



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0041848

(51)^{2022.01} H04B 10/116

(13) B

(21) 1-2024-00178

(22) 09/01/2024

(45) 25/11/2024 440

(43) 25/03/2024 432

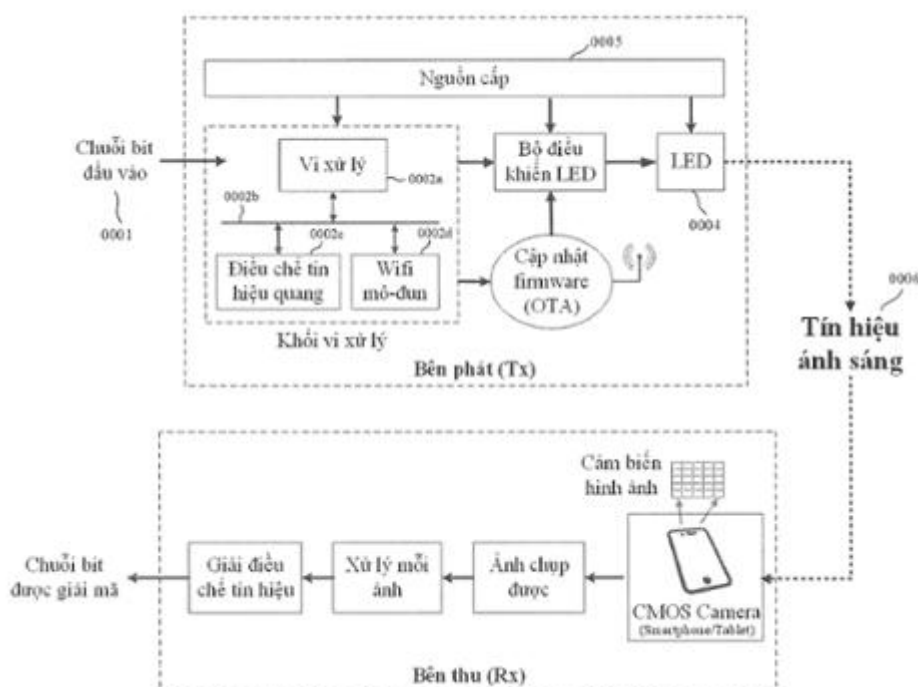
(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Nguyễn Hoàng Nam (VN); Phạm Nguyễn Thanh Loan (VN).

(54) HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG SỬ DỤNG ÁNH SÁNG KHẢ KIẾN GIỮA CỤM ĐÈN LED TRẦN VÀ THIẾT BỊ DI ĐỘNG

(57) Sáng chế đề cập đến hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến giữa cụm đèn LED và thiết bị di động, hệ thống sử dụng phương pháp điều chế và giải điều chế của ánh sáng khả kiến bằng cách điều khiển cụm đèn LED trần ở bên phát, tương ứng với mỗi đoạn dữ liệu đầu vào cần truyền đi ở bên phát (Tx), khối vi xử lý điều chế thành tín xung vuông, các xung này sẽ điều khiển hoạt động của một đèn LED trong cụm 04 đèn LED trần. Theo đó, 04 đèn sẽ truyền các đoạn dữ liệu bit khác nhau, sau đó được ghép lại cùng nhau theo một thứ tự được định trước, tạo thành một đoạn bit cần truyền có độ dài lớn hơn.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế thuộc lĩnh vực truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến, cụ thể là đề cập đến hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến giữa cụm đèn LED và thiết bị di động thông minh.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Gần đây, chúng ta đã chứng kiến sự phát triển chưa từng có trong công nghệ thiết bị không dây cùng với nhiều cải tiến mang tính đột phá về không dây. Những đổi mới này đã cải thiện đáng kể truyền thông không dây. Cùng với các dịch vụ di động, các thiết bị không dây hiện đại còn cung cấp nhiều dịch vụ đa phương tiện, chẳng hạn như truyền hình giao thức internet, hội nghị truyền hình, chơi game và mạng xã hội. Các dịch vụ này yêu cầu lượng băng thông cực lớn và phạm vi phủ sóng mạng khắp nơi để có được chức năng phù hợp. Và cho đến nay, công nghệ truyền thông không dây dựa trên tần số vô tuyến (RF) luôn thống trị trong các lĩnh vực sử dụng các công nghệ không dây. Tuy nhiên, sự phổ biến của các thiết bị di động thông minh gần đây đã đẩy mức sử dụng phổ RF đến giới hạn. Với cuộc khủng hoảng phổ tần số vô tuyến (RF) đang diễn ra trên diện rộng, một số kỹ thuật đã được áp dụng để cải thiện chẳng hạn như tổng hợp phổ, nhiều đầu vào-nhiều đầu ra (MIMO) và đa điểm phối hợp. Mặc dù đã áp dụng những kỹ thuật để tăng hiệu suất truyền tải nhưng với sự gia tăng nhanh chóng về dữ liệu được tạo ra và nhu cầu về dung lượng ngày càng tăng đã đẩy thông tin liên lạc không dây dựa trên tần số vô tuyến (Radio Frequency – RF) vốn bị tắc nghẽn hiện tại đến giới hạn của chúng. Ngoài ra, các nhà nghiên cứu đã chỉ ra hiệu suất quang phổ cũng như băng thông không tương xứng với nhu cầu lưu lượng truy cập ngày càng tăng và các yêu cầu trong miền RF. Do đó, việc mở rộng băng tần RF hướng sang tần số quang học (Optical Frequency) là giải pháp tốt nhất có thể.

Thập kỷ gần đây, truyền thông không dây quang học (OWC) đang nổi lên như một giải pháp thiết thực và hiệu quả về mặt chi phí cho các công nghệ không dây dựa trên tần số vô tuyến đang bị tắc nghẽn. Là một phần của OWC, công nghệ truyền thông ánh sáng không dây sử dụng camera (Optical Camera Communication – OCC) đã trở nên

rất hấp dẫn, xét đến những phát triển gần đây về camera và việc sử dụng camera được trang bị trong các thiết bị thông minh. Tận dụng cơ sở hạ tầng hiện có, hệ thống OCC sẽ có thể cung cấp phạm vi phủ sóng rộng khắp cả trong nhà và ngoài trời. OCC cùng với truyền thông ánh sáng khả kiến (VLC) được xem xét trong khuôn khổ tiêu chuẩn hóa IEEE 802.15.7m. OCC dựa trên cả nguồn sáng hữu cơ (Organic Light-Emitting Diodes - OLEDs) và vô cơ (Light Emitting Diodes - LEDs) cũng như máy ảnh đang được xem xét để truyền và xác định vị trí ở tốc độ thấp trong các ứng dụng trong nhà cũng như ngoài trời ở khoảng cách ngắn và trong khuôn khổ tiêu chuẩn hóa IEEE 802.15.7m cùng với VLC.

Giới thiệu chung về OCC

Hệ thống OCC (Optical Camera Communication – OCC) là một hệ thống truyền thông quang học sử dụng IS (Image sensor) trong camera để thu dữ liệu từ ánh sáng thay vì trực tiếp sử dụng PD (Photodiodes) và nó có thể được coi như một phần mở rộng của VLC trong tiêu chuẩn IEEE 802.15.7. IS trong camera là một ma trận gồm các PD trên một bảng mạch và kết hợp với ống kính, có thể được sử dụng để cung cấp hình ảnh cho một hệ thống đa đầu vào, nhiều đầu ra (MIMO). OCC sử dụng một hoặc nhiều máy ảnh đóng vai trò làm bộ thu, có thể được tìm thấy trong hầu hết các thiết bị như điện thoại thông minh, đồng hồ thông minh, máy tính cảm tay, máy tính bảng cũng như trên các phương tiện giao thông và các tòa nhà. Phần lớn các hệ thống VLC bị giới hạn trong việc sử dụng phổ ánh sáng khả kiến, thì OCC có thể sử dụng toàn bộ phổ ánh sáng từ dải ánh sáng khả kiến, NIR và UVC. Trong OCC, máy ảnh ghi lại hình ảnh của các nguồn sáng rồi điều chế và trích xuất thông tin bằng cách xử lý ảnh. Do đó, OCC có thể được sử dụng ở cả môi trường trong nhà và ngoài trời. Sự phát triển của công nghệ cảm biến CMOS đã tạo ra thế hệ máy ảnh tốc độ cao với độ phân giải pixel cao. Mặc dù hầu hết các máy ảnh có tốc độ khung hình từ 30–60fps, thì tiêu chuẩn của OCC có cả các máy ảnh tốc độ cao, hỗ trợ tốc độ lên tới hàng nghìn fps. OCC chủ yếu dựa vào đường vùng quan tâm (RoI) để thu nhận dữ liệu.

Cấu trúc hệ thống của OCC

Trong hệ thống OCC có 2 phần chính: bộ phát và bộ thu, thường bao gồm ba lớp chung. Chúng là lớp vật lý, lớp MAC và lớp ứng dụng. Trong tiêu chuẩn IEEE802.15.7, chỉ có 2 lớp (PHY và MAC) được xác định để đơn giản hóa cho phân loại.

Lớp MAC (Medium Access Control)

Các tác vụ được thực hiện bởi lớp MAC bao gồm:

- Hỗ trợ di động
- Hỗ trợ điều chỉnh độ sáng
- Hỗ trợ hiển thị
- Hỗ trợ bảo mật
- Các phương pháp giảm hiện tượng nhấp nháy
- Cung cấp một liên kết đáng tin cậy giữa các thực thể MAC ngang hàng.

Các mô hình mạng được hỗ trợ từ lớp MAC bao gồm point-to-point (điểm – điểm), broadcast (một điểm – nhiều điểm) và star (mạng hình sao). Với cấu trúc mạng điểm – điểm, mỗi liên kết chỉ có hai đối tác tham gia, các đường truyền riêng được thiết lập để xây dựng một mạng truyền thông. Với cấu trúc mạng một điểm – nhiều điểm, trong một mỗi liên kết có nhiều đối tác tham gia, tuy nhiên chỉ một đối tác cố định duy nhất có khả năng phát trong khi nhiều đối tác còn lại thu nhận thông tin cùng một lúc. Với cấu trúc mạng hình sao, đây là một cấu trúc mạng có một trạm trung tâm quan trọng hơn tất cả các nút khác, nút này sẽ điều khiển hoạt động truyền thông của toàn mạng. Có thể nói, đây là kết hợp giữa cấu trúc mạng điểm – điểm và một điểm – nhiều điểm.

Lớp Physical

Lớp vật lý (Physical layer) cung cấp các thông số vật lý của thiết bị và quan hệ giữa thiết bị và phương tiện truyền thông.

Đầu tiên, dữ liệu bit đầu vào được đưa qua kênh mã hóa (tùy chọn). Sau đó, quá trình điều chế (chẳng hạn như ON-OFF Keying, PPM và PWM) được thực hiện và dữ liệu được đưa vào đèn LED để truyền qua kênh quang (optical channel) [4].

Trong chuẩn IEEE 802.15.7, có ba loại lớp vật lý được cung cấp. Phạm vi hoạt động của lớp PHY I, PHY II, và PHY III lần lượt là 11.67-266.6 Kbps, 1.25-96 Mbps và 12-96 Mbps. Các hệ thống mã hóa kênh khác nhau, tốc độ quang và tốc độ dữ liệu được hỗ trợ bởi 802.15.7.

- Chế độ PHY I: dành cho việc truyền thông ngoài trời – phương tiện giao thông. Trong PHY I, sử dụng mã Reed Solan (RS) để mã hóa kênh truyền thông
- Chế độ PHY II: sử dụng truyền thông trong nhà. PHY II hỗ trợ mã Run Length Limited (RLL) để giảm tác động nhấp nháy và cân bằng DC.

