



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

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

(11)



1-0036496

(51)<sup>2020.01</sup> H04B 10/00

(13) B

(21) 1-2021-00134

(22) 12/01/2021

(45) 25/07/2023 424

(43) 25/03/2021 396

(76) 1. Nguyễn Hoàng Nam (VN)

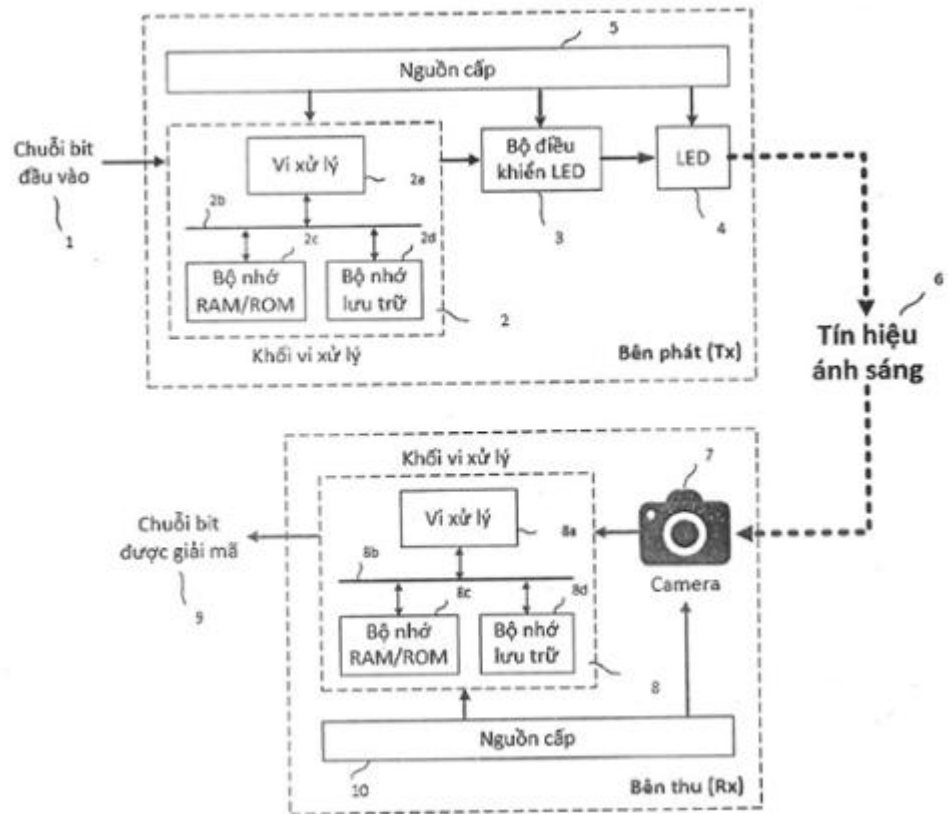
24B Bà Triệu, Trảng Tiền, Hoàn Kiếm, Hà Nội

2. Thiều Minh Đức (VN)

49D tổ 4 cụm 5, Công Vị, Ba Đình, Hà Nội

(54) PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU CHẾ VÀ GIẢI ĐIỀU CHẾ PHA CÓ GIẢM MẪU THEO MIỀN THỜI GIAN BẰNG KỸ THUẬT GIẢM MẪU CHO ÁNH SÁNG NHÌN THẤY SỬ DỤNG VỚI ĐÈN LED CỦA BÊN PHÁT VÀ CAMERA CỦA BÊN THU VÀ HỆ THỐNG TRUYỀN THÔNG ÁNH SÁNG KHÔNG DÂY SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP NÀY

(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát và camera của bên thu, bao gồm các bước: điều chế pha của ánh sáng bằng cách tạo ra các xung vuông điều khiển bộ điều khiển LED (3) ở bên phát sao cho tín hiệu ánh sáng phát ra từ đèn LED (4) ở bên phát đồng pha hoặc ngược pha theo miền thời gian, tương ứng với mỗi bit dữ liệu đầu vào cần truyền đi ở bên phát (Tx), khối vi xử lý (2) nhận các bit đầu vào này và điều chế thành tín hiệu điện gồm các xung vuông đồng pha hoặc ngược pha nhau, các xung này sẽ được bộ điều khiển LED (3) xử lý thành tín hiệu điện phù hợp để điều khiển hoạt động của LED (4), theo đó, bit 0 được tạo ra bằng cách đèn LED (4) phát ra 2 chuỗi xung vuông đồng pha với nhau và bit 1 được tạo ra bằng cách đèn LED (4) phát ra 2 chuỗi xung vuông ngược pha với nhau, sau đó đèn LED (4) sẽ truyền đi tín hiệu ánh sáng bao gồm 2 pha: sáng/tắt có tần số bằng với tần số tín hiệu điện điều khiển đèn LED (4) do bộ điều khiển đèn LED (3) tạo ra; và bước giải điều chế tín hiệu ánh sáng bằng cách cho camera của bên thu (Rx) chụp 2 ảnh liên tiếp để thu lại trạng thái pha của tín hiệu ánh sáng được truyền đi từ bên phát (Tx), trong ảnh thu được, nếu đèn LED sáng, giá trị nhị phân (binary) được quy định là 1 và nếu đèn LED tắt, giá trị nhị phân được quy định là 0.



### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế thuộc lĩnh vực truyền thông bằng ánh sáng, cụ thể hơn là đề cập đến phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát và camera của bên thu và hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng phương pháp này.

### **Tình trạng kỹ thuật của sáng chế**

Hiện nay, có rất nhiều đơn vị, nhóm nghiên cứu trên thế giới tham gia nghiên cứu, công bố các giải pháp truyền thông bằng dữ liệu ánh sáng sử dụng camera, tuy nhiên số lượng sản phẩm thương mại ứng dụng công nghệ này trên thị trường hiện tại là rất ít. Công nghệ truyền thông ánh sáng không dây sử dụng camera (Optical Camera Communication – OCC) có thể ứng dụng rộng rãi trong nhiều hệ thống như: chiếu sáng, định vị trong hệ thống nhà thông minh (Smart Home), hệ thống giám sát máy móc công nghiệp... bằng việc tích hợp trực tiếp vào hệ thống chiếu sáng sẵn có. Tín hiệu ánh sáng có thể được giải mã bằng các loại camera phổ biến như camera trên điện thoại, thiết bị thông minh hoặc sử dụng hệ thống camera giám sát có sẵn... Điều này sẽ giúp cho các hệ thống hiện tại khi ứng dụng công nghệ OCC sẽ giảm được chi phí nâng cấp phần cứng cũng như đảm bảo tính an toàn trong vận hành khi ứng dụng công nghệ OCC (đặc biệt tại những khu vực có dây chuyền máy móc không cho phép triển khai hệ thống truyền thông bằng công nghệ sóng RF (Radio Frequency) truyền thống) do ánh sáng được điều chế không gây nhiễu cho các hệ thống khác cũng như không gây nhiễu lẫn nhau khi hoạt động; ánh sáng điều chế ở tần số thích hợp không gây hại cho sức khỏe con người; hệ thống truyền thông sử dụng ánh sáng OCC có tính bảo

mật cao do đặc tính ánh sáng chỉ có thể giao tiếp trực tiếp trong một không gian được quy định và không thể đâm xuyên qua vật cản như tường hay vách ngăn kín.

Tính đến nay, một số phương pháp điều chế và giải điều chế ánh sáng dùng trong OCC có thể liệt kê như sau:

- Phương pháp điều chế UFSOOK (Undersampled Frequency Shift On-Off Keying) cho kênh ánh sáng: do Intel công bố từ năm 2013 và đã xuất hiện trong chuẩn IEEE 802.15.7-2018. Phương pháp này điều chế bit 0 và bit 1 ở 2 tần số lần lượt là sóng hài bậc 7 và bậc 8 của  $\frac{1}{2}$  tần số lấy mẫu (tốc độ chụp) của camera (Ví dụ: Bit 0 được điều chế ở tần số 120Hz và bit 1 được điều chế ở tần số 105Hz để hỗ trợ giải điều chế bằng camera 30 FPS).

- Phương pháp điều chế UPSOOK (Undersampled Phase Shift On-Off Keying) do tiến sĩ Pengfei Luo đưa ra từ năm 2014 là sự bổ sung cho phương pháp UPSOOK trong giải điều chế bằng việc tăng cường so sánh pha giữa các lần lấy mẫu để giảm lỗi.

Nhược điểm của các phương pháp UFSOOK và UPSOOK là yêu cầu một tần số lấy mẫu không đổi trong quá trình giải điều chế. Do đó, các phương pháp này không thể hỗ trợ một số lượng lớn camera trên thị trường hiện tại có tốc độ khung hình thay đổi.

- Phương pháp điều chế S2-PSK (Spatial 2-Phase Shift Keying) 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.

- Bên cạnh các phương pháp điều chế ánh sáng sử dụng kỹ thuật giảm mẫu

(Undersampling) như đã liệt kê, một số phương pháp điều chế khác như C-OOK (Camera On-Off Keying) và M-FSK (M-ary Frequency Shift Keying) được giới thiệu trong phần PHY IV thuộc chuẩn IEEE 802.15.7-2018 có thể sử dụng cả kỹ thuật giảm mẫu (Undersampling) và tăng mẫu (Oversampling) trong giải điều chế tín hiệu ánh sáng ở tần số đến 4400Hz. Tuy các phương pháp này giúp thu được tốc độ dữ liệu (data rate) cao nhưng chúng chỉ có thể hỗ trợ cho các camera có cơ cấu màn trập kiểu quét mảnh (Rolling shutter) và khoảng cách truyền nhận cũng không cao (nhỏ hơn 50m). Do đó các phương pháp này cũng không phù hợp với một số ứng dụng đòi hỏi khoảng cách truyền dữ liệu lên đến hàng trăm mét và không yêu cầu truyền tốc độ dữ liệu lớn.

