

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG**

**BỘ MÔN MÁY TÍNH – HỆ THỐNG NHÚNG**

Ảnh có chứa bản phác thảo, hình mẫu, hình vẽ, Đồ họa

Mô tả được tạo tự động

**NGUYỄN NGỌC TÙNG**

|  |
| --- |
| **Thu thập dữ liệu thô về tín hiệu photoplethysmography  và truyền dữ liệu thông qua kết nối bluetooth low energy** |

***Đề tài:***

**Chuyên ngành Máy Tính - Hệ Thống Nhúng**

**TP. Hồ Chí Minh, tháng 7 năm 202**

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**BỘ MÔN MÁY TÍNH - HỆ THỐNG NHÚNG**

**🙚🙚🙚🕮🙘🙘🙘**

**NGUYỄN NGỌC TÙNG**

**MSSV: 19200560**

***Đề tài:***

|  |
| --- |
| **Thu thập dữ liệu thô về tín hiệu photoplethysmography và   truyền dữ liệu thông qua kết nối bluetooth low energy     Collecting raw data on photoplethysmography signals and transmitting   data via Bluetooth Low Energy (BLE) connection** |

**KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP CỬ NHÂN**

**NGÀNH KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**CHUYÊN NGÀNH MÁY TÍNH - HỆ THỐNG NHÚNG**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

**ThS. NGUYỄN QUỐC KHOA**

**LỜI CẢM ƠN**

Em muốn nói lời cảm ơn đến tất cả mọi người, những người đã giúp đỡ, truyền cảm hứng, hỗ trợ em trong suốt quá trình học tập và cả những người đã đóng góp hỗ trợ em trong việc hoàn thành khoá luận này.

Đầu tiên, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến Thầy Nguyễn Quốc Khoa – người đã có những hỗ trợ những đóng góp những phản hồi quan trọng để giúp em hoàn thành khoá luận một cách chỉn chu và tốt nhất. Em gửi lời cảm ơn đến các thầy cô trong Khoa điện tử - viễn thông cũng như các thầy cô trong trường Đại học Khoa học tự nhiên đã có những cách giáo dục tốt nhất để truyền đạt kiến thức, kỹ năng cho em cũng như các sinh viên khác có thể hoàn thành các nghiên cứu của mình.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn đến anh Lưu Xuân Vỹ, cũng như anh Bùi Văn Quốc đã cho em cơ hội tiếp cận dự án thực tế cũng đã có những quan sát, góp ý hết sức kịp thời để giúp em hoàn thành mục tiêu của mình và cũng cảm ơn đến toàn bộ các anh chị đang làm việc tại ITRVN nói riêng và công ty ITRVN nói chung đã tạo môi trường thuận lợi cho em hoàn thành khoá luận của mình.

Cuối cùng, lời cảm ơn được gửi tới bố mẹ, tới bạn bè của em, những người vẫn luôn âm thầm động viên, giúp đỡ em về mặt tinh thần rất lớn để em có thể luôn vui vẻ, tự tin thực hiện ước mơ của mình.

Khoá luận này không thể thành công nếu không có sự hiện diện của tất cả những người đã đề cập ở trên. Em thật sự biết ơn vào sự hỗ trợ không ngừng của họ và niềm tin vào khả năng của em.

Một lần nữa, xin chân thành cảm ơn tất cả các mọi người đã trở thành một phần trong cuộc hành trình đáng nhớ này và đã làm cho luận văn này trở thành hiện thực**.**

TP Hồ Chí Minh, ngày 26, tháng 06, năm 2023

Nguyễn Ngọc Tùng

**TÓM TẮT KHOÁ LUẬN**

Đề tài “**thu thập dữ liệu thô về tín hiệu photoplethysmograpahy và truyền dữ liệu thông qua kết nối bluetooth low energy**” tập trung vào việc nghiên cứu và thực hiện thu thập dữ liệu thô về tín hiệu photoplethysmography (PPG) từ AFE4420, tập trung vào hiểu hoạt động và cấu trúc của AFE4420 để có thể điều khiển nó thu thập tín hiệu PPG một cách chính xác và tin cậy. Sau đó, đề tài sẽ xây dựng kết nối Bluetooth Low Energy (BLE) để truyền dữ liệu PPG thu thập được đến một ứng dụng di động. Việc xây dựng kết nối BLE sẽ yêu cầu tìm hiểu về giao thức BLE và cách thiết lập kết nối trên vi điều khiển hỗ trợ BLE với ứng dụng di động. Đề tài đã thành công trong việc thu thập được tín hiệu PPG và xây dựng kết nối BLE để truyền tải dữ liệu thu thập được qua ứng dụng di động.

**ABSTRACT**

"**Collecting raw data on photoplethysmography signals and transmitting data via Bluetooth Low Energy (BLE) connection**" focuses on studying and implementing the collection of raw data on photoplethysmography (PPG) signals from the AFE4420. The project aims to understand the operation and structure of the AFE4420 in order to accurately and reliably control it for PPG signal acquisition. Subsequently, the project will establish a Bluetooth Low Energy (BLE) connection to transmit the collected PPG data to a mobile application. Building the BLE connection will involve studying the BLE protocol and setting up the connection on a microcontroller that supports BLE with the mobile application. The project has successfully collected PPG signals and established a BLE connection to transmit the collected data via the mobile application.

**MỤC LỤC**

**DANH SÁCH TỪ VIẾT TẮT**

**DANH SÁCH HÌNH ẢNH**

**DANH SÁCH BẢNG**

**CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU**

**1.1. Bối cảnh thực hiện đề tài**

Phẫu thuật là phương pháp phổ biến của nền y học hiện nay trong việc điều trị các căn bệnh, tuy nhiên đi kèm với nó là vết thương nơi vết mổ xảy ra, do đó các bệnh nhân cần phải theo dõi thường xuyên tình trạng vết mổ của mình để đảm bảo sức khoẻ của mình. Tuy nhiên với những bệnh nhân như thế, việc di chuyển đến các trung tâm y tế hay bệnh viện để tái khám là khó khăn, chính vì thế mà thiết bị theo dõi tình trạng những vết thương như thế được nghĩ đến. Và để có thể làm được điều đó, thu thập dữ liệu trên cơ thể người là hết sức quan trọng. Nhịp tim, nồng độ oxy trong máu, hay huyết áp đều được phân tích từ tín hiệu photoplethysmography (PPG) được thu thập bởi các thiết bị điện tử. Việc thu thập dữ liệu về tín hiệu photoplethysmography (PPG) trở nên ngày càng quan trọng để đánh giá sự hoạt động của tim và các thông số liên quan. Điều này đặc biệt có ý nghĩa trong việc theo dõi và phát hiện các vấn đề sức khỏe như bất thường nhịp tim, căng thẳng, hoặc mức độ oxy hóa trong máu.

Kết nối Bluetooth Low Energy (BLE) được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng di động hiện đại. BLE cung cấp khả năng truyền dữ liệu không dây tiết kiệm năng lượng, cho phép các thiết bị di động như điện thoại thông minh hoặc máy tính bảng kết nối với các thiết bị đo và thu thập dữ liệu từ các thiết bị y tế hoặc cảm biến. Các thiết thu thập dữ liệu được đeo trên cơ thể người phải tiết kiệm năng lượng hết sức có thể để có thể duy trì thời gian hoạt động và nâng cao trải nghiệm người dùng, do đó để truyền tải dữ liệu qua kết nối không dây thì khó có gì có thể thay thế kết nối BLE, chính vì lý do đó mà nó được sử dụng trong đề tài này.

Bằng cách thu thập dữ liệu PPG và truyền nó qua kết nối BLE, người dùng có thể theo dõi và giám sát sức khỏe của mình một cách tiện lợi và không gian lưu trữ nhiều dữ liệu trên thiết bị di động của mình. Điều này giúp cải thiện quản lý sức khỏe và tạo ra những thông tin quan trọng cho việc đưa ra quyết định chăm sóc sức khỏe cá nhân.

**1.2. Lý do thực hiện đề tài**

Với bối cảnh thực hiện đề tài đã được kể ở trên thì có nhiều lý do để thực hiện đề tài này.

Thứ nhất, đối với các bệnh nhân đang có những vết mổ trên cơ thể thì khó khăn trong việc di chuyển đến bệnh viện để tái khám do đó thiết bị có sẵn có thể theo dõi trực tiếp tình trạng sức khoẻ là cần thiết.

A close-up of a watch

Description automatically generated with medium confidenceThứ hai, phương pháp đo đạc tín hiệu photoplethysmography (PPG) là một phương pháp phổ biến, dễ dàng và giá thành thấp để có thể dùng tín hiệu đó mà phân tích ra các chỉ số liên quan đến sức khoẻ như: nhịp tim, nồng độ oxy trong máu (SpO2), huyết áp, … nó được ứng dụng rất nhiều trong các thiết bị đeo như Apple watch, Mi band, …

Thứ ba, trao đổi dữ liệu không dây từ thiết bị này sang thiết bị khác là xu hướng, kèm theo đáp ứng nhu cầu về mặt năng lượng thì kết nối BLE là công nghệ hết sức phù hợp để đem vào ứng dụng.

Ngoài ra, nghiên cứu, tìm hiểu và thực hiện các thiết bị có thể thu thập tín hiệu PPG và truyền tải dữ liệu đó qua ứng dụng di động là quá trình giúp cho người làm thu nạp thêm nhiều kiến thức và kĩ năng để giải quyết các vấn đề, các bài toán thực tế ngay trong cuộc sống hằng ngày.

Chính những lý do kể trên đã hình thành lên mục tiêu và con đường để em có thể tự tin thực hiện đề tài này.