- Chế độ PHY III: cũng được sử dụng trong môi trường trong nhà. Tương tự như PHY II, PHY III cũng hỗ trợ mã Run Length Limited (RLL).

Điều chế ánh sáng là một vấn đề quan trọng khác của lớp Physical OCC. Trong OCC, một số khía cạnh của ánh sáng chẳng hạn như cường độ sáng phải được chuyển đổi thành tín hiệu số để biểu diễn các bit. Không giống như các kiểu truyền thông khác, việc điều chế ánh sáng cần phải đạt được một tốc độ truyền dữ liệu cao mà không cản trở ánh sáng mà con người cảm nhận được. Một trong những yêu cầu quan trọng là khả năng làm mờ ánh sáng (dimming). Các bóng đèn từ nhiều khu vực được trang bị mạch điều chỉnh độ sáng để có thể kiểm soát độ sáng, mang lại ánh sáng đủ và thoải mái trong môi trường. Theo tiêu chuẩn IEEE 802.15.7, OCC vẫn phải có khả năng hoạt động với hiệu suất hợp lý, ngay cả khi sử dụng bóng đèn hỗ trợ tính năng làm mờ này. Yêu cầu thứ hai liên quan đến dao động của ánh sáng, còn được biết đến là hiện tượng nhấp nháy (flickering). Kỹ thuật điều chế ánh sáng mà áp dụng sẽ không được gây ra bất kỳ sự ảnh hưởng nào có thể được cảm nhận bởi thị giác con người. Tính đến nay, một số phương pháp điều chế và giải điều chế ánh sáng dùng trong OCC trên quốc tế có thể liệt kê như sau:

- On Off Keying (OOK): là một kỹ thuật điều chế đơn giản của Amplitude Shift Keying (ASK). Trong OOK, đèn LED được bật và tắt theo các bit trong chuỗi dữ liệu dựa vào cơ chế hoạt động màn nhấp lặn trong cảm biến ánh sáng để thực hiện. Ví dụ, bit "1" được biểu thị bởi trạng thái bật và bit "0" được biểu thị bởi trạng thái tắt. Trong OOK, đèn LED không được tắt hoàn toàn ở trạng thái tắt, nhưng mức độ cường độ sáng sẽ giảm đi. Lợi thế chính của việc sử dụng OOK là thiết kế và triển khai dễ dàng. Tuy nhiên, phương pháp điều chế OOK vẫn có một số nhược điểm liên quan đến hiện tượng nhấp nháy khi biểu diễn chuỗi dữ liệu dài nhiều bit "0", "1" và cũng sẽ giới hạn tốc độ truyền dữ liệu. Bằng cách kết hợp OOK với mã hóa Manchester, mỗi bit "0" và "1" được biểu diễn bằng một chuỗi các ký hiệu "01" và "10" tương ứng. Do đó, không thể có hơn hai ký hiệu trùng khớp liên tiếp, loại bỏ hiện tượng nhấp nháy của OOK. Hơn nữa, số lượng "0" và "1" là như nhau bất kể dữ liệu đã được mã hóa. Trong trường hợp đầu tiên, chuỗi dài bit "0" sẽ tạo ra sự nhấp nháy đáng chú ý nếu tần suất điều chế không đủ cao, trong khi trong trường hợp thứ hai, tỷ lệ ký hiệu được cân bằng hơn.

- Variable Pulse Position Modulation: một kỹ thuật khác được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống OCC và VLC. Phương pháp này sử dụng hai loại điều chế khác nhau: điều chế vị trí xung (PPM) và điều chế độ rộng xung (PWM). Trong điều chế vị trí xung, độ rộng và biên độ của xung không đổi. Tuy nhiên, giá trị số của tín hiệu được xác định bởi vị trí đặt xung, theo thời gian. Một trong những ưu điểm của PPM là sự dễ triển khai. Tuy nhiên, chỉ có một xung được phát ra cho mỗi ký hiệu, làm giảm tốc độ truyền dữ liệu. PWM hoạt động dựa trên chiều dài của tín hiệu, quyết định độ rộng theo thời gian. Trong PWM, độ dài của xung xác định giá trị của nó trong một khoảng thời gian nhất định. VPPM được giới thiệu đầu tiên trong tiêu chuẩn IEEE 802.15.7 [12] và sử dụng PPM để cung cấp liên lạc và PWM để hỗ trợ kiểm soát làm mờ.

- Spatial 2-Phase Shift Keying (S2-PSK): do Trường đại học Kookmin công bố từ năm 2016, có mặt trong chuẩn IEEE 802.15.7-2018. Phương pháp này điều chế bit 0 và bit 1 bằng việc thay đổi pha giữa 2 xung vuông điều khiển 2 đèn LED phát sáng ở tần số 200Hz và 1000Hz. S2-PSK cũng là một trong những phương pháp sử dụng kỹ thuật giảm mẫu (Undersampling) trong việc giải điều chế. Ví dụ, một camera 30 FPS có thể dùng để giải mã tín hiệu ánh sáng phát đi từ đèn LED có tần số 200Hz hoặc 1000Hz. Camera giải điều chế tín hiệu bằng việc so sánh trạng thái bật-tắt giữa 2 đèn LED chụp được trên cùng 1 ảnh. Phương pháp điều chế này có khả năng hỗ trợ các camera có tốc độ khung hình thay đổi, camera bị rung lắc trong quá trình chụp ảnh lấy mẫu. Tuy nhiên, S2-PSK yêu cầu phải sử dụng 2 đèn LED để điều chế tín hiệu ánh sáng.

Bộ phát (Tx)

Là một loại của OWC, OCC thường sử dụng tín hiệu ánh sáng nhấp nháy tần số cao từ các thiết bị chiếu sáng hàng ngày để truyền dữ liệu mà mắt thường không thể cảm nhận được. Hiện nay, các thiết bị chiếu sáng được sử dụng phổ biến nhất có đèn LED, đèn huỳnh quang và bóng đèn sợi đốt. Trên các thiết bị chiếu sáng khác nhau, cơ sở hạ tầng chiếu sáng dựa trên LED được triển khai rộng rãi do hiệu quả năng lượng cao, kích thước nhỏ và tuổi thọ dài. Ngoài ra, tốc độ cao của các đặc tính chuyển mạch BẬT / TẮT cũng làm cho đèn LED trở thành lựa chọn ưu tiên cho các máy phát trong các hệ thống OCC. Theo hướng này, các hệ thống OCC có thể truyền tín hiệu trực tiếp bằng cách sử dụng các nguồn sáng LED thương mại, giảm đáng kể chi phí thực hiện và lắp đặt.

Có thể thấy ánh sáng trắng phù hợp hơn với nhu cầu chiếu sáng hàng ngày, vì thế hệ thống OCC thường sử dụng đèn LED trắng làm bộ phát. Trên thực tế, ánh sáng trắng là một loại ánh sáng hỗn hợp được hình thành bởi sự pha trộn và chồng chất của một số màu ánh sáng.

Trong hệ thống OCC, thiết bị phát bao gồm bộ xử lý tín hiệu có nhiệm vụ mã hóa và điều chế tín hiệu cung cấp cho bộ điều khiển đèn LED nhằm thay đổi độ sáng của đèn LED phụ thuộc vào tín hiệu cần truyền. Để đảm bảo hoạt động cho đèn LED, cần một bộ biến áp giúp chuyển đổi điện áp xoay chiều AC từ nguồn điện dân dụng thành điện áp một chiều DC (bộ chuyển đổi AC-DC) và một bộ chuyển đổi từ điện áp DC đầu ra của bộ biến áp thành điện áp DC (bộ chuyển đổi DC-DC) phù hợp để cung cấp cho các loại đèn LED tương ứng. Hiện nay, trong các ứng dụng nhà thông minh (Smart Building), nguồn 48VDC đang được đưa vào sử dụng rộng rãi nhờ sự an toàn của chúng. Do vậy, các cấu trúc của bộ LED Driver hiện nay đang được phát triển nhanh chóng dựa trên các cấu trúc của các bộ chuyển đổi DC-DC. Các bộ chuyển đổi DC-DC này cần phải đảm bảo sự ổn định cho dòng điện chạy qua LED nhằm đảm bảo về cường độ ánh sáng, màu sắc cũng như tuổi thọ của các loại đèn LED.

Với hai nhiệm vụ chiếu sáng và truyền thông, khi thực hiện thiết kế các hệ thống OCC cần đảm bảo các yêu cầu như công suất, cường độ sáng, màu sắc của đèn LED nhằm đảm bảo nhiệm vụ chiếu sáng, đồng thời cần trang bị các công nghệ trên bộ LED Driver nhằm đáp ứng điều kiện thay đổi độ sáng của đèn LED đối với nhiệm vụ truyền thông tin. Với các khu vực khác nhau, các tiêu chuẩn về cường độ chiếu sáng cũng khác nhau, do vậy việc lựa chọn các loại đèn LED cần phù hợp với nhu cầu sử dụng.

Để đảm bảo việc chiếu sáng tại các địa điểm khác nhau, các tiêu chuẩn về độ rọi cần được tuân thủ. Trong đó công thức tính độ rọi được thể hiện trong phương trình sau:

$$\text{Độ rọi} = \frac{\text{công suất} \times \text{quang thông} \times \text{số lượng bóng đèn}}{\text{diện tích chiếu sáng}} \quad (\text{lux})$$

Với các tiêu chuẩn về độ rọi được thể hiện trong các ứng dụng OCC cần đảm bảo độ rọi trong khoảng từ 100 - 800 lux. Do vậy với các loại LED hiện nay có quang thông trong khoảng 80-90 lm/W, công suất LED trong các ứng dụng OCC phù hợp trong khoảng 5 - 100 W.

Bộ thu (Rx)

Khác với các hệ thống truyền thông quang dựa trên PD truyền thống làm bộ phát, hệ thống OCC sử dụng một camera thương mại dựa trên cảm biến hình ảnh như một bộ cảm biến để nhận dữ liệu, trong đó cấu trúc tiêu biểu của một camera bao gồm ống kính hình ảnh, cảm biến hình ảnh và mạch đọc. Trong đó, ống kính hình ảnh là một thiết bị quang học phức tạp và được sử dụng để tập trung hình ảnh của một đối tượng lên cảm biến hình ảnh. Cảm biến hình ảnh là một mảng hai chiều của các bộ phát hiện ánh sáng được sử dụng để nhận thông tin trong không gian và sau đó chuyển đổi từ tín hiệu quang sang tín hiệu điện. Do đó, cảm biến hình ảnh có khả năng phân loại nhiều nguồn sáng tách biệt không gian với độ phân giải cao.

Trong camera, cơ chế màn trập sẽ xác định độ phơi sáng của pixel trong IS. Có hai loại IS chính bao gồm kiến trúc là CCD và CMOS. Cảm biến CCD có kích thước vật lý lớn hơn do sử dụng bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC) tương đối lớn hơn so với CMOS IS. Do đó, CCD thường không được triển khai trong các điện thoại di động, đặc biệt là điện thoại thông minh.

So với CCD, máy ảnh CMOS cung cấp mức tiêu thụ điện năng thấp hơn, IS nhỏ hơn, khả năng đọc nhanh hơn, chi phí thấp hơn và khả năng lập trình cao hơn. Ngoài ra, do quét pixel dựa trên lược đồ địa chỉ X-Y trong kiến trúc CMOS, nên có thể truy cập trực tiếp vào phần IS mong muốn. Máy ảnh có thể có hai phương pháp phơi sáng khác nhau, tức là màn trập toàn cục (Global Shutter - GS) và màn trập lăn (Rolling Shutter - RS). Trong IS dựa trên màn trập toàn cục, toàn bộ cảm biến được tiếp xúc với ánh sáng cùng một lúc, trong khi ở máy ảnh dựa trên màn trập lăn, mỗi hàng được tiếp xúc với ánh sáng tại một thời điểm, do đó giảm đáng kể độ sáng.

