

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN**



**HUỲNH HỒ THỊ MỘNG TRINH**

**NGHIÊN CỨU VÀ HIỆN THỰC  
HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG TÒA NHÀ CAO TẦNG  
SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ LORA**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
NGÀNH KHOA HỌC MÁY TÍNH  
Mã số: 8.48.01.01**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC  
TS. TRỊNH LÊ HUY**

**TP. HỒ CHÍ MINH, 2019**

## **LỜI CẢM ƠN**

Trước tiên em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến TS. Trịnh Lê Huy đã hướng dẫn tận tình để em có thể hoàn thành đề tài này.

Đồng thời, em cũng xin chân thành cảm ơn quý Thầy Cô giảng dạy cao học tại trường Đại học Công Nghệ Thông Tin đã nhiệt tình giảng dạy, truyền đạt kiến thức nền tảng cũng như truyền cho em tinh thần ham học hỏi và hứng thú nghiên cứu khoa học. Cảm ơn quý Thầy Cô cũng như các anh chị đồng nghiệp công tác tại Khoa Công Nghệ Phần Mềm đã hỗ trợ trong công việc, giúp em có thời gian hoàn thành đề tài. Bên cạnh đó, em cũng vô cùng biết ơn với sự hỗ trợ chuẩn bị và hướng dẫn sử dụng thiết bị của các em Thảo Nguyễn, Kha Trần, Thông Lữ phục vụ cho quá trình nghiên cứu.

Em xin chân thành cảm ơn.

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 07 năm 2019

Học viên

**HUỲNH HỒ THỊ MỘNG TRINH**

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan những nội dung trong luận văn là kết quả nghiên cứu thực sự của cá nhân dưới sự hướng dẫn của TS. Trịnh Lê Huy. Tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về luận văn của mình.

Học viên

HUỲNH HỒ THỊ MỘNG TRINH

# MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN.....	ii
LỜI CAM ĐOAN.....	iii
MỤC LỤC .....	1
DANH MỤC CÁC KÍ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT .....	4
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	5
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ .....	6
MỞ ĐẦU .....	11
Chương 1. TỔNG QUAN.....	12
1.1 Tổng quan lí do chọn đề tài .....	12
1.2 Mục tiêu luận văn .....	14
1.3 Đóng góp của luận văn.....	15
1.4 Cấu trúc luận văn.....	16
Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DỪNG TRONG NHÀ .....	17
2.1 Định vị người dừng trong nhà .....	17
2.1.1. Giới thiệu chung về định vị trong nhà .....	17
2.1.2. Các kĩ thuật định vị trong nhà.....	18
2.2 Định vị trong nhà sử dụng công nghệ LoRa .....	20
2.2.1. Mô-đun LoRa.....	20
2.2.2. Nguyên lí xác định khoảng cách giữa 2 mô đun LoRa.....	21
2.2.3. Độ chính xác theo lý thuyết .....	24
2.2.4. Định vị sử dụng phép đo ba cạnh tam giác .....	25
2.2.4.1 Các trường hợp sai số thường gặp .....	27

2.2.4.2	Trường hợp hai đường tròn giao nhau tại hai giao điểm nhưng đường tròn này không bao phủ tâm đường tròn kia.....	29
2.2.4.3	Trường hợp hai đường tròn không giao nhau .....	30
2.2.4.4	Trường hợp hai đường tròn giao nhau và đường tròn này phủ tâm đường tròn kia .....	30
2.2.4.5	Trường hợp đường tròn này chứa đường tròn kia .....	31
2.2.4.6	Công thức tính vị trí dựa vào phép đo ba cạnh tam giác ..	32
2.3	Kết chương .....	33
Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG.....		35
3.1	Mô tả nghiệp vụ.....	35
3.2	Sơ đồ người dùng .....	35
3.3	Sơ đồ hoạt động.....	39
3.3.1.	Cài đặt thông tin cấu hình hệ thống .....	39
3.3.2.	Theo dõi hoạt động của hệ thống định vị.....	40
3.3.3.	Tra cứu thông tin người dùng .....	41
3.3.4.	Cài đặt thông tin người dùng .....	42
3.3.5.	Đăng nhập .....	43
3.4	Sơ đồ thành phần .....	44
3.5	Sơ đồ triển khai .....	45
3.6	Kiến trúc cơ bản của hệ thống.....	46
3.7	Thiết kế cơ sở dữ liệu .....	47
3.8	Thiết kế giao diện .....	47
3.8.1.	Sơ đồ liên kết các giao diện .....	47
3.8.2.	Thiết kế giao diện Hiển thị kết quả.....	49
3.8.3.	Thiết kế giao diện Quản lý tài khoản.....	51

3.8.4. Thiết kế giao diện Quản lý thông tin .....	53
3.8.5. Thiết kế giao diện Đăng nhập .....	54
3.9 Kết chương .....	55
Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG .....	56
4.1 Điều khiển và thu thập, sử dụng dữ liệu từ thiết bị Lora .....	56
4.2 Triển khai các thiết bị trong tòa nhà cao tầng, thực nghiệm xác định khoảng cách .....	60
4.3 Xác định tọa độ slave node cần định vị.....	62
4.4 Xác định và hiển thị vị trí phòng của vật cần định vị.....	62
4.4.1. Xây dựng mô hình 3D.....	62
4.4.2. Gán nhãn các phòng trong tòa nhà.....	64
4.5 Kết quả thực nghiệm .....	65
4.6 Kết chương .....	77
Chương 5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ.....	79
5.1 Kết luận .....	79
5.2 Hạn chế.....	80
5.3 Khuyến nghị .....	80
DANH MỤC CÔNG BỐ KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ.....	81
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	82
PHỤ LỤC I. CÔNG NGHỆ LORA VÀ ĐIỆN TOÁN ĐÁM MÂY AZURE .....	84
PHỤ LỤC II. BỘ LỌC KALMAN .....	96
PHỤ LỤC III. FILE STL .....	103
PHỤ LỤC IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM .....	108

## DANH MỤC CÁC KÍ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Viết đầy đủ	Ý nghĩa
LoRa	Long Range Radio	Công nghệ giao tiếp tín hiệu tầm xa
ToF	Time of Flight	Thời gian bay trong không khí
ToA	Time of Arrival	Thời gian đến
AoA	Angle of Arrival	Phương pháp tiếp cận dựa trên góc tới
TDoA	Time Difference of Arrival	Phương pháp tiếp cận dựa trên sự khác biệt về thời gian đến
RTof	Return Time of Flight	Phương pháp tiếp cận dựa trên thời gian truyền tín hiệu khứ hồi
GPS		Hệ thống định vị toàn cầu
LoS	Line of Sight	Tầm nhìn thẳng, không vật cản
RSS	Received Signal Strength	Phương pháp tiếp cận dựa trên cường độ tín hiệu nhận được
IoT	Internet of Things	

## DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1 Bảng so sánh các công nghệ định vị trong nhà.....	13
Bảng 2.1 Bảng kết quả cân chỉnh hệ số calibration của mô đun LoRa SX1280 .	24
Bảng 3.1 Bảng mô tả chức năng của Admin.....	36
Bảng 3.2 Bảng mô tả chức năng của Người quản lí .....	38
Bảng 3.3 Bảng mô tả chức năng từng giao diện của phần mềm máy tính trong hệ thống.....	47
Bảng 3.4 Bảng mô tả thiết kế giao diện hiển thị kết quả định vị của hệ thống trên mô hình 2D và 3D .....	49
Bảng 3.5 Bảng mô tả thiết kế giao diện cài đặt thông tin cấu hình hệ thống định vị.....	51
Bảng 3.6 Bảng mô tả thiết kế giao diện Quản lí thông tin.....	53
Bảng 3.7 Bảng mô tả thiết kế giao diện Đăng nhập hệ thống.....	54
Bảng 4.1 Bảng kết quả thực nghiệm định vị trong nhà cao tầng 1 (lầu 7 nhà E trường Đại học Công nghệ thông tin) .....	65
Bảng 5.2 Bảng kết quả thực nghiệm định vị trong nhà cao tầng 2 (lầu 7 nhà E trường Đại học Công nghệ thông tin) .....	69



## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1 Hệ thống định vị đề xuất sử dụng công nghệ LoRa.....	14
Hình 2.1 Mô-đun LoRa SX1280 .....	20
Hình 2.2 Sơ đồ thể hiện quá trình đo khoảng cách sử dụng RToF được tích hợp trong mô-đun LoRa SX1280 .....	21
Hình 2.3 Biểu đồ thể hiện độ chính xác với các thiết lập SF và BW khác nhau .	25
Hình 2.4. Tọa độ của thiết bị thu được xác định thông qua khoảng cách từ thiết bị thu đến thiết bị phát.....	26
Hình 2.5 Các đường tròn tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu giao tại các điểm khác nhau .....	27
Hình 2.6 Các đường tròn tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu không giao nhau .....	28
Hình 2.7 Hai đường tròn giao nhau tại hai giao điểm nhưng đường tròn này không bao phủ tâm đường tròn kia .....	29
Hình 2.8 Hai đường tròn không giao nhau.....	30
Hình 2.9 Hai đường tròn giao nhau và đường tròn này phủ tâm đường tròn kia	31
Hình 2.10 Đường tròn này chứa đường tròn kia.....	32
Hình 2.11 Hình minh họa cách xác định vị trí điểm cần định vị thông qua phép đo ba cạnh tam giác.....	33
Hình 3.1 Sơ đồ người dùng trong hệ thống định vị .....	35
Hình 3.2 Sơ đồ người dùng cho các chức năng của Admin.....	36
Hình 3.3 Sơ đồ người dùng cho các chức năng của Người quản lí .....	38

Hình 3.4 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng cài đặt thông tin cấu hình hệ thống	39
Hình 3.5 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng theo dõi hoạt động của hệ thống định vị	40
Hình 3.6 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng tra cứu thông tin người dùng	41
Hình 3.7 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng cài đặt thông tin người dùng	42
Hình 3.8 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng đăng nhập	43
Hình 3.9 Sơ đồ thành phần của hệ thống định vị	44
Hình 3.10 Sơ đồ triển khai của hệ thống định vị	45
Hình 3.11 Kiến trúc cơ bản của hệ thống định vị	46
Hình 3.12 Sơ đồ thiết kế cơ sở dữ liệu ứng dụng trong hệ thống định vị	47
Hình 3.13 Sơ đồ liên kết các giao diện trên ứng dụng máy tính	47
Hình 3.14 Thiết kế giao diện Hiển thị kết quả định vị của hệ thống trên mô hình 2D và 3D	49
Hình 3.15 Thiết kế giao diện Quản lý tài khoản trong hệ thống định vị	51
Hình 3.16 Thiết kế giao diện Quản lý thông tin	53
Hình 3.17 Thiết kế giao diện đăng nhập hệ thống định vị	54
Hình 4.1 Mô-đun ESP8266-12	57
Hình 4.2 Sơ đồ luận lý của master node và slave node trong hệ thống định vị	58
Hình 4.3 Hình minh họa bán kính hoạt động của một master	59
Hình 4.4 Mẫu thử phạm vi hoạt động theo chiều dọc và chiều ngang trong nhà cao tầng (màu đỏ - không nhận tín hiệu, màu xanh – nhận tín hiệu)	60
Hình 4.5 Cách đặt một node	61

Hình 4.6 Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm 1 .....	61
Hình 4.7 Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm 2.....	62
Hình 4.8 Bản vẽ thiết kế tầng 1 tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh sau khi được hiệu chỉnh .....	63
Hình 4.9 Mô hình 3D tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin trong Sketch Up .....	63
Hình 4.10 Mô tả việc hiệu chỉnh phòng có hình dạng khác hình hộp chữ nhật ..	64
Hình 4.11 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76_014).....	65
Hình 4.12 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76_014) .....	66
Hình 4.13 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76_013).....	66
Hình 4.14 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76_013) .....	67
Hình 4.15 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76_124).....	67
Hình 4.16 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76_124) .....	68
Hình 4.17 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76_034).....	68
Hình 4.18 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76_034) .....	69

Hình 4.19 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_014_2) .....	70
Hình 4.20 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_014_2) .....	70
Hình 4.21 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_124_2) .....	71
Hình 4.22 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_124_2) .....	71
Hình 4.23 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_014_4) .....	72
Hình 4.24 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_014_4) .....	72
Hình 4.25 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_012_2) .....	73
Hình 4.26 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_012_2) .....	73
Hình 4.27 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_023_2) .....	74
Hình 4.28 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_023_2) .....	74
Hình 4.29 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72_024_2) .....	75

Hình 4.30 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72_024_2) .....	75
Hình 4.31 Giao diện Cài đặt thông tin cấu hình hệ thống định vị của admin.....	76
Hình 4.32 Giao diện quản lý tòa nhà của người quản lý .....	76
Hình 4.33 Giao diện Hiển thị kết quả định vị .....	77

## MỞ ĐẦU

Đề tài “NGHIÊN CỨU VÀ HIỆN THỰC HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG TÒA NHÀ CAO TẦNG SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ LORA” được đề xuất và hướng dẫn thực hiện bởi TS. TRỊNH LÊ HUY.

Nội dung yêu cầu tìm hiểu công nghệ LoRa, phương pháp định vị trong nhà cao tầng ứng dụng công nghệ LoRa, xây dựng một hệ thống định vị đầy đủ gồm thiết bị phần cứng và phần mềm. Sau đó triển khai trên tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, đưa ra nhận định tính khả thi của việc ứng dụng công nghệ LoRa vào việc xây dựng hệ thống định vị trong nhà cao tầng.

Trong quá trình thực hiện, học viên đã xây dựng và triển khai được hệ thống định vị trong nhà cao tầng vào tòa nhà E. Hệ thống có sử dụng mô-đun LoRa, mô-đun ESP8266, Microsoft Azure, phần mềm hỗ trợ đọc và dựng mô hình 3D từ file bản vẽ thiết kế kỹ thuật, một ứng dụng chạy trên máy tính được viết trên Matlab. Nội dung nghiên cứu, phương pháp thực hiện và kết quả được trình bày ở chương 2, chương 3, chương 4. Chương 5 là kết luận chung và khuyến nghị cho sự mở rộng của hệ thống sau này.

Trong thời đại công nghệ 4.0 với xu hướng tự động hóa và việc xuất hiện nhiều nhà cao tầng thì việc nghiên cứu xây dựng một hệ thống định vị trong nhà cao tầng sử dụng công nghệ LoRa thu phát tầm xa có khả năng ứng dụng cao, phát triển và mở rộng ở nhiều lĩnh vực là điều vô cùng hữu ích. Nếu thầy, cô, anh, chị phát hiện có sai sót, hoặc có ý tưởng mới muốn gợi ý hay có ý hỗ trợ thầy trò hoàn thiện và phát triển hệ thống thì vui lòng liên hệ qua mail [huytl@uit.edu.vn](mailto:huytl@uit.edu.vn) hoặc [trinhhhhtm@uit.edu.vn](mailto:trinhhhhtm@uit.edu.vn).

Chân thành cảm ơn.

## Chương 1. TỔNG QUAN

*Nội dung Chương 1 giới thiệu chung về ngữ cảnh của đề tài, lý do thực hiện đề tài, từ đó nêu rõ mục tiêu cũng như các đóng góp chính của luận văn. Nội dung tóm tắt của từng chương trong luận văn được trình bày ở cuối chương này.*

### 1.1 Tổng quan lý do chọn đề tài

Hiện nay, các dịch vụ định vị trong nhà ngày càng được sử dụng rộng rãi. Định vị trong nhà có nhiều ứng dụng như cung cấp hệ thống định vị trong nhà cho người mù và khiếm thị, định vị thiết bị trong các tòa nhà, giúp đỡ khách du lịch tham quan trong các bảo tàng và tìm lối ra khẩn cấp khi xảy ra hỏa hoạn, theo dõi trẻ em ở những nơi đông đúc, và theo dõi thiết bị đắt tiền. Các ứng dụng định vị trong nhà có thể yêu cầu các thuộc tính chất lượng khác nhau, do đó hệ thống định vị trong nhà phải được lựa chọn cẩn thận để đáp ứng các yêu cầu của ứng dụng.

Đối với trường hợp ngoài trời, hệ thống định vị toàn cầu (GPS) đã được thiết lập tốt và được sử dụng rộng rãi. Tại các địa điểm khác nhau trên trái đất, thông tin về địa điểm và thời gian có thể được lấy từ GPS miễn là thiết bị nhận có tầm nhìn thẳng (Line of Sight - LoS) đến ba vệ tinh GPS hoặc hơn. GPS rất thuận tiện trong cài đặt ngoài trời, nhưng nó lại không hoạt động tốt khi tín hiệu từ các vệ tinh GPS bị chặn bởi các bức tường hoặc các tòa nhà cao tầng [1-3]. Ví dụ, trong các khu vực đô thị nơi các tòa nhà chặn tầm nhìn bầu trời, tín hiệu GPS có thể bị cản trở và yếu đi, gây khó khăn trong việc lấy tín hiệu để định vị. Hơn nữa, đôi khi biên độ lỗi GPS có thể ở mức vài chục mét và không phù hợp với việc định vị trong nhà. Bên cạnh đó, GPS chỉ có khả năng xác định tọa độ vị trí trên mặt đất và không xác định người hay vật thể đang ở tầng mấy trong tòa nhà. Vì vậy, cần phải có một hệ thống giúp con người có khả năng định vị vị trí của người hay vật trong nhà nhằm hỗ trợ dẫn đường dẫn đường cho người khiếm thị hay du khách, giúp người bị nạn tìm lối thoát nhanh nhất hoặc định vị vị trí của người bị nạn để hỗ trợ công tác cấp cứu [2, 4]. Việc định vị trong nhà cũng giải

## Chương 1. TỔNG QUAN

quyết bài toán quản lý kho hàng lớn, giúp quản lý kho định vị chính xác mặt hàng, lấy hàng nhanh chóng, hạn chế việc ghi nhớ nhiều thông tin.

Một số công nghệ định vị trong nhà phổ biến như WiFi, GSM, A-GPS, Bluetooth, Zigbee, UWB với độ chính xác, phạm vi hoạt động, khả năng xuyên tường, năng lượng tiêu thụ, chi phí được mô tả chi tiết và lập thành bảng so sánh như thể hiện ở bảng 1.1.

*Bảng 1.1 Bảng so sánh các công nghệ định vị trong nhà*

	WiFi	GSM	A-GPS	Bluetooth	Zigbee	UWB	LoRa <sup>1</sup>
Độ Chính Xác	1-5m	10-50m	5-10m	1-5m	1-10m	6-10cm	1-5m
Phạm Vi Hoạt Động	50m	40km	>20km	10m	300m	45-300m	12km
Khả Năng Xuyên Tường	Trung bình	Thấp	Thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Trung bình
Năng Lượng Tiêu Thụ	Cao	Cao	Cao	Thấp	Thấp	Cao	Thấp
Chi Phí	Thấp	Thấp	Thấp	Thấp	Thấp	Cao	Thấp

*(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)*

Các công nghệ định vị trong nhà trên đều có giới hạn, như wifi độ chính xác cao, chi phí thấp nhưng hoạt động với khoảng cách ngắn, năng lượng tiêu thụ cao; Bluetooth độ chính xác cao, năng lượng tiêu thụ và chi phí thấp, nhưng phạm vi hoạt động và khả năng xuyên tường cũng thấp; zigbee năng lượng tiêu thụ và chi phí thấp nhưng độ chính xác cũng thấp.

Trong môi trường nhà cao tầng, khi xảy ra hỏa hoạn, thiên tai, hệ thống điện, wifi bị ngắt, các thiết bị sử dụng wifi, tiêu thụ điện năng cao sẽ không thể duy trì hoạt động. Đòi hỏi nghiên cứu và xây dựng một hệ thống tối ưu hơn, vừa

---

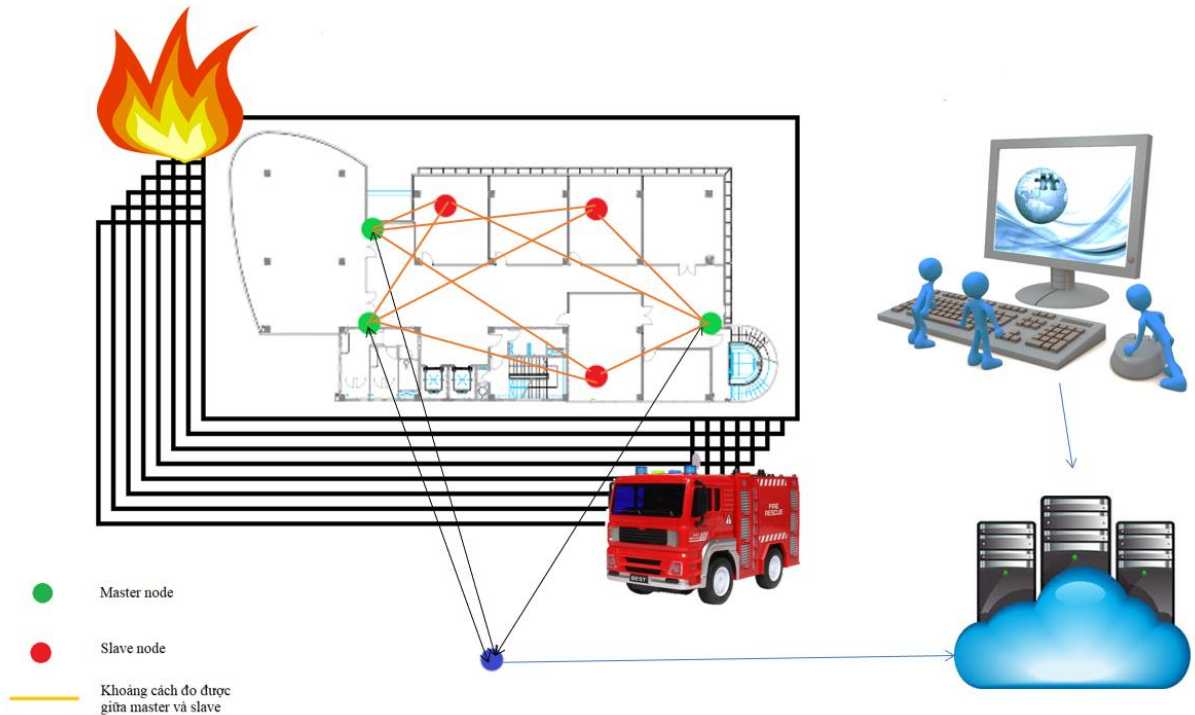
<sup>1</sup> Số liệu thu thập trong hệ thống định vị ngoài trời



## Chương 1. TỔNG QUAN

cho độ chính xác cao, hoạt động với khoảng cách xa, năng lượng tiêu thụ và chi phí triển khai thấp.

Hệ thống định vị trong nhà sử dụng LoRa được đề xuất như hình 1.1.



Hình 1.1 Hệ thống định vị đề xuất sử dụng công nghệ LoRa

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Hệ thống bao gồm các Master node đặt ở các vị trí khác nhau trong tòa nhà. Các Master node có nhiệm vụ xác định khoảng cách từ nó đến các slave cần định vị, sau đó gửi thông tin khoảng cách xác định được đến Station đặt bên ngoài tòa nhà. Các Station có nhiệm vụ gửi kết quả nhận được lên cloud và lưu trữ, tính toán tại đó. Các nhân viên cứu hộ cứu nạn có thể thông qua phần mềm theo dõi vị trí người/ vật cần thực hiện cứu hộ cứu nạn.

### 1.2 Mục tiêu luận văn

Nhằm đáp ứng việc nghiên cứu và xây dựng hệ thống định vị trong nhà sử dụng công nghệ LoRa, bước đầu luận văn cần nghiên cứu và xây dựng hệ thống định vị cơ bản với các mục tiêu cần hoàn thành như sau:

- Đối tượng: Định vị vật đứng yên.
- Phạm vi: Trong một tầng trong tòa nhà E UIT.

## Chương 1. TỔNG QUAN

- Độ chính xác:  $\leq 5m$
- Input và output của hệ thống định vị:
  - Input: Vị trí đặt các thiết bị, tín hiệu phát ra từ thiết bị phát được gắn trên người/ vật cần xác định vị trí trong tòa nhà cao tầng (Tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh).
  - Output: Vị trí tọa độ người/ vật trong không gian và tên phòng chứa người/ vật cần định vị. Thể hiện trực quan trên phần mềm.

### 1.3 Đóng góp của luận văn

Phần dưới đây trình bày các đóng góp chính của luận văn:

- Tiếp cận tìm hiểu và áp dụng chức năng hỗ trợ mới của LoRa – một thiết bị giao tiếp tầm xa đó là Ranging vào bài toán định vị trong nhà, đưa ra nhận định về tính khả thi trong việc ứng dụng LoRa vào bài toán định vị trong nhà.
- Xây dựng được phần mềm đáp ứng các chức năng cơ bản của phần mềm định vị, tính khả thi của việc triển khai trong thực tế cao, dễ dàng phát triển, mở rộng quản lý từ một tòa nhà thành nhiều tòa nhà, các tòa nhà khác trong tỉnh, thành phố và cả nước;
- Đề xuất thiết kế hệ thống định vị có tính ứng dụng cao, triển khai dễ dàng và nhanh chóng, có thể thay thế các thành phần cũ bằng những thành phần mới có chức năng, khả năng hỗ trợ tương đương mà không ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống.
- Hiệu chỉnh và bổ sung cho thuật toán phép đo ba cạnh tam giác giúp giảm sai số và tăng cường độ chính xác khi định vị trong nhà. Thuật toán không chỉ áp dụng được với thiết bị LoRa mà còn có thể áp dụng cho các thiết bị khác sử dụng phương pháp phép đo ba cạnh tam giác, giúp sai số giảm còn 1-5 m.
- Đóng góp thêm nghiên cứu mới về định vị trong nhà, giúp xây dựng nền tảng nghiên cứu về định vị trong nhà với thiết bị LoRa và tạo điều kiện cho các nghiên cứu chuyên sâu hơn về sau này.

## Chương 1. TỔNG QUAN

### 1.4 Cấu trúc luận văn

Quyển báo cáo này bao gồm 5 chương, nội dung chính của các chương được tóm tắt dưới đây:

**Chương 1** trình bày tổng quan về đề tài như giới thiệu chung, lý do thực hiện đề tài, mục tiêu của luận văn, trình bày các đóng góp chính của luận văn cũng như cấu trúc của cuốn báo cáo.

**Chương 2** giới thiệu chung về định vị và các phương pháp định vị người dùng trong nhà. Giới thiệu về phương pháp định vị trong nhà với mô-đun LoRa.

**Chương 3** trình bày về phân tích thiết kế phần mềm sử dụng trong hệ thống định vị.

**Chương 4** trình bày về phương pháp xây dựng Hệ thống định vị trong nhà cao tầng bao gồm các thiết bị phần cứng đến phần mềm, server, database và kết quả thực nghiệm.

**Chương 5** trình bày kết luận, các hạn chế cũng như khuyến nghị cho hướng nghiên cứu mới.

## **Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ**

*Nội dung Chương 2 giới thiệu chung về định vị và các phương pháp định vị người dùng trong nhà. Giới thiệu về phương pháp định vị trong nhà với mô-đun LoRa.*

### **2.1 Định vị người dùng trong nhà**

#### **2.1.1. Giới thiệu chung về định vị trong nhà**

Định vị là quá trình xác định vị trí của con người, thiết bị và các đối tượng khác [5]. Trong những năm gần đây, đây là một lĩnh vực được nghiên cứu rộng rãi, trong đó phần lớn nghiên cứu tập trung vào việc sử dụng các công nghệ hiện có để giải quyết vấn đề xác định vị trí. Định vị có thể được phân thành hai loại, tùy thuộc vào môi trường mà việc định vị được tiến hành: định vị ngoài trời và định vị trong nhà. Trong khi định vị ngoài trời được thực hiện bên ngoài các tòa nhà, định vị trong nhà được thực hiện bên trong các tòa nhà, đặc biệt là các tòa nhà cao tầng (ví dụ: trường học, khu chung cư, bệnh viện và trung tâm thương mại). Các ứng dụng khác nhau có thể yêu cầu các loại công nghệ định vị khác nhau phù hợp nhằm đáp ứng được nhu cầu và ràng buộc của ứng dụng. Ví dụ, Hệ thống Định vị Toàn cầu (GPS) là công nghệ phù hợp và hiệu quả cho không gian ngoài trời thay vì không gian trong nhà vì tín hiệu vô tuyến vệ tinh không thể xuyên qua các bức tường và chướng ngại vật rắn.

Hệ thống định vị trong nhà xác định vị trí của vật thể trong không gian và trong thời gian thực. Hệ thống định vị trong nhà sử dụng nhiều phương pháp định vị, mỗi phương pháp khác nhau về độ chính xác, chi phí, công nghệ, khả năng mở rộng, độ bền và bảo mật [6]. Do nhu cầu gia tăng về định vị trong nhà với độ chính xác cao, định vị trong nhà đã trở thành một lĩnh vực nghiên cứu sâu rộng và các giải pháp khác nhau đã được đề xuất [7]. Nhiều giải pháp trong số này sử dụng một số công nghệ hiện có để giải quyết vấn đề xác định vị trí. Định vị trong nhà có những yêu cầu riêng giúp phân biệt với định vị ngoài trời. Có năm thước đo chất lượng chính của hệ thống định vị trong nhà: (1) độ chính xác của hệ

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

thống; (2) mức độ bao phủ của hệ thống; (3) độ trễ trong việc cập nhật vị trí; (4) ảnh hưởng của kết cấu hạ tầng; và (5) ảnh hưởng của các lỗi ngẫu nhiên trên hệ thống, chẳng hạn như các lỗi gây ra bởi nhiễu và phản xạ tín hiệu [8].

### 2.1.2. Các kỹ thuật định vị trong nhà

- Received Signal Strength (RSS): Phương pháp tiếp cận dựa trên cường độ tín hiệu nhận được (RSS) là một trong những cách tiếp cận đơn giản và được sử dụng rộng rãi nhất để định vị trong nhà [9, 10]. RSS là **cường độ công suất tín hiệu thực nhận được tại máy thu**, thường được đo bằng decibel-milliwatts (dBm) hoặc milliWatts (mW). RSS có thể được sử dụng để ước tính khoảng cách giữa thiết bị phát (Tx) và thiết bị nhận (Rx); **giá trị RSS càng cao thì khoảng cách giữa Tx và Rx càng nhỏ**. Độ dài khoảng cách giữa Tx và Rx có thể được ước tính bằng cách sử dụng một số mô hình truyền tín hiệu khác nhau với công suất truyền tải đã biết trước.
- Fingerprinting/Scene Analysis: Kỹ thuật định vị trong nhà dựa trên phân tích cảnh thường yêu cầu khảo sát môi trường để lấy các giá trị mẫu hoặc các đặc điểm của môi trường nơi hệ thống định vị trong nhà được sử dụng [11, 12]. Ban đầu, các phép đo RSS khác nhau được thu thập trong giai đoạn ngoại tuyến. Khi hệ thống được triển khai, các phép đo trực tuyến (thu được trong thời gian thực) được so sánh với các phép đo ngoại tuyến để ước tính vị trí của người dùng.
- Angle of Arrival (AoA): Phương pháp tiếp cận dựa trên góc tới (AoA) sử dụng mảng ăng-ten [13] (ở phía bên nhận) để ước tính góc tín hiệu truyền đi trên máy thu bằng cách khai thác và **tính toán chênh lệch thời gian khi đến tại các phần tử riêng lẻ của mảng ăng-ten**. Ưu điểm chính của AoA là vị trí thiết bị / người dùng có thể được ước tính với hai máy dò trong môi trường 2D hoặc ba máy dò trong môi trường 3D tương ứng. Mặc dù AoA có thể cung cấp ước lượng chính xác khi khoảng cách nhận của máy phát nhỏ, nó đòi hỏi phần cứng phức tạp và hiệu chuẩn cẩn thận hơn so với kỹ thuật RSS, một lỗi nhỏ trong tính toán góc tới có thể sai số rất lớn trong ước tính vị trí thực tế [14].

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

- Time of Flight (ToF): Thời gian bay (ToF) hoặc Thời gian đến (ToA) khai thác thời gian truyền tín hiệu để tính khoảng cách giữa máy phát Tx và bộ thu Rx [15]. Giá trị ToF nhân với tốc độ ánh sáng  $c = 3 \times 10^8$  m / giây cung cấp khoảng cách vật lý giữa Tx và Rx. ToF từ ba nút tham chiếu khác nhau được sử dụng để ước tính khoảng cách giữa các nút tham chiếu và thiết bị. Có thể sử dụng hình học cơ bản để tính toán vị trí của thiết bị đối với các bộ phát. ToF yêu cầu đồng bộ hóa chặt chẽ giữa các bộ phát và máy thu. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến độ chính xác ước tính của ToF là băng thông tín hiệu và tốc độ lấy mẫu. Tốc độ lấy mẫu thấp (theo thời gian) làm giảm độ phân giải ToF vì tín hiệu có thể đến giữa các khoảng thời gian lấy mẫu. Kỹ thuật siêu phân giải miền tần số thường được sử dụng để có được ToF với độ phân giải cao từ đáp ứng tần số kênh. Trong nhiều môi trường trong nhà, băng thông càng lớn, độ phân giải ước lượng ToF càng cao. Mặc dù băng thông lớn và các kỹ thuật siêu phân giải có thể cải thiện hiệu suất của ToF, nhưng chúng vẫn không thể loại bỏ các vướng mắc lớn về định vị trong nhà khi tầm nhìn thẳng (line of sight) của đường truyền giữa máy phát và bộ thu không có sẵn.
- Time Difference of Arrival (TDoA): Sự khác biệt về thời gian đến (TDoA) khai thác sự khác biệt về thời gian truyền tín hiệu từ các máy phát khác nhau, được đo tại máy thu. TDoA cần ít nhất ba máy phát để tính toán vị trí chính xác của bộ thu là giao điểm của ba (hoặc nhiều) đường hyperbol. Hệ phương trình hyperbola có thể được giải quyết thông qua hồi quy tuyến tính [16] hoặc bằng cách tuyến tính hóa phương trình sử dụng mở rộng chuỗi Taylor. Độ chính xác ước lượng TDoA phụ thuộc (tương tự như kỹ thuật ToF) vào băng thông tín hiệu, tốc độ lấy mẫu tại máy thu và sự tồn tại của đường ngắm trực tiếp giữa các bộ phát và bộ thu. Đồng bộ hóa nghiêm ngặt cũng được yêu cầu, nhưng không giống như kỹ thuật ToF trong đó cần đồng bộ hóa giữa bộ phát và bộ thu, trong trường hợp TDoA chỉ cần đồng bộ hóa giữa các bộ phát.
- Return Time of Flight (RToF): RToF đo thời gian truyền tín hiệu khứ hồi (tức là máy phát - máy thu - máy phát) để ước tính khoảng cách giữa Tx và

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

Rx [15]. Các cơ chế đo khoảng cách của ToF và RToF đều tương tự nhau; khi nhận được tín hiệu từ bộ phát, máy thu sẽ phản hồi lại bộ phát, sau đó tính toán tổng số ToF khứ hồi. Lợi ích chính của RToF là chỉ cần đồng bộ hóa xung tương đối vừa phải giữa Tx và Rx so với ToF. Tuy nhiên, độ chính xác ước lượng RToF bị ảnh hưởng bởi các yếu tố giống như ToF (tức là tốc độ lấy mẫu và băng thông tín hiệu) trong trường hợp này là cao hơn vì tín hiệu được truyền và nhận hai lần. Một vấn đề quan trọng khác với các hệ thống dựa trên RToF là độ trễ đáp ứng tại máy thu, điều mà phụ thuộc rất lớn vào các thiết bị điện tử và các giao thức.

