICAL CAMERA COMMUNICATIONS)

Cũng giống như hệ thống VLC, hệ thống OCC cũng sử dụng ánh sáng nhìn thấy làm phương tiện truyền dẫn. Tuy nhiên, hệ thống OCC sử dụng một IS tại phía thu. Như trong Hình 1, tín hiệu đầu vào được điều chế trước khi gửi đến khối *LED driver*. Khối điều chế sẽ thực hiện hai nhiệm vụ chính. Thứ nhất, điều chế tín hiệu thành các dạng tín hiệu hiệu quả hơn trước khi truyền đi. Thông thường, đối với hệ thống OCC, tín hiệu chủ yếu được điều chế dưới dạng biên độ. Điều chế OOK (On-Off Keying) [2, 5] hay điều chế tín hiệu nhiều mức [6] thường được sử dụng trong hệ thống OCC. Nguyên nhân là do, IS chỉ có thể nhận biết cường độ ánh sáng của tín hiệu. Tín hiệu có nhiều mức sẽ đồng nghĩa với việc sẽ có nhiều dữ liệu được mang đi hơn. Tuy nhiên hiệu suất về khoảng cách truyền của hệ thống bị giảm đi. Trong hệ thống OCC, bộ phát sẽ được tích hợp trong hệ thống chiếu sáng trong nhà. Do đó, nhiệm vụ thứ hai của khối điều chế là cần phải loại bỏ hiện tượng nhấp nháy. Hiện tượng này xảy ra khi tần số tín hiệu thấp hơn 100 Hz [5] hoặc khi tín hiệu có cùng biên độ truyền đi trong một khoảng thời gian dài. Tiếp theo, tín hiệu sẽ được đưa tới khối *LED Driver* để chuyển tín hiệu thành các mức điện áp. Các mức điện áp sẽ tương ứng với các mức sáng của đèn LED.



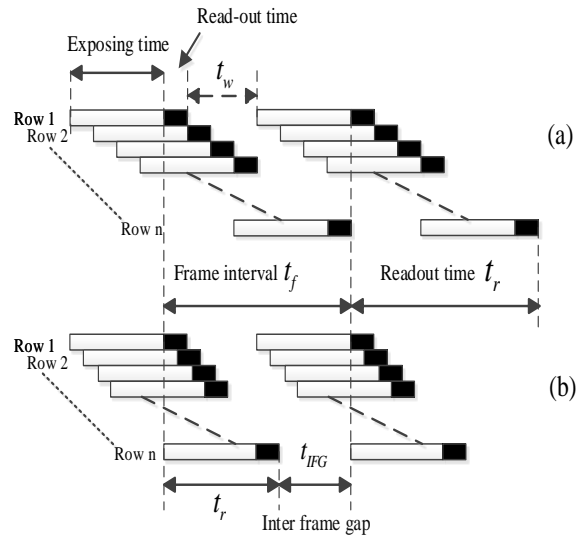
Hình 1. Sơ đồ khối tổng quan của hệ thống OCC

Tại phía thu, tín hiệu sẽ được nhận bởi cảm biến hình ảnh CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Cảm biến hình ảnh sẽ phân biệt các mức tín hiệu dựa trên cường độ ánh sáng nhận được. Cuối cùng tín hiệu ánh sáng sẽ được tổng hợp bởi các pixel (điểm ảnh) và đưa tới bộ xử lý để giải mã.