Trong IS CCD dựa trên màn trập toàn cầu, thời gian chụp khung hình dài hơn đáng kể do để chuyển đổi điện tích thành tín hiệu điện áp. Do chế tạo ADC nhỏ gọn hơn nhiều cho mỗi pixel, cảm biến CMOS ngày nay được ưa chuộng hơn so với các cảm biến CCD tương đối lớn hơn. Hầu hết các cảm biến hình ảnh CMOS được nhúng trong điện thoại di động đều được vận hành bằng cách sử dụng cơ chế màn trập lăn. Điều này có nghĩa là mỗi hàng điểm ảnh trong cảm biến CMOS được kích hoạt tuần tự và nó không chụp toàn bộ hình ảnh cùng một lúc (màn trập toàn cục). Các hàng cảm biến được tiếp xúc với ánh sáng một cách lần lượt và có một khoảng thời gian trễ nhất định giữa hai hàng

liên tiếp để đọc và xử lý hàng trước đó. Mặc dù điều này có thể gây ra một hiện tượng méo ở các ảnh chụp các đối tượng chuyển động nhưng nó có lợi cho hệ thống OCC vì tốc độ dữ liệu có thể nhanh hơn nhiều so với tốc độ khung hình (FPS). Do đó một hình ảnh có thể thu được các dải tối, sáng tương ứng với các bit dữ liệu “0”, “1” nhiều hơn.

Mặc dù tốc độ dữ liệu được tăng lên, cơ chế Rolling Shutter của cảm biến CMOS vẫn có những nhược điểm khi ứng dụng chúng vào trong các hệ thống OCC. Ngoài nhược điểm xuất hiện hiện tượng méo đối tượng khi chụp ảnh, vấn đề máy ảnh bị “mù” trong khoảng cách thời gian xử lý khung hình (gap time).

Trong khoảng cách thời gian xử lý khung hình (gap time), cảm biến CMOS hoàn toàn “mù” mặc dù nó đang ở dưới ánh sáng và không thể bắt được tín hiệu. Việc mất dữ liệu sẽ xảy ra khi khoảng cách thời gian này kéo dài giữa các khung hình. Khoảng cách thời gian này sẽ khác nhau đối với từng loại máy ảnh điện thoại.

Một vấn đề khác gây ra khó khăn trong quá trình giải mã khi sử dụng cơ chế màn trập lăn là hiện tượng blooming. Xuất phát từ việc thời gian tiếp xúc với ánh sáng của các hàng cảm biến khác nhau sẽ làm năng lượng quang tích trữ trên các hàng cảm biến là khác nhau, khi có sự chuyển trạng thái từ bit “1” sang “0” (hoặc ngược lại) sẽ có những hàng cảm biến có tốc độ lăn trùng với thời gian chuyển trạng thái này. Do thời gian được tiếp xúc với ánh sáng của các hàng này nhỏ hơn so với dải sáng và lớn hơn so với dải tối nên các dải này sẽ làm thay đổi rộng của các dải sáng tối trong khung hình. Điều này sẽ đem đến khó khăn trong quá trình giải mã đồng thời làm giảm hiệu suất của các hệ thống OCC.

Trong phần này, tình trạng kỹ thuật của sáng chế trong những năm gần đây đã trình bày những thông tin cơ bản về hệ thống OCC cho thấy được những nhược điểm của hệ thống này so với sử dụng hệ thống sóng RF cũng như các giải pháp kỹ thuật điều chế và giải điều chế chưa được cải thiện. Những nghiên cứu đã đề xuất các kỹ thuật điều chế tín hiệu của bộ phát áp dụng được trong hệ thống OCC nhưng chưa đưa ra đánh giá và cải thiện về độ hiệu quả của gói bản tin truyền dữ liệu sau khi điều chế trong thực tế. Điều này rất quan trọng vì kỹ thuật điều chế còn phụ thuộc vào kỹ thuật giải điều chế do sử dụng camera trên thiết bị di động làm bộ thu. Trong khi đó, thiết bị phần cứng camera trên các thiết bị di động có những hạn chế nhất định đến từ nhà sản xuất trong quá trình chụp ảnh đèn LED nhấp và các thông số của camera ảnh hưởng như thế nào

lên việc giải mã bản tin chưa được phân tích cụ thể. Ngoài ra, thuật toán giải mã và phần mềm sử dụng cho bộ thu vẫn chưa được phát triển trên các thiết bị di động. Do đó, việc phát triển phần mềm trên một nền tảng cụ thể sẽ đánh giá được mức độ khả thi trong thực tế đối với hệ thống OCC, cải tiến việc đánh giá bằng các mô phỏng.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để giải quyết vấn đề kỹ thuật nêu trên, mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến giữa cụm đèn LED và thiết bị di động, hệ thống sử dụng phương pháp điều chế ánh sáng cùng với cấu trúc khung bản tin truyền trong bộ phát. Đối với bộ thu, phương pháp giải mã dữ liệu sau khi nhận được hình ảnh LED có những dải sáng/tối sẽ được đề xuất.

Theo một phương án của sáng chế, hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến giữa cụm đèn LED và thiết bị di động bao gồm:

cụm đèn LED gồm nhiều thiết bị chiếu sáng LED, mỗi thiết bị chiếu sáng LED gồm: nguồn cấp, bộ vi xử lý, bộ điều khiển LED và đèn LED;

thiết bị di động gồm các môđun được tạo cấu hình để thu hình ảnh từ các thiết bị chiếu sáng LED thông qua camera và thực hiện xử lý hình ảnh này;

trong đó, bộ vi xử lý của thiết bị chiếu sáng được tạo cấu hình để nhận tín hiệu đầu vào, thực hiện điều chế và mã hóa tín hiệu này cung cấp cho bộ điều khiển đèn LED nhằm thay đổi độ sáng của đèn LED phụ thuộc vào tín hiệu cần truyền bằng cách tạo ra xung được điều chế độ rộng (PWM) dựa trên chuỗi bit đã tạo ra trước đó, dữ liệu được mã hóa có cấu trúc gói dữ liệu gồm: phần mở đầu có 6 bit và phần dữ liệu cần truyền có n bit, kỹ thuật điều chế sử dụng theo hai trạng thái Bật – Tắt của đèn LED (phương pháp OOK);

thiết bị di động được tạo cấu hình để thu ảnh cụm đèn LED, chuyển ảnh cụm đèn LED thành ảnh xám, ảnh xám được chuyển sang ảnh nhị phân với phương pháp sử dụng ngưỡng trung bình

$$T_{\text{ngưỡng}} = \frac{\sum_{j=0}^N I_j}{N} \quad (1)$$

trong đó $T_{\text{ngưỡng}}$ là giá trị ngưỡng cần tìm, I_j là giá trị cường độ sáng của mỗi điểm ảnh, N là số điểm ảnh có cường độ sáng lớn hơn 10; áp dụng thuật toán tìm contour cho các ảnh nhị phân để phát hiện các sọc trắng, khi đã có những contour thì sẽ xác định được đường bao hình chữ nhật và tâm của mỗi contour, trích xuất tọa độ của vùng quan tâm (RoI, Region of Interest) của đèn LED, xác định chiều rộng của một sọc sáng nhỏ nhất ($N_{\text{pixel/bit}}$) và xác định tọa độ của vùng quan tâm (RoI) của đèn LED, với $N_{\text{pixel/bit}}$ tính như sau:

$$N_{\text{pixel/bit}} = \frac{h_{\text{max}}}{3} \quad (2)$$

trong đó: $N_{\text{pixel/bit}}$ là độ dày của 1 bit (lấy giá trị nguyên); h_{max} là chiều rộng có giá trị lớn nhất trong tất cả hình bao;

tọa độ tâm của mỗi contour sẽ được mô tả cụ thể như sau:

$$M_{ij} = \sum_i \sum_j x^i y^j I(x, y) \quad (3)$$

Từ (3), M_{00} được xác định:

$$M_{00} = \sum_i \sum_j I(x, y) \quad (4)$$

trong đó M_{00} là số các pixel khác 0.

cuối cùng, tọa độ tâm contour được xác định như sau:

$$\{\bar{x}, \bar{y}\} = \left\{ \frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right\} \quad (5)$$

xác định khoảng cách và góc lệnh giữa điểm đầu và điểm cuối của tọa độ đường RoI và tách ra thành những đường RoI độc lập với mỗi đèn theo các điều kiện đặt trước:

$$D = |y_{\text{Top}} - y_{\text{Bot}}| \quad (6)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{|x_{Bot} - x_{Top}|}{D} \quad (7)$$

Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha \leq 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top2} = x_{Bot2} = \frac{x_{Top} + x_{Bot}}{2}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha > 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top}; x_{Top2} = x_{Bot2} = x_{Bot}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

trong đó: D là khoảng cách giữa điểm đầu và điểm cuối của đường RoI ban đầu, α là góc lệch đường RoI so với phương thẳng đứng;

lọc và lấy mẫu những giá trị pixel đại diện cho mỗi sọc sáng/tối để đưa ra mảng dữ liệu các giá trị nhị phân “0” và “1”;

giải mã mảng dữ liệu cuối cùng bằng cách kiểm tra từng bộ 6 bit liên tiếp trong mảng dựa vào phần mở đầu 6 bit, nếu tìm thấy kết quả khớp hoàn chỉnh, n – bit dữ liệu (bộ dữ liệu) phía sau sẽ được truy xuất thành công, trong đó, để có được bộ dữ liệu bit cuối cùng, áp dụng tìm phần tử trội của các bộ dữ liệu trong mảng sao cho bộ dữ liệu (payload) nào xuất hiện nhiều nhất trong 10 gói tin sẽ là kết quả cuối cùng.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là hình minh họa hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng phương pháp điều chế On-Off Keying (OOK) kết hợp mã Manchester và camera để chụp ảnh liên tục cho thực hiện giải điều chế.

Hình 2 là cấu trúc của một bản tin theo phương pháp OOK và mã Manchester bao gồm hai phần: các bit mở đầu và dữ liệu (payload).

Hình 3 là sơ đồ điều chế phân phát (Tx).

Hình 4 là sơ đồ quy trình giải điều chế tín hiệu ánh sáng tại bên thu (Tx) áp dụng các kỹ thuật xử lý ảnh để xác định vùng sáng LED cho giải mã dữ liệu.

Hình 5 là sơ đồ xác định dữ liệu đầu ra sau mỗi 10 ảnh liên tục bằng phương pháp tìm dữ liệu trội.

Hình 6a là hình ảnh thiết kế cho bộ đèn LED downlight trong thí nghiệm và Hình 6b là hình ảnh đèn LED panel được chụp lại trong quá trình giải điều chế.

Hình 7a là sơ đồ chứa đường cong ngưỡng được trực quan hóa cho quá trình chuyển các giá trị điểm ảnh trong ảnh xám nằm trên đường RoI thành các giá trị nhị phân ‘1’ và ‘0’ đại diện cho vân sáng/tối. Hình 7b là sơ đồ biểu diễn các giá trị ‘1’ và ‘0’ sau khi áp dụng đường cong ngưỡng.

Hình 8 là độ tương phản giữa các dải sáng và dải tối được chụp lại khi trạng thái của cảm biến phụ thuộc vào thời gian phơi sáng (hay tốc độ màn trập) và $\frac{1}{f_{LED}}$.

