



## **BÁO CÁO CUỐI KHÓA**

**Đề tài: Đèn LED dây thông minh RGB tích hợp điều khiển bằng hệ thống Lumi Life và bảng điều khiển vật lý**

**Học viên thực hiện: Nguyễn Linh Nhiên**

**MSSV: FX29507**

**Giảng viên hướng dẫn: Nguyễn Phú Phụng**

**CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM**

**Độc lập – Tự do – Hạnh phúc**

**NHIỆM VỤ THIẾT KẾ LUẬN ÁN**

Họ và tên: Nguyễn Linh Nhiên

MSSV: FX29507

Khóa: Lập trình nhúng IOT với Lumi

1. Đầu đề thiết kế/Tên đề tài: Đèn LED dây thông minh RGB tích hợp điều khiển bằng hệ thống Lumi Life và bảng điều khiển vật lý
2. Các số liệu ban đầu
3. Các nội dung tính toán, thiết kế
4. Giảng viên hướng dẫn : Nguyễn Phú Phương
5. Ngày giao nhiệm vụ thiết kế: 06/09/2024
6. Ngày hoàn thành nhiệm vụ: 16/11/2024

**SINH VIÊN THỰC HIỆN**

(Ký, ghi rõ họ tên)

Nguyễn Linh Nhiên

## MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU	4
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI	5
Đặt vấn đề	5
Phạm vi đề tài	5
Những phần đã hoàn thành	6
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	7
Tổng quan hệ thống	7
Giới thiệu sơ lược về mạng Zigbee	8
Giới thiệu sơ lược về hệ thống Lumi Life	9
Môi trường xây dựng ứng dụng	9
CHƯƠNG 3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU	9
Kiến trúc mạng Zigbee 3.0	9
Phát triển thiết bị	13
Những tính năng được phát triển trong đồ án	13
CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU	13
Mô tả sản phẩm	13
Khó khăn gặp phải	14
CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	15
DANH MỤC THAM KHẢO	15

# LỜI MỞ ĐẦU

Trong thời đại công nghệ 4.0, Internet of Things (IoT) đóng vai trò ngày càng quan trọng trong việc thay đổi lối sống và cách thức quản lý không gian sống của con người. Trong bối cảnh này, nhà thông minh (smart home) đã trở thành một xu hướng tất yếu khi các thiết bị trong gia đình có thể kết nối, trao đổi dữ liệu và điều khiển từ xa một cách thuận tiện. Một trong những ứng dụng điển hình là hệ thống chiếu sáng thông minh, giúp người dùng điều chỉnh ánh sáng linh hoạt theo nhu cầu sử dụng, tiết kiệm năng lượng và nâng cao chất lượng không gian sống.

Luận văn này giới thiệu sản phẩm đèn LED dây thông minh và bảng điều khiển vật lý dành cho hệ thống nhà thông minh, được tích hợp với ứng dụng điều khiển Lumi Life. Sản phẩm không chỉ giúp nâng cao tính tiện nghi và thẩm mỹ của không gian nội thất mà còn mang đến sự tiện lợi trong việc điều chỉnh và quản lý hệ thống chiếu sáng từ xa thông qua ứng dụng di động. Bên cạnh đó, bảng điều khiển vật lý cũng cho phép người dùng dễ dàng điều chỉnh hệ thống chiếu sáng ngay cả khi không có thiết bị di động.

Mục tiêu của luận văn là phát triển một hệ thống chiếu sáng thông minh hoàn chỉnh, từ thiết kế phần cứng đến tích hợp với ứng dụng di động, mang lại giải pháp chiếu sáng tiện lợi, tiết kiệm và hiện đại cho người dùng. Thông qua việc nghiên cứu và triển khai sản phẩm này, luận văn hướng đến việc góp phần vào sự phát triển của các giải pháp nhà thông minh trong thời đại công nghệ số, đồng thời đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người dùng về cuộc sống thông minh và tiện ích.

Em xin được cảm ơn mentor Nguyễn Phú Phụng và Funix đã luôn đồng hành và hỗ trợ em xử lý các thắc mắc và sửa chữa những lỗi sai đã xuất hiện trong dự án này.

**Sinh viên thực hiện**

**Nguyễn Linh Nhiên**

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI

## 1. Đặt vấn đề

Với sự phát triển không ngừng của công nghệ, nhu cầu nâng cao chất lượng cuộc sống ngày càng được chú trọng. Nhà thông minh (smart home) không còn là một khái niệm xa lạ mà đã dần trở thành xu hướng phổ biến, đặc biệt là trong các thành phố lớn. Trong đó, hệ thống chiếu sáng thông minh đóng vai trò quan trọng, không chỉ tạo sự tiện nghi mà còn góp phần tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và cải thiện chất lượng không gian sống.

Hệ thống chiếu sáng thông minh có thể điều chỉnh mức độ, màu sắc ánh sáng linh hoạt để phù hợp với các nhu cầu sinh hoạt đa dạng của người dùng, từ không gian làm việc, thư giãn, đến giải trí. Tuy nhiên, việc triển khai các giải pháp chiếu sáng thông minh đòi hỏi khả năng tích hợp cao giữa phần cứng và phần mềm, đồng thời phải đảm bảo tính tiện dụng, dễ sử dụng và đáp ứng yêu cầu thẩm mỹ. Hiện nay, đa số các giải pháp chiếu sáng thông minh trên thị trường chủ yếu dựa vào ứng dụng điều khiển qua thiết bị di động, tuy nhiên điều này có thể gây ra bất tiện trong một số trường hợp không có thiết bị hoặc cần điều khiển nhanh chóng.

Xuất phát từ nhu cầu thực tế này, đề tài “Đèn LED dây thông minh và bảng điều khiển vật lý ứng dụng cho IoT home automation, tích hợp điều khiển bằng app Lumi Life” được thực hiện với mục tiêu phát triển một hệ thống chiếu sáng thông minh toàn diện. Sản phẩm không chỉ có khả năng điều khiển từ xa qua ứng dụng di động mà còn tích hợp bảng điều khiển vật lý, giúp người dùng dễ dàng điều chỉnh ánh sáng tại chỗ một cách nhanh chóng và tiện lợi.

Việc nghiên cứu và phát triển sản phẩm này không chỉ mang lại giải pháp chiếu sáng thông minh, hiện đại, mà còn mở ra những tiềm năng lớn cho ứng dụng IoT trong nhà thông minh, đáp ứng nhu cầu sử dụng của người tiêu dùng và thúc đẩy xu hướng phát triển bền vững trong tương lai.

## 2. Phạm vi đề tài

Đề án này tập trung vào việc phát triển thiết bị phục vụ nhà thông minh sử dụng các kiến thức và công nghệ sau:

- Lập trình C nhúng nâng cao cho vi điều khiển
- Kiến trúc mạng truyền thông không dây Zigbee
- Nền tảng hệ thống nhà thông minh Lumi

### 3. Những phần đã hoàn thành

Đề tài "Đèn LED dây thông minh và bảng điều khiển vật lý ứng dụng cho IoT home automation, tích hợp điều khiển bằng app Lumi Life" tập trung vào việc nghiên cứu và phát triển một hệ thống chiếu sáng thông minh tích hợp IoT với các thành phần chính bao gồm:

- a. Đèn LED dây thông minh điều khiển bằng kit EFR32 có thể điều khiển qua app Lumi Life:
  - Thay đổi màu và cường độ ánh sáng cho các mục đích hoạt động khác nhau dựa trên thời gian trong ngày, nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng môi trường.
  - Các màu được lấy dựa trên bài báo "Season and time influenced room lighting for optimal human need", gồm 3 bảng màu cho các mùa ẩm, nóng và lạnh, theo mỗi khung giờ trong ngày một cách tương đối.
  - Tùy chỉnh màu sắc RGB qua app Lumi Life.
  - Sử dụng các active mode có sẵn cho đèn cùng với màu sắc tự chọn.
  - Đồng thời các giá trị đo nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng môi trường cũng được cập nhật lên app Lumi Life
- b. Điều khiển đèn WS2812 sử dụng thiết bị bảng điều khiển STM32 và màn hình LCD kết nối với kit EFR32:
  - Thiết kế và sản xuất bảng điều khiển vật lý với các nút bấm để sử dụng, cho phép người dùng điều chỉnh nhanh chóng mà không cần thiết bị di động.
  - Thiết bị công tắc có thể điều chỉnh các thông số như thời gian hiện tại, chế độ hoạt động của thiết bị đèn(auto, manual, active mode), hiển thị thông tin nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng môi trường trên màn hình LCD
  - Sử dụng chuẩn giao tiếp UART để thực hiện giao tiếp giữa Kit EFR32 và Kit STM32 và giao tiếp binding giữa kit EFR32 với nhau

# CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

## 1. Tổng quan hệ thống

Hệ thống ánh sáng RGB tùy chỉnh cho phòng với các tính năng như: hệ thống ánh sáng tự động cho các môi trường hoạt động khác nhau, cho phép người dùng tạo ra hoặc sử dụng các chế độ hoạt cảnh có sẵn và thay đổi màu.

Thiết bị sử dụng cho hệ thống bao gồm:

- 1 gateway giao tiếp với app Lumi Life qua internet
- 1 router điều khiển led WS2812 giao tiếp với ZC và thực hiện các chế độ ánh sáng
- 1 router công tắc điều khiển đèn bằng binding

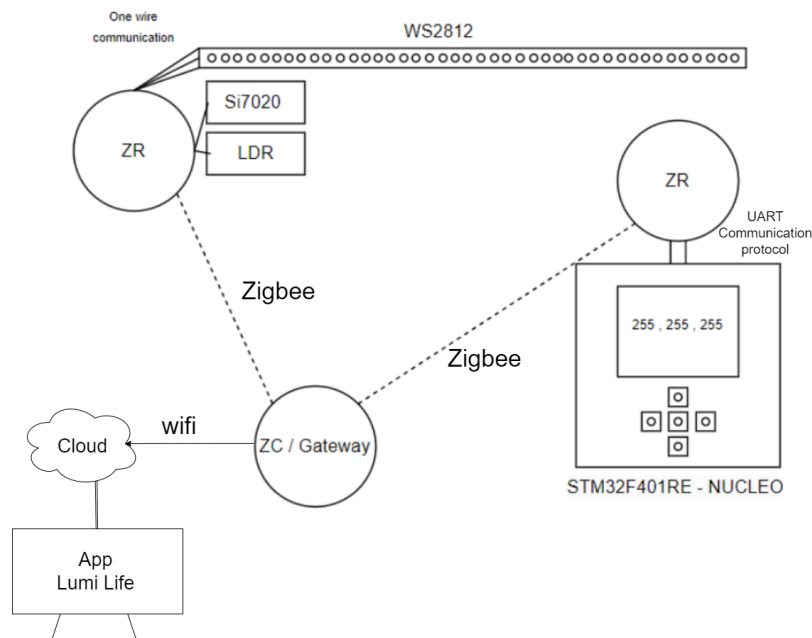


Figure 1. Mô hình hệ thống

## 2. Giới thiệu sơ lược về mạng Zigbee

Zigbee hoạt động trên băng tần 2.4GHz, được biết đến như một chuẩn truyền thông dành riêng cho các giải pháp IoT tự động hoá nhờ vào hiệu quả cao về mặt năng lượng (Hầu hết thời gian thiết bị end-device sử dụng cho chế độ tiết kiệm năng lượng) cũng như khoảng cách kết nối phù hợp cho đa số các giải pháp IoT so với các lựa chọn khác.

