Nguyễn Thanh Hưng Hệ thống quản lý năng lượng thông minh tích hợp cơ chế suy luận ngữ cảnh và ra quyết định 2026

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

CHUYÊN NGÀNH: CÔNG NGHỆ PHẦN MỀM

ĐỀ TÀI:

HỆ THỐNG QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH TÍCH HỢP CƠ CHẾ SUY LUẬN NGỮ CẢNH VÀ RA QUYẾT ĐỊNH

Người hướng dẫn: **ThS. ĐỖ THỊ TUYẾT HOA**
Sinh viên thực hiện: **NGUYỄN THANH HƯNG**
Số thẻ sinh viên: **102210208**
Lớp: **21TCLC_DT3**

Đà Nẵng, 06/2026

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

NGÀNH: CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

CHUYÊN NGÀNH: CÔNG NGHỆ PHẦN MỀM

ĐỀ TÀI:

HỆ THỐNG QUẢN LÝ NĂNG LƯỢNG THÔNG MINH TÍCH HỢP CƠ CHẾ SUY LUẬN NGỮ CẢNH VÀ RA QUYẾT ĐỊNH

Người hướng dẫn: **ThS. ĐỖ THỊ TUYẾT HOA**
Sinh viên thực hiện: **NGUYỄN THANH HƯNG**
Số thẻ sinh viên: **102210208**
Lớp: **21TCLC_DT3**

Đà Nẵng, 06/2026

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

NHẬN XÉT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

1. Thông tin chung:

1. Họ và tên sinh viên: Nguyễn Thanh Hưng

2. Lớp: 21TCLC_DT3 Số thẻ SV: 102210208

3. Tên đề tài: Hệ thống quản lý năng lượng thông minh tích hợp cơ chế suy luận ngữ cảnh và ra quyết định.

4. Người hướng dẫn: Đỗ Thị Tuyết Hoa Học hàm/ học vị: Thạc sĩ

II. Nhận xét, đánh giá đồ án tốt nghiệp:

1. Về tính cấp thiết, tính mới, khả năng ứng dụng của đề tài: (điểm tối đa là 2đ)

……..

……..

2. Về kết quả giải quyết các nội dung nhiệm vụ yêu cầu của đồ án: (điểm tối đa là 4đ)

……..

……..

3. Về hình thức, cấu trúc, bố cục của đồ án tốt nghiệp: (điểm tối đa là 2đ)

……..

……..

4. Đề tài có giá trị khoa học/ có bài báo/ giải quyết vấn đề đặt ra của doanh nghiệp hoặc nhà trường: (điểm tối đa là 1đ)

……..

……..

5. Các tồn tại, thiếu sót cần bổ sung, chỉnh sửa:

……..

……..

III. Tinh thần, thái độ làm việc của sinh viên: (điểm tối đa 1đ)

……..

IV. Đánh giá:

1. Điểm đánh giá: ……../10 (lấy đến 1 số lẻ thập phân)

2. Đề nghị: ☐ Được bảo vệ đồ án ☐ Bổ sung để bảo vệ ☐ Không được bảo vệ

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Người hướng dẫn

TÓM TẮT

Tên đề tài: Hệ thống quản lý năng lượng thông minh tích hợp cơ chế suy luận ngữ cảnh và ra quyết định.

Sinh viên thực hiện: Nguyễn Thanh Hưng

Số thẻ SV: 102210208 Lớp: 21TCLC_DT3

Trong bối cảnh chi phí năng lượng ngày càng tăng cao và yêu cầu vận hành không gian làm việc ngày càng hiệu quả hơn, việc quản lý điện năng thông minh đang trở thành bài toán cấp thiết đối với các doanh nghiệp và công ty hiện đại. Theo thống kê, hệ thống điều hòa, chiếu sáng và thiết bị văn phòng chiếm tỷ trọng lớn trong tổng mức tiêu thụ điện của tòa nhà, trong khi phần lớn lượng điện này bị lãng phí do các thiết bị vẫn hoạt động khi không gian không có người sử dụng hoặc không có nhu cầu thực sự.