3. PHÂN TÍCH CÁC THÔNG SỐ CỦA HỆ THỐNG OCC

3.1 Cơ chế màn trập cuộn và vấn đề khoảng cách giữa các khung hình (IFG)

Một trong những nguyên nhân không thể tránh khỏi tác động đến hiệu suất của hệ thống OCC khi sử dụng camera là khoảng cách giữa các khung hình IFG (Inter-frame gap). Điều này xảy ra chủ yếu đối với các cảm biến hình ảnh sử dụng công nghệ CMOS. So với cảm biến sử dụng công nghệ CCD (Charge Coupled Device), cảm biến CMOS được sử dụng nhiều hơn. Nguyên nhân là do, cảm biến CMOS rẻ hơn và được tích hợp vào hầu hết các dòng điện thoại và các thiết bị thông minh ngày nay. Sự khác biệt chính giữa hai công nghệ này là phương pháp mà mỗi cảm biến nhận và tổng hợp thông tin từ các điểm ảnh. Tất cả các điểm ảnh của cảm biến CCD được phơi sáng (exposing) đồng thời, sau đó thông tin nhận được của tất cả các điểm ảnh được tổng hợp cùng một lúc. Trong khi cảm biến CMOS tổng hợp và đọc dữ liệu theo trình tự từng hàng pixel để tránh hiện tượng nghẽn cổ chai. Cơ chế này được gọi là cửa trập cuộn (rolling shutter). Như trong Hình 2(a), thời gian đọc được đo dựa trên khoảng thời gian giữa hai hàng pixel liên kề, và không có khoảng IFG giữa hai khung hình liên tiếp. Trong trường hợp này khung hình tiếp theo sẽ được phơi sáng khi hàng cuối cùng của khung hình trước hoàn thành. Đây là trường hợp lý tưởng đối với cảm biến CMOS. Khi đó, tốc độ khung hình được tính bằng phép nhân số hàng pixel và thời gian đọc mỗi hàng. Các hàng của khung tiếp theo phải chờ một khoảng thời gian t_w để đảm bảo rằng quá trình đọc của khung hiện tại phải hoàn thành trước khi bắt đầu phơi sáng các hàng tương ứng của khung kế tiếp.



Hình 2. Quá trình xử lý các khung liên kế của cảm biến CMOS

(a) Trường hợp lý tưởng

(b) Trường hợp thực tế

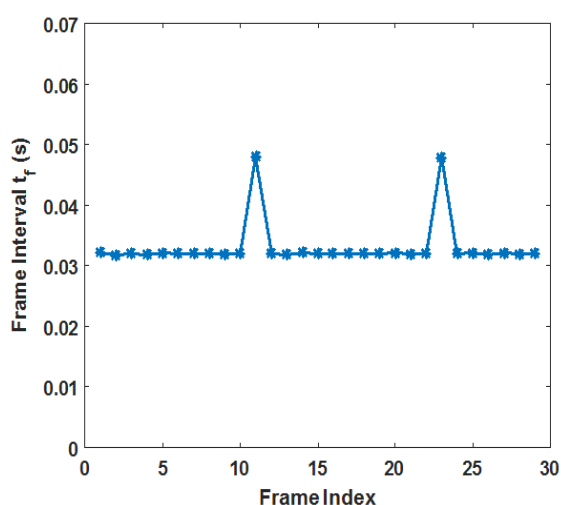
Tuy nhiên, trong thực tế, quá trình tổng hợp dữ liệu của các hàng pixel khác nhau có thể trùng lặp vì mỗi hàng pixel có bộ chuyển đổi tương tự- số ADC (Analog to Digital Converter) riêng, như được chỉ ra trong Hình 2(b). Do đó xuất hiện một khoảng thời gian "trống" giữa hai khung hình liên tiếp mà trong khoảng thời gian này các hàng pixel không được phơi sáng. Khoảng thời gian này được gọi là IFG, t_{IFG} , như được minh họa trong Hình 2(b). Khoảng thời gian này là cần thiết để bộ xử lý của camera tổng hợp toàn bộ dữ liệu của một khung, hoặc để chuẩn bị cho khung tiếp theo [7]. Thời gian đọc của một khung hình chiếm tương ứng từ 60% đến 90% khoảng thời gian của một khung, như được chỉ ra trong [8]. Khoảng khung t_f và tốc độ khung hình F_r được ước tính là:

$$t_f = t_r + t_{IFG} \quad (1)$$

$$F_r = \frac{1}{t_f} = \frac{1}{t_r + t_{IFG}} \quad (2)$$

Khoảng thời gian của một khung hình được chỉ ra trong Hình 3. Thời gian trung bình của một khung là khoảng 33 ms Nó tương ứng với khung tốc độ là 30 khung hình/giây. Thời gian 0.033 ms là bao gồm cả thời gian đọc t_r và thời gian IFG t_{IFG} . Và thật khó để tách t_r và t_{IFG} ra khỏi nhau vì chúng

phụ thuộc vào từng loại cảm biến hình ảnh và môi trường xung quanh. Bên cạnh đó, thời gian của các khung hình cũng bị biến thiên. Một số khung hình sẽ mất nhiều thời gian hơn các khung khác, như được chỉ ra ở khung hình 11 và 23 trong kết quả đo đạc của Hình 3. Khoảng thời gian này là do camera dành nhiều thời gian để tổng hợp dữ liệu và do đó làm cho khoảng thời gian t_{IFG} cũng dài hơn. Chính nguyên nhân đó làm cho dữ liệu đã truyền đi không được đọc bởi camera, gây khó khăn hơn cho việc khôi phục dữ liệu nếu không có mã sửa lỗi hoặc việc truyền dữ liệu lặp lại.



Hình 3. Thời gian cho mỗi khung hình

Để khắc phục vấn đề này, các hệ thống OCC thường truyền dữ liệu lặp lại nhiều lần để một trong số chúng có thể được nhận bởi camera. Nếu một phần gói tin bị mất tại IFG thì các gói tin còn lại có thể được sử dụng để khôi phục dữ liệu. Ngoài ra, có thể sử dụng mã sửa lỗi để khôi phục lại các bit bị mất tại IFG. Và tất nhiên các phương pháp này đều làm giảm hiệu suất dữ liệu của hệ thống.

3.2 Hiện tượng nhấp nháy - Flickering

Nhấp nháy là một trong những vấn đề cần được xem xét khi thiết kế bất kỳ một hệ thống OCC. Trong hệ thống OCC, ánh sáng được sử dụng cho cả hai mục đích chiếu sáng và truyền thông. Do đó, hiện tượng nhấp nháy cần phải được loại bỏ để không ảnh hưởng đến mắt người. Vấn đề này xảy ra khi đèn sáng ở tần số thấp, điều đó có nghĩa rằng

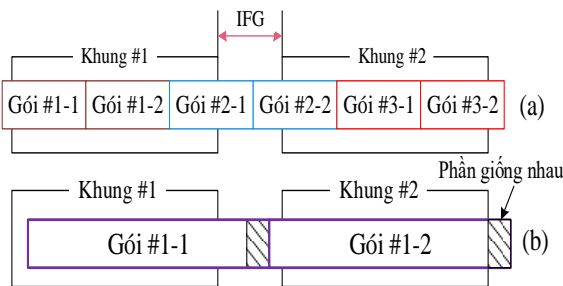
khoảng thời gian giữa hai lần sáng-tắt liên tiếp dài. Như đã đề cập ở trên, tần số cao hơn 100 Hz là đủ để loại bỏ nhấp nháy. Đối với điều chế OOK, vấn đề này có thể xảy ra khi nhiều bit giống nhau được gửi trong một khoảng thời gian dài. Vì thế, mã đường truyền được thêm ở bước cuối của quá trình điều chế trước tín hiệu được gửi đến LED. Mã hóa Manchester, scrambler, và mã hóa giới hạn độ dài RLL (Run Length Limited) là những cách đơn giản để loại bỏ hiện tượng nhấp nháy.