Hình 9 là hình vẽ là các biểu đồ thể hiện tỉ lệ lỗi bit trong đó: các kịch bản a), b) và c) có 2 đèn LED truyền dữ liệu với các góc khác nhau giữa trục nối tâm của 2 đèn và camera, kịch bản d) là có 3 đèn LED truyền dữ liệu và kịch bản e) có một đèn LED chiếu sáng nhưng không truyền dữ liệu gây nhiễu.

Mô tả chi tiết sáng chế

Hệ thống OCC được thiết kế hướng đến cho ứng dụng định vị trong nhà tận dụng các thiết bị chiếu sáng bằng đèn LEDs có sẵn để truyền dữ liệu sau khi điều chế. Một hệ thống OCC sử dụng phương pháp giải điều chế/giải điều chế OOK được thiết kế cả phần cứng và phần mềm tương ứng cho bộ phát và bộ thu.

Sáng chế đề xuất kỹ thuật điều chế theo phương pháp OOK (On Off Keying) sử dụng hai trạng thái Bật – Tắt của đèn LED. Lợi thế và nhược điểm của phương pháp này đã được trình bày trong phần trước đó. Điểm khác biệt trong sáng chế là việc mã hóa dữ liệu để có một cấu trúc gói dữ liệu tối ưu nhất trong việc truyền nhận dữ liệu. Về cơ bản, cấu trúc gói dữ liệu được mã hóa với cấu trúc thể hiện như trong Hình 2. Trong đó một gói tin bao gồm: phần mở đầu (Preamble) và phần dữ liệu cần truyền (Payload).

Với các phương pháp giải mã khác nhau, nội dung và số lượng các bit tín hiệu trong một gói dữ liệu sẽ được quy định một cách phù hợp đối với phương pháp giải mã tương ứng, nhưng nguyên tắc cơ bản của các gói dữ liệu này sẽ được truyền và lặp lại với một số lượng phù hợp để tránh trường hợp mất dữ liệu. Chiều dài của một gói tin được giới hạn để mỗi hình ảnh của đèn LED phải bắt được đầy đủ ít nhất một gói tin. Mỗi gói dữ liệu sẽ cố định số bit cần truyền với 6 – bit preamble (luôn cố định) và n – bit data (sử dụng Manchester coding).

Có hai lý do chính để mã hóa gói tin luôn cố định 6 bit mở đầu (preamble) gồm: tần số và khoảng cách. Trong điều chế OOK cho hệ thống OCC, ở các khoảng cách khác nhau giữa đèn LED và camera thì kích thước của đèn LED trong hình ảnh sẽ thay đổi dẫn đến hiệu suất điều chế cũng bị ảnh hưởng.

Ngoài ra, tần số nháy của đèn LED cần tối thiểu 200Hz, trong khi đó thực nghiệm đã chỉ ra rằng cần sử dụng tần số tối thiểu 800Hz để có đủ ít nhất một gói tin trong hình ảnh LED với khoảng cách 50cm. Điều này cho thấy rằng số bit “0” liên tiếp tối đa không được vượt quá 3 bit. Hơn nữa, việc lựa chọn chiều dài của bit mở đầu gồm 6 bit là theo tiêu chuẩn IEEE 802.15.7 – 2018 về trường mở đầu cho các lớp PHY I, PHY II, PHY III. Đối với giải điều chế toàn bộ gói tin, khoảng cách từ camera đến bộ LED phải đủ gần. Khoảng cách tối đa đạt được là khoảng cách mà camera nhận được lượng dữ liệu bằng với lượng của gói tin trong một hình ảnh. Khi đó, camera chụp hình ảnh LED liên tục và áp dụng thuật toán xử lý ảnh sẽ phát hiện 6 bit mở đầu, sau đó giải điều chế lượng dữ liệu đủ cho một tin.

Thiết kế bộ phát (Tx)

Thông số kỹ thuật và sơ đồ phần cứng

- Vi điều khiển ESP32-WROVER

Module ESP32-WROVER là một vi điều khiển mã nguồn mở tích hợp chip ESP32-D0WDQ6 của Espressif Systems, được sử dụng trong các ứng dụng WiFi và

Bluetooth Low Energy. Có hai lý do chính để lựa chọn sử dụng vi điều khiển này. Đầu tiên, nó là một trong những vi điều khiển phổ biến và được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực nghiên cứu tại Việt Nam. Thứ hai, việc lập trình cho chip này rất dễ dàng nhờ vào sự hỗ trợ của IDE và bộ thư viện đa dạng.

Phương thức truyền dữ liệu ở bộ phát

Sơ đồ truyền dữ liệu của đèn LED được mô tả chi tiết trong Hình 3. Ban đầu, một chuỗi 2 bit hoặc 4 bit cần truyền sẽ được tạo ra. Sau khi áp dụng kỹ thuật mã hóa Manchester, độ dài của chuỗi sẽ tăng gấp đôi lên 4 bit (ứng với 2 bit gốc) hoặc 8 bit (ứng với 4 bit gốc). Trước khi truyền tín hiệu, thêm cố định 6 bit phân mở đầu (preamble) vào chuỗi để thu được chuỗi hoàn chỉnh có độ dài 10 bit hoặc 14 bit.

Bộ điều khiển đèn LED bằng cách tạo ra xung PWM dựa trên chuỗi bit đã được tạo ra trước đó. Tần số của xung này có thể điều chỉnh được thông qua ngắt bộ định thời/bộ đếm. Đèn LED sẽ phát tín hiệu theo chuỗi bit đã được lập trình trước đó. Tần số của đèn LED được chọn tối thiểu là 800Hz đối với cấu trúc gói tin này để tránh khi đèn LED nhấp nháy không tác động đến thị giác của người dùng.

Thiết kế bộ thu (Rx)

Trong hệ thống OCC này, sáng chế đã phát triển một phần mềm trên thiết bị di động cho phần thu và được xây dựng trên nền tảng Android Studio. Ngôn ngữ sử dụng trong việc xây dựng một phần mềm trên thiết bị di động: Python và Kotlin. Ngoài ra, phần mềm còn sử dụng các thư viện hỗ trợ sau: OpenCV, Numpy, Scipy và Math.

Một vài thiết lập trong ứng dụng này điều chỉnh tốc độ lặn (exposure time) thấp nhất để cho đèn LED được tách riêng với vùng sáng khác, giảm nhiễu trong quá trình giải mã.

Luồng xử lý dữ liệu bên thiết bị thu

Với các hình ảnh thu được từ camera tích hợp cảm biến CMOS, nhiệm vụ chính của phần mềm sẽ tập trung vào quá trình giải mã gói tin được đại diện bởi các sọc sáng, tối và được thực hiện bởi các kỹ thuật xử lý ảnh. Sơ đồ khối quá trình xử lý mỗi hình ảnh nhận được từ camera điện thoại thể hiện trong Hình 4. Theo hình vẽ, để ra dữ liệu cần giải mã, sáng chế cần trải qua các bước xử lý cho từng hình ảnh LED.

Đầu tiên, hình ảnh gốc được chụp bởi cảm biến hình ảnh CMOS sẽ được chuyển thành ảnh xám. Sau đó, ảnh xám được chuyển sang ảnh nhị phân với phương pháp sử dụng ngưỡng trung bình

$$T_{\text{ngưỡng}} = \frac{\sum_{j=0}^N I_j}{N} \quad (1)$$

trong đó $T_{\text{ngưỡng}}$ là giá trị ngưỡng cần tìm, I_j là giá trị cường độ sáng của mỗi điểm ảnh, N là số điểm ảnh có cường độ sáng lớn hơn 10. Những điểm pixel của ảnh xám có giá trị lớn hơn giá trị ngưỡng sẽ mang giá trị 255 đại diện cho mức độ sáng hoàn toàn, nhỏ hơn sẽ mang giá 0 đại diện cho mức độ tối hoàn toàn. Từ hình ảnh nhị phân, áp dụng phương pháp tìm contours để phát hiện các đối tượng là sọc trắng. Contour được hiểu đơn giản là một đường cong liên kết toàn bộ các điểm liên tục (dọc theo đường biên) mà có cùng màu sắc hoặc giá trị cường độ. Contour rất hữu ích trong phân tích hình dạng, phát hiện vật thể và nhận diện vật thể. Khi đã có những contours thì sẽ xác định được đường bao hình chữ nhật và tâm của mỗi contour. Việc vẽ hình chữ nhật bao quanh một contour để tạo ra một khung hình chính xác và hiệu quả để bao quanh đối tượng trong hình ảnh. Từ đó, cung cấp thông tin về tọa độ của cạnh trên và cạnh dưới hình chữ nhật. Hai giá trị này sẽ có hai nhiệm vụ chính: xác định chiều rộng của một sọc sáng nhỏ nhất (Npixel/bit) và xác định vùng quan tâm (RoI) của đèn LED. Chiều rộng của một sọc sáng được tính toán với đơn vị là pixel. Đây là một giá trị then chốt trong việc giải mã dữ liệu trên mỗi hình ảnh thu được khi sử dụng phương pháp giải mã này vì các sọc sáng chính là đối tượng đại diện cho bit logic 1. Trên thực tế, giá trị Npixel/bit trên mỗi điện thoại thông minh khác nhau sẽ có thể khác nhau vì nó phụ thuộc tốc độ lăn (shutter rate hoặc read-out time) của camera. Vì vậy, việc xác định phương pháp roi để tính toán Npixel/bit tương thích trên tất cả các phiên bản ROM của các thiết bị di động cũng là một thách thức. Trong tình trạng kỹ thuật đã đề xuất phương pháp tính toán Npixel/bit bằng cách đo vị trí tọa độ điểm đầu, điểm cuối của RoI và đếm số sọc sáng/tối trên đường RoI đi qua. Từ đó sẽ có độ dài đường RoI và số sọc. Công thức tính như sau:

$$N_{\text{pixel/bit}} = \frac{d_{\text{stripes}}}{n_{\text{stripes}}} \quad (2)$$

trong đó d_{stripes} là số độ dài đường RoI, n_{stripes} là số sọc sáng/tối trên đường RoI. Phương pháp trên cho thấy rằng cần phải tìm ra một giải pháp khác có thể tính $N_{\text{pixel/bit}}$ một cách tự động để phù hợp với tính di động và tương thích trên các thiết bị khác nhau. Với cấu trúc khung bản tin được sử dụng trong sáng chế, sọc sáng có chiều rộng lớn

nhất sẽ mang 3 bit logic 1. Trong khi đó, tọa độ của cạnh trên và cạnh dưới hình chữ nhật bao quanh sọc sáng đã biết. Do đó, sáng chế đề xuất một công thức tính $N_{\text{pixel/bit}}$ như sau:

$$N_{\text{pixel/bit}} = \frac{h_{\text{max}}}{3} \quad (3)$$

trong đó: $N_{\text{pixel/bit}}$ là độ dày của 1 bit (lấy giá trị nguyên); h_{max} là chiều rộng có giá trị lớn nhất trong tất cả hình bao.

Hơn nữa, tọa độ tâm mỗi contour cũng đóng vai trò quan trọng vì kết hợp cùng với tọa độ cạnh trên, cạnh dưới của hình chữ nhật để xác định những vùng quan tâm (RoI) trên một hình ảnh cần xử lý. Việc tìm tọa độ tâm mỗi contour sẽ được mô tả cụ thể như sau:

$$M_{ij} = \sum_i \sum_j x^i y^j I(x, y) \quad (4)$$

Từ (4), M_{00} được xác định:

$$M_{00} = \sum_i \sum_j I(x, y) \quad (5)$$

trong đó M_{00} là số các pixel khác 0.

