



(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)



1-0053707

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

(13) B

---

(21) 1-2021-06944

(22) 01/11/2021

(45) 25/11/2025 452

(43) 25/01/2022 406A

(73) Công ty CP Ánh sáng số HUEPRESS (VN)

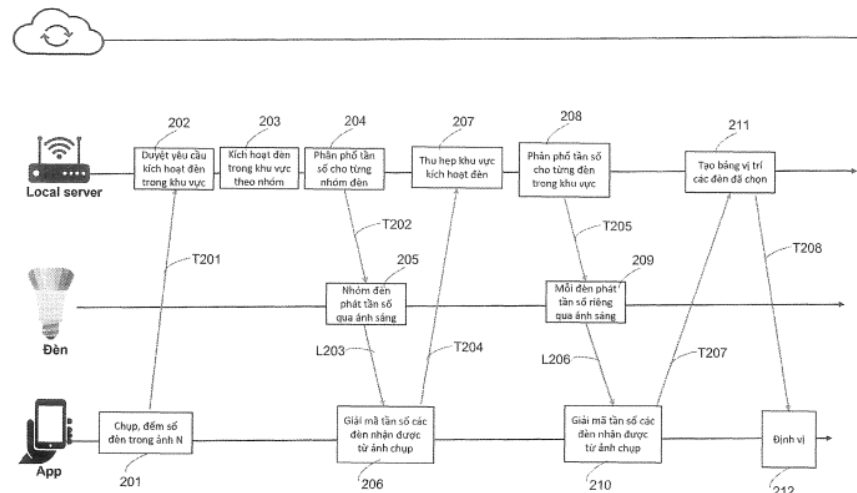
Số 50 Ngõ 73 Nguyễn Trãi, Phường Khương Trung, Quận Thanh Xuân, Hà Nội

(72) Nguyễn Văn Tràng (VN).

---

(54) HỆ THỐNG VÀ QUY TRÌNH ĐỊNH VỊ ĐIỆN THOẠI SỬ DỤNG ĐÈN THÔNG  
MINH VÀ PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN DỮ LIỆU ÁNH SÁNG THEO CHUẨN LIFI

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống định vị vị trí của điện thoại thông minh (smartphone) sử dụng các đèn thông minh có kết nối WiFi và camera điện thoại. Công nghệ phát dữ liệu thông qua kênh ánh sáng (LiFi) sử dụng phương pháp điều chế tần số được đề xuất và áp dụng cho các đèn thông minh có sẵn chip WiFi. Tính năng LiFi phục vụ cho việc nhận diện đèn bởi ứng dụng (app). Các quy trình định vị trong hệ thống trên được mô tả chi tiết, hoàn thiện các bước cho tương tác giữa các thành phần của hệ thống, bao gồm: (i) Quy trình rút gọn được thiết kế tối ưu cho trường hợp số lượng đèn trong hệ thống là nhỏ so với số lượng tần số được phép sử dụng (số lượng tần số này bị giới hạn bởi tham số băng thông của camera trên thị trường); (ii) Ngoài ra, quy trình tổng thể được thiết kế nhằm đảm bảo được hệ thống hoạt động trong trường hợp số lượng đèn là lớn hơn số lượng tần số được phép sử dụng. Sáng chế cũng đề xuất phương pháp phân chia nhóm đèn và phân bổ tần số cho từng nhóm đèn cho phép ứng dụng (app) có thể nhận diện đèn chỉ bằng một ảnh chụp; đồng thời đảm bảo rằng hệ thống định vị luôn hoạt động bất kể số lượng đèn trong hệ thống có lớn tới đâu.



Hình 2

### **Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập**

Sáng chế đề cập tới hệ thống và quy trình định vị vị trí của điện thoại thông minh (smartphone) sử dụng các đèn thông minh có kết nối WiFi. Công nghệ phát dữ liệu thông qua kênh ánh sáng nhờ điều chế tần số được đề xuất và áp dụng cho các đèn thông minh có sẵn tính năng WiFi. Các quy trình và phương pháp định vị được đề xuất cho việc sử dụng các đèn để định vị vị trí của điện thoại.

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

Các đèn thông minh trên thị trường chỉ đơn giản là có khả năng điều khiển được độ sáng và màu sắc thông qua ứng dụng. Hiện chưa có sản phẩm đèn thông minh nào có tính năng hỗ trợ định vị chính xác vị trí của điện thoại thông qua camera và kênh phát dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi. Để thực hiện hóa phương pháp định vị điện thoại dựa trên camera và công nghệ LiFi, cần phải kết hợp nhiều yếu tố, bao gồm đèn thông minh, ứng dụng, công nghệ WiFi, công nghệ LiFi dành riêng cho camera, và công nghệ tính toán vị trí của camera thông qua vị trí của các đèn.

Hiện nay, chuẩn ánh sáng không dây IEEE 802.15.7-2018 [1] đã đề xuất các phương pháp truyền phát dữ liệu bằng việc điều chế ánh sáng, trong đó camera được sử dụng để nhận dữ liệu. Tuy nhiên, chuẩn này cũng không đề cập đến việc sử dụng ánh sáng cho định vị điện thoại.

Có nhiều phương pháp điều chế tín hiệu để phát qua kênh ánh sáng như đã đề cập ở chuẩn IEEE 802.15.7-2018 ví dụ như điều chế tắt mở On-Off-Keying (OOK) hay điều chế dịch tần Frequency-Shift-Keying (FSK) [1]. Tuy nhiên, việc điều chế tần số (hoặc điều chế dịch tần) đem lại tỉ lệ lỗi đường truyền thấp hơn so với OOK, và tốc độ truyền dữ liệu cũng vừa phải. Các phương pháp điều chế tần số trong chuẩn này lại chưa phù hợp cho việc phát mã định danh của đèn trong hệ thống nhằm phục vụ cho việc định vị. Thực tế, chưa có phương pháp điều chế nào trong chuẩn IEEE 802.15.7-2018 có thể cho phép camera phân biệt được các đèn chỉ bằng một ảnh chụp. Hệ thống đề xuất có thể làm được điều này bằng các phương pháp phân bổ tần số cho đèn và nhóm đèn một cách tối ưu. Không những thế, hệ thống đề xuất còn hỗ trợ cho số lượng đèn không giới hạn với nhiều trường hợp khác nhau.

Đã có nhiều nghiên cứu quốc tế mới nhất hiện nay đề cập tới việc sử dụng LiFi và camera cho định vị điện thoại [2]. Tương tự, có nhiều phương pháp tính toán vị trí của camera thông qua vị trí của các đèn [2]. Tuy nhiên, do chỉ dừng lại ở nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, nên chưa một nghiên cứu nào đề cập cụ thể tới việc làm thế nào để sử

dùng đèn thông minh cho việc định vị này. Vì vậy, cần có Chính vì đó, một hệ thống định vị sử dụng bóng đèn thông minh, kèm theo quy trình định vị và phương pháp phân bổ tài nguyên tần số cho điều chế ánh sáng được đề xuất một cách chi tiết trong sáng chế này.

Các tài liệu trích dẫn:

[1] Chuẩn IEEE 802.15.7-2018, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks–Part 15.7: Short-Range Optical Wireless Communications," xuất bản năm 2018.

[2] Do, Trong-Hop, and Myungsik Yoo. 2016. "An in-Depth Survey of Visible Light Communication Based Positioning Systems" *Sensors* 16, no. 5: 678.

<https://doi.org/10.3390/s16050678>

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

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống định vị sử dụng bóng đèn thông minh, kèm theo quy trình định vị và phương pháp phân bổ tài nguyên tần số để điều chế ánh sáng thực.

Hệ thống định vị vị trí của điện thoại sử dụng camera để nhận tín hiệu ánh sáng phát ra từ một vài đèn (hai đèn trở lên cho trường hợp định vị 2D, ba đèn trở lên cho trường hợp định vị 3D), sau đó dựa theo vị trí của các đèn để tính ra vị trí của camera. Hệ thống này bao gồm điện thoại có camera và được cài đặt ứng dụng (app), đèn thông minh có kết nối WiFi, WiFi gateway, và máy chủ.

Để phân biệt tín hiệu ánh sáng phát ra nhiều đèn, phương pháp điều chế tần số được sử dụng cho mỗi đèn. Mỗi đèn sẽ được phân một tần số cố định và nó thực hiện việc phát lặp đi lặp lại tần số này cho tới khi được phân một tần số khác. Khi mỗi đèn được gán một tần số riêng, tần số này sẽ tương ứng với một mã định danh của đèn trong toàn bộ hệ thống đèn. Tuy nhiên, đối với hệ thống số lượng đèn nhiều hơn số lượng tần số cho phép, thì việc tái sử dụng một tần số cho nhiều đèn sẽ được đề xuất, tuân theo phương pháp phân nhóm đèn và quy trình phân bổ tần số.

Ngoài tín hiệu ánh sáng là tín hiệu điều chế tần số được phát qua kênh ánh sáng (LiFi) từ đèn tới camera, tất cả các giao tiếp còn lại giữa ứng dụng (app), đèn, gateway và máy chủ đều được thực hiện thông qua WiFi. Sau khi ứng dụng (app) nhận diện được chính xác các đèn, máy chủ sẽ gửi thông tin về vị trí của các đèn này tới cho app; sau đó app có thể tính toán ra vị trí thực của điện thoại.