### **Bản chất kỹ thuật của sáng chế**

Để giải quyết vấn đề kỹ thuật nêu trên, mục đích của sáng chế là đề xuất một phương pháp điều chế ánh sáng mới sử dụng kỹ thuật giảm mẫu khi giải điều chế, hỗ trợ các loại camera hiện có trên thị trường bao gồm camera sử dụng cơ cấu màn trập mảnh (rolling shutter) và camera sử dụng cơ cấu màn trập một lần (global shutter).

Một mục đích khác của sáng chế là đưa ra được một phương pháp mới có thể sử dụng trong truyền thông ở khoảng cách xa lên đến hàng trăm mét và có khả năng chống rung cũng như hỗ trợ các camera có tốc độ khung hình biến thiên (frame rate variation).

Để đạt được các mục đích nêu trên, sáng chế đề xuất phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx), còn được gọi là phương pháp UT2-PSK (Undersampled Temporal 2-Phase Shift Keying) bao gồm các bước:

(i) điều chế pha của ánh sáng cho đèn LED của bên phát (Tx) gồm các công đoạn:

công đoạn 1 (201): gắn thêm phần mở đầu bản tin hay còn gọi là Start of Frame (SF) vào chuỗi bit cần truyền đi 1 để tạo thành bản tin thô theo cấu trúc của một bản tin trong hệ thống sử dụng phương pháp điều chế và giải điều chế

pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx), cấu trúc này về cơ bản bao gồm 2 phần:

phần mở đầu bản tin (SF) là phần giúp camera của bên thu (Rx) có thể phân biệt sự phân tách của các bản tin trong quá trình giải điều chế;

phần dữ liệu bao gồm các bit mang nội dung của bản tin, bao gồm cả các trường như mã bảo đảm bản tin, mã sửa lỗi;

công đoạn 2 (202): mã hóa toàn bộ bản tin thô bằng thuật toán nén dữ liệu RLL (Run Length Limited) trong phần mềm bên phát, thuật toán nén dữ liệu này được sử dụng để điều chế bit dữ liệu đầu vào để giúp vi xử lý tại bên phát (Tx) tạo ra được tín hiệu số điều khiển đèn LED có sự cân bằng điện áp một chiều DC, khi tín hiệu điện điều khiển đèn LED có sự cân bằng về điện áp, ánh sáng phát ra từ đèn LED sẽ có cường độ không đổi do đó giúp giảm hiện tượng nhấp nháy để không gây hại mắt cho người sử dụng và hỗ trợ việc giảm lỗi trong quá trình giải điều chế tại bên thu, theo đó một bit đầu vào sẽ được mã hóa thành một ký tự đầu ra, nếu bit đầu vào 0 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 00 và nếu bit đầu vào 1 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 01;

công đoạn 3 (203): tham chiếu bit với ký tự để giúp khối vi xử lý tạo ra được các xung vuông điều khiển đèn LED (4) sáng/tắt, các xung vuông được tạo ra từ bộ điều khiển LED ở bên phát (Tx) sao cho tín hiệu ánh sáng (sáng/tắt) phát ra từ đèn LED ở bên phát (Tx) đồng pha hoặc ngược pha theo miền thời gian, tương ứng với mỗi bit đầu vào cần truyền đi ở bên phát (Tx), khối vi xử lý nhận các bit đầu vào này và điều chế thành tín hiệu điện gồm các xung vuông đồng pha hoặc ngược pha nhau, các xung này sẽ được bộ điều khiển LED xử lý thành tín hiệu điện phù hợp để điều khiển hoạt động của đèn LED, mỗi xung có độ dài tương ứng để bên phát (Tx) có thể truyền đi tín hiệu ánh sáng tới bên thu (Rx) với thời gian  $T_{bit}/2$ , cụ thể như sau:

để điều khiển đèn LED truyền đi bit 0, phát hai chuỗi tín hiệu xung vuông tuần tự đồng pha đến bộ điều khiển đèn LED, mỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{bit}/2$ ;

để điều khiển đèn LED truyền đi bit 1, phát hai chuỗi tín hiệu xung vuông tuần tự ngược pha đến bộ điều khiển đèn LED, mỗi chuỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{bit}/2$ ;

giải điều chế tín hiệu ánh sáng bằng cách cho camera của bên thu (Rx) chụp hai ảnh liên tiếp để thu lại trạng thái pha của tín hiệu ánh sáng được truyền đi từ bên phát (Tx), trong ảnh thu được, nếu đèn LED sáng, giá trị nhị phân (binary) được quy định là 1 và nếu đèn LED tắt, giá trị nhị phân được quy định là 0; trong đó, bước giải điều chế tín hiệu ánh sáng gồm các công đoạn:

công đoạn 1 (401): camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx) chụp ảnh và rà soát trên ảnh khu vực có dữ liệu của đèn LED của bên phát (Tx) đồng thời khoanh vùng khu vực đó, vùng đèn LED mà camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx) phát hiện được có mang dữ liệu truyền từ đèn LED của bên phát (Tx) được gọi là vùng RoI (Region-of-Interest);

công đoạn 2 (402): khối vi xử lý của bên thu (Rx) thực hiện giai đoạn tiền xử lý dữ liệu truyền từ đèn LED của bên phát (Tx) thông qua các việc:

giảm mẫu: nhằm xác định tốc độ lấy mẫu dựa theo hệ số giảm mẫu K giữa đèn LED của bên phát (Tx) và camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx), mối quan hệ giữa hệ số giảm mẫu K, tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx và tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx được xác định như sau:

$$f_{bit} = K * f_{cap}$$

Trong đó:  $f_{bit}$  là tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx ( $f_{bit} = 1/T_{bit}$ ) (Hz);

$f_{cap}$  là tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx (FPS);

K là hệ số giảm mẫu;

giảm mẫu bằng cách bên phát (Tx) lặp lại việc truyền 1 bit 1 số K lần;

chuẩn hóa mẫu: một vùng RoI trên ảnh chụp thu được bởi camera của bên thu có thể bao gồm nhiều điểm ảnh với giá trị độ sáng khác nhau, vi xử lý tại bên thu sẽ tính ra giá trị độ sáng trung bình của đèn LED tại thời điểm được chụp và sử dụng giá trị đó để xác định trạng thái đèn LED tại thời điểm đó là sáng hay tắt;

công đoạn 3 (403): khối vi xử lý của bên thu xác định các trạng thái của đèn LED do camera thu được từ bên phát rồi kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) vào các trạng thái đèn đã xác định được nhằm hỗ trợ camera của bên thu (Rx) giải mã bit trong trường hợp camera có tốc độ khung hình bị biến thiên, camera bị rung lắc hoặc thay đổi vị trí trong quá trình giải điều chế;

công đoạn 4 (404): khối vi xử lý của bên thu (Rx) xác định vị trí phần mở đầu bản tin (SF) của bản tin dựa vào hệ số giảm mẫu K và định dạng phần dữ liệu bản tin SF theo quy định về cấu trúc bản tin với phần mở đầu bản tin được thiết kế sao cho bên thu sau khi lấy mẫu, có thể dễ dàng phân biệt được giữa phần mở đầu bản tin và phần nội dung khung tin nhưng vẫn có độ dài tối thiểu, cụ thể là phần mở đầu bản tin sẽ bao gồm số lượng bit 1 và bit 0 nhiều hơn độ dài tối đa của chuỗi bit 1 hoặc bit 0 có thể có trong phần nội dung khung tin, khi phần nội dung khung tin đã được mã hóa;

công đoạn 5 (405): camera của bên thu (Rx) tiếp tục xác định vị trí phần dữ liệu của bản tin;

công đoạn 6 (406): khối vi xử lý của bên thu (Rx) giải mã phần dữ liệu bản tin.

Theo phương án khác nữa của sáng chế, việc áp dụng kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian trong bước giải điều chế dùng cho màn trập màn hình.

Theo phương án khác nữa của sáng chế, việc kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR theo miền thời gian gồm các công đoạn sau:

công đoạn 1: camera/cảm biến hình ảnh chụp liên tiếp bốn ảnh đèn LED của bên phát (Tx);

công đoạn 2: camera của bên thu (Rx) xác định cụ thể trạng thái của đèn LED của bên phát (Tx) trong 4 ảnh đã chụp xem là phần tử nhị phân 0 hay 1;

công đoạn 3: thực hiện phép toán thao tác bit XOR giữa trạng thái đèn LED của 2 ảnh đầu tiên để thu được kết quả là trạng thái X là 0 hoặc 1 và phép toán



thao tác bit XOR giữa 2 trạng thái đèn LED của 2 ảnh cuối cùng đã chụp thu được kết quả là trạng thái Y (là 0 hoặc 1);

công đoạn 4: thực hiện phép XOR giữa X và Y để thu được bit dữ liệu đã truyền từ đèn LED của bên phát (Tx).

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Hình 1 là hình minh họa hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng camera và phương pháp điều chế/giải điều chế UT2-PSK.

Hình 2 là hình minh họa dạng sóng của UT2-PSK đơn giản.

Hình 3 là sơ đồ quy trình điều chế tín hiệu ánh sáng tại bên phát Tx.

Hình 4 là cấu trúc một bản tin theo UT2-PSK.

Hình 5 là sơ đồ quy trình giải điều chế tín hiệu ánh sáng tại bên thu Rx.

Hình 6 là hình minh họa quá trình lấy mẫu của camera của bên thu Rx trong trường hợp đèn LED bị thay đổi vị trí trong quá trình chụp ảnh.

Hình 7 là lưu đồ phương pháp giải điều chế kiểm tra chéo XOR theo miền thời gian.

Hình 8 và Hình 9 là các sơ đồ minh họa hoạt động giải điều chế theo UT2-PSK sử dụng phương pháp Temporal Crosscheck-XOR.

