

TỔNG LIÊN ĐOÀN LAO ĐỘNG VIỆT NAM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ



LÊ TRẦN NGỌC SANG-41901023

NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ
LƯU TRỮ CARBON XANH

ĐỒ ÁN TỔNG HỢP
KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, NĂM 2025

TỔNG LIÊN ĐOÀN LAO ĐỘNG VIỆT NAM
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG
KHOA ĐIỆN – ĐIỆN TỬ



LÊ TRẦN NGỌC SANG-41901023

NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ LƯU TRỮ CARBON XANH

ĐỒ ÁN TỔNG HỢP **KỸ THUẬT ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

Người hướng dẫn
TS. Trần Thành Nam

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, NĂM 2025

LỜI CẢM ƠN

Em xin chân thành gửi lời cảm ơn sâu sắc đến Ban Giám hiệu Trường Đại học Tôn Đức Thắng, cùng toàn thể quý thầy cô Khoa Điện – Điện tử, đặc biệt là ngành Kỹ thuật điện tử – viễn thông, đã tận tình giảng dạy, định hướng và tạo điều kiện thuận lợi để em có thể học tập và phát triển toàn diện trong suốt quá trình học tại trường.

Đặc biệt, em xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc đến Tiến sĩ Trần Thành Nam và Giáo sư Kim Dokyong – những người đã trực tiếp hướng dẫn, định hướng nghiên cứu và luôn đồng hành cùng em trong quá trình thực hiện đề tài “Nông trại vi tảo thông minh để lưu trữ carbon xanh”. Những kiến thức chuyên môn quý báu, tinh thần làm việc khoa học, cùng sự hỗ trợ tận tình từ hai thầy đã giúp em hoàn thành tốt đề tài này, đồng thời mở ra cho em nhiều góc nhìn mới mẻ và ý nghĩa về các giải pháp công nghệ phục vụ phát triển bền vững và bảo vệ môi trường.

Em cũng xin cảm ơn gia đình và bạn bè đã luôn ủng hộ, động viên em trong suốt thời gian học tập và thực hiện đồ án.

Mặc dù đã cố gắng hết mình, nhưng do giới hạn về thời gian và kinh nghiệm, đồ án không tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được sự góp ý của quý thầy cô để có thể tiếp tục hoàn thiện bản thân và phát triển hơn trong tương lai.

TP. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm

Tác giả

Lê Trần Ngọc Sang

Công trình được hoàn thành tại Trường Đại học Tôn Đức Thắng

Cán bộ hướng dẫn khoa học:

.....

(Ghi rõ học hàm, học vị, họ tên và chữ ký)

Đồ án tổng hợp được bảo vệ tại **Hội đồng đánh giá Đồ án tốt nghiệp/tổng hợp của Trường Đại học Tôn Đức Thắng** vào ngày... /.../.....

Xác nhận của Chủ tịch Hội đồng đánh giá **Đồ án tốt nghiệp/tổng hợp và Trưởng khoa quản lý chuyên ngành sau khi nhận Đồ án tốt nghiệp/tổng hợp** đã được sửa chữa (nếu có).

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

TRƯỞNG KHOA

.....

.....

CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÔN ĐỨC THẮNG

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi và được sự hướng dẫn khoa học của Tiến sĩ Trần Thành Nam và Giáo sư Kim Dokyong. Các nội dung nghiên cứu, kết quả trong đề tài này là trung thực và chưa công bố dưới bất kỳ hình thức nào trước đây. Những số liệu trong các bảng biểu phục vụ cho việc phân tích, nhận xét, đánh giá được chính tác giả thu thập từ các nguồn khác nhau có ghi rõ trong phần tài liệu tham khảo.

Ngoài ra, trong Đồ án tốt nghiệp/ tổng hợp còn sử dụng một số nhận xét, đánh giá cũng như số liệu của các tác giả khác, cơ quan tổ chức khác đều có trích dẫn và chú thích nguồn gốc.

Nếu phát hiện có bất kỳ sự gian lận nào tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về nội dung Đồ án tốt nghiệp/ tổng hợp của mình. Trường Đại học Tôn Đức Thắng không liên quan đến những vi phạm tác quyền, bản quyền do tôi gây ra trong quá trình thực hiện (nếu có).

TP. Hồ Chí Minh, ngày tháng năm

Tác giả

Lê Trần Ngọc Sang

(Trang này dùng để đính kèm Nhiệm vụ Đồ án tốt nghiệp có chữ ký của Giảng viên hướng dẫn)

PHIẾU THEO DÕI TIẾN ĐỘ THỰC HIỆN ĐATH

Họ tên sinh viên: Lê Trần Ngọc Sang

MSSV:41901023

Ngành học: Kỹ thuật điện tử - viễn thông

Địa chỉ liên lạc: 29 Phan Văn Sửu , Phường 13 , quận Tân Bình , TP.HCM

Đơn vị: khoa điện – điện tử

Họ tên GVHD: GS. Kim DoKyong , TS. Trần Thành Nam

Tên đề tài ĐATH: Nông trại vi tảo thông minh để lưu trữ Carbon xanh

Tuần/Ngày	Khối lượng		GVHD ký
	Đã thực hiện	Tiếp tục thực hiện	
1 (24/3-30/3)	Nhận và hiểu rõ nhiệm vụ của đề tài	Tìm hiểu về công nghệ IOT và BLUE CARBON	
2 (31/3-6/4)	Tìm hiểu về công nghệ IOT và BLUE CARBON	Tìm hiểu về thiết bị ESP32, và các cảm biến PH, độ đục	
3 (7/4-13/4)	Tìm hiểu về thiết bị ESP32, và các cảm biến PH, độ đục	Lập trình ESP để thu thập dữ liệu từ cảm biến	
4 (14/4-20/4)	Lập trình ESP để thu thập dữ liệu từ cảm biến	Tìm hiểu về giao thức MQTT , lựa chọn Broker , và UI cho hệ thống	
5 (21/4-27/4)	Tìm hiểu Về dịch vụ MOSQUITO MQTT và NODE RED	Upload dữ liệu lên MQTT STUDIO qua các chức năng subscribe	
6 (28/4-4/5)	Upload dữ liệu lên MQTT STUDIO qua các chức năng subscribe	Tìm hiểu về loại tảo có khả năng nuôi trong môi trường tự động hóa	

7 (5/5-11/5)	Tìm hiểu về loại tảo có khả năng nuôi trong môi trường tự động hóa	Tìm hiểu về điều kiện nuôi trồng ,nồng độ hóa chất, và các khoáng chất khác trong bể nuôi	
Kiểm tra giữa kỳ	Đánh giá khối lượng hoàn thành.....% được tiếp tục/không tiếp tục thực hiện ĐATH		
8 (12/5-18/5)	Tìm hiểu về điều kiện nuôi trồng ,nồng độ hóa chất	Tạo ra một mô hình phiên bản nhỏ 5(lít) để thử nghiệm	
9 (19/5-25/5)	Tạo ra một mô hình phiên bản nhỏ 5(lít) để thử nghiệm	Tìm hiểu về điều kiện ánh sáng (phổ ánh sáng) thích hợp cho sự phát triển của tảo	
10 (26/5-1/6)	Tìm hiểu về điều kiện ánh sáng (phổ ánh sáng) thích hợp cho sự phát triển của tảo	Tìm hiểu về các van điều khiển , các bộ Dosing điều khiển chất dinh dưỡng trong bể chứa	
11 (9/6-15/6)	Tìm hiểu về các van điều khiển , các bộ Dosing điều chỉnh chất dinh dưỡng trong bể chứa	Thiết kế các cảnh báo khi bể đầy khi trạng thái của tảo ở tình trạng nguy kịch	
12 (9/6-15/6)	Thiết kế các cảnh báo khi bể đầy khi trạng thái của tảo ở tình trạng nguy kịch	Tìm hiểu và train một AI có khả năng điều chỉnh và dự đoán các tình huống dinh dưỡng tốt nhất cho tảo vi sinh	
13 (16/6-22/6)	Tìm hiểu và train một AI có khả năng điều chỉnh và dự đoán các tình huống dinh dưỡng tốt nhất cho tảo vi sinh	Xây dựng các phép toán , tính toán sự hiệu quả của quá trình nuôi tảo , lượng CO2 đã hấp thụ và lượng O2 đã tái tạo	

14 (23/6-29/6)	Xây dựng các phép toán , tính toán sự hiệu quả của quá trình nuôi tảo , lượng CO2 đã hấp thụ và lượng O2 đã tái tạo	Dựa vào các kết quả thu được vẽ các biểu đồ từ số liệu và tính toán các token dựa theo tiêu chuẩn của tín chỉ carbon	
15 (30/6-7/6)	Dựa vào các kết quả thu được vẽ các biểu đồ từ số liệu và tính toán các token dựa theo tiêu chuẩn của tín chỉ carbon	Hoàn thiện và hiệu chỉnh hệ thống ổn định , tương tính giữa phần cứng và phần mềm , tiến hành phản biện	
Nội dung án tổng hợp	Đánh giá khối lượng hoàn thành 100% ☐ được bảo vệ ☐ không được bảo vệ ĐATH		

NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ LƯU TRỮ

CARBON XANH

TÓM TẮT

Đề tài “NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ LƯU TRỮ CARBON XANH” nhằm xây dựng một hệ thống IoT tự động phục vụ cho việc nuôi vi tảo ven biển với mục tiêu tối đa hóa hiệu suất lưu trữ carbon và tạo ra carbon credit.

Hệ thống bao gồm hai vi điều khiển ESP32 tích hợp module LoRa, đảm nhận việc thu thập dữ liệu từ các cảm biến môi trường (pH, độ đục, khí gas, nhiệt độ, v.v.) tại khu vực bờ biển và truyền thông tin về trạm trung tâm. Tại đây, dữ liệu được gửi lên máy chủ MQTT và xử lý trực quan thông qua nền tảng Node-RED.