	Wi-Fi	Bluetooth Classic	Bluetooth Low Energy	Z-Wave	Zigbee
Channel	- 2.4GHz - 5GHz	2.4GHz	2.4GHz	Sub-GHz	2.4GHz
Band Width	100 Mbps	1-3 Mbps	125Kbps - 2Mbps	9.6bps - 100Kbps	250Kbps
Radius	~54m	20 - 30m indoor	30-40m outdoor	50 - 100m	10-75m
Network	Star Network	Point-to-point	- Point-to-point - Broadcast - Mesh network	- Star network - Mesh network	- Star network - Mesh network

*Figure 2. Bảng so sánh các chuẩn truyền thông cho IOT*

Theo **Figure 2**, mặc dù có băng thông nhỏ hơn đáng kể so với các chuẩn truyền thông khác như Wi-Fi (100Mbps), hay Bluetooth (1-3Mbps), zigbee có phạm vi kết nối rộng, cho phép các thiết bị trong mạng giao tiếp ổn định ở khoảng cách xa. Mức độ đa dạng của các cấu hình mạng tiên tiến như Star Network, Mesh Network cũng là yếu tố khiến Zigbee được ưu tiên cho các giải pháp IoT. Ngoài ra, việc thiết bị Zigbee dành phần lớn thời gian cho chế độ ngủ là một ưu thế lớn về mặt năng lượng trong lĩnh vực IoT.

Giao thức Zigbee được xây dựng trên chuẩn IEEE 802.15.4 và cấu trúc mạng OSI. OSI là kiến trúc mạng điển hình gồm 7 tầng: Application - Presentation - Session - Transport - Network - Data Link - Physical, trong đó tầng Transport được xem như là trung tâm của mô hình mạng (**Figure 3**). IEEE 802.15.4 là một tiêu chuẩn được phát triển để cung cấp một khuôn khổ và các lớp thấp hơn trong mô hình OSI cho các mạng kết nối không dây công suất thấp, chi phí thấp. IEEE 802.15.4 cung cấp các lớp MAC và PHY, để lại các lớp trên được phát triển cho các tiêu chuẩn cao hơn cụ thể sau này như Thread, Zigbee, 6LoWPAN và nhiều loại khác. Dựa trên kiến trúc mạng OSI và các tầng MAC và PHY chuẩn IEEE 802.15.4 cung cấp, Zigbee đã kế thừa và trở thành một mô hình mạng với các tầng: Application - Network - MAC - PHY( **Figure 4**).



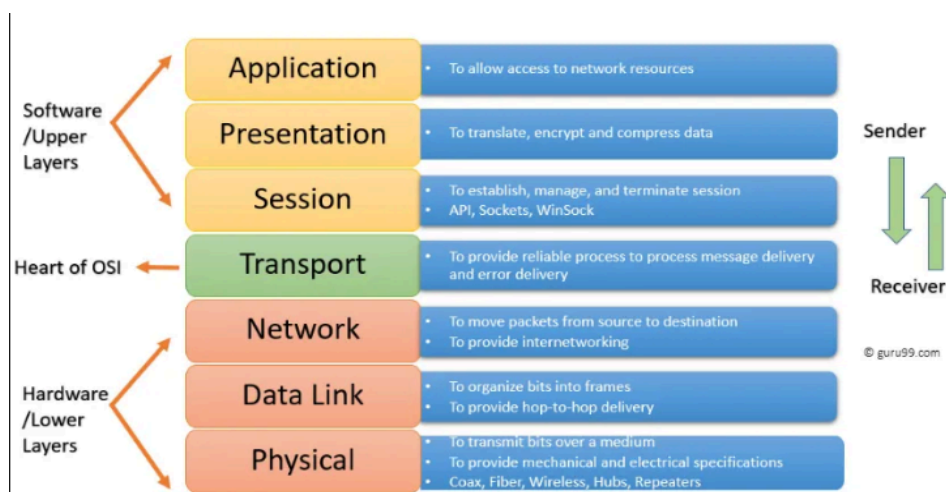


Figure 3. Các tầng giao thức mạng OSI

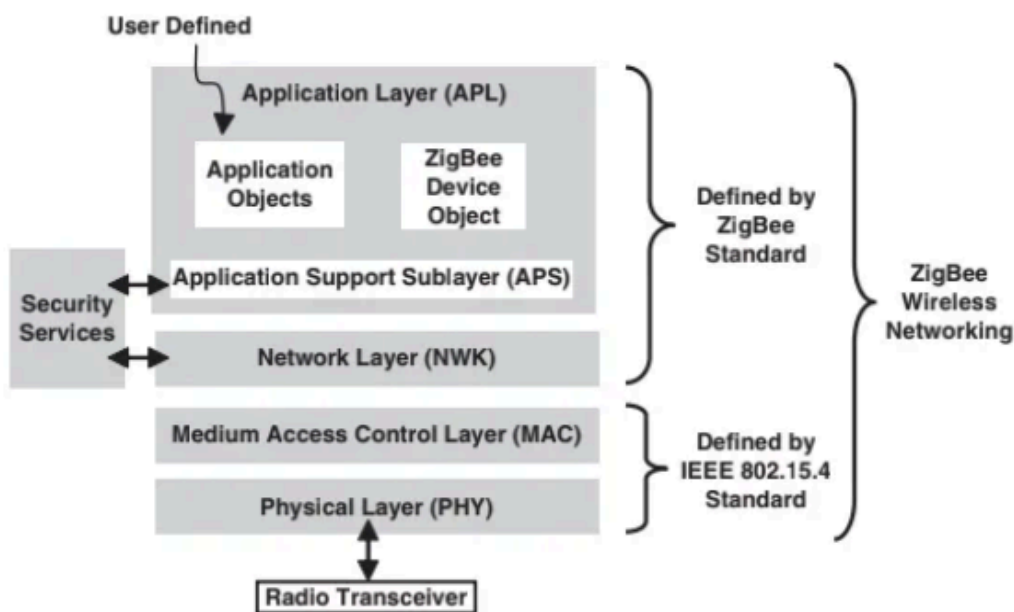


Figure 4. Các tầng giao thức mạng Zigbee

### 3. Thành phần mạng Zigbee

Trong một mạng Zigbee điển hình thường có 3 loại thiết bị: Zigbee Coordinator (ZC), Zigbee Router (ZR), Zigbee End-Device (ZED). Các thiết bị này khác nhau ở vai trò đối với truyền tin và quản lý mạng, và mức sử dụng năng lượng.

ZC và ZR là các thiết bị luôn ở chế độ thức, tức là luôn sử dụng điện năng để liên tục cập nhật trạng thái mạng cũng như đáp ứng bất kỳ yêu cầu nào từ các

thiết bị trong mạng. Zigbee Router phải luôn trong trạng thái hoạt động để duy trì tính năng chuyển tiếp bản tin cho những giao tiếp xa hơn phạm vi kết nối cơ bản của một thiết bị. Zigbee Coordinator cũng có chức năng chuyển tiếp bản tin tương tự như Zigbee Router, thêm vào đó, thiết bị phải quản lý toàn bộ mạng (các yêu cầu gia nhập, rời khỏi mạng,...).

ZED là những thiết bị không có chức năng chuyển tiếp bản tin, do đó, phần lớn thời gian chúng rơi vào trạng thái “ngủ” (tiết kiệm năng lượng), trong trạng thái này, ZED sẽ không tiếp nhận bất kì bản tin nào từ các thiết bị khác và chỉ có thể được đánh thức qua ngắt GPIO. Dựa vào các khoảng SHORT\_POLL và LONG\_POLL được cấu hình trước, thiết bị sẽ “thức dậy” định kỳ để kiểm tra các bản tin đã được gửi đến trong quá trình ngủ. Các bản tin được gửi đến thiết bị ZED trong khoảng thời gian “ngủ” sẽ được tạm giữ bởi một nút mạng router đại diện.

#### 4. Giới thiệu sơ lược về hệ thống Lumi Life

Trong ứng dụng nhà thông minh, thông thường, hệ thống thường được thiết kế bao gồm 04 thành phần chính: bộ điều khiển trung tâm (gateway) và các thiết bị, hệ thống Server độc lập, quản lý hệ thống (system admin) và Lumi Life đóng vai trò là ứng dụng (application) của giải pháp, là nơi tương tác trực tiếp với người dùng qua giao diện smartphone hoặc máy tính.

Thiết bị chịu trách nhiệm kết nối thiết bị với ứng dụng điều khiển Lumi Life là USB-HC được xây dựng trên module MT7688, hỗ trợ giao thức IP và Zigbee. Trong hệ thống Lumi Life thuộc nghiên cứu, USB-HC đóng vai trò là Coordinator quản lý các thiết bị trong hệ thống, đồng thời kết nối và quản lý database server để lưu trữ và xử lý dữ liệu.

#### 5. Cơ sở lý thuyết về lập trình nhúng

##### 5.1. DMA (Direct Memory Access)

Direct Memory Access (DMA) là một cơ chế cho phép các thiết bị ngoại vi trong hệ thống máy tính truy cập trực tiếp vào bộ nhớ (RAM) mà không cần thông qua CPU để xử lý từng bước dữ liệu. DMA được sử dụng để tăng hiệu suất của hệ thống, đặc biệt trong các hoạt động liên quan đến truyền dữ liệu lớn, như đọc/ghi ổ cứng, truyền dữ liệu mạng, hoặc xử lý âm thanh và video.

##### 5.2. UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter )

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) là một giao thức truyền thông nối tiếp không đồng bộ, được sử dụng để truyền và nhận dữ liệu giữa các thiết bị điện tử. UART thường được tích hợp trong các vi điều khiển hoặc module giao tiếp nối tiếp để kết nối các thiết bị như máy tính, cảm biến, hoặc module truyền thông.

### 5.3 Bộ nhớ FLASH

Bộ nhớ FLASH là bộ nhớ chính của chương trình kiểu bộ nhớ điện tĩnh (non-volatile memory). Dữ liệu lưu trữ tại FLASH tồn tại kể cả khi thiết bị mất kết nối nguồn. Bộ nhớ flash ngoài việc để lưu chương trình mà lập trình viên nạp vào, còn có một công dụng khác đó là lưu trữ dữ liệu quan trọng, không bị mất đi mỗi khi reset hoặc tắt điện.

## 6. Giới thiệu về module WS2812

WS2812 là một loại đèn LED RGB thông minh được tích hợp sẵn vi điều khiển bên trong, cho phép điều chỉnh màu sắc và độ sáng của từng đèn LED một cách độc lập. Mỗi đèn LED WS2812 bao gồm 3 màu cơ bản (đỏ, xanh lá, và xanh dương) và có thể tạo ra hàng triệu màu sắc khác nhau. Đèn WS2812 nhận tín hiệu điều khiển qua một dây duy nhất (Data), với giao thức truyền thông nối tiếp (One Wire). Điều này cho phép dễ dàng kết nối nhiều đèn WS2812 thành chuỗi dài và điều khiển từng đèn riêng lẻ mà không cần dây kết nối phức tạp.