Đối với điều chế biên độ nhiều mức như PAM, nhấp nháy là kết quả của sự biến thiên điện áp. Nhấp nháy xảy ra khi có sự chênh lệch lớn về cường độ sáng của hai ký tự liên kề. Do đó, cường độ ánh sáng của các ký tự liên kề cần được kiểm soát. Muốn đạt được điều đó, cường độ ánh sáng trung bình phát ra luôn ổn định. Cường độ ánh sáng nhận được ở máy ảnh là tỉ lệ thuận với hiệu điện thế ở máy phát. Tuy nhiên, tỉ lệ biến thiên của điện áp cấp cho đèn không cùng với tỉ lệ biến thiên của cường độ ánh sáng ở ngõ ra. Do đó, việc xác định điện áp cho từng mức cũng quan trọng để tránh trường hợp các mức cường độ ánh sáng phát ra của hai ký tự liên kề có sự chênh lệch lớn, gây ra hiện tượng nhấp nháy. Hơn nữa, hiện tượng này sẽ dẫn đến việc khó xác định ngưỡng tín hiệu. Ngoài ra, hiện tượng nhấp nháy cũng có thể bị tác động bởi ánh sáng môi trường xung quanh và độ nhạy của mắt người.

3.3 Tốc độ dữ liệu và độ dài gói tin

Trong hệ thống OCC, tốc độ dữ liệu và độ dài gói có mối liên hệ chặt chẽ với nhau. Tốc độ dữ liệu càng cao có thể cho phép sử dụng một gói tin dài hơn (về mặt số lượng bit). Bên cạnh đó, độ dài của gói tin còn phụ thuộc số lượng bit nhận được trong một khung hình, khi mà nó phụ thuộc vào từng loại IS. Ngoài ra, độ dài gói tin cũng phụ thuộc vào khoảng cách truyền vì số lượng bit mất giữa hai khung tỉ lệ thuận với khoảng cách truyền. Để khắc phục sự cố IFG, dữ liệu được truyền lặp lại nhiều lần. Một gói tin bao gồm nhiều gói tin con giống nhau về nội

đung nhưng khác nhau về tiêu đề. Số lượng gói tin con trong một gói phụ thuộc vào kích thước IFG và khoảng cách truyền. Điều đó có nghĩa rằng IFG càng rộng thì số lần truyền lặp lại dữ liệu càng nhiều để đảm bảo một trong các gói con có thể được nhận bởi IS. Kết quả là lượng thông tin hữu ích truyền đi bị giảm. Bên cạnh đó, độ dài của một gói tin con bị giới hạn bởi số bit nhận được của một khung L_f . Độ dài của gói tin con phải nhỏ hơn L_f , như minh họa ở Hình 4 (a). Một gói tin con dài hơn độ dài khung sẽ dẫn đến việc phần dữ liệu giống nhau có thể bị mất trong hai IFG liên tiếp, như thể hiện trong Hình 4(b).



Hình 4. Mối quan hệ giữa độ rộng khung và độ dài gói

(a) Gói tin con ngắn hơn độ dài khung

(b) Gói tin con dài hơn độ dài khung

Tùy theo độ dài khung mà độ dài của gói tin được thiết kế sao cho phù hợp. Sử dụng gói ngắn sẽ là bất lợi vì số lượng tiêu đề chèn vào các gói tin càng nhiều, yêu cầu cần nhiều thời gian hơn để để phân đoạn và giải mã. Một gói tin dài hơn một khung là cần thiết để nâng cao hiệu suất của OCC. Các bit nhận được của một khung L_f được biểu thị bằng công thức (3), với R_b là tốc độ dữ liệu.

$$L_f = R_b / F_r \quad (3)$$

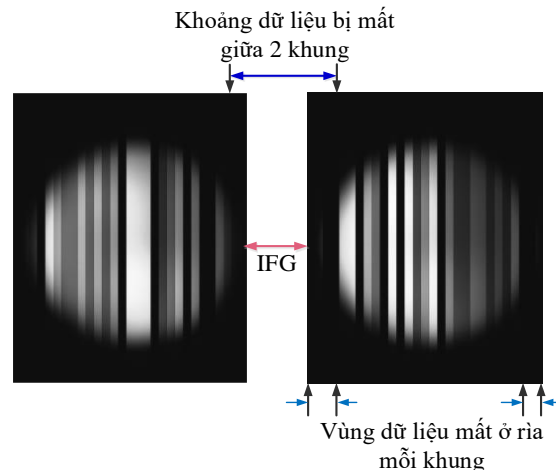
Giả sử rằng tốc độ khung hình không đổi. Kết quả là L_f chỉ phụ thuộc vào tốc độ dữ liệu. Đối với hệ thống OCC, thời gian phơi sáng của cảm biến hình ảnh được xem là tỷ lệ lấy mẫu. Mỗi lần phơi sáng là mỗi lần cảm biến thu được tín hiệu ánh sáng. Thời gian phơi sáng t_e được tính như trong (4), với n_r là số hàng pixel của IS.