Cụ thể, để thực hiện định vị, các quy trình thực hiện được đề xuất như mô tả dưới đây.

Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi được rút gọn cho trường hợp số lượng đèn là ít như sau:

- i) ứng dụng (app) bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp, sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị lên cho máy chủ;
- ii) máy chủ duyệt yêu cầu định vị của ứng dụng (app);
- iii) máy chủ kích hoạt toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh ứng dụng;
- iv) máy chủ phân bổ tần số lần cho toàn bộ các đèn đã được kích hoạt, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt;
- v) các đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng;
- vi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được;
- vii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- viii) máy chủ phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận;
- ix) ứng dụng sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp và vị trí thực của các đèn để truy ra vị trí thực của điện thoại.

Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi bao gồm đầy đủ các bước sau:

- i) ứng dụng (app) bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp, sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị lên cho máy chủ;
- ii) máy chủ duyệt yêu cầu định vị của ứng dụng (app);
- iii) máy chủ kích hoạt toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh ứng dụng;
- iv) máy chủ phân bổ tần số lần thứ nhất cho toàn bộ đèn trong khu vực bằng cách chia chúng thành các nhóm liên kề nhau, và mỗi nhóm sẽ được cấp chung một tần số;
- v) các đèn trong một nhóm đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng;
- vi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã các tần số của các đèn chụp được;
- vii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- viii) máy chủ thực hiện thu hẹp khu vực kích hoạt đèn dựa theo danh sách tần số gửi từ ứng dụng;
- ix) máy chủ phân bổ tần số lần thứ hai cho khu vực đèn đã được thu hẹp, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt;
- x) các đèn khu vực kích hoạt sẽ điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng;
- xi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ ba, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được;

- xii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- xiii) máy chủ phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận;
- xiv) ứng dụng sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp và vị trí thực của các đèn để truy ra vị trí thực của điện thoại.

### **Mô tả vắn tắt các hình vẽ**

Hình 1 là hình vẽ minh họa thành phần của hệ thống định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh, camera, và LiFi.

Hình 2 là hình vẽ minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ nội bộ, trong trường hợp số lượng đèn lớn.

Hình 3 là hình vẽ minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ nội bộ, trong trường hợp số lượng đèn nhỏ.

Hình 4 là hình vẽ minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ đám mây, trong trường hợp số lượng đèn lớn.

Hình 5 là hình vẽ minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ đám mây, trong trường hợp số lượng đèn nhỏ.

Hình 6 là hình vẽ minh họa quy trình phân Nhóm đèn cho một khu vực nhiều đèn.

Hình 7 là hình vẽ minh họa các ví dụ về việc phân bổ tần số cho các Nhóm đèn trong các trường hợp số lượng đèn khác nhau.

Hình 8 là hình vẽ minh họa một ví dụ về quy trình phân bổ tần số và nhận diện đèn thông qua tần số phát của đèn qua LiFi.

Hình 9 là hình vẽ minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại, bao gồm đèn, camera, và các thông tin vị trí trong các hệ tọa độ khác nhau.

Hình 10 là hình vẽ minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại, trong đó có chứa các tham số toán học.

Hình 11 là hình vẽ minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại, trong đó chú tâm tới vị trí của các đèn trong hai hệ tọa độ khác nhau (hệ 3D thực và hệ 2D của ảnh).

Hình 12 là hình vẽ thể hiện so sánh các phương pháp định vị sử dụng camera và đèn chiếu sáng có LiFi.

Hình 13 là hình vẽ minh họa cho ảnh chụp của hai đèn khác nhau đang phát tần số qua kênh ánh sáng.

### **Mô tả chi tiết sáng chế**

Sau đây, sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dựa vào các hình vẽ kèm theo.

Trước hết, đối với việc định danh đèn qua camera của điện thoại thông minh, để thu được thông tin định danh của đèn, camera chỉ cần chụp một ảnh trong đó có đèn (hoặc các đèn). Khi các đèn đang phát các tần số khác nhau thông qua kênh ánh sáng (mỗi tần số sẽ tương ứng với mã định danh của đèn trong hệ thống nhiều đèn), thì ảnh chụp các đèn sẽ có các vân gợn với các tần số tương ứng; từ đó mà camera có thể phân biệt được các đèn.

Hình 13 thể hiện hai trường hợp ảnh chụp tương ứng với hai đèn khác nhau đang phát với hai tần số khác nhau qua kênh ánh sáng (LiFi). Trong trường hợp này, các vân tần số của hai đèn sẽ khác nhau (độ thưa của vân trên ảnh tỉ lệ thuận với chu kỳ của tín hiệu đang phát), do đó mà camera có thể phân biệt được hai đèn.

Sau khi phân biệt được các đèn, camera thông qua kênh WiFi sẽ gửi thông tin định danh của đèn (hoặc các đèn) mà nó quan tâm lên cho hệ thống. Sau đó, thông qua kênh WiFi, hệ thống sẽ gửi lại danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn trong không gian 3D tới cho camera.

Hình 1 minh họa tả thành phần của hệ thống định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh, camera, và công nghệ LiFi.

Hệ thống định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi bao gồm các thành phần sau:

- i) điện thoại thông minh có cài ứng dụng (App) 101 và quyền sử dụng camera và có kết nối WiFi;
- ii) WiFi gateway 102;
- iii) các đèn thông minh có kết nối WiFi 103;
- iv) máy chủ cục bộ (local server) hoặc máy chủ đám mây (cloud server) 104.

Ở đây, điện thoại thông minh còn được thay thế bởi các thiết bị cầm tay thông minh có gắn camera. Ứng dụng (app) có vai trò điều khiển camera thu nhận ảnh chụp và xử lý ảnh để lấy thông tin từ đèn. Ứng dụng (app) cũng phải có quyền truy xuất thiết bị thu phát WiFi trong điện thoại để thực hiện trao đổi thông tin với đèn, cổng vào (gateway) hoặc máy chủ.

Máy chủ (có thể là máy chủ cục bộ hoặc máy chủ trên đám mây) làm nhiệm vụ cung cấp dịch vụ định vị cho ứng dụng. Bởi vì chỉ có máy chủ mới có quyền kích hoạt cũng như điều khiển đèn phục vụ cho các dịch vụ định vị như vậy.

Lưu ý rằng, hệ thống định vị điện thoại còn có thể sử dụng Bluetooth để bổ sung cho WiFi trong một con chip hai sóng kết hợp WiFi-Bluetooth.

Bluetooth có hai tác dụng thay thế WiFi như sau:

- Bluetooth có thể được dùng thay thế WiFi cho các lệnh tương tác giữa ứng dụng (App) và đèn thông minh.

- Bluetooth cũng giống WiFi, khi mà điện thoại có thể đo độ suy giảm tín hiệu để tính toán xem gateway nào gần điện thoại nhất và báo cho hệ thống. Lúc này, hệ thống sẽ kích hoạt các đèn xung quanh điện thoại thay vì phải kích hoạt toàn bộ đèn trong hệ thống.

Bluetooth có thể được dùng bổ sung cho WiFi trong một con chip hai sóng kết hợp WiFi-Bluetooth, khi đó việc phân luồng tín hiệu được thực hiện như sau:

- i) WiFi được dùng để truyền phát tín hiệu giữa máy chủ tới đèn và ứng dụng (app);
- ii) kênh ánh sáng LiFi được dùng để phát tín hiệu tần số một chiều tới ứng dụng (app) thông qua camera;
- iii) Bluetooth được dùng để truyền thông tin vị trí thực của các đèn tới ứng dụng (App) dưới dạng phát sóng một chiều.

Hình 2 minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ nội bộ, trong trường hợp số lượng đèn lớn.

Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi bao gồm các bước sau:

- i) ứng dụng (app) bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp (bước 201), sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị (bước T201) lên cho máy chủ; Việc đếm số lượng đèn trong ảnh là cần thiết, bởi vì dịch vụ định vị cần tối thiểu số lượng đèn nhất định (cụ thể là 3 điểm sáng khác nhau).

Khi ứng dụng (app) không quan sát đủ số lượng đèn cần thiết (ví dụ không chụp được đèn nào), thì app tự hiển thị hướng dẫn cho người dùng để tiến lại gần đèn trước khi gửi yêu cầu sử dụng dịch vụ định vị.

Lệnh yêu cầu dịch vụ định vị (bước T201) được gửi lên máy chủ thông qua WiFi. Tuy nhiên, các kênh truyền khác đều có thể được dùng thay thế, bao gồm LTE, kênh Zigbee với bộ chuyển Zigbee-WiFi gateway, ...

- ii) máy chủ duyệt yêu cầu định vị của ứng dụng (app) (bước 202);

Việc quản lý, cung cấp dịch vụ phải được thực hiện thông qua máy chủ, bởi vì chỉ có máy chủ mới có quyền kích hoạt cũng như điều khiển đèn phục vụ cho các dịch vụ định vị như vậy.

- iii) máy chủ kích hoạt toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh ứng dụng (bước 203);

Lưu ý rằng, ứng dụng (app) đang kết nối với một WiFi gateway gần nhất để yêu cầu dịch vụ. Dựa theo WiFi gateway này, hệ thống sẽ xác định xem các đèn quanh khu vực của điện thoại là những đèn nào, từ đó sẽ kích hoạt các đèn một cách hợp lý.