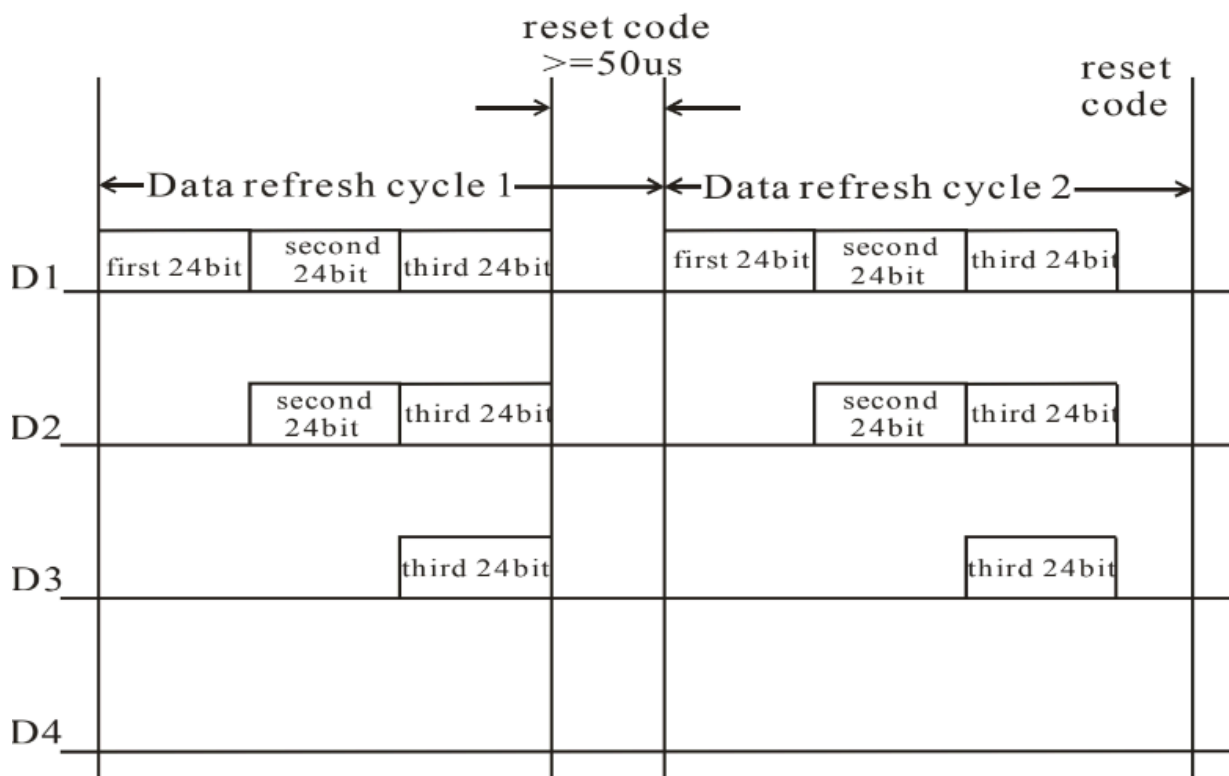


Figure 5. Quá trình truyền dữ liệu cho LED WS2812

## 7. Môi trường xây dựng ứng dụng

### 4.1 STM32Cube IDE

Trong lĩnh vực phát triển các hệ thống nhúng và vi điều khiển, STM32Cube IDE đã nhanh chóng trở thành một trong những công cụ nổi bật, được phát triển bởi STMicroelectronics nhằm hỗ trợ lập trình cho dòng vi điều khiển STM32. Đây là một môi trường phát triển tích hợp (Integrated Development Environment - IDE) miễn phí và mã nguồn mở, cung cấp một giải pháp toàn diện cho việc viết, biên dịch, kiểm thử và debug chương trình. STM32Cube IDE giúp người dùng dễ dàng hơn trong quá trình phát triển, tối ưu hóa thời gian, và tăng cường hiệu suất làm việc với các thiết bị STM32.

Về quá trình thiết lập dự án, người dùng có thể tạo một dự án mới trong STM32Cube IDE bằng cách chọn loại vi điều khiển STM32 cụ thể hoặc dòng sản phẩm mà họ đang sử dụng. Sau khi chọn vi điều khiển, người dùng có thể cấu hình hệ thống, chọn các chức năng ngoại vi, và thiết lập thông số pin, xung nhịp thông qua giao diện của STM32CubeMX tích hợp. Trong quá trình viết chương trình, STM32Cube IDE cung cấp một môi trường soạn thảo mã linh hoạt và trực quan, hỗ trợ gợi ý mã và kiểm tra lỗi cú pháp ngay lập tức. Sau khi viết mã, người dùng có thể biên dịch và xây dựng chương trình nhanh chóng. Sau đó, STM32Cube IDE cung cấp công cụ debug mạnh mẽ cho phép người dùng dễ dàng kiểm thử, quan sát các biến (live expressions), thiết lập các điểm dừng (break point), và thực hiện phân tích hiệu suất.

### 4.2 Simplicity Studio IDE

Simplicity Studio IDE là một nền tảng phát triển tích hợp (IDE) được Silicon Labs phát triển, nhằm tối ưu hóa cho việc phát triển các hệ thống nhúng, đặc biệt là các ứng dụng trên dòng vi điều khiển và vi mạch không dây của hãng này. Được xây dựng với mục tiêu tạo ra một môi trường làm việc toàn diện và dễ sử dụng, Simplicity Studio IDE đã trở thành một công cụ không thể thiếu cho các kỹ sư nhúng và lập trình viên khi làm việc với các vi điều khiển của Silicon Labs.

Simplicity Studio IDE tương thích với đa dạng sản phẩm của Silicon Labs, bao gồm các vi điều khiển EFM32, EFR32 và các module không dây. Điều này giúp các kỹ sư dễ dàng làm việc với nhiều dòng vi điều khiển khác nhau trong cùng một môi trường. Với giao diện tương tự STM32Cube IDE, Simplicity Studio IDE cũng cung cấp công cụ cấu hình đồ họa cho phép người dùng cấu hình hệ thống, quản lý xung nhịp, chân I/O và các module ngoại vi một cách dễ dàng và trực quan.

Khi làm việc với kit EFR32, thư viện EmberZNet là một công cụ thiết yếu. EmberZNet hỗ trợ đầy đủ chuẩn Zigbee, bao gồm các phiên bản Zigbee PRO và Zigbee 3.0, mang lại khả năng tương thích cao với nhiều

thiết bị Zigbee trên thị trường. EmberZNet hỗ trợ nhiều cấu hình mạng và tích hợp tốt với các thiết bị EFR32 Wireless Gecko của Silicon Labs.

# CHƯƠNG 3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

## 1. Kiến trúc mạng Zigbee 3.0

### 1.1 Tầng ứng dụng

Là môi trường chính để lập trình viên tương tác và lập trình, tầng ứng dụng chứa khung phần mềm có sẵn, các phương tiện hỗ trợ quản lý mạng như ZDO (Zigbee Device Object), và các “mô tả thiết bị” trong mạng zigbee, giúp việc quản lý mạng trở nên trực quan hơn đối với con người. Ngoài ra tầng ứng dụng (APL) còn là nơi phương thức giao tiếp giữa tầng ứng dụng và tầng mạng ngay dưới nó (NWK).

Một “mô tả thiết bị” là một khung dữ liệu 16-bit. Khung dữ liệu chứa mô tả về nút mạng (Node Descriptor), mô tả về trạng thái năng lượng của nút mạng (Node Power Descriptor) và mô tả về các endpoint của nút mạng ấy (Simple Descriptor).

Một Node Descriptor bao gồm loại thiết bị của nút mạng ấy, Coordinator, Router hay End device ; băng tần mà thiết bị đang sử dụng (868MHz, 902MHz, 2.4 GHz), khả năng của tầng MAC, mã của nhà sản xuất,...

Một mô tả về trạng thái năng lượng của nút mạng (Node Power Descriptor) sẽ cho ta biết chế độ năng lượng hiện tại của nút mạng đang sử dụng.

Một mô tả về các endpoint của nút mạng (Simple Descriptor) sẽ cho ta biết địa chỉ của endpoint đó, các cluster mà endpoint đó sử dụng và vai trò tương ứng cho các cluster (client, server),...

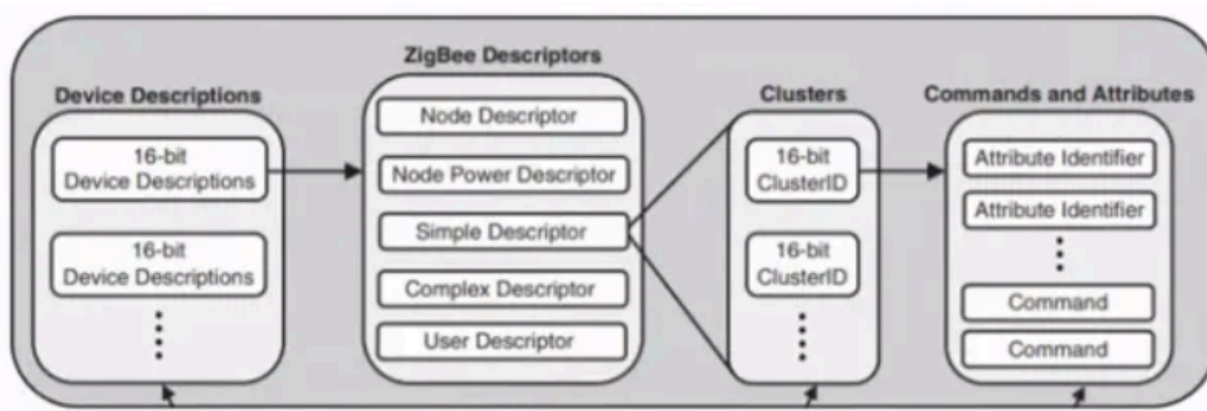


Figure 6. Cấu trúc Device Descriptions

### 1.2 Tầng mạng

Tầng mạng (NWK) là tầng kế sau tầng ứng dụng, có nhiệm vụ truyền và nhận dữ liệu từ tầng ứng dụng, quản lý các tác vụ mạng (thuộc về

Management Entity Service), đóng gói dữ liệu và quyết định kiểu truyền tin (Broadcast, Multicast hay Unicast), lựa chọn cấu trúc mạng (Mesh, Star,...) (thuộc về Data Entity Service).

### 1.3 Tầng MAC

Tầng MAC là tầng kế tiếp sau tầng mạng được hỗ trợ bởi chuẩn IEEE 802.15.4, bao gồm MAC Data Service và MAC Management Service, MAC Management Service sẽ quyết định truyền bản tin và các tác vụ liên quan (Trạng thái kết nối, bật hoặc tắt bộ nhận Rx, khởi tạo cấu trúc siêu khung cho giao tiếp trong mạng,...), MAC Data Service sẽ điều khiển cách truyền bản tin (có sử dụng bit ACK hay không, sẽ truyền bản tin trong pha GTS (Guaranteed Time Slot) hay pha CAP (Contention Access Period)),

#### 1.3.1 CSMA-CA

Cơ chế CSMA-CA là cơ chế nhằm tránh xung đột và nhiễu tín hiệu khi nhiều thiết bị cùng muốn truyền thông tin đồng thời. CSMA-CA gồm hai chức năng ED (Energy detection) dùng để nhận diện mức năng lượng trong dải tần, nếu cao hơn một ngưỡng xác định sẽ tính là kênh bận và CS (Carrier Sense) loại tín hiệu chiếm dụng được xác định và nếu tín hiệu này là IEEE 802.15.4 thì thiết bị có thể cho là kênh bận cho dù tín hiệu năng lượng dưới ngưỡng cho phép (threshold).