### **Mô tả chi tiết phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế**

Khái niệm Giảm mẫu (Undersampling) dùng để chỉ phương pháp giải điều chế sử dụng camera chỉ có tốc độ chụp hình/giây (frame per second – FPS) nhỏ hơn xung đồng hồ của tín hiệu ánh sáng được điều chế. Ví dụ, hệ thống có thể sử dụng camera có tốc độ 30 FPS để giải điều chế tín hiệu ánh sáng từ đèn LED được điều chế với tần số 100Hz. Việc sử dụng phương pháp giải điều chế Giảm mẫu này nhằm đáp ứng điều kiện về chất lượng phát sáng cho đèn LED. Tần số ánh sáng từ 100Hz được công nhận là sẽ tạo ra ánh sáng không bị hiện tượng nhấp nháy (flicker) ảnh hưởng đến mắt người sử dụng.

Trong hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng đèn LED, camera với cơ chế màn trập màn hình (rolling shutter) hoặc màn trập một lần (global shutter) và phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên

phát (Tx) và camera của bên thu (Rx), còn được gọi là phương pháp UT2-PSK (Undersampled Temporal 2-Phase Shift Keying) theo sáng chế, bên phát chỉ cần sử dụng 1 đèn LED của bên phát Tx để điều chế và truyền dữ liệu ánh sáng, bên thu chỉ cần sử dụng 1 camera thu Rx để nhận và giải điều chế tín hiệu ánh sáng từ bên phát.

Trong phương pháp UT2-PSK, tín hiệu ánh sáng có thể được điều chế với tần số lớn hơn 100Hz để phù hợp với các ứng dụng có yêu cầu chất lượng ánh sáng không bị nhấp nháy ảnh hưởng đến mắt người sử dụng. Ví dụ: kỹ thuật giảm mẫu được áp dụng vào phương pháp UT2-PSK để đảm bảo các camera thông thường có tốc độ 30 FPS có thể giải điều chế được tín hiệu ánh sáng từ đèn LED có tần số lớn hơn 100Hz.

Kỹ thuật giảm mẫu được thực hiện bằng cách, các chuỗi xung vuông được phát đi từ LED tại bên phát được lặp lại G lần để đồng bộ với tốc độ chụp ảnh của camera/cảm biến hình ảnh của bên thu. Hệ số G được xác định dựa trên quan hệ giữa tần số tín hiệu ánh sáng tại đèn LED bên phát và tốc độ chụp ảnh của camera/cảm biến hình ảnh bên thu thể hiện qua công thức:

$$f_{Tx} \leq f_{cap} * G \quad (1)$$

Trong đó:  $f_{Tx}$  là tần số tín hiệu ánh sáng phát ra từ LED bên phát

$f_{cap}$  là tốc độ chụp ảnh của camera/cảm biến hình ảnh bên thu

G là hệ số lặp lại của một chuỗi xung vuông mà đèn LED tại bên phát phát đi để tổng thời gian phát chuỗi xung vuông đó ( $T_{Tx} = 1/f_{Tx}$ ) ít nhất bằng khoảng thời gian giữa 2 lần camera/cảm biến hình ảnh bên thu chụp ảnh ( $T_{cap} = 1/f_{cap}$ )

Từ đặc điểm của phương pháp UT2-PSK như đã trình bày, camera/cảm biến hình ảnh bên thu cần chụp 02 ảnh để giải điều chế được 1 bit dữ liệu từ tín hiệu ánh sáng bên phát, nên tốc độ bit của hệ thống được tính theo công thức:

$$f_{bit} = f_{cap}/2 \quad (2)$$

Do đó, quan hệ giữa tốc độ bit của hệ thống và tần số tín hiệu ánh sáng của LED tại bên phát được thể hiện qua công thức:

$$f_{Tx} \leq f_{cap} * G = f_{bit} * k \quad (3)$$

Trong đó:  $k$  là hệ số lặp lại việc truyền 01 bit từ bên phát để bên thu có thể lấy mẫu được và giải mã;  $k = G * 2$ .

Phương pháp UT2-PSK theo sáng chế nhằm khắc phục một số nhược điểm của một số phương pháp truyền thông ánh sáng không dây sử dụng kỹ thuật giảm mẫu (Undersampling) đã được công bố trong chuẩn truyền thông ánh sáng không dây tầm ngắn IEEE-802.15.7-2018. Phương pháp UT2-PSK được đề xuất nhằm hỗ trợ đa dạng các loại camera hiện có trên thị trường để có thể sử dụng trong truyền thông ánh sáng không dây. Mặc dù phương pháp UT2-PSK không hỗ trợ tốc độ dữ liệu cao như phương pháp C-OOK hay M-FSK nhưng phương pháp UT2-PSK sẽ phù hợp hơn cho những ứng dụng truyền dữ liệu ở khoảng cách xa đến hàng trăm mét và có khả năng chống rung cũng như hỗ trợ các camera có tốc độ khung hình biến động.

Hình 1 minh họa sơ đồ khối của hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng đèn LED, camera theo phương pháp UT2-PSK theo sáng chế. Một hệ thống cơ bản bao gồm 01 thiết bị phát (dưới đây gọi là bên phát Tx) và 01 thiết bị thu (dưới đây gọi là bên thu Rx).

Bên phát Tx sẽ mã hóa chuỗi bit dữ liệu đầu vào thiết bị 1 dưới dạng tín hiệu số thành tín hiệu ánh sáng 6 theo phương pháp UT2-PSK và được phát đi thông qua đèn LED 4. Bên phát Tx bao gồm các khối:

khối vi xử lý 2 gồm có vi xử lý 2a, khối bộ nhớ ROM/RAM 2c, khối bộ nhớ lưu trữ 2d và đường bus kết nối các khối bộ nhớ và vi xử lý 2b thực hiện nhiệm vụ điều chế pha;

bộ điều khiển LED 3 thực hiện nhiệm vụ tạo tín hiệu điện đầu ra điều khiển đèn LED 4 dựa theo tín hiệu xung vuông đầu vào được điều chế bởi khối vi xử lý 2.

đèn LED 4 thực hiện việc biến đổi tín hiệu điện đầu vào thành tín hiệu ánh sáng đầu ra 6; và

khối nguồn 5 thực hiện việc cung cấp điện năng ổn định cho hoạt động của toàn bộ thiết bị phát (bên phát Tx).

Toàn bộ bước điều chế tạo ra tín hiệu số điều khiển cho bộ điều khiển LED 3 và đèn LED 4 đều được thực hiện bởi chương trình phần mềm được nạp vào khối vi xử lý 2 tại bên phát.

Bên thu Rx sẽ sử dụng camera 7 để thu lại tín hiệu ánh sáng 6, đồng thời giải điều chế tín hiệu ánh sáng 6 thành chuỗi bit đầu ra 9 ở dạng tín hiệu số. Bên thu Rx bao gồm:

camera/cảm biến hình ảnh 7 để thu lại tín hiệu ánh sáng 6 dưới dạng ảnh đưa vào xử lý trong khối vi xử lý 8;

khối vi xử lý 8 gồm có vi xử lý 8a, khối bộ nhớ ROM/RAM 8c, khối bộ nhớ lưu trữ 8d và đường bus kết nối các khối bộ nhớ và vi xử lý 8b.

khối nguồn 10 thực hiện việc cung cấp điện năng ổn định cho hoạt động của toàn bộ thiết bị bên thu (Rx).

Việc giải điều chế tín hiệu ánh sáng bao gồm xử lý ảnh thu được từ camera/cảm biến hình ảnh 7 đều được thực hiện bởi chương trình nạp phần mềm được nạp vào khối vi xử lý 8 nhằm giải mã ra chuỗi bit 9 ở dạng tín hiệu số.

Hình 2 minh họa dạng sóng của tín hiệu ánh sáng được điều chế bằng phương pháp UT2-PSK. Phương pháp UT2-PSK bao gồm bước điều chế pha của ánh sáng bằng cách tạo ra các xung vuông điều khiển bộ điều khiển LED 3 ở bên phát Tx sao cho tín hiệu ánh sáng 6 phát ra từ đèn LED 3 ở bên phát Tx đồng pha hoặc ngược pha theo miền thời gian. Tương ứng với mỗi bit dữ liệu đầu vào cần truyền đi ở bên phát Tx, khối vi xử lý 2 nhận các bit đầu vào 1 này và điều chế thành tín hiệu điện gồm các xung vuông đồng pha hoặc ngược pha nhau. Các xung này sẽ được bộ điều khiển LED 3 xử lý thành tín hiệu điện phù hợp để điều khiển hoạt động của đèn LED 4. Đèn LED 4 truyền đi tín hiệu ánh sáng bao gồm 2 pha: sáng/tắt có tần số bằng với tần số tín hiệu điện điều khiển đèn LED 4 do bộ điều khiển LED 3 tạo ra.

Chu kỳ  $T_{\text{bit}}$  được định nghĩa là thời gian để bên phát Tx truyền đi một bit. Mỗi bit sẽ được bên phát Tx truyền đi bằng 2 chuỗi xung vuông đồng pha hoặc ngược pha với nhau. Mỗi chuỗi xung được truyền đi trong thời gian một nửa chu kỳ  $T_{\text{bit}}$  ( $T_{\text{bit}}/2$ ). Khoảng thời gian một chu kỳ  $T_{\text{bit}}$  không có một giá trị xác định mà

được tính toán để phù hợp với tốc độ chụp ảnh lấy mẫu của camera/cảm biến ánh sáng ở bên thu Rx.

Cụ thể, bit 0 được điều chế bằng cách khối vi xử lý 2 của bên phát Tx tạo ra 2 chuỗi xung vuông đồng pha với nhau để điều khiển độ sáng đèn LED 4. Mỗi chuỗi xung vuông được phát trong thời gian  $T_{bit}/2$ . Ngược lại bit 1 được phát đi bằng tín hiệu số gồm 2 chuỗi xung vuông ngược pha với nhau. Mỗi chuỗi xung vuông cũng được phát trong khoảng thời gian là  $T_{bit}/2$ .