$$t_e = F_r \times n_r \quad (4)$$

Để đáp ứng tần số lấy mẫu Nyquist, thời gian cho một bit dữ liệu phải lớn hơn thời gian phơi sáng của một hàng pixel ít nhất là hai lần. Hay nói cách khác, một bit sẽ được lấy mẫu bởi càng nhiều hàng pixel càng tốt. Kết quả là, tốc độ dữ liệu của OCC bị giới hạn bởi thời gian phơi sáng. Theo biểu thức (4) có thể thấy rằng, thời gian phơi sáng tỉ lệ thuận với độ phân giải cũng như tốc độ khung của IS. Sử dụng một máy ảnh chất lượng tốt sẽ nâng cao tốc độ của dữ liệu nhưng cần cân nhắc chi phí cho hệ thống.

3.4 Hiệu ứng chói (Blooming)

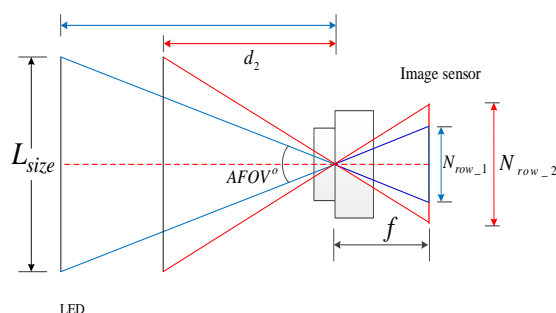
Với cảm biến CMOS sử dụng cơ chế màn trập, các hàng pixel không nhận ánh sáng đồng thời. Khoảng thời gian mà cảm biến hình ảnh nhận được ánh sáng phụ thuộc vào khoảng thời gian mở và đóng của cửa trập. Với cơ chế cuộn của cửa trập, các hàng pixel ở giữa khung có nhiều thời gian để nhận ánh sáng hơn so với các hàng pixel ở hai rìa của khung. Và do đó phần trung tâm của khung hình luôn thu được nhiều ánh sáng hơn, đồng nghĩa với biên độ tín hiệu nhận được cũng cao hơn các vùng khác. Nói cách khác, cường độ sáng nhận được không tuyến tính tại máy thu. Nó được gọi là hiệu ứng blooming (chói), do cơ chế màn trập gây ra. Hiệu ứng blooming được chỉ ra trong Hình 5.



Hình 5. Hiệu ứng blooming của cảm biến hình ảnh

Do hiệu ứng blooming, biên độ tín hiệu bị biến thiên đột ngột dẫn đến khó khăn trong quá trình xác định ngưỡng tín hiệu. Các đa thức hồi quy [2], thuật toán entropy [7], hoặc

thuật toán học máy [9] được áp dụng cho việc xác định ngưỡng trong hệ thống OCC. Trong Hình 5, tín hiệu tại cạnh của mỗi khung cũng được xem là lỗi vì các hàng pixel trong vùng này không nhận được ánh sáng. Vấn đề này trở nên nghiêm trọng ở khoảng cách xa hơn. Vì số lượng các hàng pixel nhận được ánh sáng phụ thuộc vào khoảng cách d giữa đèn và IS. Như được chỉ ra trong Hình 6, $AFOV^0$ là góc của vùng quan sát, L_{size} là kích thước của đèn LED và f là tiêu cự của máy ảnh.