Một điểm nổi bật của hệ thống là khả năng tự động hóa việc dosing dinh dưỡng và bổ sung nước cho vi tảo dựa trên các mô hình AI dự đoán (predictive AI). Các thuật toán học máy được sử dụng để phân tích dữ liệu môi trường theo thời gian thực, từ đó đưa ra quyết định chính xác về lượng dinh dưỡng và nước cần thiết, giúp tối ưu quá trình hấp thụ CO₂ của vi tảo trong hệ sinh thái Blue Carbon.

Ngoài ra, hệ thống được tích hợp các cơ chế cảnh báo sớm và thông báo critical khi phát hiện các thông số vượt ngưỡng an toàn, hoặc khi có dấu hiệu cho thấy hệ thống cần bảo dưỡng (ví dụ: nghẽn bơm, cảm biến hoạt động bất thường, hoặc sai lệch dữ liệu kéo dài). Các cảnh báo này được gửi đến người vận hành thông qua giao diện Node-RED hoặc các kênh liên lạc như email/SMS.

Thông qua việc kết hợp công nghệ IoT, truyền thông LoRa, nền tảng MQTT, trí tuệ nhân tạo và tự động hóa, đề tài hướng tới một giải pháp thông minh, bền vững và hiệu quả cao trong việc quản lý carbon xanh và thương mại hóa carbon credit từ vi tảo.

SMART MICROALGAE FARM FOR BLUE CARBON

ABSTRACT

The project titled “SMART MICROALGAE FARM FOR BLUE CARBON” aims to develop an IoT-based automated system for coastal algae farming with the goal of maximizing carbon absorption efficiency and generating carbon credits.

The system utilizes two ESP32 microcontrollers integrated with LoRa modules to wirelessly transmit environmental sensor data (such as pH, turbidity, gas concentration, temperature, etc.) from the coastal algae farm to a central processing unit. At the central station, the data is transmitted to an MQTT broker and visualized through the Node-RED platform.

A key feature of the system is its ability to automatically control nutrient dosing and water replenishment based on predictive AI models. These machine learning algorithms analyze real-time environmental data to make precise decisions on nutrient and water levels, thereby enhancing CO₂ absorption efficiency of the algae within the Blue Carbon ecosystem.

Additionally, the system is equipped with early warning and critical alert mechanisms to notify operators when sensor values exceed safe thresholds or when maintenance is required—such as pump blockages, sensor malfunctions, or prolonged data anomalies. These alerts are delivered via the Node-RED dashboard and can be extended to channels such as email or SMS.

By integrating IoT technologies, LoRa communication, MQTT, artificial intelligence, and automation, the project proposes an intelligent, sustainable, and highly efficient solution for managing carbon sequestration and monetizing it through carbon credits from algae-based Blue Carbon systems.

MỤC LỤC

DANH MỤC HÌNH VẼ.....	XIII
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	XIV
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	XV
CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ ĐỀ TÀI	1
1.1 TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI	1
1.2 MỤC ĐÍCH NGHIÊN CỨU	2
1.3 ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU.....	2
1.3.1 Lý thuyết trí tuệ nhân tạo trong dự đoán và tối ưu hóa	3
1.3.2 Lý thuyết Internet vạn vật (IoT) trong giám sát môi trường	4
1.3.3 Lý thuyết điều khiển tự động (Automatic Dosing and Control)	5
1.3.4 Giao thức MQTT: Cấu trúc và Hiệu suất	5
1.3.5 LoRa là gì?.....	9
1.4 PHẠM VI NGHIÊN CỨU	14
1.4.1 Lý thuyết hấp thụ CO ₂ của vi tảo	15
1.4.2 Lý thuyết ánh sáng và phổ quang học trong sinh trưởng vi tảo.....	17
1.4.3 Lý thuyết tín chỉ carbon (Carbon Credit Theory)	18
1.5 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	18
CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ LƯU TRỮ	
CARBON XANH	20
2.1 KIẾN TRÚC TỔNG QUÁT	20
2.1.1 Vai trò của các thành phần	20
2.1.2 Giao tiếp LoRa	21
2.1.3 Giao tiếp MQTT.....	21
2.2 THIẾT KẾ CHI TIẾT PHÍA PHÁT	21
2.2.1 ESP32-S3 Master (WeAct):.....	21
2.2.2 Giao tiếp LoRa	22
2.2.3 Giao tiếp MQTT.....	22
2.3 THIẾT KẾ CHI TIẾT PHÍA THU	23

2.3.1	<i>ESP-WROOM-32</i>	23
2.3.2	<i>Cảm biến độ đục nước – DFRobot Gravity: Analog Turbidity Sensor</i>	24
2.3.3	<i>Cảm biến pH – DFRobot Gravity: Analog pH Sensor / Meter Kit</i>	24
2.3.4	<i>Cảm biến khí MQ135</i>	25

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Mô hình nuôi vi tảo quy mô công nghiệp	4
Hình 1.2: MQTT trong IOT	6
Hình 1.3: Cấu trúc của một gói tin	8
Hình 1.4: Bảng thống kê thể mạnh của từng broker MQTT	9
Hình 1.5: Phạm vi phủ sóng đa dạng của LoRa	10
Hình 1.6: Tính tương thích của LoRa	12
Hình 1.7: Hệ số trải của Lora từ 7-12 biểu diễn trên miền tần số	13
Hình 1.8: Quá trình hấp thụ CO ₂ của các loài tảo	15
Hình 1.9: Hấp thụ CO ₂ từ phát thải nhà kính ,và thu lại dầu	16
Hình 1.10: Các bước sóng ánh sáng cho từng loại tảo	17
Hình 2.1 : Pinout của ESP32-SE-DEVMODULE (WEACT)	22
Hình 2.2 : ESP32-WROOM 2 DEVMODULE PIN OUT	23
Hình 2.3 : Cảm biến độ đục nước – DFRobot Gravity: Analog Turbidity Sensor ..	24
Hình 2.4 : Ảnh thực tế của cảm biến DRF ROBOT PH	25
Hình 2.5 : Cảm biến không khí MQ135.....	25

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1: Thông số của ESP32-S3-DEV MODULE (WEACT)	21
--	----

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

BDT	Broadband Digital Terminal
FFT	Fast Fourier Transform
MIMO	Multi-Input Multi-Output
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
ADC	Analog-to-Digital Converter
LoRa	Long Range Radio
WiFi	Wireless Fidelity
LED	Light Emitting Diode
NTU	Nephelometric Turbidity Units
TDS	Total Dissolved Solids
PH	Pondus Hydrogenii

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ ĐỀ TÀI

1.1 Tổng quan về đề tài

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng nghiêm trọng, việc giảm phát thải khí nhà kính và tiến tới trung hòa carbon trở thành một mục tiêu cấp thiết mang tính toàn cầu. Carbon credit (tín chỉ carbon) ra đời như một cơ chế thị trường nhằm khuyến khích các tổ chức và quốc gia đầu tư vào các hoạt động hấp thụ hoặc giảm phát thải CO₂. Nhu cầu về carbon credit đang ngày càng gia tăng, đặc biệt tại các nước phát triển và các doanh nghiệp cam kết Net Zero, tạo ra tiềm năng lớn cho các giải pháp hấp thụ carbon sinh học.

Trong số các giải pháp tự nhiên, Blue Carbon – tức carbon được hấp thụ và lưu trữ trong các hệ sinh thái biển ven bờ như rừng ngập mặn, cỏ biển và vi tảo – đang nhận được sự quan tâm đặc biệt nhờ hiệu quả vượt trội trong việc cô lập carbon lâu dài. Trong đó, vi tảo (microalgae) nổi bật là sinh vật có tốc độ quang hợp nhanh, khả năng hấp thụ CO₂ cao, và có thể nuôi trồng trên diện tích nhỏ, linh hoạt với các điều kiện môi trường ven biển.

Tuy nhiên, để khai thác hiệu quả tiềm năng này, cần áp dụng tự động hóa và các công nghệ thông minh trong quá trình nuôi trồng. Việc sử dụng cảm biến IoT, mạng truyền thông không dây (như LoRa), nền tảng MQTT và thuật toán AI không chỉ giúp theo dõi chính xác các thông số môi trường mà còn cho phép điều chỉnh tự động lượng dinh dưỡng và nước bổ sung, đảm bảo điều kiện tối ưu cho vi tảo phát triển và hấp thụ carbon hiệu quả.

Bên cạnh đó, hệ thống còn có thể tích hợp các cảnh báo thông minh, giúp phát hiện sớm sự cố và lên kế hoạch bảo trì chủ động, từ đó giảm thiểu rủi ro vận hành và tối ưu hóa chi phí. Tất cả những điều này mở ra hướng đi mới trong việc xây dựng nông trại vi tảo thông minh, góp phần thực hiện mục tiêu kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững thông qua thị trường carbon xanh.

1.2 Mục đích nghiên cứu

Mục đích của đề tài là thiết kế và xây dựng một hệ thống nông trại vi tảo thông minh, ứng dụng công nghệ IoT và trí tuệ nhân tạo nhằm tối ưu hóa khả năng hấp thụ CO₂ của vi tảo trong hệ sinh thái Blue Carbon, qua đó tạo nền tảng cho việc tính toán và thương mại hóa carbon credit.

Cụ thể, đề tài tập trung vào các mục tiêu sau:

Ứng dụng truyền thông LoRa để thu thập dữ liệu môi trường từ khu vực nuôi trồng ven biển đến trạm trung tâm một cách ổn định, tiết kiệm năng lượng và phù hợp với điều kiện thực tế.

Xây dựng hệ thống giám sát và điều khiển từ xa thông qua giao thức MQTT và nền tảng Node-RED để hiển thị dữ liệu và điều phối hoạt động.

Tích hợp các thuật toán dự đoán (predictive AI) nhằm tự động điều chỉnh lượng dinh dưỡng và nước cấp cho vi tảo, tối ưu hóa điều kiện sinh trưởng và hiệu suất hấp thụ carbon.