**1.3. Mục tiêu thực hiện đề tài**

Từ bối cảnh cho đến lý do thực hiện đề tài đã kể ở trên thì thật sự có rất nhiều vấn đề cần được đưa ra và giải quyết để hoàn thành nó.

Trong khuôn khổ khả năng của bản thân em cũng như kiến thức của mình thì để hoàn toàn làm được một thiết bị hoàn chỉnh có khả năng phân tích đánh giá dữ liệu thu thập được cũng như cho người dùng trải nghiệm tuyệt vời khi dùng nó với ứng dụng di động là một hành trình khó và dài cần rất nhiều thời gian và nỗ lực để hoàn thành.

Vì lẽ đó, trong khuôn khổ cho phép của khoá luận này, mục tiêu của em thực hiện trong đề tài này như sau:

* Tìm hiểu cách hoạt động của thành phần điện tử dùng để thu thập tín hiệu PPG mà ở đây là AFE4420.
* Sau khi hiểu cấu tạo cũng như hoạt động của nó, thì dùng AFE4420 kết hợp với chip SoC, ở đây là nRF5340 để lập trình nó thu thập dữ liệu tín hiệu PPG.
* Sử dụng được kết nối BLE để thực hiện các thao tác truyền dữ liệu PPG giữa thiết bị cùng với ứng dụng di động.
* Tạo một ứng dụng di động với giao diện đơn giản sử dụng kết nối BLE với thiết bị để có thể hiện thị dữ liệu dạng sóng PPG cho người dùng theo dõi.

Trên đây là các mục tiêu cần phải thực hiện được trong đề tài này theo khả năng của một sinh viên. Dựa trên những mục tiêu trên thì kỹ năng, cũng như kiến thức kết hợp với sự tìm tòi học hỏi và kiên trì của bản thân thì các mục tiêu trên hoàn toàn có thể đạt được.

**CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT**

**2.1. Giới thiệu về chip SoC nRF5340**

nRF5340 là một chip System on Chip (SoC) hỗ trợ kết nối không dây tiên tiến mang lại hiệu suất cao về năng lượng và tính linh trong việc sử dụng. Nó được trang bị hai bộ xử lý Arm Cortex-M33 mạnh mẽ, cho phép xử lý hiệu quả các nhiệm vụ phức tạp. Với tính năng bảo mật tiên tiến và dải nhiệt độ hoạt động rộng lên đến 105°C, nRF5340 là lựa chọn tuyệt vời cho nhiều ứng dụng như thiết bị đeo thông minh tiên tiến, các hệ thống IoT phức tạp…

A close-up of a chip

Description automatically generated with medium confidence

A picture containing text, font, screenshot, logo

Description automatically generatedMột trong những tính năng nổi bật của nRF5340 là khả năng hỗ trợ nhiều giao thức kết nối không dây. Nó tích hợp Bluetooth 5.1 Direction Finding, Bluetooth 5 Long Range, NFC, Bluetooth Mesh, Thread và Zigbee, cho phép tương thích với nhiều tiêu chuẩn giao tiếp không dây. Tính linh hoạt này cho phép kết nối và tích hợp mượt mà với các thiết bị khác nhau.

Với mức tiêu thụ năng lượng siêu thấp, nRF5340 được thiết kế để tối đa hóa tuổi thọ pin. Điều này làm cho nó trở thành giải pháp lý tưởng cho các thiết bị IoT tiết kiệm năng lượng và đồng hồ đeo tay thông minh yêu cầu hoạt động lâu dài mà không cần sạc thường xuyên.

Tổng thể, nRF5340 nổi bật với tính năng cao cấp, bảo mật mạnh mẽ và hỗ trợ nhiều giao thức không dây. Tính linh hoạt và hiệu suất xuất sắc của nó làm cho nó trở thành lựa chọn hấp dẫn cho các nhà phát triển và kỹ sư tìm kiếm một giải pháp đáng tin cậy và hiệu quả.

**2.2. Giới thiệu về Bluetooth Low Energy - BLE**

**2.2.1. Giới thiệu sơ lược về Bluetooth Low Energy**

Bluetooth Classic được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng thông qua việc truyền dữ liệu với tốc độ cao và dễ sử dụng. Tuy nhiên, đối với các thiết bị đeo tiết kiệm năng lượng và ứng dụng IoT, việc sạc pin thường xuyên không khả thi. Để giải quyết vấn đề này, Bluetooth Low Energy (BLE) đã được giới thiệu như một phiên bản tiết kiệm năng lượng trong Bluetooth Specification 4.0. Mục tiêu của BLE là cho phép các ứng dụng IoT tiết kiệm năng lượng mà vẫn đảm bảo kết nối và tốc độ truyền dữ liệu.

Bluetooth LE tập trung vào việc tiết kiệm năng lượng bằng cách giảm tốc độ truyền dữ liệu từ bằng cách chia nhỏ các gói dữ liệu từ 27 bytes đến 251 bytes và tối ưu hoá thời gian phát sóng radio. Điều này làm cho nó phù hợp cho các thiết bị hoạt động bằng pin như đồng hồ thông minh, cảm biến thông minh, và các thiết bị IoT. Ngoài ra, Bluetooth LE có các khía cạnh khác biệt với Bluetooth Classic, bao gồm các hình thức kết nối và loại thiết bị được hỗ trợ, nhằm phục vụ cho các ứng dụng IoT đặc biệt.

**2.2.2. Cấu trúc ngăn xếp giao thức của BLE**

Hình ảnh dưới đây mô tả kiến trúc ngăn xếp giao thức của BLE, cho thấy các tầng tạo thành phần Host của Bluetooth LE và tầng tạo thành phần Controller của Bluetooth LE.

A picture containing text, screenshot, font, software

Description automatically generated

Tâng ứng dụng (Applications): là nơi mà người dùng tương tác thông qua các API được hỗ trợ để sử dụng giao thức bên trong BLE.

Tầng chủ (Host): quyết định cách các thiết bị Bluetooth LE lưu trữ và trao đổi dữ liệu với nhau

* Giao thức Logical Link Control & Adaptation Protocol (L2CAP): cung cấp dịch vụ đóng gói dữ liệu cho các tầng trên cùng. Nó giúp gói gọn dữ liệu và cung cấp khả năng truyền và nhận dữ liệu giữa các thiết bị Bluetooth LE
* Giao thức Security Manager Protocol (SMP): xác định và cung cấp phương pháp để thiết lập kết nối an toàn. Nó đảm bảo rằng dữ liệu được truyền qua kết nối Bluetooth LE được bảo vệ và mã hóa đúng cách.
* Giao thức Attribute Protocol (ATT): cho phép một thiết bị biểu diễn một số dữ liệu cụ thể cho thiết bị khác. Nó cho phép trao đổi thông tin và thu thập dữ liệu giữa các thiết bị Bluetooth LE.
* Giao thức Generic Attribute Profile (GATT): xác định các quy trình cần thiết để sử dụng tầng ATT. Nó mô tả cách truy cập và quản lý các services và characteristics trên thiết bị Bluetooth LE.
* Giao thức Generic Access Profile (GAP): tương tác trực tiếp với ứng dụng để xử lý các dịch vụ liên quan đến phát hiện thiết bị và kết nối. Nó cung cấp các chức năng như tìm kiếm thiết bị và thiết lập kết nối giữa các thiết bị Bluetooth LE.

Tầng điều khiển (Controller): gồm các thành phần như sau:

* Tầng Vật lý (Physical Layer - PHY): xác định cách dữ liệu thực tế được biến đổi thành sóng radio, và cách nó được truyền và nhận. Tầng này quyết định các thông số về tần số, công suất và phương thức truyền dữ liệu trên sóng radio.
* Tầng Liên kết (Link Layer - LL): quản lý trạng thái của radio, được định nghĩa là một trong các chế độ sau - chế độ chờ (standby), chế độ quảng bá (advertising), chế độ quét (scanning), chế độ khởi tạo (initiating), và chế độ kết nối (connection). Tầng này điều khiển việc gửi và nhận các gói tin trong quá trình kết nối Bluetooth LE.

**2.2.3. GAP và vai trò của các thiết bị trong BLE**

Tầng GAP trong Bluetooth LE xác định các vai trò và chức năng của các thiết bị trong kết nối Bluetooth LE. Vai trò quảng bá và quét là các vai trò quan trọng trong quá trình thiết lập kết nối giữa các thiết bị Bluetooth LE. Một thiết bị quảng bá sẽ thông báo về sự tồn tại và khả năng kết nối của nó, trong khi một thiết bị khác sẽ quét và tìm kiếm các thiết bị quảng bá để thiết lập kết nối.

A picture containing design

Description automatically generatedTrong Bluetooth LE, có hai vai trò chính là **peripheral** và **central**. Peripheral là thiết bị quảng bá sự hiện diện và mong muốn kết nối, trong khi central là thiết bị quét và tìm kiếm các thiết bị peripheral. Khi central quét và phát hiện gói quảng bá của peripheral, nó có thể khởi tạo một yêu cầu kết nối tới peripheral để thiết lập kết nối. Khi kết nối được thiết lập, peripheral và central có thể trao đổi dữ liệu và tương tác với nhau.

**2.2.4. ATT và GAT: Biểu diễn và trao đổi dữ liệu trong BLE**

ATT xác định cách dữ liệu được truyền và xử lý trong quá trình kết nối của các thiết bị Bluetooth LE. Nó dựa trên mô hình client-server, trong đó server là thiết bị chứa dữ liệu và có thể gửi dữ liệu cho client (thiết bị khác) hoặc client có thể yêu cầu dữ liệu từ server.

A close-up of a sign

Description automatically generated with low confidence

GATT là một lớp giao thức nằm trên lớp ATT và sử dụng các khái niệm như profile, dịch vụ (service) và đặc điểm (characteristics) để quản lý việc truyền dữ liệu giữa các thiết bị Bluetooth LE.