### 2.2 Định vị trong nhà sử dụng công nghệ LoRa

#### 2.2.1. Mô-đun LoRa



Hình 2.1 Mô-đun LoRa SX1280

(Nguồn: Được trích dẫn từ [22])

Các tính năng của mô-đun LoRa SX1280:

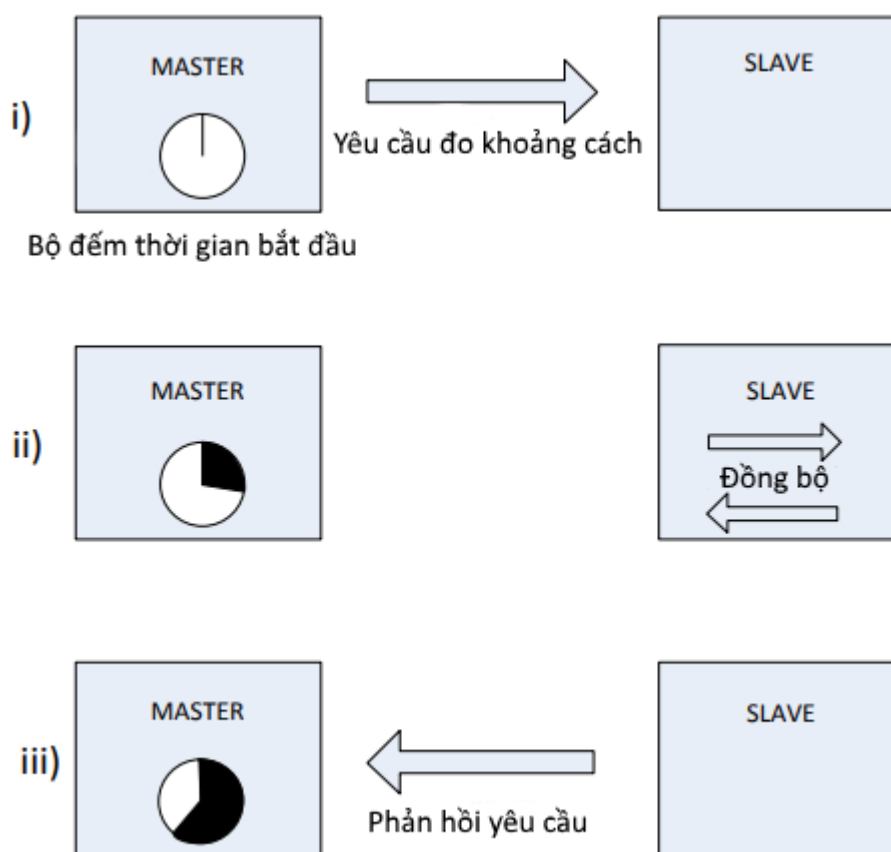
- Bộ thu phát tầm xa 2,4 GHz.
- Độ nhạy cao, có thể xuống tới -132 dBm.
- Tiêu thụ năng lượng thấp.
- Hỗ trợ điều chế LoRa, FLRC, (G)FSK.
- Có thể lập trình tốc độ bit.
- Khả năng chịu nhiễu cao.
- Hỗ trợ đo lường khoảng cách thông qua giao thức TOF.
- Khả năng tương thích lớp BLE PHY
- Chi phí hệ thống thấp.

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

LoRa tiêu thụ năng lượng thấp, mô-đun LoRa có giá thành rẻ, có thể giao tiếp với nhau ở khoảng cách xa, tích hợp định vị RToF, dễ triển khai nên rất phù hợp trong định vị trong nhà. Đặc biệt là ngữ cảnh cứu hộ cứu nạn khi có hỏa hoạn hay thiên tai xảy ra.

### 2.2.2. Nguyên lý xác định khoảng cách giữa 2 mô-đun LoRa

Việc định vị dựa trên chức năng xác định khoảng cách của SX1280 bằng việc đo thời gian khứ hồi của việc truyền tín hiệu giữa một cặp thu phát SX1280. Quá trình này sử dụng sơ đồ điều chế LoRa để tận dụng lợi thế truyền nhận tầm xa và hoạt động ở mức tiêu thụ thấp của thiết bị. Cơ chế này được thể hiện như bên dưới:



Hình 2.2 Sơ đồ thể hiện quá trình đo khoảng cách sử dụng RToF được tích hợp trong mô-đun LoRa SX1280

(Nguồn: Được trích dẫn từ [23])



## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

- i) Một mô đun SX1280 đóng vai trò Master và khởi tạo việc xác định khoảng cách bằng việc gửi một yêu cầu đo khoảng cách. Yêu cầu được gửi đến một mô đun SX1280 khác đã được cài đặt ở chế độ Slave và sẵn sàng nhận yêu cầu. Tại thời điểm Master gửi yêu cầu, Master đồng thời cũng bật bộ đếm thời gian tương ứng.
- ii) Slave sau khi nhận được yêu cầu đo khoảng cách từ Master thì tiến hành đồng bộ hóa bản thân nó với tín hiệu đến. Slave không biết tín hiệu được gửi vào lúc nào nhưng quá trình này đòi hỏi một khoảng thời gian nhất định, thời gian này được đo bởi Master. Master và Slave không bao giờ chia sẻ thông tin này với nhau.
- iii) Cuối cùng Slave gửi gói tin phản hồi đồng bộ lại cho Master, khi nhận được Master có thể suy ra thời gian khứ hồi từ khoảng thời gian đã trôi qua, tức là thời gian để sóng truyền từ Master đến Slave và ngược lại.

Sau khi thu được kết quả Ranging, chúng ta có thể tiến hành chuyển đổi từ LSB (bit có trọng số thấp) sang khoảng cách. Lý thuyết chuyển đổi từ giá trị thanh ghi sang khoảng cách [m] được tính theo công thức:

$$D_{RTof} = \frac{(complement2(register) * 150)}{2^{12} * BW} \quad (1)$$

Trong đó:

$D_{RTof}$ : khoảng cách.

Complement2(register): Bù 2 của giá trị thanh ghi.

BW: Băng thông điều chế được tính theo đơn vị Mhz.

Như tác giả trình bày ở phần trên, Master tạo ra một xung clock cục bộ dùng để tính thời gian truyền khứ hồi của gói tin (RTof) dựa trên quá trình đồng bộ hóa gói tin phản hồi từ Slave. Quá trình Slave đồng bộ hóa với Master tồn tại độ trễ. Nếu tần số xung nhịp chính xác của Slave khác với tần số của Master thì việc tính toán thời gian sẽ gặp sai số, dẫn đến khoảng cách đo lường bị tính toán sai. Lỗi này được gọi là lỗi dao động thạch anh (crystal timing error). Độ trễ còn

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

được tích lũy thông qua các đường truyền và nhận của radio khi tín hiệu truyền qua cả hai khối xử lý tín hiệu kỹ thuật số và tương tự. Thông thường, độ trễ như vậy có thể tính được đối với từng thiết kế mô đun cụ thể. Quá trình cân chỉnh độ trễ được thực hiện qua các bước dưới đây. Đầu tiên, chúng ta tính được độ phân giải khoảng cách thông qua công thức:

$$D_{LSB} = \frac{c}{2^{12} BW} \quad (2)$$

Trong đó:

$D_{LSB}$  : Độ phân giải khoảng cách (Distance resolution), đơn vị meter

$c$  : Vận tốc ánh sáng =  $3 \cdot 10^8 m/s$

$BW$  : Băng thông sử dụng (Bandwidth), đơn vị Hz

Giá trị cân chỉnh lại kết quả (Calibration value) được tính như sau:

$$D_{uncalibrated} = \frac{RangingResult * D_{LSB}}{2} \quad (3)$$

$$D_{calibration} = \frac{D_{uncalibrated} - D_{cable}}{2} \quad (4)$$

$$Calibration = \frac{D_{calibration}}{D_{LSB}} \quad (5)$$

Trong đó:

RangingResult: Giá trị đo lường thô của thanh ghi.

$D_{cable}$ : Độ phân giải khoảng cách của thiết bị truyền trong môi trường sử dụng dây dẫn.

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

Sau khi thực hiện quá trình tính toán chỉ số cân chỉnh, nhà sản xuất đã thống kê kết quả cân chỉnh của mô đun LoRa SX1280 như sau:

*Bảng 2.1 Bảng kết quả cân chỉnh hệ số calibration của mô đun LoRa SX1280*

		SF					
		5	6	7	8	9	10
BW (kHz)	400	10299	10271	10244	10242	10230	10246
	800	11486	11474	11453	11426	11417	11401
	1600	13308	13493	13528	13515	13430	13376

(Nguồn: Được trích dẫn từ [23])

Giá trị cân chỉnh phải được ghi vào thanh ghi RxTxDelay để quá trình hiệu chỉnh được áp dụng tự động.

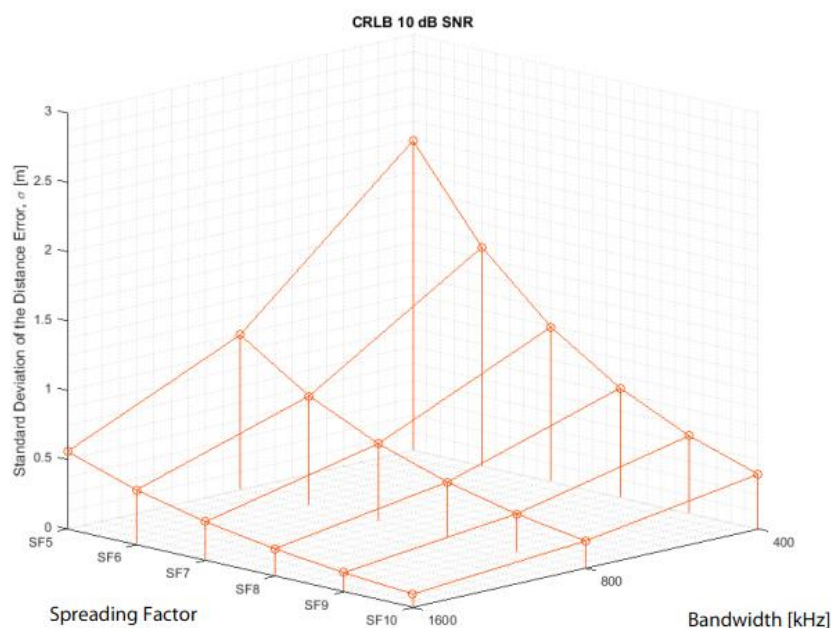
### 2.2.3. Độ chính xác theo lý thuyết

Độ chính xác theo định nghĩa của Barlett là thước đo sự phân tán kết quả, hay nói cách khác, độ chính xác là độ lệch chuẩn của các giá trị đo lường khoảng cách [24]. Độ chính xác được tính theo công thức Cramér Rao Lower Bound (CRLB) [25] như sau:

$$\sigma^2 = \frac{1}{8\pi^2 SNR \sqrt{N} BW 2^{SF}} \quad (6)$$

Trong đó SNR là tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu của tín hiệu thu được, N là số lượng ranging symbols (trong trường hợp này là 20), BW (Bandwidth) là băng thông tín hiệu và SF (Spreading Factor) là hệ số lan truyền LoRa.

Để tạo ra tín hiệu với một chỉ số SNR cụ thể trong môi trường thực tế qua mạng không dễ dàng. Nên nhà sản xuất đã tiến hành phác họa biểu đồ về hiệu suất của độ chính xác với các băng thông và hệ số lan truyền khác nhau trong môi trường lý tưởng có SNR là + 10 dB và biểu đồ có kết quả được biểu thị như sau:



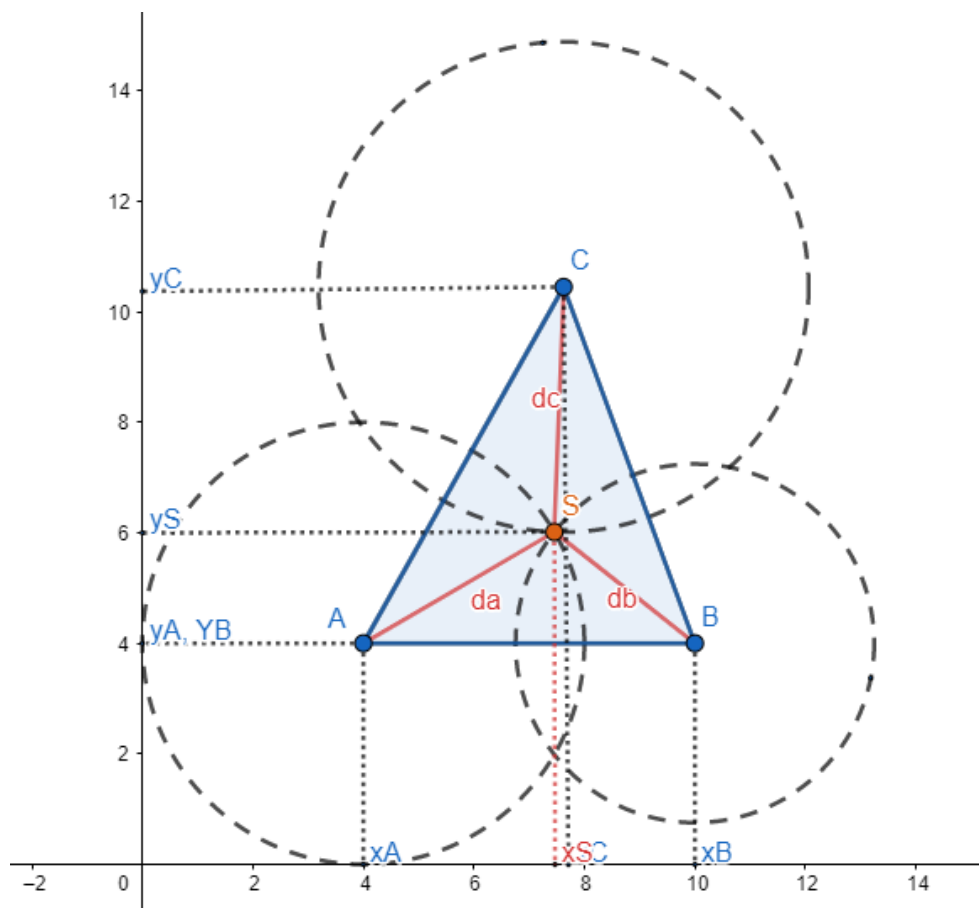
Hình 2.3 Biểu đồ thể hiện độ chính xác với các thiết lập SF và BW khác nhau

(Nguồn: được trích dẫn từ [23])

Ở đây chúng ta thấy độ lệch chuẩn của sai số đo lường khoảng cách (trên trục tung) thay đổi tùy theo thiết lập của các tham số SF và BW đối với mô đun SX1280. Hệ số lan truyền nằm ở trục ngoài cùng bên trái và băng thông điều chế ở trục bên phải. Qua biểu đồ có thể thấy rằng, với cùng một chỉ số SNR không đổi, các mô đun SX1280 được thiết lập với chỉ số SF và BW cao sẽ giúp cải thiện độ chính xác, giảm sai số đo lường khoảng cách.

#### 2.2.4. Định vị sử dụng phép đo ba cạnh tam giác

Thiết bị LoRa sẽ liên lạc với nhau thông qua sóng vô tuyến, từ các thông tin thu phát được ta có thể xác định khoảng cách giữa hai thiết bị thông qua việc tính toán theo công thức. Khi khoảng cách được tính toán, kết hợp các kiến thức hình học không gian hai chiều để xác định vị trí đối tượng trên mặt phẳng Oxy.



Hình 2.4. Tọa độ của thiết bị thu được xác định thông qua khoảng cách từ thiết bị thu đến thiết bị phát

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Đối với hệ thống định vị trong nhà, hệ thống định vị 2D được dùng để định vị khi đối tượng nằm trên một mặt phẳng gọi là Oxy. Để hệ thống hoạt động chính xác ta cần có 3 điểm cố định và khoảng cách từ 3 điểm đó đến đối tượng cần định vị. Như hình 2.2, S là điểm cần định vị, 3 điểm cố định là A, B, C và khoảng cách từ S đến 3 điểm A, B, C lần lượt là  $d_a$ ,  $d_b$ ,  $d_c$ .

Từ đó ta thành lập được hệ phương trình như bên dưới. Nghiệm của hệ phương trình là tọa độ của đối tượng cần xác định  $S(x, y)$ :

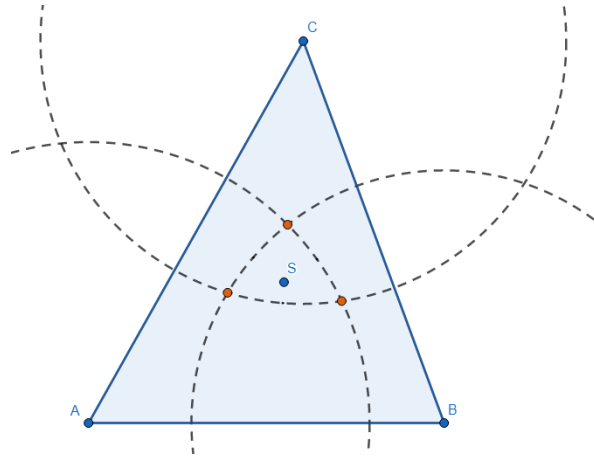
$$\begin{cases} (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = d_a^2 \\ (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = d_b^2 \\ (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = d_c^2 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 & \Leftrightarrow \begin{cases} x^2 - 2xx_a + x_a^2 + y^2 - 2yy_a + y_a^2 = da^2 & (1) \\ x^2 - 2xx_b + x_b^2 + y^2 - 2yy_b + y_b^2 = db^2 & (2) \\ x^2 - 2xx_c + x_c^2 + y^2 - 2yy_c + y_c^2 = dc^2 & (3) \end{cases} \\
 & \begin{cases} (1) - (2) \\ (1) - (3) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2(x_b - x_a)x + 2(y_b - y_a)y = (da^2 - db^2) - (x_a^2 - x_b^2) - (y_a^2 - y_b^2) \\ 2(x_c - x_a)x + 2(y_c - y_a)y = (da^2 - dc^2) - (x_a^2 - x_c^2) - (y_a^2 - y_c^2) \end{cases} \\
 & \Leftrightarrow \begin{cases} x = \frac{\begin{vmatrix} (da^2 - db^2) - (x_a^2 - x_b^2) - (y_a^2 - y_b^2) & 2(y_b - y_a) \\ (da^2 - dc^2) - (x_a^2 - x_c^2) - (y_a^2 - y_c^2) & 2(y_c - y_a) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_b - x_a) & 2(y_b - y_a) \\ 2(x_c - x_a) & 2(y_c - y_a) \end{vmatrix}} \\ y = \frac{\begin{vmatrix} 2(x_b - x_a) & (da^2 - db^2) - (x_a^2 - x_b^2) - (y_a^2 - y_b^2) \\ 2(x_c - x_a) & (da^2 - dc^2) - (x_a^2 - x_c^2) - (y_a^2 - y_c^2) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2(x_b - x_a) & 2(y_b - y_a) \\ 2(x_c - x_a) & 2(y_c - y_a) \end{vmatrix}} \end{cases} \quad (8)
 \end{aligned}$$

#### 2.2.4.1 Các trường hợp sai số thường gặp

Như tác giả đã trình bày ở các phần trước, khi biết được tọa độ của 3 thiết bị phát  $(x_a, y_a)$ ,  $(x_b, y_b)$ ,  $(x_c, y_c)$  và khoảng cách của các thiết bị phát đến thiết bị thu  $da$ ,  $db$ ,  $dc$ , chúng ta có thể xác định được tọa độ của thiết bị thu thông qua phép đo ba cạnh tam giác.

Trong một số trường hợp, sóng truyền giữa thiết bị phát và thiết bị thu có thể bị ảnh hưởng bởi môi trường và vật cản, từ đó dẫn tới sai số trong đo lường khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu. Tác giả sẽ tiến hành miêu tả chi tiết các dạng sai số trong đo lường bằng phương pháp phép đo ba cạnh của tam giác.

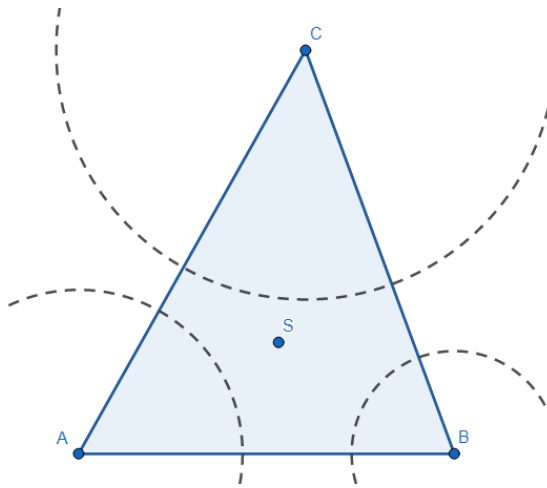


Hình 2.5 Các đường tròn tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu giao tại các điểm khác nhau

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

Hình 2.5 minh họa trường hợp cả ba vòng tròn được tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu thông qua kỹ thuật đo thời gian bay khứ hồi của gói tin RToF. Tuy nhiên, cả ba vòng tròn không gặp nhau tại một điểm cụ thể. Khoảng cách tính toán khác với khoảng cách thực tế, bởi vì mặc dù ba vòng tròn được tạo cùng lúc, nhưng do sai số trong đo lường thời gian bay của gói tin, các vòng tròn không giao nhau tại một điểm mà giao nhau tại nhiều điểm. Trong một số trường hợp, các vòng tròn có thể giao nhau bên ngoài tam giác tạo bởi các thiết bị phát. Do đó, vị trí chính xác của thiết bị di động không thể được xác định. Bên cạnh đó, sai số trong đo lường còn dẫn đến một trường hợp khác.



Hình 2.6 Các đường tròn tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu không giao nhau

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Hình 2.6 minh họa trường hợp cả ba vòng tròn được tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu và các vòng tròn này không cắt nhau do sai số trong đo lường đã thu hẹp bán kính của vòng tròn. Trong trường hợp này, vị trí chính xác của thiết bị cũng không thể được xác định thông qua phép đo ba cạnh tam giác.

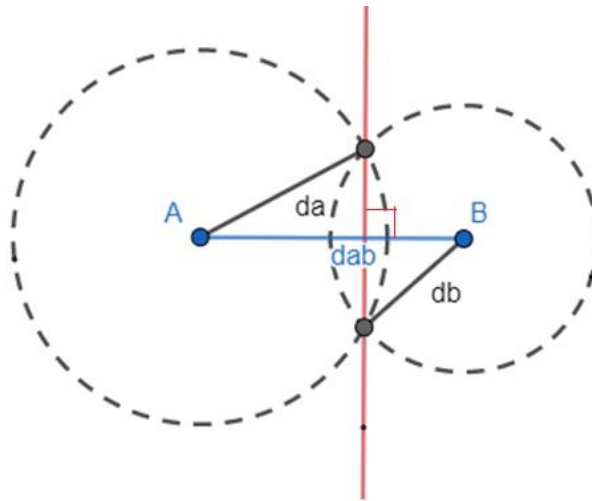
Để giải quyết vấn đề này, tác giả đã tiến hành tham khảo nghiên cứu của Kwak và Sung cùng với các nghiên cứu khác để điều chỉnh các sai số cho phù hợp và tăng cường độ chính xác trong việc xác định tọa độ của thiết bị thu khi biết khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu. Phương pháp này chia các đường tròn tạo bởi khoảng cách từ thiết bị phát đến thiết bị thu thành hai trường

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

hợp. Trường hợp 1: Hai đường tròn giao nhau tại hai giao điểm nhưng đường tròn này không bao phủ tâm đường tròn kia. Trường hợp 2: Hai đường tròn không giao nhau hoặc giao nhau nhưng đường tròn này phủ tâm đường tròn kia.

### 2.2.4.2 Trường hợp hai đường tròn giao nhau tại hai giao điểm nhưng đường tròn này không bao phủ tâm đường tròn kia

Đây là trường hợp phổ biến và thường xuyên bắt gặp khi xác định tọa độ của thiết bị thu. Khoảng cách từ thiết bị phát A ( $x_a, y_a$ ) và B ( $x_b, y_b$ ) đến thiết bị thu tạo ra hai đường tròn với bán kính  $d_a$  và  $d_b$  giao nhau tại hai điểm. Tác giả minh họa trường hợp này như hình 2.7.



Hình 2.7 Hai đường tròn giao nhau tại hai giao điểm nhưng đường tròn này không bao phủ tâm đường tròn kia

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

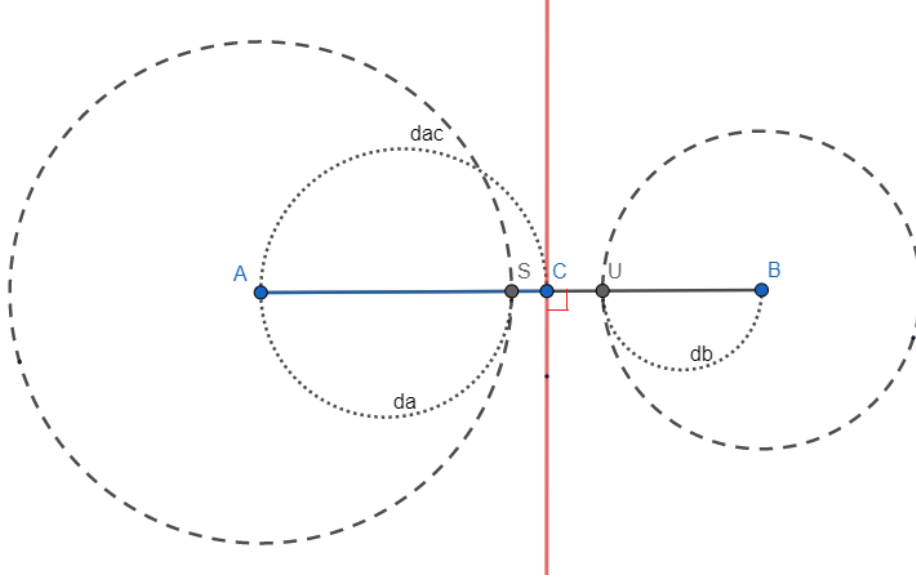
Trong hình trên, hai đường tròn tiếp xúc và giao nhau tại hai điểm. Tuy nhiên hai giao điểm này nằm ở vùng không gian giữa tâm hai đường tròn và đường tròn này không phủ tâm đường tròn kia. Với trường hợp này, tác giả tiến hành kẻ đường thẳng đi qua 2 giao điểm. Và đường thẳng đi qua hai giao điểm sẽ được sử dụng để tính tọa độ thiết bị nhận. Điều kiện để trường hợp này xảy ra:

$$\begin{cases} dab \geq da \\ dab \geq db \\ dab \leq da + db \end{cases} \quad (9)$$



### 2.2.4.3 Trường hợp hai đường tròn không giao nhau

Trường hợp này do sai số trong đo lường quá lớn hoặc quá nhỏ dẫn đến việc hai đường tròn tạo bởi khoảng cách từ điểm phát đến điểm thu không thể giao nhau. Tác giả minh họa trường hợp này trong Hình 2.8.



Hình 2.8 Hai đường tròn không giao nhau

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Ở trường hợp này, hai đường tròn không giao nhau, đường thẳng dùng để xác định tọa độ của thiết bị thu sẽ đi qua điểm nằm trên đường thẳng nối hai tâm của đường tròn và vuông góc với đường thẳng nối hai tâm, thỏa:

$$\begin{cases} da + db < dab \\ da > db \end{cases} \quad (10)$$

$$dsc = da + (dab - da - db) * (db/da)$$

Hoặc:

$$\begin{cases} da + db < dab \\ da \leq db \end{cases} \quad (11)$$

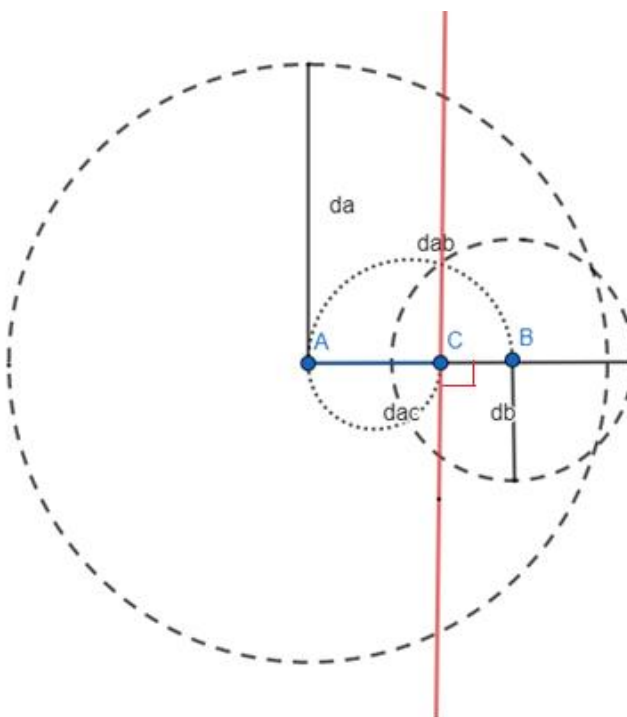
$$dsc = da + (dab - da - db) * (1 - da/db)$$

### 2.2.4.4 Trường hợp hai đường tròn giao nhau và đường tròn này phủ tâm đường tròn kia

Trường hợp này do sai số trong đo lường quá lớn hoặc quá nhỏ dẫn đến việc hai đường tròn tạo bởi khoảng cách từ điểm phát đến điểm thu giao nhau và

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

một trong hai đường tròn sẽ phủ lên tâm của đường tròn còn lại. Tác giả minh họa trường hợp này trong Hình 2.9.



Hình 2.9 Hai đường tròn giao nhau và đường tròn này phủ tâm đường tròn kia

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Ở trường hợp này, đường thẳng dùng để xác định tọa độ của thiết bị thu sẽ đi qua điểm nằm trên đường thẳng nối hai tâm của đường tròn và vuông góc với đường thẳng nối hai tâm, thỏa:

$$\begin{cases} da \geq dab \\ dab + db \geq da \end{cases} \quad (12)$$

$$dac = dab * (1 - db / (da + db))$$

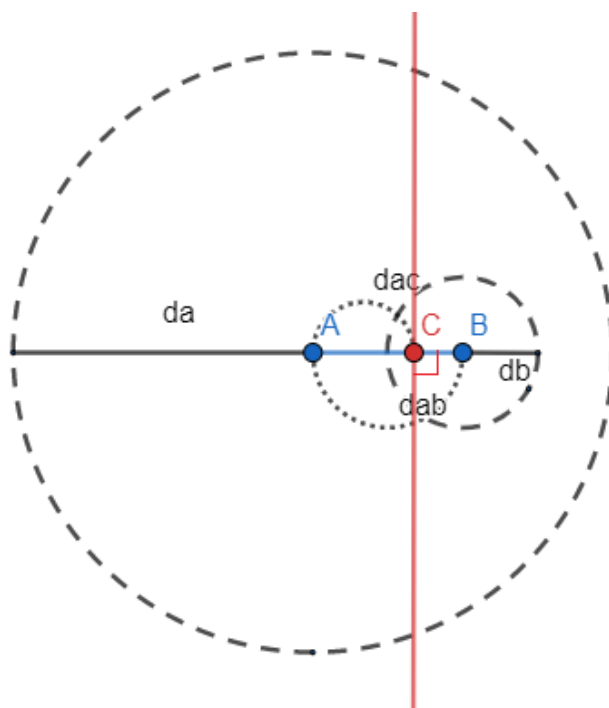
Hoặc:

$$\begin{cases} db \geq dab \\ dab + da \geq db \end{cases} \quad (13)$$

$$dac = da * dab / (db + da)$$

### 2.2.4.5 Trường hợp đường tròn này chứa đường tròn kia

Trường hợp này do sai số trong đo lường quá lớn hoặc quá nhỏ dẫn đến việc hai đường tròn tạo bởi khoảng cách từ điểm phát đến điểm thu không giao nhau và một đường tròn chứa đường tròn còn lại. Tác giả minh họa trường hợp này trong Hình 2.10.