Hình 6. Mối quan hệ giữa khoảng cách và vùng cảm biến nhận được ánh sáng

Có thể thấy rằng, với cùng một tiêu cự f , số lượng các hàng pixel trên cảm biến nhận được ánh sáng tỉ lệ nghịch với khoảng cách giữa đèn LED và IS. Các hàng pixel không nhận được ánh sáng nằm ở rìa mỗi khung. Dữ liệu bị mất tại vùng rìa cùng với dữ liệu bị mất do IFG gây ra sẽ làm cho khoảng dữ liệu bị mất giữa hai khung liên tiếp càng lớn. Chính điều này gây khó khăn cho việc khôi phục dữ liệu. Việc xác định ngưỡng dựa trên toàn bộ dữ liệu của khung sẽ dẫn đến lỗi vì cường độ của mỗi hàng pixel khác nhau rất nhiều. Để khắc phục vấn đề này, vùng quan tâm ROI (Region of Interest) được đề xuất để chọn vùng có biên độ tương đồng nhau (chủ yếu là vùng giữa của khung) trong một khung để khôi phục lại dữ liệu. Do đó, phương pháp này được kỳ vọng sẽ cải thiện hiệu suất hệ thống thông qua việc xác định ngưỡng chính xác. Tuy nhiên, phương pháp này đạt hiệu quả cao khi kết hợp với việc truyền dữ liệu lặp lại nhiều lần, mà chính điều này lại làm giảm hiệu suất tốc độ dữ liệu. Do đó, cần phải có sự cân nhắc giữa tốc độ dữ liệu và khoảng cách truyền.

3.5 Các thông số khác ảnh hưởng đến hiệu suất của OCC

Tăng cường độ ánh sáng có thể cải thiện khoảng cách truyền. Tuy nhiên, công suất đèn có giới hạn, và cường độ ánh sáng của đèn cũng phải được thiết kế để không ảnh hưởng đến mắt người và phù hợp với hệ thống chiếu sáng. Bên cạnh đó, vấn đề bão hòa (saturation) cần phải được xem xét cẩn thận khi cường độ ánh sáng của đèn cao hơn giá trị nhận được lớn nhất của một pixel. Hiện tượng này làm cho biên độ của mức tín hiệu cao nhất bão hòa, và biên độ tín hiệu của mức kế tiếp có thể tiến sát tới giá trị bão hòa. Do đó, hiện tượng bão hòa dễ xảy ra trong hệ thống điều chế biên độ nhiều mức. Nhìn chung, vấn đề bão hòa sẽ làm giảm hiệu suất hệ thống. Tốc độ màn trập, công suất nguồn sáng và khoảng cách truyền cần được xem xét cẩn thận để tránh các ảnh hưởng của hiện tượng bão hòa.

Trong hệ thống OCC, tốc độ khung hình cao có thể cải thiện tốc độ dữ liệu nhưng chi phí cho các loại cảm biến như vậy thường cao. Hơn nữa, tốc độ khung hình không ổn định và bị giới hạn, thường là 30 fps. Nguyên nhân được cho là do thời gian phơi sáng, thông số phần cứng hay phần mềm. Tốc độ khung hình thay đổi là một nguyên nhân của vấn đề đồng bộ hóa; dẫn đến việc không xác định được phân tín hiệu bị mất do IFG. Bên cạnh đó, nhiễu trong hệ thống OCC đến từ nguồn ánh sáng xung quanh. Nó làm thay đổi biên độ tín hiệu nhận được tại camera và là nguyên nhân gây ra lỗi. Đặc biệt là nhiễu nhấp nháy, nó sẽ làm sai lệch hoàn toàn tín hiệu truyền đi. Bên cạnh đó, hiện tượng nhòe và lệch do chuyển động của máy thu, góc giữa máy phát và máy thu, tác động của các chướng ngại vật khác là lý do gây ra lỗi trong hệ thống OCC.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Để đánh giá các thông số đã phân tích, bài báo này sẽ xây dựng một hệ thống OCC, sau đó đánh giá và phân tích các thông số ảnh hưởng đến hệ thống. Một bo mạch Arduino dùng để nhận và mã hóa tín hiệu sử dụng mã hóa Manchester, sau đó tín hiệu được đưa đến *LED driver* để chuyển tín hiệu