Bổ sung thêm cho điểm này, thay vì kích hoạt toàn bộ các đèn trong khu vực (ví dụ toàn bộ đèn tầng 2 chẳng hạn), hệ thống có thể đo độ mạnh yếu của tín hiệu phát ra từ

điện thoại để xác định khoảng cách từ nó tới WiFi gateway. Từ đó, hệ thống sẽ khoanh vùng và thu hẹp số lượng đèn cần kích hoạt.

iv) máy chủ phân bổ tần số lần thứ nhất cho toàn bộ đèn trong khu vực (bước 204) bằng cách chia chúng thành các nhóm liền kề nhau, và mỗi nhóm sẽ được cấp chung một tần số;

Khi số lượng đèn cần kích hoạt là lớn, việc phân đèn theo nhóm là cần thiết bởi số lượng tần số được phép sử dụng là có hạn (ví dụ từ 2kHz tới 10kHz, với khoảng cách các tần số là 200Hz sẽ giới hạn 40 tần số được phép sử dụng).

v) các đèn trong một nhóm đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ (bước 205), sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (bước L203);

vi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã các tần số của các đèn chụp được (bước 206);

Việc giải mã tần số của từng nhóm sẽ thu hẹp được phạm vi kích hoạt các nhóm đèn. Lúc này, hệ thống sẽ chỉ quan tâm tới các đèn và ứng dụng (app) đang theo dõi. Các đèn này không nhất thiết phải gần điện thoại nhất, mà tùy theo góc chụp và hướng chụp của camera điện thoại.

vii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ (bước T204);

viii) máy chủ thực hiện thu hẹp khu vực kích hoạt đèn dựa theo danh sách tần số gửi từ ứng dụng (bước 207);

ix) máy chủ phân bổ tần số lần thứ hai cho khu vực đèn đã được thu hẹp, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt (bước 208);

Mỗi đèn cần một tần số riêng biệt để ứng dụng (app) có thể phân biệt được từng đèn. Do vậy, việc phân bổ tần số cho từng đèn khác nhau chỉ được thực hiện khi số lượng đèn là ít hơn số lượng tần số cho phép.

x) các đèn khu vực kích hoạt sẽ điều chế tần số được phân bổ (bước 209), sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (L206);

xi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ ba, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được (bước 210);

xii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ (bước T207);

xiii) máy chủ phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận (bước T208);

Lưu ý rằng, hệ thống đã lưu vị trí thực của các đèn trong quá trình lắp đặt đèn. Dựa theo danh sách các đèn mà ứng dụng (app) đang quan tâm, máy chủ sẽ gửi danh sách thông tin vị trí của các đèn này cho app.

xiv) ứng dụng sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp (hệ quy chiếu 2D) và vị trí thực của các đèn (hệ quy chiếu 3D) để truy ra vị trí thực của điện thoại (hệ quy chiếu 3D) (bước 212).

Hình 3 thể hiện quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ nội bộ, trong trường hợp số lượng đèn nhỏ.

Thay vì sử dụng một Quy trình phức tạp để định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi như ở Hình 2, một quy trình rút gọn được sử dụng cho trường hợp số lượng đèn là ít như sau:

- i) ứng dụng (app) bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp (bước 301), sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị lên cho máy chủ (bước T301);
- ii) máy chủ duyệt yêu cầu định vị của ứng dụng (app) (bước 302);
- iii) máy chủ kích hoạt toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh ứng dụng (bước 303);
- iv) máy chủ phân bổ tần số lần cho toàn bộ các đèn đã được kích hoạt, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt (bước 304);
- v) các đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ (bước 305), sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (bước L303);
- vi) ứng dụng (app) chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được (bước 306);
- vii) ứng dụng (app) gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ (bước T307);
- viii) máy chủ phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận (bước T308);
- ix) ứng dụng sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp và vị trí thực của các đèn để truy ra vị trí thực của điện thoại (bước 312).

Trong quy trình rút gọn này, do số lượng đèn là ít hơn số lượng tần số được sử dụng, máy chủ có thể phân các tần số khác nhau cho toàn bộ đèn ngay từ lần đầu tiên. Do đó mà các bước phân chia đèn theo nhóm và phân bổ tần số theo từng nhóm là không cần thiết.

Quy trình định vị điện thoại ở Hình 2 và Hình 3, trong đó các đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng, có thể là ánh sáng nhìn thấy (trường hợp đèn bật) hoặc ánh sáng hồng ngoại (trường hợp đèn tắt nhưng vẫn muốn sử dụng dịch vụ định vị).

Phương pháp điều chế tín hiệu tần số là không thay đổi, chỉ khác đầu ra của tín hiệu là phát bởi các led ánh sáng thường (R/G/B) hoặc các led hồng ngoại (IR). Trường hợp phát led hồng ngoại chỉ hỗ trợ đối với các đèn có sẵn led hồng ngoại.

Hình 4 minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ đám mây, trong trường hợp số lượng đèn lớn.

Toàn bộ quy trình ở Hình 2 sẽ được áp dụng cho trường hợp này. Tuy nhiên, thay vì sử dụng máy chủ nội bộ, máy chủ trên mây (cloud server) sẽ được sử dụng. Lúc này, WiFi gateway sẽ làm nhiệm vụ chuyển tiếp gói tin giữa ứng dụng (app), đèn và máy chủ.

Hình 5 minh họa quy trình định vị trong hệ thống sử dụng máy chủ đám mây, trong trường hợp số lượng đèn nhỏ. Tương tự, toàn bộ quy trình ở Hình 3 sẽ được áp dụng cho trường hợp này. Tuy nhiên, thay vì sử dụng máy chủ nội bộ, máy chủ trên mây (cloud server) sẽ được sử dụng. Lúc này, WiFi gateway sẽ làm nhiệm vụ chuyển tiếp gói tin giữa ứng dụng (app), đèn và máy chủ.

Hình 6 minh họa quy trình phân Nhóm đèn cho một khu vực nhiều đèn. Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi, trong đó các đèn được chia thành từng nhóm đèn như sau:

i) đèn được gán trên trần nhà theo số lượng  $X \times Y$ , với  $X$  là số hàng và  $Y$  là số cột của các đèn;

ii) trường hợp  $\text{Min}(X, Y) < 4$  thì các đèn sẽ được phân nhóm theo một chiều dọc theo chiều  $\text{Max}(X, Y)$ ;

Tức là, theo chiều mà số lượng đèn nhiều hơn thì chiều này sẽ được chia nhỏ ra để tạo ra các nhóm đèn có số lượng nhỏ hơn.

iii) trường hợp  $\text{Min}(X, Y) \geq 4$  thì các đèn sẽ được phân nhóm theo hai chiều với kích thước từng nhóm là (2,2) không kể số dư ngoài lề.

Việc lựa chọn 4 đèn trong một nhóm (kích thước nhóm  $2 \times 2$ ) sẽ là đủ cho thuật toán định vị khi thuật toán yêu cầu tối thiểu 3 đèn trở lên.

Hình 7 minh họa các ví dụ về việc phân bổ tần số cho các Nhóm đèn trong các trường hợp số lượng đèn khác nhau.

Ví dụ này sẽ giải thích cụ thể hơn cho quy trình đã giải thích ở Hình 6.

- Ví dụ 1: Trường hợp  $\text{Min}(X, Y) = 1$ , tức là hệ thống đèn được dàn trải theo chiều ngang. Lúc này, các nhóm 2 đèn sẽ được tạo theo chiều ngang.
- Ví dụ 2: Trường hợp  $\text{Min}(X, Y) = 2$ , tức là hệ thống đèn được dàn trải theo chiều ngang với hai hàng đèn. Lúc này, các nhóm 4 đèn sẽ được tạo theo chiều ngang.
- Ví dụ 3: Trường hợp  $\text{Min}(X, Y) = 4$  hoặc hơn, tức là hệ thống đèn được dàn trải theo cả hai chiều. Lúc này, các nhóm 4 đèn sẽ được tạo theo chiều ngang và chiều dọc.

Để phân bổ tần số cho nhóm đèn, sẽ có hai trường hợp như sau:

- Trường hợp 1: số lượng nhóm đèn nhỏ hơn số lượng tần số cho phép
- Trường hợp 2: số lượng nhóm đèn lớn hơn số lượng tần số cho phép

*Trường hợp 1:*

Trong trường hợp này, việc phân bổ tần số riêng biệt cho mỗi nhóm đèn là hoàn toàn khả thi.

*Trường hợp 2:*

Phương pháp phân bổ tần số cho các nhóm đèn trong trường hợp số lượng nhóm đèn (bảng A) lớn hơn số lượng tần số cho phép (bảng B) được thực hiện như sau:

- i) các nhóm đèn liên kề (gọi là nhóm nhỏ) được gộp lại thành các nhóm lớn, trong đó mỗi nhóm lớn có tối đa không quá B nhóm nhỏ;
- ii) dựa trên số lượng nhóm lớn, hệ thống tạo ra tương ứng các tổ hợp của B tần số khác nhau;
- iii) mỗi tổ hợp của B tần số khác nhau sẽ được phân theo thứ tự trái-phải và trên-dưới cho B nhóm nhỏ trong một nhóm lớn và điều này sẽ đảm bảo rằng hai nhóm nhỏ bất kỳ cạnh nhau sẽ được phân hai tần số khác nhau.