Phương pháp UT2-PSK bao gồm bước giải điều chế tín hiệu ánh sáng, trong đó đối với một bit, camera 7 của bên thu Rx chụp 2 ảnh liên tiếp để thu lại trạng thái pha của tín hiệu ánh sáng được truyền đi từ bên phát Tx. Trong ảnh thu được, nếu đèn LED 4 sáng, giá trị nhị phân (binary) được quy định là 1. Nếu đèn LED 4 tắt, giá trị nhị phân được quy định là 0.

Để khối vi xử lý của bên thu Rx xác định được giá trị của bit thu được trong quá trình chụp, camera 7 cần chụp ít nhất 2 ảnh. Ảnh đầu tiên được chụp tại thời điểm bất kỳ trong khoảng thời gian  $T_{bit}/2$  đầu tiên tính từ thời điểm chuỗi xung vuông thứ nhất được tạo ra từ khối vi xử lý 2 ở bên phát Tx. Ảnh thứ hai được chụp trong khoảng thời gian  $T_{bit}/2$  tiếp theo tính từ thời điểm chuỗi xung vuông thứ hai được phát từ khối vi xử lý 2 ở bên phát Tx.

Từ độ sáng của đèn mà bên thu Rx lấy mẫu được từ bên phát Tx thông qua camera/cảm biến ánh sáng 7, khối vi xử lý 8 của bên thu Rx xác định 2 giá trị nhị phân tương ứng từ 2 mẫu lấy được: đèn sáng tương ứng với giá trị nhị phân 1 và đèn tắt tương ứng với giá trị nhị phân 0. Sau đó, khối vi xử lý 8 sử dụng phép toán thao tác bit XOR để giải điều chế ra giá trị dữ liệu bit được truyền đến, phép toán thao tác bit XOR như sau:

$$\text{Bit} = \text{XOR} \{s_i; s_{i+1}\} \quad (4)$$

Trong đó:  $s_i$  là trạng thái đèn LED được lấy mẫu tại thời điểm  $i$ ;

$s_{i+1}$  là trạng thái đèn LED được lấy mẫu tại thời điểm  $i+1$

Cũng theo Hình 2, đèn LED 4 được điều khiển phát sáng bởi khối vi xử lý 2 bằng 2 tín hiệu số dạng xung vuông On/Off. Ánh sáng được tạo ra từ đèn LED 4 sẽ có chu kỳ giống với tín hiệu điện điều khiển nó từ khối vi xử lý 2. Bộ điều

khuyến LED 3 như đã trình bày giúp biến đổi tín hiệu số thành tín hiệu điện sao cho phù hợp với biên độ mà đèn LED 4 sử dụng (tần số và pha của tín hiệu không thay đổi).

Hai tín hiệu này nếu đồng pha sẽ thể hiện bit 0 và nếu ngược pha sẽ thể hiện bit 1 được truyền đi, trong đó, bit 0 và bit 1 là 2 giá trị của chuỗi bit dữ liệu đầu vào hệ thống truyền thông ánh sáng không dây cần truyền đi từ bên phát Tx đến bên thu Rx.

Trạng thái đèn LED  $s_1, s_2$  lần lượt được chụp lại bởi camera trong 2 ảnh liên tiếp trong một thời điểm bất kì thuộc khoảng thời gian  $T_1$  đầu tiên và trong một thời điểm bất kì thuộc khoảng thời gian  $T_2$ . Trạng thái đèn LED  $s_3$  và  $s_4$  cũng được lấy tương tự. Thực hiện phép toán thao tác bit XOR 101 cho  $s_1$  và  $s_2$  hoặc phép toán thao tác bit XOR 102 cho  $s_3$  và  $s_4$ , ta thu được bit đã được đèn LED của bên phát Tx gửi đi.

Theo phương án này của sáng chế, chương trình phần mềm tại bên phát sử dụng thuật toán nén dữ liệu (Run Length Limited Code – RLL Code) để điều chế bit dữ liệu đầu vào. Thuật toán nén dữ liệu này sẽ giúp cho vi xử lý tại bên phát tạo ra được tín hiệu số điều khiển đèn LED có sự cân bằng điện áp một chiều DC. Khi tín hiệu điện điều khiển LED có sự cân bằng về điện áp, ánh sáng phát ra từ đèn LED 4 sẽ có cường độ không đổi do đó giúp giảm hiện tượng nhấp nháy (flicker) để không gây hại mắt cho người sử dụng. Ngoài ra thuật toán này còn hỗ trợ việc giảm lỗi trong quá trình giải điều chế tại bên thu. Bảng mã hóa dữ liệu bit đầu vào được mô tả trong Bảng 1.

**Bảng 1. Bảng mã hóa bit đầu vào sử dụng thuật toán RLL**

| Bit đầu vào | Ký tự đầu ra |
|-------------|--------------|
| 0           | 00           |
| 1           | 01           |

Một bit đầu vào sẽ được mã hóa thành một ký tự đầu ra bởi khối vi xử lý tại bên phát. Như vậy, mỗi một bit đầu vào sẽ tương ứng với 1 ký tự 2B đầu ra (với mỗi B là một bit trong ký tự đầu ra). Ví dụ: bit đầu vào 0 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 00; tức là ký tự 2B gồm 02 bit 0.

Hình 3 là sơ đồ khối minh họa quá trình điều chế chuỗi bit đầu vào 1 thành tín hiệu số điều khiển của bộ điều khiển LED 3 để điều khiển tín hiệu ánh sáng cho đèn LED 4 bên phát Tx. Toàn bộ quá trình điều chế chuỗi bit đầu vào trên Hình 3 được thực hiện bởi chương trình phần mềm được cài đặt vào khối vi xử lý 2 của bên phát. Theo sáng chế, quá trình điều chế tín hiệu điều khiển ánh sáng cho đèn LED 4 của bên phát Tx sử dụng UT2-PSK theo sáng chế gồm các công đoạn như sau:

Công đoạn 1 (201): gắn thêm phần mở đầu bản tin hay còn gọi là Start of Frame (SF) vào chuỗi bit cần truyền đi 1 để tạo thành bản tin thô theo cấu trúc của một bản tin trong hệ thống sử dụng phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx) (phương pháp UT2-PSK). Theo Hình 4, cấu trúc một bản tin theo phương pháp UT2-PSK cơ bản sẽ bao gồm 2 phần:

- Phần mở đầu bản tin 301 (Start of Frame – SF) là phần giúp camera của bên thu Rx có thể phân biệt sự phân tách của các bản tin trong quá trình giải điều chế.

- Phần dữ liệu 302 (Payload) bao gồm các bit mang nội dung của bản tin, bao gồm cả các trường như mã bảo đảm bản tin, mã sửa lỗi...

Bảng 2 dưới đây minh họa cấu trúc một bản tin được mã hóa theo phương pháp UT2-PSK tại bên phát.

**Bảng 2. Minh họa bản tin theo phương pháp UT2-PSK**

| <b>Phần mở đầu bản tin (SF)</b> | <b>Dữ liệu bản tin (Payload) tối thiểu</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 5 bit<br>(10B khi dùng RLL)     | 2 bit<br>(4B khi dùng RLL)                 |
| 01110<br>(00 01 01 01 00)       | xx*<br>(0x 0x)                             |

\* bit dữ liệu có thể là 0 hoặc 1

Công đoạn 2 (202): mã hóa toàn bộ bản tin thô bằng thuật toán nén dữ liệu RLL trong phần mềm bên phát. Thuật toán nén dữ liệu này được sử dụng để điều chế bit dữ liệu đầu vào để giúp vi xử lý 2a tại bên phát (Tx) tạo ra được tín hiệu

số điều khiển đèn LED có sự cân bằng điện áp một chiều DC, khi tín hiệu điện điều khiển đèn LED có sự cân bằng về điện áp, ánh sáng phát ra từ đèn LED sẽ có cường độ không đổi do đó giúp giảm hiện tượng nhấp nháy để không gây hại mắt cho người sử dụng và hỗ trợ việc giảm lỗi trong quá trình giải điều chế tại bên thu, theo đó một bit đầu vào sẽ được mã hóa thành một ký tự đầu ra, nếu bit đầu vào 0 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 00 và nếu bit đầu vào 1 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 01;

Công đoạn 3 (203): cuối cùng, tham chiếu bit với ký tự để giúp khối vi xử lý tạo ra được các xung vuông điều khiển đèn LED theo nguyên tắc của UT2-PSK (bit 0 tương ứng với ký tự mô tả 2 chuỗi xung vuông On/Off đồng pha với nhau; bit 1 tương ứng với ký tự mô tả 2 chuỗi xung vuông On/Off ngược pha với nhau. Mỗi xung có độ dài tương ứng để bên phát có thể truyền đi tín hiệu ánh sáng tới bên thu với thời gian  $T_{bit}/2$ ), cụ thể như sau:

- Phát 2 tín hiệu xung vuông đồng pha để truyền bit 0 đến bộ điều khiển đèn LED 3, mỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{bit}/2$ .

- Phát 2 tín hiệu xung vuông ngược pha để truyền bit 1 đến bộ điều khiển đèn LED 3, mỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{bit}/2$ .

Tốc độ bit của hệ thống truyền thông ánh sáng không dây cơ bản sử dụng camera và phương pháp UT2-PSK được xác định theo công thức:

$$R_{UT2-PSK} = f_{cap}/N \quad (5)$$

Trong đó:  $R_{UT2-PSK}$  là tốc độ bit của hệ thống;

$f_{cap}$  là tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx (FPS);

$N$  là số ảnh cần chụp để giải mã 1 bit.

Nếu một hệ thống truyền thông ánh sáng không dây sử dụng camera và phương pháp UT2-PSK sử dụng camera của bên thu Rx có tốc độ khung hình là 30 FPS, thì khi đó, tốc độ bit của hệ thống thu được lớn nhất sẽ là 15 bps (bit trên giây).

Bên phát sẽ điều chế tín hiệu ánh sáng với xung nhịp đồng hồ (Optical clock rate) từ 10Hz trở lên nhằm hỗ trợ các camera có tốc độ khung hình thấp (khoảng 10 FPS) trên thị trường hiện nay.