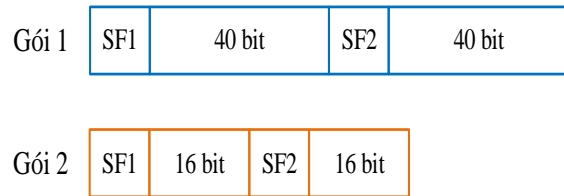
thành các mức điện áp. Cuối cùng, một đèn LED (công suất 15W) được sử dụng để phát ra mức sáng tương ứng với các mức điện áp tại ngõ vào. Tại phía thu, một máy tính được kết nối với camera (độ phân giải 640×480 , tốc độ khung 30 fps) để nhận tín hiệu ánh sáng. Phần mềm Matlab được sử dụng để xử lý và giải mã tín hiệu nhận được.

Để đánh giá được ảnh hưởng của các thông số phần cứng cũng như độ dài của gói tin, trong nghiên cứu này hai mức tốc độ dữ liệu 1.8 kbps và 3.6 kbps được thực nghiệm để so sánh và đánh giá. Dựa hai mức tốc độ trên có thể tính toán gần đúng số lượng các bit nhận được trong mỗi khung N_b , như được biểu diễn trong (5).

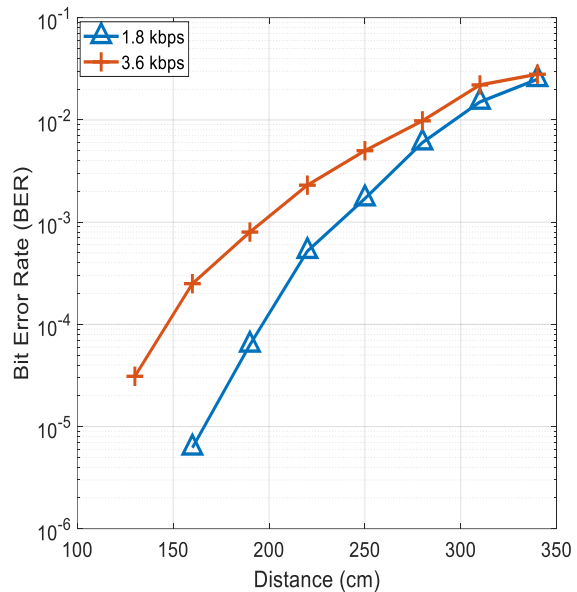
$$N_b = \frac{F_r \cdot N_r}{R_b} \quad (5)$$

Trong đó, N_r là số hàng pixel của cảm biến, R_b là tốc độ dữ liệu. Dựa vào số bit nhận được của mỗi khung N_b , bài báo đề xuất độ dài gói tin là 96 bit và 48 bit, tương ứng. Trong đó, 8 bit được sử dụng cho bit khởi đầu khung (SF- Start Frame Bit) cho mỗi gói con. Các bit còn lại là dữ liệu sau khi được mã hóa Manchester. Hơn nữa, dữ liệu được truyền lặp lại hai lần để có thể khôi phục lại dữ liệu mất tại IFG, như đã đề cập trong phần trước. Điều đó có nghĩa rằng, dữ liệu hữu ích được truyền đi trong mỗi gói sẽ là 20 bit và 8 bit. Hai gói tương ứng với các tốc độ khác nhau được chỉ ra trong Hình 6.

Một kết quả đo tỉ lệ lỗi bit BER (Bit Error Rate) được thể hiện như trong Hình 7. Có thể thấy được rằng, hệ thống OCC với tốc độ thấp hơn sẽ đạt được hiệu suất cao hơn, trong trường hợp này là khoảng cách truyền. Với tốc độ dữ liệu 1.8 kbps, BER bằng 0 ở khoảng cách 160 cm. Trong khi đó tại cùng một khoảng cách, BER là 2.5×10^{-4} với tốc độ dữ liệu 3.6 kbps. Sự chênh lệch về khoảng cách truyền là 50 cm tại BER bằng 10^{-4} . Theo như kết quả này, hệ thống đạt được tỉ lệ BER chấp nhận được ở khoảng cách 150 cm và 200 cm. Tuy nhiên, khoảng cách này có thể được cải thiện hơn nữa nếu một camera tốt hơn được sử dụng, hoặc tăng cường độ nguồn sáng.