Cuối cùng, tọa độ tâm contour được xác định như sau:

$$\{\bar{x}, \bar{y}\} = \left\{ \frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right\} \quad (6)$$

Với hình ảnh là nguồn sáng của đèn LED, xác định vùng quan tâm là một đường thẳng đi qua vùng có độ sáng lớn nhất thỏa mãn điều kiện cho phép. Do đó, hai giá trị quan trọng để xác định đường RoI là tọa độ điểm đầu và điểm cuối của đường RoI.

Sau khi có hai giá trị tọa độ điểm đầu và điểm cuối đường RoI, có thể thấy kết quả đường RoI trong các trường hợp khác nhau. Trong quá trình xử lý ảnh với một cụm đèn LED từ hai đèn trở lên, có khó khăn với việc xử lý nhiều đèn độc lập cùng một lúc nghĩa là cần xác định các đường RoI độc lập với từng đèn. Một vài trường hợp có một đường RoI sẽ đi qua hai vùng sáng. Nguyên nhân xảy ra hiện tượng này là điểm đầu và điểm cuối của đường RoI nằm trên 2 nguồn sáng khác nhau. Để giải quyết vấn đề này, sáng

chế đề xuất bước đo khoảng cách và góc lệch giữa điểm đầu và điểm cuối của tọa độ đường RoI. Từ đó, đặt ra một vài điều kiện để tách ra thành những đường RoI độc lập với mỗi đèn.

$$D = |y_{Top} - y_{Bot}| \quad (7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{|x_{Bot} - x_{Top}|}{D} \quad (8)$$

❖ Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha \leq 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top2} = x_{Bot2} = \frac{x_{Top} + x_{Bot}}{2}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

❖ Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha > 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top}; x_{Top2} = x_{Bot2} = x_{Bot}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

trong đó: D là khoảng cách giữa điểm đầu và điểm cuối của đường RoI ban đầu, α là góc lệch đường RoI so với phương thẳng đứng.

Khi có được tọa độ đường RoI, nó sẽ cho biết toàn bộ giá trị của mỗi pixel mà đường RoI đi qua trên ảnh xám. Do đó, ta sẽ thu được một mảng giá trị pixel phục vụ cho việc giải mã. Sau đó, lọc và lấy mẫu những giá trị pixel đại diện cho mỗi sọc sáng/tối để đưa ra mảng dữ liệu “0” và “1” đạt độ chính xác cao nhất. Quá trình để có mảng nhị phân sẽ cần có một sơ ngưỡng ngưỡng là the third – order polynomial curve fitting. Giả sử mỗi phần tử trong mảng giá trị pixel thang độ xám trên đường RoI là (x_i, y_i) , trong đó x_i là chỉ số của giá trị pixel trong mảng, y_i là giá trị thang độ xám của pixel đó, $i = 1, 2, \dots, n$ (n là chiều dài của mảng pixel). Sau đó, đường cong phù hợp đa thức bậc ba $f(x_i)$ được thể hiện trong biểu thức:

$$f(x_i; a_0; a_1; a_2; a_3) = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 \quad (9)$$

Khi đó độ lệch bình phương được hiển thị trong biểu thức:

$$[y_i - f(x_i)]^2 \quad (10)$$

Và tổng độ lệch bình phương E có thể được biểu diễn trong biểu thức (11):

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3)]^2 \quad (11)$$

Bằng cách đặt $\frac{\partial E}{\partial a_0}, \frac{\partial E}{\partial a_1}, \frac{\partial E}{\partial a_2}, \frac{\partial E}{\partial a_3} = 0$, có thể thu được bốn phương trình đồng thời; do đó chúng ta có thể giải các phương trình này và thu được các giá trị của $a_0; a_1; a_2; a_3$ trong Eq1. Hình 7a là sơ đồ chứa đường cong ngưỡng được trực quan hóa cho quá trình chuyển các giá trị điểm ảnh trong ảnh xám nằm trên đường RoI thành các giá trị nhị phân '1' và '0' đại diện cho vân sáng/tối. Hình 7b là sơ đồ biểu diễn các giá trị '1' và '0' sau khi áp dụng đường cong ngưỡng. Đường cong đa thức bậc ba có thể được xây dựng như trong Hình 7a. Đường cong này sẽ là ngưỡng. Tại mỗi vị trí pixel, nếu giá trị thang độ xám trên đường cong đa thức bậc ba (ngưỡng), logic 1 được ghi lại; nếu giá trị thang độ xám bên dưới đường cong, logic 0 được ghi lại.

Sau khi áp dụng khớp đường cong, chúng ta thu được một mảng các giá trị nhị phân. Mảng này sẽ chứa dữ liệu được gửi từ bộ phát, bao gồm phần mở đầu 6 bit và dữ liệu $n - 6$ bit (4 hoặc 8 bit), như trong Hình 7b. Nhiệm vụ giải mã cuối cùng bao gồm việc kiểm tra từng bộ 6 bit liên tiếp trong mảng dựa vào phần mở đầu 6 bit. Nếu tìm thấy kết quả khớp hoàn chỉnh, $n - 6$ bit dữ liệu (bộ dữ liệu) phía sau sẽ được truy xuất thành công. Quá trình kiểm tra và truy xuất dữ liệu sẽ thu được các bộ dữ liệu của mỗi gói tin trong một hình ảnh. Để có được bộ dữ liệu bit cuối cùng, sáng chế áp dụng tìm phân tử trội của các bộ dữ liệu trong mảng sao cho bộ dữ liệu (payload) nào xuất hiện nhiều nhất trong 10 gói tin sẽ là kết quả cuối cùng.

Thực nghiệm các nhân tố ảnh hưởng đến hệ thống OCC

- Tốc độ khung hình (Frame rate)

Tốc độ khung hình là số lượng hình ảnh (khung hình) xuất hiện trong một giây được phát lại, đơn vị là thường sử dụng là “khung hình mỗi giây” (frames per second, fps). Hầu hết các camera thiết bị di động thông minh hiện nay thông thường có tốc độ khung hình 24 fps, 30fps, 60fps. Với tốc độ khung ảnh như vậy đủ để cho người dùng không cảm thấy bị giật cục khi ghi lại các hiệu ứng chuyển động. Tốc độ khung hình cũng phụ thuộc một phần vào tốc độ lưu trữ và bộ xử lý của điện thoại.

Tốc độ khung hình của camera đóng một vai trò quan trọng trong Optical Camera Communication (OCC), vì nó có ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền dữ liệu trong hệ thống OCC:

$$R_{bps} = R_{fps} \times N_{bpf} \quad (12)$$

trong đó R_{bps} là tốc độ bit (bit/giây), R_{fps} là tốc độ khung hình của camera, N_{bpf} là số bit trên mỗi khung hình. Tốc độ khung hình camera thực tế có thể được tính bằng cách đo khoảng thời gian giữa hai hình ảnh được chụp liên tiếp.

Trong quá trình đo, tốc độ khung hình ở bộ thu có thể bị sụt giảm trong quá trình xử lý. Ví dụ, ban đầu, camera có thể hoạt động ở tốc độ khung hình 30 fps, có nghĩa là nó ghi lại 30 khung hình trong một giây mà chưa áp dụng bất kỳ xử lý hình ảnh nào. Tuy nhiên, khi thực hiện các nhiệm vụ xử lý phức tạp như phát hiện và giải điều chế dữ liệu, tốc độ khung hình có thể giảm xuống, chẳng hạn như còn 19 fps.

- Tốc độ lăn (Shutter rate)

Trong camera điện thoại di động, tốc độ lăn là thông số rất quan trọng và nó được biểu diễn bằng giá trị Read – out time như phần trên đã trình bày. Giá trị Read – out time để tính số pixel tương ứng với một bit trong kỹ thuật truyền dữ liệu trong đề tài này. Thông số Read – out time không được cung cấp trong bất kỳ sản phẩm thương mại nào, do đó sáng chế đề xuất một công thức tính sau:

$$N_{pixel/bit} = \frac{T_{clock}}{T_{rolling}} \quad (13)$$

trong đó: $N_{pixel/bit}$: là độ dày của 1 bit, T_{clock} là chu kỳ phát, $T_{rolling}$ là chu kỳ đọc của cảm biến.

- Tần số nháy đèn LED

Khi tốc độ lẫn càng nhỏ, độ tương phản giữa các dải sáng và dải tối là rõ ràng hơn, đồng nghĩa các dải chuyển giao có độ rộng càng nhỏ. Để làm rõ hơn vấn đề này, hình 8 thể hiện trạng thái của các cảm biến trong các trường hợp tốc độ lẫn khác nhau.

Hình 8 **Error! Reference source not found.** minh họa trạng thái của các cảm biến trong trường hợp tốc độ lẫn nhỏ hơn $\frac{1}{f_{LED}}$

(trong đó f_{LED} là tần số nháy của đèn LED), sự tương phản của các dải sáng, tối là rõ ràng nhất do khi này trong khoảng thời gian phơi sáng của mỗi hàng khi xảy ra tối đa một lần chuyển trạng thái bật – tắt đèn LED. Khi tốc độ lẫn bằng $\frac{1}{f_{LED}}$ thì gần như không có sự tương phản giữa các dải sáng, tối do thời gian tiếp xúc với ánh sáng của các hàng cảm biến gần như là giống nhau (như ở hình 8b). Trong trường hợp tốc độ lẫn lớn hơn $\frac{1}{f_{LED}}$ sự tương phản giữa các dải sáng – tối – chuyển giao không rõ ràng (như ở hình 8c) do thời gian tiếp xúc ánh sáng của các hàng cảm biến không có sự chênh lệch nhiều. Để đảm bảo tương phản rõ ràng giữa các dải sáng tối thì tốc độ lẫn của mỗi hàng cần đảm bảo nhỏ hơn $\frac{1}{2f_{LED}}$, vì khi này sẽ có nhiều hàng cảm biến được phơi sáng chỉ trong một trạng thái duy nhất của đèn LED. Do vậy giúp quá trình giải mã dễ dàng hơn, tốc độ lẫn của một hàng cảm biến phải nhỏ hơn $\frac{1}{2f_{LED}}$ hay

$$f_{LED} < \frac{1}{2 \times \text{tốc độ lẫn}} \quad (14)$$

Bên cạnh đó, đối với các loại máy ảnh khác nhau sẽ có các giới hạn về tốc độ màn trập, từ công thức (14) để tăng giới hạn về tốc độ nháy của đèn LED ta phải giảm tốc độ màn trập, nhưng ngoài việc giới hạn của tốc độ màn trập phụ thuộc vào giới hạn bởi thông số kỹ thuật của máy ảnh thì việc giảm tốc độ màn trập sẽ làm cho hình ảnh thu được bị tối do shutter speed của các hàng bị giảm và làm năng lượng quang được tích trữ trên các cảm biến sẽ giảm và gây khó khăn trong quá trình giải mã.