#### 1.3.2 Cấu trúc siêu khung

Cấu trúc siêu khung (Superframe) là khung thời gian được khởi tạo bởi coordinator phục vụ mục đích giảm thiểu xung đột giữa các bản tin, dựa trên cơ chế CSMA-CA. Cấu trúc siêu khung bao gồm một beacon để nhận biết điểm bắt đầu, theo sau đó là các khoảng thời gian CAP (Contention Access Period), CFP (Contention Free Period).

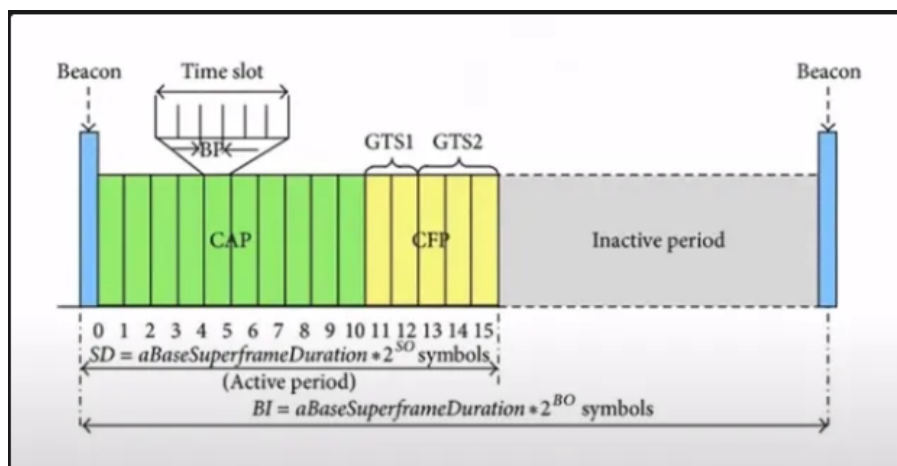


Figure 7. Cấu trúc siêu khung (Superframe)

Superframe sử dụng cơ chế CSMA-CA điều chia nhỏ một khung thời gian ra làm 16 ô, khung thời gian đó gọi là (Active Period), 16 ô bao gồm 11 ô CAP và 5 ô CFP. Khi xuất hiện một beacon, mỗi thiết bị trong mạng sẽ đăng ký truyền bản tin trong một ô trong các ô CAP, sử dụng CSMA-CA để biết ô đó có trống hay không, trong trường hợp các ô trong CAP đều đã đầy thì cấu trúc siêu khung cấp thêm một khoảng thời gian CFP, trong khoảng này, các thiết bị có thể tự do truyền dữ liệu mà không phải sử dụng cơ chế CSMA-CA để nghe trước, giảm thiểu được rủi ro một bản tin không thể được truyền.

Ngoài ra cấu trúc siêu khung còn có chế độ non-beacon, khi đó các thiết bị sẽ phải tự quy định với nhau về đồng bộ về các khung, các thời gian khởi tạo và thời gian nghỉ. Cùng với đó, các khung thời gian sẽ được chuyển về tương tự các ô CFP (Contention Free Period) do độ rộng khung được kéo dài nhiều lần so với chế độ sử dụng beacon.

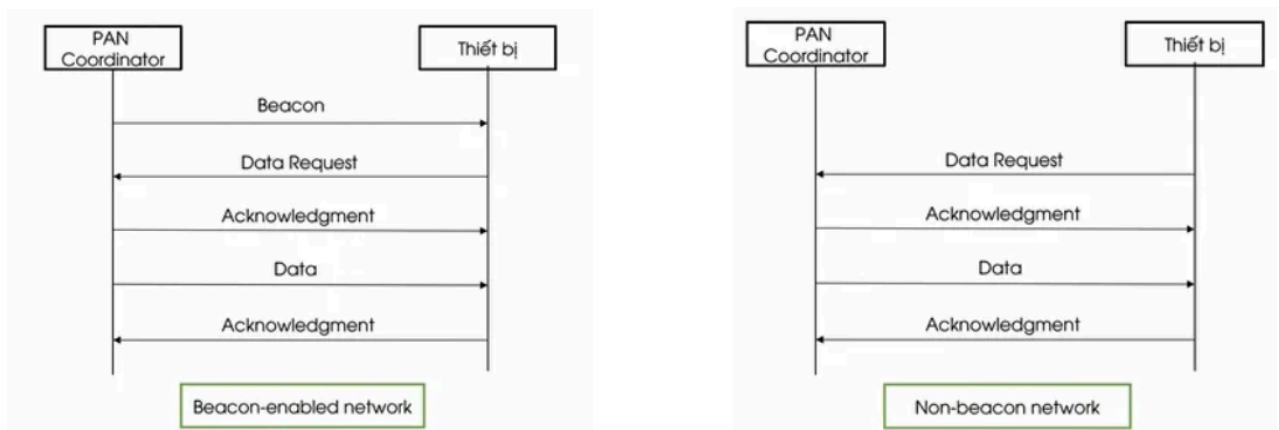


Figure 8. So sánh giữa chế độ Non-beacon và Beacon-enabled

#### 1.4 Tầng PHY

Tầng vật lý (Physical) chính là tầng cuối cùng trong kiến trúc thiết bị zigbee và được hỗ trợ bởi chuẩn IEEE 802.15.4, tầng này phục vụ việc gửi và nhận tín hiệu radio, là nơi thực hiện kiểm tra đường truyền bằng các cơ chế ED và CS của CSMA CA (Channel Clear Assessment). Tầng PHY thực hiện chuyển đổi bit thành các ký tự, sau đó qua quá trình O-QPSK phức tạp để điều chế tín hiệu radio.



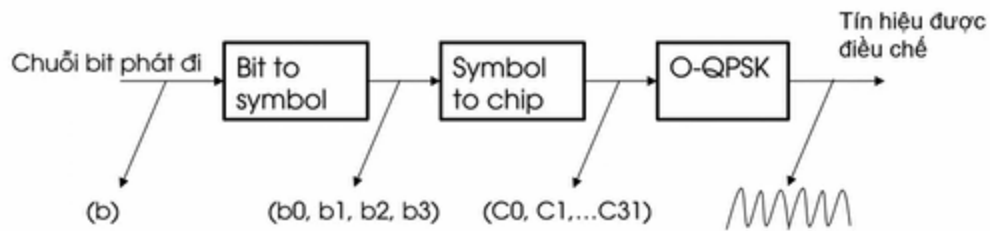


Figure 9. Quá trình điều chế tín hiệu O-QPSK

## 2. Cách thức hoạt động của mạng Zigbee

### 2.1. Quá trình tạo mạng

Zigbee Coordinator đóng vai trò tạo và quản lý mạng trong hệ thống Zigbee. Thiết bị đầu tiên sẽ tạo một Extended PanID (64 bits), là giá trị nhận diện tồn tại duy nhất của mạng và không được phép trùng lặp, địa chỉ của chính nó trong mạng mặc định là 0x0000. Tiếp theo, ZC sẽ quét các kênh trong dải băng tần và đánh giá chất lượng của các kênh, từ đó chọn được kênh phù hợp cho mạng.

### 2.2. Quá trình gia nhập mạng

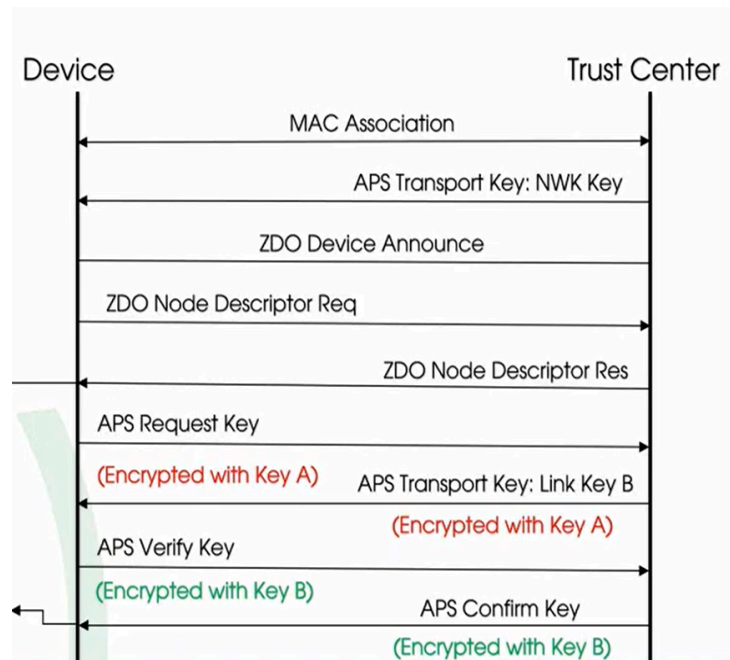


Figure 10. Quá trình gia nhập mạng Zigbee

Các thiết bị khi muốn gia nhập mạng Zigbee sẽ gửi bản tin MAC Association đến Trust Center (Zigbee Coordinator) và một bản tin phản hồi MAC Association theo hướng ngược lại, từ đó bắt đầu quá trình gia nhập mạng giữa thiết bị và Trust Center. Tiếp theo, bản tin APS Transport Key chứa NWK Key được gửi bởi Trust Center cho thiết bị để tiến hành trao đổi các key mã hoá. Bản tin ZDO Device Announce là bản tin broadcast cho toàn mạng về sự hiện diện của nút mạng mới. Sau đó thiết bị sẽ yêu cầu ZDO Node Descriptor của Trust Center, nhằm biết được các thông tin của Trust Center. Khi đã xác nhận Trust Center thuộc loại R21, thiết bị gửi bản tin yêu cầu Link Key B, là key đặc hiệu cho giao tiếp P2P giữa thiết bị và Trust Center.

## 2.3. Các kiểu giao tiếp Zigbee

### 2.3.1. Unicast

Là kiểu trao đổi 1:1 giữa 2 nút mạng, yêu cầu ACK giữa 2 thiết bị sau mỗi bản tin được trao đổi

### 2.3.2. Broadcast

Là gửi một bản tin đến toàn mạng, cho tất cả các thiết bị. Trong kiểu giao tiếp này, một nút mạng broadcast một bản tin đến các nút lân cận, các nút mạng ấy nhận bản tin, đánh dấu “đã nhận” rồi tiếp tục broadcast bản tin đến các nút tiếp theo.

### 2.3.3. Multicast

Thiết bị gửi một bản tin dành cho một nhóm các nút mạng (Group). Kiểu truyền tin này có thể được thực hiện bởi cả nút mạng trong hoặc ngoài nhóm.

### 2.3.4. Many-to-one

Đây khi nhiều bản tin từ các nút mạng khác nhau cùng được gửi về một điểm. Điểm ấy được gọi là Sink Device, thông thường là một Zigbee Coordinator. Bản tin này được ứng dụng trong bản tin MTORR - Many-to-one route request - các thiết bị Router phải liên tục cập nhật Route Record cho Zigbee Coordinator để thực hiện định tuyến đường đi (Routing).

## 2.4. Binding

Binding là phương thức để kết nối 2 hoặc nhiều thiết bị trong mạng với nhau. Quá trình binding bao gồm một thiết bị làm Initiator và các thiết bị khác đóng vai trò Target. Khi khởi tạo kết nối binding, target sẽ nhận được một bản tin Identify Query Request hay Binding Request từ Initiator và sẽ là bản tin đầu tiên được phát hiện. Sau đó là các quá trình trao đổi Simple Descriptor (thông tin mô tả về endpoint) và bản tin IEEE phục vụ cho việc cập nhật binding table của Initiator. Lưu ý Binding giữa Initiator và các target thì chỉ có Initiator là thiết bị được quyền gửi các bản tin Binding đến các Target, vậy nên chỉ có binding table của initiator là được cập nhật.