Hình 2.10 Đường tròn này chứa đường tròn kia

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Ở trường hợp này, đường thẳng dùng để xác định tọa độ của thiết bị thu sẽ đi qua điểm nằm trên đường thẳng nối hai tâm của đường tròn và vuông góc với đường thẳng nối hai tâm, thỏa:

$$\begin{cases} da > dab \\ dab + db < da \end{cases} \quad (14)$$

$$dac = dab * db / da$$

Hoặc:

$$\begin{cases} db > dab \\ dab + da < db \end{cases} \quad (15)$$

$$dac = da * dab / db$$

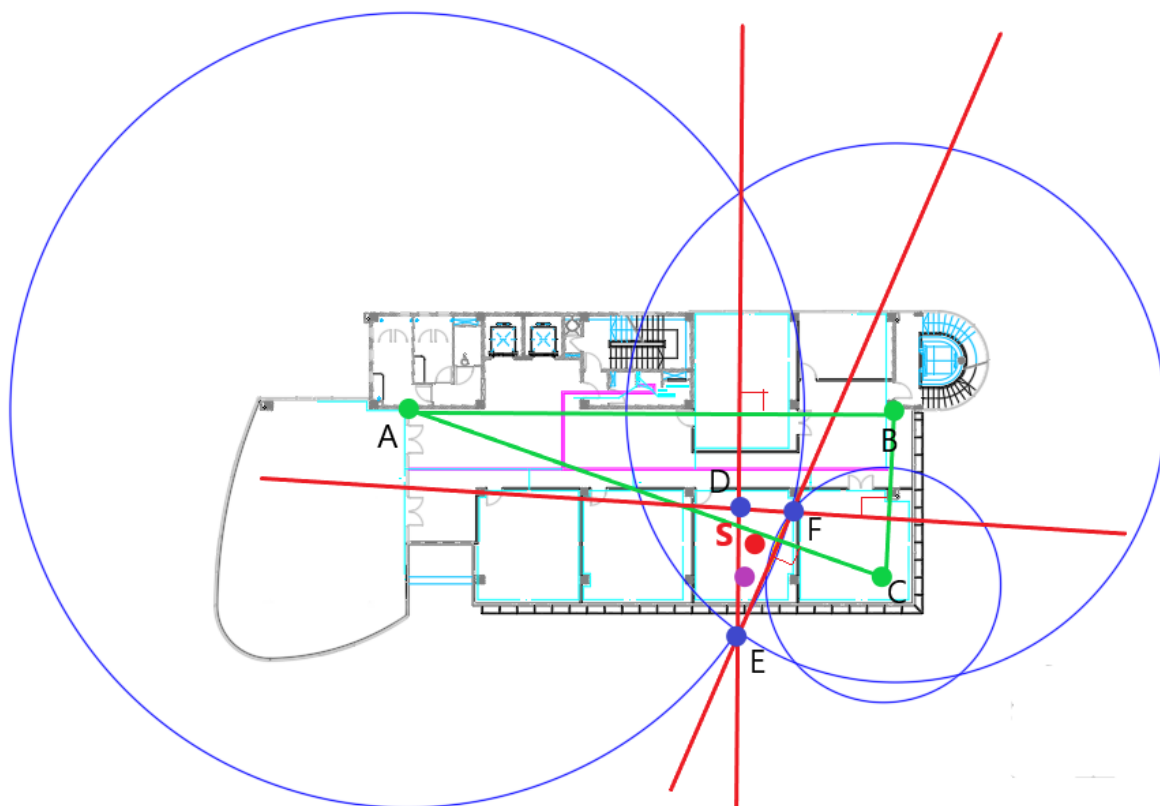
#### 2.2.4.6 Công thức tính vị trí dựa vào phép đo ba cạnh tam giác

Gọi:

- $x_D, x_E, x_F, x_S$  lần lượt là hoành độ của điểm D, E, F, S
- $y_D, y_E, y_F, y_S$  lần lượt là tung độ của điểm D, E, F, S

Điểm cần tìm là trung bình cộng các điểm giao của ba đường thẳng được tạo ra bằng cách kẻ đường vuông góc dựa vào quan hệ của các cặp đường tròn được minh họa như hình 2.11.

$$\begin{aligned} x_S &= \frac{x_D + x_E + x_F}{3} \\ y_S &= \frac{y_D + y_E + y_F}{3} \end{aligned} \quad (16)$$



Hình 2.11 Hình minh họa cách xác định vị trí điểm cần định vị thông qua phép đo ba cạnh tam giác

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### 2.3 Kết chương

Trong chương này tác giả giới thiệu tổng quát định vị trong nhà và các các phương pháp được sử dụng để định vị trong nhà. Các kỹ thuật định vị tiêu biểu có thể kể đến như: Received Signal Strength, FingerPrinting, Angle of Arrival, Time of Flight, Time Different of Arrival, Return Time of Flight, ... Trong đó, kỹ thuật Return Time of Flight được hỗ trợ bởi mô đun LoRa SX1280 và phù hợp với định hướng nghiên cứu của tác giả nên tác giả sẽ sử dụng kỹ thuật này.

## Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ ĐỊNH VỊ NGƯỜI DÙNG TRONG NHÀ

Phương pháp định vị trong nhà được tiến hành thông qua phương pháp xác định vị trí của vật trong không gian 2 chiều thông qua khoảng cách của vật tới 3 điểm biết trước và sau đó tiến hành xác định độ cao của vật. Độ cao của vật có thể được xác định bằng cách sử dụng cảm biến áp suất, cảm biến áp suất sẽ cho biết vị trí tương đối của vật so với mặt đất. Mặt khác, độ cao của vật cũng có thể được xác định thông qua khoảng cách của vật tới 1 điểm biết trước thứ tư nằm trên trục z.

## Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

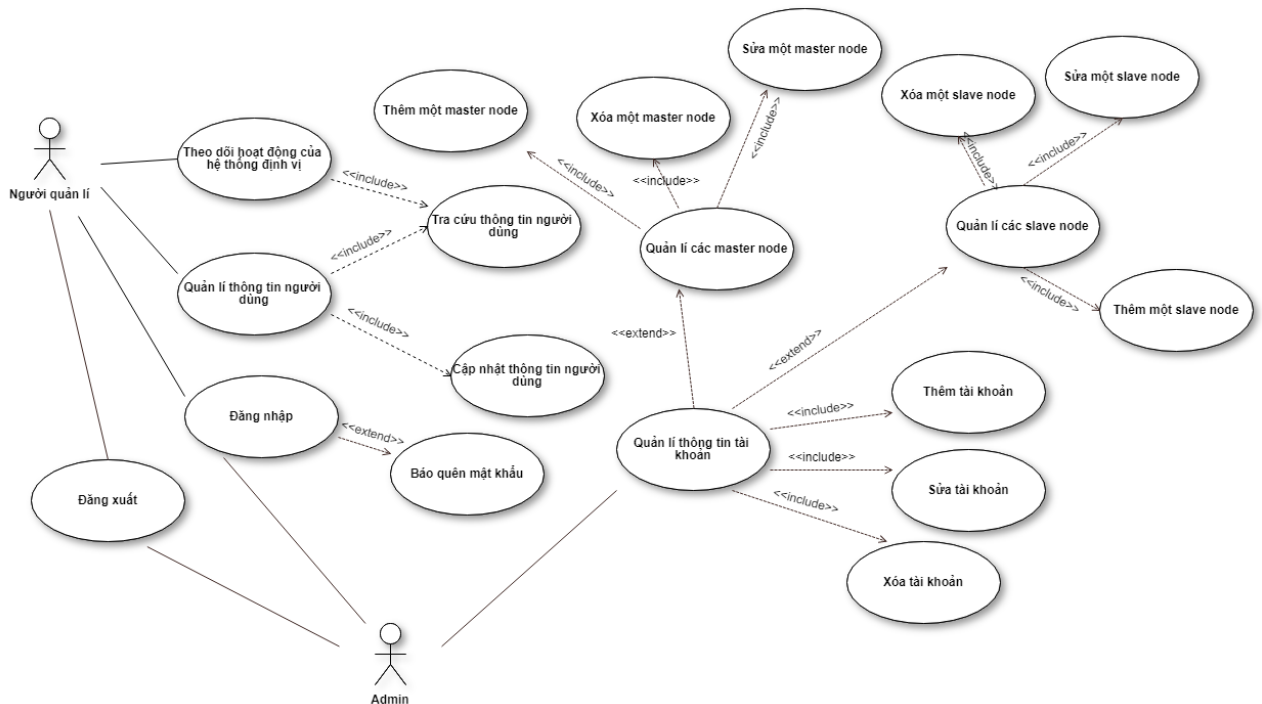
*Nội dung Chương 3 trình bày các phân tích thiết kế ứng sử dụng trong Hệ thống định vị trong nhà cao tầng bao gồm các sơ đồ người dùng, sơ đồ hoạt động, sơ đồ thành phần, sơ đồ triển khai, kiến trúc hệ thống và thiết kế giao diện.*

### 3.1 Mô tả nghiệp vụ

Ứng dụng trong hệ thống định vị có các chức năng cơ bản như:

- Lưu trữ các thông tin cơ bản về cài đặt cấu hình của hệ thống như: bản vẽ thiết kế nhà, danh sách các thiết bị;
- Dựng mô hình 3D, trực quan hóa kết quả định vị, cho phép người dùng theo dõi vị trí người/ vật cần định vị theo thời gian thực

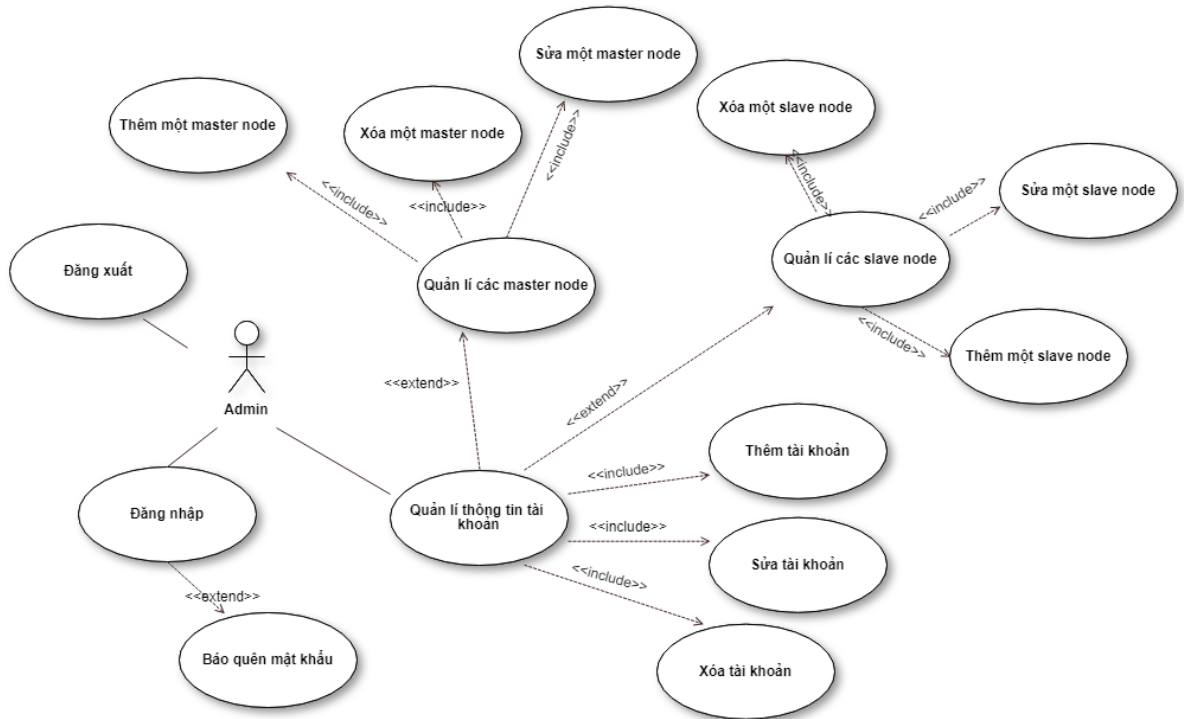
### 3.2 Sơ đồ người dùng



Hình 3.1 Sơ đồ người dùng trong hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG



Hình 3.2 Sơ đồ người dùng cho các chức năng của Admin

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.1 Bảng mô tả chức năng của Admin

STT	Chức năng	Mô tả
1	Quản lý thông tin tài khoản	Admin là người triển khai hệ thống, có vai trò cài đặt và quản lý thông tài khoản người đăng kí sử dụng hệ thống gồm các thông tin tài khoản đăng nhập, mật khẩu đăng nhập, họ tên, chứng minh nhân dân, số điện thoại, mã căn hộ, địa chỉ, mô hình căn hộ, cấp phát và triển khai các master node gồm thông tin master node ID, vị trí đặt các master node (x, y, z) và các slave node gồm slave node ID và địa chỉ các slave node
2	Thêm tài khoản	Admin có quyền cấp một tài khoản người dùng có chức năng quản lý một hệ thống đã được triển khai
3	Sửa tài khoản	Admin có quyền sửa các thông tin một tài khoản người dùng có chức năng quản lý một hệ thống đã

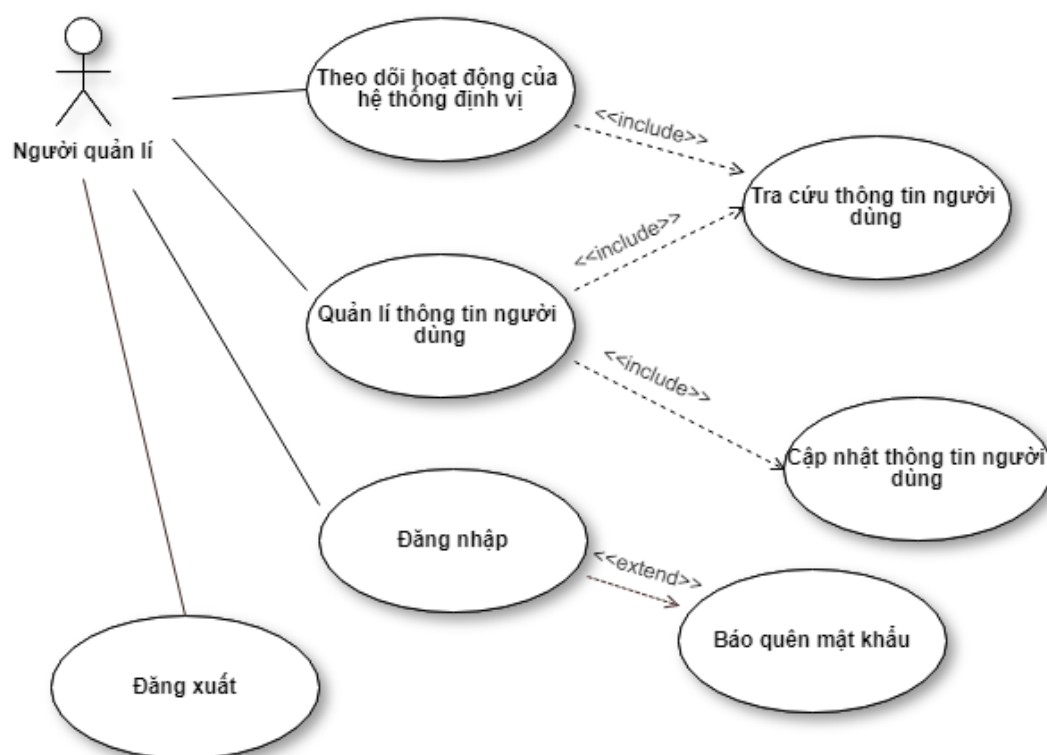
### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

được triển khai		
4	Xóa tài khoản	Admin có quyền xóa một tài khoản người dùng có chức năng quản lý một hệ thống đã được triển khai
5	Quản lý thông tin các master node	Admin có quyền thêm và xóa một master node, và sửa thông tin một master node
6	Thêm thông tin một master node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể thêm một master node vào hệ thống
7	Sửa thông tin một master node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể sửa thông tin một master node trong hệ thống
8	Xóa thông tin một master node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể xóa một master node ra khỏi hệ thống
9	Quản lý thông tin các slave node	Admin có quyền thêm và xóa một slave node, và sửa thông tin một slave node
10	Thêm thông tin một slave node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể thêm một slave node vào hệ thống
11	Sửa thông tin một slave node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể sửa thông tin một slave node trong hệ thống
12	Xóa thông tin một slave node	Admin là người triển khai hệ thống và có thể xóa một slave node ra khỏi hệ thống
13	Đăng nhập	Admin cần đăng nhập vào hệ thống với quyền admin để có thể thực hiện các chức năng của mình
14	Đăng xuất	Admin có thể đăng xuất khỏi hệ thống để đăng nhập bằng một tài khoản khác
15	Báo quên mật khẩu	Admin quên mật khẩu có thể lấy lại mật khẩu đăng nhập thông qua chức năng quên mật khẩu

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG



Hình 3.3 Sơ đồ người dùng cho các chức năng của Người quản lí

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.2 Bảng mô tả chức năng của Người quản lí

STT	Chức năng	Mô tả
1	Quản lí thông tin người dùng	Người quản lí được phép tùy chỉnh thông tin người dùng bao gồm chức năng sửa thông tin một người dùng (ở đây là thông tin người giữ một slave node) gồm họ tên, số điện thoại, địa chỉ nơi ở
2	Tra cứu thông tin người dùng	Người quản lí có thể tìm kiếm thông tin vị trí của một người dùng trong tòa nhà thay đổi theo thời gian thực trong bảng số liệu, bản vẽ 2D và mô hình 3D một cách nhanh chóng
3	Theo dõi thông tin hoạt động của hệ thống định vị	Người quản lí có thể xem thông tin vị trí người dùng trong tòa nhà thay đổi theo thời gian thực được thể hiện qua bảng số liệu, bản vẽ 2D và mô

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

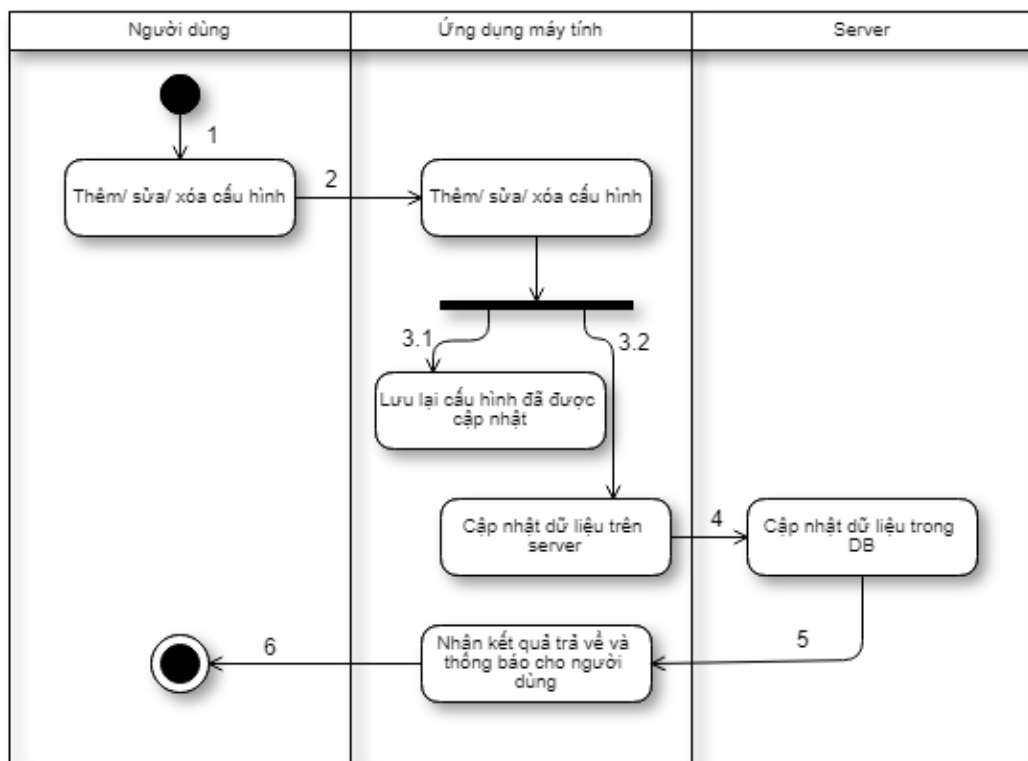
hình 3D

4	Cập nhật mật khẩu đăng nhập	Người quản lí có thể thay đổi mật khẩu đăng nhập tài khoản của bản thân
5	Đăng nhập	Người dùng cần đăng nhập vào hệ thống với quyền quản lí để có thể thực hiện các chức năng của mình
6	Đăng xuất	Người quản lí có thể đăng xuất khỏi hệ thống để đăng nhập bằng một tài khoản khác
7	Báo quên mật khẩu	Người quản lí quên mật khẩu có thể lấy lại mật khẩu đăng nhập thông qua chức năng quên mật khẩu

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### 3.3 Sơ đồ hoạt động

#### 3.3.1. Cài đặt thông tin cấu hình hệ thống



Hình 3.4 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng cài đặt thông tin cấu hình hệ thống

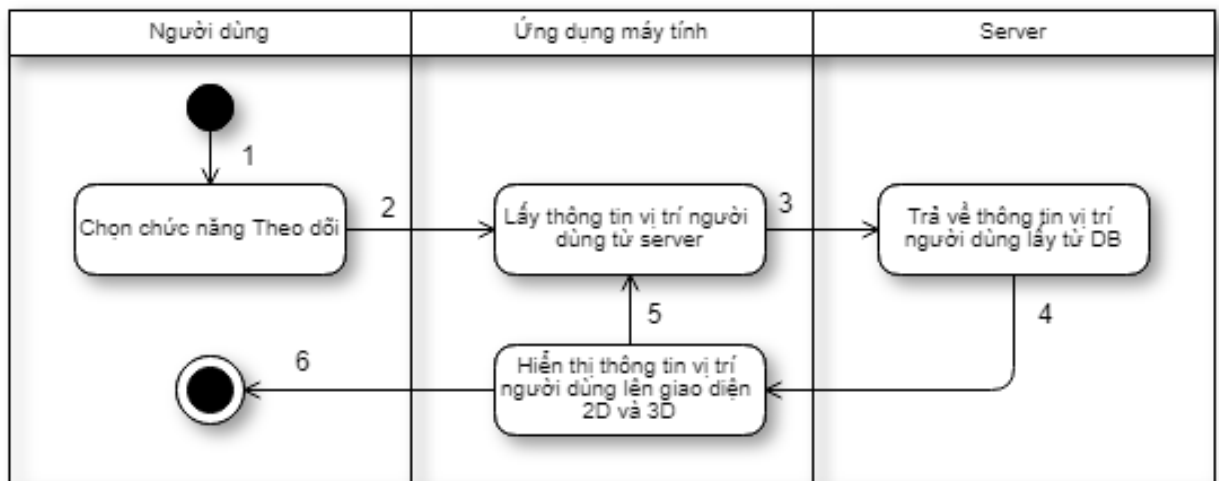
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

#### Mô tả:

- Khi người dùng chọn thêm/ sửa/ xóa cấu hình (1),
- Ứng dụng trên máy tính sẽ nhận lệnh (2) từ người dùng, sau đó lưu lại cấu hình đã được người dùng thay đổi (3.1), cập nhật thông tin theo lệnh ở mức ứng dụng, đồng thời gửi dữ liệu lên server (3.2),
- Server nhận được yêu cầu từ ứng dụng (4) thì tiến hành cập nhật dữ liệu trong database và trả phản hồi lại cho ứng dụng,
- Ứng dụng nhận được thông tin phản hồi từ server (5) và thông báo cho người dùng rồi kết thúc (6).

#### 3.3.2. Theo dõi hoạt động của hệ thống định vị



Hình 3.5 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng theo dõi hoạt động của hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

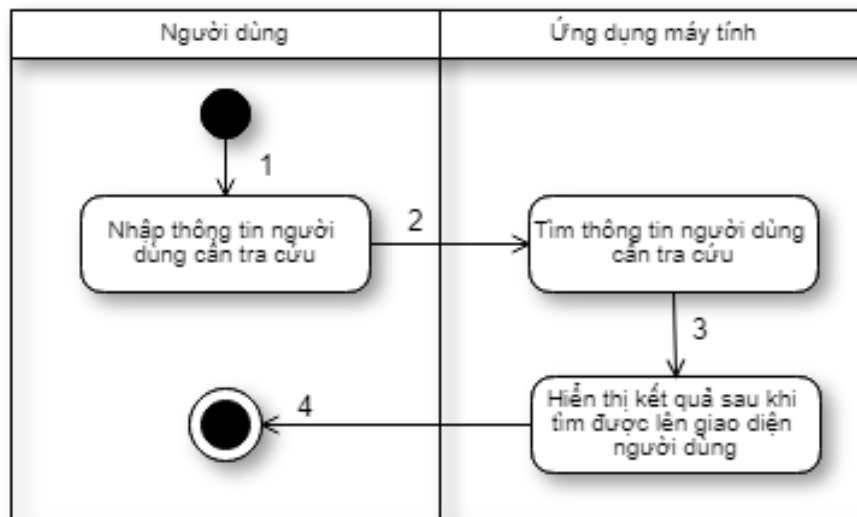
#### Mô tả:

- Người dùng chọn chức năng theo dõi (1),
- Ứng dụng nhận lệnh (2) từ người dùng, sau đó yêu cầu server gửi thông tin vị trí người dùng (các node cần định vị) (3),
- Server nhận được yêu cầu từ ứng dụng, truy cập vào cơ sở dữ liệu lấy thông tin theo yêu cầu và gửi trả kết quả về cho ứng dụng (4)
- Ứng dụng hiển thị kết quả nhận được lên giao diện 2D, 3D và bảng dữ liệu cho người dùng theo dõi

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

- Sau khoảng thời gian qui định, nếu không nhận được yêu cầu khác, ứng dụng tự động gửi lệnh cập nhật thông tin (5), yêu cầu ứng dụng gửi lệnh lên server để lấy dữ liệu mới (3), và cứ tiếp tục cho đến khi nhận được lệnh kết thúc theo dõi (6).

#### 3.3.3. Tra cứu thông tin người dùng



Hình 3.6 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng tra cứu thông tin người dùng

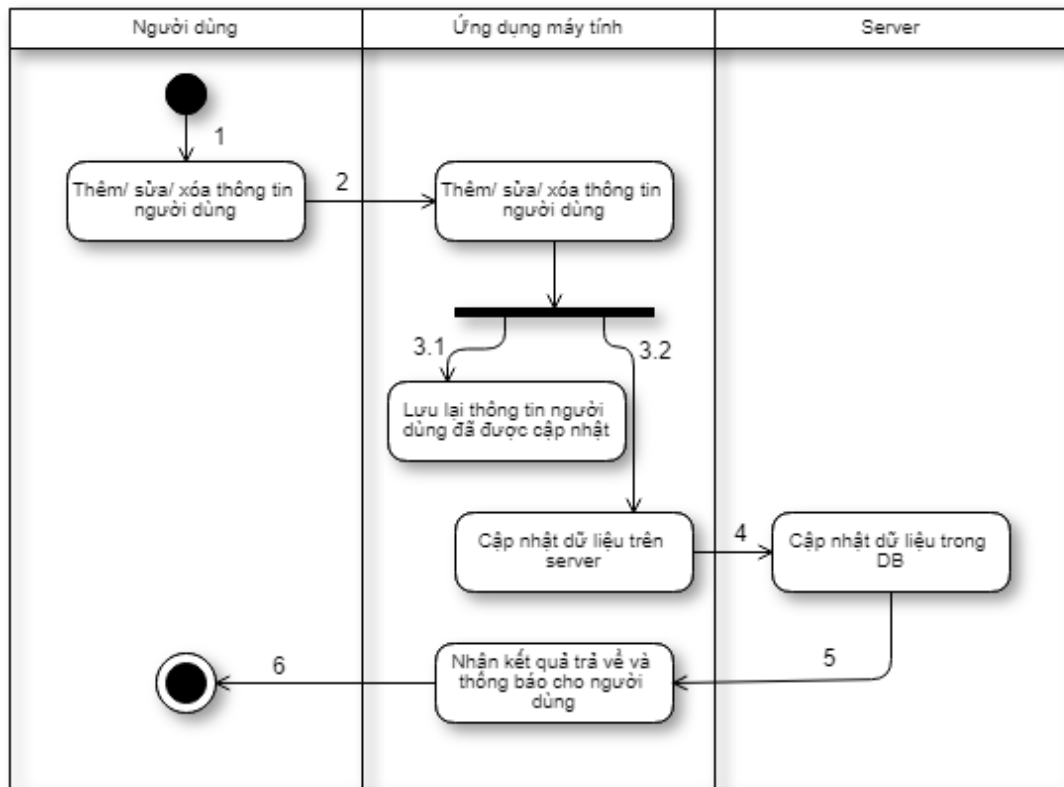
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Người quản lý nhập thông tin người dùng cần tra cứu (node) (1),
- Ứng dụng tìm thông tin theo yêu cầu và hiển thị thông tin kết quả tìm được lên giao diện 2D và 3D.

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

#### 3.3.4. Cài đặt thông tin người dùng



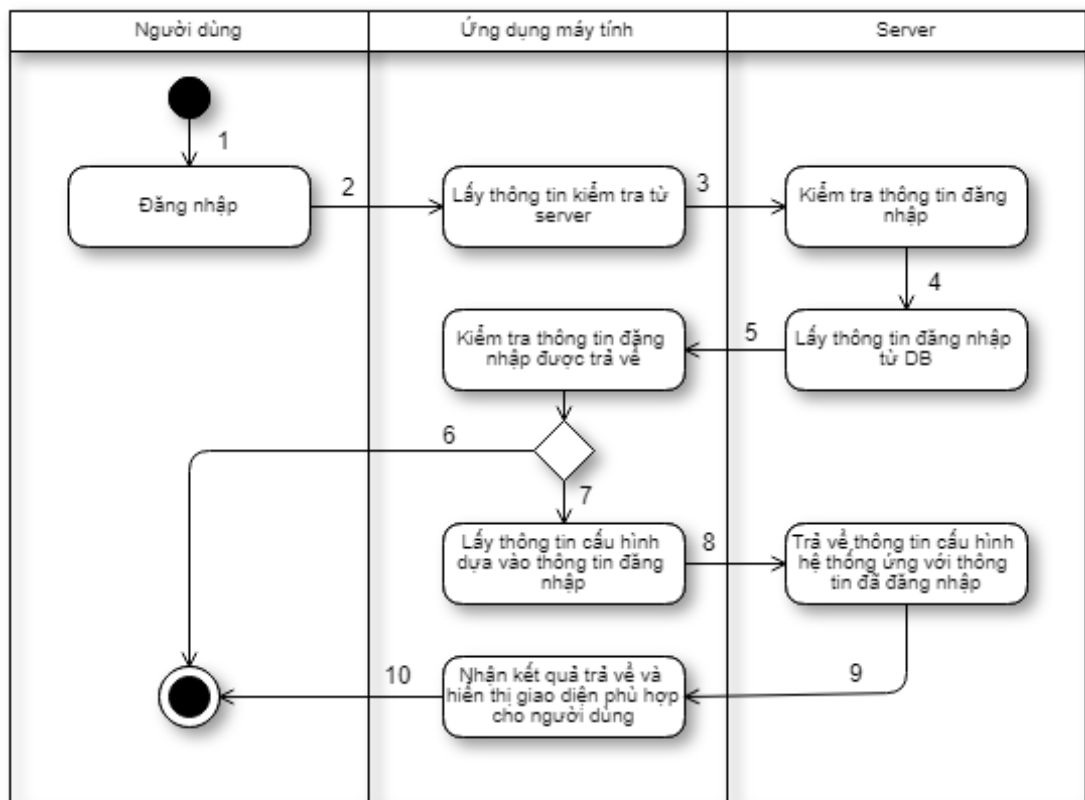
Hình 3.7 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng cài đặt thông tin người dùng

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Khi người dùng chọn thêm/ sửa/ xóa thông tin người dùng (node cần định vị) (1),
- Ứng dụng trên máy tính sẽ nhận lệnh (2) từ người dùng, sau đó lưu lại cấu hình đã được người dùng thay đổi (3.1), cập nhật thông tin theo lệnh ở mức ứng dụng, đồng thời gửi dữ liệu lên server (3.2),
- Server nhận được yêu cầu từ ứng dụng (4) thì tiến hành cập nhật dữ liệu trong database và trả phản hồi lại cho ứng dụng,
- Ứng dụng nhận được thông tin phản hồi từ server (5) và thông báo cho người dùng rồi kết thúc (6)

### 3.3.5. Đăng nhập



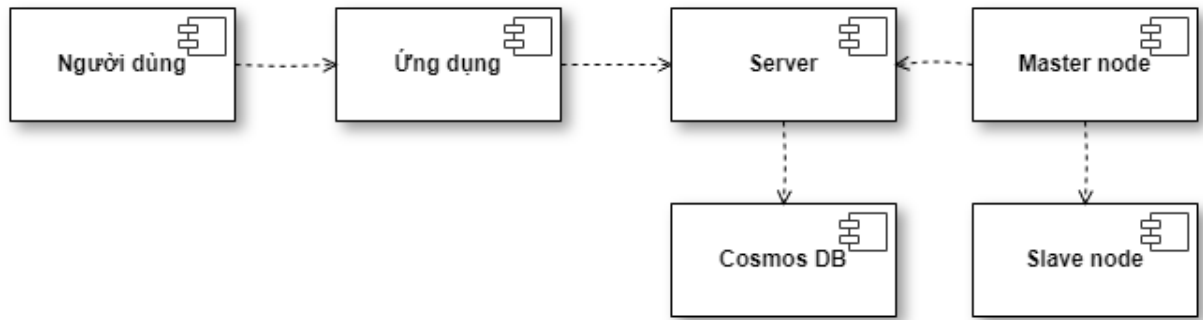
Hình 3.8 Sơ đồ hoạt động thể hiện chức năng đăng nhập

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Người dùng đăng nhập vào ứng dụng (1), ứng dụng sẽ lấy thông tin đăng nhập từ server để so sánh (3,4,5),
- Nếu tài khoản không tồn tại thì thông báo cho người dùng và kết thúc (6)
- Nếu tài khoản tồn tại (7) thì ứng dụng lấy cấu hình đăng nhập từ server,
- Server nhận được yêu cầu từ ứng dụng (8) sẽ lấy thông tin từ database và trả về cho ứng dụng
- Ứng dụng nhận được thông tin từ server (9) sẽ tùy chỉnh hiển thị giao diện phù hợp và kết thúc (10).