Ngoài việc thực hiện quá trình truyền tin, các đèn LED của hệ thống OCC cũng sẽ đóng vai trò trong quá trình chiếu sáng bởi vậy việc các đèn LED nhấp nháy sẽ làm ảnh

hướng đến mắt người và có thể gây ra một số tình trạng như chóng mặt, đau đầu,... Theo nghiên cứu, mắt người có thể nhận biết được sự nháy của LED khi tần số nháy nhỏ hơn 200Hz do vậy để đảm bảo an toàn cho con người thì tần số nháy của LED phải lớn hơn 200Hz. Dải tần số nháy của đèn LED được thể hiện trong (15):

$$200Hz < f_{LED} < \frac{1}{2 \times shutter\ speed} \quad (15)$$

Ví dụ thực hiện sáng chế

Thiết lập hệ thống thực nghiệm

Sáng chế đề xuất thực nghiệm hệ thống tại khu vực phòng thí nghiệm với bộ phát là cụm đèn LED downlight và đèn LED panel, trong khi bộ thu sử dụng điện thoại thông minh (Google Pixel 4). Đầu tiên, các đèn LED song song trong cụm đèn LED cần được thiết kế có khoảng cách phù hợp để đạt được tỉ lệ chính xác cao nhất khi truyền tải với khoảng cách trần từ 300cm đến 400cm. Để giải quyết vấn đề này, giải pháp trong sáng chế tiến hành thí nghiệm trong đó Tx là cụm 2 đèn LED downlight song song và Rx là một webcam kết nối với phần mềm giải mã dữ liệu được lập trình trong môi trường LabVIEW. Kết quả cho thấy để đạt được tỉ lệ chính xác cao nhất khi truyền tải hai đèn LED song song thì khoảng cách tâm của hai đèn LED là từ 35cm đến 50cm.

Kết quả đã đạt được là rất quan trọng trong việc thiết kế cụm đèn LED cho ứng dụng định vị trong nhà. Dựa vào kết quả này, giải pháp theo sáng chế thiết kế các cụm đèn LED có từ 2 đèn LED trở lên mà khoảng cách giữa các tâm đèn có khoảng cách cố định 35cm phục vụ cho chiếu sáng cùng với truyền tải dữ liệu. Tiến hành kiểm tra tỉ lệ bit lỗi trong truyền nhận dữ liệu ở từng khoảng cách giữa cụm đèn LED hoặc LED panel và điện thoại thông minh trong khoảng 100cm đến 200cm. Ngoài ra, như đã phân tích ở các phần trước đó, tần số nháy của đèn LED và khoảng cách truyền nhận sẽ ảnh hưởng đến chất lượng truyền nhận gây ra tỉ lệ lỗi. Do đó, việc thí nghiệm với các tần số phát của đèn LED khác nhau sẽ rất cần thiết để xác định tần số tối ưu nhất cho việc truyền nhận dữ liệu trong hệ thống này.

Kết quả thực nghiệm

Đầu tiên, tiến hành đo tỉ lệ bit khi chỉ có một đèn LED truyền dữ liệu với hai kịch bản như sau: kịch bản 1 sẽ có 1 nguồn sáng LED đóng vai trò là nguồn truyền dữ liệu và kịch bản 2 ngoài 1 nguồn sáng LED truyền dữ liệu thì có thêm 1 nguồn sáng luôn luôn sáng đóng vai trò nguồn nhiễu. Đèn LED truyền dữ liệu với chuỗi 10 bit ở tần số 8000Hz, trong đó gồm có 6 bit preamble và 4 bit payload.

Tỉ lệ lỗi bit của đèn LED truyền tín hiệu trong hai kịch bản. Trong đó có sự tuyến tính trong mối quan hệ giữa khoảng cách và tỉ lệ bit lỗi khi truyền nhận. Trong khoảng cách từ 100cm đến 200cm tỉ lệ bit lỗi khá thấp từ 1% đến 20% với cả 2 trường hợp. Từ khoảng cách 210cm trở đi thì khoảng cách lớn hơn, BER nhiều hơn. Do khoảng cách càng lớn hình ảnh đèn LED bé đi dẫn tới số sọc sáng (tối) giảm nghĩa là tỉ lệ nhận đủ mỗi frame truyền (10 bit/frame) bị giảm. Việc có thêm đèn nhiễu thì tỉ lệ bit lỗi có bị ảnh hưởng nhưng chênh lệch lớn nhất giữa 2 thực nghiệm chỉ ở mức $\Delta = 4\%$.

Khi sử dụng 1 đèn LED truyền dữ liệu thì với độ dài dữ liệu hiện tại sẽ có hạn chế trong ứng dụng định vị trong nhà vì không đủ để định nghĩa cho nhiều ID khác trong một hệ thống chiếu sáng lớn. Do đó, cần phải tiến hành thực nghiệm với các trường hợp từ hai nguồn sáng truyền dữ liệu trở lên tạo thành một cụm đèn LED đại diện cho một ID.

Với cụm đèn LED từ 2 nguồn sáng trở lên truyền dữ liệu, cần phải đo và đánh giá tỉ lệ bit lỗi trong các kịch bản khác nhau về góc giữa cụm đèn và camera của thiết bị di động. Ở đây, đang cố định cho camera trục giao với tâm cụm đèn LED, nghĩa là đang đánh giá trong hệ trục 2D chưa xem xét về góc lệch trong hệ trục 3D.

Dữ liệu trong các kịch bản có 2 hoặc 3 đèn LED truyền dữ liệu sẽ được cung cấp các dãy 10 bit bit có 4 bit payload khác nhau cho từng đèn và ở cùng 1 tần số là 8000Hz. Ngoài ra, trong kịch bản 04, vẫn tiếp tục thử nghiệm và đo tỉ lệ bit lỗi khi có 1 đèn nhiễu. Trong Hình 9, biểu đồ đường so sánh tỉ lệ bit lỗi giữa các kịch bản truyền nhận. Nhìn chung, tỉ lệ bit lỗi tương đối thấp trong khoảng 1-20% với khoảng cách từ 100-190cm. Đối với kịch bản 04 khi có thêm đèn chiếu sáng gây nhiễu, tỉ lệ bit lỗi của mỗi đèn có tăng rất nhỏ khoảng 2-3% ở các vị trí khác nhau. Do đó, việc sử dụng từ hai đèn truyền dữ liệu trở lên trong môi trường có những đèn sáng bình thường sẽ ít ảnh hưởng tới chất lượng truyền dữ liệu.

Đối với những hệ thống trong nhà sử dụng đèn LED làm nguồn sáng, ngoài đèn LED downlight thì LED panel cũng được sử dụng rất phổ biến. Với đèn LED panel, tiến hành hai kịch bản đo tỉ lệ bit lỗi khi truyền dữ liệu cùng tần số 8000Hz. Trong kịch bản 1, đèn LED vẫn truyền dữ liệu với chuỗi 10 bit với 4 bit payload, nhưng trong kịch bản 2, đèn LED sẽ truyền với chuỗi 14 bit với 8 bit payload. Lý do mỗi hình ảnh của đèn LED panel thu được nhiều sọc sáng, tối hơn đèn LED downlight nên việc tăng dữ liệu truyền để tận dụng ưu điểm loại đèn này là khả quan.

Khi thực nghiệm với đèn LED panel, thấy khoảng cách có tỉ lệ bit lỗi từ 1-20% gia tăng đáng kể. Đối với kịch bản 1, tỉ lệ bit lỗi chỉ 1-2% ở khoảng cách 230cm. Đây chính là khoảng cách sử dụng khi thiết kế hệ thống đèn, nhằm đạt tỉ lệ chính xác lớn nhất khi truyền với khoảng cách 2m – 2,5m, do độ cao trần trong khoảng 3-4m. Ngoài ra với thực nghiệm truyền dữ liệu 8 bit, tỉ lệ bit lỗi tăng khoảng 10% cùng với khoảng cách như vậy. Nguyên nhân tăng là số sọc đen trắng đã nhiều hơn đáng kể, nghĩa là mảng giá trị 0 và 1 sau khi dùng curve fit, có những điểm lập lờ có giá trị rất gần đường curve fit, đó là những giá trị ảnh hưởng đến việc tỉ lệ bit lỗi tăng lên.

Đối với tần số nháy khoảng từ 2000 – 4000Hz, khoảng cách mà để nhận có được tỉ lệ chính xác cao trên 80% sẽ chỉ trong khoảng 30-80cm. Nguyên nhân gây ra là khi tần số nháy LED thấp càng ra xa thì số lượng sọc sáng/tối trên mỗi khung hình càng ít, không chứa đủ một bản tin truyền đến để giải mã. Số lượng các sọc sáng giảm do giá trị chiều rộng của 1 sọc sáng/tối không thay đổi khi cố định tần số nháy nhưng ngược lại, hình ảnh LED có kích thước giảm đi khi tăng khoảng cách. Ngoài ra, khi tăng tần số nháy từ 10 Khz trở lên, một điều không mong muốn đó là các sọc sáng có chiều rộng quá nhỏ (ít pixel) dẫn đến việc càng tăng khoảng cách thì quá trình tính toán Npixel/bit càng sai số lớn, tỉ lệ chính xác giải mã sẽ giảm đi còn khoảng 40-60% ở khoảng cách 190-210cm cho dù có nhiều sọc sáng/tối trên ảnh.

Do đó, để đạt được tỉ lệ truyền nhận chính xác cao nhất với khoảng cách trong khoảng 150-250cm, tần số nháy của đèn LED sẽ khoảng 8000 Hz. Ở tần số này, giá trị Npixel/bit đủ lớn để khi tăng khoảng cách trong khoảng 150-200cm thì thuật toán xử lý ảnh vẫn tối ưu để giải mã dữ liệu. Từ đó, khi áp dụng trong ứng dụng định vị trong nhà, tần số nháy khoảng 8000 Hz sẽ là một lựa chọn tối ưu nhất cho việc thiết kế bộ phát.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Trong sáng chế này, chúng tôi đã đề xuất những phương pháp đột phá trong cả phần thu và phần phát của một hệ thống Optical Camera Communication (OCC). Hệ thống này dựa trên sự kết hợp linh hoạt giữa cảm biến hình ảnh CMOS và hệ thống chiếu sáng LED sẵn có. Phương pháp về điều chế ánh sáng cùng với một cấu trúc khung bản tin truyền trong phần phát đã được trình bày chi tiết đi cùng với độ hiệu quả của nó so với các phương pháp khác. Đối với giải mã dữ liệu thu được từ camera trên các thiết bị thông minh, chúng tôi đã triển khai một phương pháp (hay thuật toán) tiên tiến sử dụng các kỹ thuật xử lý ảnh. Nhìn chung, hệ thống OCC sử dụng camera của điện thoại thông minh để giải mã các bit dữ liệu mà chúng được nhúng vào đèn LED chiếu sáng quang học. Camera trên các thiết bị thông minh ghi lại hình ảnh xung quanh. Chỉ những phần hình ảnh liên quan đến đèn LED mới được trích xuất bằng kỹ thuật xử lý hình ảnh vì chỉ những phần đó mới truyền tải thông tin hữu ích. Chúng tôi đã giải thích chi tiết về quá trình tiếp nhận dữ liệu trong máy thu dựa trên cơ chế chụp ảnh của camera và thảo luận về những thách thức liên quan đến sơ đồ giải mã dữ liệu. Với các kết quả đạt được, chúng tôi đã thiết lập mối quan hệ giữa khoảng cách, tốc độ truyền dữ liệu, số lượng đèn hình ảnh và chất lượng truyền tin. Ngoài ra, hệ thống này được thiết kế đặc biệt để ứng dụng trong việc định vị trong nhà, một dịch vụ cần thiết cho các hoạt động trong nhà trong tương lai gần. Ứng dụng này đòi hỏi tốc độ dữ liệu thấp và có thể triển khai trên các thiết bị thông minh mà không yêu cầu sửa đổi phần cứng, nhưng sự tối ưu hóa của ứng dụng phần mềm để giải mã dữ liệu là vô cùng quan trọng. Hơn nữa, hệ thống OCC còn cung cấp tính bảo mật cao vì việc truyền và nhận thường diễn ra trong khoảng cách ngắn. Chúng tôi tin rằng công nghệ OCC sẽ nâng cao hiệu suất truyền tải thông tin so với hệ thống RF trong tương lai gần. Tuy nhiên, để thực sự hiểu rõ tiềm năng của OCC và đảm bảo thương mại hóa nhanh hơn, cần có một tiêu chuẩn. Do đó, việc tiêu chuẩn hóa công nghệ OCC thông qua IEEE 802.15.7r1 được đề xuất để cung cấp nền tảng cho việc triển khai OCC và thương mại hóa.