* Profile: Một profile là một tập hợp các dịch vụ và đặc điểm liên quan đến một ứng dụng cụ thể. Ví dụ, profile Heart Rate Monitor (Bộ đo nhịp tim) xác định các dịch vụ và đặc điểm liên quan đến việc đo nhịp tim.
* Service (Dịch vụ): Một dịch vụ đại diện cho một chức năng cụ thể của một thiết bị Bluetooth LE. Ví dụ, dịch vụ Heart Rate (Nhịp tim) trong profile Heart Rate Monitor sẽ chứa thông tin về việc đo nhịp tim.
* Characteristic (Đặc điểm): Một đặc điểm là một phần của dịch vụ và chứa dữ liệu hoặc thông tin cụ thể. Ví dụ, trong dịch vụ Heart Rate, đặc điểm Heart Rate Measurement chứa dữ liệu về nhịp tim đo được.

A screenshot of a heart rate profile

Description automatically generated with medium confidence

**2.3. Giới thiệu về tín hiệu photoplethysmography - PPG**

**2.3.1. Tín hiệu photoplethysmography - PPG**

Photoplethysmography (PPG) là một phương pháp không xâm lấn để đo lường sự thay đổi về khối lượng máu trong mạch dưới da, dựa vào các đặc tính quang học của cơ thể người như khả năng hấp thụ và phản xạ ánh sáng từ mô mạch máu trong cơ thể. Dựa trên sự thay đổi về lượng máu trong cơ thể được truyền tải bởi lượng ánh sáng, tín hiệu PPG và phân tích, nó có thể cung cấp thông tin về nhịp tim, nồng độ oxy trong máu và các thông số khác liên quan đến sự hoạt động của hệ tuần hoàn.

Một hệ thống đo lường PPG có cấu trúc cơ bản gồm LED để chiếu sáng và cảm biến ánh sáng (Photodiode) để đo lường lướng ánh sáng được truyền qua hoặc phản xạ từ cơ thể, ngoài ra còn có bộ điều khiển LED, bộ lọc loại bỏ nhiễu, bộ chuyển đổi tương tự sang số và vi xử lý. Với thiết kế phần cứng đơn giản và chi phí cho hệ thống thấp nên kỹ thuật đo PPG thường được dùng trong nhiều ứng dụng khác nhau.

Với hệ thống như trên thì có hai loại cấu hình thiết bị để đo PPG là: truyền qua (transmissive) và phản xạ (reflection)

* Loại truyền qua (transmissive type): LED và PD được đặt đối diện nhau
* Loại phản xạ (reflection type): LED và PD được đặt gần với nhau

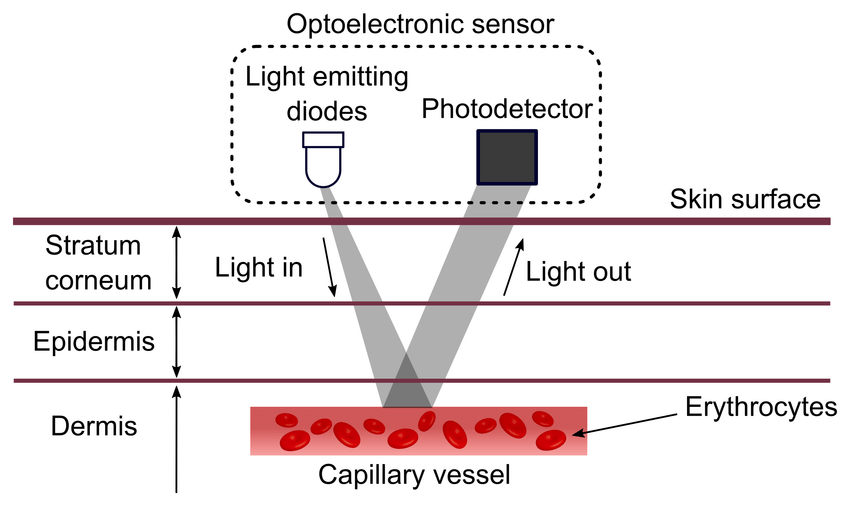
A close-up of a stapler

Description automatically generated with low confidence

**2.3.2. Nguyên lý hoạt động của đo đạc tín hiệu PPG**

Hoạt động để đo đạc PPG có thể chia thành các giai đoạn khác nhau như chiếu sáng, hấp thụ và phản xạ, thu thập ánh sáng, xử lý tín hiệu.

Chiếu sáng là lúc mà nguồn sáng từ LED dùng để chiếu lên vùng da gần mạch máu, ánh sáng có thể là ánh sáng với các bước sóng khác nhau. Bước sóng 470, 570 và 660 nm hoặc cao hơn có thể đạt được tới biểu bì với mạch máu nhỏ, da thượng bì với các mạch nhỏ và các động mạch trong mô dưới da, các mạch máu chính và các động mạch có nhịp đập mạnh chủ yếu nằm ở lớp thượng bì hoặc mô dưới da. Do đó, ánh sáng có bước sóng màu đỏ từ 640-660 nm và bước sóng hồng ngoại từ 880-940 nm thường được sử dụng chủ yếu để đo PPG.



Hấp thụ và phản xạ là lúc mà ánh sáng chiếu qua da, nó sẽ gặp phản xạ và hấp thụ từ các mạch máu nằm gần bề mặt da. Mạch máu chứa các chromophore, chẳng hạn như hồng cầu chứa hemoglobin, có khả năng hấp thụ ánh sáng. Sự hấp thụ này tạo ra một phổ hấp thụ đặc trưng của máu, trong đó nồng độ oxyhemoglobin và deoxyhemoglobin ảnh hưởng đến sự hấp thụ ánh sáng. Ví dụ, trong giai đoạn giãn tâm, thể tích máu, đường kính động mạch và nồng độ hemoglobin trong vùng đo đạt giá trị nhỏ nhất. Do đó, độ hấp thụ ánh sáng cũng đạt giá trị nhỏ nhất, trong khi lượng ánh sáng được cảm biến ánh sáng phát hiện là lớn nhất. Ngược lại, trong giai đoạn co bóp tim, độ sáng ánh sáng được phát hiện bởi cảm biến ánh sáng giảm xuống mức tối thiểu.

Thu thập ánh sáng là khi ánh sáng phản xạ từ mạch máu được thu thập bởi một cảm biến ánh sáng (Photodiode), có khả năng chuyển đổi ánh sáng thành tín hiệu điện.

Xử lý tín hiệu là giai đoạn tín hiệu điện từ cảm biến ánh sáng được chuyển đổi thành dạng số bằng một bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC - Analog-to-Digital Converter). Sau đó, tín hiệu số này được xử lý bởi một vi xử lý hoặc các thuật toán tính toán để trích xuất các thông tin quan trọng như nhịp tim, huyết ap, nồng độ oxy trong máu (SpO2) và nồng độ oxyhemoglobin, …

**2.3.3. Dạng sóng của tín hiệu PPG**

Dạng sóng PPG được thu được từ lượng hấp thụ ánh sáng thông qua việc đảo ngược độ sáng được ghi lại bằng cảm biến ánh sáng sau khi ánh sáng được truyền qua hoặc phản xạ từ mô tế bào con người. Nói chung, dạng sóng PPG được chia thành hai thành phần chính là thành phần có nhịp (AC) và thành phần không có nhịp (DC).

Thành phần có nhịp thường gọi là thành phần dòng điện xoay chiều (AC) liên quan đến sự thay đôi lượng máu trong mạch, đồng bộ với chu kỳ tim mạch, liên quan đến quá trình co giãn của cơ mạch.

Thành phần không có nhịp là thành phần dòng điện một chiều (DC) thường bị ảnh hưởng bới các đặc điểm sinh học, chẳng hạn như thành phần mô và khối lượng máu cơ bản của vùng đo, cũng như các yếu tố bên ngoài, như ánh sáng môi trường và thông số thiết bị đo.

A picture containing text, screenshot, diagram, font

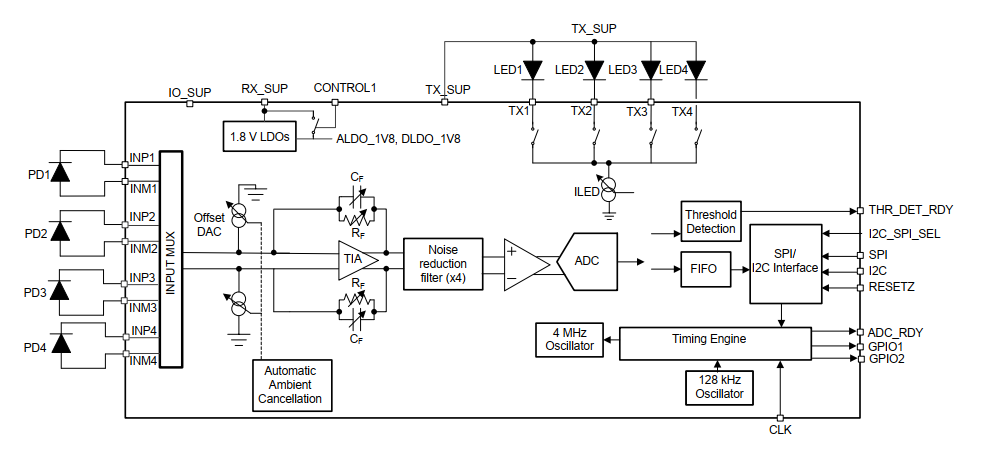
Description automatically generated

**A graph with blue lines and red dots

Description automatically generated with low confidence**Dạng sóng PPG thay đổi theo hoạt động của tim và còn bị ảnh hưởng bởi hô hấp, hoạt động của hệ thần kinh tự động, hoạt động động mạch và hoạt động tĩnh mạch. Nó có hai đường cong chính: một đường cong tăng dần và một đường cong giảm dần. Đường cong tăng dần tương ứng với giai đoạn tâm thu, khi lượng máu trong các mạch nhỏ tăng do tim co bóp. Đường cong giảm dần tương ứng với giai đoạn tâm trương, khi lượng máu trong các mạch nhỏ giảm do tim giãn ra.