### 3.4 Sơ đồ thành phần



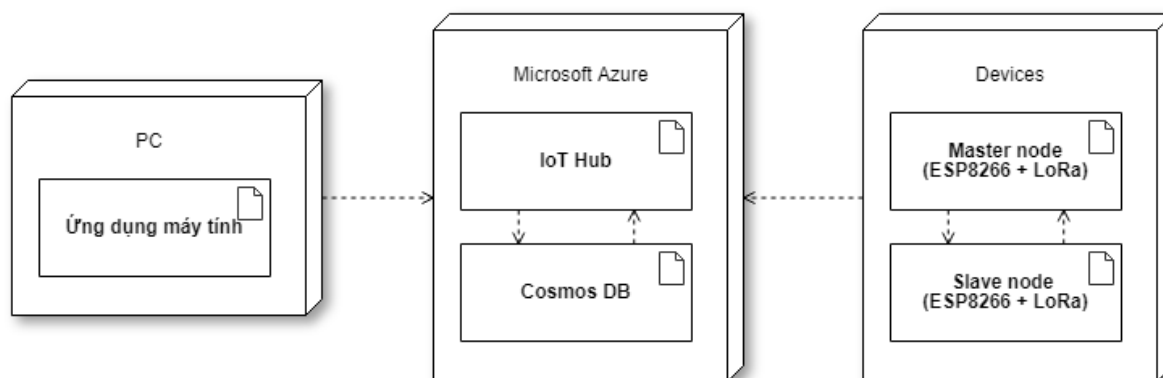
Hình 3.9 Sơ đồ thành phần của hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Thành phần người dùng là người thao tác lên ứng dụng, lựa chọn các lệnh theo nhu cầu.
- Thành phần ứng dụng là nơi giúp người dùng cài đặt cấu hình hệ thống, đồng thời là nơi lấy dữ liệu từ server hiển thị lên giao diện giúp người dùng theo dõi vị trí các node trong tòa nhà một cách trực quan.
- Thành phần server đóng vai trò là cổng giao tiếp, tiếp nhận dữ liệu từ gateway và lưu xuống database, đồng thời nhận lệnh từ Ứng dụng, trả về các thông tin được lấy từ database hoặc lưu dữ liệu theo yêu cầu.
- Thành phần Cosmos DB là nơi lưu trữ dữ liệu gateway và Ứng dụng gửi lên.
- Thành phần gateway, có nhiều gateway, mỗi gateway bao gồm một ESP8266 điều khiển một LoRa, có chức năng phát tín hiệu đến các node, đo khoảng cách đến các node đó và gửi dữ liệu lên server để được lưu trữ và sử dụng.
- Thành phần node được gắn lên người hoặc vật cần định vị, một node gồm ESP8266 điều khiển một LoRa giúp nhận tín hiệu và phản hồi tín hiệu từ gateway, giúp đo khoảng cách từ nó đến gateway, hỗ trợ quá trình định vị vị trí cho chính bản thân người dùng mang theo node này.

### 3.5 Sơ đồ triển khai



Hình 3.10 Sơ đồ triển khai của hệ thống định vị

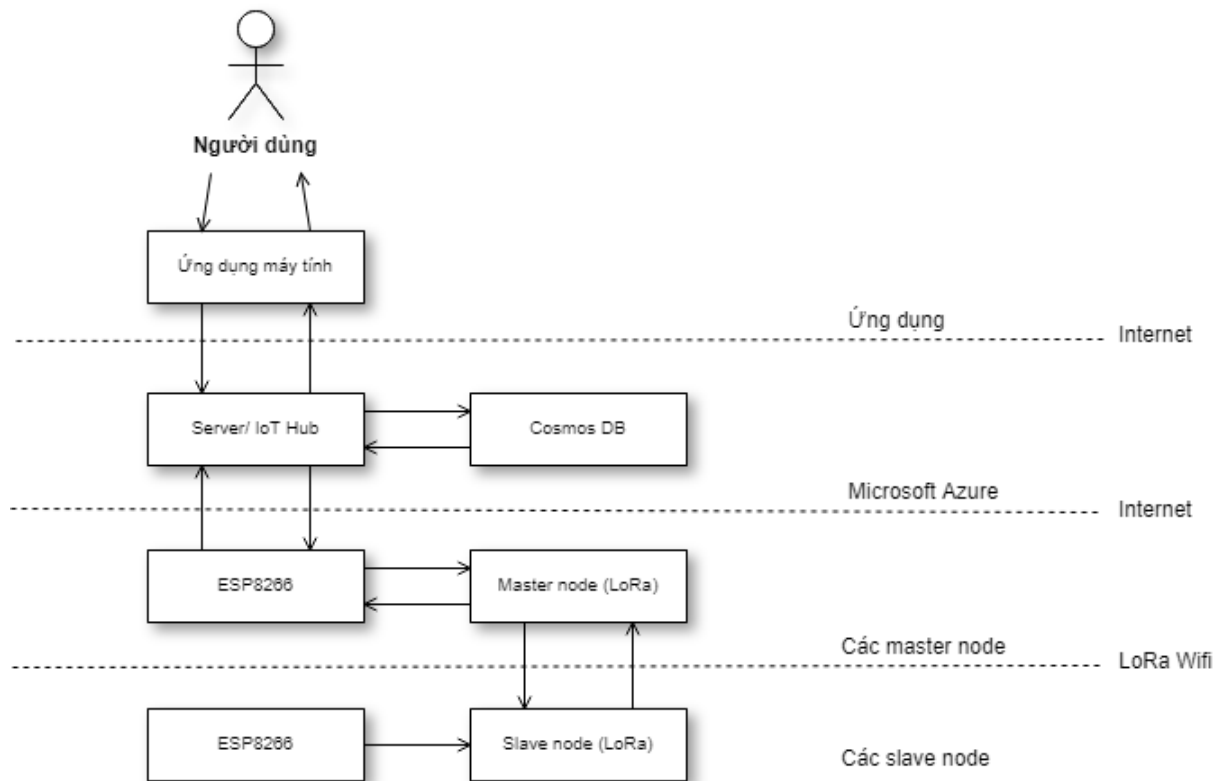
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Để triển khai hệ thống định vị ta cần ba thành phần vật lý chính gồm PC, Server, và các thiết bị
- PC là máy tính cá nhân hoặc máy tính để bàn có thể cài đặt hệ điều hành Windows để cài đặt và sử dụng ứng dụng máy tính, là ứng dụng giúp cài đặt cấu hình hệ thống định vị, hỗ trợ theo dõi trực quan hệ thống định vị hoạt động ở mức mô hình 2D và 3D,
- Microsoft Azure được sử dụng làm server và là nơi lưu trữ các dữ liệu được cài đặt hoặc được thu thập trong quá trình hệ thống được vận hành,
- Các thiết bị chia làm hai loại là các gateway và các node, các gateway có vị trí cố định, được tạo thành từ một ESP8266 điều khiển một LoRa có chức năng phát tín hiệu đến các node, đo khoảng cách đến các node đó và gửi dữ liệu lên server để được lưu trữ và sử dụng; node được gắn lên người hoặc vật cần định vị, một node là một ESP8266 điều khiển một LoRa giúp nhận tín hiệu và phản hồi tín hiệu từ gateway, giúp đo khoảng cách từ nó đến gateway, hỗ trợ quá trình định vị vị trí cho chính bản thân người dùng mang theo node này.



### 3.6 Kiến trúc cơ bản của hệ thống



Hình 3.11 Kiến trúc cơ bản của hệ thống định vị

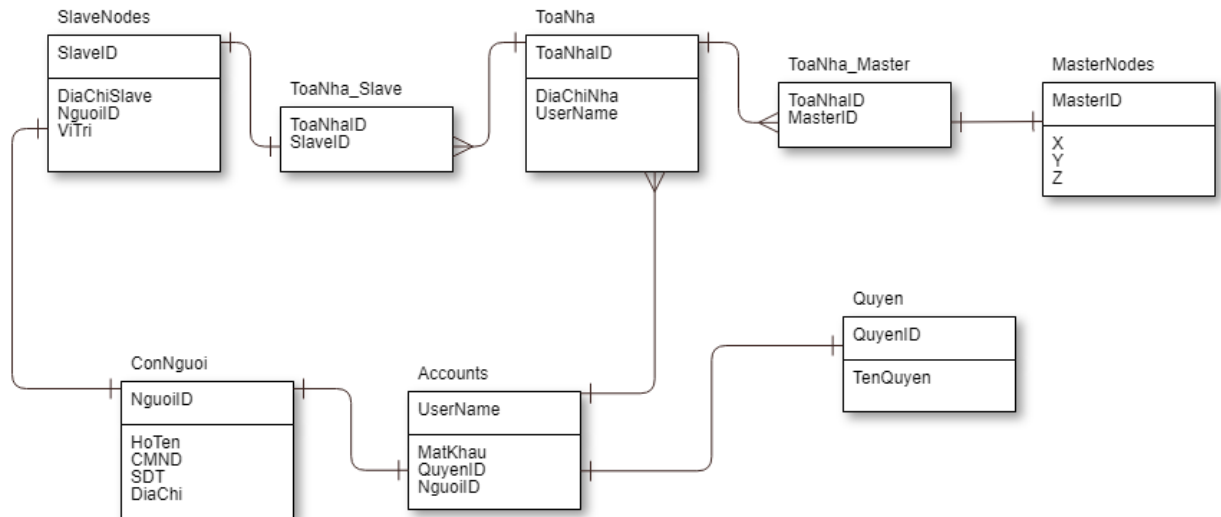
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Mô tả:

- Hệ thống định vị hiện tại gồm có tầng ứng dụng, tầng server, các master node và các slave node.
- Ứng dụng lấy dữ liệu được lưu trữ ở server thông qua internet,
- Các master node và các slave node liên lạc với nhau thông qua tín hiệu LoRa, ESP8266 đóng vai trò thiết bị điều khiển LoRa bật tắt chế độ thu – phát tín hiệu. ESP8266 ở vai trò master node còn có nhiệm vụ kết nối wifi, đọc kết quả từ LoRa, kết nối và gửi dữ liệu lên server lưu trữ,
- IoT Hub nhận dữ liệu từ ESP8266 gửi thông qua internet và lưu trữ vào Cosmos Database.

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

#### 3.7 Thiết kế cơ sở dữ liệu

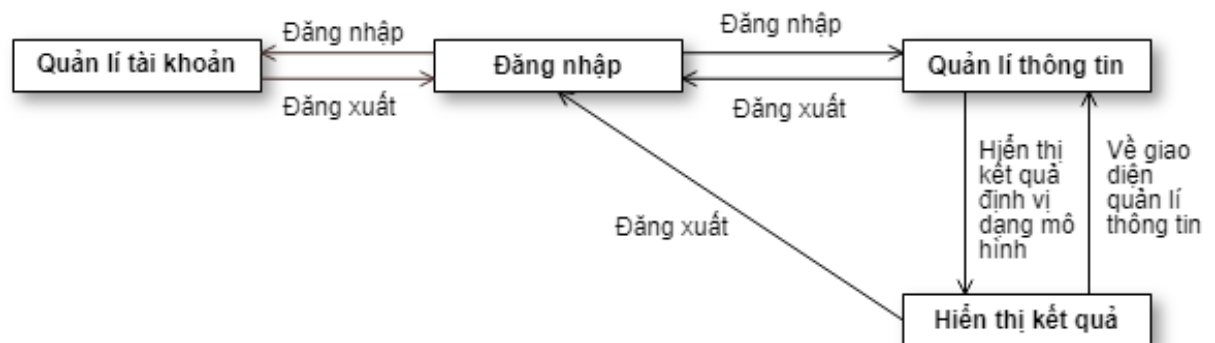


Hình 3.12 Sơ đồ thiết kế cơ sở dữ liệu ứng dụng trong hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### 3.8 Thiết kế giao diện

##### 3.8.1. Sơ đồ liên kết các giao diện



Hình 3.13 Sơ đồ liên kết các giao diện trên ứng dụng máy tính

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.3 Bảng mô tả chức năng từng giao diện của phần mềm máy tính trong hệ thống

STT	Giao diện	Mô tả
1	Đăng nhập	Người dùng nhập thông tin gồm tên tài khoản và mật khẩu để đăng nhập vào hệ thống  Nếu quên mật khẩu người dùng có thể nhập tên tài

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

		<p>khoản để hệ thống gửi lại mật khẩu thông qua số điện thoại đã đăng kí trước đó</p> <p>Nếu tài khoản đăng nhập có quyền Admin thì ứng dụng sẽ chuyển đến giao diện quản lí tài khoản</p> <p>Nếu tài khoản đăng nhập có quyền Quản lí thì ứng dụng sẽ chuyển đến giao diện quản lí thông tin</p>
2	Quản lí tài khoản	<p>Đây là giao diện quản lí dành cho Admin, hỗ trợ thực hiện đầy đủ chức năng của một Admin</p> <p>Tại đây admin có thể đăng xuất để trở về giao diện đăng nhập, đăng nhập vào hệ thống với một tài khoản khác</p>
3	Quản lí thông tin	<p>Người dùng có thể cập nhật mật khẩu đăng nhập hệ thống, chỉnh sửa thông tin người sử dụng một slave node hoặc chuyển sang giao diện hiển thị kết quả</p> <p>Tại đây người quản lí có thể đăng xuất để trở về giao diện đăng nhập, đăng nhập vào hệ thống với một tài khoản khác</p>
4	Hiển thị kết quả	<p>Người quản lí có thể theo dõi trực quan kết quả định vị của hệ thống trên mô hình 2D và 3D</p>

---

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

3.8.2. Thiết kế giao diện Hiển thị kết quả

**HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG**

[Về giao diện quản lí \(2\)](#) [Users](#) [Đăng xuất?](#) (1)

3D View (6)

Mã quản lí:  Tầng:

2D View (7)

Danh sách Người dùng (8)

STT	Slave ID	Người dùng	Vị trí
1	3	Tên	E7.6

Hình 3.14 Thiết kế giao diện Hiển thị kết quả định vị của hệ thống trên mô hình 2D và 3D

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.4 Bảng mô tả thiết kế giao diện hiển thị kết quả định vị của hệ thống trên mô hình 2D và 3D

STT	Mô tả	Ghi chú
1	Hiển thị tên tài khoản đăng nhập Cho phép đăng xuất khỏi ứng dụng, trở về giao diện đăng nhập	TextBox, Button hoặc Menu
2	Lựa chọn chuyển về giao diện Quản lí thông tin dành cho người dùng đăng nhập với quyền Quản lí	TextBox, Button hoặc Menu
3	Lựa chọn vị trí tầng muốn xem chi tiết vị trí người dùng (muốn vị trí các slave node đang ở tầng đó)	Textbox hoặc Combobox
4	Nhập thông tin muốn tìm kiếm, đó có thể là tên người	Textbox

	dùng, tên phòng, slave ID, kết quả trả về là thông tin đối tượng có liên quan đến chuỗi đã nhập vào	
5	Lựa chọn tìm kiếm và hiển thị kết quả có liên quan đến chuỗi đã nhập vào ở ô nhập thông tin tìm kiếm	Button
6	Hiển thị mô hình 3D của tòa nhà trong hệ thống định vị cùng với vị trí đặt các master node, vị trí các slave node đã được định vị	Lựa chọn control hỗ trợ vẽ mô hình 3D
7	Hiển thị mô hình 3D một tầng của tòa nhà trong hệ thống định vị cùng với vị trí các slave node đã được định vị có xuất hiện trong tầng đó, ta có thể xoay trực để xem 3D mặt chiếu ngang của tòa nhà	Lựa chọn control hỗ trợ vẽ mô hình 3D
8	Hiển thị danh sách người dùng (danh sách slave node) có trong hệ thống bao gồm số thứ tự, tên người dùng, slave ID và vị trí phòng của người đó trong tòa nhà	Table

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

#### 3.8.3. Thiết kế giao diện Quản lý tài khoản

**HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG**

[Admin, Đăng xuất?](#)  
(1)

Tên đăng nhập:

Mật khẩu:

Họ tên:

CMND:

SĐT:

Model:

Địa chỉ:

Mã quản lí:

**Danh sách tài khoản (10)**

STT	UserName	Họ Tên

**Danh sách Slave Node (12)**

STT	Slave ID	Địa chỉ Slave
1		2

(16)  (15)  (14)  (13)

**Danh sách Master Node (11)**

STT	Master ID	X	Y	Z
1	2			

Hình 3.15 Thiết kế giao diện Quản lý tài khoản trong hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.5 Bảng mô tả thiết kế giao diện cài đặt thông tin cấu hình hệ thống định vị

STT	Mô tả	Ghi chú
1	Hiển thị tên tài khoản đăng nhập Cho phép đăng xuất khỏi ứng dụng, trở về giao diện đăng nhập	TextBox, Button hoặc Menu
2	Nhập thông tin tên đăng nhập của một tài khoản	Textbox
3	Nhập thông tin mật khẩu đăng nhập của một tài khoản	Textbox
4	Nhập thông tin họ tên của một tài khoản	Textbox
5	Nhập thông tin số chứng minh nhân dân của một tài khoản	Textbox
6	Nhập thông tin số điện thoại của một tài khoản	Textbox
7	Nhập thông tin bản vẽ thiết kế 3D của một tòa nhà cao	Textbox hoặc

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

	tầng trong hệ thống định vị	Button
8	Nhập thông tin địa chỉ tòa nhà cao tầng mà tài khoản quản lí	Textbox
9	Nhập mã tòa nhà cao tầng mà tài khoản quản lí, mã này có thể do hệ thống tự sinh ra	Textbox
10	Hiển thị chỉ đọc thông tin một tài khoản bao gồm số thứ tự tài khoản, tên đăng nhập của tài khoản và họ tên người sử dụng tài khoản	Table
11	Hiển thị danh sách các master node bao gồm số thứ tự node, master node ID và vị trí x, y, z của node đó	Table
12	Hiển thị danh sách các slave node bao gồm số thứ tự node, slave node ID và địa chỉ định vị của node đó	Table
13	Lựa chọn xóa một tài khoản đã có trong danh sách tài khoản bao gồm thông tin cơ bản của tài khoản và danh sách các master node, slave node	Button
14	Lựa chọn cập nhật một tài khoản đã có danh sách tài khoản bao gồm thông tin cơ bản của tài khoản và danh sách các master node, slave node lên server	Button
15	Lựa chọn sửa thông tin một tài khoản đã có trong danh sách tài khoản bao gồm thông tin cơ bản của tài khoản và danh sách các master node, slave node	Button
16	Lựa chọn thêm một tài khoản mới vào danh sách tài khoản bao gồm thông tin cơ bản của tài khoản và danh sách các master node, slave node	Button

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### Chương 3. PHÂN TÍCH THIẾT KẾ ỨNG DỤNG

#### 3.8.4. Thiết kế giao diện Quản lý thông tin

### HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

Xem vị trí người dùng (1)

Users Đăng xuất? (2)

Mật khẩu: Password (3)

SĐT: SĐT

Mã quản lí: Mã nhà

Địa chỉ: Địa chỉ

Cập nhật (5)

Danh sách Người dùng (4)

STT	Slave ID	Người dùng	SĐT	Phòng ở/ Địa chỉ
1	3	Tên		null

Hình 3.16 Thiết kế giao diện Quản lý thông tin

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng 3.6 Bảng mô tả thiết kế giao diện Quản lý thông tin

STT	Mô tả	Ghi chú
1	Lựa chọn chuyển về giao diện Quản lý thông tin dành cho người dùng đăng nhập với quyền Quản lí	TextBox, Button hoặc Menu
2	Hiển thị tên tài khoản đăng nhập Cho phép đăng xuất khỏi ứng dụng, trở về giao diện đăng nhập	TextBox, Button hoặc Menu
3	Hiển thị mật khẩu đăng nhập vào hệ thống của tài khoản, người quản lí có thể thay đổi thông tin mật khẩu đó	Textbox
4	Danh sách người dùng trong hệ thống định vị, người dùng ở đây là người giữa các slave node mà admin đã	Table



cấp cho hệ thống, người quản lí chỉ có thể thay đổi thông tin tên người dùng, số điện thoại người dùng và địa chỉ người dùng đó (địa chỉ có thể là số phòng đăng kí ở)

- 5 Lựa chọn cập nhật các thông tin người quản có thể thay đổi đã thay đổi lên server của hệ thống Button

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### 3.8.5. Thiết kế giao diện Đăng nhập

The image shows a login form for a system titled "HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG". It contains two input fields: "Tên đăng nhập:" (1) and "Mật khẩu:" (2). Below the password field is a link "Quên mật khẩu?". To the right of the password field is a button labeled "Đăng nhập (4)".

Hình 3.17 Thiết kế giao diện đăng nhập hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Dưới đây là bảng mô tả thiết kế giao diện đăng nhập hệ thống định vị:

Bảng 3.7 Bảng mô tả thiết kế giao diện Đăng nhập hệ thống

STT	Mô tả	Ghi chú
1	Vùng nhập tên đăng nhập	Textbox
2	Vùng nhập mật khẩu đăng nhập	Textbox
3	Lựa chọn hỗ trợ nhận lại mật khẩu đăng nhập khi quên mật khẩu, mật khẩu sẽ được gửi về số điện thoại đã đăng kí trước đó	TextBox, Button hoặc Menu
4	Sau khi người dùng đã nhập đầy đủ các thông tin thì nhấn vào đây để ứng dụng tiến hành kiểm tra đăng	Button

### 3.9 Kết chương

Thông qua sơ đồ người dùng, sơ đồ hoạt động, sơ đồ thành phần, sơ đồ triển khai, kiến trúc hệ thống và thiết kế giao diện giúp chúng ta có cái nhìn tổng quan ban đầu về chức năng, cách thức hoạt động và một vài nội dung cần chuẩn bị trong việc xây dựng và triển khai hệ thống định vị trong nhà cao tầng.

## **Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG**

*✍ Nội dung Chương 4 trình bày về phương pháp xây dựng Hệ thống định vị trong nhà cao tầng bao gồm các thiết bị phần cứng đến phần mềm, server, database, và các kết quả thực nghiệm.*

### **4.1 Điều khiển và thu thập, sử dụng dữ liệu từ thiết bị Lora**

Một LoRa đóng vai trò là master node, một LoRa đóng vai trò là slave node. Hệ thống có các master node và các slave node sẽ phát tín hiệu và đo khoảng cách với nhau sau đó gửi dữ liệu về server.

Mô-đun LoRa không thể kết nối mạng, mà bằng cách nào đó phải lấy được dữ liệu từ LoRa, kết nối internet và gửi dữ liệu về server, sau đó ứng dụng desktop sẽ lấy dữ liệu từ server phục vụ cho công tác hiển thị.

Sử dụng mô-đun ESP8266-12 làm thiết bị điều khiển và nhận dữ liệu từ LoRa, kết nối internet, gửi dữ liệu lên server lưu trữ online.

ESP8266-12 là module Wi-Fi giá rẻ và được đánh giá rất cao cho các ứng dụng liên quan đến Internet và Wifi cũng như các ứng dụng truyền nhận sử dụng thay thế cho các module RF khác. ESP8266 là một chip tích hợp cao, được thiết kế cho nhu cầu của một thế giới kết nối mới, thế giới Internet of thing (IoT). Nó cung cấp một giải pháp kết nối mạng Wi-Fi đầy đủ và khép kín, cho phép nó có thể lưu trữ các ứng dụng hoặc để giảm tải tất cả các chức năng kết nối mạng Wifi từ vi điều khiển.

ESP8266 có thể tích hợp với các bộ cảm biến, vi điều khiển và các thiết bị ứng dụng cụ thể khác thông qua GPIOs.

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG



Hình 4.1 Mô-đun ESP8266-12

(Nguồn: Được trích dẫn từ [27])

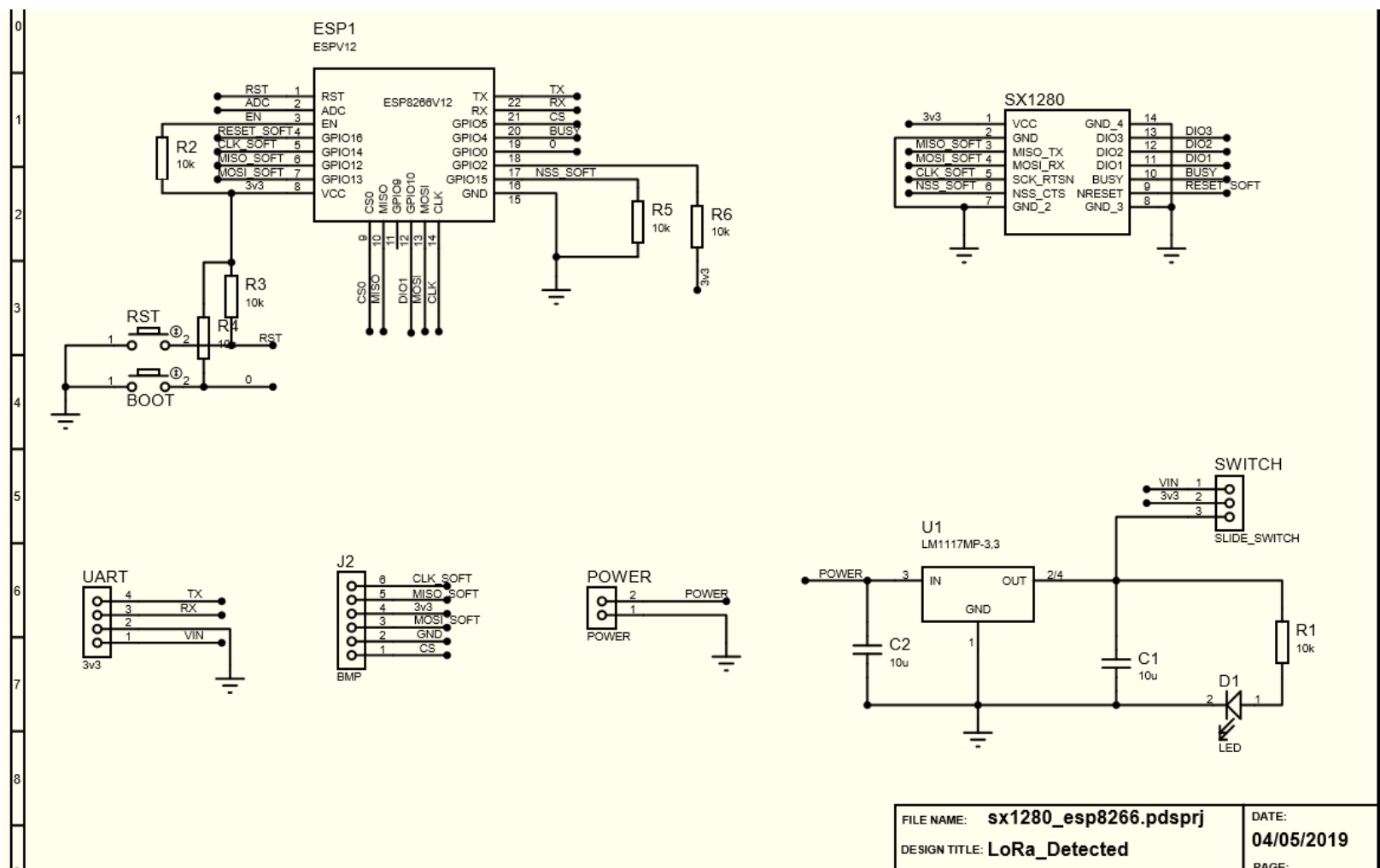
##### Thông số kỹ thuật (<https://esp8266.vn>):

- Nguồn 3.3VDC
- SDIO 2.0, SPI, UART 32-pin QFN (Chip ESP8266)
- Tích hợp RF switch, balun, 24dBm PA, DCXO và PMU,
- Tích hợp WEP, TKIP, AES, và các công cụ WAPI
- Tích hợp ăng-ten PCB trace trên module
- Tiêu chuẩn wifi: 802.11b/g/n, với tần số 2.4GHz và hỗ trợ bảo mật WPA/WPA2
- Tích hợp TR chuyển đổi, balun, LNA, bộ khuếch đại công suất
- Công suất phát đầu ra 19.5dBm ở chế độ 802.11b
- Tích hợp các giao tiếp SDIO 1.1 / 2.0, SPI, UART
- Chế độ chờ tiêu thụ điện năng <1.0 mW

ESP8266 giao tiếp với LoRa thông qua chuẩn giao tiếp SPI. Sau khi nhận được dữ liệu phù hợp, ESP8266 sẽ gửi dữ liệu lên Cosmos Database lưu trữ thông qua IoT Hub trong Microsoft Azure.

Sơ đồ mạch cho hệ thống định vị với ESP8266 và LoRa như hình 4.2.

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



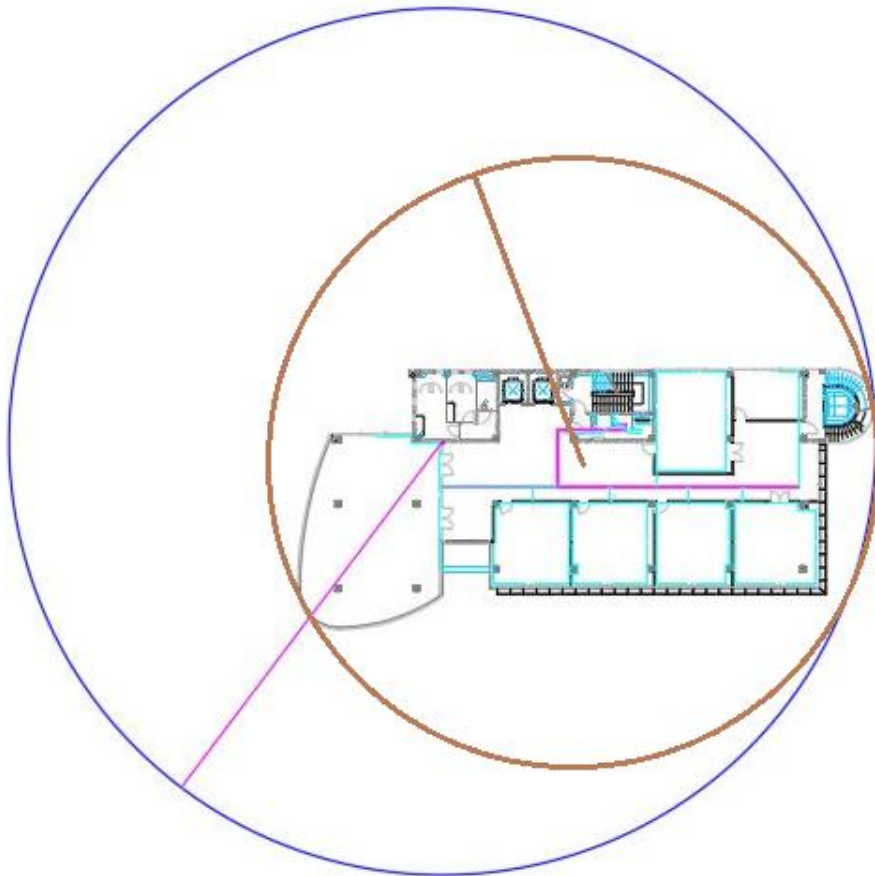
Hình 4.2 Sơ đồ luận lý của master node và slave node trong hệ thống định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG

Trong quá trình đo khoảng cách giữa hai thiết bị LoRa, do ảnh hưởng từ nhiều phía mà kết quả thu được sẽ bị nhiễu, do đó:

- Đặt thiết bị sao cho ăng-ten thẳng đứng, hạn chế vật cản xung quanh. Phương đặt thiết bị, chuyển động qua lại của con người, ... cũng làm thay đổi kết quả đo đạt.
- Loại bỏ các kết quả không có thể có: loại bỏ các kết quả lớn hơn bán kính hình tròn nhỏ nhất phủ được mặt cắt ngang tòa nhà có tâm tương ứng là master đó. Các giá trị bên ngoài đường tròn sẽ được loại bỏ



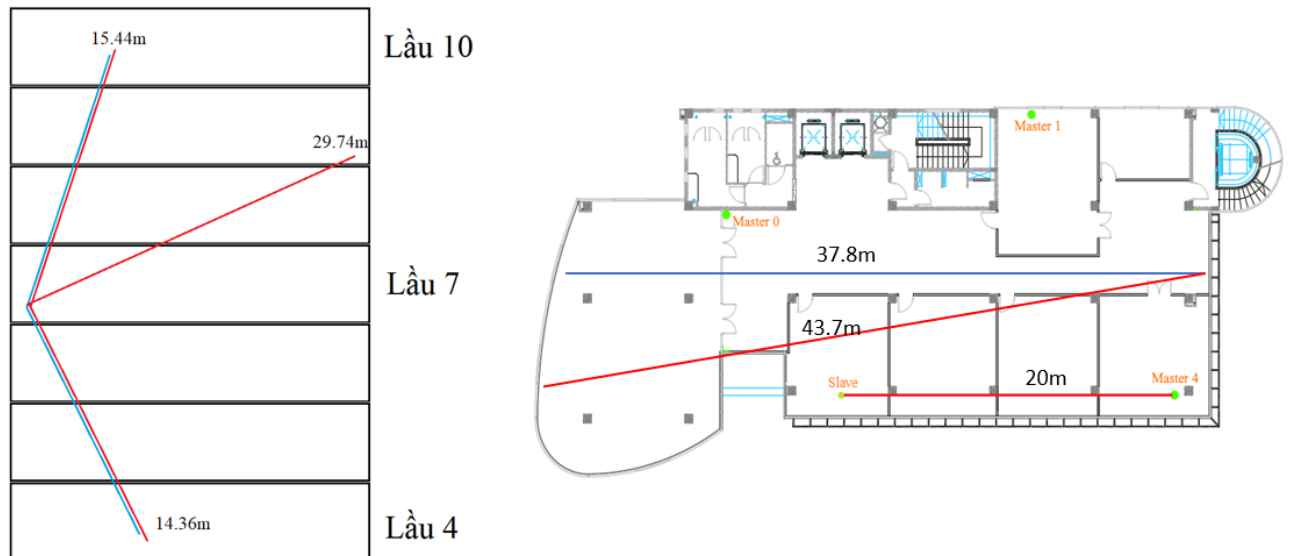
Hình 4.3 Hình minh họa bán kính hoạt động của một master

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Trong môi trường có vật cản, vật cản khác nhau, độ nhiễu khác nhau thì đồ thị phân phối kết quả khác nhau, ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán.