Phát triển hệ thống cảnh báo thông minh và tự chẩn đoán tình trạng thiết bị, giúp phát hiện sớm các sự cố và hỗ trợ công tác bảo trì chủ động.

Góp phần xây dựng mô hình quản lý carbon xanh hiệu quả, mở ra tiềm năng phát triển kinh tế tuần hoàn và đóng góp vào nỗ lực giảm phát thải toàn cầu.

1.3 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là hệ thống nuôi trồng vi tảo thông minh ứng dụng công nghệ IoT và trí tuệ nhân tạo trong môi trường ven biển, nhằm tối ưu hóa khả năng hấp thụ CO₂ phục vụ cho việc tạo ra carbon credit.

Cụ thể, các đối tượng nghiên cứu bao gồm:

1. Vi tảo (microalgae) – sinh vật quang hợp có khả năng hấp thụ CO₂ cao, được nuôi trồng trong điều kiện bán tự nhiên ven biển.

-
2. Các cảm biến và thiết bị đo lường môi trường như pH, độ đục, nhiệt độ, khí gas... phục vụ việc thu thập dữ liệu thời gian thực.
 3. Vi điều khiển ESP32 và module LoRa – dùng để thu thập và truyền dữ liệu từ khu vực nuôi vi tảo về trung tâm xử lý.
 4. Hệ thống truyền thông MQTT và nền tảng Node-RED – dùng để giám sát, hiển thị và điều phối dữ liệu từ xa.
 5. Thuật toán trí tuệ nhân tạo (AI) – áp dụng để dự đoán và tối ưu việc cấp phát dinh dưỡng và nước cho vi tảo theo thời gian thực.
 6. Các cơ chế cảnh báo và chẩn đoán hệ thống tự động – giúp đảm bảo tính ổn định và phát hiện sự cố kịp thời trong quá trình vận hành.

1.3.1 Lý thuyết trí tuệ nhân tạo trong dự đoán và tối ưu hóa

1.3.1.1 Các thuật toán học máy phổ biến

Các thuật toán học máy như hồi quy tuyến tính, cây quyết định (decision tree), mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), và học sâu (deep learning) được sử dụng để phân tích dữ liệu và dự đoán các yếu tố ảnh hưởng đến sự phát triển của vi tảo. Việc áp dụng các thuật toán này giúp tối ưu hóa quá trình nuôi trồng và nâng cao hiệu suất sản xuất.

1.3.1.2 Xử lý và phân tích dữ liệu cảm biến

Dữ liệu từ các cảm biến được thu thập và xử lý để xác định các mẫu và xu hướng, từ đó đưa ra các quyết định tối ưu về điều kiện nuôi trồng vi tảo. Việc phân tích dữ liệu giúp phát hiện sớm các vấn đề và điều chỉnh kịp thời, từ đó nâng cao hiệu quả sản xuất.

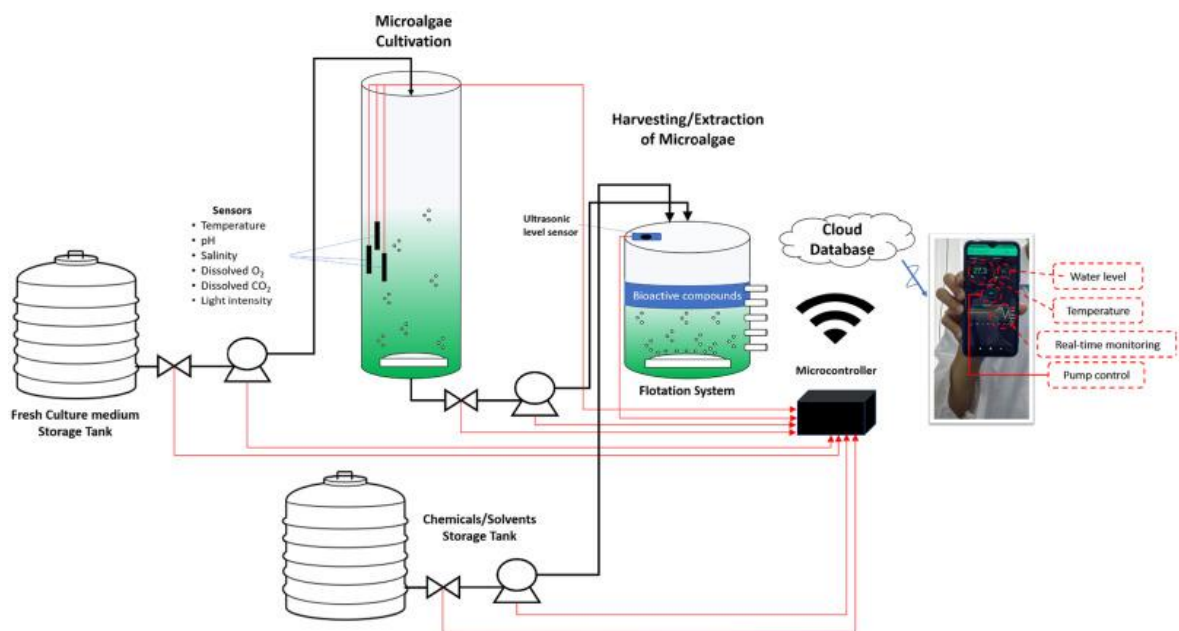
1.3.1.3 Ứng dụng AI trong điều khiển tự động và dự đoán nhu cầu dinh dưỡng

AI giúp dự đoán nhu cầu dinh dưỡng và điều chỉnh các tham số nuôi trồng như pH, nhiệt độ, độ đục, nồng độ CO₂ để tối ưu hóa sự phát triển của vi tảo. Việc áp dụng AI giúp nâng cao hiệu suất sản xuất và giảm thiểu lãng phí tài nguyên.

1.3.2 Lý thuyết Internet vạn vật (IoT) trong giám sát môi trường

1.3.2.1 Kiến trúc hệ thống IoT trong nuôi trồng vi tảo

Hệ thống IoT trong nuôi trồng vi tảo bao gồm các cảm biến đo lường các thông số môi trường như pH, nhiệt độ, độ đục, nồng độ CO₂, kết nối với các vi điều khiển như ESP32 để thu thập và truyền tải dữ liệu. Dữ liệu thu thập được có thể được sử dụng để giám sát và điều khiển quá trình nuôi trồng.



Hình 1.1: Mô hình nuôi vi tảo quy mô công nghiệp

1.3.2.2 Ứng dụng IoT trong giám sát và điều khiển tự động

Hệ thống IoT cho phép giám sát liên tục các thông số môi trường và điều khiển tự động các thiết bị như máy bơm, đèn LED, hệ thống cấp dinh dưỡng, giúp duy trì điều kiện tối ưu cho vi tảo phát triển. Điều này không chỉ nâng cao hiệu suất nuôi trồng mà còn giảm thiểu lãng phí tài nguyên.

1.3.3 Lý thuyết điều khiển tự động (Automatic Dosing and Control)

1.3.3.1 Nguyên lý điều khiển vòng kín (feedback control)

Hệ thống điều khiển tự động sử dụng nguyên lý vòng kín, trong đó các cảm biến liên tục đo lường các thông số môi trường và gửi dữ liệu về bộ điều khiển trung tâm. Bộ điều khiển xử lý dữ liệu và điều chỉnh các thiết bị đầu ra như máy bơm, hệ thống cấp dinh dưỡng để duy trì điều kiện tối ưu cho vi tảo phát triển.

1.3.3.2 Các phương pháp điều khiển phổ biến trong nông nghiệp

Các phương pháp điều khiển như điều khiển PID (Proportional-Integral-Derivative), điều khiển mờ (fuzzy logic), và điều khiển dựa trên mô hình (model-based control) được áp dụng trong nông nghiệp để tối ưu hóa quá trình sản xuất. Việc lựa chọn phương pháp điều khiển phù hợp giúp nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm thiểu lãng phí tài nguyên.

1.3.3.3 Ứng dụng điều khiển tự động trong cấp phát dinh dưỡng và nước

Hệ thống điều khiển tự động giúp cấp phát dinh dưỡng và nước một cách chính xác, giảm thiểu lãng phí và đảm bảo vi tảo nhận đủ dinh dưỡng cần thiết cho sự phát triển. Việc điều chỉnh tự động giúp duy trì điều kiện tối ưu cho vi tảo phát triển, từ đó nâng cao hiệu suất sản xuất.

1.3.4 Giao thức MQTT: Cấu trúc và Hiệu suất

1.3.4.1 MQTT là gì?

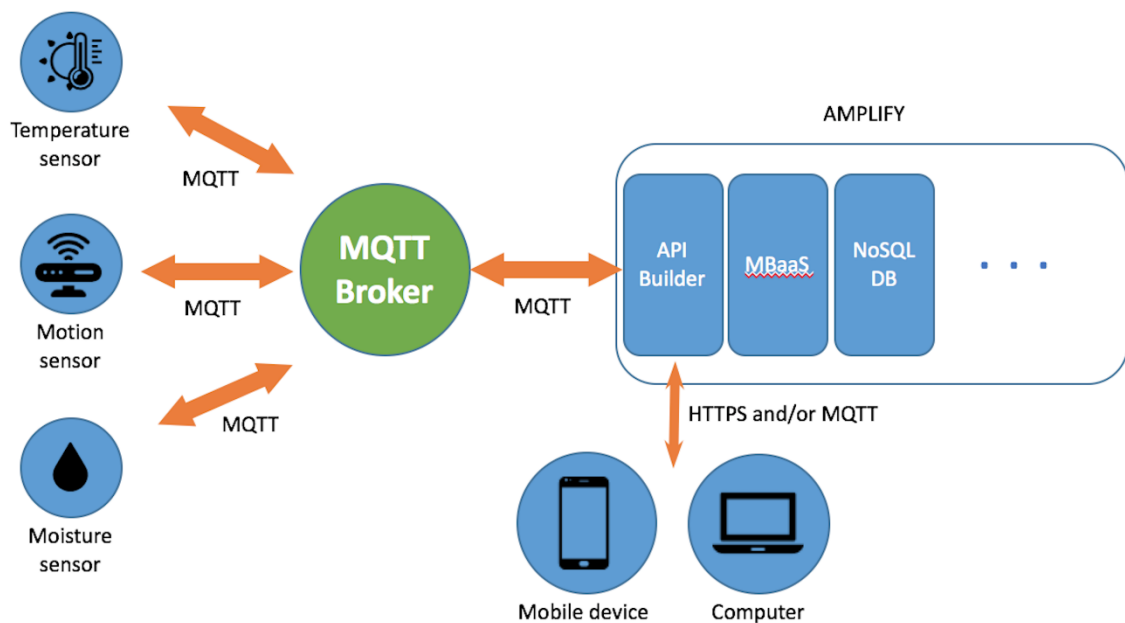
MQTT là một giao thức nhắn tin nhẹ, được thiết kế cho các ứng dụng M2M (Machine-to-Machine) và IoT (Internet of Things), đặc biệt phù hợp với các môi trường có băng thông thấp, độ trễ cao và kết nối không ổn định. Giao thức này hoạt động dựa trên