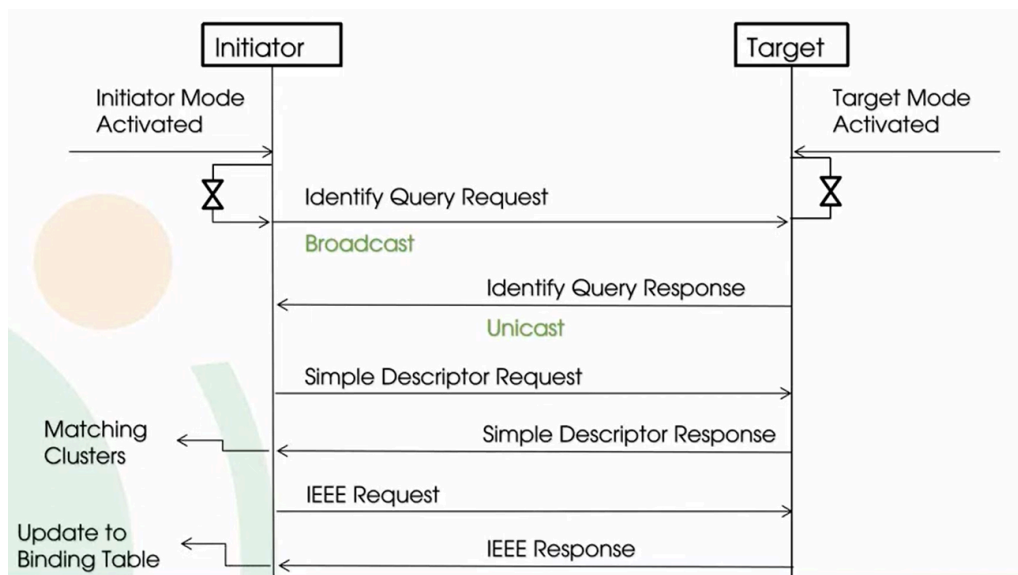


Figure 11. Quá trình binding giữa 2 thiết bị Initiator và Target

### 3. Phát triển thiết bị

Các thiết bị được phát triển trong đồ án:

Tên thiết bị	Số lượng
Kit EFR32MG21A010F512IM32	2
Kit STM32 NUCLEO-F401RE	1
Dây Led WS2812 1m	1