Việc tạo tổ hợp ngẫu nhiên từ các tần số nhằm phân biệt giữa hai nhóm lớn. Khi đó, điện thoại di chuyển và chụp được các tần số trên đường đi. Dựa trên thứ tự các tần số này, hệ thống sẽ truy ra được là điện thoại đang ở khu vực nào (nhóm lớn nào), từ đó mà thu hẹp phạm vi kích hoạt đèn một cách phù hợp.

Tuy nhiên, việc tạo các tổ hợp tần số sử dụng cho các nhóm lớn đồng nghĩa với việc tái sử dụng tần số cho các khu vực lớn khác nhau. Điều này sẽ dẫn đến sự tồn tại các nhóm nhỏ ở các nhóm lớn khác nhau (cách xa nhau) sử dụng cùng một tần số. Vấn đề này được xử lý theo quy trình sau:

- i) ứng dụng (app) chụp ảnh và dùng ảnh chụp để giải mã tần số của nhóm nhỏ chụp được sau đó gửi danh sách tần số giải mã được lên máy chủ;
- ii) máy chủ thu hẹp phạm vi kích hoạt các nhóm đèn dựa theo danh sách tần số mà ứng dụng (app) đã gửi;
- iii) máy chủ thực hiện phân bổ lại tần số cho các nhóm đèn ở trong phạm vi đã thu hẹp và lặp lại các bước i) và ii) cho tới khi tổng số lượng đèn được kích hoạt là nhỏ hơn số lượng tần số cho phép;
- iv) cuối cùng, ứng dụng (app) sẽ yêu cầu phân bổ từng tần số cho từng đèn đang quan tâm để thực hiện phân biệt từng đèn riêng biệt.

Tức là, khi nhận được một tần số phản hồi từ ứng dụng (app), hệ thống vẫn sẽ kích hoạt tất cả các đèn/nhóm đèn liên quan tới tần số này. Việc nhận diện được tần số này cũng đã thu hẹp đáng kể số lượng các đèn liên quan. Sau đó, hệ thống sẽ chủ động phân bổ lại tần số cho các đèn/nhóm đèn liên quan này sao cho chúng có các tần số khác nhau nhiều nhất có thể, để ứng dụng (app) có thể phân biệt được. Việc tái phân bổ tần số sẽ được lặp lại cho tới khi số lượng đèn liên quan là nhỏ hơn số lượng tần số cho phép.

Hình 8 minh họa một ví dụ về quy trình phân bổ tần số và nhận diện đèn thông qua tần số phát của đèn qua LiFi.

Trong ví dụ này:

- Ảnh chụp được có chứa tổng  $N = 2 \times 3 = 6$  đèn, xếp thành 2 hàng theo chiều ngang
- Số lượng đèn trên một ảnh chụp là thỏa mãn điều kiện sử dụng dịch vụ định vị

- Hệ thống sẽ kích hoạt đèn thành các nhóm đèn kích thước  $2 \times 2$ , mỗi nhóm đèn sẽ được phân bổ một tần số
- Ứng dụng chụp ảnh và giải mã tần số thu được từ các đèn. Cụ thể, hai tần số  $\{F_1, F_2\}$  được giải mã
- Dựa theo hai tần số  $\{F_1, F_2\}$ , hệ thống khoanh vùng được 8 đèn liên quan
- Hệ thống kích hoạt 8 đèn này, và tái phân bổ tần số cho chúng. Mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng, từ  $F_1$  đến  $F_8$ .
- Ứng dụng tiếp tục chụp ảnh, và giải mã tần số thu được từ các đèn. Lần này, nó giải mã ra các tần số  $\{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6\}$ .
- Theo đó, ứng dụng sẽ yêu cầu máy chủ cung cấp thông tin vị trí thực của sáu đèn trên.
- Dựa trên thông tin vị trí thực của đèn nhận được, và vị trí của đèn trong ảnh, ứng dụng có thể tính ra được vị trí thực của điện thoại.

Hình 9 minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại.

Các thành phần sử dụng cho định vị bao gồm đèn, camera, và các thông tin vị trí trong các hệ tọa độ khác nhau.

- Trong hệ tọa độ thực, thông số đã biết là vị trí thực của các đèn, và thông số cần tìm là vị trí thực của điện thoại/camera.
- Trong hệ tọa độ hai chiều của ảnh, thông số vị trí của các đèn trong ảnh cũng là thông số đã biết.

Hình 10 minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại, trong đó có chứa các tham số toán học.

Các công thức cần sử dụng bao gồm:

Công thức tạo ảnh hình học của camera

$$\mathbf{x} = KR[I|-\mathbf{C}]\mathbf{X}$$

trong đó,  $\mathbf{x}$  là tọa độ điểm trong không gian ảnh 2D tương ứng với  $\mathbf{X}$  là tọa độ trong không gian 3D;  $I$  là ma trận đơn vị;  $K$  là ma trận  $3 \times 3$  thông số của camera (bao gồm độ lệch trục, độ dài tiêu cự, điểm chính của máy ảnh);  $R$  là ma trận quay  $3 \times 3$  đại diện cho phép quay giữa máy ảnh và hệ tọa độ thực;  $C$  đại diện cho vị trí máy ảnh trong hệ tọa độ thế giới.

Công thức tính độ bức xạ (suy giảm) của tín hiệu

$$h_{i(x,y)} = R_0(\phi) \times A_{\text{lena}} \times \frac{\cos(\psi_{i(x,y)}) \cos^2(\phi_{i(x,y)})}{d_{i(x,y)}^2} c_{i(x,y)}$$

trong đó,

$h_{i(x,y)}$ : là hằng số kênh truyền cho đèn LED thứ  $i$  đến pixel  $x$

$R_0(\phi)$ : Mẫu bức xạ Lambertian

$A_{\text{lens}}$ : diện tích của ống kính máy ảnh

$\Psi_{i(x,y)}$ : Góc tới

$\phi_{i(x,y)}$ : góc nhìn

$d_{i(x,y)}$ : khoảng cách giữa đèn LED thứ  $i$  và  $x, y$  pixel

$c_{i(x,y)}$ : tỷ lệ giữa một khu vực pixel duy nhất và khu vực được bao phủ bởi hình ảnh LED thứ  $i$ .

Công thức tính góc tới của chùm sáng

$$\cos(\phi_{i(x,y)}) = \frac{\overline{d_{i,c}} \cdot \overline{n_{XY}}}{\|\overline{d_{i,c}}\| \times \|\overline{n_{XY}}\|}$$

trong đó,

$d_{i,c}$ : là khoảng cách từ đèn LED thứ  $i$  đến camera.

$n_{XY}$ : đại diện cho vectơ pháp tuyến (0 0 -1) pháp tuyến đối với mặt phẳng XY, vì giả định rằng đèn LED được lắp đặt trên một mặt phẳng song song với mặt phẳng XY.

Công thức tính góc phản xạ của chùm sáng:

$$\cos(\psi_{i(x,y)}) = \frac{f}{\sqrt{f^2 + \|r_{c(x,y)}\|^2}}$$

trong đó,  $f$  là tiêu cự máy ảnh và  $r_{c(x,y)}$  là khoảng cách giữa điểm chính giữa của máy ảnh ( $x_c, y_c$ ) đến pixel tọa độ  $(x, y)$ .

Công thức quy đổi tỉ lệ diện tích nguồn sáng trong ảnh với diện tích thực của bề mặt nguồn sáng:

$$c_{i(x,y)} = \frac{s^2}{\pi ab}$$

trong đó,  $s$  là độ dài cạnh pixel,  $a$  và  $b$  lần lượt là độ dài trục lớn và nhỏ của hình elip biểu diễn hình ảnh của đèn LED.

Hình 11 minh họa các thành phần sử dụng trong bước định vị vị trí của điện thoại, trong đó chú tâm tới vị trí của các đèn trong hai hệ tọa độ khác nhau (hệ 3D thực và hệ 2D của ảnh)

- Ở đây, trong hệ tọa độ thực, thông số đã biết là vị trí thực của các đèn, và thông số cần tìm là vị trí thực của điện thoại/camera.
- Trong hệ tọa độ hai chiều của ảnh, thông số vị trí của các đèn trong ảnh cũng là thông số đã biết.

Hình 12 thể hiện việc so sánh các phương pháp định vị sử dụng đèn chiếu sáng. Các phương pháp có thể được dùng cho định vị camera bao gồm:

- TOA: Time of arrival (thời gian tới)
- TDOA: Time difference of arrival (thời gian tới khác biệt)
- AOA: Angle of arrival (góc tới)
- RSS: Received signal strength (độ mạnh của tín hiệu tới)

Đối với một hệ thống đèn thông minh có sự đồng bộ chính xác cao, thì hai phương pháp TOA và TDOA là khả thi.

Tuy nhiên, đối với hệ thống đèn thông minh thông thường, thì sẽ có sai số trong đồng bộ các đèn. Do đó mà phương pháp RSS và AOA hay được áp dụng.