mô hình publish/subscribe (công bố/đăng ký), trong đó các thiết bị (clients) gửi (publish) và nhận (subscribe) thông tin thông qua một trung gian gọi là broker. MQTT được phát triển lần đầu tiên vào năm 1999 bởi Andy Stanford-Clark (IBM) và Arlen Nipper (Arcom) với mục tiêu giám sát đường ống dẫn dầu qua vệ tinh. Giao thức này sau đó được chuẩn hóa bởi OASIS và ISO vào năm 2014.

1.3.4.2 Nguyên lý hoạt động

MQTT sử dụng mô hình publish/subscribe, trong đó:

- **Publisher:** Thiết bị gửi thông tin (ví dụ: cảm biến nhiệt độ).
- **Subscriber:** Thiết bị nhận thông tin (ví dụ: hệ thống điều khiển).
- **Broker:** Máy chủ trung gian quản lý việc phân phối thông tin giữa publisher và subscriber



Hình 1.2: MQTT trong IOT

Các thông tin được gửi dưới dạng "messages" đến các "topics" cụ thể. Ví dụ, một cảm biến nhiệt độ có thể gửi dữ liệu đến topic sensors/temperature. Các subscriber quan tâm đến topic này sẽ nhận được thông tin tương ứng.

1.3.4.3 Ưu điểm của MQTT

- **Tiết kiệm băng thông:** Giao thức nhẹ, sử dụng ít tài nguyên mạng.
 - **Tiết kiệm năng lượng:** Phù hợp cho các thiết bị hoạt động bằng pin.
 - **Độ tin cậy cao:** Hỗ trợ ba mức độ Quality of Service (QoS):
 - **QoS 0:** Gửi một lần, không đảm bảo nhận.
 - **QoS 1:** Gửi ít nhất một lần, có thể trùng lặp.
 - **QoS 2:** Gửi đúng một lần, không trùng lặp.
 - **Kết nối liên tục:** Hỗ trợ kết nối liên tục, giảm độ trễ.
 - **Khả năng mở rộng:** Hỗ trợ hàng triệu kết nối đồng thời.
-

1.3.4.4 Nhược điểm của MQTT

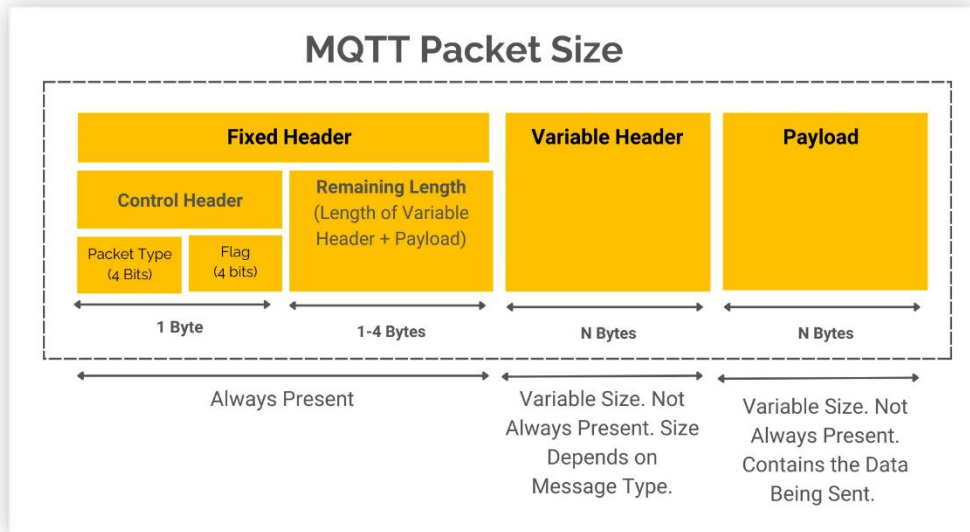
- **Phụ thuộc vào broker:** Nếu broker gặp sự cố, toàn bộ hệ thống có thể bị ảnh hưởng.
 - **Không hỗ trợ multicast:** Không phù hợp cho các ứng dụng cần phát sóng thông tin đến nhiều thiết bị.
 - **Yêu cầu bảo mật:** Cần cấu hình bảo mật (TLS/SSL) để đảm bảo an toàn thông tin.
-

1.3.4.5 Ứng dụng thực tế

- **Nhà thông minh:** Điều khiển ánh sáng, nhiệt độ, an ninh.
 - **Nông nghiệp thông minh:** Giám sát và điều khiển hệ thống tưới tiêu, nhiệt độ, độ ẩm.
 - **Y tế:** Theo dõi sức khỏe bệnh nhân từ xa.
-

- **Giao thông:** Giám sát và điều khiển hệ thống đèn tín hiệu, giao thông thông minh

1.3.4.6 Cấu trúc gói tin MQTT



Hình 1.3: Cấu trúc của một gói tin

Gói tin MQTT bao gồm ba phần chính:

- **Fixed Header:** 1 byte
- **Remaining Length:** 1–4 bytes
- **Variable Header và Payload:** Kích thước thay đổi tùy theo loại gói tin và dữ liệu. Ví dụ, một gói tin PUBLISH với payload 128 bytes sẽ có tổng kích thước khoảng 140 bytes, bao gồm cả overhead của TCP/IP và MQTT.

1.3.4.7 Độ trễ và hiệu suất của MQTT

- **Độ trễ trung bình:** Khoảng 2–3 ms đối với gói tin nhỏ (dưới 1 KB)
- **Độ trễ P99:** Dưới 10 ms đối với gói tin nhỏ
- **Tốc độ truyền tải:** Có thể đạt 200.000–500.000 tin nhắn mỗi giây với các broker như EMQX và NanoMQ

1.3.4.8 Băng thông và tiêu thụ tài nguyên

- **Tiêu thụ băng thông:** Khoảng 64–128 bytes cho mỗi gói tin, tùy thuộc vào kích thước payload và mức QoS

- **Tiêu thụ CPU:** Khoảng 70–90% với tải cao (40.000–60.000 tin nhắn mỗi giây)
- **Tiêu thụ bộ nhớ:** Khoảng 6–10% với tải cao

1.3.4.9 Hiệu suất của các MQTT Broker

Mỗi broker có một thế mạnh riêng bao gồm tính miễn phí, sự đa dạng trong cách sử dụng và lưu lượng truy cập, cũng như các tính năng bảo mật và tốc độ nhanh hay chậm.

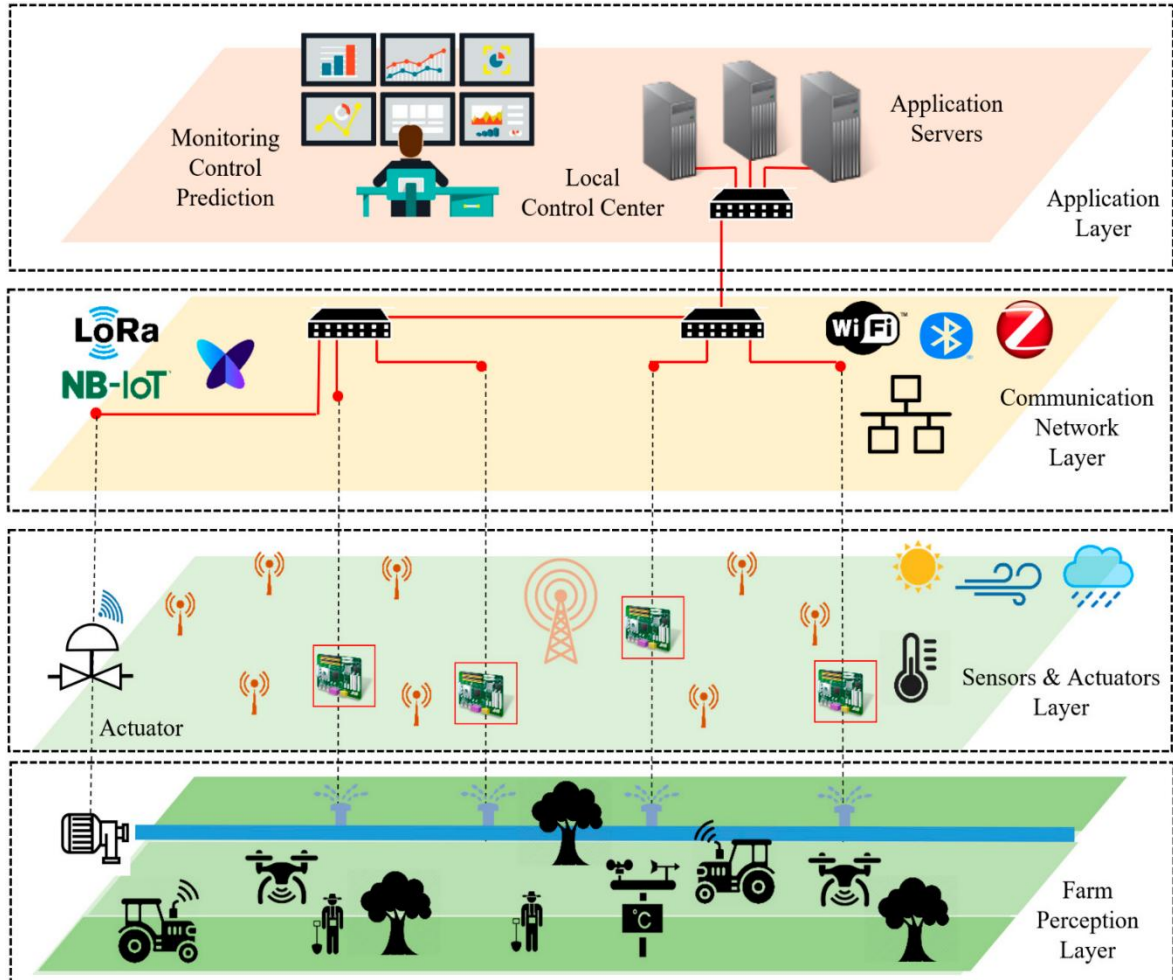
	Open Source MQTT Brokers	Commercial MQTT- Brokers	Cloud-Managed MQTT Brokers	General-purpose messaging brokers	HiveMQ Enterprise MQTT Broker
Scalability					
Security					
Resilience					
Agility					
Observability					
Availability					
Usability					
Extensibility					