**2.4. Giới thiệu tổng quan về AFE4420 trong đo đạc tín hiệu PPG**

AFE4420 là một thiết bị gồm bộ truyền và bộ nhận tín hiệu sử dụng các đặc tính kỹ thuật về quang học trên cơ thể người để phục vụ cho các ứng dụng như giám sát nhịp tim, tính toán nồng độ oxy trong máu hay còn gọi là SpO2, huyết áp, … Hệ thống này hoạt động dựa trên một tham số quan trọng gọi là tần số lặp lại xung nhịp (PRF), xác định chu kỳ lặp lại của các hoạt động. Trong mỗi chu kỳ PRF, nó có thể tạo lên đến 16 pha tín hiệu để thu thập dữ liệu. Mỗi pha tín hiệu liên quan đến việc bật đèn LED hoặc không, kết hợp với việc thu thập và chuyển đổi tín hiệu nhận được từ một hoặc nhiều cảm biến PD (photodiode). Pha tín hiệu mà ở đó đèn LED được bật để chiếu sáng gọi là pha LED (LED phase), pha này chứa thông tin về tín hiệu PPG mà nó thu thập được. Trong khi đó, pha không có đèn LED chiếu sáng được gọi là pha môi trường (ambient phase). Các mẫu dữ liệu thu được từ pha LED và pha môi trường có thể được bù trừ cho nhau nhằm giúp loại bỏ hoặc giảm thiểu ảnh hưởng của ánh sáng môi trường đến việc phát hiện tín hiệu nhịp tim. Điều này giúp đảm bảo rằng chúng ta chỉ thu được tín hiệu thực sự từ tim mà không bị nhiễu từ ánh sáng xung quanh. Một khối FIFO (First in, First out) được sử dụng để lưu trữ các mẫu dữ liệu từ mỗi pha tín hiệu qua nhiều chu kỳ, đảm bảo việc thu thập và xử lý dữ liệu được thực hiện một cách liên tục và có tổ chức.



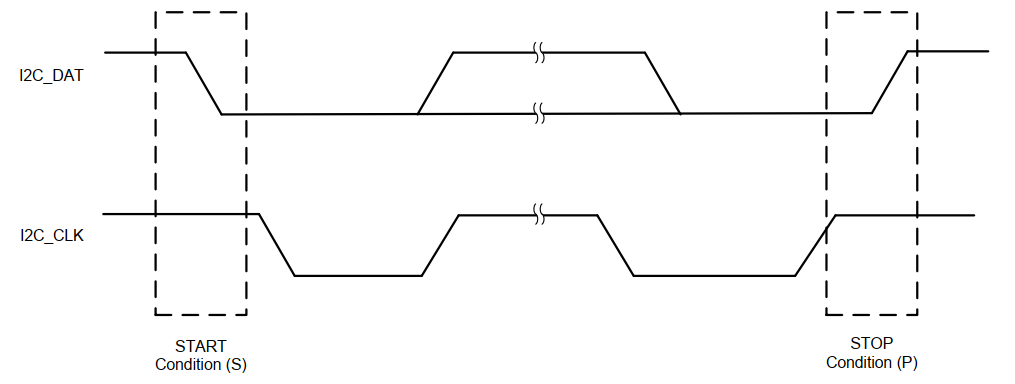
Tín hiệu ánh sáng thu được thông qua photodiode chuyển thành dòng điện, dòng này sau đó được chuyển đổi thành điện áp vi sai thông qua bộ khuếch đại TIA (Trans-inpedance Amplifier), độ lợi của bộ khuếch đại này đặc trưng bởi mạch RF hồi tiếp có thể lập trình từ 10 kOhm đến 2 MOhm. Ở ngõ ra của bộ khuếch đại có bộ lọc RC để làm giảm nhiễu trên tín hiệu.

Tín hiệu sau khi ra khỏi bộ lọc sẽ được chuyển đổi bởi một bộ ADC và lưu trữ vào trong FIFO, có thể truy cập FIFO này thông qua giao tiếp SPI hoặc I2C. Trước đầu vào của bộ khuếch đại TIA có hỗ trợ bộ An Offset Cancellation DAC, bộ này giúp loại bỏ tín hiệu dòng DC không mong muốn trên tín hiệu đầu vào do nhiễu từ môi trường gây ra.

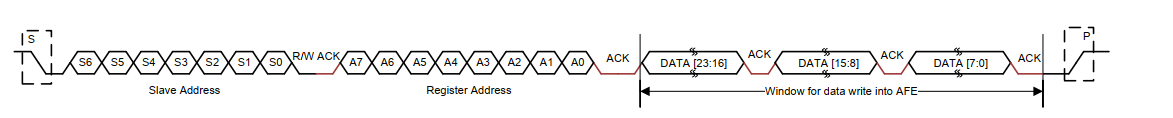
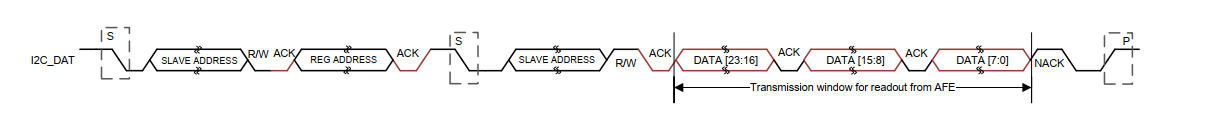
Bộ truyền tín hiệu ánh sáng gồm một bộ điều khiển dòng LED (một cặp các bộ điều khiển song song giống nhau), có thể điều khiển một cách linh hoạt đến bất kỳ LED nào trong 4 đèn LED. Dòng điện cho mỗi đèn LED có thể được điều khiển một cách độc lập. Việc bật đèn LED có thể được đồng bộ hoàn toàn với việc lấy mẫu tín hiệu từ photodiode bởi bộ nhận. Trong AFE có hai bộ LDO, là ALDO và DLDO dùng để cung cấp nguồn điện cho các thành phần analog và digital trong mạch được điều khiển bởi chân CONTROL1.

**2.4.1. Giao tiếp I2C bên trong AFE4420**

Bên trong AFE4420 có hỗ trợ giao tiếp I2C, các đường IC2\_CLK và I2C\_DAT được kéo lên thông qua điện trở. Điều kiện bắt đầu truyền là khi đường I2C\_DAT chuyển từ mức cao xuống thấp và đường I2C\_C đang ở mức cao, điều kiện dừng truyền thì ngược lại là khi mà đường I2C\_DAT chuyển từ mức thấp lên cao và IC2\_CLK đang ở mức cao.

****

Dưới đây là mô tả hoạt động đọc và ghi:



**2.4.2. Tính năng bên trong AFE4420**

**2.4.2.1. Chế độ xung đồng hồ**

AFE có bộ điều khiển thời gian (timming engine) nhằm điều khiển các chuyển đổi liên quan đến thời gian trong các pha tín hiệu. Có ba mode hoạt động cho bộ này lần lượt là: chế độ dao động nội (Internal oscillator mode), chế độ xung đồng hồ ngoại (External clock mode) và chế độ thu thập trong một lần (Single-shot acquisition).

Chế độ dao động nội là chế độ mặc định trong hệ thống sử dụng ở bộ dao động ở tần số 128 kHz. PRF là tham số đặc trưng cho tần số lấy mẫu của tín hiệu, dưới đây là mô tả tổng quan về thời gian hoạt động của bộ điều khiển thời gian.

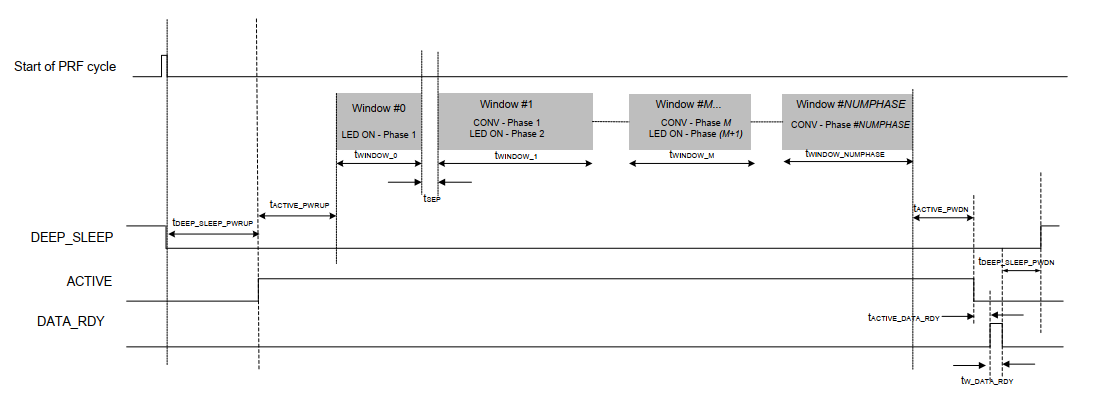
A screenshot of a computer

Description automatically generated with low confidence

Trạng thái tích cực (Active) là khoảng thời gian mà các pha tín hiệu được thực hiện để thu thập dữ liệu và chuyển đổi, lên đến 16 pha tín hiệu có thể tạo được trong trạng thái tích cực này.