Yêu cầu bảo hộ

1. Hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng khả kiến giữa cụm đèn LED và thiết bị di động, hệ thống bao gồm:

cụm đèn LED gồm nhiều thiết bị chiếu sáng LED, mỗi thiết bị chiếu sáng LED gồm: nguồn cấp, bộ vi xử lý, bộ điều khiển LED và đèn LED;

thiết bị di động gồm các môđun được tạo cấu hình để thu hình ảnh từ các thiết bị chiếu sáng LED thông qua camera và thực hiện xử lý hình ảnh này;

trong đó, bộ vi xử lý của thiết bị chiếu sáng được tạo cấu hình để nhận tín hiệu đầu vào, thực hiện điều chế và mã hóa tín hiệu này cung cấp cho bộ điều khiển đèn LED nhằm thay đổi độ sáng của đèn LED phụ thuộc vào tín hiệu cần truyền bằng cách tạo ra xung được điều chế độ rộng (PWM) dựa trên chuỗi bit đã tạo ra trước đó, dữ liệu được mã hóa có cấu trúc gói dữ liệu gồm: phần mở đầu có 6 bit và phần dữ liệu cần truyền có n bit, kỹ thuật điều chế sử dụng theo hai trạng thái Bật – Tắt của đèn LED (phương pháp OOK);

thiết bị di động được tạo cấu hình để thu ảnh cụm đèn LED, chuyển ảnh cụm đèn LED thành ảnh xám, ảnh xám được chuyển sang ảnh nhị phân với phương pháp sử dụng ngưỡng trung bình

$$T_{\text{ngưỡng}} = \frac{\sum_{j=0}^N I_j}{N} \quad (1)$$

trong đó $T_{\text{ngưỡng}}$ là giá trị ngưỡng cần tìm, I_j là giá trị cường độ sáng của mỗi điểm ảnh, N là số điểm ảnh có cường độ sáng lớn hơn 10; áp dụng thuật toán tìm contour cho các ảnh nhị phân để phát hiện các sọc trắng, khi đã có những contour thì sẽ xác định được đường bao hình chữ nhật và tâm của mỗi contour, trích xuất tọa độ của vùng quan tâm (RoI, Region of Interest) của đèn LED, xác định chiều rộng của một sọc sáng nhỏ nhất ($N_{\text{pixel/bit}}$) và xác định tọa độ của vùng quan tâm (RoI) của đèn LED, với $N_{\text{pixel/bit}}$ tính như sau:

$$N_{\text{pixel/bit}} = \frac{h_{\text{max}}}{3} \quad (2)$$

trong đó: $N_{\text{pixel/bit}}$ là độ dày của 1 bit (lấy giá trị nguyên); h_{max} là chiều rộng có giá trị lớn nhất trong tất cả hình bao;

tọa độ tâm của mỗi contour sẽ được mô tả cụ thể như sau:

$$M_{ij} = \sum_i \sum_j x^i y^j I(x, y) \quad (3)$$

Từ (3), M_{00} được xác định:

$$M_{00} = \sum_i \sum_j I(x, y) \quad (4)$$

trong đó M_{00} là số các pixel khác 0.

cuối cùng, tọa độ tâm contour được xác định như sau:

$$\{\bar{x}, \bar{y}\} = \left\{ \frac{M_{10}}{M_{00}}, \frac{M_{01}}{M_{00}} \right\} \quad (5)$$

xác định khoảng cách và góc lệch giữa điểm đầu và điểm cuối của tọa độ đường RoI và tách ra thành những đường RoI độc lập với mỗi đèn theo các điều kiện đặt trước:

$$D = |y_{Top} - y_{Bot}| \quad (6)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{|x_{Bot} - x_{Top}|}{D} \quad (7)$$

Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha \leq 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top2} = x_{Bot2} = \frac{x_{Top} + x_{Bot}}{2}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

Nếu $D \geq 35 \times N_{pixel/bit}$, $\alpha > 2^\circ$ thì:

$$x_{Top1} = x_{Bot1} = x_{Top}; x_{Top2} = x_{Bot2} = x_{Bot}$$

$$y_{Top1} = y_{Top}; y_{Bot1} = y_{Top} + 20 \times N_{pixel/bit}$$

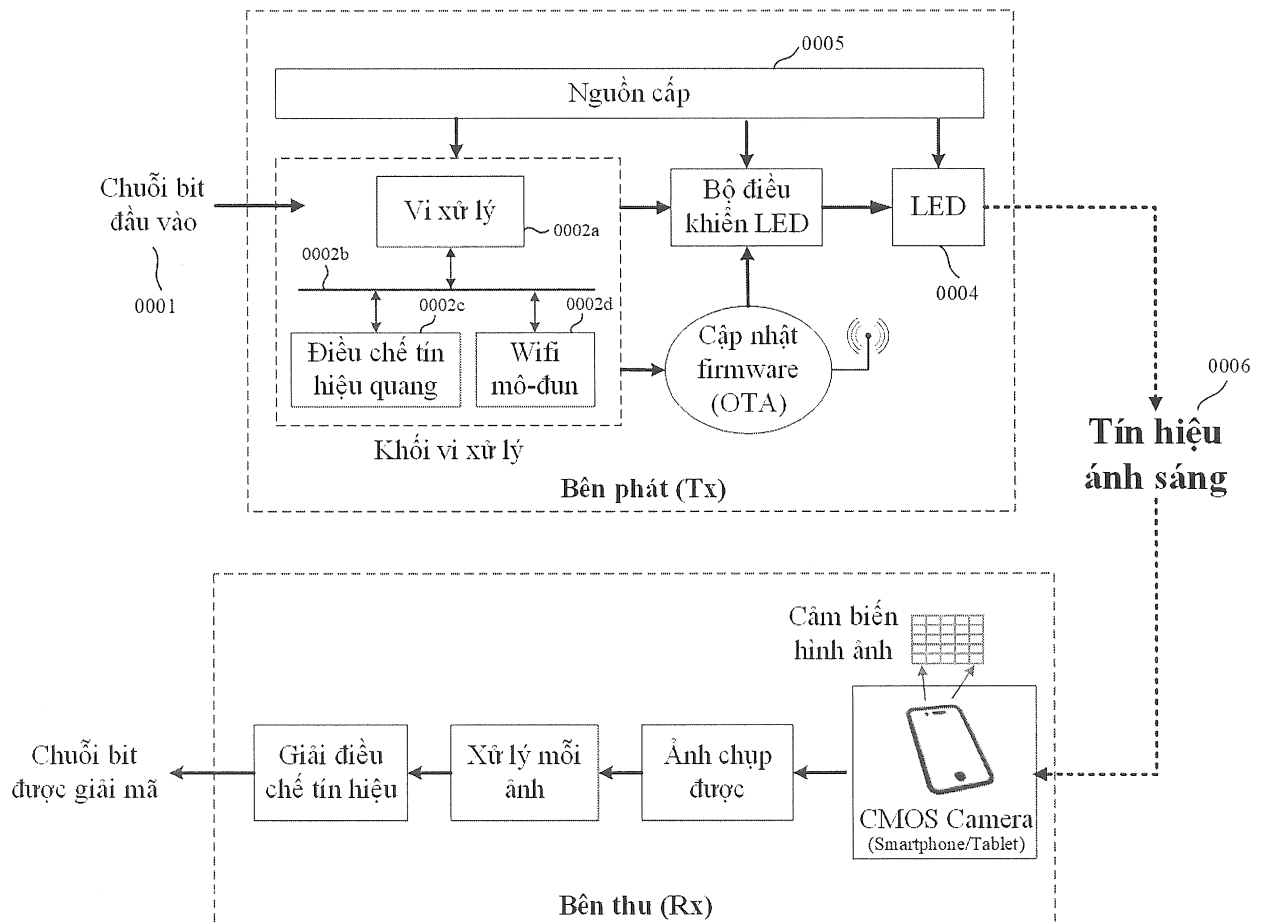
$$y_{Top2} = y_{Bot} - 20 \times N_{pixel/bit}; y_{Bot2} = y_{Bot}$$

trong đó: D là khoảng cách giữa điểm đầu và điểm cuối của đường RoI ban đầu, α là góc lệch đường RoI so với phương thẳng đứng;

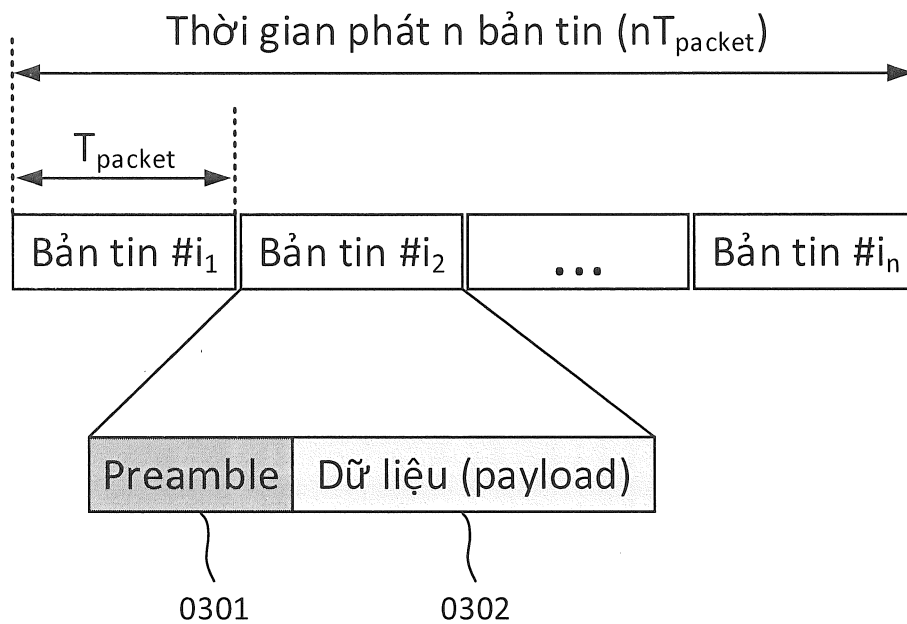
lọc và lấy mẫu những giá trị pixel đại diện cho mỗi sọc sáng/tối để đưa ra mảng dữ liệu các giá trị nhị phân “0” và “1”;

giải mã mảng dữ liệu cuối cùng bằng cách kiểm tra từng bộ 6 bit liên tiếp trong mảng dựa vào phần mở đầu 6 bit, nếu tìm thấy kết quả khớp hoàn chỉnh, n – bit dữ liệu (bộ dữ liệu) phía sau sẽ được truy xuất thành công, trong đó, để có được bộ dữ liệu bit cuối cùng, áp dụng tìm phần tử trội của các bộ dữ liệu trong mảng sao cho bộ dữ liệu (payload) nào xuất hiện nhiều nhất trong 10 gói tin sẽ là kết quả cuối cùng.

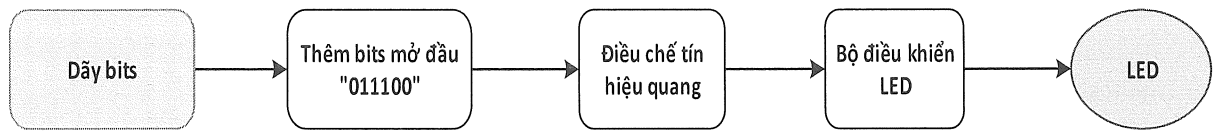
2. Hệ thống theo điểm 1, trong đó, đèn LED là LED âm trần hoặc LED panel hoặc đèn tròn Downlight.