Hình 1.4: Bảng thống kê thế mạnh của từng broker MQTT

1.3.5 LoRa là gì?

LoRa (viết tắt của Long Range) là một kỹ thuật điều chế sóng vô tuyến sử dụng phương pháp Chirp Spread Spectrum (CSS), được phát triển để truyền tải dữ liệu ở khoảng cách xa với mức tiêu thụ năng lượng thấp. LoRa được sử dụng trong các mạng

LPWAN (Low Power Wide Area Network), phù hợp cho các ứng dụng IoT yêu cầu kết nối ổn định, tiết kiệm năng lượng và có phạm vi rộng.



Hình 1.5: Phạm vi phủ sóng đa dạng của LoRa

1.3.5.1 Lịch sử và Mục đích Phát triển

- 2009: Hai kỹ sư người Pháp, Nicolas Sornin và Olivier Seller, bắt đầu nghiên cứu và phát triển công nghệ LoRa nhằm tạo ra một phương pháp truyền thông vô tuyến có phạm vi xa và tiêu thụ năng lượng thấp.
- 2010: Họ thành lập công ty Cycleo cùng với François Sforza để thương mại hóa công nghệ này, nhắm đến ngành công nghiệp đo lường (metering) như đo điện, nước và gas.

- 2012: Công ty Semtech của Mỹ đã mua lại Cycleo và tiếp tục phát triển công nghệ LoRa, đồng thời chuẩn hóa giao thức mạng LoRaWAN để hỗ trợ kết nối mạng rộng lớn cho các thiết bị IoT.
- 2015: LoRa Alliance được thành lập như một tổ chức phi lợi nhuận nhằm thúc đẩy và chuẩn hóa công nghệ LoRaWAN trên toàn cầu.

1.3.5.2 Mục đích Phát triển

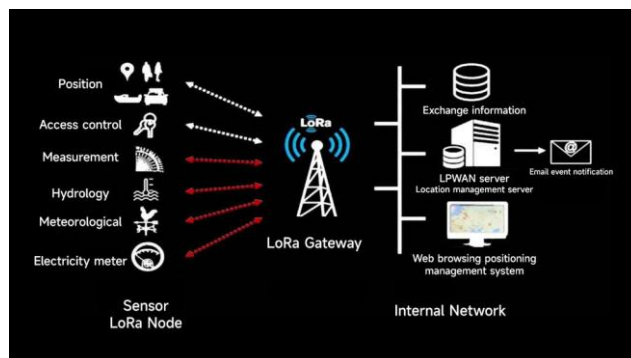
LoRa được thiết kế để giải quyết các vấn đề sau trong các ứng dụng IoT:

- Tiết kiệm năng lượng: Cho phép các thiết bị hoạt động trong thời gian dài mà không cần thay pin hoặc sạc lại thường xuyên.
- Phạm vi truyền rộng: Có thể truyền tải dữ liệu ở khoảng cách lên đến 10 km trong môi trường đô thị và 30 km trong môi trường nông thôn.
- Chi phí thấp: Không yêu cầu giấy phép tần số, giúp giảm chi phí triển khai mạng.
- Khả năng mở rộng: Hỗ trợ hàng triệu thiết bị kết nối trong một mạng duy nhất.
- Độ tin cậy cao: Khả năng chống nhiễu tốt, đảm bảo truyền tải dữ liệu ổn định.

1.3.5.3 Vai trò trong hệ thống IoT

LoRa đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối các thiết bị IoT trong các lĩnh vực như:

- Nông nghiệp thông minh: Giám sát độ ẩm đất, nhiệt độ, và các yếu tố môi trường khác để tối ưu hóa việc tưới tiêu và chăm sóc cây trồng.
- Thành phố thông minh: Quản lý giao thông, chiếu sáng công cộng, và thu gom rác thải hiệu quả.



Hình 1.6: Tính tương thích của LoRa

- Cơ sở hạ tầng thông minh: Giám sát và điều khiển các thiết bị như đèn đường, trạm biến áp, và các thiết bị công nghiệp khác.
- Theo dõi tài sản: Giám sát vị trí và tình trạng của hàng hóa, phương tiện vận chuyển, và thiết bị di động.

1.3.5.4 Tần số hoạt động

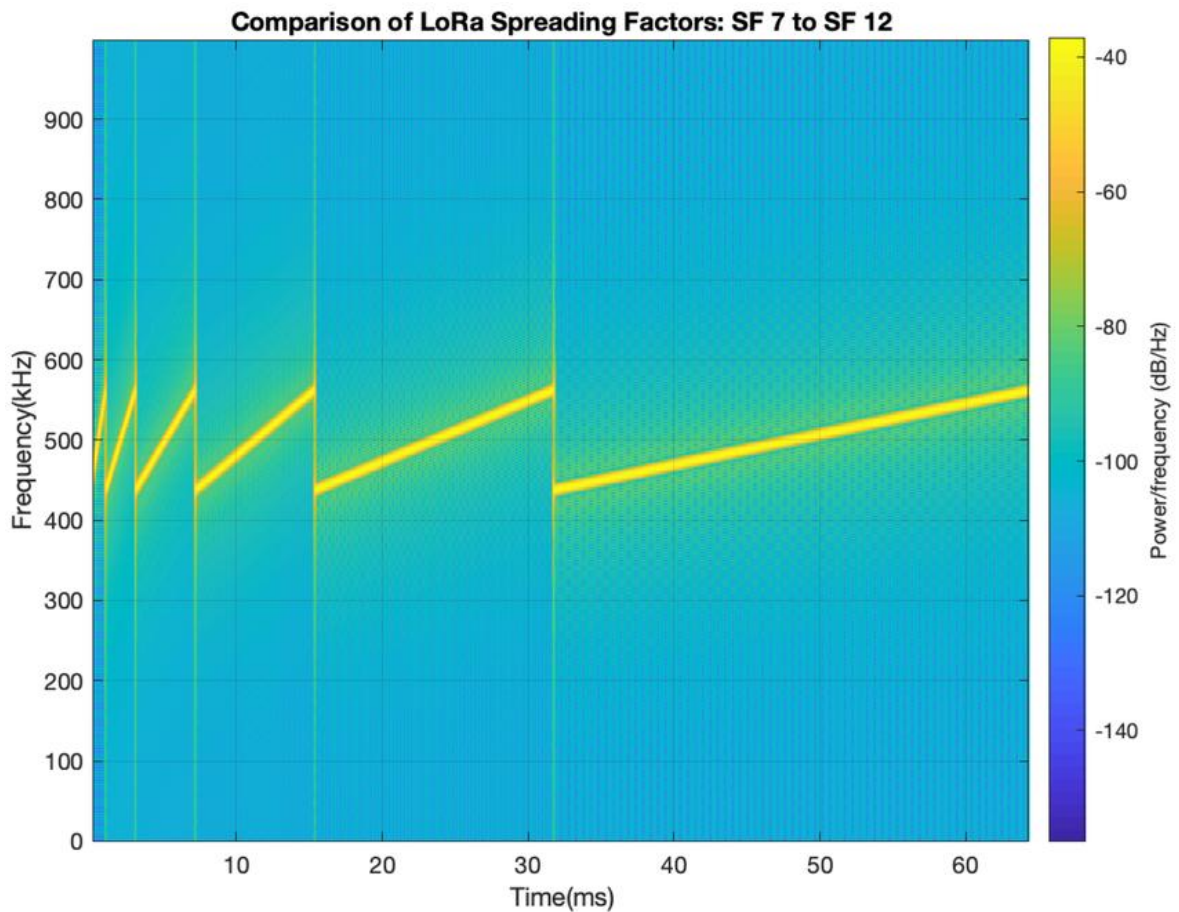
- **Băng tần ISM:** LoRa hoạt động trong các băng tần ISM không cần giấy phép, phổ biến như:
 - **433 MHz:** Phổ biến ở châu Á.
 - **868 MHz:** Phổ biến ở châu Âu.
 - **915 MHz:** Phổ biến ở Bắc Mỹ.

1.3.5.5 Băng thông (Bandwidth)

- LoRa hỗ trợ ba mức băng thông chính:
 - **125 kHz:** Phổ biến nhất, cân bằng giữa phạm vi và tốc độ truyền.
 - **250 kHz:** Tăng tốc độ truyền, giảm phạm vi.
 - **500 kHz:** Tốc độ truyền cao nhất, phạm vi ngắn nhất.