#### 3.1. Bộ điều khiển Led WS2812 (Kit EFR32MG21A010F512IM32 và Dây Led WS2812)

##### 3.1.1. Sơ đồ hoạt động

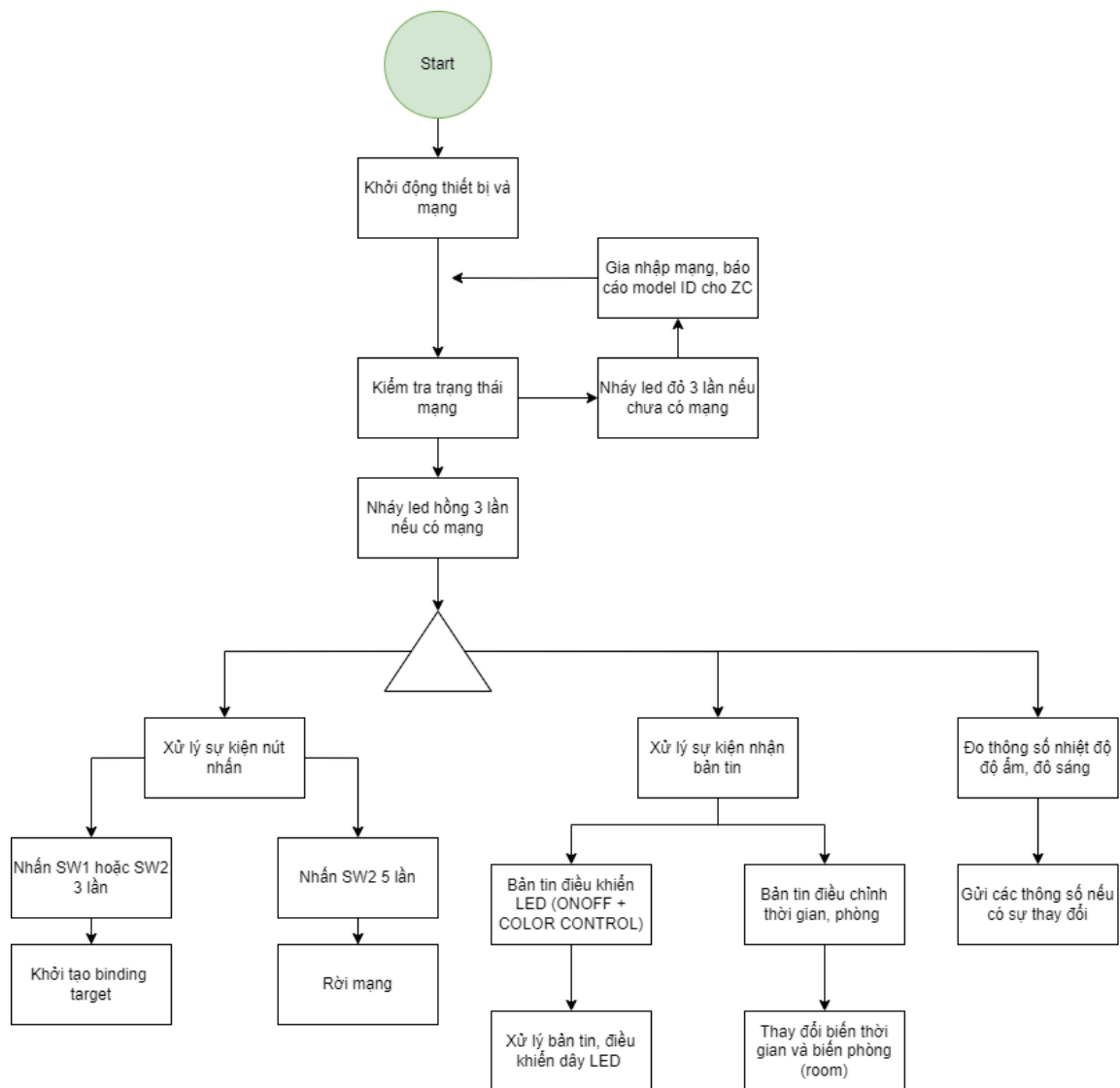


Figure 12. Sơ đồ hoạt động bộ điều khiển LED  
3.1.2. Sơ đồ phân tầng

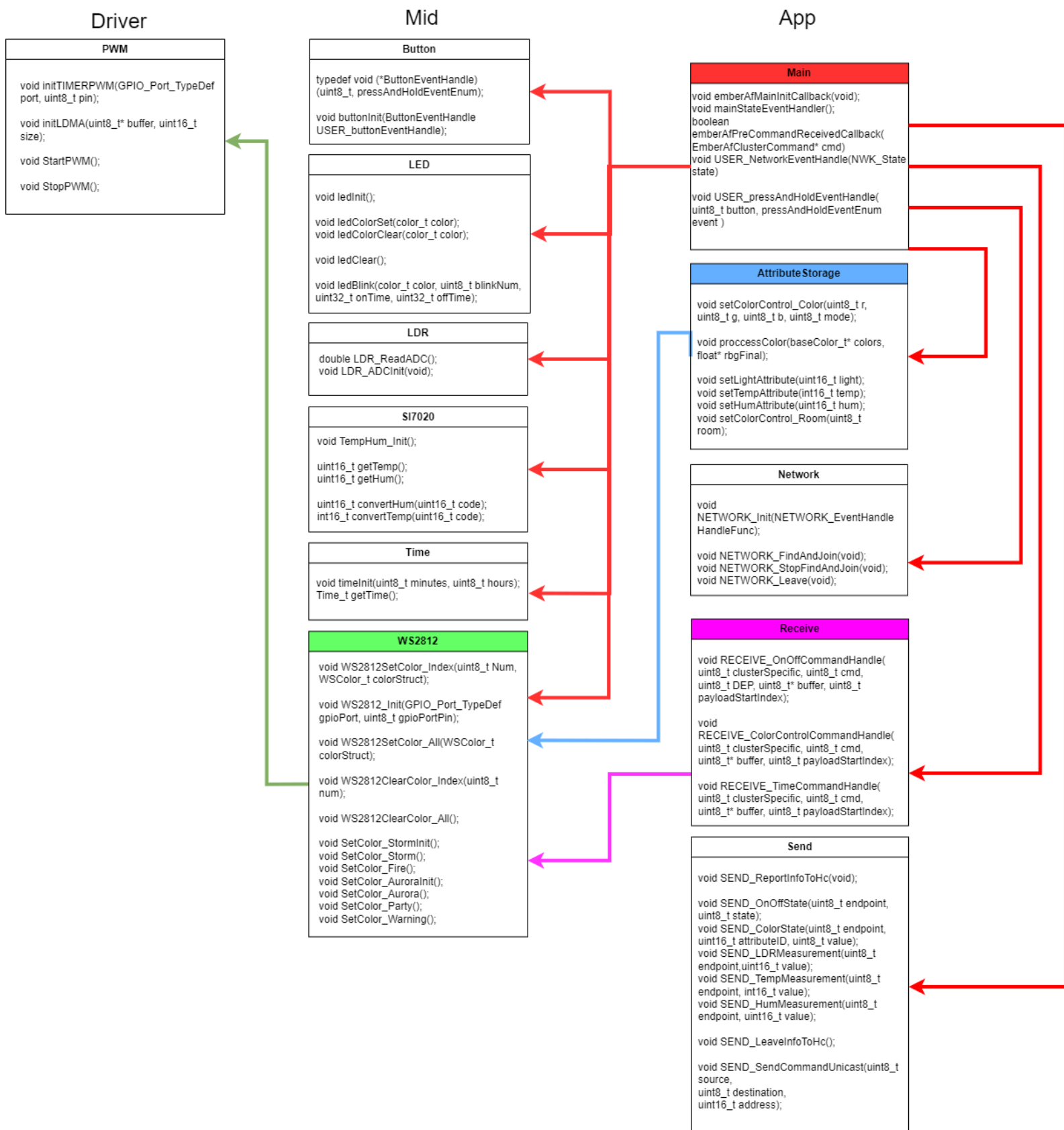


Figure 13. Sơ đồ phân tầng bộ điều khiển LED

### 3.1.3. Nguyên tắc hoạt động

#### 3.1.3.1. Sơ đồ thuật toán xử lý bản tin điều khiển Led

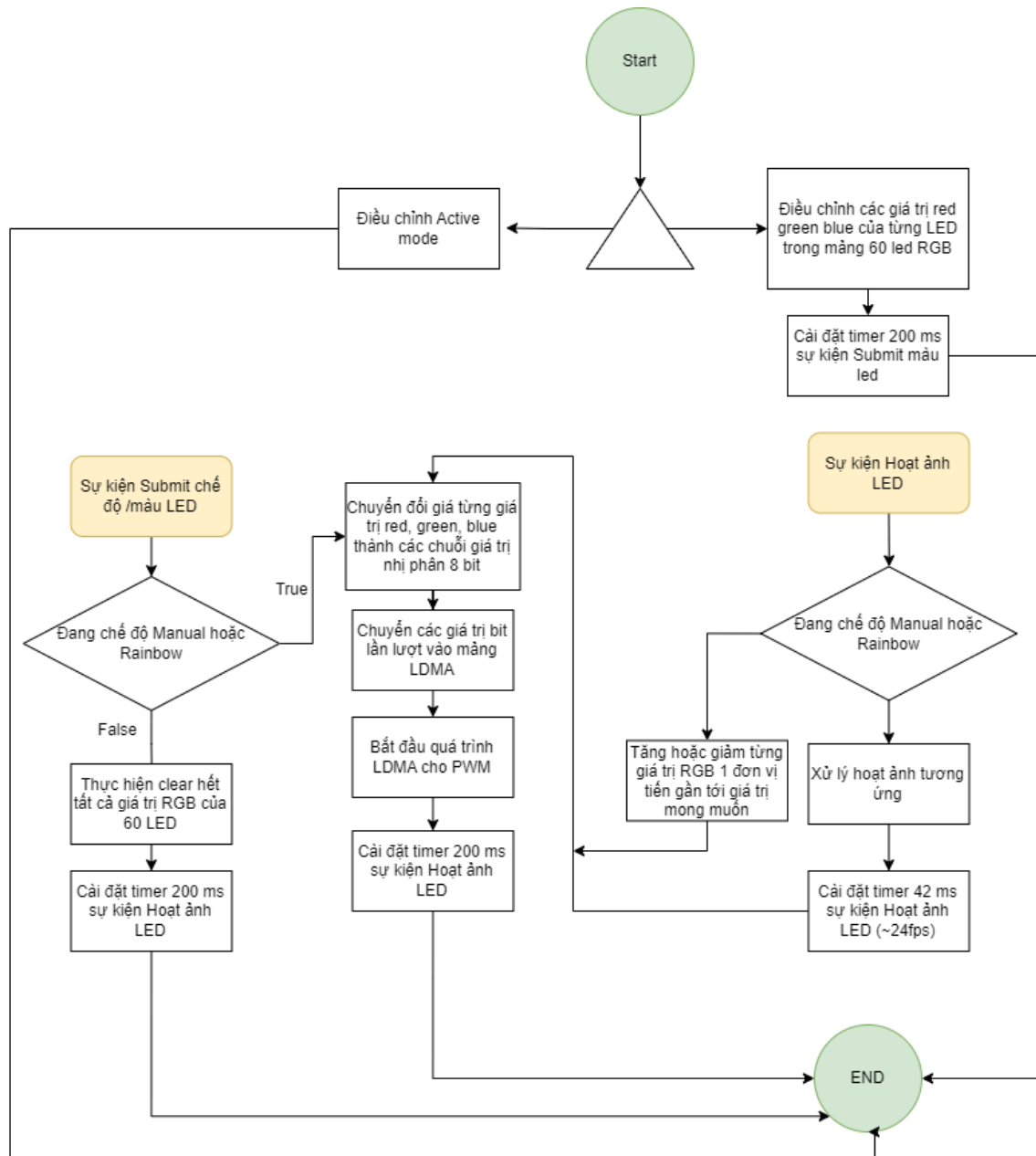


Figure 14. Sơ đồ thuật toán xử lý bản tin điều khiển Led

#### 3.1.3.2. Các thuật toán cho active mode

##### 3.1.3.2.1. Rainbow

Thay vì sử dụng màu sắc thay đổi liên tục cho hiệu ứng, đồ án này mong muốn tạo ra một chế độ tự động thay đổi màu sắc dựa trên mục đích sử dụng phòng và dựa trên thời gian trong ngày, điều kiện

môi trường. Theo như bài báo "Season and time influenced room lighting for optimal human need" [1], các màu sắc khác nhau có những ảnh hưởng nhất định đến thái độ và tâm trạng cũng như năng suất làm việc của con người, từ đó đưa ra các màu sắc phù hợp cho các môi trường hoạt động theo thời gian trong ngày. Các bảng truy xuất màu được dựa trên 3 mùa là mùa hè (Nóng), mùa đông (Lạnh), và gió mùa (Ấm, tương ứng với mưa nhiều) được tổng hợp theo **Figure 14**.

A	B	C	D	E	F
	Sleep	Study	Dining	Exercise	Living
6:00 - 7:00	Light Yellow Yellow Light Golden Yellow		Idian Red		Pale Turquoise Cyan Cadet Blue
7:00 - 8:00			Dark Salmon		Light Cyan Cyan Turquoise
8:00 - 9:00					
9:00 - 10:00					
10:00 - 11:00					
11:00 - 12:00					
12:00 - 13:00					
13:00 - 14:00					
14:00 - 15:00					
15:00 - 16:00					
16:00 - 17:00					
17:00 - 18:00					
18:00 - 19:00					
19:00 - 20:00	Light Sea Green Yellow Light Yellow			Peach Puff Salmon Light Salmon	
20:00 - 21:00					
21:00 - 22:00					
22:00 - 23:00					
23:00 - 00:00					
00:00 - 01:00					
01:00 - 02:00					
02:00 - 03:00					
03:00 - 04:00					
04:00 - 05:00					
05:00 - 06:00	Yellow Mansell				
	Maroon				
	Hot 32oC	>32 oC	<15 oC -> Cold		
	Cold 15oC	> 15oC	>32 oC -> Hot		
	Humid 100% humid	100% humid	100% Humid -> Humid		

*Figure 14. Bảng truy xuất màu dựa trên thời gian và điều kiện thời tiết lấy theo bài báo "Season and time influenced room lighting for optimal human need"*

Các màu được hiển thị dựa trên tổ hợp tỉ lệ màu RGB. Dựa vào các giá trị đo nhiệt độ, độ ẩm, và giá trị thời gian hiện tại, ta xác định được màu cần hiển thị. Tính năng làm mịn sự chuyển đổi giữa các màu sẽ giúp sự chuyển đổi trong ngày trở nên dễ chịu hơn.

#### 3.1.3.2.2. Fire

Sử dụng thuật toán tạo nhiễu Perlin noise để tạo hoạt ảnh cho led. Xét mỗi tọa độ sẽ lựa chọn 1 vector gradient ngẫu nhiên thay đổi phụ thuộc vào giá trị thời gian. Nội suy kết quả nhân vô hướng ( dot

product) của 2 cặp góc giá trị nguyên của ô đó sẽ cho ra được một giá trị cường độ từ 0 đến 1 tại điểm đang xét.

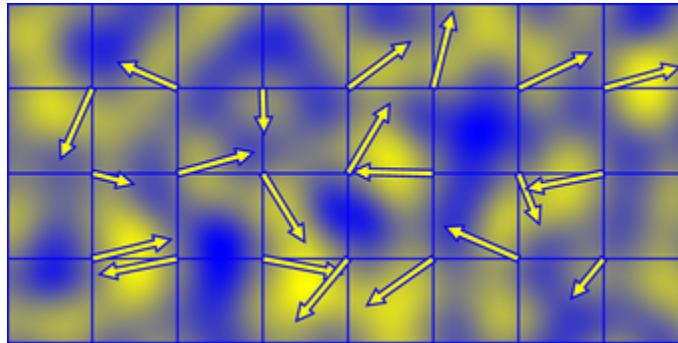


Figure 15. Ví dụ minh họa về thuật toán tạo nhiễu Perlin với các vector gradient ngẫu nhiên tại các giá trị tọa độ số nguyên.

Áp dụng vào bài toán tạo hiệu ứng ngọn lửa, giá trị của cường độ màu của từng đèn (từ 0 đến 255) được xem như các vị trí tọa độ x (không liền kề nhau), tương ứng với giá trị thời gian tại thời điểm đang xét là các giá trị tọa độ y, tạo ra hiệu ứng màu thay đổi liên tục một cách phù hợp. Thêm vào đó, cường độ ánh sáng xanh lá (Green) cũng phụ thuộc vào thuật toán, tăng thêm sự biến động cho hiệu ứng.

#### 3.1.3.2.3. Storm

Thuật toán tạo hiệu ứng storm có phần đơn giản hơn, sau một khoảng thời gian nhất định sẽ chọn một led ngẫu nhiên từ dây led để sáng cường độ ngẫu nhiên của một màu (màu này sẽ được chọn ngẫu nhiên mỗi khi kích hoạt chế độ). Thông tin của cường độ các màu RGB sẽ được lưu trữ trong mảng và thay đổi theo chiều giảm dần cường độ mỗi “frame” trôi qua.

#### 3.1.3.2.4. Aurora

Có phần tương tự như Fire, thuật toán tạo hiệu ứng cực quang thay đổi về cả màu sắc và hoạt ảnh. Dựa trên thực tế, hiện tượng cực quang gồm đa dạng màu sắc và sự chuyển động của chúng khá chậm. Phần mềm điều khiển tỉ lệ các màu sắc cơ bản của led sẽ được lựa chọn ngẫu nhiên số step (tức số frame) các giá trị ấy sẽ được tăng hoặc giảm (1 đơn vị mỗi frame). Tương tự với hoạt động của hiệu ứng, độ sáng của mỗi led cũng sẽ được xác định ngẫu nhiên số step tăng, hoặc giảm hoặc giữ nguyên, do đó tạo được hiệu ứng êm đềm và chậm rãi.

#### 3.1.3.2.5. Party



Party là một hiệu ứng tươi sáng và nhộn nhịp, do đó các màu sẽ được đẩy lên cực đại ( giá trị 0xFF) được lựa chọn ngẫu nhiên các tổ hợp màu (0 hoặc 0xFF) của các màu để chạy dọc theo chiều dài dây Led

#### 3.1.3.2.6. Warning

Là một hiệu ứng có thể không được sử dụng rộng rãi một cách chủ động, chế độ Warning được tạo ra bằng cách nhấp nháy liên tục màu đỏ, với mục đích báo hiệu nguy hiểm.