**2.4.2.2. Pha tín hiệu bên trong trạng thái tích cực**

Bộ điều khiển thời gian tạo ra thời gian cho việc bật LED, thời gian cho việc lấy mẫu tín hiệu và thời gian cho việc chuyển đổi ADC. Lên đến 16 pha có thể tạo trong mỗi chu kỳ lấy mẫu và mỗi pha có thể cấu hình tín hiệu riêng biệt.



A picture containing text, diagram, line, screenshot

Description automatically generated**A picture containing text, diagram, line, screenshot

Description automatically generated**

Bên trên là mô tả về một pha tín hiệu, pha 0 là pha đầu tiên khi nó cho LED sáng và lấy mẫu, trong khi pha M là các pha còn lại khi mà nó cho LED sáng và lấy mẫu tín hiệu của LED này và thực hiện chuyển đổi ADC cho các mẫu tín hiệu ở pha trước đó (M – 1).

**2.4.2.3. Photodiode và LED**

AFE hỗ trợ 4 photodiode (PD) cho việc thu thập tín hiệu, người dùng có thể điều khiển để lựa chọn các PD thích hợp cho các pha tín hiệu khác nhau.

AFE cũng hỗ trợ 4 LED cho việc tạo ra tín hiệu để thu thập, dòng điện qua các LED được điều khiển bởi hai bộ điều khiển dòng và các mức dòng điện khác nhau tạo bởi bộ điều khiển dòng có thể được lập trình thông qua các thanh ghi.

**2.4.2.4. Offset Cancellation DAC**

Một tín hiệu quang học điển hình sẽ tồn tại thành phần dc và thành phần ac, thành phần ac được khuếch đại bởi bộ TIA tuy nhiên độ lợi sẽ bị giảm làm cho không đạt được tín hiệu tối đa do ảnh hường của thành phần dc gây ra bởi nhiễu từ môi trường. Để loại bỏ dòng dc này, bộ Offset Cancellation DACđược dùng để tạo ra dòng điện huỷ bỏ đi dòng dc, giúp đạt được độ lợi tín hiệu tối đa. Trong 16 pha tín hiệu, mỗi pha có thể được bộ này tạo ra dòng huỷ riêng biệt. Dòng điện tạo ra để huỷ bỏ thành phần dc có thể được lập trình để được các mức dòng khác nhau.

A picture containing diagram, rectangle, text, screenshot

Description automatically generated

**2.4.2.5. Bộ TIA và lọc**

Độ khuếch đại của bộ TIA giúp chuyển đổi tín hiệu thu được từ các PD ở dạng dòng điện thành điện áp cho phép chuyển đổi sang tín hiệu số sau này, độ lợi của nó có thể lập trình ở các mức khác nhau từ 10 KOhm cho đến 2 MOhm.

Các mẫu tín hiệu ở đầu ra của bộ khuếch đại được lọc nhiễu thông qua bộ lọc RC được gắn ở ngõ ra của bộ TIA. Băng thông của bộ lọc có thể được lập trình để đảm bảo ổn định ổn định tín hiệu. Đặt băng thông thấp giúp giảm nhiễu, tuy nhiên giá trị quá thấp có thể làm không ổn định tín hiệu dẫn đến mất mát tín hiệu và làm giảm tỷ số tín hiệu trên nhiễu.

**2.4.2.6. Bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự sang số (ADC)**

ADC là một phần của AFE và nhiệm vụ của nó là chuyển đổi dòng điện từ cảm biến ánh sáng thành dạng số. ADC trong trường hợp này cung cấp một biểu diễn 22-bit của dòng điện đó. Các mã ADC này có thể được đọc từ thanh ghi có kích thước 24-bit. Chúng được biểu diễn theo định dạng bù hai, cho phép biểu diễn cả các giá trị âm và dương. Dải đầu vào của ADC được xác định là ±1.2 V, tức là ADC có thể chuyển đổi các tín hiệu từ -1.2 V đến +1.2 V thành các giá trị số từ 0 đến 221. Các bit từ 21 đến 0 trong biểu diễn số này thể hiện giá trị tương ứng của tín hiệu đầu vào.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

Khi tín hiệu đầu vào vượt quá mức full-scale của ADC, ADC không thể chuyển đổi chính xác giá trị đó và mã đầu ra sẽ bão hoà. Điều này có nghĩa là giá trị đầu ra của ADC sẽ đạt tới giá trị tối đa hoặc tối thiểu có thể biểu diễn bởi độ phân giải của nó.

**2.4.2.7. Chế độ huỷ nền tự động động (Automatic Ambient Cancellation Mode - AACM)**

Như đã trình bày bên trên, AFE4420 có bộ Offset Cancellation DAC để giúp tạo ra dòng huỷ loại bỏ đi thành phần dc xuất hiện trên tín hiệu nhận được. Chế độ huỷ nền tự động cũng có vai trò tương tự như bộ Offset Cancellation DAC. Chế độ Hủy tín hiệu môi trường tự động là một tính năng trong mạch giao tiếp tương tự (AFE), khi được kích hoạt, tự động ước tính và hủy tín hiệu môi trường tại đầu vào của bộ khuếch đại TIA. Việc hủy tín hiệu môi trường này được thực hiện bằng cách vòng lặp AACM tự động điều chỉnh giá trị của DAC hủy bỏ độ lệch. Việc hủy bỏ tín hiệu môi trường tại đầu vào cho phép cài đặt độ lơi của bộ TIA cao hơn giúp đạt được tín hiệu tốt hơn.

A picture containing text, screenshot, line

Description automatically generated

Khi bật chế độ huỷ nền tự động, một pha đích được chỉ định để cho bộ này phân tích tín hiệu trên pha đích và ước tính tạo ra dòng huỷ thích hợp, pha đích thường là pha môi trường.

**2.4.2.8.** **Khối lưu trữ (First-In, First-Out – FIFO)**

AFE có một FIFO có dung lượng 128 mẫu, được sử dụng để lưu trữ các mẫu dữ liệu từ các pha được tạo ra trong chu kỳ PRF (Pulse Repetition Frequency). Mỗi mẫu dữ liệu tương ứng với một từ ADC gồm 3 byte.

A picture containing text, screenshot, font, line

Description automatically generatedFIFO cũng có thể tạo ra tín hiệu ngắt cho vi điều khiển để cho phép đọc dữ liệu từ FIFO khi đã có đủ lượng dữ liệu mong muốn. Lượng dữ liệu cho phép để bật ngắt báo hiệu cho vi điều khiển được chỉ định bằng tham số gọi là watermark được lập trình trong thanh ghi của FIFO, khi thiết lập watermark ở một mức nhất định, ngắt sẽ tạo ra mỗi khi lượng data

**CHƯƠNG 3: THỰC HIỆN HỆ THỐNG**

**3.1. Kiến trúc hệ thống**

**3.1.1. Sơ đồ khối hệ thống**

**3.1.2. Kiến trúc phần mềm**

**3.2. Thực hiện cấu hình và thu thập dữ liệu PPG từ AFE4420**

**3.2.1. Cấu hình hoạt động cho AFE4420**

**3.2.1.1. Thiết lập độ lợi cho bộ khuếch đại TIA**

Thiết lập độ lợi cho bộ TIA của AFE4420, bảng dưới đây cho thấy các mức độ lợi có sẵn của AFE4420.

A picture containing text, receipt, number, screenshot

Description automatically generated

Các mức độ lợi từ mức 10 KOhm cho đến 2 MOhm, chọn độ lợi phù hợp giúp khuếch đại tín hiệu thu được từ photodiode để dễ dàng xử lý sau này khi thực hiện chuyển đổi ADC. Trong hệ thống đo đạc hiện tại mức độ lợi được chọn là **250 KOhm**, nằm ở khoảng giữa các mức, do đã được kiểm tra cùng các mức độ lợi khác cho thấy mức này là ổn định cho tín hiệu thu thập được.

**3.2.1.2 Cấu hình mặc định cho hoạt động của AFE4420**

Bước thiết lập này sẽ xây dựng các cấu hình ban đầu cho AFE để hoạt động, nó bao gồm các cấu hình về cách dùng xung đồng hồ của hệ thống, các vấn đề về thời gian cho các hoạt động trong một pha tín hiệu như là thời gian sáng của led, thời gian lấy mẫu trong một pha, hay băng thông của lọc RC.

Bảng dưới đây biểu diễn các cấu hình ban đầu quan trọng được thiết lập trong AFE.

|  |  |
| --- | --- |
| Băng thông bộ lọc | 22.5 K |
| Thời gian lấy mẫu khi LED sáng | 23.4375 us |
| Thời gian chuyển đổi mẫu lấy được của LED ở pha trước đó | 7.8125 us |
| Dòng điểu khiển LED | Chế độ 2X tối đa lên đến 100mA |

Thiết lập cho ngưỡng cho phép đọc dữ liệu đã được chuyển đổi lưu trong FIFO là 100 mẫu.

**3.2.1.3. Kích chế độ huỷ nền tự động - AACM**

A picture containing line, plot, diagram, slope

Description automatically generatedTín hiệu PPG thu thập được sẽ bị nhiễu bởi thành phần dc gây ra từ ảnh hưởng của môi trường, nó làm giảm đi độ khuếch đại của bộ khuếch đại TIA, do đó cần phải loại bỏ thành phần này. Chế độ huỷ nền tự động – AACM trong AFE giúp thực hiện loại bỏ thành phần dc này, do đó ta cần thiết lập cho phép chế độ này hoạt động để nó tạo ra dòng điện huỷ đi thành phần dc, giúp làm tăng độ khuếch đại của bộ TIA làm cho tín hiệu rõ ràng và tốt hơn để chuyển đổi một cách chính xác.