Các bản tin sẽ được truyền liên tục từ bên phát đến bên thu. Mỗi bản tin được truyền trong thời gian là  $T_{\text{packet}}$ .

$$T_{\text{packet}} = N * T_{\text{bit}} \quad (6)$$

Trong đó:  $T_{\text{bit}}$  là thời gian để đèn LED truyền đi 1 bit.

$N$  là số lượng bit trong 1 bản tin.

Mỗi bản tin có thể được lặp lại một số lần nhất định tùy thuộc vào yêu cầu về độ chính xác của bên thu trong quá trình giải điều chế chuỗi bit dữ liệu truyền đến từ bên phát trong từng trường hợp sử dụng cụ thể.

Hình 5 minh họa quy trình giải điều chế tín hiệu ánh sáng theo phương pháp UT2-PSK tại bên thu Rx theo sáng chế. Theo đó, quá trình giải điều chế theo phương pháp UT2-PSK theo sáng chế gồm 6 công đoạn như sau:

Công đoạn 1 (401): Camera/cảm biến hình ảnh 7 của bên thu Rx chụp ảnh và rà soát trên ảnh khu vực có dữ liệu của đèn LED 4 của bên phát Tx đồng thời khoanh vùng khu vực đó. Vùng đèn LED mà camera/cảm biến hình ảnh 7 của bên thu Rx phát hiện được có mang dữ liệu truyền từ đèn LED 4 của bên phát Tx được gọi là vùng RoI (Region-of-Interest).

Công đoạn 2 (402): khối vi xử lý 8 của bên thu Rx thực hiện giai đoạn tiền xử lý dữ liệu truyền từ đèn LED 4 của bên phát Tx theo trình tự sau:

- Giảm mẫu (down-sampling): nhằm xác định tốc độ lấy mẫu dựa theo hệ số giảm mẫu  $K$  giữa đèn LED 4 của bên phát Tx và camera/cảm biến hình ảnh 7 của bên thu Rx. Mỗi quan hệ giữa hệ số giảm mẫu  $K$ , tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx và tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx được xác định như sau:

$$f_{\text{bit}} = K * f_{\text{cap}} \quad (7)$$

Trong đó:  $f_{\text{bit}}$  là tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx ( $f_{\text{bit}} = 1/T_{\text{bit}}$ ) (Hz);

$F_{\text{cap}}$  là tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx (FPS);

$K$  là hệ số giảm mẫu.

Việc giảm mẫu được thực hiện bằng cách bên phát lặp lại việc truyền 1 bit 1 số  $K$  lần. Ví dụ minh họa: khi tần số phát sáng của đèn LED của bên phát là

90Hz và tốc độ khung hình của camera của bên thu là 30 FPS, ta có hệ số giảm mẫu  $K = 3$ . Khi đó, để bên phát truyền bit 0 hoặc bit 1 đến bên thu, bên phát sẽ phải truyền bit 0 ba lần tương ứng với tổng thời gian truyền đi 1 bit đến bên thu là  $3T_{\text{bit}}$ .

- Chuẩn hóa mẫu: Một vùng RoI trên ảnh chụp thu được bởi camera của bên thu Rx có thể bao gồm nhiều điểm ảnh với giá trị độ sáng khác nhau. Khối vi xử lý 8 tại bên thu sẽ tính ra giá trị độ sáng trung bình của đèn LED tại thời điểm được chụp và sử dụng giá trị đó để xác định trạng thái đèn LED tại thời điểm đó là sáng hay tắt.

Công đoạn 3 (403): Khối vi xử lý 8 của bên thu Rx xác định các trạng thái của đèn LED 4 do camera 7 thu được từ bên phát (Ví dụ: trạng thái 1 khi đèn LED sáng, trạng thái 0 khi đèn LED tắt). Sau đó, chương trình phần mềm của khối vi xử lý 8 áp dụng việc kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) vào các trạng thái đèn đã xác định được. Phương pháp này được đề xuất nhằm hỗ trợ bên thu Rx giải mã bit trong trường hợp camera bị rung lắc hoặc thay đổi vị trí trong quá trình giải điều chế, do trong một chu kỳ truyền bit dữ liệu  $T_{\text{bit}}$ , đèn LED được camera của bên thu lấy mẫu 2 lần.

Công đoạn 4 (404): khối vi xử lý 8 của bên thu Rx xác định vị trí phần mở đầu bản tin SF của bản tin dựa vào hệ số giảm mẫu  $K$  và định dạng phần dữ liệu bản tin SF đã được quy định cấu trúc bản tin theo phương pháp UT2-PSK, với phần mở đầu bản tin được thiết kế sao cho bên thu sau khi lấy mẫu, có thể dễ dàng phân biệt được giữa phần mở đầu bản tin và phần nội dung khung tin nhưng vẫn có độ dài tối thiểu, cụ thể là phần mở đầu bản tin sẽ bao gồm số lượng bit 1 và bit 0 nhiều hơn độ dài tối đa của chuỗi bit 1 hoặc bit 0 có thể có trong phần nội dung khung tin, khi phần nội dung khung tin đã được mã hóa.

Công đoạn 5 (405): camera 7 của bên thu Rx tiếp tục xác định vị trí phần dữ liệu (payload) của bản tin.

Công đoạn 6 (406): khối vi xử lý 8 của bên thu Rx giải mã phần dữ liệu bản tin.

Theo phương án này của sáng chế, trong bước giải điều chế theo sáng chế, áp dụng việc kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) sẽ hỗ trợ khối vi xử lý của bên thu Rx giải mã dữ liệu trong trường hợp đèn LED của bên phát Tx bị rung lắc hoặc thay đổi vị trí trong quá trình giải mã.

Đối với camera màn trập toàn phần (global shutter), hiện tượng thay đổi vị trí của đèn LED trong quá trình giải điều chế không ảnh hưởng đến kết quả điều chế (chống rung). Do vậy, phương pháp này được đề xuất chủ yếu dành cho camera màn trập màn hình (rolling shutter).

Hình 6 minh họa quá trình lấy mẫu của camera 7 của bên thu Rx trong trường hợp thay đổi vị trí của đèn LED 4 trong quá trình chụp ảnh. Ảnh chụp bởi camera màn trập màn hình sẽ có độ trễ nhất định do ảnh hưởng của tốc độ quét màn hình của cảm biến hình ảnh. Do đó, khi đèn LED 4 bị thay đổi vị trí theo chiều quét màn hình 502 của cảm biến trong camera, trạng thái của đèn LED 4 được chụp từ camera 7 cũng sẽ thay đổi khi đèn LED 4 nháy với tần số 501 bởi thời điểm lấy mẫu trạng thái đèn LED đã bị thay đổi từ T1 thành T2.

Quá trình kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR theo miền thời gian gồm các công đoạn sau:

Công đoạn 1: Camera/cảm biến hình ảnh của bên thu Rx chụp liên tiếp 4 ảnh đèn LED của bên phát Tx.

Công đoạn 2: camera của bên thu Rx xác định cụ thể trạng thái của đèn LED của bên phát Tx trong 4 ảnh đã chụp xem là phần tử nhị phân 0 hay 1.

Công đoạn 3: Thực hiện phép toán thao tác bit XOR giữa trạng thái đèn LED của 2 ảnh đầu tiên để thu được kết quả là trạng thái X là 0 hoặc 1 và phép toán thao tác bit XOR giữa 2 trạng thái đèn LED của 2 ảnh cuối cùng đã chụp thu được kết quả là trạng thái Y (là 0 hoặc 1).

Công đoạn 4: Thực hiện phép toán thao tác bit XOR giữa X và Y để thu được bit dữ liệu đã truyền từ đèn LED của bên phát Tx.

Hình 7 minh họa quá trình thực hiện việc kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian để giải mã hóa 1 bit truyền đến từ đèn LED của bên phát Tx:

Camera 7 chụp 4 ảnh liên tiếp trạng thái đèn LED từ 601 đến 604.

Trạng thái của đèn LED được camera của bên thu Rx xác định lần lượt từ 4 ảnh từ 601 đến 604 là  $s_1, s_2, s_3, s_4$ .

Thực hiện phép toán thao tác bit XOR-1 (605) giữa  $s_1$  và  $s_2$  ta thu được trạng thái  $S_{12}$ .

Thực hiện phép toán thao tác bit XOR-2 (606) giữa  $s_3$  và  $s_4$ , ta thu được trạng thái  $S_{34}$ .

Thực hiện phép toán thao tác bit XOR tổng (607) giữa  $S_{12}$  và  $S_{34}$ , ta thu được bit dữ liệu đã truyền từ đèn LED 4 của bên phát Tx.

Hình 8 và Hình 9 minh họa tác dụng của bước giải điều chế sử dụng phép toán thao tác bit XOR theo miền thời gian trong trường hợp đèn LED của bên phát Tx bị thay đổi vị trí/rung lắc dẫn đến thay đổi thời điểm lấy mẫu trạng thái đèn LED từ camera màn trập màn hình (rolling shutter). Dễ dàng thấy, khi thời điểm lấy mẫu thay đổi từ  $T_{\text{sample}}$  trong Hình 8 đến  $T_{\text{sample}} + \Delta t$  trong Hình 9, qua các phép toán thao tác bit XOR từ (701) đến (703) và từ (801) đến (803), bit dữ liệu cuối cùng vẫn được giải mã với kết quả giống nhau trong cả hai trường hợp.