- Phương pháp RSS: Đo đạc sự suy giảm tín hiệu theo khoảng cách, từ đó tính ra vị trí thực của camera
- Phương pháp AOA: Tính toán vị trí theo góc tới của chùm sáng, từ đó tính ra vị trí thực của camera

Điều kiện thực hiện:

#### *Phân cứng*

Điện thoại yêu cầu ứng dụng có quyền truy cập camera để chụp ảnh các đèn, đồng thời WiFi phải được bật để có thể trao đổi thông tin với WiFi gateway/máy chủ hoặc các đèn.

Trong trường hợp đèn thông minh có tính năng Bluetooth, thì ứng dụng trên điện thoại phải có quyền truy cập Bluetooth và Bluetooth đang được bật.

Module WiFi ngoài ra phải có khả năng điều chế tần số (dựa trên phương pháp điều chế tắt mở để tạo ra xung tần số cố định). Tần số tối đa sử dụng trong điều chế ánh sáng là khoảng 10kHz, do đó mà việc điều chế tại module WiFi cũng cần có xung nhịp đủ cao tương ứng.

#### *Hệ thống*

Máy chủ thực hiện kết nối các thành phần trong hệ thống (bao gồm đèn, điện thoại, và gateway), đồng thời quản lý dịch vụ và cấp phép dịch vụ định vị.

#### *Tương thích WiFi*

Module WiFi trên đèn thông minh phải tương thích và truyền nhận dữ liệu được với điện thoại và WiFi gateway. Tương tự đối với việc tương thích Bluetooth.

Giải pháp theo sáng chế đặc trưng ở cách thức phân bổ tần số cho các nhóm đèn, do đó giải pháp này hoàn toàn có thể kết hợp với các giải pháp định vị dựa trên điện thoại thông minh (smartphone) sử dụng các đèn thông minh có thể truyền dữ liệu LiFi. Việc kết hợp như vậy cũng được coi là nằm trong phạm vi của sáng chế.

#### **Hiệu quả đạt được của sáng chế**

Sáng chế đề cập tới một hệ thống định vị vị trí của điện thoại thông minh (smartphone) sử dụng các đèn thông minh có kết nối WiFi. Các đèn thông minh ngoài WiFi còn có tính năng LiFi để phát dữ liệu thông qua kênh ánh sáng. Quy trình và các phương pháp định vị được đề xuất cho việc sử dụng các đèn để định vị vị trí của điện thoại.

Hệ thống áp dụng cho các đèn thông minh có tính năng LiFi, bổ sung thêm tính năng định vị chính xác tạo tiền đề cho nhiều dịch vụ và ứng dụng hữu ích trong cuộc sống.

Quy trình định vị được mô tả chi tiết, hoàn thiện các bước cho tương tác giữa các thành phần của hệ thống (bao gồm đèn, ứng dụng, gateway, và máy chủ). Cụ thể:

- Quy trình rút gọn được thiết kế tối ưu cho trường hợp số lượng đèn trong hệ thống là nhỏ so với số lượng tần số được phép sử dụng (số lượng này giới hạn bởi tham số của camera trên thị trường, đã được kiểm nghiệm qua các nghiên cứu của công ty).
- Ngoài ra, quy trình tổng thể được thiết kế nhằm đảm bảo được hệ thống hoạt động trơn chu trong nhiều trường hợp với số lượng đèn khác nhau và lớn hơn số lượng tần số được phép sử dụng.

Các quy trình cho hệ thống có máy chủ cục bộ hoặc máy chủ đám mây đều được đề xuất.

Phương pháp phân chia nhóm đèn và phân bổ tần số cho từng nhóm đèn đảm bảo rằng hệ thống định vị luôn hoạt động bất kể số lượng đèn trong hệ thống có lớn tới đâu. Việc này quan trọng cho việc thương mại hóa, khi mà số lượng đèn trong một dự án là không thể biết trước.

## YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi (được gọi là quy trình đầy đủ) bao gồm các bước sau:

- i) thực hiện bởi ứng dụng (app) trên điện thoại thông minh việc bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp, sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị lên cho máy chủ;
- ii) duyệt yêu cầu định vị của ứng dụng (app) bởi máy chủ;
- iii) kích hoạt bởi máy chủ toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh điện thoại chứa ứng dụng;
- iv) thực hiện bởi máy chủ việc phân bổ tần số lần thứ nhất cho toàn bộ đèn trong khu vực bằng cách chia chúng thành các nhóm liên kề nhau, và mỗi nhóm sẽ được cấp chung một tần số;
- v) thực hiện bởi các đèn trong mỗi nhóm đèn việc điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (ánh sáng nhìn thấy hoặc hồng ngoại);
- vi) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã các tần số của các đèn chụp được;
- vii) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- viii) thực hiện bởi máy chủ việc thu hẹp khu vực kích hoạt đèn dựa theo danh sách tần số gửi từ ứng dụng;
- ix) thực hiện bởi máy chủ việc phân bổ tần số lần thứ hai cho khu vực đèn đã được thu hẹp, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt;
- x) thực hiện bởi các đèn khu vực kích hoạt việc điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (ánh sáng nhìn thấy hoặc hồng ngoại);
- xi) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc chụp ảnh lần thứ ba, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được;
- xii) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- xiii) thực hiện bởi máy chủ việc phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận;
- xiv) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp và vị trí thực của các đèn trong không gian ba chiều để truy ra vị trí thực của điện thoại.

2. Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi theo điểm 1, trong đó các đèn được chia thành từng nhóm đèn như sau:

- i) đèn được gán trên trần nhà theo số lượng  $X \times Y$ , với  $X$  là số đèn theo chiều dọc và  $Y$  là số đèn theo chiều ngang;

- ii) trường hợp  $\text{Min}(X, Y) < 4$  thì các đèn sẽ được phân nhóm theo một chiều dọc theo chiều  $\text{Max}(X, Y)$ ;
- iii) trường hợp  $\text{Min}(X, Y) \geq 4$  thì các đèn sẽ được phân nhóm theo hai chiều với kích thước từng nhóm là (2, 2) không kể số dư ngoài lề.

3. Quy trình định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi được rút gọn cho trường hợp số lượng đèn là ít (được gọi là quy trình rút gọn) bao gồm các bước:

- i) thực hiện bởi ứng dụng (app) trên điện thoại thông minh việc bật camera để chụp ảnh và đếm số lượng của các đèn trong ảnh chụp, sau đó gửi yêu cầu dịch vụ định vị lên cho máy chủ;
- ii) duyệt bởi máy chủ yêu cầu định vị của ứng dụng (app);
- iii) kích hoạt bởi máy chủ toàn bộ các đèn trong khu vực xung quanh ứng dụng (app);
- iv) thực hiện bởi máy chủ việc phân bổ tần số lần cho toàn bộ các đèn đã được kích hoạt, trong đó mỗi đèn sẽ được phân một tần số riêng biệt;
- v) thực hiện bởi các đèn việc điều chế tần số được phân bổ, sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng (ánh sáng nhìn thấy hoặc hồng ngoại);
- vi) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc chụp ảnh lần thứ hai, rồi sau đó dùng ảnh chụp để giải mã tần số của từng đèn chụp được;
- vii) thực hiện bởi ứng dụng (app) việc gửi danh sách các tần số đã giải mã được từ các đèn chụp được tới máy chủ;
- viii) thực hiện bởi máy chủ việc phản hồi lại ứng dụng (app) một danh sách thông tin về vị trí thực của các đèn vừa nhận;
- ix) thực hiện bởi ứng dụng việc sử dụng vị trí các đèn trên ảnh chụp và vị trí thực của các đèn trong không gian ba chiều để truy ra vị trí thực của điện thoại.

4. Quy trình định vị điện thoại theo một trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó các đèn sẽ điều chế tần số được phân bổ sau đó phát tín hiệu này qua kênh ánh sáng, có thể là ánh sáng nhìn thấy (trường hợp đèn bật) hoặc ánh sáng hồng ngoại (trường hợp đèn tắt nhưng vẫn muốn sử dụng dịch vụ định vị).

5. Quy trình định vị điện thoại theo một trong số các điểm từ 1 đến 4, trong đó sử dụng phương pháp phân bổ tần số cho các nhóm đèn trong trường hợp số lượng nhóm đèn (bảng A) lớn hơn số lượng tần số cho phép (bảng B) được thực hiện như sau:

- i) các nhóm đèn liền kề (gọi là nhóm nhỏ) được gộp lại thành các nhóm lớn, trong đó mỗi nhóm lớn có tối đa không quá B nhóm nhỏ;
- ii) dựa trên số lượng nhóm lớn, hệ thống tạo ra tương ứng các tổ hợp của B tần số khác nhau;

iii) các tần số trong mỗi tổ hợp của B tần số khác nhau sẽ được phân theo thứ tự cho các nhóm nhỏ trong một nhóm lớn, và điều này sẽ đảm bảo rằng hai nhóm nhỏ bất kỳ cạnh nhau sẽ được phân hai tần số khác nhau.