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

Hình 4.4 dưới đây là một vài trường hợp đặt hai thiết bị, mà hai thiết bị đó không thể hoạt động. Dẫn đến việc cần phải thay đổi phương pháp giải quyết bài toán định vị trong nhà cao tầng so với định hướng ban đầu.



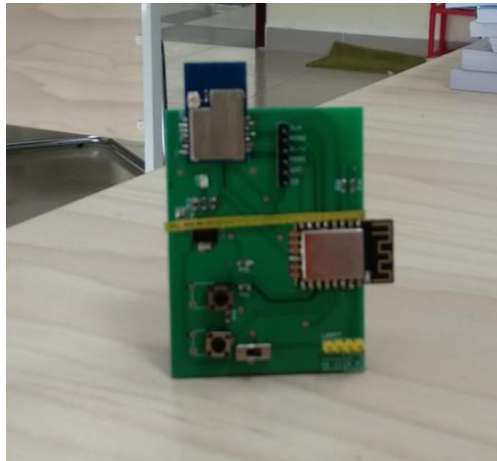
Hình 4.4 Mẫu thử phạm vi hoạt động theo chiều dọc và chiều ngang trong nhà cao tầng (màu đỏ - không nhận tín hiệu, màu xanh – nhận tín hiệu)

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### 4.2 Triển khai các thiết bị trong tòa nhà cao tầng, thực nghiệm xác định khoảng cách

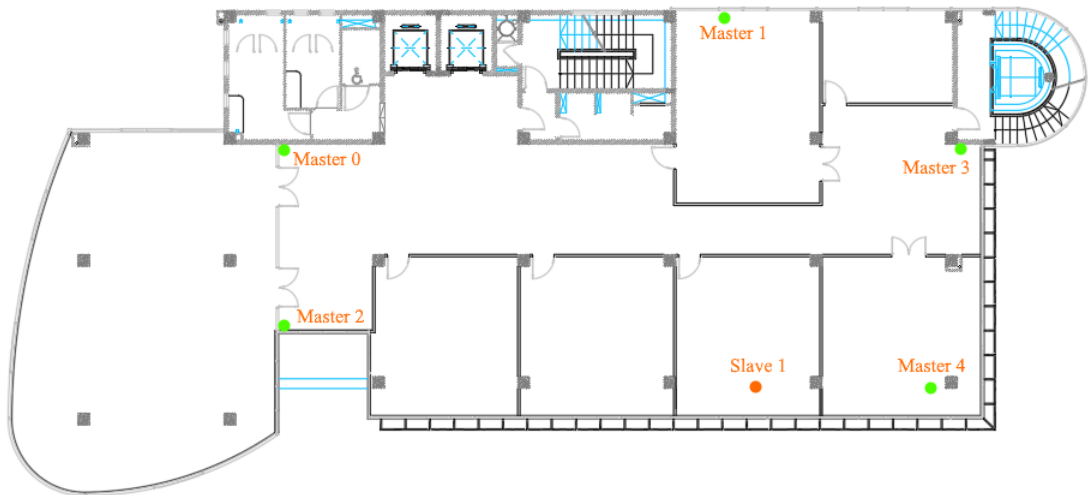
Chọn 3 vị trí cố định có độ cao khác nhau đặt master node xung quanh tầng 7, xác định bán kính hoạt động của master node. Khi đặt node chú ý dựng đứng ăng-ten phát và thu, hạn chế vật cản trở để có kết quả thu tốt nhất. Và xác định bán kính hoạt động của các master node đó.

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.5 Cách đặt một node

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



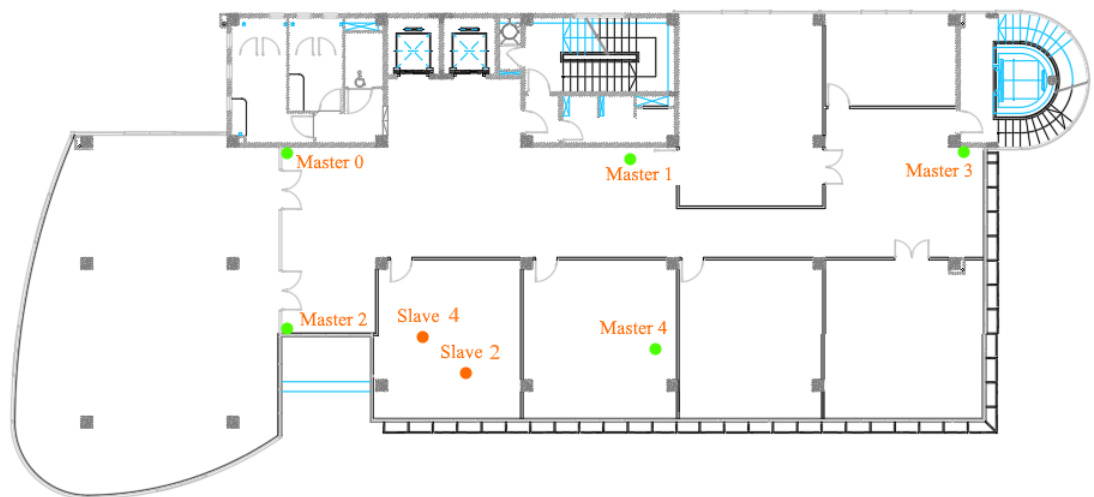
Hình 4.6 Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm 1

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Hình 4.6 thể hiện sơ đồ bố trí master node và slave node để xác định vị trí của vật/ người trong phòng E7.6 nhà E thu được các mẫu E76\_xyz với x, y, z là master ID bao gồm E76\_014, E76\_034, E76\_123, E76\_124



## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.7 Sơ đồ bố trí thiết bị thực nghiệm 2

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Hình 4.6 thể hiện sơ đồ bố trí master node và slave node để xác định vị trí của vật/ người trong phòng E7.6 nhà E thu được các mẫu E72\_xyz\_i với x, y, z là master ID và i là slave ID bao gồm E72\_014\_4, E72\_124\_2, E72\_024\_2, E72\_023\_2, E72\_014\_2, E72\_012\_2.

### 4.3 Xác định tọa độ slave node cần định vị

Dùng kết quả đo khoảng cách giữa các master node và slave node xác định vị trí cần xác định dựa vào phép đo ba cạnh tam giác được trình bày ở mục 2.2.4.

Để được các kết quả ổn định, tiến hành cho tọa độ slave node tính được qua bộ lọc Kalman (xem thêm về bộ lọc Kalman ở phụ lục II).

### 4.4 Xác định và hiển thị vị trí phòng của vật cần định vị

Tiến hành xây dựng mô hình 3D, gán nhãn phòng. Từ các phòng đã gán nhãn và tọa độ các slave node đã xác định trước đó, ta có thể xác định slave node đang nằm ở phòng nào.

#### 4.4.1. Xây dựng mô hình 3D

**Dữ liệu ban đầu:** File thiết kế đường điện, dây mạng,... trên AutoCAD của tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh với định dạng .DWG

**Yêu cầu đầu ra:** Xây dựng mô hình 3D của tòa nhà trên matlab.

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

##### **Thực hiện:**

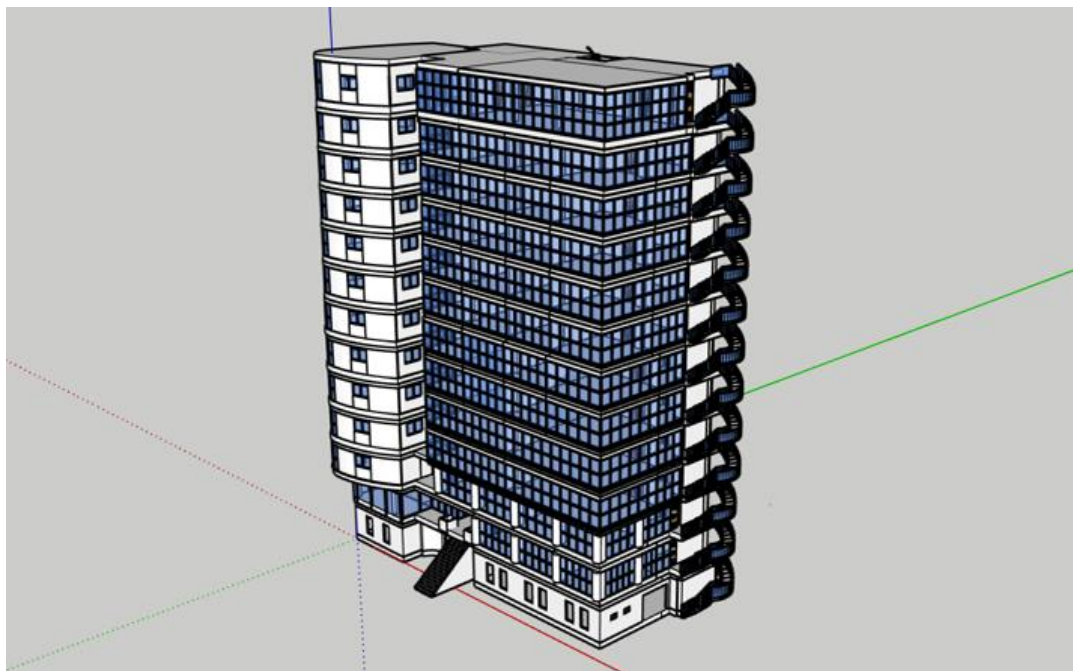
Từ file định dạng .DWG sử dụng phần mềm Sketch Up để xây dựng các chi tiết của mô hình, sau đó export dữ liệu ra theo định dạng Ascii STL từ mô hình chi tiết trên Sketch Up (xem thêm về bộ lọc Kalman ở phụ lục III).

Đọc dữ liệu trong file định dạng Ascii STL và phân ra dữ liệu theo từng phòng, dựa vào danh sách các đỉnh đó ta sẽ mô hình lên matlab.



Hình 4.8 Bản vẽ thiết kế tầng 1 tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh sau khi được hiệu chỉnh

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.9 Mô hình 3D tòa nhà E Trường Đại học Công nghệ Thông tin trong Sketch Up

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

Tất cả các file mô hình được lưu lại và xuất theo định dạng Ascii là một trong các đầu vào của ứng dụng trên máy tính trong hệ thống định vị.

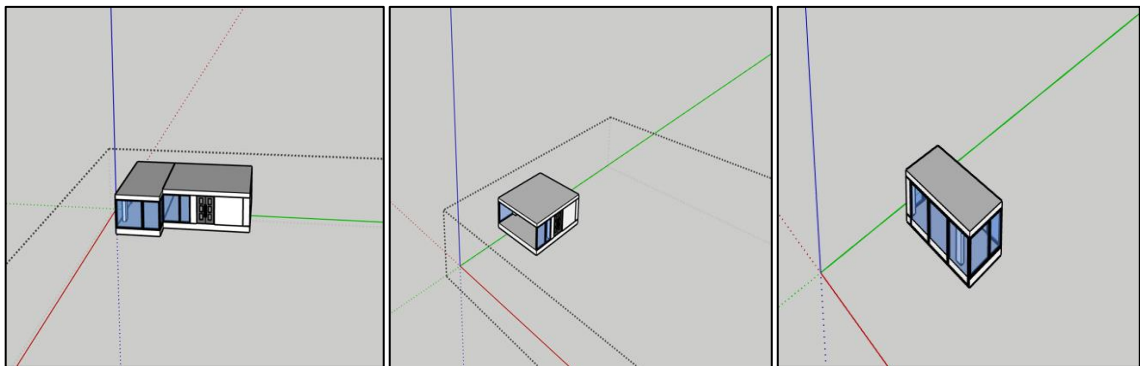
### 4.4.2. Gán nhãn các phòng trong tòa nhà

Từ việc lựa chọn phương pháp xác định xác định một điểm thuộc phòng nào trong tòa nhà dẫn đến việc thiết kế các file STL và gán nhãn các phòng trong tòa nhà phải tuân theo một nguyên tắc nhất định.

Với những phòng có dạng hình hộp chữ nhật thì sẽ xuất thành một file có định dạng STL được đặt tên theo cấu trúc:

[Tên\_phòng]\_[Thứ\_tự\_tầng].stl

Còn những phòng có dạng đặc biệt, cần được hiệu chỉnh (tách ra) thành hai hay nhiều phần khác nhau như bên dưới:



Hình 4.10 Mô tả việc hiệu chỉnh phòng có hình dạng khác hình hộp chữ nhật

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Hình bên trái là phòng ban đầu, hình ở giữa và hình bên phải là phòng được hiệu chỉnh (tách ra) từ phòng ban đầu. Tọa độ vẫn giữ nguyên.

Sau hiệu chỉnh, một phòng trên sẽ được xuất ra thành hai file định dạng STL được đặt tên theo cấu trúc:

[Tên\_phòng]\_[Thứ\_tự\_tầng]\_[Thứ\_tự\_phần\_sau\_hiệu\_chỉnh].stl

Ví dụ:

E1.1\_1\_0.stl

E1.1\_1\_1.stl

Các file này sẽ được ứng dụng đọc lên, nối lại thành mô hình hoàn chỉnh, dựa vào cấu trúc đặt tên file sẽ gán nhãn từng phòng, từng phần của phòng cho phù hợp.

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

### 4.5 Kết quả thực nghiệm

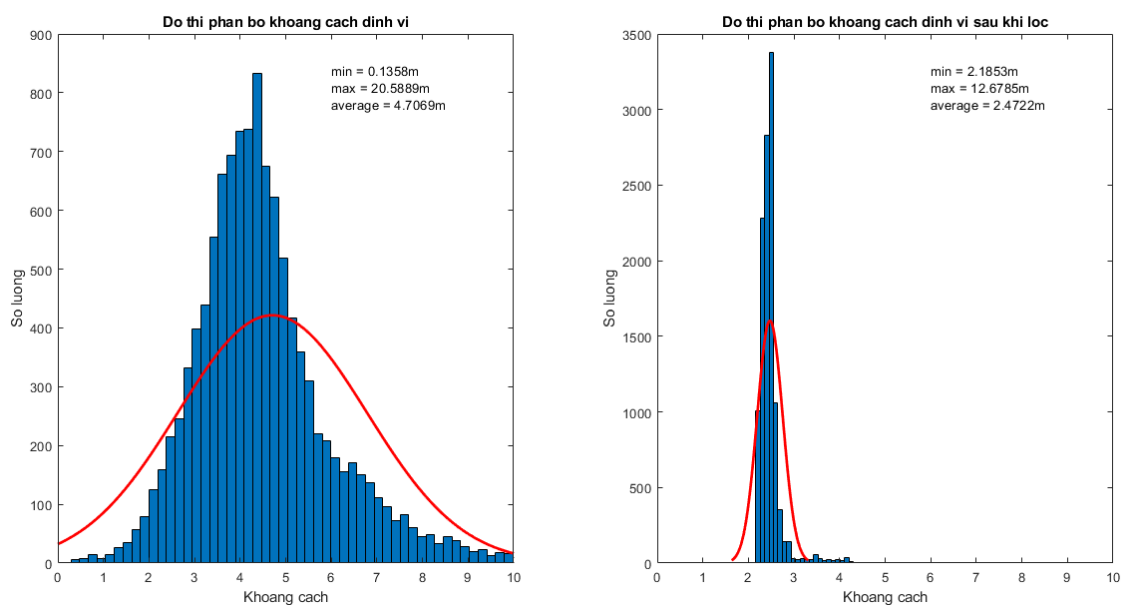
Bảng kết quả thực nghiệm 1 (sơ đồ bố trí như hình 4.6).

*Bảng 4.1 Bảng kết quả thực nghiệm định vị trong nhà cao tầng 1 (lầu 7 nhà E trường Đại học Công nghệ thông tin)*

STT	Mã mẫu	Số lượng mẫu	Số test đúng trong phòng	Tỉ lệ (%)	Độ chính xác (m)
1	E76_014	11552	11419	98.85	2.47
2	E76_034	10368	10356	99.88	1.97
3	E76_123	3760	3738	99.41	1.55
4	E76_124	3760	3717	98.86	3.67

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp từ Phụ lục IV)

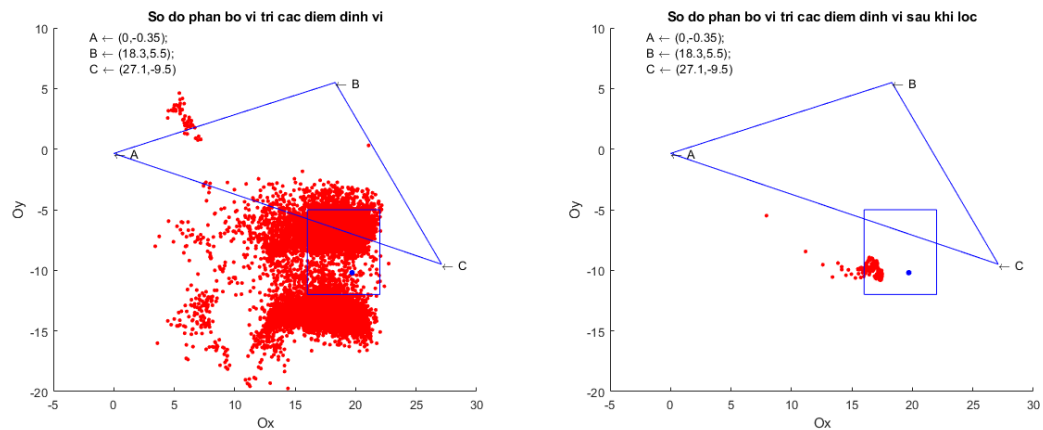
Dưới đây là đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc, Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc các mẫu thu thập được.



*Hình 4.11 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_014)*

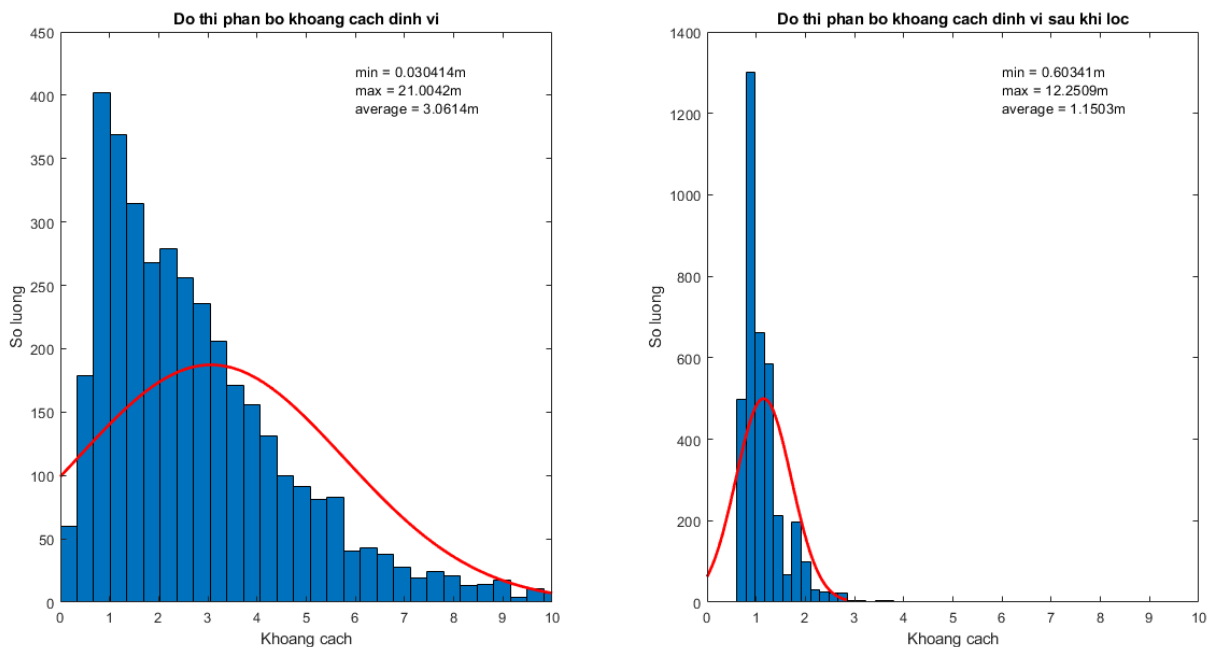
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.12 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_014)

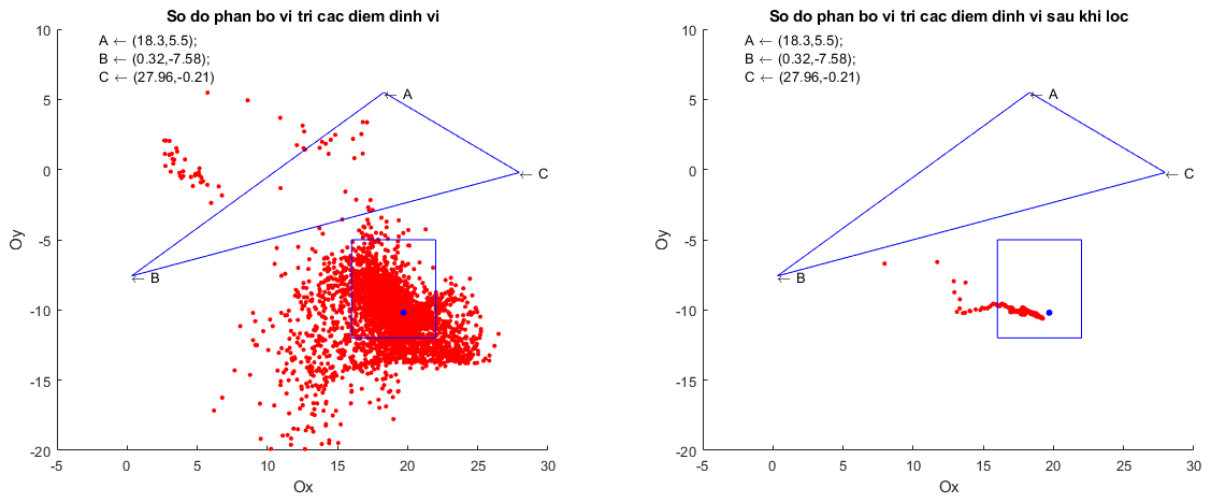
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.13 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_013)

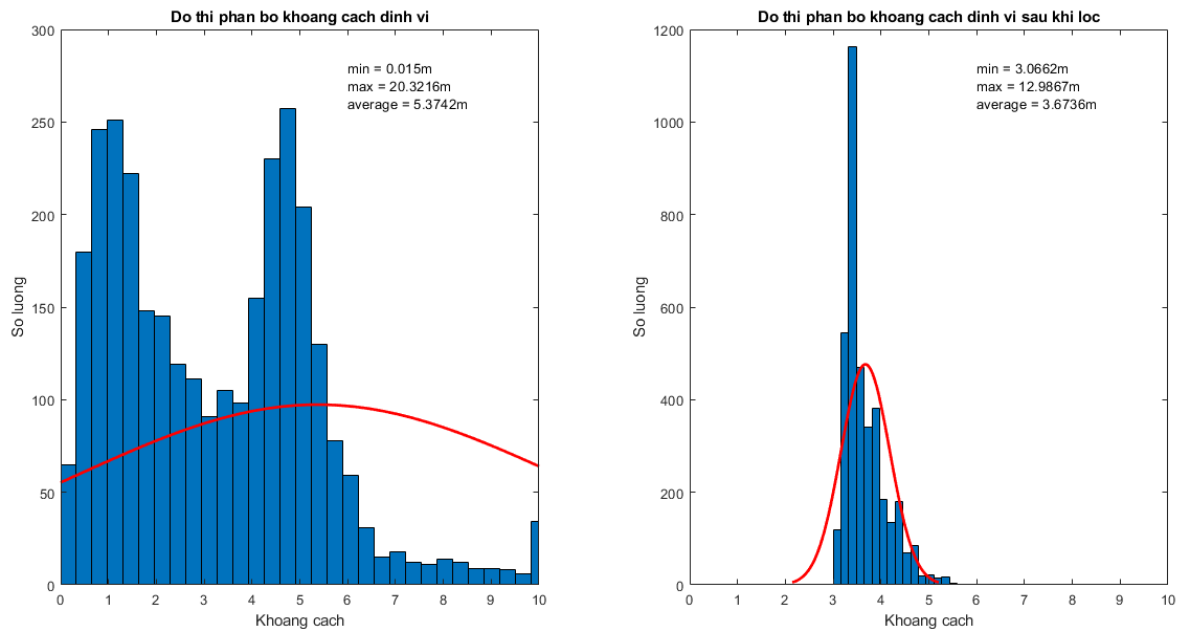
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.14 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_013)

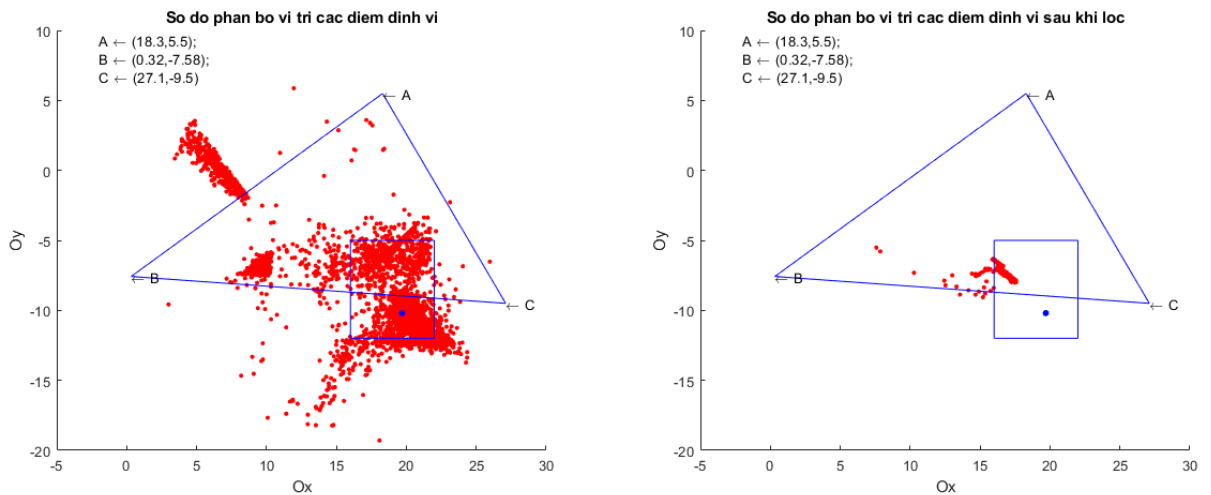
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.15 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_124)

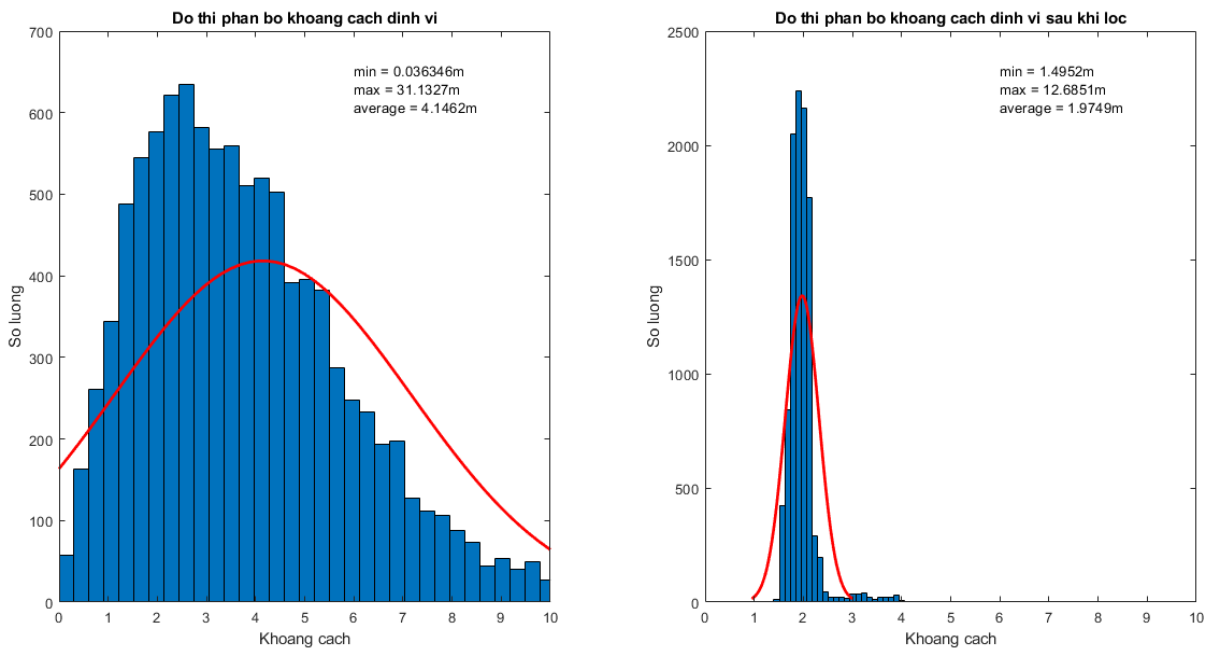
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.16 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_124)

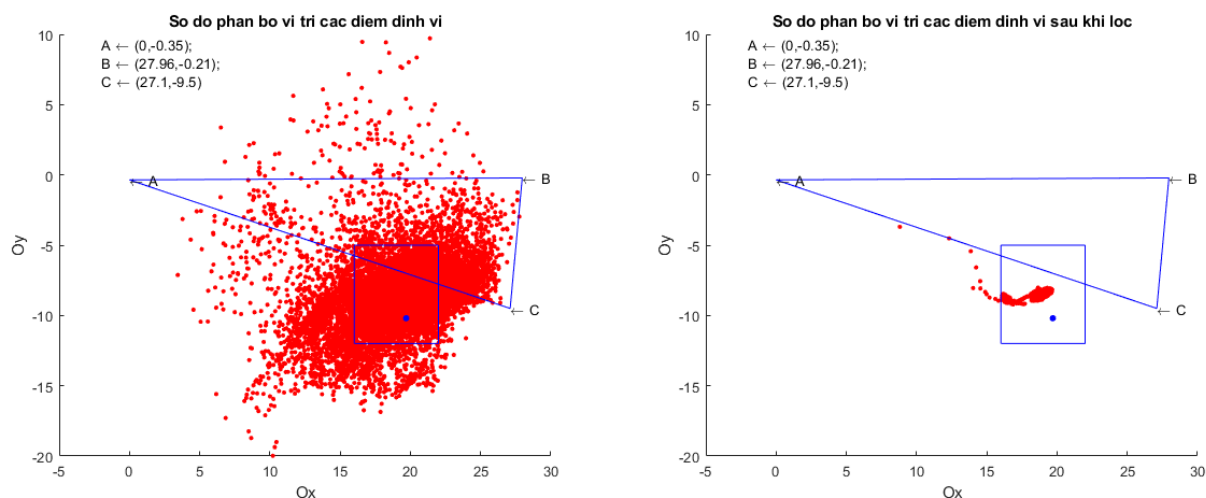
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.17 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_034)

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.18 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E76\_034)

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

Bảng kết quả thực nghiệm 2 (sơ đồ bố trí như hình 4.7).