### **Yêu cầu bảo hộ**

1. Phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx), bao gồm các bước:

(i) điều chế pha của ánh sáng cho đèn LED (4) của bên phát (Tx) gồm các công đoạn:

công đoạn 1 (201): gán thêm phần mở đầu bản tin hay còn gọi là Start of Frame (SF) vào chuỗi bit cần truyền đi 1 để tạo thành bản tin thô theo cấu trúc của một bản tin trong hệ thống sử dụng phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx), cấu trúc này về cơ bản bao gồm hai phần:

phần mở đầu bản tin (SF) là phần giúp camera (7) của bên thu (Rx) có thể phân biệt sự phân tách của các bản tin trong quá trình giải điều chế;

phần dữ liệu bao gồm các bit mang nội dung của bản tin, bao gồm cả các trường như mã bảo đảm bản tin, mã sửa lỗi;

công đoạn 2 (202): mã hóa toàn bộ bản tin thô bằng thuật toán nén dữ liệu RLL (Run Length Limited) trong phần mềm bên phát, thuật toán nén dữ liệu này được sử dụng để điều chế bit dữ liệu đầu vào để giúp vi xử lý (2a) tại bên phát (Tx) tạo ra được tín hiệu số điều khiển đèn LED có sự cân bằng điện áp một chiều DC, khi tín hiệu điện điều khiển đèn LED có sự cân bằng về điện áp, ánh sáng phát ra từ đèn LED sẽ có cường độ không đổi do đó giúp giảm hiện tượng nhấp nháy để không gây hại mắt cho người sử dụng và hỗ trợ việc giảm lỗi trong quá trình giải điều chế tại bên thu, theo đó một bit đầu vào sẽ được mã hóa thành một ký tự đầu ra, nếu bit đầu vào 0 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 00 và nếu bit đầu vào 1 sẽ được mã hóa thành ký tự 2B là 01;

công đoạn 3 (203): tham chiếu bit với ký tự để giúp khối vi xử lý tạo ra được các xung vuông điều khiển đèn LED (4) sáng/tắt, các xung vuông được tạo ra từ bộ điều khiển LED (3) ở bên phát (Tx) sao cho tín hiệu ánh sáng (sáng/tắt) phát ra từ đèn LED (4) ở bên phát (Tx) đồng pha hoặc ngược pha theo miền thời

gian, tương ứng với mỗi bit đầu vào cần truyền đi ở bên phát (Tx), khối vi xử lý (2) nhận các bit đầu vào này và điều chế thành tín hiệu điện gồm các xung vuông đồng pha hoặc ngược pha nhau, các xung này sẽ được bộ điều khiển LED (3) xử lý thành tín hiệu điện phù hợp để điều khiển hoạt động của đèn LED (4), mỗi xung có độ dài tương ứng để bên phát (Tx) có thể truyền đi tín hiệu ánh sáng tới bên thu (Rx) với thời gian  $T_{\text{bit}}/2$ , cụ thể như sau:

để điều khiển đèn LED (4) truyền đi bit 0, phát 2 chuỗi tín hiệu xung vuông tuần tự đồng pha đến bộ điều khiển đèn LED (3), mỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{\text{bit}}/2$ ;

để điều khiển đèn LED (4) truyền đi bit 1, phát 2 chuỗi tín hiệu xung vuông tuần tự ngược pha đến bộ điều khiển đèn LED (3), mỗi chuỗi xung được truyền trong thời gian  $T_{\text{bit}}/2$ ;

(ii) giải điều chế tín hiệu ánh sáng bằng cách cho camera (7) của bên thu (Rx) chụp hai ảnh liên tiếp để thu lại trạng thái pha của tín hiệu ánh sáng (6) được truyền đi từ bên phát (Tx), trong ảnh thu được, nếu đèn LED (4) sáng, giá trị nhị phân (binary) được quy định là 1 và nếu đèn LED (4) tắt, giá trị nhị phân được quy định là 0; trong đó bước giải điều chế tín hiệu ánh sáng này bao gồm các công đoạn:

công đoạn 1 (401): camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx) chụp ảnh và rà soát trên ảnh khu vực có dữ liệu của đèn LED của bên phát (Tx) đồng thời khoanh vùng khu vực đó, vùng đèn LED mà camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx) phát hiện được có mang dữ liệu truyền từ đèn LED của bên phát (Tx) được gọi là vùng RoI (Region-of-Interest);

công đoạn 2 (402): khối vi xử lý của bên thu (Rx) thực hiện giai đoạn tiền xử lý dữ liệu truyền từ đèn LED (4) của bên phát (Tx) thông qua các việc:

giảm mẫu: nhằm xác định tốc độ lấy mẫu dựa theo hệ số giảm mẫu K giữa đèn LED của bên phát (Tx) và camera/cảm biến hình ảnh của bên thu (Rx), mối quan hệ giữa hệ số giảm mẫu K, tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx và tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx được xác định như sau:

$$f_{\text{bit}} = K * f_{\text{cap}}$$

trong đó:  $f_{\text{bit}}$  là tần số phát sáng của đèn LED của bên phát Tx ( $f_{\text{bit}} = 1/T_{\text{bit}}$ ) (Hz);

$f_{\text{cap}}$  là tốc độ khung hình của camera của bên thu Rx (FPS);

K là hệ số giảm mẫu;

giảm mẫu bằng cách bên phát (Tx) lặp lại việc truyền 1 bit 1 số K lần;

chuẩn hóa mẫu: một vùng RoI trên ảnh chụp thu được bởi camera của bên thu (Rx) có thể bao gồm nhiều điểm ảnh với giá trị độ sáng khác nhau, vì xử lý (2a) tại bên thu (Rx) sẽ tính ra giá trị độ sáng trung bình của đèn LED tại thời điểm được chụp và sử dụng giá trị đó để xác định trạng thái đèn LED tại thời điểm đó là sáng hay tắt;

công đoạn 3 (403): khối vi xử lý (8) của bên thu (Rx) xác định các trạng thái của đèn LED (4) từ bên phát (Tx) dựa trên các ảnh chụp trạng thái đèn LED thực hiện bởi camera (7) rồi kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) vào các trạng thái đèn đã xác định được nhằm hỗ trợ camera của bên thu (Rx) giải mã bit trong trường hợp camera có tốc độ khung hình bị biến thiên, camera bị rung lắc, hoặc thay đổi vị trí trong quá trình giải điều chế;

công đoạn 4 (404): khối vi xử lý (8) của bên thu (Rx) xác định vị trí phần mở đầu bản tin (SF) của bản tin dựa vào hệ số giảm mẫu K và định dạng phần dữ liệu bản tin theo quy định về cấu trúc bản tin với phần mở đầu bản tin được thiết kế sao cho bên thu sau khi lấy mẫu, có thể dễ dàng phân biệt được giữa phần mở đầu bản tin và phần nội dung khung tin nhưng vẫn có độ dài tối thiểu, cụ thể là phần mở đầu bản tin sẽ bao gồm số lượng bit 1 và bit 0 nhiều hơn độ dài tối đa của chuỗi bit 1 hoặc bit 0 có thể có trong phần nội dung khung tin, khi phần nội dung khung tin đã được mã hóa;

công đoạn 5 (405): camera (7) của bên thu (Rx) tiếp tục xác định vị trí phần dữ liệu của bản tin;

công đoạn 6 (406): khối vi xử lý (8) của bên thu (Rx) giải mã phần dữ liệu bản tin.

2. Phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx) theo điểm 1, trong đó việc áp dụng kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR trên miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) trong bước giải điều chế dùng cho màn trập màn hình.

3. Phương pháp điều chế và giải điều chế pha có giảm mẫu theo miền thời gian bằng kỹ thuật giảm mẫu cho ánh sáng nhìn thấy sử dụng với đèn LED của bên phát (Tx) và camera của bên thu (Rx) theo điểm 1, trong đó việc kiểm tra chéo bằng cách sử dụng phép toán thao tác bit XOR theo miền thời gian (Temporal Crosscheck-XOR) gồm các công đoạn sau:

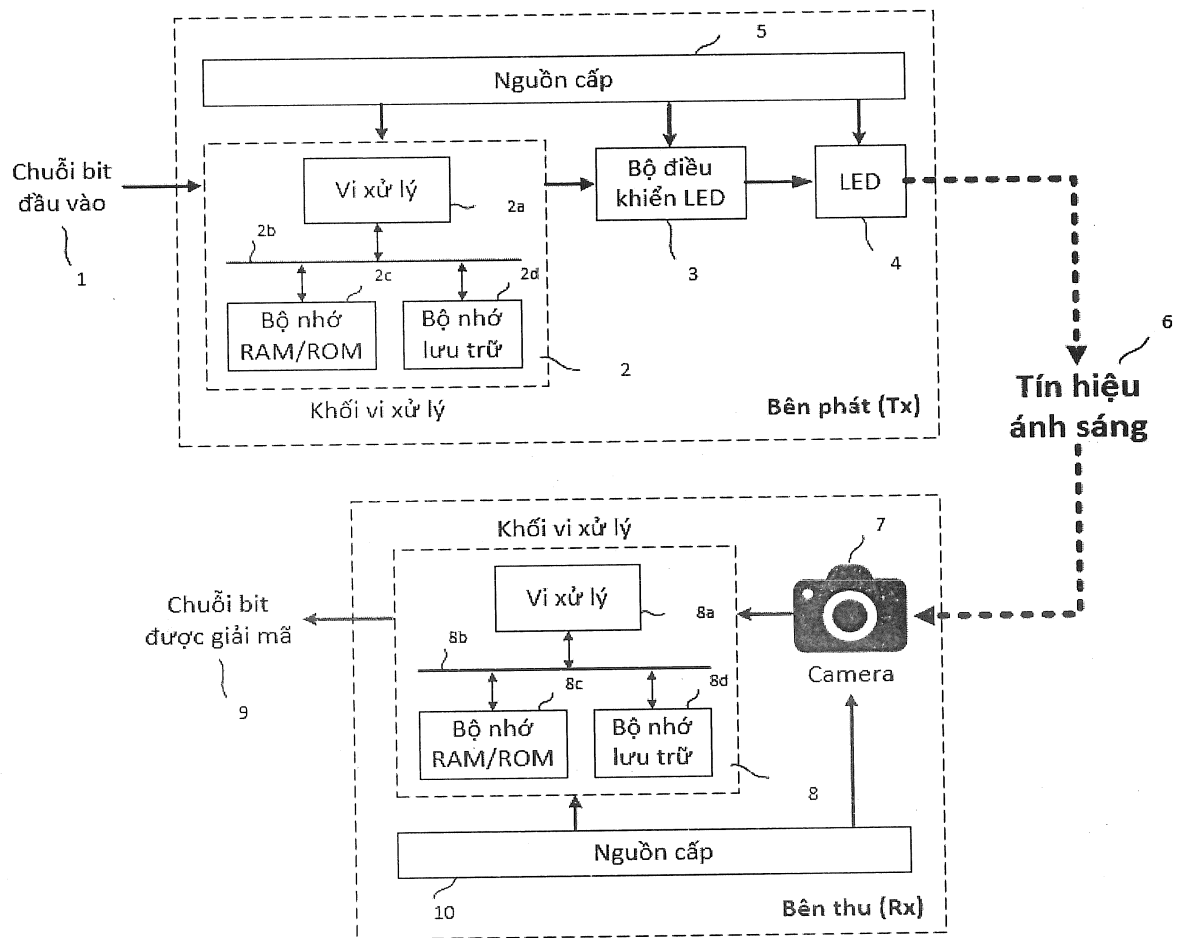
công đoạn 1: camera/cảm biến hình ảnh chụp liên tiếp 4 ảnh đèn LED của bên phát (Tx);