6. Quy trình định vị điện thoại theo điểm 5, trong đó sử dụng phương pháp phân bổ tần số cho các nhóm đèn trong trường hợp số lượng nhóm đèn lớn hơn số lượng tần số cho phép ở điểm 5, trong đó sẽ tồn tại các nhóm nhỏ ở các nhóm lớn khác nhau sử dụng cùng một tần số và vấn đề này được xử lý theo quy trình sau:

- i) ứng dụng (app) chụp ảnh và dùng ảnh chụp để giải mã tần số của các đèn (trong một hoặc một vài nhóm nhỏ) chụp được sau đó gửi danh sách tần số giải mã được lên máy chủ;
- ii) máy chủ thu hẹp phạm vi kích hoạt các nhóm đèn dựa theo danh sách tần số mà ứng dụng (app) đã gửi;
- iii) máy chủ thực hiện phân bổ lại tần số cho các nhóm đèn ở trong phạm vi đã thu hẹp và lặp lại các bước i) và ii) cho tới khi tổng số lượng đèn được kích hoạt là nhỏ hơn số lượng tần số cho phép;
- iv) cuối cùng, ứng dụng (app) sẽ yêu cầu phân bổ từng tần số cho từng đèn đang quan tâm để thực hiện phân biệt từng đèn riêng biệt.

7. Hệ thống định vị điện thoại sử dụng đèn thông minh, camera, và phương pháp truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi bao gồm các thành phần sau:

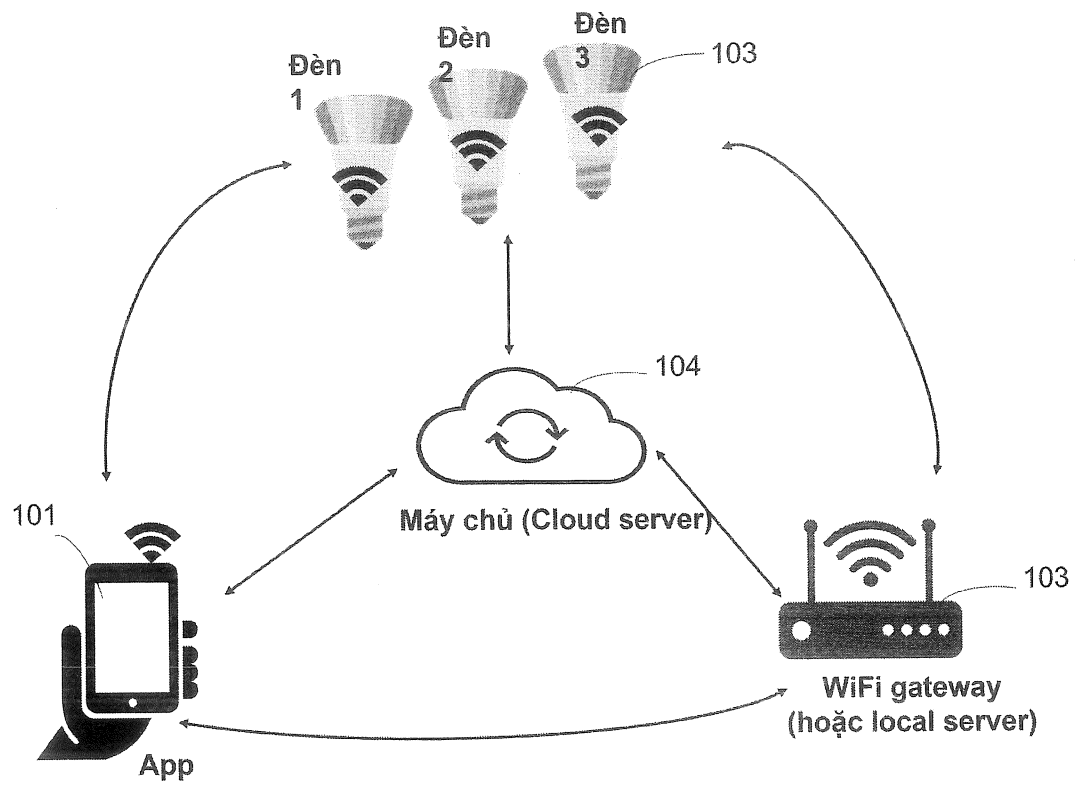
- i) điện thoại thông minh có cài ứng dụng (app) và quyền sử dụng camera và có kết nối WiFi;
- ii) cổng vào (gateway) WiFi;
- iii) các đèn thông minh có kết nối WiFi và có tính năng điều chế tần số để phát qua kênh ánh sáng (LiFi);
- iv) máy chủ cục bộ (local server) hoặc máy chủ đám mây (cloud server);

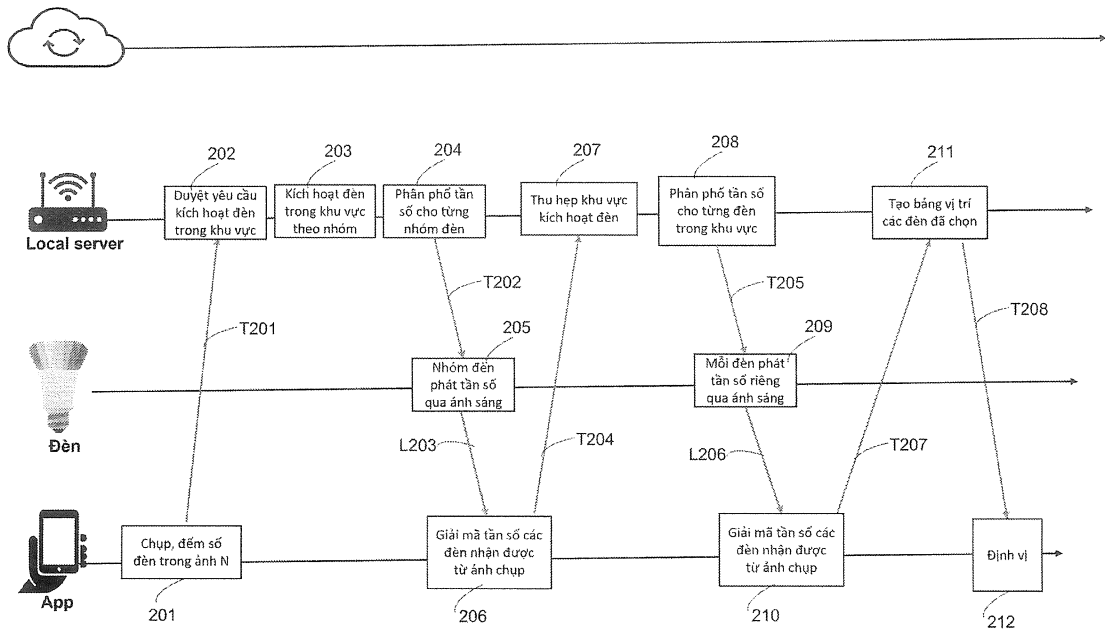
trong đó, hệ thống này thực hiện định vị điện thoại theo quy trình theo một trong số các điểm từ 1 đến 6.

8. Hệ thống định vị điện thoại ở điểm 7, trong đó giao diện Bluetooth có thể được dùng bổ sung cho giao diện WiFi trong một con chip hai sóng kết hợp WiFi-Bluetooth, khi đó việc phân luồng tín hiệu được thực hiện như sau:

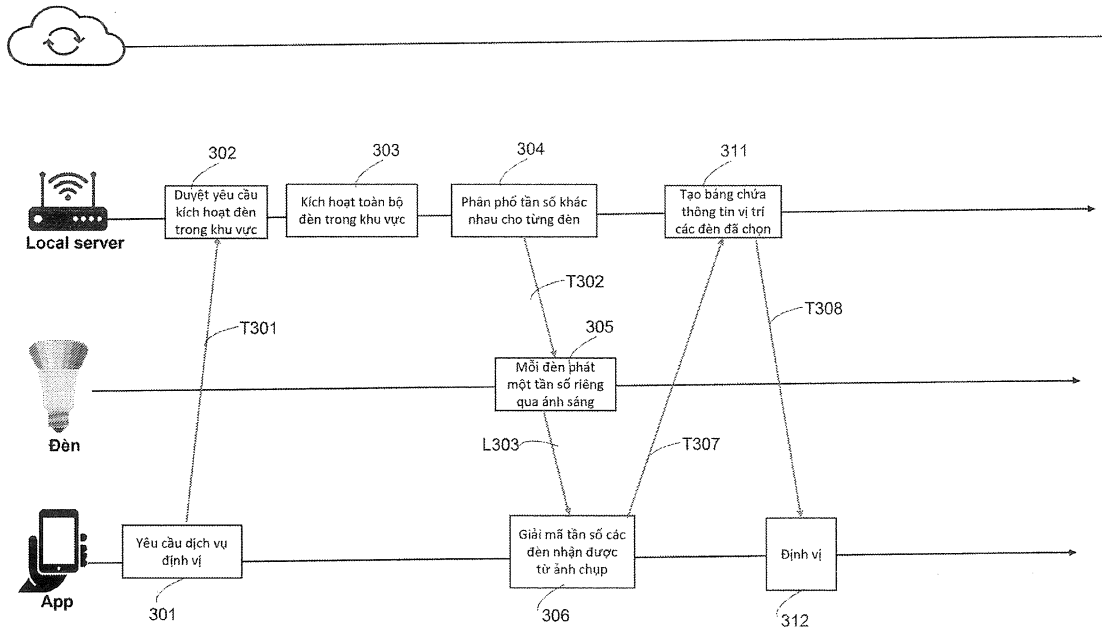
- i) WiFi được dùng để truyền phát tín hiệu giữa máy chủ tới đèn và ứng dụng (app);
- ii) kênh truyền dữ liệu ánh sáng theo chuẩn LiFi được dùng để phát tín hiệu tần số một chiều từ đèn tới ứng dụng (app) thông qua camera;

iii) Bluetooth được dùng để truyền thông tin vị trí thực của các đèn tới ứng dụng (App) theo dạng phát sóng một chiều.