Các hệ thống quản lý năng lượng và tự động hóa hiện nay thường được xây dựng trên nền tảng IoT truyền thống và logic rule-based đã đáp ứng được một phần nhu cầu cơ bản. Tuy nhiên, những hệ thống này tồn tại những hạn chế rõ ràng: chúng chỉ phản ứng theo các quy tắc cố định được lập trình sẵn, không có khả năng hiểu ngữ cảnh thực tế, không thể giải thích lí do đằng sau mỗi hành động và đặc biệt không có cơ chế tự cải thiện từ phản hồi thực tế. Khi môi trường thay đổi hoặc xuất hiện các tình huống ngoài kịch bản được định nghĩa trước, hệ thống thường phản ứng sai hoặc không phản ứng.

Trong bối cảnh đó, sự phát triển của trí tuệ nhân tạo, đặc biệt là các mô hình ngôn ngữ lớn (LLM), mở ra khả năng xây dựng các hệ thống có khả năng phân tích dữ liệu, suy luận theo ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định dựa trên tri thức và dữ liệu vận hành. Từ đó, đề tài hướng đến xây dựng hệ thống quản lý năng lượng thông minh tích hợp cơ chế suy luận ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định, góp phần tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng trong môi trường Smart Office, đồng thời ứng dụng mô hình Cognitive System vào một bài toán thực tế có thể đánh giá và kiểm chứng.

Báo cáo được tổ chức thành các chương như sau:

- Chương 1: Tổng quan về đề tài.
- Chương 2: Phương pháp đề xuất sử dụng Knowledge Graph và LLM để xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh.
- Chương 3: Phân tích và thiết kế hệ thống.
- Chương 4: Triển khai hệ thống và đánh giá kết quả.

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ tên sinh viên: Nguyễn Thanh Hưng Số thẻ sinh viên: 102210208

Lớp: 21TCLC_DT3 Khoa: Công nghệ thông tin Ngành: Công nghệ phần mềm

1. *Tên đề tài đồ án:*

Hệ thống quản lý năng lượng thông minh tích hợp cơ chế suy luận ngữ cảnh và ra quyết định.

2. *Đề tài thuộc diện:* ☐ *Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện*

3. *Các số liệu và dữ liệu ban đầu:* Không có

4. *Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*
   - Mở đầu: Giới thiệu đề tài, mục đích thực hiện đề tài, mục tiêu hướng đến, phạm vi, phương pháp nghiên cứu.
   - Chương 1. Tổng quan về đề tài.
   - Chương 2. Phương pháp đề xuất sử dụng Knowledge Graph và LLM để xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh.
   - Chương 3. Phân tích thiết kế hệ thống.
   - Chương 4. Triển khai hệ thống và đánh giá kết quả
   - Kết luận và hướng phát triển.
5. *Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):*
   - Sequence diagram
   - Class diagram
   - Flowchart
6. *Họ tên người hướng dẫn:* ThS. Đỗ Thị Tuyết Hoa
7. *Ngày giao nhiệm vụ đồ án: ……/……./2026*
8. *Ngày hoàn thành đồ án: ……/……./2026*

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2026

Trưởng khoa CNTT **Người hướng dẫn**

LỜI NÓI ĐẦU

Trong quá trình học tập tại Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, em đã được trang bị những kiến thức nền tảng và chuyên môn trong lĩnh vực Công nghệ Thông tin nói chung và ngành Công nghệ phần mềm nói riêng. Đồ án tốt nghiệp là cơ hội để em vận dụng những kiến thức đã tích lũy vào việc nghiên cứu và xây dựng một hệ thống thực tế, đồng thời rèn luyện kỹ năng tư duy, phân tích, thiết kế và triển khai phần mềm.

Trước hết, em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến quý thầy cô trong Khoa Công nghệ Thông tin cùng toàn thể giảng viên của nhà trường. Những kiến thức chuyên môn, kinh nghiệm thực tiễn và sự tận tâm trong giảng dạy của thầy cô đã giúp em xây dựng nền tảng vững chắc cho quá trình học tập và nghiên cứu.