Bảng 4.2 Bảng kết quả thực nghiệm định vị trong nhà cao tầng 2 (lầu 7 nhà E trường Đại học Công nghệ thông tin)

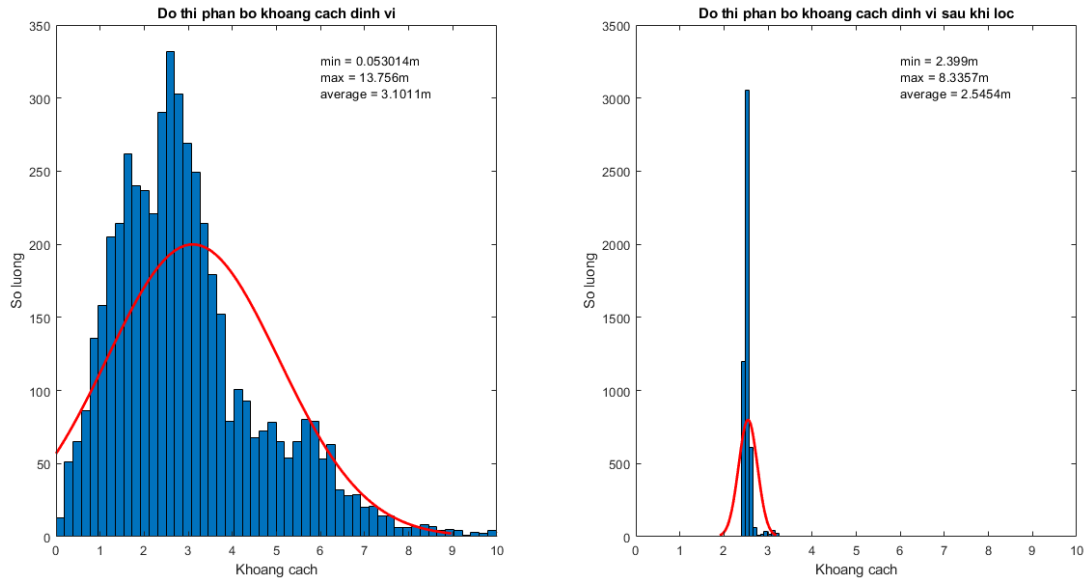
STT	Mã mẫu	Số lượng mẫu	Số test đúng trong phòng	Tỉ lệ (%)	Độ chính xác(m)
1	E72_012_2	8432	8413	99.77	5.24
2	E72_014_2	5104	5097	99.86	2.55
3	E72_023_2	5088	4174	82.04	3.7
4	E72_024_2	5104	5030	98.55	4.64
5	E72_124_2	5104	5101	99.94	3.17
6	E72_014_4	3840	3837	99.92	3.07

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp từ Phụ lục IV)



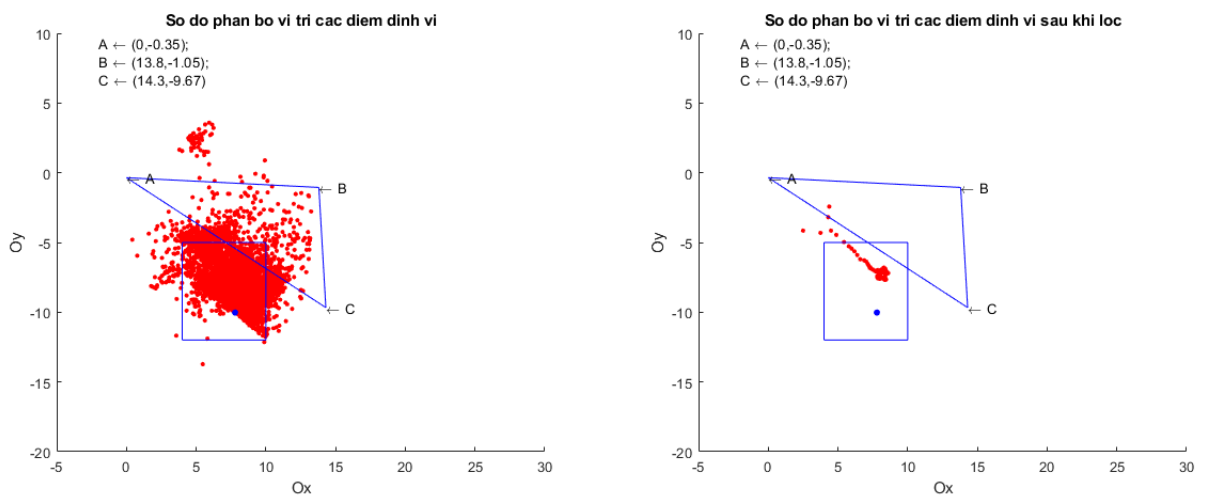
#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG

Dưới đây là đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc, Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc các mẫu thu thập được.



Hình 4.19 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_014\_2)

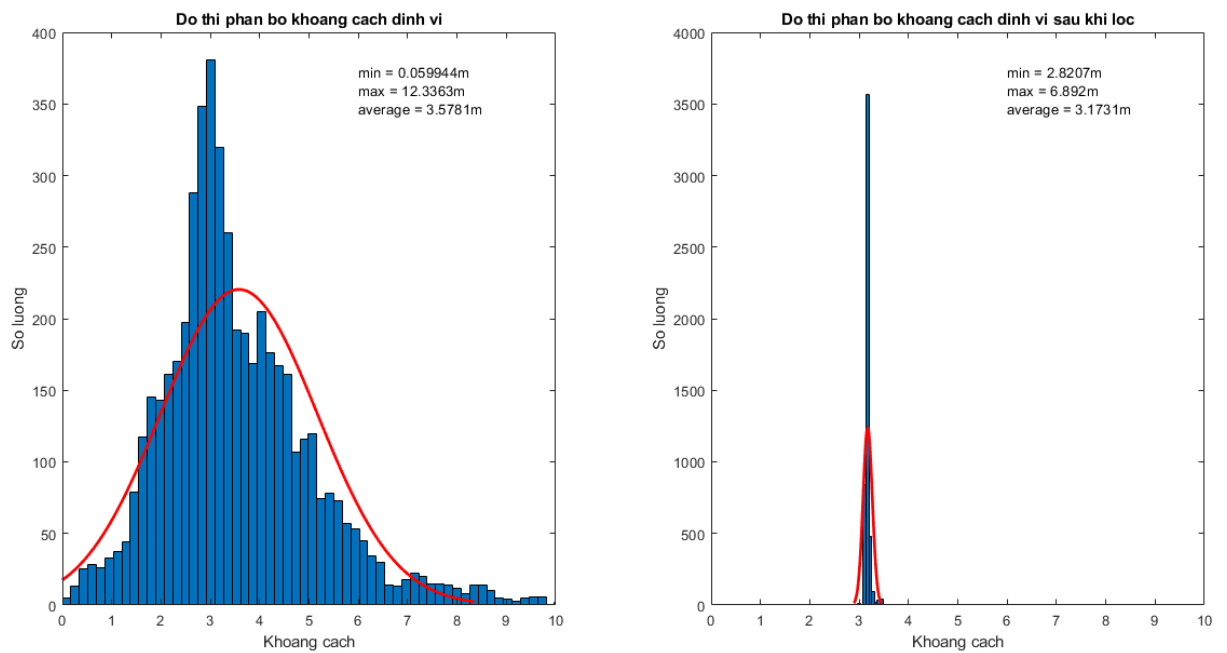
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.20 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_014\_2)

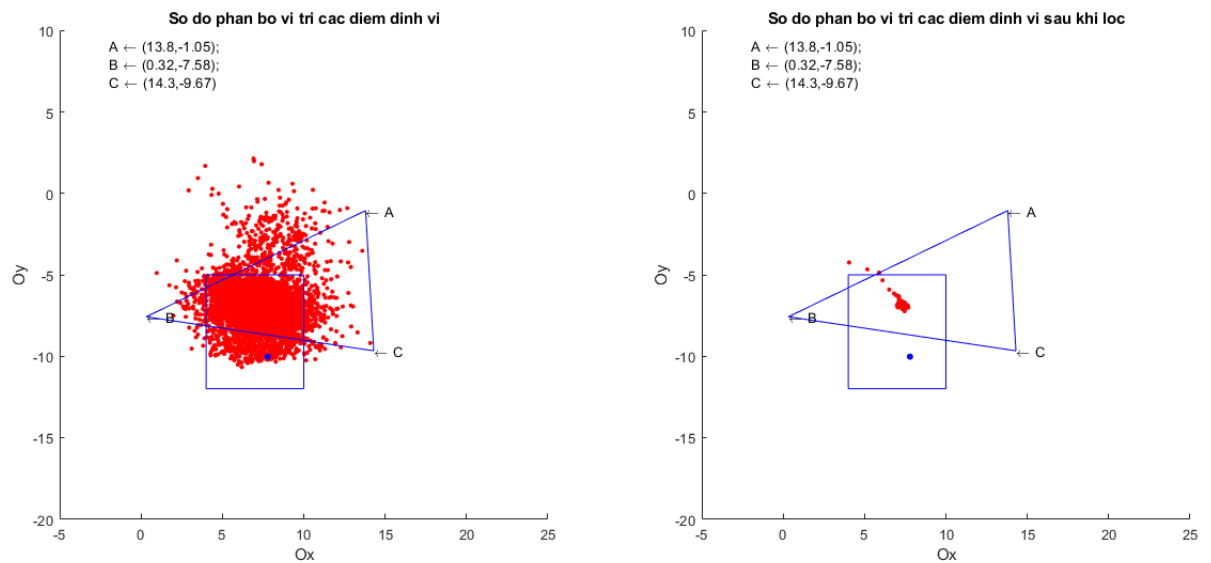
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.21 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_124\_2)

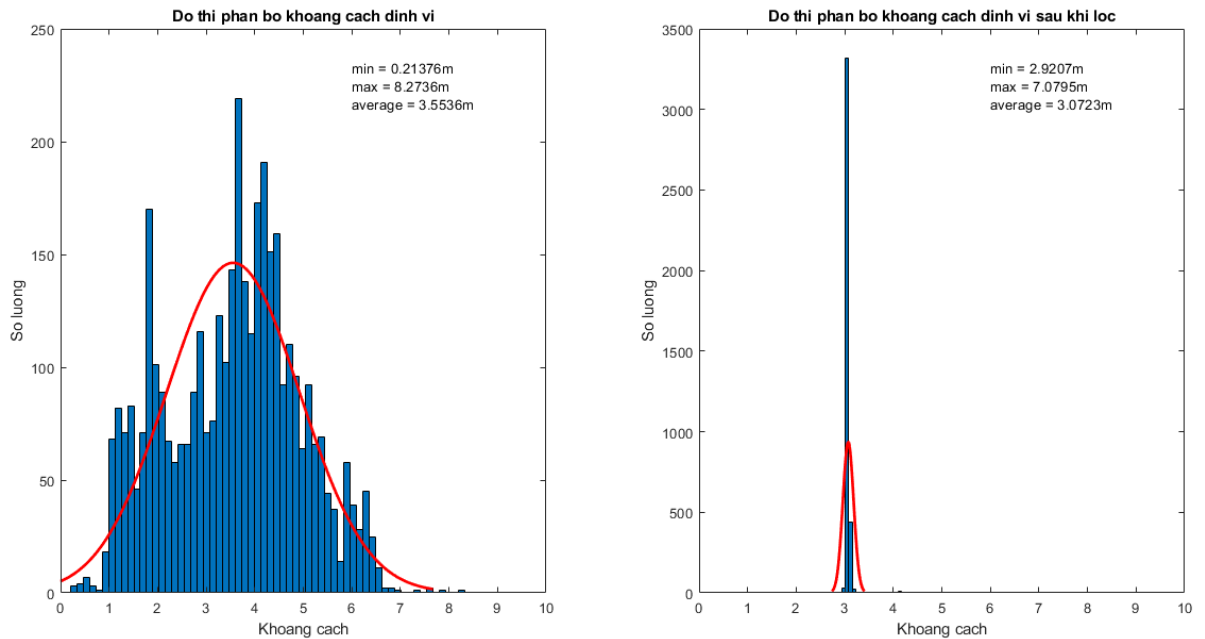
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.22 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_124\_2)

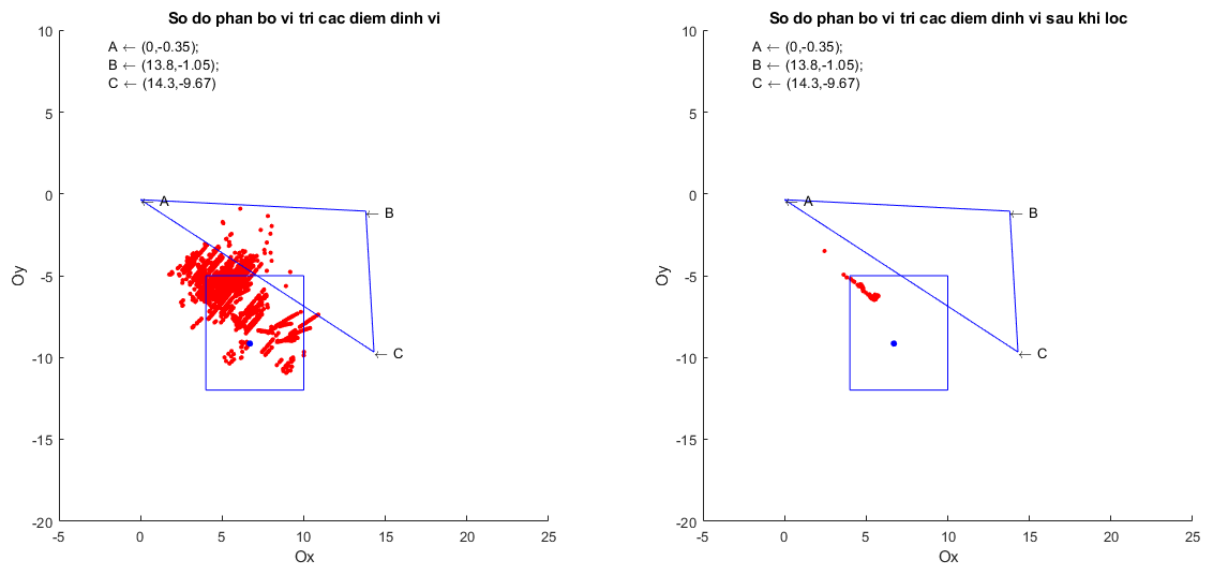
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.23 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_014\_4)

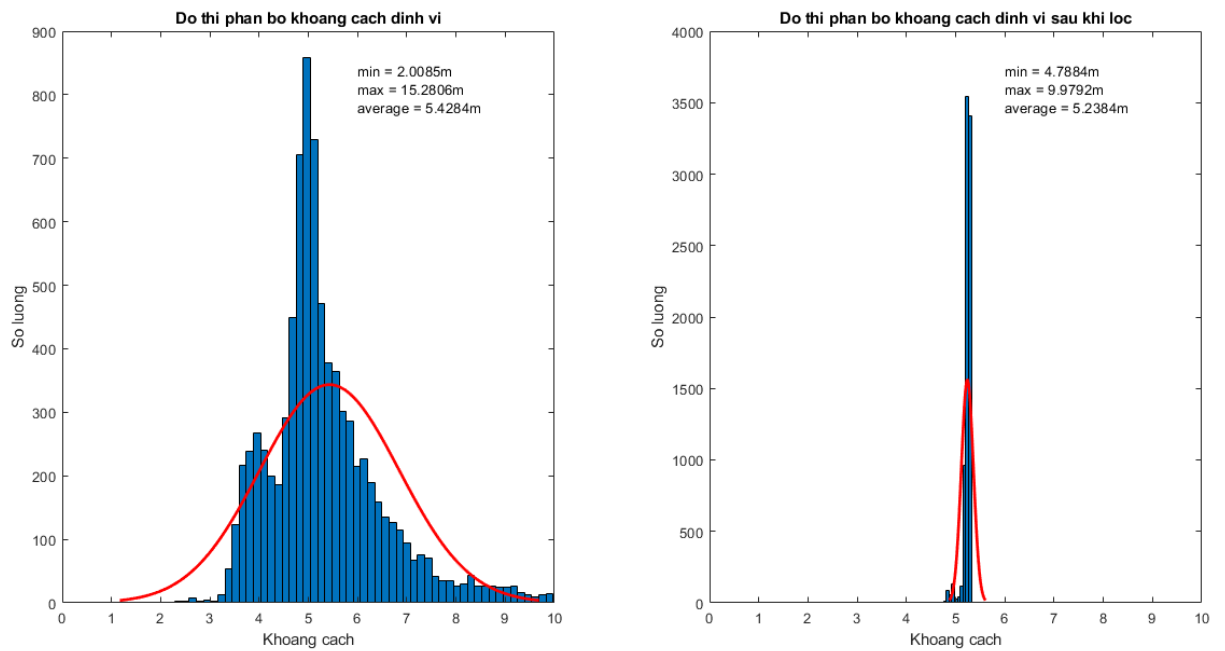
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.24 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_014\_4)

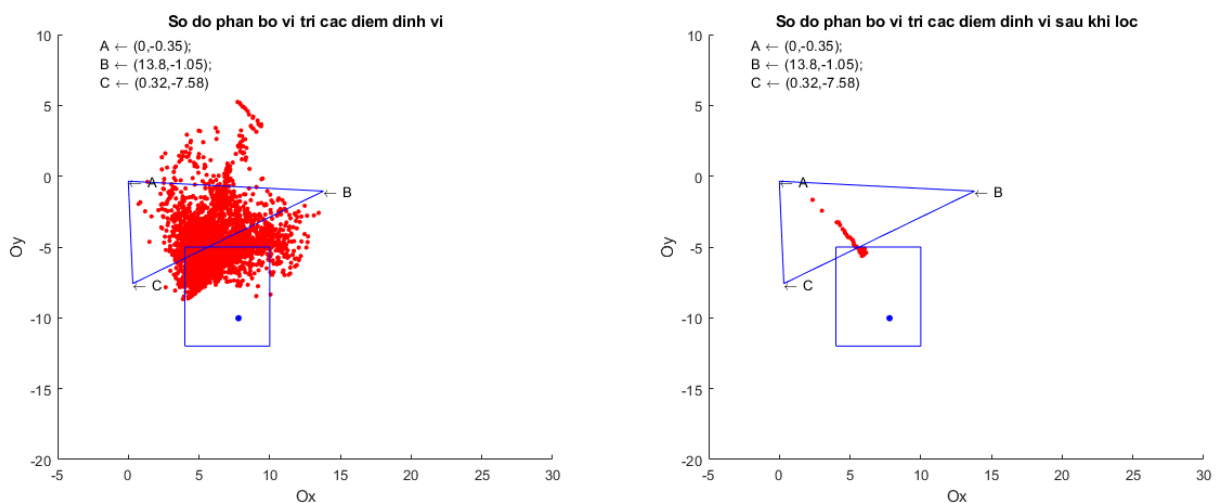
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.25 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_012\_2)

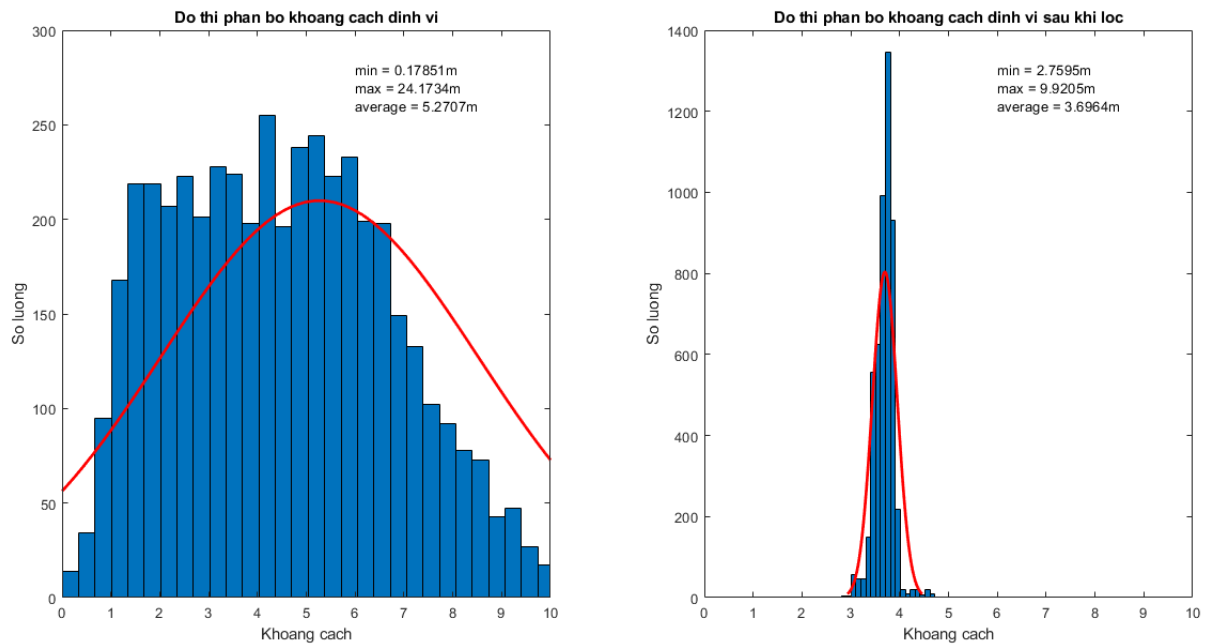
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.26 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_012\_2)

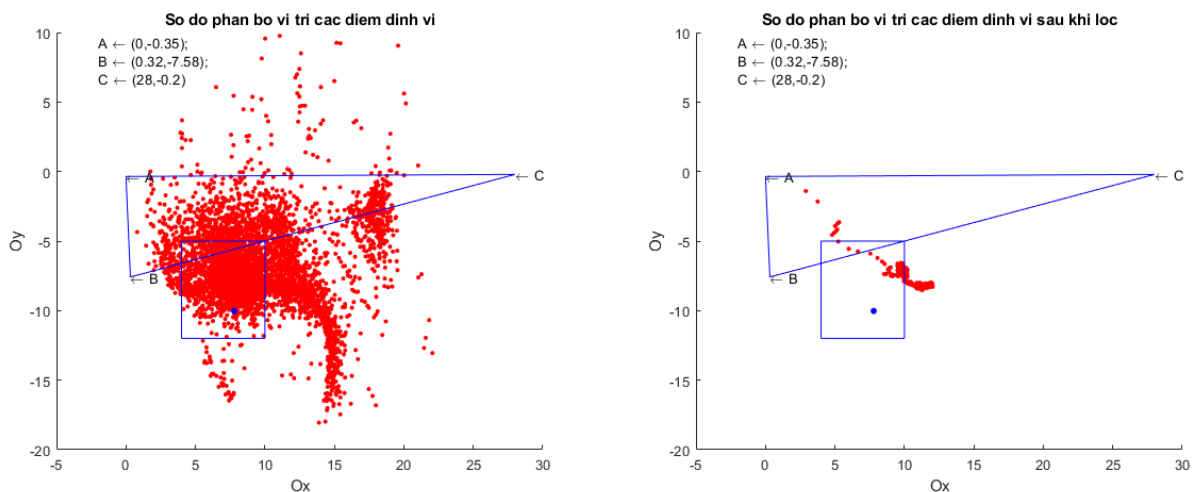
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.27 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_023\_2)

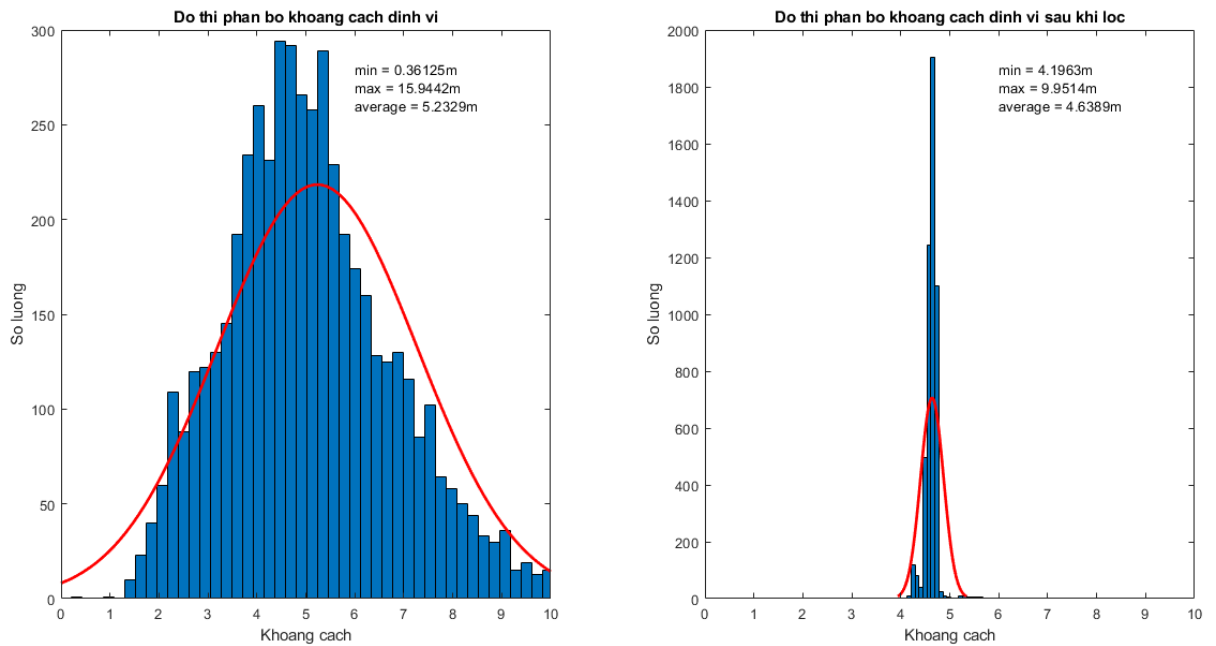
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.28 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_023\_2)

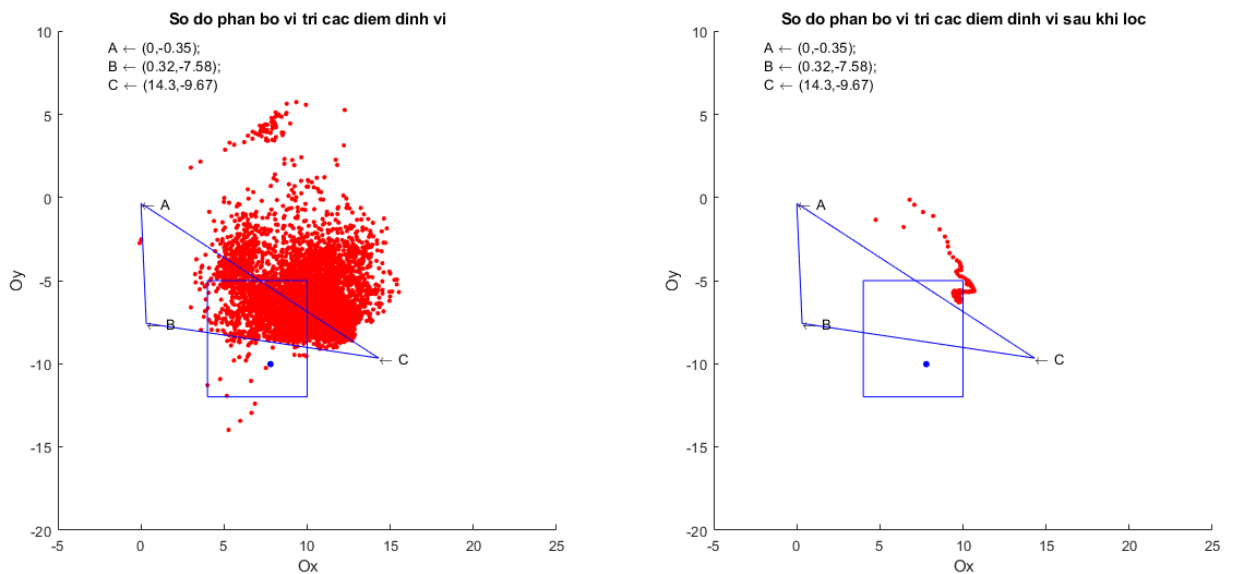
(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TẦNG



Hình 4.29 Đồ thị phân bố khoảng cách giữa vị trí tìm được và vị trí thật trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_024\_2)

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)



Hình 4.30 Sơ đồ phân bố vị trí các điểm định vị trước và sau khi lọc (Mẫu E72\_024\_2)

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG

Chi tiết thông tin các mẫu và kết quả thực nghiệm mời xem phụ lục IV.

Dưới đây là một vài hình ảnh của ứng dụng và thiết bị trong hệ thống:

**Admin Setting**

**HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG** Đăng xuất

Tên đăng nhập:  SĐT:   
Mật khẩu:  Model:   
Họ tên:  Địa chỉ:   
Quyền:  Mã quản lí:

Thêm Cập nhật Xoá Thêm Cập nhật Xoá

**Danh sách tài khoản**

STT	Username	Họ tên
1	admin	Huynh Trinh
2	trinhhuynh	Trinh Huynh
3	huyhuynh	Huy Huynh
4	huy	Huy Huynh

**Danh sách Slave Node**

STT	Slave ID	Địa chỉ Slave
1	002	0x32100000
2	004	0x20012301

**Danh sách Master Node**

STT	Master ID	X	Y	Z
1	0000	7850	10800	25600
2	0001	21650	9.10...	25430
3	0004	22150	1.48...	25420

Hình 4.31 Giao diện Cài đặt thông tin cấu hình hệ thống định vị của admin

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

**Building Information**

**HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG** Đăng xuất

Xem vị trí người dùng?

Mật khẩu:  SĐT:   
Mã quản lí:  Địa chỉ:  Cập nhật

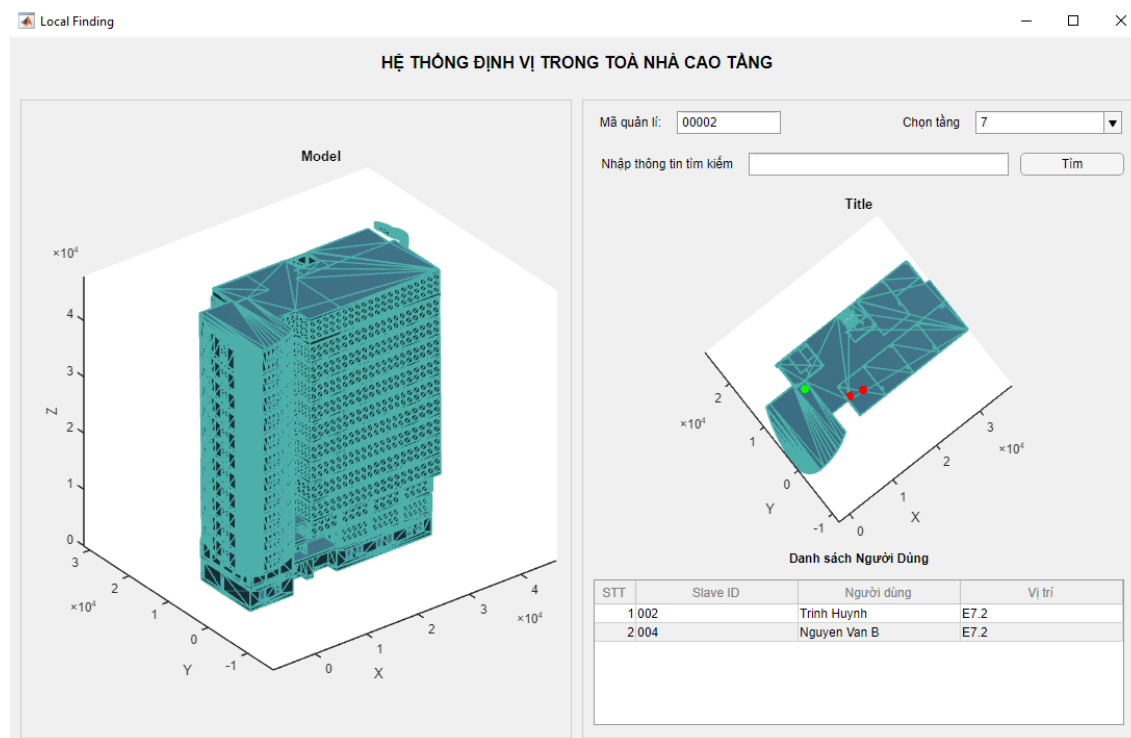
**Danh sách Slave Node**

STT	Slave ID	Người dùng	SĐT	Phòng ở/Địa chỉ
1	002	Trinh Huynh	0123445678	UIT
2	004	Nguyen Van B	0123445679	UIT

Hình 4.32 Giao diện quản lí tòa nhà của người quản lí

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

## Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG



Hình 4.33 Giao diện Hiển thị kết quả định vị

(Nguồn: Tác giả tự tổng hợp)

### 4.6 Kết chương

Trong chương này, tác giả tiến hành xây dựng hệ thống định vị trong nhà cao tầng dựa trên nền tảng lý thuyết đã được trình bày ở các chương trước. Bước đầu, tác giả tiến hành phân tích ứng dụng để tìm hiểu các tính năng cần thiết cũng như sơ đồ hoạt động, kiến trúc cơ bản của hệ thống để thu thập thông tin phục vụ cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu phù hợp. Bên cạnh đó, dựa trên các thông tin thu thập và phân tích được, tác giả tiến hành thiết kế các giao diện người dùng của hệ thống.

Sau khi phân tích và thiết kế ứng dụng, tác giả tiến hành hiện thực hóa ứng dụng. Hệ thống sẽ thu thập các thông tin đo lường khoảng cách do các nút Master gửi tới IOT Hub thông qua mạng không dây. IoT Hub sau đó sẽ tiến hành lưu trữ các thông tin thu thập được vào cơ sở dữ liệu Cosmos DB. Ứng dụng theo dõi vị trí đối tượng được định vị sẽ truy cập hệ thống để lấy các thông tin cần thiết phục vụ cho việc xác định và hiển thị vị trí của đối tượng theo dõi trên ứng dụng. Các



#### Chương 4. XÂY DỰNG HỆ THỐNG ĐỊNH VỊ TRONG NHÀ CAO TÀNG

thông tin đo lường sẽ được ứng dụng lọc thông qua bộ lọc Kalman nhằm tăng tính chính xác và giảm thiểu sai số.

Ứng dụng định vị vị trí đối tượng được xây dựng bằng chương trình Matlab. Trong ứng dụng, tác giả đã tiến hành mô hình hóa và vẽ lại mô hình 3D của tòa nhà E (ĐH Công Nghệ Thông Tin). Việc mô hình hóa giúp ứng dụng được trực quan và thể hiện vị trí của đối tượng rõ ràng hơn.

Hệ thống đã thu được một số kết quả khả quan ban đầu với sai số xấp xỉ 5 mét trong môi trường không có vật cản hoặc ít vật cản với đối tượng đứng yên. Tuy độ chính xác chưa cao nhưng hệ thống đã chứng minh được khả năng hiện thực hóa việc định vị vị trí đối tượng trong nhà với các mô đun LoRa. Mở ra một hướng nghiên cứu mới trong việc ứng dụng các tính năng sẵn có của mô đun LoRa.