Ở hình trên, đường sóng màu xanh thể hiện dòng điện môi trường xung quanh gây nhiễu, đường sóng màu đen thể hiện tín hiệu dòng điện đã được điều chỉnh kéo về dưới mức ngưỡng cho phép của tín hiệu bằng cách dùng dòng huỷ bỏ. Khi sự khác biệt giữa dòng điện môi trường xung bắt đầu vượt quá một ngưỡng (được đánh dấu là IAMB\_RECONV), AACM sẽ tự động điều chỉnh giá trị của Offset DAC, từ đó kéo dòng điện xung quanh gần với mức không.

**3.2.1.4. Hiệu chỉnh cho chế độ huỷ nền tự động**

Việc phát hiện dòng môi trường đạt đến ngưỡng được thực hiện bởi AACM thông qua quan sát mã đầu ra của pha môi trường được đặt làm mục tiêu để ước tính giá trị dòng huỷ (IFS\_OFFDAC) tạo ra. Nó ước tính bằng cách tự thực hiệu quá trình hiệu chuẩn dựa trên các thông số RF độ lợi và dòng huỷ tối đa để thiết lập giá trị tương ứng vào các thanh ghi bên trong AFE sau đó được thiết lập cho các photodiode cần thiết.

A picture containing text, screenshot, number, font

Description automatically generated

Hệ thống được thiết lập ở mức IFS\_OFFDAC là **1X mode** và RF là **250 KOhm** do đó giá trị **107** sẽ được ghi vào thanh ghi bên trong AFE để cấu hình cho các photodidoe.

**3.2.1.5. Thiết lập tần số lấy mẫu, ngưỡng dòng điện trong AFE4420**

Tần số lấy mẫu của tín hiệu PPG hay còn gọi là chu kỳ lặp lại hoạt động (PRF) bên trong AFE được đặt là **50 Hz**.

Dòng huỷ tối được tạo ra ở 1X mode tương ứng với dòng điện lúc hiệu chuẩn nên giá trị dòng điện tối đa có thể tạo ra là +(-) 15.875 uA.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with low confidence

**3.2.1.6. Cấu hình các pha tín hiệu và các photodiode**

Các pha tín hiệu được chia thành ba pha:

* Pha dummy: pha này được dùng làm pha môi trường giả cho hoạt động hiệu chỉnh của bộ tạo dòng huỷ giúp tạo ra giá trị dòng huỷ chính xác.
* Pha môi trường: pha này tương ứng với môi trường thật bên ngoài, bộ tạo dòng huỷ sau khi được hiệu chỉnh có thể tạo dòng huỷ đúng pha môi trường thực tế ở pha này.
* Pha LED: đây là pha mà các LED sáng để thu thập tín hiệu và thực hiện chuyển đổi dữ liệu thu thập được.

AFE cho phép tối đa 16 pha trong một lần lấy mẫu, hệ thống hiện tại đang sử dụng thực tế là **12 pha**, dùng **4 LED** để phát sáng và dùng **2 photodidode** (PD1 và PD3) để thu thập tín hiệu.

Cấu hình pha dummy cho cả PD1 và PD3 ở các pha thứ 1 và pha thứ 7. Lúc này các LED sẽ không sáng, đối với pha 1, đầu PD1 sẽ thu tín hiệu và pha 7 thì đầu PD3 sẽ thu tín hiệu. Dữ liệu thu được ở các pha này sẽ không được lưu vào FIFO.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Pha** | **LED** | **PD1** | **PD3** |
| **1** | OFF | ON | OFF |
| **7** | OFF | OFF | ON |

Cấu hình các pha môi trường cho PD1 là ở phase 2 là PD3 là ở phase 8. Lúc này LED vẫn chưa được bật và dữ liệu thu được bởi các PD sẽ được lưu vào FIFO.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Pha** | **LED** | **PD1** | **PD3** |
| **2** | OFF | ON | OFF |
| **8** | OFF | OFF | ON |

Sau khi đã các hình các pha dummy và pha môi trường, tiến hành thiết lập các pha LED. Pha LED bao gồm 8 pha được chia cho cả 4 LED, 4 pha LED đầu tiên sẽ do PD1 thu tín hiệu, 4 pha LED còn lại do PD3 thu tín hiệu.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Pha** | **LED1** | **LED2** | **LED3** | **LED4** | **PD1** | **PD3** |
| **3** | ON | OFF | OFF | OFF | ON | OFF |
| **4** | OFF | ON | OFF | OFF | ON | OFF |
| **5** | OFF | OFF | ON | OFF | ON | OFF |
| **6** | OFF | OFF | OFF | ON | ON | OFF |
| **9** | ON | OFF | OFF | OFF | OFF | ON |
| **10** | OFF | ON | OFF | OFF | OFF | ON |
| **11** | OFF | OFF | ON | OFF | OFF | ON |
| **12** | OFF | OFF | OFF | ON | OFF | ON |

Bảng dưới đây mô tả các cấu hình các pha bên trong AFE4420.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Pha** | **LEDs được bật** | **PD lấy mẫu** | **Ghi chú** |
| **1** |  | PD1 | Pha dummy cho AACM hiệu chỉnh trên PD1 |
| **2** |  | PD1 | Pha môi trường |
| **3** | LED1 | PD1 |  |
| **4** | LED2 | PD1 |  |
| **5** | LED3 | PD1 |  |
| **6** | LED4 | PD1 |  |
| **7** |  | PD3 | Pha dummy cho AACM hiệu chỉnh trên PD3 |
| **8** |  | PD3 | Pha môi trường |
| **9** | LED1 | PD3 |  |
| **10** | LED2 | PD3 |  |
| **11** | LED3 | PD3 |  |
| **12** | LED4 | PD3 |  |

**3.3. Hoạt động đo đạc trong hệ thống**

Để thực hiện thu thập dữ liệu từ AFE4420, chương trình được chia thành nhiều luồng hay còn gọi là các thread được hỗ trợ bởi Zephyr RTOS để xây dựng các chương trình thời gian thực trên chip nRF5340.

Trong Zephyr, một thread (luồng) là một đơn vị thực thi độc lập, được sử dụng để thực hiện các công việc cùng một lúc trong hệ thống nhúng. Luồng có thể được xem như các "nhóm công việc" được chạy đồng thời trên một bộ xử lý.

Một thread trong Zephyr có thể có một luồng thực thi duy nhất hoặc nhiều luồng thực thi song song. Mỗi thread được xác định bởi một tập hợp các thông số như ưu tiên, độ ưu tiên và ngăn xếp (stack).

Các thread trong Zephyr có thể được tạo ra, tiếp tục chạy và kết thúc. Khi một thread đang chạy, nó có thể đợi hoặc chờ đợi các tác vụ hoặc sự kiện xảy ra. Khi các tác vụ hoặc sự kiện được kích hoạt, thread sẽ bắt đầu thực hiện và tiếp tục chạy cho đến khi hoàn thành hoặc có yêu cầu chuyển đổi ngữ cảnh.

Việc sử dụng thread trong Zephyr giúp tăng hiệu suất và đáp ứng của hệ thống nhúng. Bằng cách chia các công việc thành các thread riêng biệt, hệ thống có thể thực hiện nhiều công việc đồng thời mà không bị chặn hoặc tắc nghẽn. Điều này cũng cho phép quản lý và ưu tiên các tác vụ khác nhau một cách linh hoạt, đồng thời cải thiện khả năng phản hồi của hệ thống.

Trong một ứng dụng đa luồng, có nhiều luồng đang chạy đồng thời. Nếu nhiều hơn một luồng cố gắng truy cập vào cùng một phần mã đồng thời, thường được gọi là phần mã quan trọng (critical section), điều này có thể dẫn đến hành vi không mong muốn hoặc sai sót. Đó là lúc cần sử dụng đồng bộ hóa luồng; đó là một cơ chế để đảm bảo chỉ có một luồng thực thi phần mã quan trọng tại bất kỳ thời điểm nào.

Đồng bộ hóa luồng là một cách để giải quyết vấn đề xung đột khi nhiều luồng cùng truy cập và thay đổi dữ liệu chung. Khi một luồng đang thực thi trong phần mã quan trọng, các luồng khác phải đợi cho đến khi luồng trước đó hoàn thành trước khi được phép truy cập. Điều này đảm bảo rằng các thay đổi dữ liệu được thực hiện một cách an toàn và tránh gây ra các lỗi không đáng có.

Có một số cơ chế đồng bộ hóa luồng khác nhau mà các ứng dụng đa luồng có thể sử dụng, ví dụ như semaphore (cờ hiệu), mutex (khóa độc quyền). Các cơ chế này cho phép luồng giao tiếp và điều khiển trạng thái của nhau, đảm bảo rằng các tác vụ được thực thi một cách tuần tự và đúng đắn.

Việc sử dụng đồng bộ hóa luồng trong ứng dụng đa luồng giúp tránh các xung đột và lỗi dữ liệu không mong muốn. Nó đảm bảo rằng các tác vụ được thực thi một cách an toàn và đúng đắn, đồng thời giúp tối ưu hóa hiệu suất và sử dụng tài nguyên.

**Cơ chế đồng bộ semaphore:**

Semaphore là một cách để kiểm soát truy cập vào tài nguyên chung bằng cách sử dụng giá trị của biến semaphore. Khi một luồng muốn truy cập vào tài nguyên, nó sẽ kiểm tra giá trị của semaphore. Nếu giá trị là không âm, tức là còn các phiên bản của tài nguyên khả dụng, luồng sẽ tiếp tục và giảm giá trị semaphore. Nếu giá trị là âm, tức là không còn phiên bản của tài nguyên khả dụng, luồng sẽ phải đợi cho đến khi một phiên bản trở thành khả dụng bằng cách chờ đợi việc tăng giá trị của semaphore từ các luồng khác.