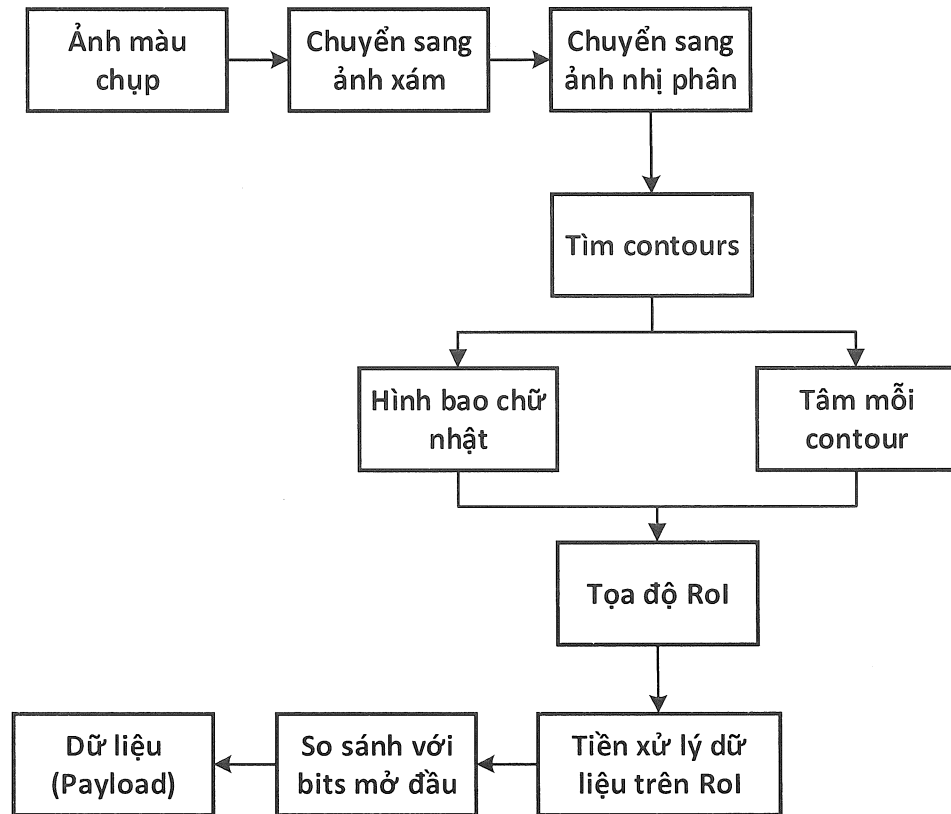
Hình 1



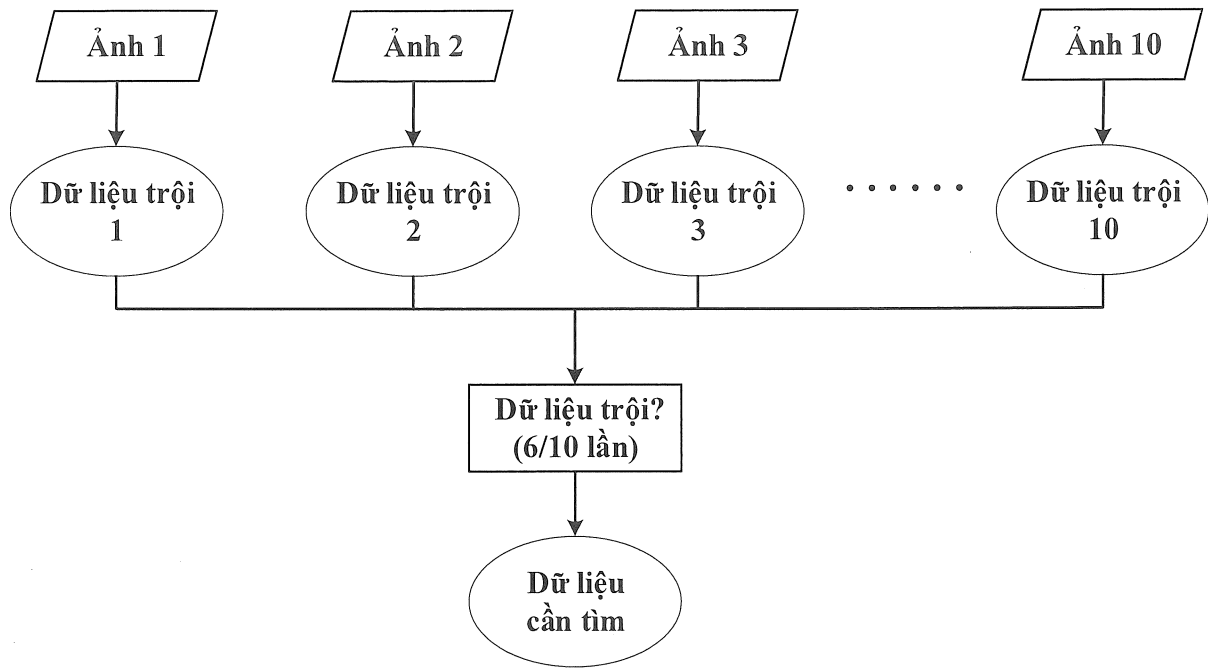
Hình 2



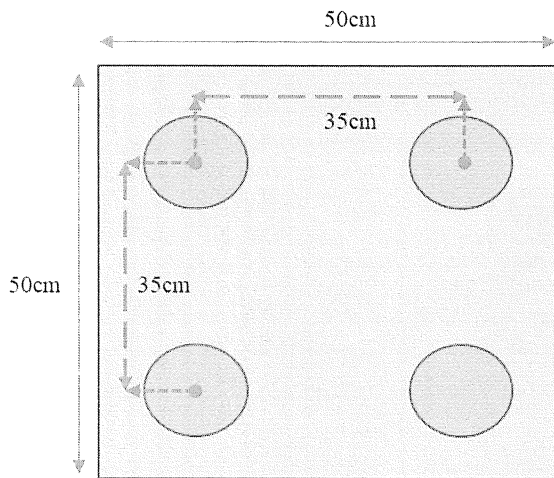
Hình 3



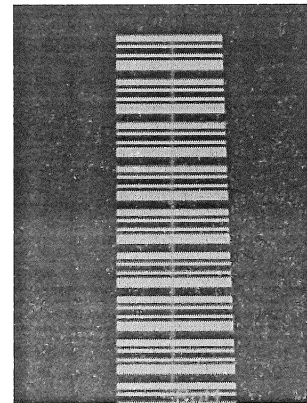
Hình 4



Hình 5

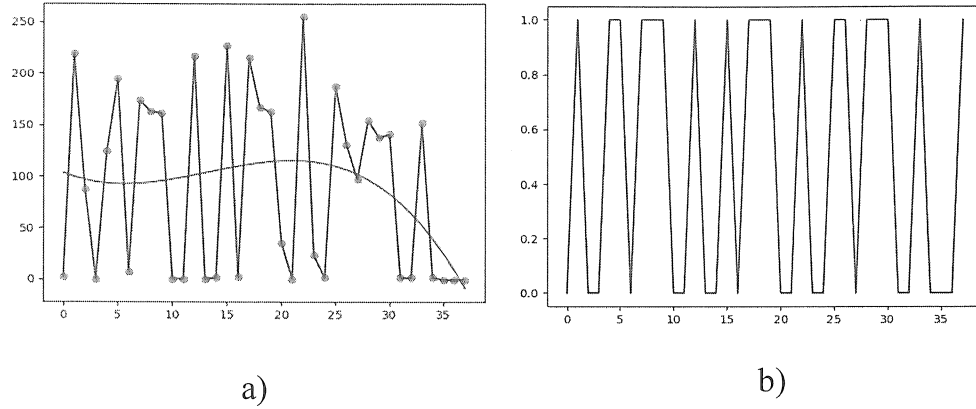


a)

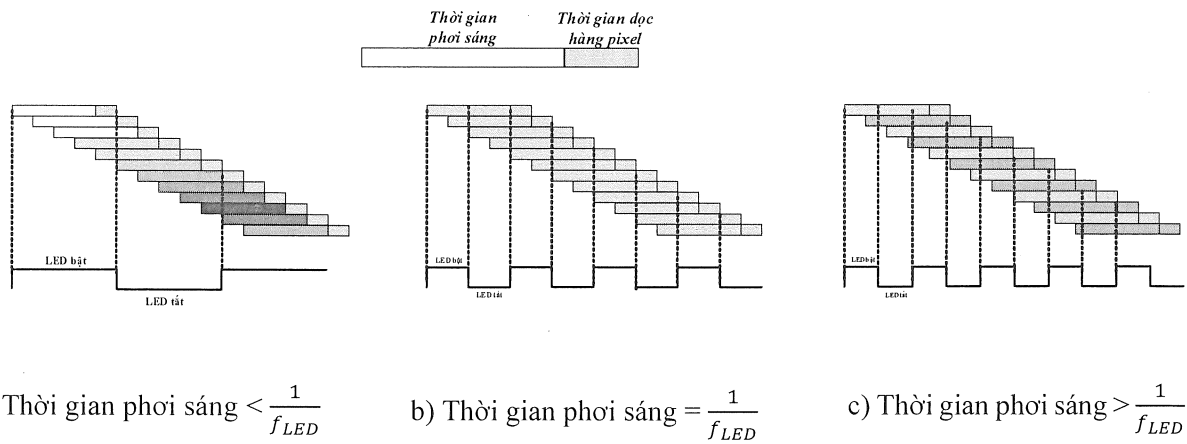


b)

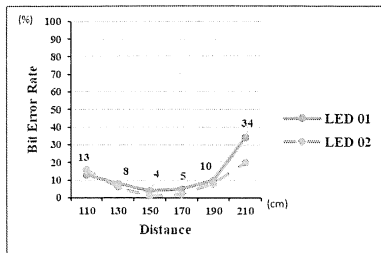
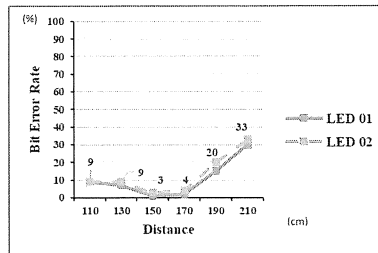
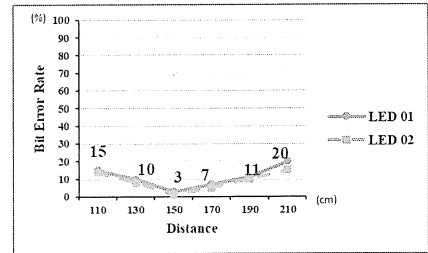
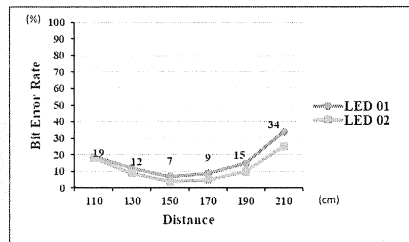
Hình 6



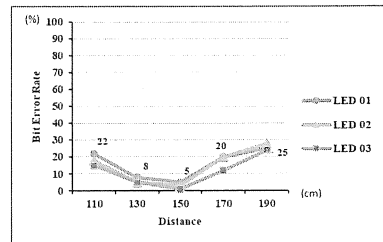
Hình 7



Hình 8

a) Kịch bản 1: góc 0° b) Kịch bản 2: góc 90° c) Kịch bản 3: góc 45° 

d) Kịch bản 4: 3 đèn



e) Kịch bản 5: đèn nhiễu

Hình 9