## **Chương 5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ**

### **5.1 Kết luận**

Trong quá trình thực hiện luận văn, một số kết luận được đưa ra như sau:

- Việc sử dụng LoRa vào việc xây dựng hệ thống định vị trong nhà hoàn toàn khả thi. Đặc biệt là hệ thống định vị trong nhà với ngữ cảnh cứu hộ cứu nạn hỏa hoạn hoặc thiên tai.
- Độ chính xác hiện tại của hệ thống  $\leq 5m$ , với bộ tham số cài đặt dùng cho trường hợp định vị ngoài trời do nhà sản xuất đề xuất. Vì vậy hệ thống hoàn toàn có thể tăng độ chính xác bằng cách nghiên cứu, thực nghiệm xác định bộ tham số dành riêng cho môi trường định vị trong nhà.
- Xây dựng và triển khai được một hệ thống định vị trong một tầng của tòa nhà cao tầng – tòa nhà E Trường đại học Công nghệ Thông tin – Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh với đầy đủ thành phần thiết bị phần cứng, phần mềm tự thiết kế và cài đặt. Hệ thống hoạt động tốt, dễ dàng cài đặt và triển khai nhanh chóng.
- Hệ thống định vị cung cấp cho người dùng giao diện trực quan, thể hiện vị trí người/ vật cần định vị lên mô hình dạng 3D và 2D, xác định được tên phòng chứa người/ vật.
- Biết được phương pháp định vị vị trí người/ vật đứng yên trong nhà cao tầng theo thời gian thực sử dụng công nghệ LoRa,
- Hệ thống sử dụng Microsoft Azure do Microsoft cung cấp có độ ổn định, phản hồi nhanh chóng, phù hợp với nhiều nền tảng kết nối,
- Hệ thống lưu trữ dữ liệu trong Cosmos DB, một cơ sở dữ liệu NoSQL, giúp cho việc mở rộng, thêm, sửa, xóa một hay nhiều trường dữ liệu, thay đổi thông tin lưu trữ được thực hiện một cách dễ dàng và nhanh chóng.

## Chương 5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

- Thiết bị hiện tại không thể truyền phát xa trong môi trường có nhiều vật cản như trong tòa nhà nên luận văn chỉ dừng lại ở mức xác định vị trí vật thuộc phòng nào trong một tầng cố định, là tầng 7. Với 10 bộ mẫu test khác nhau, mỗi bộ mẫu có từ 4000 đến 11000 test case với độ chính xác lên đến trên 90%.
- Phần mềm tương đối hoàn thiện, đáp ứng phần lớn các chức năng ban đầu đặt ra.

### 5.2 Hạn chế

Một số hạn chế sau khi thực hiện luận văn như sau:

- Chỉ xác định được vị trí vật trong một tầng.
- Trường hợp đặt các master tạo thành tam giác tù với góc tù quá lớn hệ thống sẽ không thể hoạt động.

### 5.3 Khuyến nghị

Để chuẩn bị cho những nghiên cứu sâu hơn sắp tới, nhiều vấn đề đặt ra cần phải được xem xét giải quyết cũng như một số định hướng phát triển:

- Nghiên cứu cải thiện ăng-ten để tăng khả năng truyền xa trong môi trường có vật cản và chống nhiễu tốt hơn nhằm tăng độ chính xác của hệ thống.
- Nghiên cứu và mở rộng hệ thống, tích hợp cảm biến áp suất để có thể định vị được nhiều tầng hơn.
- Nghiên cứu phát triển định vị đối tượng di chuyển phi tuyến tính.

## **DANH MỤC CÔNG BỐ KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ**

(Không có)

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Hightower and G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, 2001.
- [2] H. Huang and G. Gartner, "A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems," in *Cartography in Central and Eastern Europe*(Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2009, pp. 305-319.
- [3] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, 2007.
- [4] S. Ram and J. Sharf, "The people sensor: a mobility aid for the visually impaired," presented at the Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215), 1998.
- [5] A. Alarifi *et al.*, "Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances," *Sensors*, vol. 16, no. 5, 2016.
- [6] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, 2009.
- [7] G. Jekabsons, V. Kairish, and V. Zuravlyov, "An Analysis of Wi-Fi Based Indoor Positioning Accuracy," *Scientific Journal of Riga Technical University. Computer Sciences*, vol. 44, no. 1, pp. 131-137, 2011.
- [8] H. Wu, A. Marshall, and W. Yu, "Path Planning and Following Algorithms in an Indoor Navigation Model for Visually Impaired," presented at the Second International Conference on Internet Monitoring and Protection (ICIMP 2007), 2007.
- [9] Z. Yang, Z. Zhou, and Y. Liu, "From RSSI to CSI: Indoor localization via channel response %J ACM Comput. Surv," vol. 46, no. 2, pp. 1-32, 2013.
- [10] A. M. Ladd, K. E. Bekris, A. Rudys, L. E. Kavraki, and D. S. J. W. N. Wallach, "Robotics-Based Location Sensing Using Wireless Ethernet," journal article vol. 11, no. 1, pp. 189-204, January 01 2005.
- [11] M. Youssef and A. Agrawala, "The Horus WLAN location determination system," presented at the Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services, Seattle, Washington, 2005.
- [12] P. Spachos, I. Papapanagiotou, and K. N. Plataniotis, "Microlocation for Smart Buildings in the Era of the Internet of Things: A Survey of Technologies, Techniques, and Approaches," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 35, no. 5, pp. 140-152, 2018.
- [13] J. Xiong and K. Jamieson, "ArrayTrack: a fine-grained indoor location system," 2013: Usenix.
- [14] S. Kumar, S. Gil, D. Katabi, and D. Rus, "Accurate indoor localization with zero start-up cost," in *Proceedings of the 20th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2014, pp. 483-494: ACM.
- [15] W. Dargie and C. Poellabauer, *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice*. John Wiley & Sons, 2010.

- [16] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, J. J. I. T. o. S. Liu, Man,, and P. C. Cybernetics, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, 2007.
- [17] J. Kwak and Y. Sung, "Beacon-based indoor location measurement method to enhanced common chord-based trilateration," *Journal of Information Processing Systems*, vol. 13, pp. 1640-1651, 01/01 2017.
- [18] C.-Y. Shih and P. J. Marrón, "COLA: Complexity-Reduced Trilateration Approach for 3D Localization in Wireless Sensor Networks," presented at the 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2010.
- [19] Semtech. (2016, Feb 12). *Semtech LoRa® Geolocation Solution to Open New Opportunities for IoT Network in Glasgow, Scotland*.
- [20] S.-K. Park, K.-i. Hwang, H.-S. Kim, and B.-S. Shim, "Challenges and Experiment with LoRaWAN," in *Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering*(Lecture Notes in Electrical Engineering, 2017, pp. 269-276.
- [21] Semtech, *SX1276/77/78 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver*. Semtech, 2013.
- [22] Ebyte. (2017, 3 March). *SX1280 Wireless Module E28 Series*. Available: <http://www.ebyte.com/en/pdf-down.aspx?id=563>
- [23] Semtech. (2017, Jan 15). *Application Note: An Introduction to Ranging with the SX1280 Transceiver*. Available: [https://www.semtech.com/uploads/documents/introduction\\_to\\_ranging\\_sx1280.pdf](https://www.semtech.com/uploads/documents/introduction_to_ranging_sx1280.pdf)
- [24] D. Bartlett, *Essentials of Positioning and Location Technology*. 2013.
- [25] S. Lanzisera, D. T. Lin, and K. S. Pister, "RF time of flight ranging for wireless sensor network localization," in *2006 international workshop on intelligent solutions in embedded systems*, 2006, pp. 1-12: IEEE.
- [26] M. Tony. (2015, March 17). *Microsoft Azure--the Big Picture*. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/mt573712.aspx>
- [27] E. V. Nam. (2016, Feb 02). *Các loại Module ESP8266*. Available: <https://esp8266.vn/introduction/esp-module/>

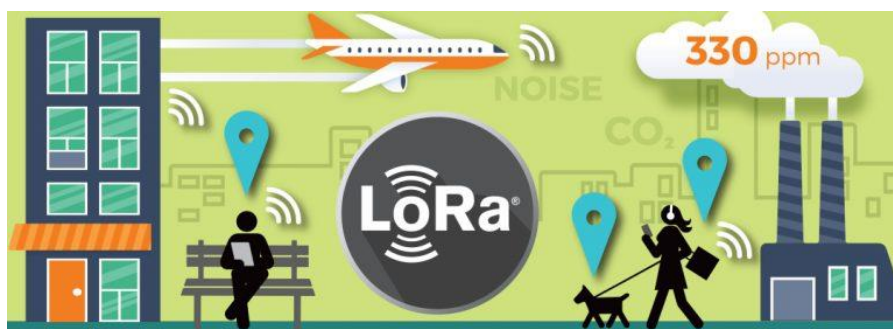
## PHỤ LỤC I. CÔNG NGHỆ LORA VÀ ĐIỆN TOÁN Đám MÂY AZURE

### Công nghệ Lora

#### Giới thiệu công nghệ LoRa

LoRa là viết tắt của Long Range Radio được nghiên cứu và phát triển bởi Cycleo và sau này được mua lại bởi công ty Semtech năm 2012. Với công nghệ này, chúng ta có thể truyền dữ liệu với khoảng cách lên hàng km mà không cần các mạch khuếch đại công suất; từ đó giúp tiết kiệm năng lượng tiêu thụ khi truyền/nhận dữ liệu. Do đó, LoRa có thể được áp dụng rộng rãi trong các ứng dụng thu thập dữ liệu như sensor network trong đó các sensor node có thể gửi giá trị đo đạc về trung tâm cách xa hàng km và có thể hoạt động với pin trong thời gian dài trước khi cần thay pin.

Với tầm xa, nền tảng không dây công suất thấp là sự lựa chọn công nghệ phổ biến hiện hành để xây dựng mạng IoT trên thế giới ứng dụng IoT thông minh đã cải thiện theo cách tương tác và giải quyết một số thách thức lớn nhất mà các thành phố và cộng đồng đang phải đối mặt như biến đổi khí hậu, kiểm soát ô nhiễm, cảnh báo thiên tai và cứu nạn. Việc kinh doanh cũng được hưởng lợi thông qua việc giảm chi phí do các mô đun Lora có giá thành rẻ và tiêu tốn ít năng lượng. Tiêu biểu có thể kể đến việc các mô đun LoRa được tích hợp vào xe ô tô, đèn đường, sản xuất thiết bị, đồ gia dụng, thiết bị đeo tay thông minh. Công nghệ Lora đang biến trái đất thành một hành tinh thông minh.



Hình PI.1 Mô hình thành phố thông minh dựa trên công nghệ LoRa

## **Nguyên lý hoạt động của LoRa ra sao?**

LoRa sử dụng kỹ thuật điều chế gọi là Chirp Spread Spectrum. Có thể hiểu nôm na nguyên lý này là dữ liệu sẽ được băm bằng các xung cao tần để tạo ra tín hiệu có dải tần số cao hơn tần số của dữ liệu gốc (cái này gọi là chipped); sau đó tín hiệu cao tần này tiếp tục được mã hoá theo các chuỗi chirp signal (là các tín hiệu hình sin có tần số thay đổi theo thời gian; có 2 loại chirp signal là up-chirp có tần số tăng theo thời gian và down-chirp có tần số giảm theo thời gian; và việc mã hoá theo nguyên tắc bit 1 sẽ sử dụng up-chirp, và bit 0 sẽ sử dụng down-chirp) trước khi truyền ra ăng-ten để gửi đi.

Theo Semtech công bố thì nguyên lý này giúp giảm độ phức tạp và độ chính xác cần thiết của mạch nhận để có thể giải mã và điều chế lại dữ liệu; hơn nữa LoRa không cần công suất phát lớn mà vẫn có thể truyền xa vì tín hiệu Lora có thể được nhận ở khoảng cách xa ngay cả độ mạnh tín hiệu thấp hơn cả nhiễu môi trường xung quanh.

Băng tần làm việc của LoRa từ 430MHz đến 915MHz cho từng khu vực khác nhau trên thế giới:

430MHz cho châu Á

780MHz cho Trung Quốc

433MHz hoặc 866MHz cho châu Âu

915MHz cho USA

Nhờ sử dụng Chirp signal mà các tín hiệu LoRa với các chirp rate khác nhau có thể hoạt động trong cùng 1 khu vực mà không gây nhiễu cho nhau. Điều này cho phép nhiều thiết bị LoRa có thể trao đổi dữ liệu trên nhiều kênh đồng thời (mỗi kênh cho 1 chirprate)

Khi nhắc tới Lora ta không thể không nhắc tới LoraWan. Vậy LoraWan là gì?

## **Tìm hiểu về LoRaWan**

LoRaWan là chuẩn giao tiếp dựa trên nền tảng công nghệ LoRa và được định nghĩa và phát triển bởi tổ chức Lora Alliance

Một thiết bị hỗ trợ LoRaWan sẽ có cấu trúc software như sau:



Application				
LoRa® MAC				
MAC options				
Class A (Baseline)	Class B (Baseline)	Class C (Continuous)		
LoRa® Modulation				
Regional ISM band				
EU 868	EU 433	US 915	AS 430	—

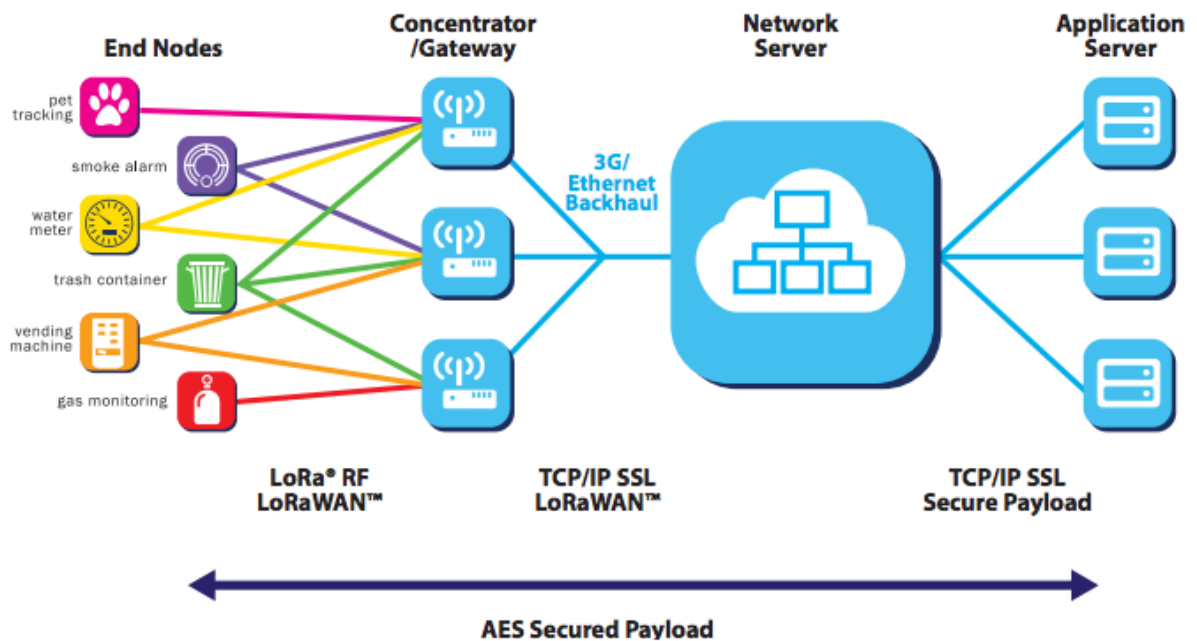
Hình PI.2 Phân lớp giao thức LoRaWan

Trong cấu trúc này thì LoRaWan bao gồm LoRa Mac (Class A, Class B, Class C) và hoạt động dựa trên lớp PHY là chip LoRa. Ở mỗi vùng khác nhau trên thế giới thì thiết bị LoRaWan phải cấu hình cho chip Lora hoạt động ở dãy băng tần cho phép như 433Mhz, 915MHz, ...

Rất nhiều mô hình mạng hiện nay được triển khai dựa trên kiến trúc mạng “mesh”. Ở trong mạng “mesh”, các “end-node” riêng biệt sẽ chuyển tiếp thông tin đến các “node” khác để gia tăng phạm vi truyền thông, tăng mức độ bao phủ của mạng. Tuy nhiên, điều này lại làm tăng thêm độ phức tạp, giảm dung lượng mạng, và đặc biệt, làm giảm tuổi thọ của pin khi các “node” nhận và gửi thông tin từ các “node” khác có khả năng không liên quan đến chúng. Trong khi đó, kiến trúc mạng “Star” giúp duy trì tuổi thọ của pin, đồng thời vẫn cho phép đạt được những kết nối truyền thông tầm xa.

Các thiết bị LoRaWan kết nối với nhau theo mô hình Star trong đó các thiết bị node sẽ gửi dữ liệu đến các thiết bị Gateway để từ đó sẽ gửi lên server và thực hiện xử lý dữ liệu trên server. Trong một mạng LoRaWAN, các “node” không cần phải gắn kết với một gateway cụ thể. Thay vào đó, dữ liệu được truyền bởi một “node” thông thường sẽ được nhận bởi nhiều “gateway” để thể hiện sự linh

hoạt trong việc kết nối. Mỗi gateway sẽ chuyển tiếp gói tin đã nhận từ các “end-node” đến “cloud server” thông qua các kết nối như Cellular, Ethernet, Wifi, hoặc thậm chí thông qua cả đường truyền vệ tinh nữa.



Hình PI.3 Kiến trúc mạng LoRaWAN

Do đó trong 1 mạng LoRaWan sẽ có 2 loại thiết bị:

- Device node: là các thiết bị cảm biến, hoặc các thiết bị giám sát được lắp đặt tại các vị trí làm việc ở xa để lấy và gửi dữ liệu về các thiết bị trung tâm. Có 3 loại device node là Class A, Class B và Class C
- Gateway: là các thiết bị trung tâm sẽ thu thập dữ liệu từ các device node và gửi lên 1 server trung tâm để xử lý dữ liệu. Các thiết bị Gateway thường sẽ được đặt tại 1 vị trí có nguồn cung cấp và có các kết nối network như Wifi, LAN, GSM để có thể gửi dữ liệu lên server.

### Các thông số hoạt động của thiết bị LoRa

#### Spreading Factor - SF

SF xác định số lượng chirp signal khi mã hóa tín hiệu đã được điều chế tần số (chipped signal) của dữ liệu. Ví dụ nếu SF=12 có nghĩa là 1 mức logic của chirped signal sẽ được mã hóa bởi 12 xung chirp signal.

Với chipset SX1280 của SemTech thì SF có giá trị từ 6 đến 12. Giá trị cho SF càng lớn thì thời gian truyền dữ liệu sẽ lâu hơn nhưng khoảng cách truyền sẽ xa hơn.

### **Bandwidth – BW**

BW xác định biên độ tần số mà chirp signal có thể thay đổi. Nếu bandwidth càng cao thì thời gian mã hóa chirped signal càng ngắn; từ đó thời gian truyền dữ liệu cũng giảm xuống nhưng đổi lại khoảng cách truyền cũng ngắn lại.

### **Coding Rate – CR**

CR là số lượng bit được tự thêm vào mỗi trong Payload trong LoRa radio packet bởi LoRa chipset để mạch nhận có thể sử dụng để phục hồi lại 1 số bit dữ liệu đã nhận sai và từ đó phục hồi được nguyên vẹn dữ liệu trong Payload. Do đó, sử dụng CR càng cao thì khả năng nhận dữ liệu đúng càng tăng; nhưng bù lại chip LoRa sẽ phải gửi nhiều dữ liệu hơn (có thể làm tăng thời gian truyền dữ liệu trong không khí).

Với chipset SX1276 thì chúng ta có 4 giá trị cho CR là 4/5, 4/6, 4/7 và 4/8. Tương ứng mỗi giá trị của CR thì số lượng dữ liệu tăng thêm như sau:

*Bảng PI.1 Bảng quy đổi giữa giá trị CR và dữ liệu tăng thêm*

Mức mã hóa (CR – Coding Rate)	Tỉ lệ dữ liệu truyền tăng thêm
4/5	1.25
4/6	1.5
4/7	1.75
4/8	2

*(Nguồn: Được trích dẫn từ [21])*

Nếu  $CR = 4/8$  thì cứ mỗi 4 bits data nó sẽ được mã hóa bởi 8 bits, tức là chipset LoRa phải gửi gấp đôi dữ liệu cần truyền. Do đó chúng ta có thể sử dụng CR thấp để tăng lưu lượng nhưng độ nhạy sẽ kém đi do khả năng tự phục hồi dữ liệu của chipset LoRa sẽ thấp hơn.

Có thể nói SF, BW và CR là 3 thông số cơ bản và quan trọng của chipset LoRa. Trong đó, SF và BW sẽ ảnh hưởng thời gian và khoảng cách truyền dữ

liệu; CR thì chỉ ảnh hưởng thời gian truyền dữ liệu. Tùy yêu cầu của ứng dụng cụ thể về khoảng cách, tốc độ gửi dữ liệu, v.v... chúng ta có thể chọn giá trị hợp lý để tối ưu quá trình truyền nhận qua LoRa

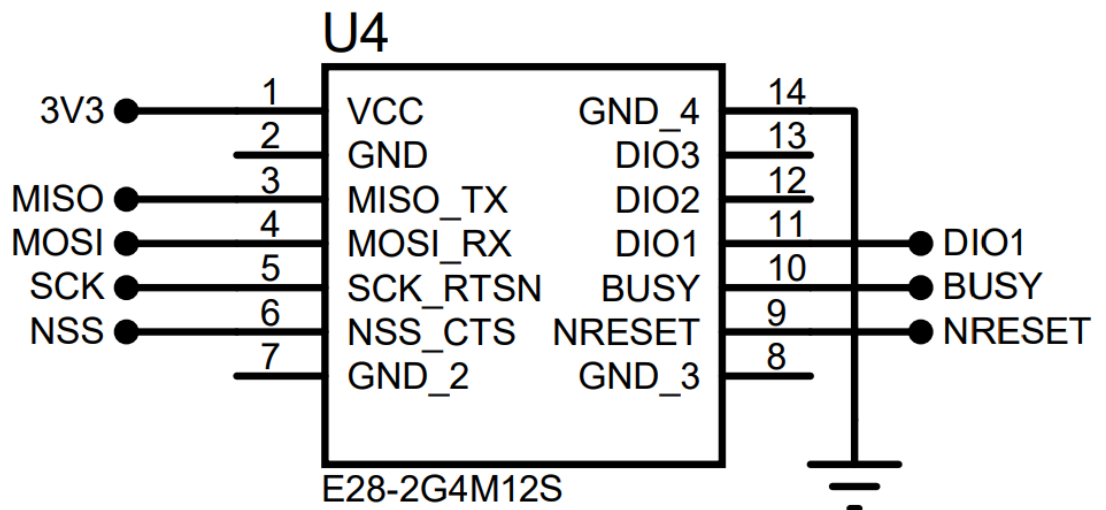
### **Xác định khoảng cách giữa 2 mô-đun LoRa**

#### **Mô-đun LoRa SX1280 - E28-2G4M12S**

Bộ truyền nhận SX1280 do hãng sản xuất Semtech sản xuất, sử dụng công nghệ LoRa ở tần số 2.4GHz với khả năng chịu nhiễu cao. Điều này giúp trở thành một thiết bị lý tưởng trong các giải pháp không dây mạnh mẽ và có độ tin tưởng cao. Đây cũng là IC truyền nhận dữ liệu đầu tiên hoạt động trong băng tần ISM có tích hợp chức năng đếm thời gian đi của gói tin Time-of-Flight (ToF), mở ra các giải pháp ứng dụng vào việc theo dõi và định vị người, thú nuôi, máy bay không người lái hay các vật thể, đối tượng trong nhà máy.



*Hình PI.4 Mô-đun LoRa SX1280 – E28-2G4M12S*



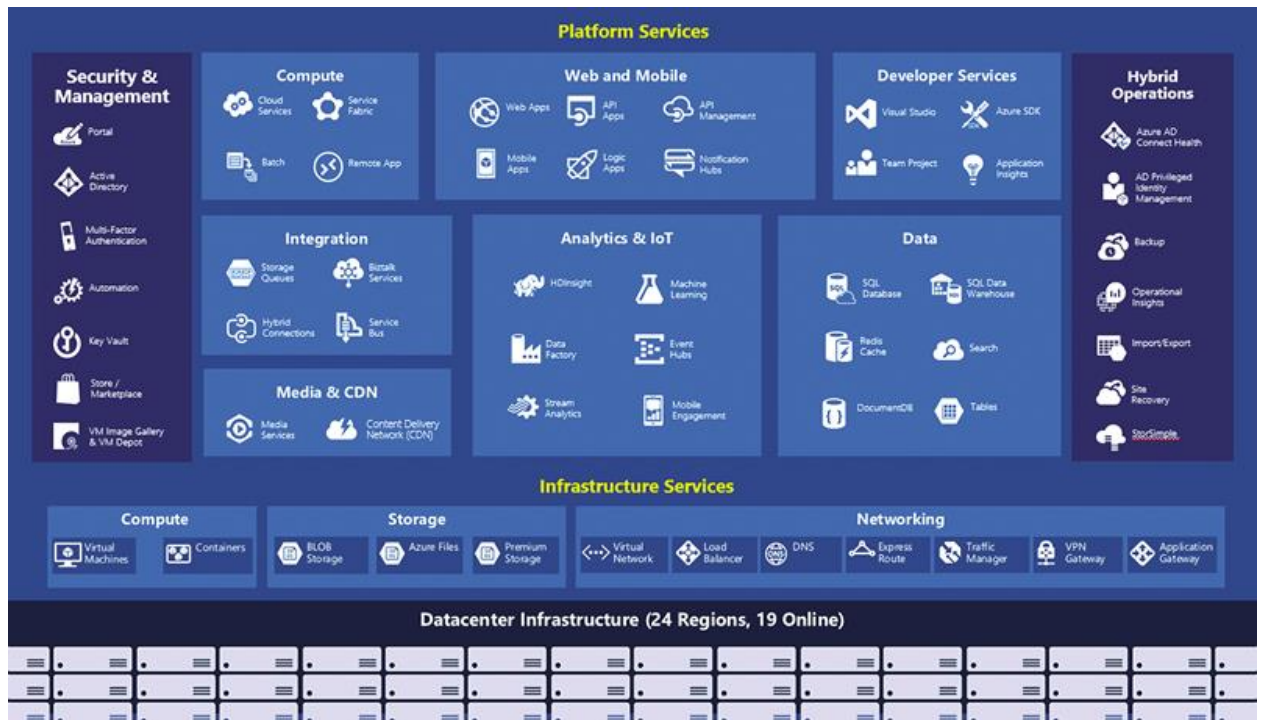
Hình PI.5 Thiết kế mạch của mô-đun LoRa SX1280 – E28-2G4M12S

Các đặc điểm cơ bản của mô-đun LoRa:

- Sử dụng công nghệ LoRa ở tần số 2.4GHz
- Độ nhạy cao lên đến -132dBm
- Có tích hợp bộ khuếch đại RF lên đến +12.5dBm
- Năng lượng tiêu thụ thấp
- Hỗ trợ các bộ điều chế sóng LoRa, FLRC, (G)FSK

### Công nghệ điện toán đám mây Azure

Microsoft Azure là nền tảng tính toán đám mây được xây dựng bởi Microsoft dành cho xây dựng, kiểm thử, triển khai và quản lý các ứng dụng và dịch vụ thông qua mạng lưới trung tâm dữ liệu được quản lý bởi Microsoft. Nó cung cấp các phần mềm, nền tảng, và hệ thống cơ sở hạ tầng như các dịch vụ hỗ trợ nhiều ngôn ngữ lập trình, framework, công cụ khác nhau.



Hình PI.6 Tổng quan các dịch vụ của Microsoft Azure

Các dịch vụ mà Azure cung cấp:

- Compute:
- Mobile services.
- Storage services.
- Data management.
- Messaging.
- Media services.
- CDN
- Developer
- Managemet
- Machine learning
- IoT

Do các dịch vụ của nền tảng Microsoft Azure rất phong phú và đa dạng nên luận văn sẽ chỉ tập trung đi sâu vào giới thiệu về các dịch vụ được sử dụng.

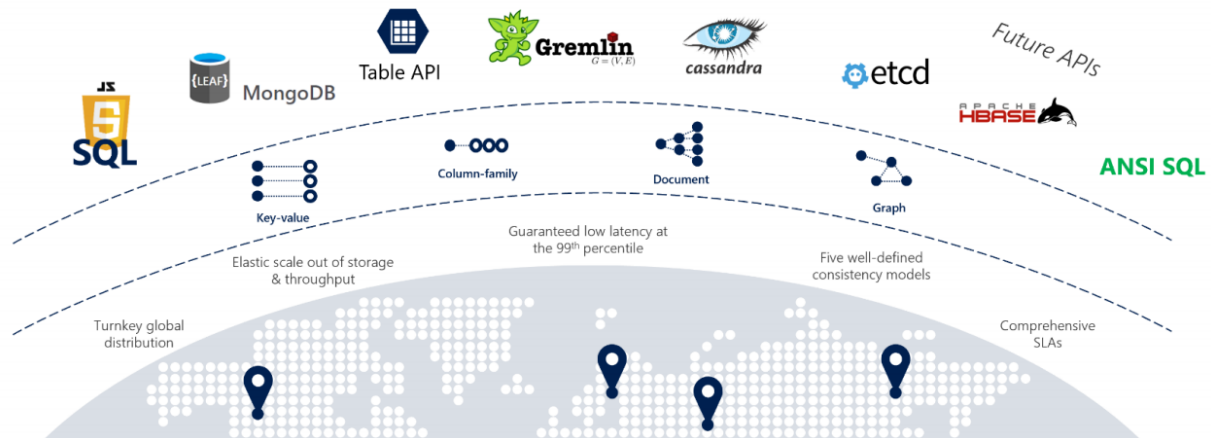
### Nền tảng cơ sở dữ liệu Azure Cosmos DB

Azure Cosmos DB là một dịch vụ lưu trữ và quản lý cơ sở dữ liệu hỗ trợ nhiều mô hình dữ liệu (multi-model) và có khả năng mở rộng ở phạm vi toàn

cầu, giúp các nhà phát triển nhanh chóng xây dựng được một giải pháp cơ sở dữ liệu trên môi trường điện toán đám mây với tính ổn định cao.

## Azure Cosmos DB

Microsoft's globally distributed, massively scalable, multi-model database service



Hình PI.7 Các mô hình dữ liệu được hỗ trợ bởi Azure Cosmos DB

Azure Cosmos DB có khả năng sao chép (replicate) toàn bộ dữ liệu trong cơ sở dữ liệu ra phạm vi toàn cầu với hơn 30 trung tâm lưu trữ dữ liệu (datacenter) của Microsoft Azure đặt tại hầu hết khắp các lục địa trên Thế giới. Với khả năng sao chép dữ liệu phạm vi toàn cầu như vậy, ứng dụng kết nối tới Azure Cosmos DB sẽ có độ trễ (latency) rất thấp với 99% các thao tác với dữ liệu được đảm bảo ở mức dưới 10 ms cho đọc và 15 ms cho ghi. Azure Cosmos DB sẽ điều hướng các request tới khu vực có dữ liệu sao chép gần nhất.

Ngoài ra, với việc hỗ trợ sao chép dữ liệu ở phạm vi toàn cầu, Cosmos DB cung cấp giải pháp “chống sụp đổ” dựa trên cơ chế chuyển đổi dự phòng (failover) cho hệ thống database lưu trữ trên đây khi xảy ra các sự cố. Khi xảy ra sự cố ở phạm vi khu vực lớn như mất điện toàn bộ datacenter hoặc phạm vi toàn quốc gia hoặc đa quốc gia (một sự cố rất rất hiếm khi xảy ra), Cosmos DB có khả năng xử lý tự động theo thứ tự ưu tiên hoặc xử lý thủ công.

Với những ưu điểm kể trên, Azure Cosmos DB phù hợp cho các bài toán có ứng dụng phân phối ở phạm vi toàn cầu cần đảm bảo độ trễ thấp khi truy suất dữ liệu, hay các bài toán về IoT với các yêu cầu về một cơ sở dữ liệu có khả năng chịu tải lớn phục vụ cho phân tích thời gian thực (real-time analytics), mở rộng

quy mô (scale) linh hoạt cũng như hỗ trợ thực hiện các truy vấn (ad-hoc query) với hiệu suất cao.

## Azure Functions

Azure Functions là dịch vụ cho phép các lập trình viên có thể chạy các đoạn mã có độ phức tạp của nghiệp vụ không cao hay được gọi là các “function” (các hàm) để giải quyết một bài toán cụ thể nào đấy trên điện toán đám mây mà không muốn bận tâm tới các thành phần khác liên quan trong ứng dụng cũng như hạ tầng để chạy được function này.



Hình PI.8 Kiến trúc Azure Functions

## Cơ chế hoạt động của Azure Functions

Azure Functions được xây dựng dựa trên 2 cơ chế trigger và binding. Hiểu một cách đơn giản, trigger được sử dụng để làm cho function của bạn chạy, nó sẽ dựa vào một sự kiện nào đấy để kích hoạt function của bạn. Còn binding là cách để khai báo các dịch vụ được sử dụng để đơn giản hóa việc tương tác với dữ liệu đầu vào (input data) và dữ liệu đầu ra (output data). Không có giới hạn về số lượng binding input data và binding output data của một function. Tuy nhiên, một function chỉ có thể binding một trigger duy nhất.

Azure Functions hỗ trợ khá nhiều trigger và các dịch vụ có thể binding, cho phép bạn xây dựng được các giải pháp như xử lý dữ liệu, tích hợp hệ thống, các giải pháp cho IoT, hay xây dựng các API và microservice đơn giản.