Semaphore có các thuộc tính sau:

* Khi khởi tạo, ta đặt một giá trị khởi tạo (lớn hơn 0) và một giới hạn tối đa.
* "Give" (tăng giá trị) sẽ tăng giá trị của semaphore cho đến khi giá trị đạt đến giới hạn tối đa, trong trường hợp đó, giá trị sẽ không tăng được nữa. "Give" có thể được thực hiện từ bất kỳ luồng nào.
* "Take" (giảm giá trị) sẽ giảm giá trị của semaphore cho đến khi bằng 0. Bất kỳ luồng nào cố gắng lấy semaphore khi đang bằng 0 thì phải chờ đợi cho đến khi một luồng khác làm cho nó khả dụng (bằng cách thực hiện "give" semaphore).

A picture containing text, screenshot, font, diagram

Description automatically generated

**3.3.1. Luồng chính thu thập dữ liệu các cảm biến**

Khi hệ thống vừa được khởi động hay bật nguồn, luồng chính sẽ được khởi tạo để thực hiện việc đọc dữ liệu thu thập được của các luồng cảm biến khác trong hệ thống, ở đây khi luồng chính được khởi tạo nó sẽ thực hiện khởi tạo các cấu hình ban đầu cho AFE4420.

**A screenshot of a cellphone

Description automatically generated with low confidence**

Ở luồng này, một hàng đợi tên là **sensors\_manager\_data\_queue** được tạo để lưu trữ các cấu trúc dữ liệu của các cảm biến khác nhau được thu thập trong hệ thống, bao gồm cả AFE4420. Cấu trúc này gồm có:

* ID: chỉ ra loại dữ liệu của cảm biến nào được đọc. VD: nếu là dữ liệu PPG của AFE4420 thì có ID là AFE4420.
* Dữ liệu của loại cảm biến: đây là nơi mà dữ liệu thu thập được của cảm biến được lưu trữ, đối với AFE4420 sẽ là một mảng kiểu số nguyên 32 bit gồm 500 phần tử

Khi luồng này được chạy, nó liên tục đọc các cấu trúc dữ liệu có ở trong hàng đợi và dựa vào ID của cấu trúc đó tương ứng với loại cảm biến nào thì sẽ thực hiện các tác vụ xử lý tương ứng với loại cảm biến đó. Ở đây, khi có dữ liệu của AFE4420 trong hàng đợi, luồng này sẽ thực hiện lưu trữ dữ liệu của AFE4420 vào trong một bộ đệm (buffer) để nhằm mục đích lưu trữ nó sau này vào trong SD card, sau đó nó sẽ thực hiện notify lần lượt các giá trị dữ liệu trong AFE4420 qua kết nối BLE để gửi dữ liệu đó qua ứng dụng di động.

**A picture containing text, screenshot, rectangle, font

Description automatically generated**

**3.3.2. Luồng xử lý thu thập dữ liệu**

Ở bên trên là luồng hoạt động cho việc đọc và gửi dữ liệu đã được thu thập bởi các cảm biến cũng như dữ liệu của AFE4420. Còn việc bắt đầu cho AFE4420 tiến hành cho LED sáng và thu thập dữ liệu qua photodiode được thực hiện bên trong luồng xử lý dữ liệu thu thập này.

Luồng này sẽ thực hiện điều khiển việc cho cảm biến bắt đầu hoạt động và tiến hành thu thập dữ liệu và điều khiển kết thúc quá trình thu thập đó.

Luồng này được hoạt động dựa theo các chế độ hoạt động thu thập dữ liệu khác nhau, mỗi chế độ có cách thu nhập riêng biệt để đa dạng hoá khả năng thu thập và hiệu suất làm việc khác nhau cho thiết bị. Để tối ưu hiệu suất cũng như dễ dàng cho việc thu thập dữ liệu thì chế độ thu thập liên tục (continous mode) sẽ được thiết lập cho thiết bị.

Chế độ thu thập liên tục là chế độ mà khi có lệnh thực hiện thu thập dữ liệu, luồng này sẽ cho phép các cảm biến tiến hành thu thập dữ liệu mỗi năm phút một lần cho đến khi có lệnh yêu cầu ngừng thực hiện thu thập dữ liệu. Ở đây, AFE4420 sẽ thưc hiện phát sáng và thu thập dữ liệu qua photodiode mỗi năm phút một lần.

Trong mỗi lần thực hiện thu thập dữ liệu đó, AFE4420 sẽ thực hiện thu thập đủ số mẫu cần thiết để đảm bảo dữ liệu đáng tin cậy, số mẫu cần thiết để thực hiện đọc và gửi qua kết nối BLE được thiết lập là 500 mẫu, tương ứng với tích tốc độ lấy mẫu của AFE4420 đang được thiết lập là 50 Hz và số pha có nghĩa trong việc lấy mẫu của cảm biến là 10 pha, bao gồm 2 pha môi trường và 8 pha LED sáng.

A blue square with black text

Description automatically generated with low confidence

Khi có lệnh gọi thực hiện bắt đầu quá trình thu thập dữ liệu, tức là tiến hành đi vào chế độ thu thập liên tục. Lúc này hệ thống cho – “give” một semaphore gọi là data\_processing\_sem, luồng này sẽ liên tục lấy - “take” để kiểm tra xem semaphore này có có khả dụng hay không. Khi semaphore này khả dụng, tức là có tín hiệu yêu cầu bắt đầu cho AFE4420 hoạt động để thu thập dữ liệu, luồng này sẽ tiến hành cho các cảm biến hoạt động để thu thập dữ liệu.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with low confidence

**3.3.3. Luồng thu thập dữ liệu của AFE4420**

Khi luồng xử lý thu thập dữ liệu hoạt động, nó cho phép các cảm biến hoạt động để thu thập dữ liệu của từng loại cảm biến. Mỗi loại cảm biến khác nhau lại có một luồng riêng biệt để xử lý cho việc đọc và ghi dữ liệu của chúng.

Đối với AFE4420, luồng thu thập dữ liệu của AFE4420 là luồng mà hoạt động của nó là đọc những dữ liệu mà nó thu thập được và lưu những giá trị thu thập được đó vào trong hàng đợi để cho luồng chính tiến hành đọc và gửi dữ liệu đó qua kết nối BLE.

**A screenshot of a computer screen

Description automatically generated with medium confidence**

Khi tiến hành khởi tạo các cấu hình ban đầu cho AFE4420 thì có thiết lập ngưỡng dữ liệu cho phép đọc ra khỏi FIFO là 100 mẫu, lúc này khi dữ liệu được thu thập đủ 100 mẫu thì một ngắt DATA\_RDY được tạo ra, tín hiệu ngắt này sẽ give cho một semaphore được thiết lập trong luồng này là **afe4420\_thread\_sem**. Do đó, mỗi khi có tín hiệu DATA\_RDY thì semaphore lại khả dụng, lúc này hoạt động của luồng là luôn kiểm tra semaphore này có khả dụng để tiến hành lấy dữ liệu.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

Khi semaphore đã khả dụng thì 100 mẫu sẽ được đọc ra, do ta cần 500 mẫu nên phải chờ đến khi thu thập đủ thì mới đẩy 500 mẫu đó đã được cấu trúc lại vào hàng đợi **sensors\_manager\_data\_queue** để cho luồng chính thực hiện lưu trữ và gửi những dữ liệu này đi đến ứng dụng di động thông qua kết nối BLE.

A screenshot of a computer

Description automatically generated with low confidence

**3.4. Truyền dữ liệu PPG đến ứng dụng di động thông qua kết nối BLE**

Hệ thống được xây dựng để giao tiếp với thiết bị khác cụ thể là ứng dụng trên điện thoại di động thông qua kết nối bluetooth low energy để thực hiện các hành vi khác nhau, bao gồm:

* Yêu cầu bắt đầu thực hiện thu thập dữ liệu.
* Yêu cầu dừng hoạt động thu thập dữ liệu.
* Nhận dữ liệu được gửi lên từ thiết bị.

Trong quá trình xây dựng một hệ thống để kết nối thiết bị với ứng dụng trên điện thoại, chúng ta cần xác định một mô hình hoạt động. Trong mô hình này, thiết bị sẽ đóng vai trò là một peripheral và sẽ thực hiện việc quảng bá tín hiệu để thông báo sự hiện diện của nó cho các thiết bị khác trong phạm vi quét. Đồng thời, nó sẽ cho phép các thiết bị khác có thể kết nối đến nó và thực hiện yêu cầu giao tiếp.

Trên điện thoại, ứng dụng sẽ đóng vai trò là một central và sẽ thực hiện quá trình quét và tìm kiếm các thiết bị peripheral đang quảng bá xung quanh. Khi ứng dụng tìm thấy một thiết bị, nó có thể thực hiện yêu cầu kết nối đến thiết bị đó để thiết lập một kênh giao tiếp.

Thông qua việc áp dụng mô hình này, thiết bị peripheral sẽ thông báo về sự tồn tại và sẵn sàng kết nối, trong khi ứng dụng central trên điện thoại sẽ tìm kiếm và xác định các thiết bị đó. Việc kết nối giữa thiết bị và ứng dụng sẽ tạo ra một kết nối hai chiều, cho phép trao đổi dữ liệu và thực hiện các lệnh điều khiển thiết bị.

A screen shot of a computer

Description automatically generated with medium confidence

Sau khi thiết bị này kết nối với điện thoại thông qua một ứng dụng, nó có khả năng tiếp nhận các yêu cầu từ ứng dụng thông qua các dịch vụ - service và các thuộc tính – characteristics đã được định nghĩa trước. Ngoài ra, thiết bị cũng thực hiện chức năng thông báo, gửi thông tin thu thập được về dữ liệu cho điện thoại. Điều này cho phép ứng dụng có thể thực hiện các hành động dựa trên dữ liệu thu thập được.