Hình 6. Độ dài gói tin với tốc độ dữ liệu khác nhau



Hình 7. Hiệu suất của hệ thống với tốc độ dữ liệu khác nhau

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, các kết quả phân tích, đánh giá đã xác định được các yếu tố tác động đến hiệu suất của hệ thống OCC và đề xuất các phương pháp phù hợp để cải thiện hiệu suất của hệ thống. Có nhiều nguyên nhân tác động đến hiệu suất của hệ thống OCC. Các nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ phần cứng. Điều này là rõ ràng vì cảm biến hình ảnh không phải được tạo ra cho mục đích truyền tín hiệu. Tuy nhiên, các thông số của hệ thống OCC có mối liên hệ chặt chẽ với nhau. Do đó, có sự đánh đổi trong việc lựa chọn các thông số cho hiệu suất của hệ thống, tăng tốc độ dữ liệu sẽ làm giảm khoảng cách truyền và ngược lại. Kết quả thực nghiệm đã cho thấy rằng hệ thống với tốc độ dữ liệu 1.8 kbps đạt được khoảng cách truyền xa hơn 50 cm so với hệ thống có tốc độ 3.6 kbps. Việc sử dụng các cảm biến chất lượng hơn chắc chắn sẽ cải thiện đáng kể

hiệu suất của hệ thống, tuy nhiên cách này sẽ tăng chi phí hệ thống. Do đó, các cách tiếp cận hiện nay đối với hệ thống OCC là sử dụng các phương pháp mã hóa thích hợp để nâng cao hiệu suất của hệ thống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài khoa học công nghệ cấp cơ sở của Trường Đại học Quy Nhơn với mã số T2021.714.17

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] IEEE STANDARD ASSOCIATION, “802.15.7-2011 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks--Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light,” 2011.
- [2] C. Danakis, M. Afgani, G. Povey, I. Underwood, and H. Haas, “Using a CMOS camera sensor for visible light communication,” in *2012 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps 2012*, 2012, pp. 1244–1248.
- [3] Zhaocheng Wang; Qi Wang; Wei Huang; Zhengyuan Xu, "Optical Camera Communication: Modulation and System Design," *IEEE*, pp.291-35, 2018
- [4] D. T. Nguyen, S. Park, Y. Chae, and Y. Park, “VLC/OCC Hybrid Optical Wireless Systems for Versatile Indoor Applications,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 22371–22376, 2019.
- [5] R. D. Roberts, “Undersampled frequency shift ON-OFF keying (UFSOOK) for camera communications (CamCom),” in *Proceedings - 2013 Wireless and Optical Communications Conference, WOCC 2013*, 2013.
- [6] V. P. Rachim and W. Chung, "Multilevel Intensity-Modulation for Rolling Shutter-Based Optical Camera Communication," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 30, no. 10, pp. 903-906, May, 2018
- [7] K. Liang, C.-W. Chow, Y. Liu, and C.-H. Yeh, “Thresholding schemes for visible light communications with CMOS camera using entropy-based algorithms,” *Opt. Express*, 2016.
- [8] Chi-Wai Chow, Chung-Yen Chen, Shih-Hao Chen, Visible light communication using mobile-phone camera with data rate higher than frame rate, *Opt. Express*, vol. 23 (20) (2015).
- [9] Younus, Othman Isam et al. “The Utilization of Artificial Neural Network Equalizer in Optical Camera Communications.” *Sensors*, vol. 21,8 2826. 16 Apr. 2021

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

TS. Nguyễn Duy Thông
Trường Đại học Quy Nhơn
Email: nguyenduythong@qnu.edu.vn