Em xin gửi lời cảm ơn chân thành đến cô Đỗ Thị Tuyết Hoa – giảng viên hướng dẫn, người đã tận tình chỉ bảo, định hướng và hỗ trợ em trong suốt quá trình thực hiện đồ án. Những góp ý và kinh nghiệm quý báu của cô đã giúp em hoàn thiện đề tài một cách tốt hơn.

Em cũng xin gửi lời cảm ơn đến các anh chị hướng dẫn tại doanh nghiệp đã luôn hỗ trợ, tạo điều kiện thuận lợi cho em trong suốt quá trình học tập và thực hiện đồ án. Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn đến anh Nguyễn Văn Quốc Cường, người đã hỗ trợ em trong suốt quá trình thực hiện triển khai đồ án tốt nghiệp ở doanh nghiệp.

Mặc dù đã nỗ lực hoàn thành đồ án với tinh thần học hỏi và trách nhiệm cao nhất, nhưng do hạn chế về thời gian, kinh nghiệm thực tế cũng như kiến thức chuyên môn, đồ án khó tránh khỏi những thiếu sót. Em rất mong nhận được những ý kiến đóng góp và nhận xét từ quý thầy cô để có thể tiếp tục hoàn thiện kiến thức và phát triển bản thân trong tương lai.

Cuối cùng, em xin kính chúc quý thầy cô sức khỏe, hạnh phúc và thành công trong sự nghiệp giảng dạy.

Em xin chân thành cảm ơn!

CAM ĐOAN

Em xin cam đoan rằng đồ án tốt nghiệp này là kết quả nghiên cứu và thực hiện của chính em dưới sự hướng dẫn của giảng viên hướng dẫn và sự hỗ trợ chuyên môn từ đơn vị doanh nghiệp.

Toàn bộ nội dung, kết quả nghiên cứu, quá trình phân tích, thiết kế, triển khai và đánh giá được trình bày trong đồ án là trung thực và được thực hiện dựa trên cơ sở kiến thức, kỹ năng và quá trình học tập, nghiên cứu của bản thân. Các tài liệu, công trình nghiên cứu, dữ liệu, hình ảnh và nguồn tham khảo được sử dụng trong đồ án đều được trích dẫn và ghi rõ nguồn gốc theo đúng quy định.

Em cam kết tuân thủ các nguyên tắc về liêm chính học thuật, không sao chép, không đạo văn và không sử dụng trái phép kết quả nghiên cứu của cá nhân hoặc tổ chức khác. Mọi sự hỗ trợ, tham khảo hoặc đóng góp từ giảng viên hướng dẫn, mentor doanh nghiệp và các nguồn tài liệu liên quan đều đã được ghi nhận phù hợp trong báo cáo.

Nếu có bất kỳ sai phạm nào liên quan đến tính trung thực, bản quyền hoặc liêm chính học thuật, em xin hoàn toàn chịu trách nhiệm trước Nhà trường và các quy định hiện hành.

Sinh viên thực hiện

{Chữ ký, họ và tên sinh viên}

MỤC LỤC

TÓM TẮT 6
NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP 7
LỜI NÓI ĐẦU i
CAM ĐOAN ii
MỤC LỤC iii
DANH SÁCH HÌNH VẼ vi
DANH SÁCH BẢNG viii
DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT ix
MỞ ĐẦU 1
1. Mục đích thực hiện đề tài 1
2. Mục tiêu đề tài 1
3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu 2
4. Phương pháp nghiên cứu 3
5. Kết quả dự kiến đạt được 3
6. Cấu trúc của đồ án 4
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI 5
1.1. Giới thiệu đề tài 5
1.2. Văn phòng thông minh – Smart Office 5
1.2.1. Khái niệm văn phòng thông minh 5
1.2.2. Các thành phần của hệ thống Smart Office 6
1.2.3. Thách thức của hệ thống Smart Office 6
1.3. Kiến trúc tổng thể của hệ thống 7
1.4. Nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định 8
1.4.1. Nhận biết ngữ cảnh trong hệ thống thông minh 8
1.4.2. Hệ thống hỗ trợ ra quyết định 9
1.5. Các công nghệ nền tảng của hệ thống 9
1.5.1. Knowledge Graph 9
1.5.2. Retrieval-Augmented Generation (RAG) 10
1.5.3. Large Language Model (LLM) 11
1.5.4. Rule-Based System 11
1.5.5. Explainable AI (XAI) 11