1.3.5.6 Hệ số trải (Spreading Factor - SF)

- SF là số lượng chu kỳ chirp được sử dụng để mã hóa một bit dữ liệu. Các giá trị SF phổ biến từ **SF7 đến SF12**.
- SF càng cao, phạm vi truyền càng xa nhưng tốc độ truyền càng chậm.
- Ví dụ:
 - **SF7:** Tốc độ truyền cao (~5.341 kbps), phạm vi ngắn.
 - **SF12:** Tốc độ truyền thấp (~0.293 kbps), phạm vi xa.



Hình 1.7: Hệ số trải của Lora từ 7-12 biểu diễn trên miền tần số

1.3.5.7 Tốc độ truyền (Data Rate)

- Tốc độ truyền phụ thuộc vào SF và băng thông. Tốc độ truyền có thể thay đổi từ **0.293 kbps** đến **5.341 kbps**.
- Tốc độ truyền càng cao, thời gian truyền càng ngắn, tiết kiệm năng lượng hơn.

1.3.5.8 Độ nhạy thu (Receiver Sensitivity)

- LoRa có khả năng nhận tín hiệu yếu đến **-148 dBm**, cho phép truyền tín hiệu ở khoảng cách xa mà không cần tăng công suất phát.

1.3.5.9 Công suất phát (Transmit Power)

- LoRa cho phép điều chỉnh công suất phát từ **14 dBm** đến **20 dBm**, giúp tối ưu hóa phạm vi truyền và tiết kiệm năng lượng.

1.4 Phạm vi nghiên cứu

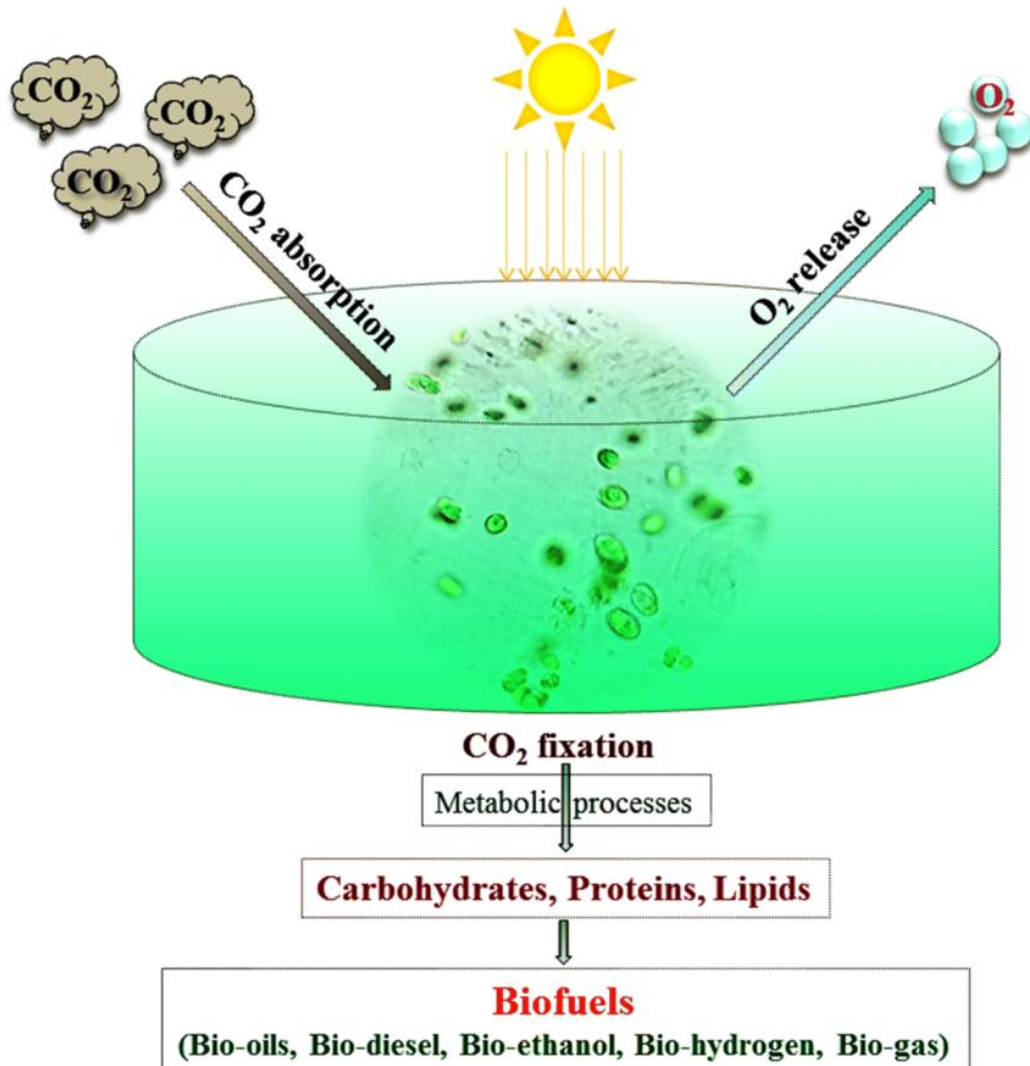
Đề tài tập trung nghiên cứu và triển khai một mô hình nông trại vi tảo thông minh ứng dụng công nghệ IoT và trí tuệ nhân tạo trong điều kiện môi trường ven biển.

Phạm vi nghiên cứu được giới hạn trong các khía cạnh sau:

1. Môi trường nuôi trồng: nghiên cứu triển khai mô hình trong quy mô thí điểm ngoài trời, gần bờ biển, nơi có điều kiện nhiệt độ và độ mặn tự nhiên.
2. Loài tảo: tập trung vào một số loài vi tảo có khả năng hấp thụ CO₂ cao như *Spirulina*, *Chlorella* và *Nannochloropsis*. Các loài này được chọn dựa trên tốc độ sinh trưởng, hiệu suất quang hợp, khả năng thích nghi môi trường và tiềm năng tạo sinh khối lớn.
3. Phổ ánh sáng: đánh giá ảnh hưởng của các phổ ánh sáng khác nhau (ánh sáng mặt trời tự nhiên, phổ LED trắng, đỏ, xanh dương) đến tốc độ phát triển và hiệu suất hấp thụ CO₂ của vi tảo trong điều kiện thí nghiệm và ngoài trời.
4. Cảm biến và truyền dữ liệu: sử dụng các loại cảm biến đo pH, độ đục, nồng độ khí gas (CO₂), nhiệt độ, độ ẩm môi trường, cùng với hệ thống truyền thông LoRa và nền tảng MQTT để truyền dữ liệu từ vùng nuôi trồng về trạm điều khiển trung tâm.
5. Điều khiển tự động: giới hạn trong phạm vi điều chỉnh lưu lượng dinh dưỡng và nước bổ sung dựa trên thuật toán dự đoán từ dữ liệu cảm biến. Hệ thống chưa mở rộng sang điều khiển ánh sáng hoặc nhiệt độ nhân tạo.

1.4.1 Lý thuyết hấp thụ CO₂ của vi tảo

1.4.1.1 Cơ chế quang hợp và hấp thụ CO₂ của vi tảo



Hình 1.8: Quá trình hấp thụ CO₂ của các loài tảo

Quá trình quang hợp ở vi tảo là một chuỗi phản ứng sinh hóa phức tạp, trong đó năng lượng ánh sáng được hấp thụ bởi các sắc tố quang hợp như chlorophyll a và b, carotenoids, và phycobilins. Năng lượng này được sử dụng để chuyển đổi CO₂ và H₂O thành glucose và oxy. Phương trình tổng quát của quang hợp là:



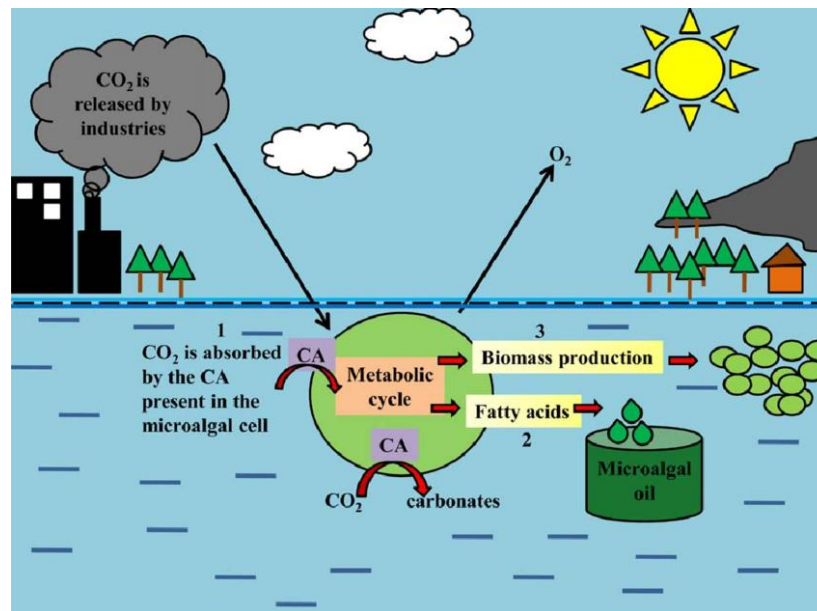
Quá trình này không chỉ giúp vi tảo sinh trưởng mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc giảm lượng CO₂ trong khí quyển, góp phần vào việc chống biến đổi khí hậu.

1.4.1.2 So sánh khả năng hấp thụ CO₂ giữa các loài vi tảo

Khả năng hấp thụ CO₂ của vi tảo phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm loài tảo, điều kiện môi trường và phương pháp nuôi trồng. Các loài như *Nannochloropsis* và *Chlorella* được biết đến với khả năng hấp thụ CO₂ cao và tốc độ sinh trưởng nhanh. Việc lựa chọn loài tảo phù hợp là yếu tố quyết định trong việc tối ưu hóa quá trình hấp thụ CO₂.