### 3.2. Bảng điều khiển vật lý cho dây Led (Kit EFR32MG21A010F512IM32 và kit STM32)

#### 3.2.1. Sơ đồ hoạt động

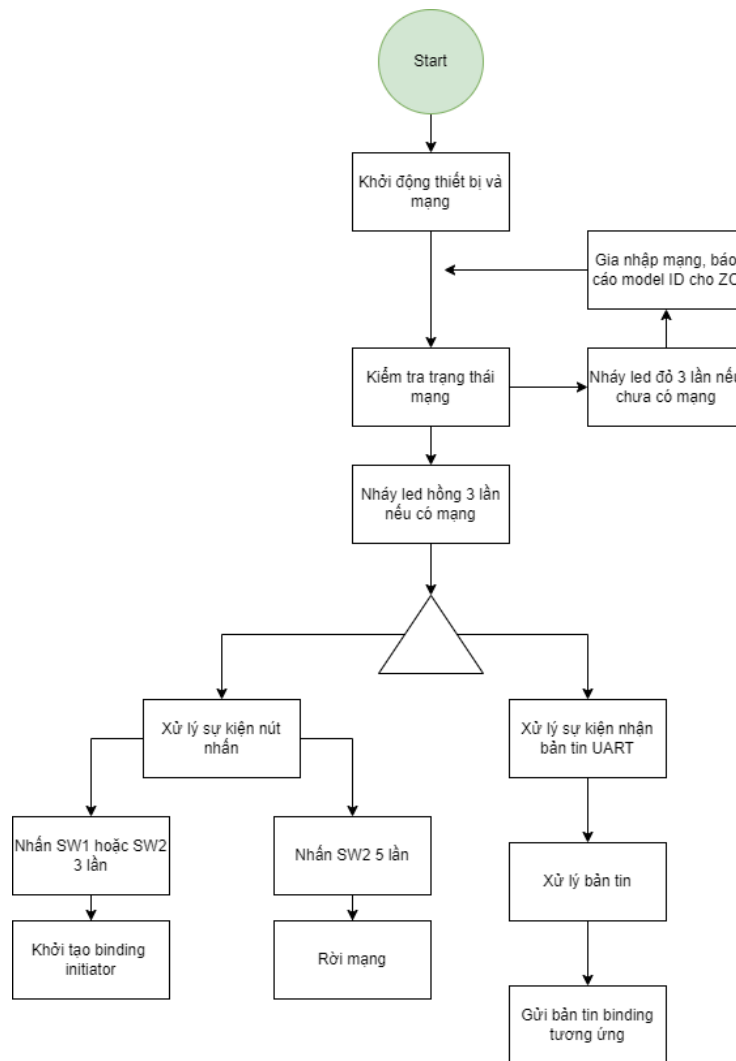
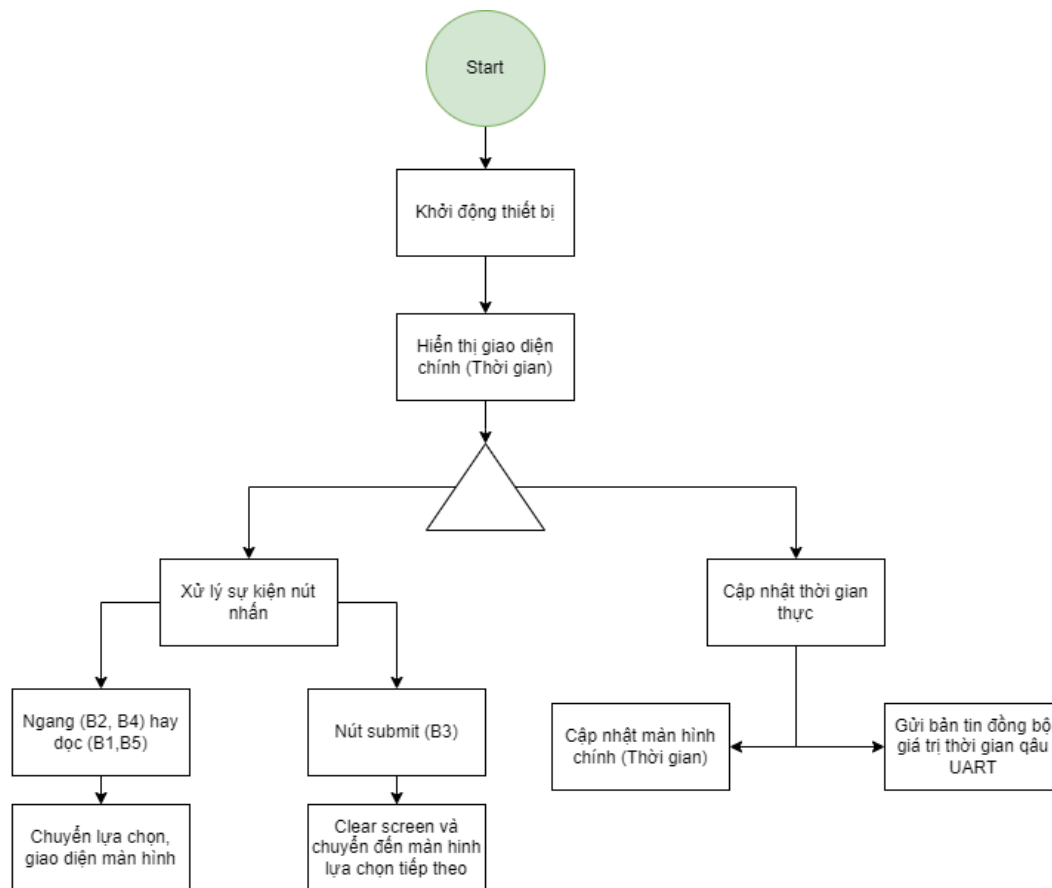


Figure 16. Sơ đồ hoạt động Kit EFR32 trong bảng điều khiển vật lý



*Figure 17. Sơ đồ hoạt động Kit STM32 trong bảng điều khiển vật lý*

### 3.2.2. Sơ đồ phân tầng Kit EFR32

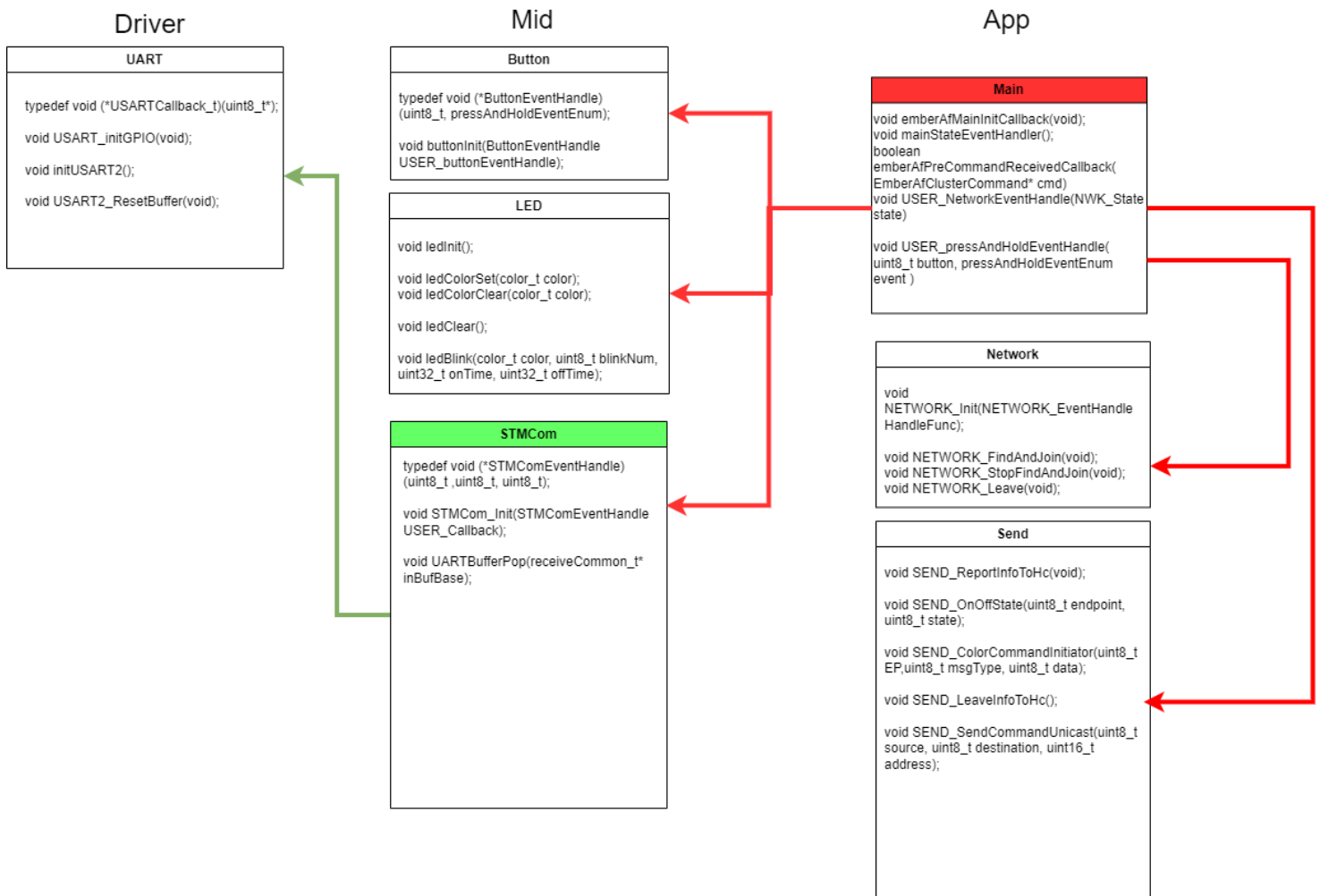


Figure 18. Sơ đồ hoạt động Kit EFR32 trong bảng điều khiển vật lý

### 3.2.3. Nguyên tắc hoạt động

#### 3.2.3.1. Thiết kế bản tin giao tiếp giữa kit STM32 và kit EFR32

Bản tin giao tiếp giữa Kit STM32 và kit EFR32 được thiết kế gồm 4 bytes với 2 byte mặc định là start (0xB1), stop (0xFF), 2 byte nội dung gồm 1 byte cmdID xác định loại bản tin và 1 byte data chứa giá trị. Thiết kế bản tin đơn giản và không gồm byte xác thực, phục vụ cho việc gửi luồng thông tin không liên tục qua giao diện với người dùng.

Khi nhận được bản tin từ STM32, thiết bị EFR32 tiến hành nhận diện byte Start và Stop, từ đó đưa bản tin vào xử lý về CmdID và byte data. Sau khi nhận diện byte Start và Stop, thiết bị tiến hành xóa dữ liệu trong buffer nhận dữ liệu, do trong trường hợp này các byte data sẽ được gửi cách quãng nên phương pháp trên cho thấy sự hiệu quả vừa đủ.

```

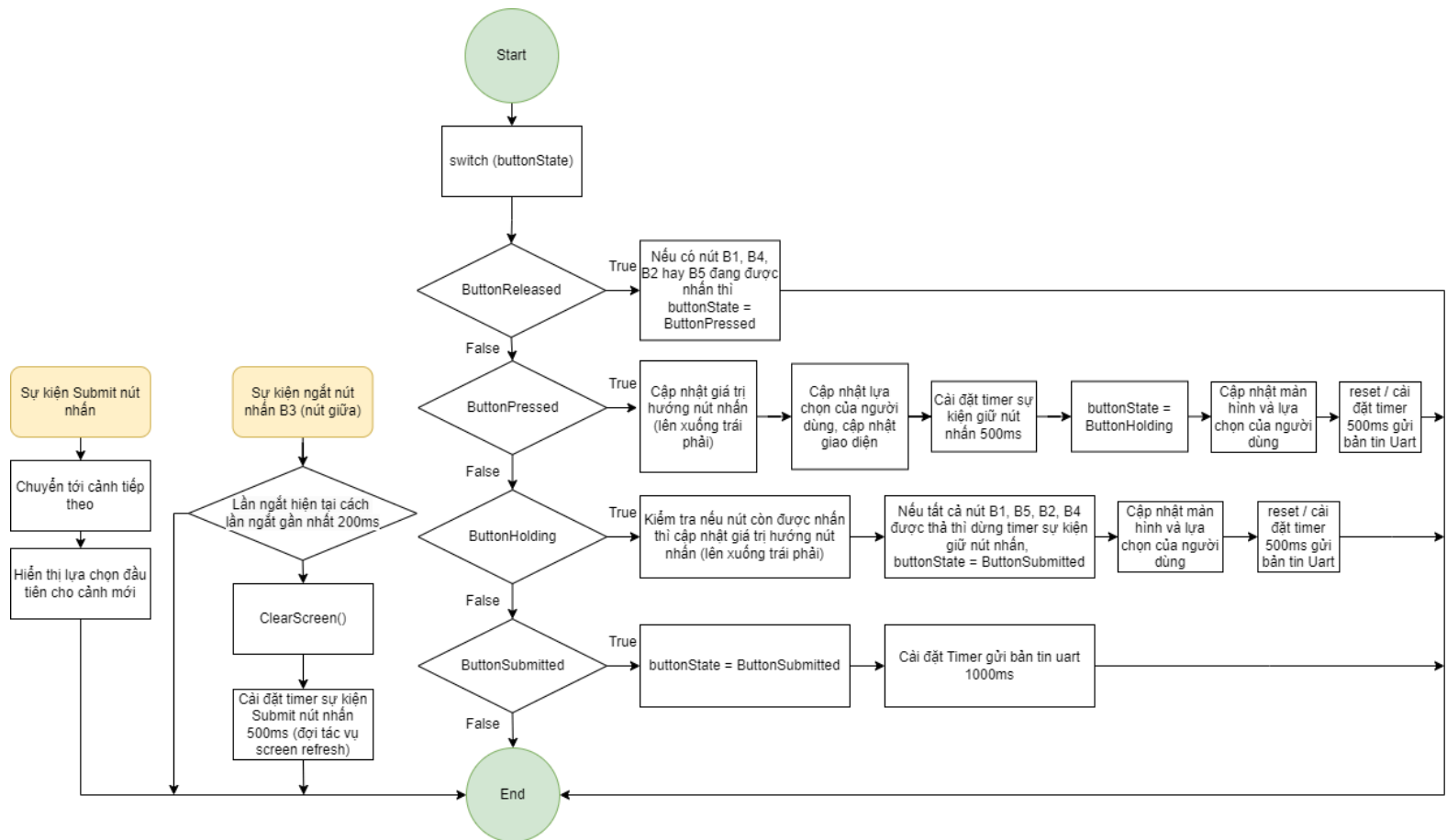
typedef enum {
    Minute,
    Hour,
    Room,
    Red,
    Green,
    Blue,
    ActiveMode
} MessageType_t;

typedef struct {
    uint8_t startByte;
    MessageType_t cmdID;
    uint8_t data;
    uint8_t stopByte;
} __attribute__((packed)) receiveCommon_t;