**3.4.1. Khởi tạo cấu hình BLE trên thiết bị**

Trên thiết bị, quá trình thu thập dữ liệu bắt đầu bằng việc thực hiện các cấu hình ban đầu để khởi tạo kết nối BLE (Bluetooth Low Energy). Điều này bao gồm việc thiết lập các thông tin quảng bá của thiết bị và cấu hình các dịch vụ (services) và thuộc tính (characteristics) liên quan.

* Dữ liệu quảng bá: Thông qua quá trình khởi tạo, thiết bị xác định dữ liệu quảng bá mà nó sẽ gửi ra môi trường xung quanh. Điều này cho phép các thiết bị khác có thể nhận biết sự hiện diện và tính năng của thiết bị đó. Thông tin quảng bá có thể bao gồm tên thiết bị, mã định danh, hoặc các thông tin khác để xác định và phân biệt thiết bị từ các thiết bị khác trong phạm vi kết nối.
* Xác định các dịch vụ và thuộc tính liên quan: các dịch vụ đại diện cho các chức năng hoặc khả năng của thiết bị, trong khi các thuộc tính định nghĩa các đặc điểm chi tiết và thông tin cụ thể về mỗi dịch vụ. Việc cấu hình này giúp ứng dụng trên điện thoại có thể hiểu và tương tác với thiết bị một cách chính xác.

Về dữ liệu quảng bá, thiết bị sẽ khởi tạo dữ liệu quảng bá bao gồm:

* Tên của thiết bị: được đặt là DevicePPG-XXXX, trong đó XXXX là bốn kí tự cuối của địa chỉ MAC của thiết bị.
* Thông tin quảng bá sẽ được thiết lập hỗ trợ cho việc kết nối chung và không hỗ trợ cho kết nối BREDR (Basic Rate/Enhanced Data Rate - một loại kết nối Bluetooth truyền thống).

Sau khi khởi tạo thông tin quảng bá BLE, ta có thể tiếp tục tạo một profile để chứa các dịch vụ (services) và thuộc tính (characteristics) trong hệ thống. Profile này sẽ hỗ trợ việc trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị trong mạng BLE. Trong việc tạo profile, ta cần định nghĩa các dịch vụ và thuộc tính mà thiết bị sẽ cung cấp. Mỗi dịch vụ đại diện cho một chức năng hoặc khả năng cụ thể của thiết bị. Và mỗi thuộc tính định nghĩa các đặc điểm chi tiết và thông tin cần thiết cho mỗi dịch vụ.

Ta xây dựng một service để dễ dàng quản lý và thực hiện trao đổi dữ liệu giữa thiết bị và ứng dụng di động. Service này có tên là DevicePPG Service và có UUID đặc trưng cho nó.

|  |  |
| --- | --- |
| **Tên dịch vụ** | **UUID** |
| DevicePPG Service | 6218e200-aa57-4302-9785-9d3727b0bde9 |

Sau khi tạo một dịch vụ trong hệ thống, ta tiếp tục tạo các thuộc tính bên trong dịch vụ đó. Trong trường hợp này, ta cần tạo hai thuộc tính cần thiết là "Request characteristic" và "Notify characteristic".

* Request characteristic: Đây là một thuộc tính được sử dụng để gửi yêu cầu từ ứng dụng trên điện thoại đến thiết bị. Yêu cầu này có thể bao gồm các tác vụ như thu thập dữ liệu từ hoặc yêu cầu dừng thu thập dữ liệu.
* Notify characteristic: Đây là một thuộc tính được sử dụng để gửi dữ liệu từ thiết bị đến ứng dụng trên điện thoại. Dữ liệu này là dữ liệu đã được thu thập bởi thiết bị.

Bảng dưới đây mô tả về “Request characteristic” và “Notify characteristic”.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Mô tả |
| Characteristic Name | Request |
| Characteristic UUID | 6218e201-aa57-4302-9785-9d3727b0bde9 |
| Characteristic Properties | Write/Read |
| Characteristic Data Length | 247 bytes |

|  |  |
| --- | --- |
|  | Mô tả |
| Characteristic Name | Notification |
| Characteristic UUID | 6218e205-aa57-4302-9785-9d3727b0bde9 |
| Characteristic Properties | Read/Notify |
| Characteristic Data Length | 247 bytes |

Sau khi đã hoàn thành các cấu hình kết nối BLE cho thiết bị, ta cần tiến hành khởi tạo việc quảng bá (advertising) thiết bị. Quảng bá cho phép thiết bị được phát hiện và kết nối với các thiết bị khác trong kết nối BLE.

A picture containing text, screenshot, font, design

Description automatically generated

Sau khi đã thiết lập các dịch vụ và thuộc tính bên trong, quá trình khởi tạo Bluetooth Low Energy (BLE) sẽ được thực hiện bởi cấu trúc ngăn xếp (stack) BLE có sẵn trong chip nRF5340. Khi quá trình khởi tạo thành công, thông tin quảng bá sẽ được cập nhật, bao gồm cả tên thiết bị, và quá trình quảng bá sẽ bắt đầu.

Quá trình quảng bá là quá trình mà thiết bị BLE phát đi các gói tin quảng bá để thông báo về sự hiện diện của nó đến các thiết bị khác trong phạm vi. Mỗi sự kiện quảng bá sẽ diễn ra theo một khoảng thời gian nhất định. Trong thời gian này, thiết bị BLE sẽ gửi các gói tin quảng bá chứa thông tin về dịch vụ và thuộc tính mà nó hỗ trợ, bao gồm cả tên thiết bị để các thiết bị khác có thể phát hiện và kết nối với nó.

Để khởi động quá trình thu thập dữ liệu từ AFE4420 thông qua kết nối BLE của thiết bị với ứng dụng di động, chúng ta cần ghi một lệnh yêu cầu vào thuộc tính "request characteristic". Lệnh này sẽ thông báo cho thiết bị rằng chúng ta muốn bắt đầu thu thập dữ liệu.

Tương tự, để yêu cầu dừng hoạt động của quá trình thu thập dữ liệu, chúng ta cần ghi một lệnh yêu cầu dừng vào "request characteristic" và gửi đi. Thiết bị sẽ nhận lệnh này và ngừng thu thập dữ liệu theo yêu cầu.

Các lệnh yêu cầu được ghi dưới dạng mã hex đã được định nghĩa trong chương trình để phân biệt và xử lý các yêu cầu khác nhau một cách chính xác trên thiết bị.

Bảng dưới đây mô tả các yêu cầu trên request characteristic.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Lệnh** | **Mã HEX** | **Mô tả** |
| Bắt đầu thu thập dữ liệu | 0x0801100A | Lệnh này sẽ bắt đầu quá trình thu thập dữ liệu trên thiết bị với chế độ mặc định (chế độ thu thập liên tục nếu không thiết lập các chế độ khác trước đó). |
| Dừng thu thập dữ liệu | 0x0801100B | Lệnh này sẽ dừng quá trình thu thập dữ liệu trên thiết bị. |

Khi thiết bị nhận được một yêu cầu có mã hex là 0x0801100A, đó là yêu cầu để bắt đầu quá trình thu thập dữ liệu. Khi đó, hệ thống sẽ chuyển sang chế độ thu thập dữ liệu, cụ thể là chế độ thu thập liên tục mỗi năm phút một lần cho đến khi nhận được lệnh yêu cầu dừng thu thập.

Trong chế độ này, AFE4420 sẽ hoạt động và tiến hành thu thập dữ liệu. Các luồng công việc liên quan đến hoạt động thu thập dữ liệu sẽ thực hiện các chức năng của mình để đọc và truyền dữ liệu đến ứng dụng thông qua kết nối BLE.

Trong quá trình thu thập dữ liệu, AFE4420 sẽ lặp lại quá trình thu thập mỗi năm phút một lần, cho phép thu thập dữ liệu liên tục theo khoảng thời gian đã định. Khi nhận được lệnh yêu cầu dừng thu thập dữ liệu, hệ thống sẽ kết thúc quá trình thu thập và chuyển về trạng thái chờ lệnh tiếp theo.

Thông qua kết nối BLE, dữ liệu thu thập được sẽ được truyền từ thiết bị đến ứng dụng để thực hiện các xử lý và hiển thị tương ứng trên ứng dụng di động.

A screenshot of a device

Description automatically generated with medium confidence

Khi thiết bị nhận được một yêu cầu có mã hex là 0x0801100B, đó là yêu cầu để dừng hoạt động thu thập dữ liệu trên thiết bị. Khi nhận được yêu cầu này, thiết bị sẽ thoát khỏi chế độ thu thập liên tục.

Trong quá trình thu thập dữ liệu, các hoạt động liên quan đến thu thập dữ liệu sẽ bị dừng lại. AFE4420 chịu trách nhiệm thu thập dữ liệu, cũng sẽ ngừng hoạt động và thiết bị không gửi dữ liệu thu thập được lên ứng dụng nữa. Thiết bị sẽ trở về trạng thái chờ bình thường, sẵn sàng tiếp nhận các yêu cầu khác.

Việc dừng hoạt động thu thập dữ liệu sẽ đảm bảo rằng không có dữ liệu mới được gửi lên thiết bị sau yêu cầu dừng. Thiết bị sẽ chỉ chờ đợi và sẵn sàng thực hiện các yêu cầu khác khi được gửi đến nó.

A screenshot of a device

Description automatically generated with medium confidence

**CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC**

**4.1 Kết quả thu thập dữ liệu PPG**

**4.2 Kết quả thực hiện gửi dữ liệu lên ứng dụng di động**

**CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN**

**5.1. Kết quả đạt được**

**5.2. Phạm vi ứng dụng**

**5.3. Hạn chế**

**5.4. Hướng phát triển**

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

**PHỤ LỤC**