Bảng PI.2 Azure Functions – Các Trigger và Binding

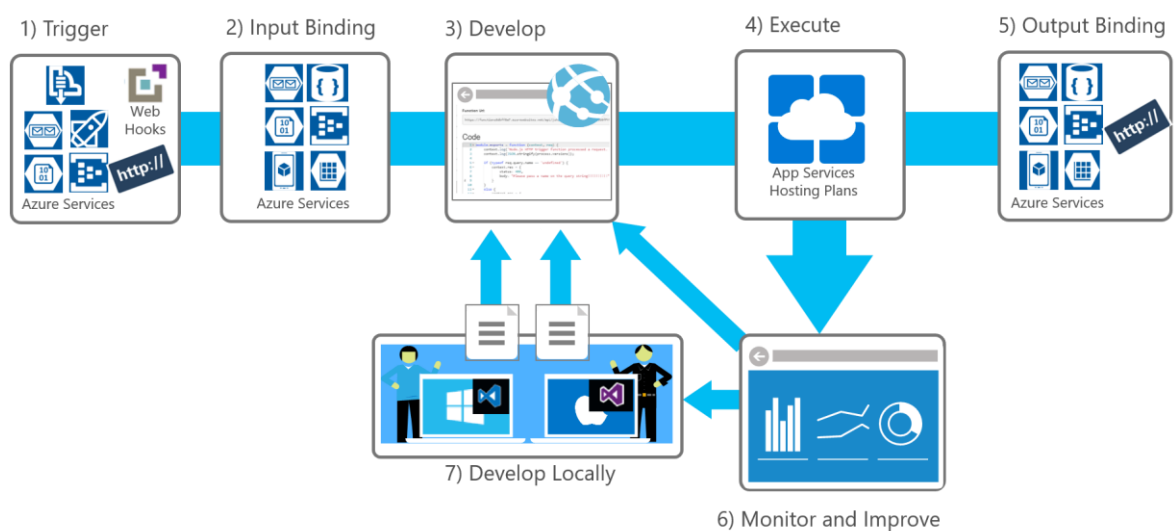
Type	Service	Trigger	Input	Output
Schedule	Azure Functions	✓		
HTTP (REST or	Azure Functions	✓		✓*



webhook)				
Blob Storage	Azure Storage	✓	✓	✓
Events	Azure Event Hubs	✓		✓
Queues	Azure Storage	✓		✓
Queues and topics	Azure Service Bus	✓		✓
Tables	Azure Storage		✓	✓
Tables	Azure Mobile Apps		✓	✓
No-SQL DB	Azure DocumentDB		✓	✓
Push Notifications	Azure Notification Hubs			✓
Twilio SMS Text	Twilio			✓

### Quy trình phát triển giải pháp serverless sử dụng Azure Functions

Biểu đồ biểu diễn quy trình xây dựng một giải pháp serverless sử dụng Azure Functions được thể hiện ở hình dưới.



Hình PI.9 Biểu đồ biểu diễn giải pháp serverless sử dụng Azure Functions

Trước tiên, cần lựa chọn 1 trigger phù hợp (1) Trigger) cũng như binding những input data cần thiết (2) Input Binding) cho function. Sau khi binding trigger và input data phù hợp, cần xây dựng (code) function. Azure Functions hỗ trợ xây dựng function ngay trực tiếp trên trình duyệt web (3) Develop) hoặc sử

dụng các IDE quen thuộc của mình để phát triển function như Visual Studio, IntelliJ IDEA, Eclipse, ... (7) Develop Locally). Sau khi xây dựng function và publish nó lên Azure Functions thành công, function sẽ ở trạng thái “đợi được chạy” / “lắng nghe sự kiện” dựa vào trigger mà lập trình viên lựa chọn. Khi function được chạy, dữ liệu sẽ được lưu lại/ trả về theo thiết lập binding của output data (5) Output Binding). Có thể sử dụng các giải pháp insights như Azure Application Insights để theo dõi tình trạng của function (số lượng người sử dụng, tỉ lệ crash, tỉ lệ lỗi, ...) của mình từ đó có thể đưa ra được những cải tiến về sau (6) Monitor and Improve).

### **Azure IoT Hub**

IoT Hub là một sản phẩm đám mây thuộc khối Nền tảng (Nền tảng như một dịch vụ - PaaS), hỗ trợ kết nối giữa thiết bị IoT tới đám mây và từ đám mây tới thiết bị.

IoT Hub nhận dữ liệu từ các thiết bị IoT và xử lý realtime (thời gian thực) trên cloud giúp khách hàng có thể cài đặt cảnh báo và cảnh báo realtime qua email, SMS và webhook.

IoT Hub tích hợp dễ dàng với các giải pháp cloud khác như vStorage, VinaData DBaaS, Vinadata IoT Analytics, AWS, Azure và tích hợp với ứng dụng khách hàng qua API giúp khách hàng có đầy đủ công cụ xây dựng một giải pháp IoT hoàn chỉnh.

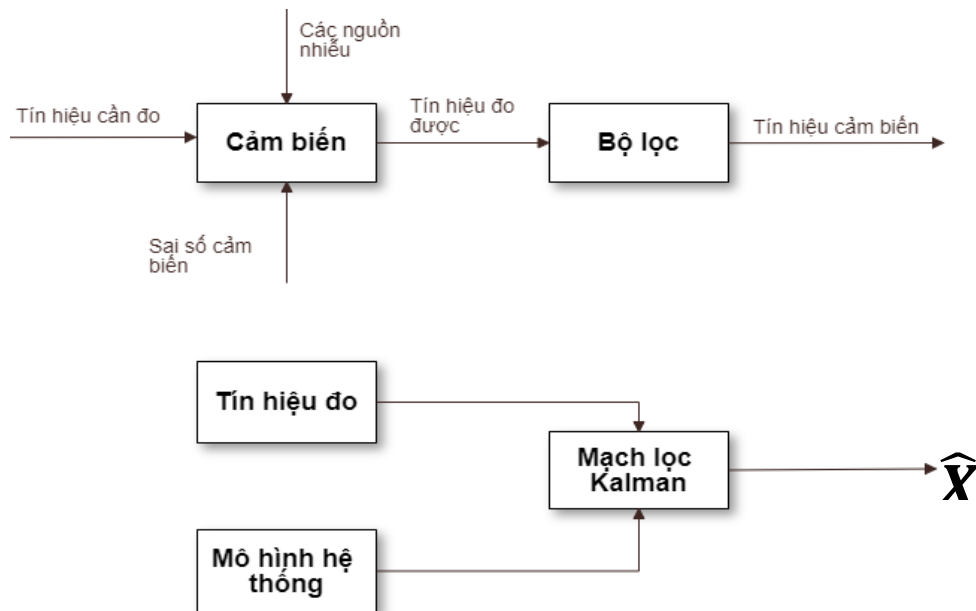
IoT Hub giúp khách hàng tiết kiệm chi phí, công sức và thời gian để xây dựng giải pháp IoT cho dự án riêng với qui mô không giới hạn, phù hợp cả cho các doanh nghiệp khởi nghiệp ở mức Startup Scale hay các doanh nghiệp quy mô lớn ở tầm cỡ Industry Scale.

## **PHỤ LỤC II. BỘ LỌC KALMAN**

### **Giới thiệu chung về bộ lọc Kalman**

Được đề xuất từ năm 1960 bởi giáo sư Kalman để thu thập và kết hợp linh động các thông tin từ cảm biến thành phần. Một khi phương trình định hướng và mẫu thống kê nhiễu trên mỗi cảm biến được biết và xác định, bộ lọc Kalman sẽ cho ước lượng giá trị tối ưu (chính xác do đã được loại sai số, nhiễu) như là đang sử dụng một tín hiệu “tinh khiết” và có độ phân bố không đổi. Trong hệ thống này, tín hiệu cảm biến vào bộ lọc gồm hai tín hiệu: từ cảm biến góc (inclinometer) và cảm biến vận tốc góc (gyro). Tín hiệu đầu ra của bộ lọc là tín hiệu của inclinometer và gyro đã được loại nhiễu nhờ hai nguồn tín hiệu hỗ trợ và xử lý lẫn nhau trong bộ lọc, thông qua quan hệ (vận tốc góc = đạo hàm/vi phân của giá trị góc).

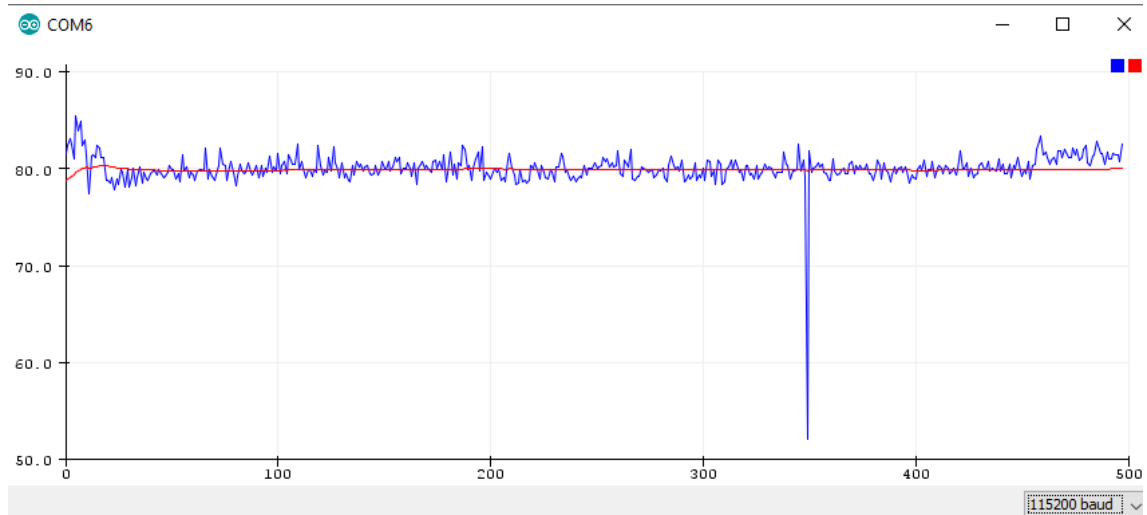
Bộ lọc Kalman đơn giản là thuật toán xử lý dữ liệu hồi quy tối ưu. Có nhiều cách xác định tối ưu, phụ thuộc tiêu chuẩn lựa chọn trình thông số đánh giá. Nó cho thấy rằng bộ lọc Kalman tối ưu đối với chi tiết cụ thể trong bất kỳ tiêu chuẩn có nghĩa nào. Một khía cạnh của sự tối ưu này là bộ lọc Kalman hợp nhất tất cả thông tin được cung cấp tới nó. Nó xử lý tất cả giá trị sẵn có, ngoại trừ độ sai số, ước lượng giá trị hiện thời của những giá trị quan tâm, với cách sử dụng hiểu biết động học thiết bị giá trị và hệ thống, mô tả số liệu thống kê của hệ thống nhiễu, gồm nhiễu ồn, nhiễu đo và sự không chắc chắn trong mô hình động học, và những thông tin bất kỳ về điều kiện ban đầu của giá trị quan tâm.



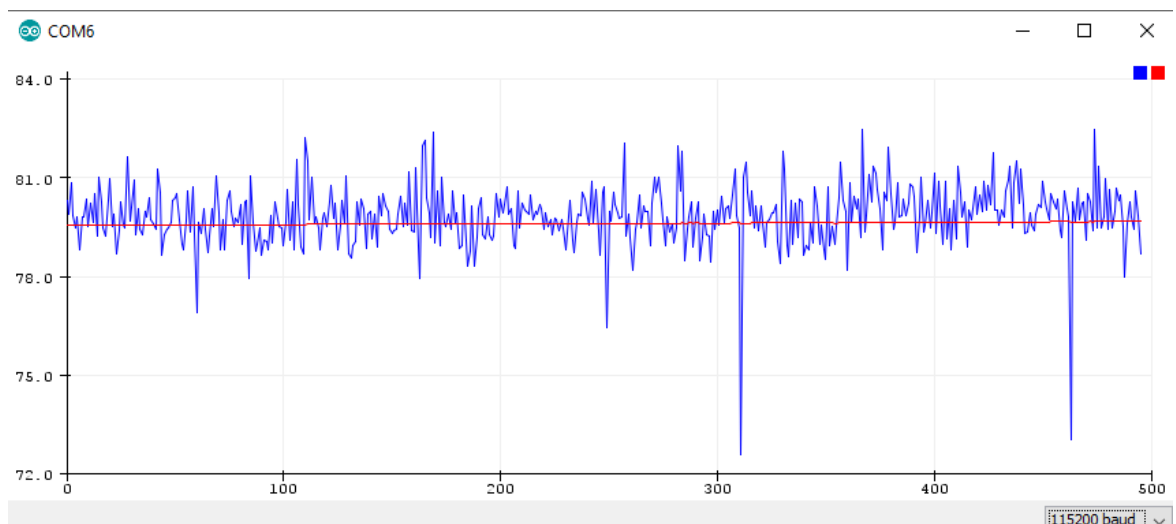
*Hình PII.1 Mô hình đo lường ước lượng của bộ lọc Kalman*

Hình trên mô hình hóa hoạt động của mạch lọc Kalman. Chúng ta có tín hiệu đo được, chúng ta có mô hình của tín hiệu đo được (đòi hỏi tuyến tính) và sau đó là áp dụng vào trong hệ thống phương trình của mạch lọc để ước lượng trạng thái quan tâm. Thực ra tín hiệu đo là không khó, phương trình đã có sẵn, cái chúng ta cần chính là mô hình hoá hệ thống. Để có thể ứng dụng một cách hiệu quả mạch lọc Kalman thì chúng ta phải mô hình hóa được một cách tuyến tính sự thay đổi của trạng thái cần ước lượng hoặc dự đoán.

Bên dưới, đường màu xanh là tín hiệu thu được khi đo khoảng cách giữa hai LoRa, đường màu đỏ là kết quả sau khi lọc với bộ lọc Kalman. Kết quả sau khi sử dụng bộ lọc Kalman có sự thay đổi ở giai đoạn đầu và ổn định dần về sau.



*Hình PII.2 Tín hiệu thu trước và sau khi lọc qua Kalman khi hệ thống mới khởi động*



*Hình PII.3 Tín hiệu thu trước và sau khi lọc qua Kalman khi hệ thống đã ổn định*

### Ứng dụng của bộ lọc Kalman

Bởi vì bộ lọc Kalman giải quyết một số vấn đề cơ bản là lọc nhiễu và tối ưu cho các ước lượng nên nó được ứng dụng rất rộng rãi. Ngày nay Kalman được ứng dụng nhiều trong các ô tô tự lái có khả năng thay thế con người vận hành xe, một chương trình máy tính được cài sẵn bộ lọc Kalman sẽ có nhiệm vụ điều khiển xe. Những chiếc xe này thậm chí còn được giới thiệu là an toàn hơn xe lái bởi con người trong một số trường hợp.

Một ứng dụng khác, có thể chúng ta không thích thú lắm, đó là các tên lửa không đối không (air-to-air missile: AAM). Đó là các tên lửa dẫn hướng việc bắn từ một máy bay để tiêu diệt máy bay khác. Tên lửa dẫn hướng hoạt động theo nguyên lý phát hiện mục tiêu (thông thường bằng rada hoặc hồng ngoại, đôi khi cũng sử dụng Lazer hoặc quang học) sau đó tự động dẫn đến mục tiêu nhờ quá trình ước lượng của Kalman.

Ngoài ra bộ lọc Kalman còn được áp dụng nhiều vào hệ thống theo dõi mục tiêu di động trong mạng cảm biến không dây. Do nhiễu đo lường trên các cảm biến nên kết quả thu được thường không chính xác, có sai số lớn so với thực tế. Bộ lọc Kalman được áp dụng để lọc nhiễu, dự đoán, ước lượng trạng thái của mục tiêu như vị trí, tốc độ và quỹ đạo. Nhờ có quá trình dự đoán và điều chỉnh của bộ lọc Kalman đã góp phần quan trọng vào việc quản lý trạng thái các cảm biến làm giảm thiểu năng lượng tiêu thụ cũng như tăng chất lượng theo dõi và kéo dài thời gian sống của mạng.

Một số ứng dụng được liệt kê từ bài viết Kalman Filter trên Wikipedia:

- Lái tự động máy bay (Autopilot).
- Ước lượng trạng thái sạc của pin (Battery state of charge (SoC) estimation).
- Giao diện tương tác với máy tính bằng não (Brain–computer interface).
- Định vị chuyển động (Dynamic positioning).
- Các ứng dụng trong kinh tế, đặc biệt là kinh tế vĩ mô, time series, và econometrics.
- Hệ thống dẫn đường quán tính (Inertial guidance system).
- Theo dõi bằng radar (Radar tracker).
- Hệ thống định vị vệ tinh (Satellite navigation systems).
- Dự báo thời tiết (Weather forecasting).
- Hệ thống định vị (Navigation Systems).
- Mô hình hóa 3 chiều (3D-Modelling).

## Tóm tắt các phương trình của bộ lọc Kalman

Trong phần này, tác giả sẽ tóm tắt các phương trình tổng quát của giải thuật lọc Kalman. Giải thuật bao gồm 2 quá trình: Quá trình ước lượng và quá trình điều chỉnh.

### ❖ Quá trình ước lượng:

Bộ lọc Kalman dựa vào trạng thái ước lượng điều chỉnh  $\hat{x}_{k|k}$  – là ước lượng của  $x_k$  để ước lượng trạng thái  $\hat{x}_{k+1|k}$  – là ước lượng dự đoán của  $x_{k+1}$  cho phép đo  $z_{k+1}$

Trạng thái dự đoán:

$$\hat{x}_{k+1|k} = \mathbf{F}_k \hat{x}_{k|k} + \mathbf{G}_k u_k$$

Hệ phương sai ước lượng dự đoán:

$$\mathbf{P}_{k+1|k} = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k|k} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_k$$

Đo lường dự đoán:

$$\hat{z}_{k+1|k} = \mathbf{H}_{k+1} \hat{x}_{k+1|k}$$

### ❖ Quá trình điều chỉnh:

Độ lệch đo lường:

$$\mathbf{r}_{k+1} = z_{k+1} - \mathbf{H}_{k+1} \hat{x}_{k+1|k}$$

Hiệp phương sai độ lệch:

$$\mathbf{S}_{k+1} = \mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1|k} \mathbf{H}_{k+1}^T + \mathbf{R}_{k+1}$$

Độ lợi Kalman:

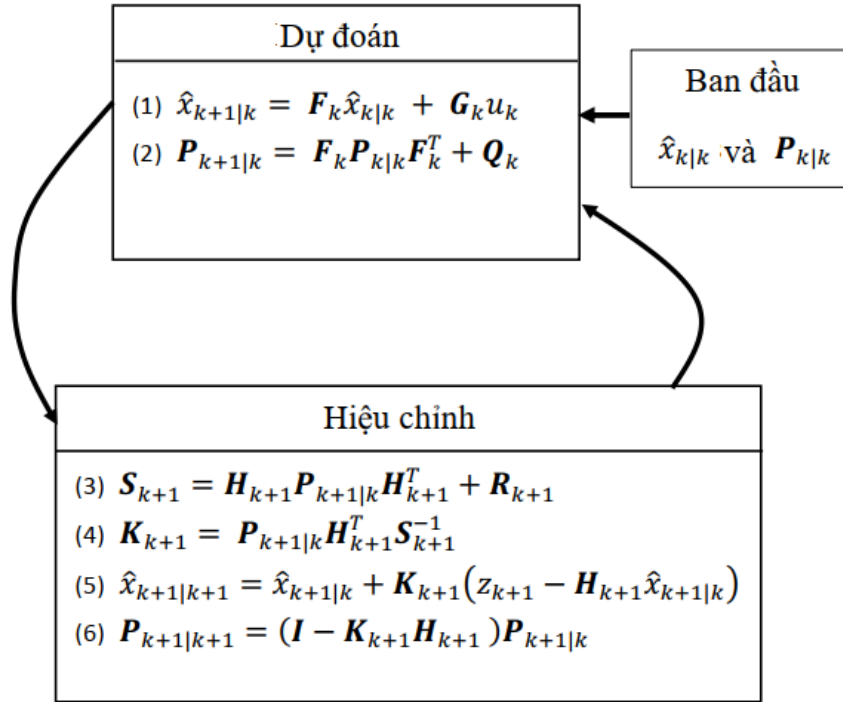
$$\mathbf{K}_{k+1} = \mathbf{P}_{k+1|k} \mathbf{H}_{k+1}^T \mathbf{S}_{k+1}^{-1}$$

Trạng thái ước lượng điều chỉnh:

$$\hat{x}_{k+1|k+1} = \hat{x}_{k+1|k} + \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{r}_{k+1}$$

Hiệp phương sai ước lượng điều chỉnh:

$$\mathbf{P}_{k+1|k+1} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{H}_{k+1}) \mathbf{P}_{k+1|k}$$



Hình PII.4 Tóm tắt quá trình khởi tạo của Kalman

Trong đó:

$\hat{x}_{k+1|k}$ : Ước lượng dự đoán của trạng thái  $x_{k+1}$  dựa trên quan sát ở thời điểm  $k$ .

$F_k$ : Ma trận chuyển trạng thái.

$G_k$ : Ma trận chuyển đổi đầu vào.

$u_k$ : Vector điều khiển đầu vào.

$P_{k+1|k}$ : Hiệp phương sai ước lượng dự đoán, là trung bình bình phương sai số trong ước lượng  $\hat{x}_{k+1|k}$ .

$F_k^T$ : Ma trận chuyển trạng thái chuyển vị.

$Q_k$  và  $R_k$ : Các ma trận nhiễu đo lường đối xứng nửa xác định dương.

$H_{k+1}$ : Ma trận quan sát tại thời điểm  $k+1$ .

$S_{k+1}$ : Hiệp phương sai độ lệch đo lường.

$K_{k+1}$ : Ma trận độ lợi Kalman.



Cùng với các điều kiện ban đầu trong ước lượng và ma trận hiệp phương sai lỗi của nó đã định nghĩa một giải thuật rời rạc hóa về thời gian và đệ quy để xác định hiệp phương sai ước lượng tuyến tính tối thiểu được gọi là bộ lọc Kalman.

## PHỤ LỤC III. FILE STL

### File STL là gì?

File với định dạng STL là file lưu trữ các thông tin về các mô hình 3D. Định dạng này chỉ lưu trữ bề mặt hình học của các đối tượng 3D mà không có bất kỳ thông tin đại diện nào về colors, texture hay các thông tin thuộc tính thông thường nào khác.

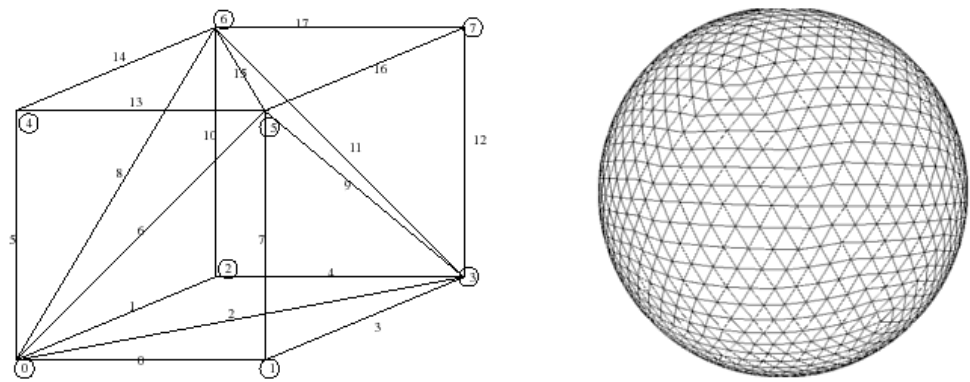
Định dạng STL thường được sử dụng như là định dạng cho in ấn 3D. Khi sử dụng cùng với 3 slicer, chúng cho phép máy tính giao tiếp với phần cứng của máy in 3D. Kể từ khi xuất hiện cho tới nay, định dạng STL đã được hỗ trợ bởi nhiều phần mềm khác nhau, và ngày nay nó được sử dụng rộng rãi cho việc tạo mẫu nhanh, in ấn 3D,...

### Làm thế nào để file STL lưu giữ thông tin mô hình 3D?

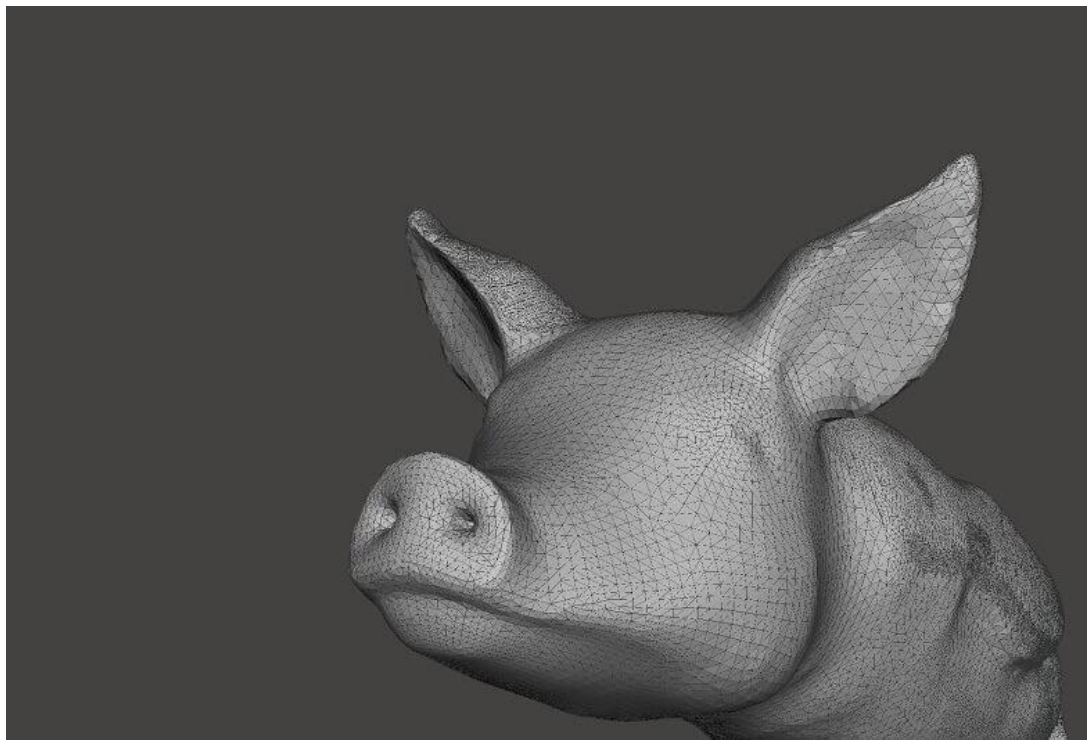
Mục đích chính của định dạng STL là để mã hoá các bề mặt hình học của một đối tượng 3D, nó mã hoá các thông tin theo nguyên tắc đơn giản được gọi là “Tessellation”.

Tessellation là việc lát ốp bề mặt hình học với một hoặc nhiều hình và chúng không đè lên nhau cũng không có khoảng trống giữa các hình này. Nguyên tắc cơ bản này là để ốp lát các bề mặt 2D bên ngoài của một mô hình 3D với các hình tam giác tí hon nó cũng được gọi là các khía cạnh (facets) và lưu giữ các thông tin của các facets này trong một tệp tin.

Ví dụ nếu là một hình lập phương, nó sẽ được bao phủ bởi 12 hình tam giác bởi vì có 2 hình tam giác cho một mặt, hình lập phương có 6 mặt nên cần 12 hình tam giác để bao phủ nó. Nếu là một hình cầu, sẽ cần rất nhiều hình tam giác để bao phủ bề mặt của nó. Còn nếu là một hình 3D cực kỳ phức tạp thì nó sẽ được ốp lát cực kỳ phức tạp bởi rất rất nhiều hình tam giác. Bên dưới là hình minh họa cho Tessellation của hình lập phương, hình cầu và một hình 3D.



*Hình PLIII.1. Tessellation của hình lập phương và hình cầu*



*Hình PLIII.2. Tessellation của một hình 3D phức tạp*

Nếu có thể lưu các thông tin về các hình tam giác này trong một tệp tin, hoàn toàn biểu diễn được các bề mặt của một mô hình 3D tùy ý. Đó là nguyên tắc cơ bản của việc lưu trữ trên file với định dạng STL.

#### **Cách file STL lưu trữ thông tin về các khía cạnh (facets)**

Định dạng STL cung cấp 2 cách khác nhau để lưu trữ thông tin về các khía cạnh (facets) cái mã để ồp lát bề mặt của mô hình 3D là

- ASCII encoding
- Binary encoding

Ở mức đề tài sử dụng định dạng ASCII encoding để đọc, lưu trữ và xây dựng mô hình 3D.

Tệp tin có định dạng ASCII encoding bắt buộc bắt đầu với dòng:

***solid <name>***

Với <name> là tên của mô hình 3D, tên này có thể để trống, tuy nhiên phải có một khoảng trắng giữa tên với từ khoá solid

Các thông tin tiếp theo với các thông tin miêu tả các hình tam giác. Các thông tin về các đỉnh và các vector đại diện cho các đỉnh của tam giác được lưu trữ như sau:

***facet normal  $n_x$   $n_y$   $n_z$***

***outer loop***

***vertex  $v1_x$   $v1_y$   $v1_z$***

***vertex  $v2_x$   $v2_y$   $v2_z$***

***vertex  $v3_x$   $v3_y$   $v3_z$***

***endloop***

***endfacet***

Trong đó facet normal ( $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$ ) là vector chỉ hướng của một tam giác ốp lát, 3 hàng vertex tiếp theo là biểu thị tọa độ của 3 đỉnh trong một tam giác trên tọa độ Oxyz.

```

facet normal 0 1 0
  outer loop
    vertex 34.89438629150391 95.41000366210938 36.27999877929688
    vertex 61.95000076293945 95.41000366210938 2.88764564323129e-15
    vertex 34.89438629150391 95.41000366210938 2.88764564323129e-15
  endloop
endfacet
facet normal 0 1 0
  outer loop
    vertex 61.95000076293945 95.41000366210938 2.88764564323129e-15
    vertex 34.89438629150391 95.41000366210938 36.27999877929688
    vertex 61.95000076293945 95.41000366210938 36.27999877929688
  endloop
endfacet

```

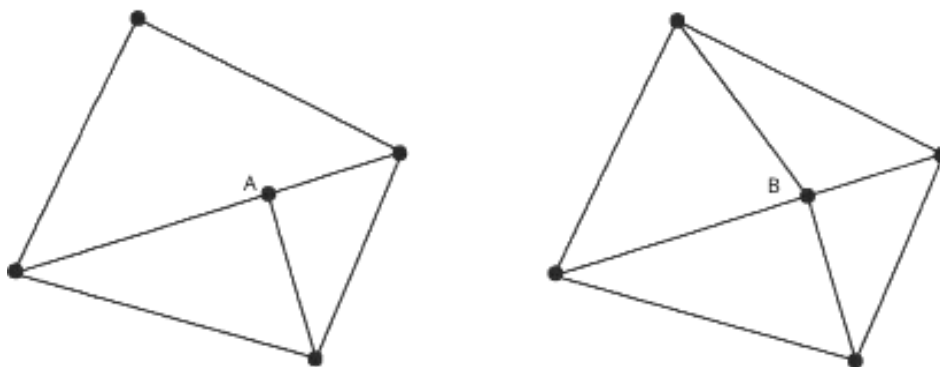
Hình PLIII.3 phần thông tin trong file STL của một hình được tạo từ 2 tam giác

Tệp tin có định dạng ASCII encoding bắt buộc kết thúc với dòng:

***endsolid <name>***

### Các quy tắc trong định dạng tệp tin STL

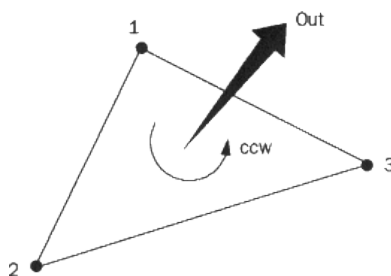
- ***Quy tắc về đỉnh (The vertex rule)***: Tất cả các tam giác bắt buộc phải chia sẻ 2 đỉnh của mình với những tam giác kề cận của nó. Điều này có nghĩa là, với 2 đỉnh sẽ cùng thuộc ít nhất 2 tam giác khác nhau.



Hình PLIII.4 Quy tắc đỉnh trong STL

Hình bên trái không thỏa mãn quy tắc đỉnh trong STL, hình bên phải thỏa quy tắc đỉnh trong STL.

- ***Quy tắc về hướng (The orientation rule)***: hướng của bề mặt tam giác (facet) phải thỏa mãn 2 điều kiện:
  - Hướng của vector chỉ hướng của tam giác (normal vector) phải hướng từ trong ra ngoài.
  - Tất cả các đỉnh của tam giác phải được sắp xếp theo chiều ngược kim đồng hồ khi nhìn từ hướng bên ngoài đối tượng vào.



Hình PLIII.5 Quy tắc hướng trong STL

- ***Quy tắc không âm (The all positive octant rule):*** tất cả các đỉnh của tam giác phải có tọa độ không âm. Tuy nhiên, để biểu diễn được các tọa độ âm phải sử dụng thêm một bit để biểu diễn.
- ***Quy tắc sắp xếp tam giác (The triangle sorting rule):*** tất cả các tam giác phải được sắp xếp theo thứ tự tăng dần theo tọa độ trụ. Tuy nhiên, quy tắc này không thực sự bắt buộc ở một số ứng dụng. Nó chỉ sinh ra để tạo thuận lợi cho việc slicer hoạt động với mô hình 3D nhanh hơn.

## **PHỤ LỤC IV. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM**

**Link kết quả sau khi xử lí**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E76\_014**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E76\_034**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E76\_123**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E76\_124**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_012\_2**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_014\_2**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_023\_2**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_024\_2**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_124\_2**

**Bảng tổng hợp kết quả thực nghiệm mẫu E72\_014\_4**

**Link mẫu kết quả thô:**

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=3&slaveID=4

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=3&slaveID=0

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=3&slaveID=2

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=3&slaveID=1

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=0&slaveID=4

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=0&slaveID=2

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=1&slaveID=1

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=1&slaveID=0

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=1&slaveID=2

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=1&slaveID=4

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=2&slaveID=0

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=2&slaveID=1

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=2&slaveID=2

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=2&slaveID=3

lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=2&slaveID=4

[lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=0](http://lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=0)

[lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=1](http://lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=1)

[lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=2](http://lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=2)

[lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=3](http://lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=3)

[lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=4](http://lora-func.azurewebsites.net/api/getResults?masterID=4&slaveID=4)