công đoạn 2: camera của bên thu (Rx) xác định cụ thể trạng thái của đèn LED của bên phát (Tx) trong 4 ảnh đã chụp xem là phân tử nhị phân bit 0 hay 1;

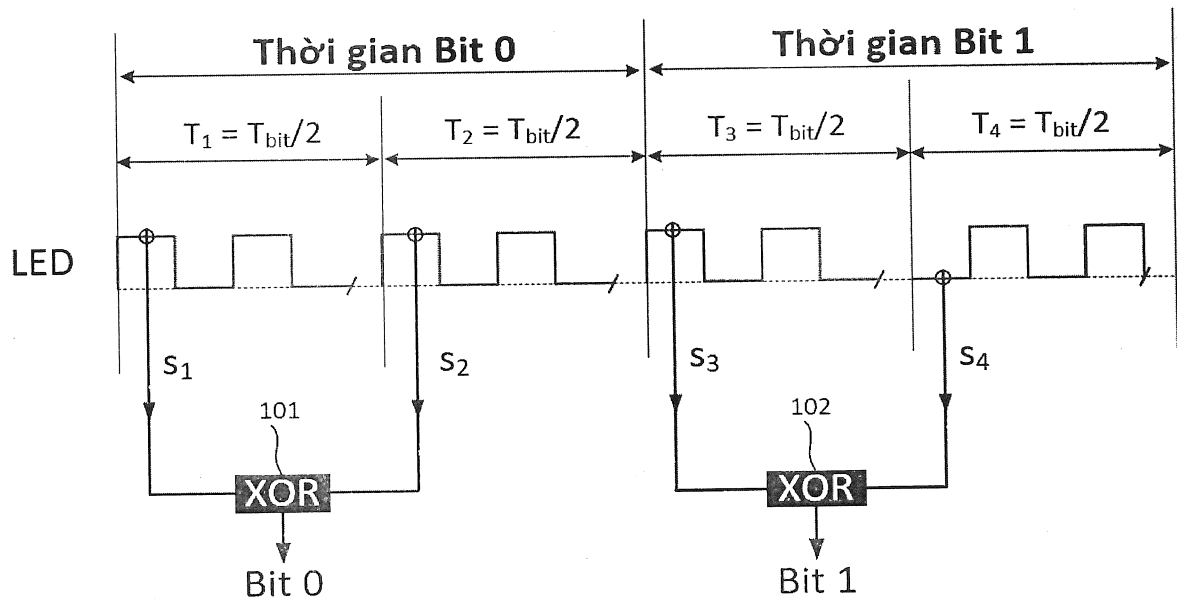
công đoạn 3: thực hiện phép toán thao tác bit XOR giữa trạng thái đèn LED của 2 ảnh đầu tiên để thu được kết quả là trạng thái X là 0 hoặc 1 và phép toán thao tác bit XOR giữa 2 trạng thái đèn LED của 2 ảnh cuối cùng đã chụp thu được kết quả là trạng thái Y (là 0 hoặc 1);

công đoạn 4: thực hiện phép XOR giữa X và Y để thu được bit dữ liệu đã truyền từ đèn LED của bên phát (Tx).