```

Figure 19. Thiết kế bản tin giao tiếp giữa STM32 và EFR32

### 3.2.3.2. Sơ đồ thuật toán xử lý nút nhấn của STM32



*Figure 20. Sơ đồ thuật toán xử lý nút nhấn và các sự kiện liên quan ở STM32*

#### 4. Những tính năng được phát triển trong đồ án

Mô hình IoT cho thiết bị đèn thông minh được phát triển trong đồ án này mang đến những tính năng tiên tiến, giúp bạn dễ dàng điều khiển và đèn từ xa thông qua web hoặc ứng dụng di động. Những tính năng được phát triển trong đồ án này bao gồm:

- **Điều khiển từ xa:** Điều khiển trạng thái đèn RGB từ xa thông qua ứng dụng Lumi Life, phục vụ đầy đủ các chức năng chuyển đổi màu và active mode
- **Điều khiển qua bảng điều khiển vật lý được lắp đặt:** Điều khiển trạng thái đèn RGB từ xa thông qua bảng điều khiển vật lý, phục vụ đầy đủ các chức năng chuyển đổi màu và active mode tương tự trên ứng dụng Lumi Life
- **Chức năng thông báo giá trị đo môi trường:** Các giá trị đo nhiệt độ, độ ẩm và ánh sáng được cập nhật lên app Lumi Life
- **Chức năng Adaptive Lighting:** Thay đổi màu sắc của đèn dựa vào giá trị đo của môi trường, thời gian trong ngày và mục đích hoạt động.

## CHƯƠNG 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 1. Mô tả sản phẩm

#### 1.1. Thiết bị Dây LED thông minh

##### 1.1.1. Thiết bị được phát triển với các tính năng:

- Điều chỉnh màu sắc độ sáng
- Lựa chọn 6 chế độ ánh sáng (Rainbow, Fire, Storm, Aurora, Party, Warning)
- Cập nhật giá trị nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng môi trường
- Điều khiển bằng app Lumi Life và bảng điều khiển vật lý

##### 1.1.2. Thông số:

- Device Type: Zigbee Router
- Model ID: RGB1\_LM1\_TMP1\_HMP1
- Điện áp hoạt động: 5V

##### 1.1.3. Hiển thị trạng thái mạng

Nội dung	Hiển thị	Giải thích	Hành động
Khi cấp nguồn	LED đỏ nháy 3 lần	Thiết bị chưa gia nhập mạng	Tiếp tục quét tìm kiếm mạng chu kì 2s
	LED hồng nháy 3 lần	Thiết bị đã gia nhập mạng	NULL
Khi nhấn nút SW1 hoặc SW2	LED hồng nháy 3 lần	Thiết bị đã khởi tạo binding target	NULL

*Table 1. Bảng các hiển thị và giải thích của Thiết bị dây LED thông minh*

#### 1.2. Thiết bị Bảng điều khiển vật lý

##### 1.2.1. Thiết bị được phát triển với các tính năng:

- Điều chỉnh màu sắc độ sáng cho dây LED
- Lựa chọn 6 chế độ ánh sáng (Rainbow, Fire, Storm, Aurora, Party, Warning)
- Hiển thị thời gian hiện tại và cho phép cấu hình thời gian, môi trường

##### 1.2.2. Thông số:

- Device Type: Zigbee Router
- Model ID: SW1
- Điện áp hoạt động: 5V

##### 1.2.3. Hiển thị trạng thái mạng

Nội dung	Hiển thị	Giải thích	Hành động
----------	----------	------------	-----------

Khi cấp nguồn	LED đỏ nháy 3 lần	Thiết bị chưa gia nhập mạng	Tiếp tục quét tìm kiếm mạng chu kì 2s
	LED hồng nháy 3 lần	Thiết bị đã gia nhập mạng	NULL
	Màn hình hiển thị "Time 00:00"	Đặt lại giờ thành 00:00	NULL
Khi nhấn nút SW1 hoặc SW2	LED hồng nháy 3 lần	Thiết bị đã khởi tạo binding Initiator	NULL

Table 2. Bảng các hiển thị và giải thích trạng thái mạng của Thiết bị Bảng điều khiển vật lý 1.2.4. Các màn hình giao diện người dùng

Màn hình	Lựa chọn	Mô tả	Màn hình kế tiếp
Screen0		Hiển thị giờ hiện tại	Screen1
Screen1	Settings	Tùy chọn Time và Room	Screen3
	Mode: Manual	Điều chỉnh màu	Screen2
	Mode: Auto	Các Active Modes	Screen6
	Mode: Storm		
	Mode: Fire		
	Mode: Aurora		
	Mode: Party		
	Mode: Warning		
Screen2	Red: <XXX>	Tùy chỉnh các cường độ ánh sáng Red, Green, Blue (XXX)	Screen6
	Green: <XXX>		
	Blue: <XXX>		
Screen3	Time	Chọn cài đặt Time hoặc Room	Screen5
	Room		Screen4

Screen4	Room: Living	Tuỳ chọn các active mode mặc định	Screen6
	Room: Study		
	Room: Sleep		
	Room: Dining		
	Room: Exercise		
Screen5	Hour	Điều chỉnh thời gian hiện tại của hệ thống	Screen6
	Minute		
Screen6		Kết thúc	Screen0

Table 3. Bảng các màn hình lựa chọn và giải thích Thiết bị Bảng điều khiển vật lý

## 2. Khó khăn gặp phải

Trong quá trình phát triển và hoàn thiện đồ án tôi đối mặt với một số khó khăn sau:

Khó khăn	Giải pháp
Vấn đề sai hỏng, lệch bit khi giao tiếp với WS2812	Sử dụng LDMA cho PWM, tạo thêm giá trị mỗi trước khi truyền mảng LDMA vào
Các xung đột trong thư viện điều khiển LCD trên kit STM32, dẫn đến đứng màn hình khi nhấn nút lúc đang có hoạt động từ LCD	Setup biến để chặn tất cả dòng chương trình trong một khoảng thời gian sau khi viết trên màn hình
Trong quá trình thực hiện đồ án, tôi còn gặp phải một số khó khăn hiểu được các thuật toán như Perlin và các thuật toán tạo nhiễu khác.	



# CHƯƠNG 5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

## 1. Kết luận

Thiết bị điều khiển dây LED thông minh được phát triển trong đồ án mang đến nhiều lợi ích và tiện lợi. Việc điều khiển được từ xa qua ứng dụng điện thoại mang đến sự thoải mái cho người dùng, cùng với đó, thiết bị được tích hợp chức năng theo dõi các thông số môi trường, phù hợp cho các ứng dụng nhà thông minh. Việc thích ứng với môi trường ứng dụng Lumi Life là một lợi thế lớn vì tính trực quan và giao diện bắt mắt, dễ sử dụng.

Chức năng ánh sáng tự động cho môi trường và thời gian cũng chính là đặc điểm nổi trội khi phần lớn thiết bị chiếu sáng thông dụng chỉ có một màu trắng hoặc vàng, không phù hợp cho tất cả mục đích sử dụng. Vì thế việc thiết bị đèn có thể tự tùy chỉnh màu sắc cho phù hợp với môi trường làm việc, ăn uống, giải trí hay ngủ mang đến sự dễ chịu và hiệu quả công việc trong mọi môi trường. Ngoài ra các active mode cũng có thể dùng để tạo ra các môi trường thư giãn hay sôi động hơn cho các mục đích trên.

Thêm vào đó, bảng điều khiển vật lý cũng đáp ứng nhu cầu theo hướng ngược lại, hỗ trợ đầy đủ các chức năng, cải thiện sự linh hoạt về ứng dụng khi có thể điều khiển từ xa lẫn lân cận.

## 2. Hướng phát triển

Dự án có thể được phát triển theo hướng thêm hoặc cải thiện các chức năng. Khả năng đồng bộ giữa bảng điều khiển và ứng dụng có thể được cải thiện và đồng bộ trên tất cả phương diện. Chức năng bật đèn khi có người và tắt đèn khi vắng cũng có thể là một cải tiến hiệu quả về mặt năng lượng cho giải pháp, sử dụng cảm biến chuyển động.

Ngoài ra, nhiều dây LED sắp xếp thành các hàng thành một mặt phẳng 2D cũng có thể được điều khiển, sử dụng để hiển thị các hoạt cảnh nâng cao, hay hình ảnh, biểu tượng, tăng tính thẩm mỹ cho không gian.

Nhìn chung, các cải thiện trong tương lai đều nhằm mục đích mang đến thêm sự tiện lợi và thoải mái cho người dùng, tăng sự linh hoạt và hiệu quả cho thiết bị.

## DANH MỤC THAM KHẢO

[1] T. K. Rana, A. Chakraborty, T. Banerjee, T. Samadder and B. Rana, "Season and time influenced room lighting for optimal human need," 2016 IEEE 7th Annual Information

Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746336.

[2] Wikimedia Foundation. (2024, November 14). *Perlin Noise*. Wikipedia.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Perlin\\_noise](https://en.wikipedia.org/wiki/Perlin_noise)

[2] [Bảng các màu sắc cho chức năng ánh sáng tự động](#)

[3] [Ảnh hưởng của nhiệt độ màu tương quan và cường độ ánh sáng lên sự thoải mái về thị giác, sức khỏe và cảm xúc](#)