1.4.1.3 Ứng dụng trong giảm thiểu khí nhà kính

Việc sử dụng vi tảo để hấp thụ CO₂ là một giải pháp tự nhiên và hiệu quả trong việc giảm thiểu khí nhà kính. Các hệ thống nuôi trồng vi tảo có thể được tích hợp với các nguồn CO₂ thải từ công nghiệp, giúp giảm lượng khí CO₂ phát thải ra môi trường và đồng thời tạo ra nguồn sinh khối có giá trị kinh tế.



Hình 1.9: Hấp thụ CO₂ từ phát thải nhà kính, và thu lại dầu

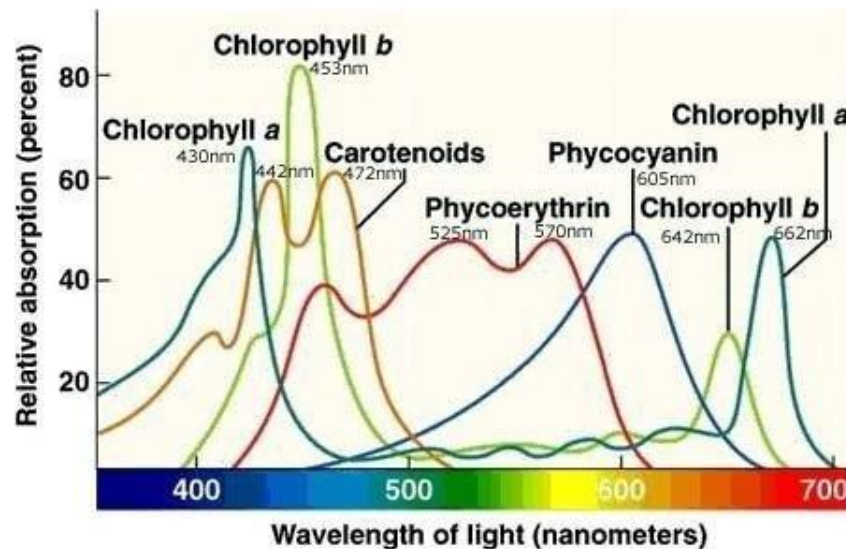
1.4.2 Lý thuyết ánh sáng và phổ quang học trong sinh trưởng vi tảo

1.4.2.1 Vai trò của ánh sáng trong quá trình quang hợp

Ánh sáng cung cấp năng lượng cho quá trình quang hợp của vi tảo. Cường độ và chất lượng ánh sáng ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất quang hợp và tốc độ sinh trưởng của vi tảo. Việc điều chỉnh điều kiện chiếu sáng là cần thiết để tối ưu hóa quá trình quang hợp.

1.4.2.2 Ảnh hưởng của các bước sóng ánh sáng

Các bước sóng ánh sáng khác nhau có tác động khác nhau đến vi tảo. Ánh sáng đỏ và xanh dương thường kích thích quang hợp mạnh mẽ, trong khi ánh sáng xanh lá có thể ảnh hưởng đến thành phần sinh hóa của vi tảo. Việc lựa chọn bước sóng phù hợp giúp tối ưu hóa hiệu suất quang hợp.



Hình 1.10: Các bước sóng ánh sáng cho từng loại tảo

1.4.2.3 Tối ưu hóa điều kiện chiếu sáng trong nuôi trồng vi tảo

Việc sử dụng đèn LED với các bước sóng phù hợp và điều chỉnh cường độ ánh sáng có thể giúp tối ưu hóa điều kiện chiếu sáng cho vi tảo, đặc biệt trong môi trường nuôi trồng trong nhà hoặc dưới mái che. Điều này giúp nâng cao hiệu suất sinh trưởng và sản xuất sinh khối của vi tảo.

1.4.3 Lý thuyết tín chỉ carbon (Carbon Credit Theory)

1.4.3.1 Khái niệm và cơ chế hoạt động của tín chỉ carbon

Tín chỉ carbon là đơn vị đại diện cho lượng CO₂ được giảm phát thải hoặc hấp thụ. Một tín chỉ carbon tương đương với một tấn CO₂ được giảm phát thải hoặc hấp thụ. Việc xác định và chứng nhận tín chỉ carbon giúp đảm bảo tính minh bạch và hiệu quả của các dự án giảm phát thải.

1.4.3.2 Các tiêu chuẩn và quy định về tín chỉ carbon

Các tổ chức như IPCC, Verra, Gold Standard cung cấp các tiêu chuẩn và quy định để xác định và chứng nhận tín chỉ carbon, đảm bảo tính minh bạch và hiệu quả của các dự án giảm phát thải. Việc tuân thủ các tiêu chuẩn này giúp tăng cường niềm tin của cộng đồng và nhà đầu tư vào các dự án tín chỉ carbon.

1.4.3.3 Vai trò của nông trại vi tảo trong thị trường tín chỉ carbon

Nông trại vi tảo có thể hấp thụ CO₂ và chuyển hóa thành sinh khối, từ đó tạo ra tín chỉ carbon có thể giao dịch trên thị trường, góp phần vào việc giảm phát thải khí nhà kính và thúc đẩy phát triển bền vững. Việc tích hợp nông trại vi tảo vào thị trường tín chỉ carbon mở ra cơ hội mới cho việc phát triển kinh tế xanh.

1.5 Phương pháp nghiên cứu

Đề tài sử dụng phương pháp nghiên cứu liên ngành, kết hợp giữa mô hình thí nghiệm thực tế và phân tích dữ liệu với sự hỗ trợ của công nghệ hiện đại. Cụ thể:

1. Nghiên cứu tài liệu

Tham khảo các nghiên cứu trước đây về vi tảo và khả năng hấp thụ CO₂ như công trình của Chisti (2007) về sinh khối và nhiên liệu sinh học từ vi tảo, hay nghiên cứu của Gao et al. (2018) về ảnh hưởng của ánh sáng và dinh dưỡng đến tốc độ quang

hợp. Ngoài ra, đề tài cũng tham khảo các mô hình ứng dụng công nghệ IoT trong nông nghiệp chính xác như nghiên cứu của *Zhang et al. (2017)* và *Kumar et al. (2020)*.

2. Phương pháp thực nghiệm

Thiết lập hệ thống nuôi trồng vi tảo thực nghiệm ngoài trời với các bể nuôi độc lập chứa các loài vi tảo khác nhau như *Chlorella*, *Spirulina* và *Nannochloropsis*. Mỗi bể được trang bị cảm biến đo pH, nhiệt độ, độ đục, và CO₂. Hệ thống truyền dữ liệu sử dụng ESP32 và LoRa để gửi dữ liệu về trung tâm xử lý.

3. Phân tích dữ liệu môi trường

Dữ liệu từ các cảm biến được thu thập qua MQTT, hiển thị và lưu trữ trên nền tảng Node-RED. Phân tích thống kê được thực hiện để xác định mối liên hệ giữa các yếu tố môi trường (ánh sáng, pH, dinh dưỡng) với tốc độ phát triển của tảo và khả năng hấp thụ CO₂.

4. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI)

Áp dụng các mô hình dự đoán như hồi quy tuyến tính, cây quyết định và mạng nơ-ron đơn giản (ANN) để dự đoán nhu cầu dinh dưỡng của vi tảo theo thời gian. Kết quả dự đoán được sử dụng để điều khiển hệ thống bơm dinh dưỡng và nước bổ sung hoàn toàn tự động, dựa trên mô hình học máy giống với phương pháp trong nghiên cứu của *Patel et al. (2021)*.

5. Mô phỏng và đánh giá hiệu quả

Sử dụng phần mềm như MATLAB hoặc Python để mô phỏng các kịch bản vận hành khác nhau. Đánh giá hiệu quả hấp thụ CO₂ được thực hiện bằng cách tính toán tổng khối lượng CO₂ cố định qua sinh khối tạo ra, từ đó ước lượng tiềm năng tín chỉ carbon.

CHƯƠNG 2. THIẾT KẾ NÔNG TRẠI VI TẢO THÔNG MINH ĐỂ LƯU TRỮ CARBON XANH

2.1 Kiến trúc tổng quát

Hệ thống gồm hai vi điều khiển ESP32:

- Một ESP32-S3 A (WeAct) đóng vai trò thiết bị **Master**.
- Một ESP32 thông thường làm thiết bị **Slave**.

Hai vi điều khiển này giao tiếp với nhau qua **LoRa**, trong đó:

- ESP32 Slave thu thập dữ liệu từ các cảm biến (pH, độ đục, khí,...), mã hóa dữ liệu và truyền đi qua LoRa.
- ESP32-S3 Master nhận dữ liệu từ Slave, xử lý và truyền tiếp dữ liệu lên máy chủ MQTT thông qua kết nối Wi-Fi.

2.1.1 Vai trò của các thành phần

ESP32 Slave:

- Là thiết bị ngoại vi, có thể đặt ở các điểm đo xa.
- Có thể hoạt động với năng lượng thấp, truyền dữ liệu định kỳ.
- Sử dụng module LoRa (ví dụ SX1278) để gửi dữ liệu dạng chuỗi (có thể là JSON hoặc định dạng đơn giản) đến Master.

ESP32-S3 Master (WeAct):

- Là trung tâm xử lý của phía phát.
- Nhận dữ liệu LoRa từ nhiều Slave nếu cần.
- Kết nối Wi-Fi, sử dụng giao thức MQTT để truyền dữ liệu lên MQTT Broker (ví dụ Mosquitto trên địa chỉ IP nội bộ 192.168.1.6, port 1883).

2.1.2 Giao tiếp LoRa

- Giao tiếp không dây tầm xa, hoạt động ở băng tần 433 MHz, 868 MHz hoặc 915 MHz (tùy quốc gia).
- Giao tiếp LoRa giữa Slave và Master là điểm-điểm hoặc nhiều điểm đến một điểm trung tâm.
- Truyền dữ liệu có độ trễ thấp nhưng tốc độ truyền không cao.