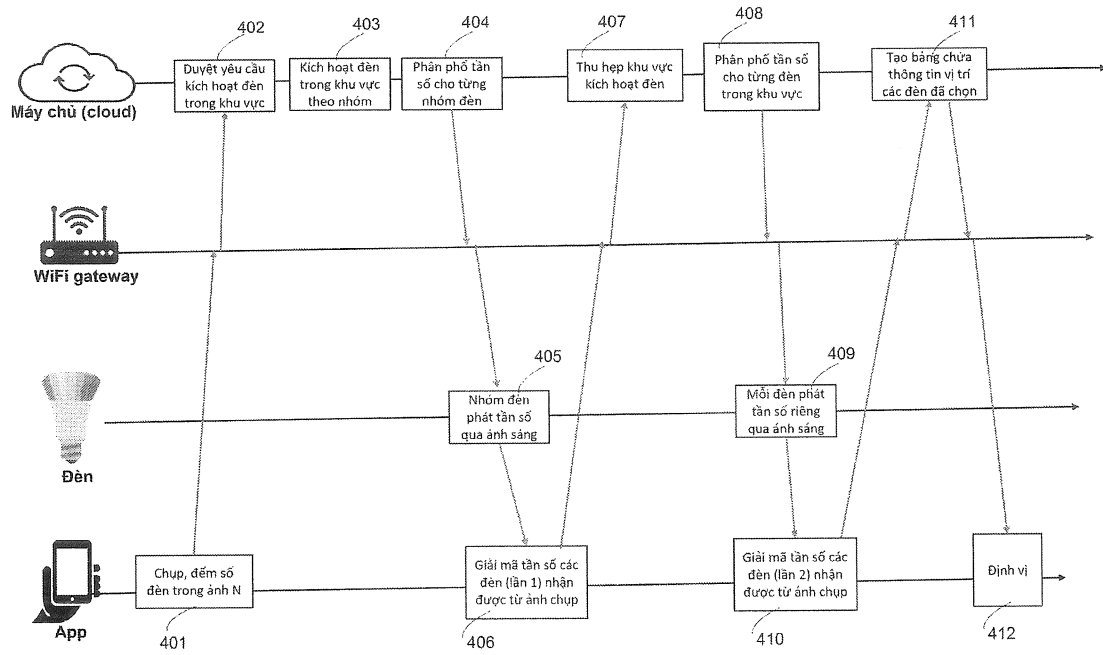
**Hình 1**



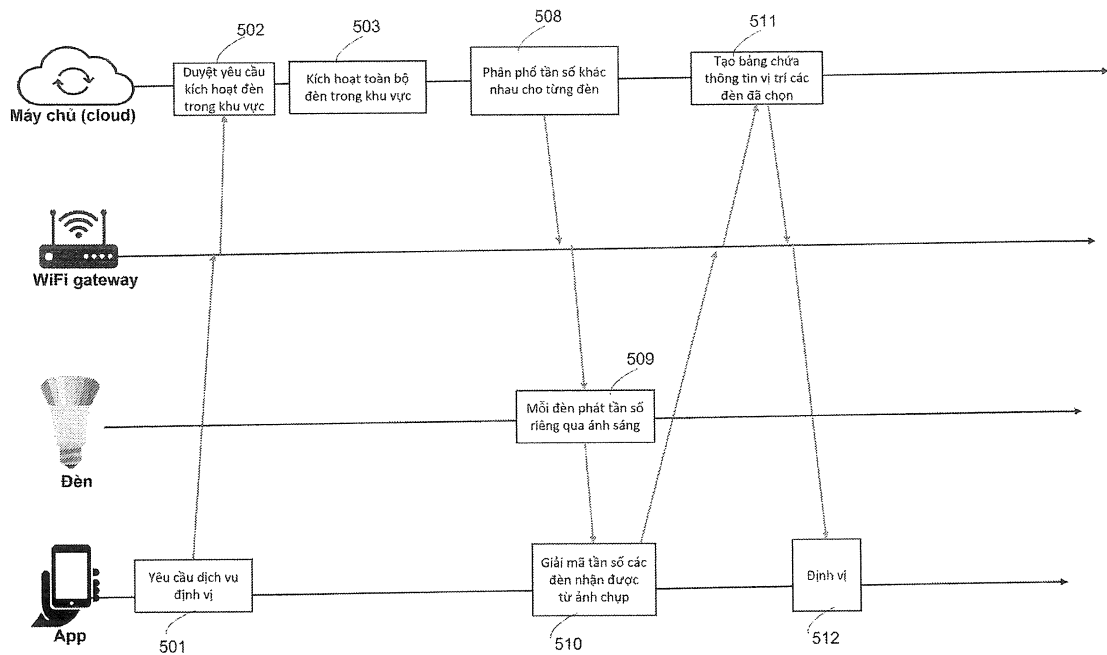
Hình 2



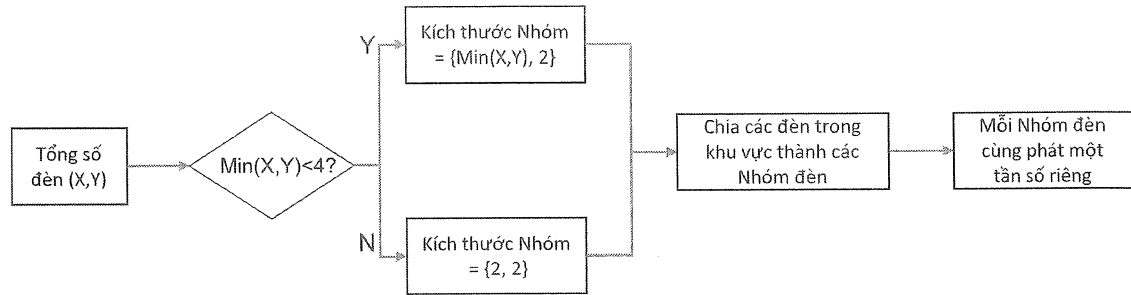
Hình 3



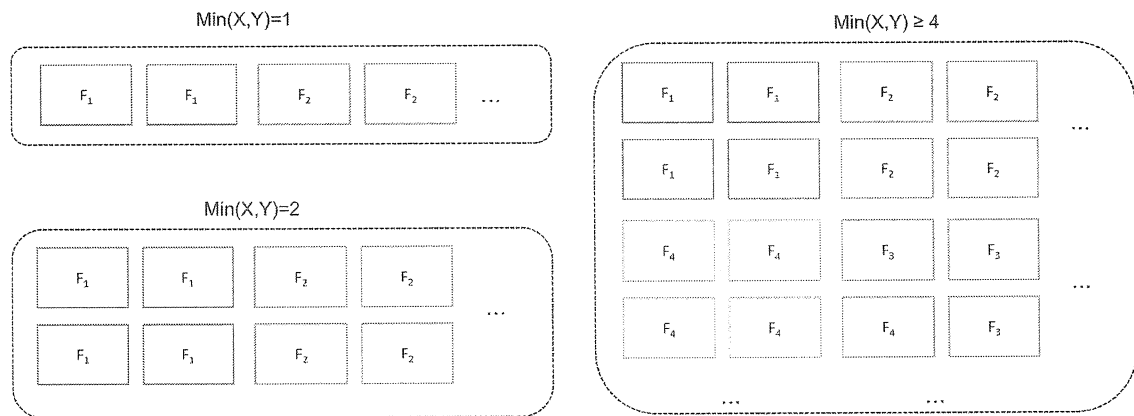
Hình 4



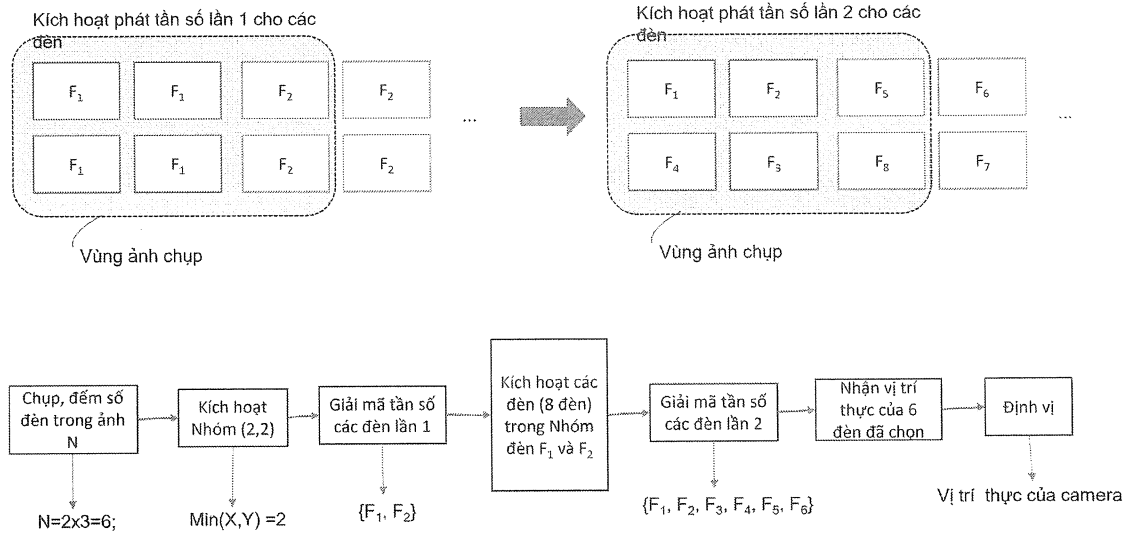
Hình 5



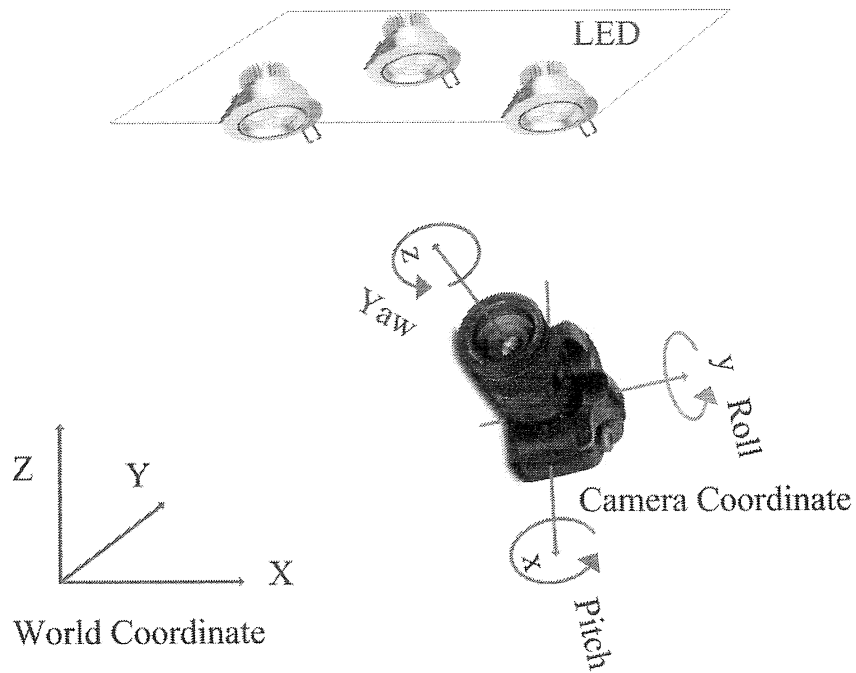
Hình 6



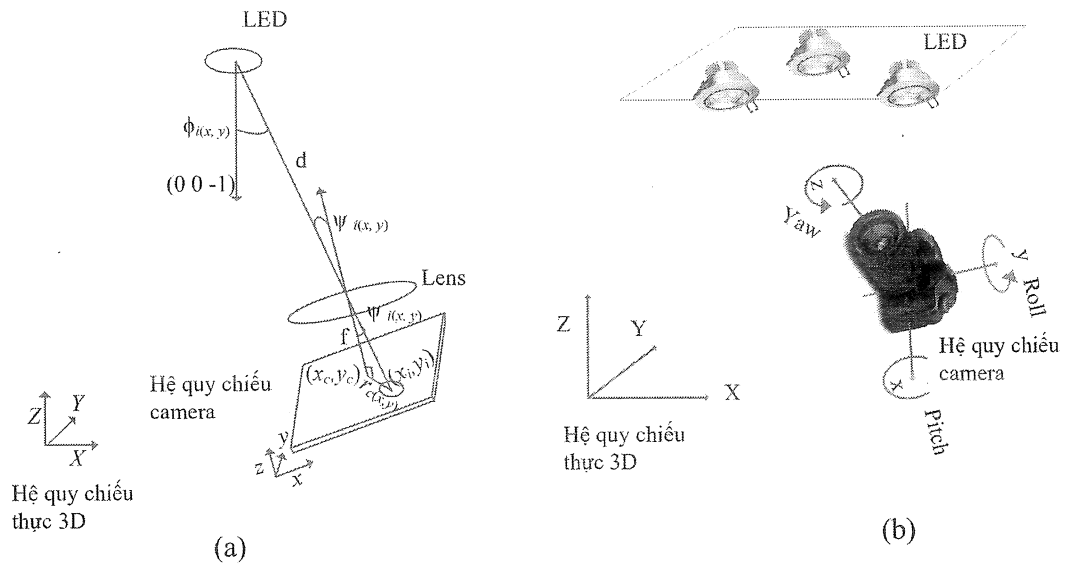
Hình 7



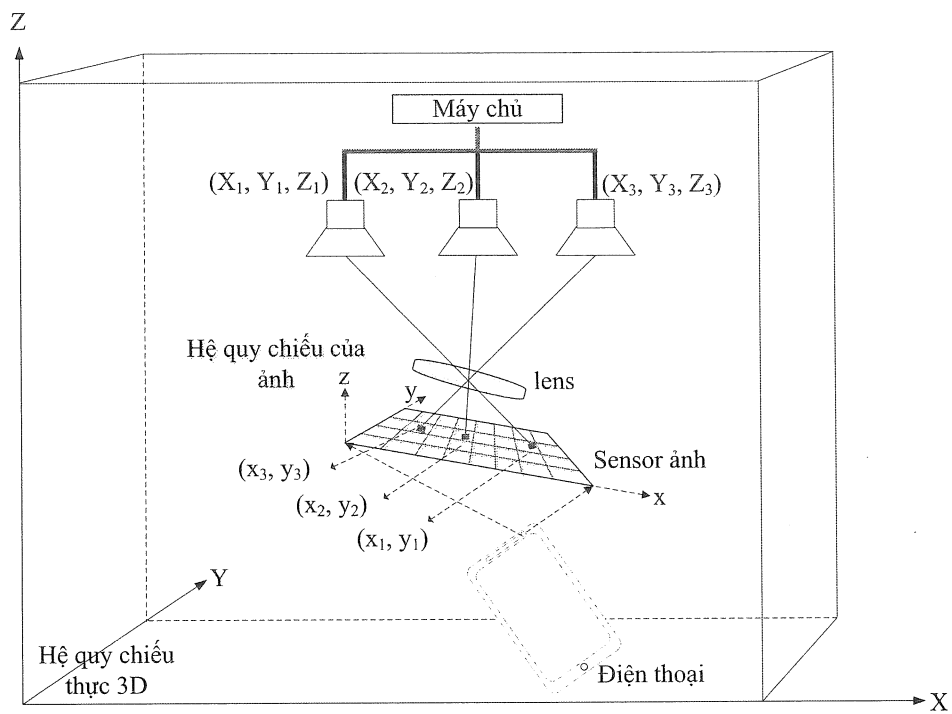
Hình 8



Hình 9



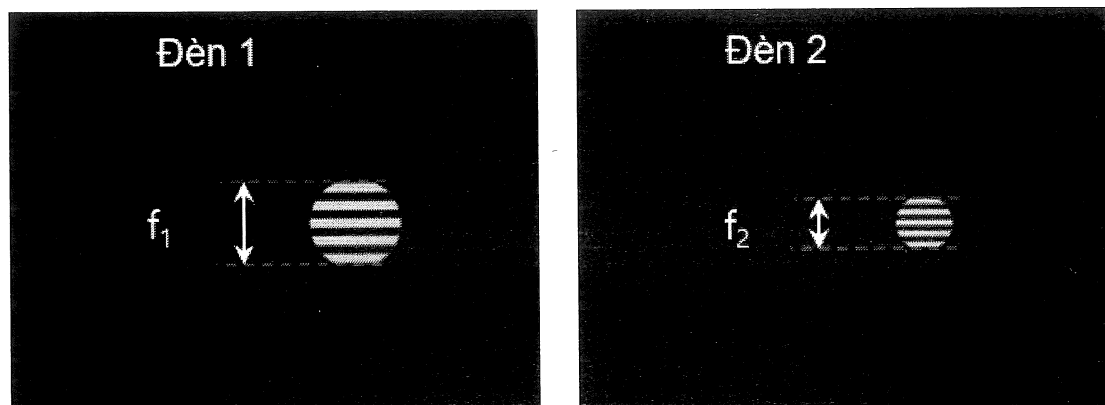
Hình 10



Hình 11

|                             | Phương pháp TOA                                                              | Phương pháp TDOA                                                                  | Phương pháp RSS                              | Phương pháp AOA                             |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Mô tả                       | Yêu cầu tính toán chính xác thời gian tín hiệu ánh sáng đi từ đèn tới camera | So sánh độ trễ thời gian giữa các tín hiệu phát ra từ các nguồn sáng được đồng bộ | Đo đạc sự suy giảm tín hiệu theo khoảng cách | Tính toán vị trí theo góc tới của chùm sáng |
| Số đèn (điểm sáng) cần dùng | 3                                                                            | 3                                                                                 | 2/3                                          | 2                                           |
| Sai số                      | centimet                                                                     | centimet                                                                          | centimet                                     | centimet                                    |
| Không gian định vị          | 2D                                                                           | 2D                                                                                | 2D/3D                                        | 3D                                          |
| Đồng bộ                     | Đồng bộ tuyệt đối                                                            | Đồng bộ tuyệt đối                                                                 | Không cần đồng bộ                            | Không cần đồng bộ                           |

Hình 12



Hình 13