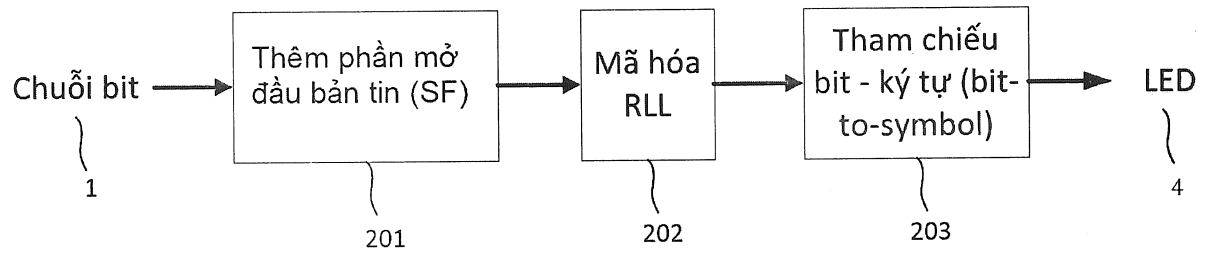




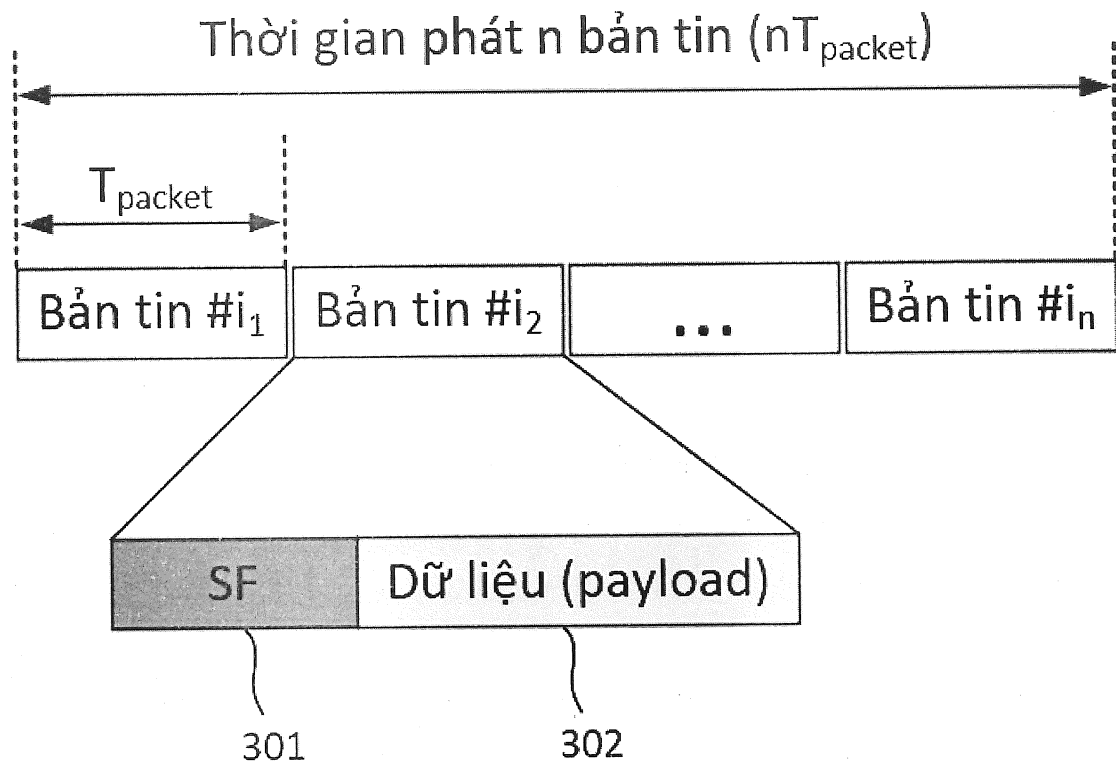
Hình 1



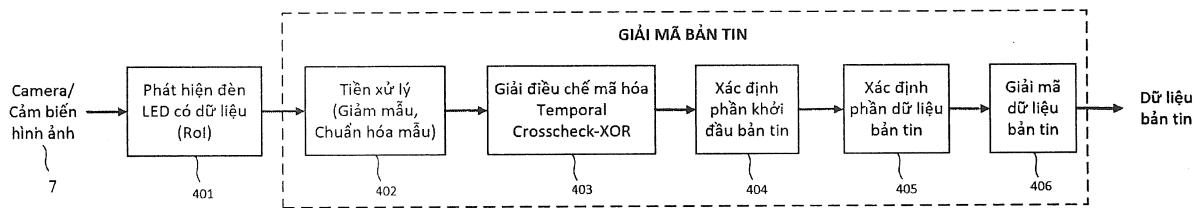
Hình 2



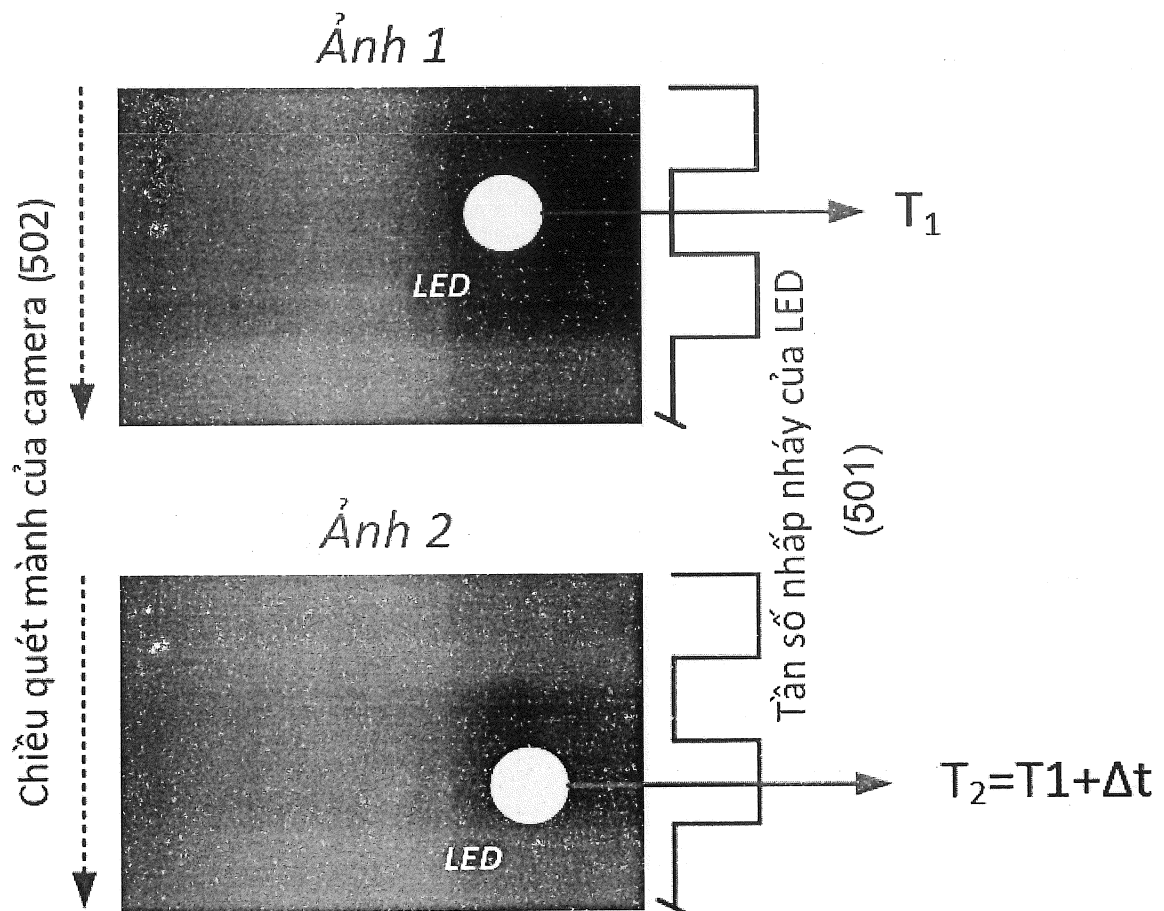
Hình 3



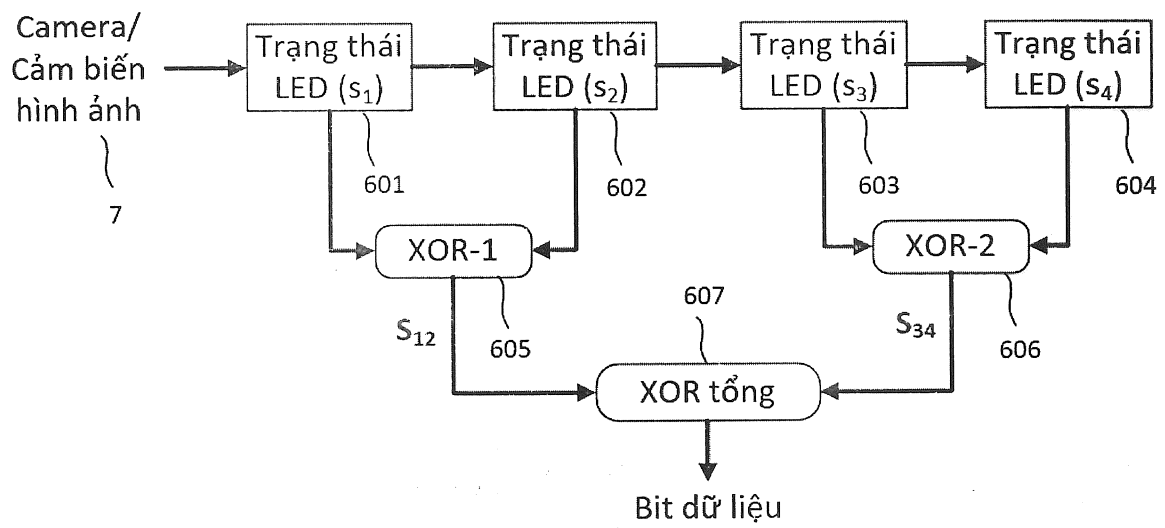
Hình 4



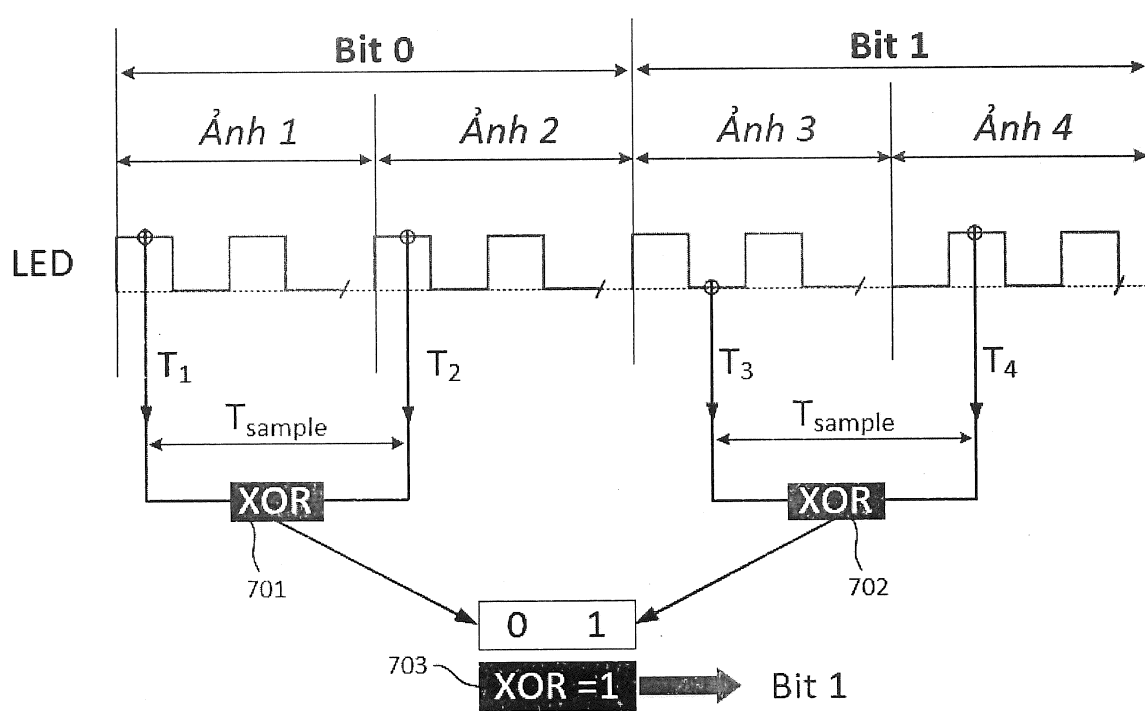
Hình 5



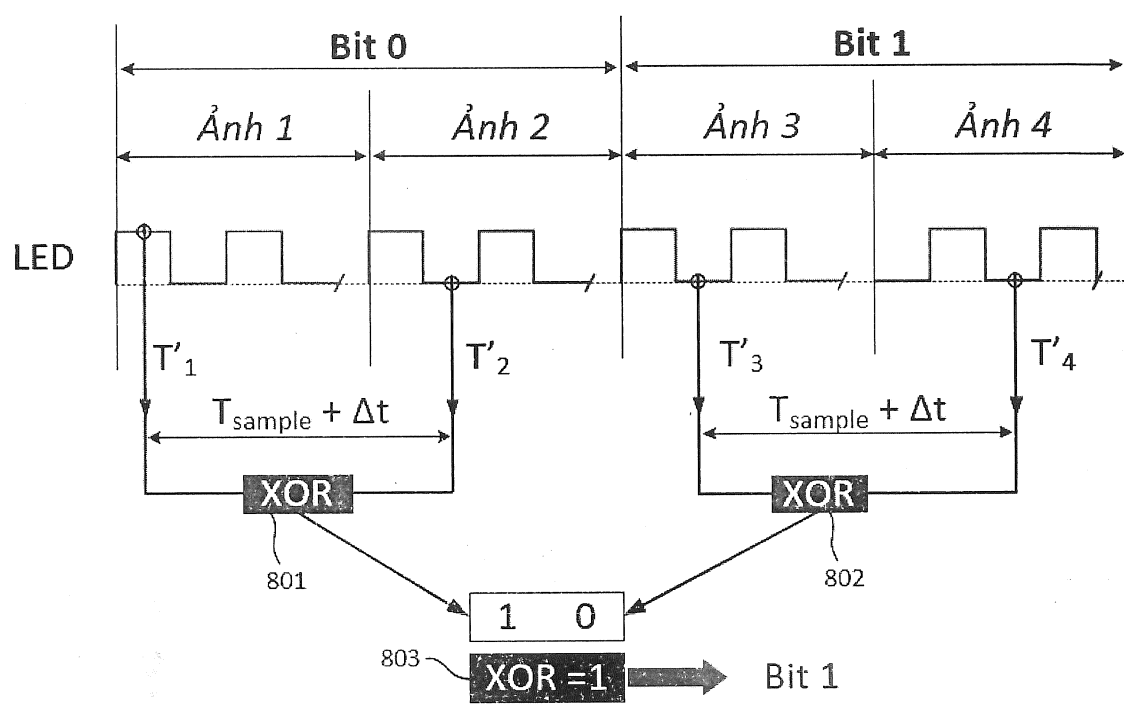
Hình 6



Hình 7



Hình 8



Hình 9