2.1.3 Giao tiếp MQTT

- Sau khi nhận dữ liệu từ LoRa, ESP32 Master sử dụng Wi-Fi để kết nối đến MQTT Broker.
- Sử dụng thư viện `PubSubClient.h` để publish dữ liệu lên các topic cụ thể (ví dụ: `sensor/ph`, `sensor/turbidity`,...).

2.2 THIẾT KẾ CHI TIẾT PHÍA PHÁT

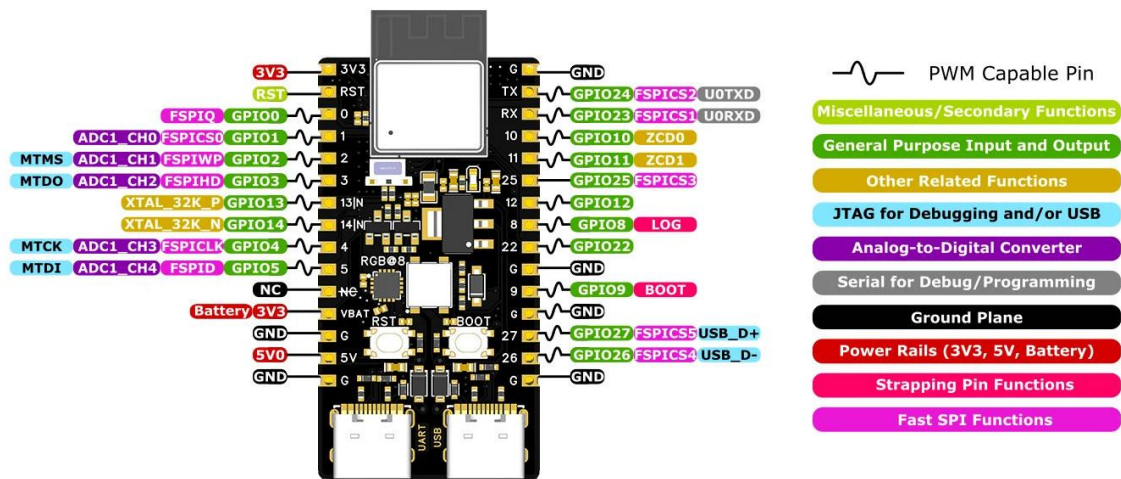
2.2.1 ESP32-S3 Master (WeAct):

- Là trung tâm xử lý của phía phát.
- Nhận dữ liệu LoRa từ nhiều Slave nếu cần.
- Kết nối Wi-Fi, sử dụng giao thức MQTT để truyền dữ liệu lên MQTT Broker (ví dụ Mosquitto trên địa chỉ IP nội bộ 192.168.1.6, port 1883).

Bảng 2.1: Thông số của ESP32-S3-DEV MODULE (WEACT)

Thông số	Giá trị
<i>Vi xử lý</i>	Tensilica Xtensa LX7 dual-core (240 MHz)
<i>RAM</i>	512 KB SRAM nội, hỗ trợ PSRAM ngoài (lên tới 8MB)
<i>Flash</i>	4MB hoặc 8MB (tùy phiên bản)
<i>Wi-Fi</i>	2.4 GHz IEEE 802.11 b/g/n
<i>Bluetooth</i>	BLE 5.0

<i>GPIO</i>	Tối đa 45 chân GPIO
<i>ADC</i>	2 x ADC 12-bit (tối đa 20 kênh)
<i>Giao tiếp ngoại vi</i>	SPI, I2C, UART, I2S, PWM, USB OTG, RMT,...
<i>Điện áp hoạt động</i>	3.3V
<i>Điện áp vào</i>	5V thông qua cổng USB-C hoặc pin VIN



Hình 2.1 : Pinout của ESP32-SE-DEVMODULE (WEACT)

2.2.2 Giao tiếp LoRa

- Giao tiếp không dây tầm xa, hoạt động ở băng tần 433 MHz, 868 MHz hoặc 915 MHz (tùy quốc gia).
- Giao tiếp LoRa giữa Slave và Master là điểm-điểm hoặc nhiều điểm đến một điểm trung tâm.
- Truyền dữ liệu có độ trễ thấp nhưng tốc độ truyền không cao.

2.2.3 Giao tiếp MQTT

- Sau khi nhận dữ liệu từ LoRa, ESP32 Master sử dụng Wi-Fi để kết nối đến MQTT Broker.

- Sử dụng thư viện PubSubClient.h để publish dữ liệu lên các topic cụ thể (ví dụ: sensor/ph, sensor/turbidity,...).
- MQTT là giao thức nhẹ, phù hợp với hệ thống nhúng.

2.3 THIẾT KẾ CHI TIẾT PHÍA THU

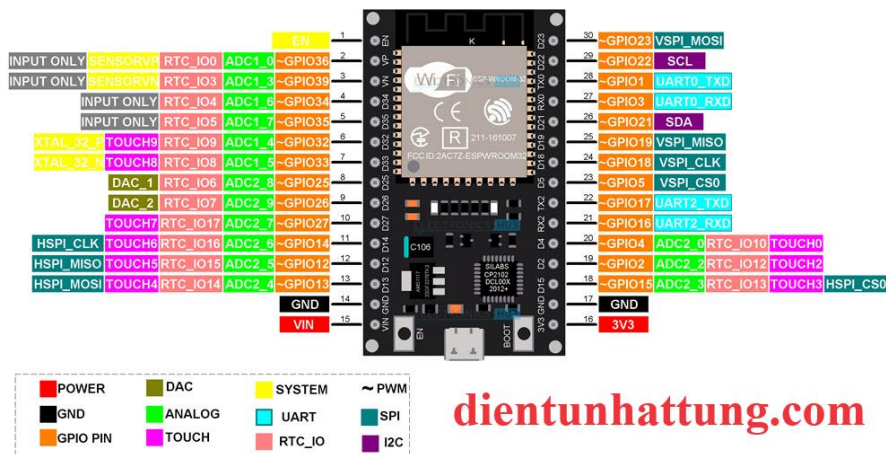
Phía thu trong hệ thống gồm một bo mạch **ESP32** đóng vai trò là **thiết bị slave**. Thiết bị này có nhiệm vụ thu thập dữ liệu từ các cảm biến môi trường và truyền các dữ liệu này đến thiết bị master thông qua giao tiếp **LoRa**. Cấu trúc phần cứng phía thu bao gồm:

2.3.1 ESP-WROOM-32

- **Vi điều khiển:** Tensilica Xtensa LX6 Dual-core
- **Tốc độ xung nhịp:** lên đến 240 MHz
- **Bộ nhớ RAM:** 520 KB SRAM
- **Flash:** 4 MB (thường)
- **Giao tiếp hỗ trợ:** UART, SPI, I2C, ADC, DAC, PWM
- **Tính năng nổi bật:** Wi-Fi, Bluetooth BLE, GPIO đa chức năng

ESP32 này chịu trách nhiệm:

- Thu dữ liệu cảm biến từ các chân analog (GPIO)
- Gửi dữ liệu đã thu thập qua LoRa đến thiết bị master



Hình 2.2 : ESP32-WROOM 2 DEVMODULE PIN OUT

2.3.2 Cảm biến độ đục nước – DFRobot Gravity: Analog Turbidity Sensor

- **Nguồn hoạt động:** 5V DC
- **Tín hiệu đầu ra:** Analog
- **Dải đo:** 0 ~ 1000 NTU (Tùy vào hiệu chuẩn)
- **Kết nối:** Dây 3 chân: VCC, GND, Signal
- **Đặc điểm:** Được thiết kế để đo mức độ đục của nước, sử dụng nguyên lý tán xạ ánh sáng.

Chân tín hiệu thường được kết nối đến một chân ADC của ESP32 (ví dụ: GPIO4).



Hình 2.3 : Cảm biến độ đục nước – DFRobot Gravity: Analog Turbidity Sensor

2.3.3 Cảm biến pH – DFRobot Gravity: Analog pH Sensor / Meter Kit

- **Nguồn hoạt động:** 5V DC
- **Tín hiệu đầu ra:** Analog 0 ~ 3.0V
- **Đo pH:** từ 0 đến 14
- **Sai số:** ± 0.1 pH (tùy theo hiệu chuẩn)
- **Kết nối:** Dây 3 chân: VCC, GND, Signal

Chân tín hiệu nối vào một chân ADC của ESP32 (ví dụ: GPIO6).

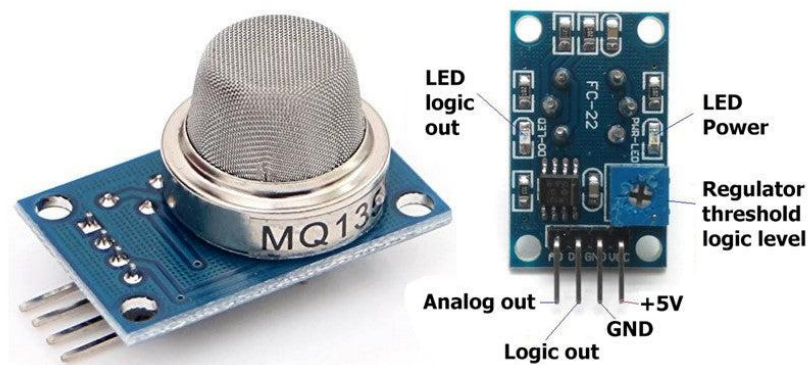


Hình 2.4 : Ảnh thực tế của cảm biến DRF ROBOT PH

2.3.4 Cảm biến khí MQ135

- **Nguồn hoạt động:** 5V DC
- **Tín hiệu đầu ra:** Analog (hoặc Digital nếu dùng chân DO)
- **Các khí phát hiện:** NH₃, NO_x, CO₂, benzene, khói và rượu
- **Thời gian đáp ứng:** nhỏ hơn 10s
- **Chân kết nối:** VCC, GND, AO

ESP32 sẽ đọc giá trị analog (ví dụ: GPIO5) từ cảm biến để ước lượng nồng độ khí.



Hình 2.5 : Cảm biến không khí MQ135