1.6. Kết chương 12
CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT SỬ DỤNG KNOWLEDGE GRAPH VÀ LLM XÂY DỰNG HỆ THỐNG SUY LUẬN NGỮ CẢNH 13
2.1. Bài toán suy luận ngữ cảnh trong môi trường Smart Office 13
2.1.1. Đặc điểm dữ liệu đầu vào 13
2.1.2. Những thách thức trong suy luận ngữ cảnh 13
2.1.3. Yêu cầu đối với hệ thống suy luận ngữ cảnh 13
2.2. Phương pháp đề xuất 14
2.2.1. Tổng quan phương pháp 14
2.2.2. Kiến trúc tổng thể của hệ thống ICE 16
2.2.3. Quy trình xử lý và suy luận ngữ cảnh 17
2.3. Xây dựng đồ thị tri thức 17
2.3.1. Mô hình Knowledge Graph 17
2.3.2. Mô hình thực thể 19
2.3.3. Mô hình quan hệ 22
2.3.4. Xây dựng đồ thị tri thức bằng Neo4j 25
2.4. Cơ chế truy xuất tri thức 26
2.4.1. Quy trình truy xuất tri thức 26
2.4.2. Truy xuất dựa trên Knowledge Graph 27
2.4.3. Dữ liệu đầu ra của quá trình truy xuất 29
2.5. Phương pháp suy luận ngữ cảnh bằng mô hình ngôn ngữ lớn 30
2.5.1. Vai trò của LLM trong hệ thống 30
2.5.2. Dữ liệu đầu vào của quá trình suy luận 30
2.5.3. Xây dựng giả thuyết ngữ cảnh 33
2.5.4. Cấu trúc kết quả suy luận 35
2.5.5. Cơ chế kiểm soát và xác thực kết quả 37
2.6. Cơ chế xác thực và chuẩn hóa ngữ cảnh 39
2.6.1. Xác thực ngữ cảnh bằng tập luật 39
2.6.2. Đánh giá và chuẩn hóa ngữ cảnh 42
2.6.3. Phát sinh sự kiện ngữ cảnh chuẩn 42
2.7. Cơ chế quản trị và ra quyết định 44
2.7.1. Tiếp nhận ngữ cảnh đầu vào 44
2.7.2. Đánh giá chính sách và lựa chọn phương án 45
2.7.3. Phát sinh hành động và ghi nhận kết quả 46

2.8. Kết chương 46
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG 48
3.1. Phân tích yêu cầu hệ thống 48
3.1.1. Yêu cầu chức năng 48
3.1.2. Yêu cầu phi chức năng 49
3.2. Thiết kế dữ liệu và hợp đồng dữ liệu 49
3.2.1. Knowledge Graph Schema 49
3.2.2. CanonicalContextEvent 50
3.2.3. DecisionRequest 51
3.2.4. DecisionEvent 53
3.3. Thiết kế xử lý 54
3.3.1. Sơ đồ tuần tự quá trình suy luận ngữ cảnh 55
3.3.2. Sơ đồ tuần tự quá trình ra quyết định 55
3.4. Kết chương 56
CHƯƠNG 4: TRIỂN KHAI HỆ THỐNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ 58
4.1. Môi trường và công cụ lập trình 58
4.2. Mô tả chức năng kết quả đã đạt được 59
4.2.1. Giao diện chức năng chung 59
4.2.2. Giao diện chức năng phục vụ giám sát và vận hành ICE 60
4.2.3. Giao diện chức năng can thiệp và kiểm soát quyết định 62
4.2.4. Giao diện chức năng hạ tầng và dữ liệu vận hành 64
4.3. Đánh giá kết quả 68
4.3.1. Phương pháp và phạm vi đánh giá 68
4.3.2. Kết quả kiểm thử pipeline suy luận ngữ cảnh 68
4.3.3. Kết quả kiểm tra ranh giới kiến trúc và tính tái lập 69
4.3.4. Chất lượng truy hồi 70
4.3.5. Độ phủ Knowledge Graph 71
4.3.6. Nhận xét chung và hạn chế của đánh giá 71
4.4. Kết chương 72
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN 73
TÀI LIỆU THAM KHẢO 75
PHỤ LỤC 76

DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1 Kiến trúc tổng thể của hệ thống....7
Hình 1.2: Quy trình xử lý thông tin trong hệ thống 9
Hình 1.3: Đồ thị tri thức – Knowledge Graph....10
Hình 2.1 Quy trình tổng quát của phương pháp suy luận ngữ cảnh và ra quyết định...15
Hình 2.2 Kiến trúc tổng thể của hệ thống ICE 16
Hình 2.3 Hai layer chính của khối ICE 16
Hình 2.4 Mô hình kết hợp – Hybrid Graph 18
Hình 2.5 Ví dụ về các node có trong đồ thị tri thức 21
Hình 2.6 Mô hình quan hệ của thực thể ContextLabel trong Knowledge Graph....23
Hình 2.7 Ví dụ về các quan hệ có trong đồ thị tri thức 24
Hình 2.8 Đồ thị tri thức được xây dựng trong Neo4j 25
Hình 2.9 Lệnh Cypher truy vấn trong Neo4j....26
Hình 2.10 Quy trình truy xuất tri thức....27
Hình 2.11 Quy trình truy xuất trong Knowledge Graph 28
Hình 2.12 Quy trình hình thành Retrieved Context Package từ kết quả truy xuất....29
Hình 2.13 Vai trò của mô hình ngôn ngữ lớn trong quá trình suy luận ngữ cảnh....30
Hình 2.14 Các thành phần thông tin được sử dụng trong giai đoạn suy luận ngữ cảnh. 31
Hình 2.15 Format JSON được sử dụng cho quá trình suy luận ngữ cảnh....33
Hình 2.16 Quy trình xây dựng giả thuyết ngữ cảnh 34
Hình 2.17 Mẫu prompt sử dụng cho LLM 35
Hình 2.18 Mẫu JSON mô tả một ví dụ rút gọn của giả thuyết ngữ cảnh 36
Hình 2.19 Quá trình kiểm soát kết quả....38
Hình 2.20 Quy trình xác thực 39
Hình 2.21 Mẫu ví dụ luật yêu cầu mệnh đề bắt buộc cho ngữ cảnh air_quality_risk ...41
Hình 2.22 Quá trình đánh giá và chuẩn hóa ngữ cảnh 42
Hình 2.23 Quá trình phát sinh sự kiện ngữ cảnh chuẩn 43
Hình 2.24 Mẫu JSON của một sự kiện ngữ cảnh chuẩn 43
Hình 2.25 Quá trinh tiếp nhận và chuẩn hóa ngữ cảnh đầu vào....44
Hình 2.26 Quá trình đánh giá chính sách và lựa chọn phương án 45
Hình 2.27 Quá trình phát sinh quyết định và ghi nhận kết quả....46
Hình 3.1 Sơ đồ lớp mô tả cấu trúc tổng quát của Knowledge Graph....50
Hình 3.2 Cấu trúc của CanonicalContextEvent....51

Hình 3.3 Mẫu JSON rút gọn của ConanicalContextEvent 51
Hình 3.4 Cấu trúc của DecisionRequest 52
Hình 3.5 Mẫu JSON rút gọn của DecisionRequest 53
Hình 3.6 Cấu trúc của DecisionEvent 53
Hình 3.7 Mẫu JSON rút gọn của DecisionEvent 54
Hình 3.8 Các trạng thái quyết định 54
Hình 3.9 Sơ đồ tuần tự của quá trình suy luận ngữ cảnh 55
Hình 3.10 Sơ đồ tuần tự của quá trình ra quyết định 56
Hình 4.1 Màn hình tổng quan DTCC 59
Hình 4.2 Màn hình điều hướng giữa các chức năng nghiệp vụ 59
Hình 4.3 Màn hình Radar của hệ thống 60
Hình 4.4 Màn hình trạng thái chi tiết của phòng 60
Hình 4.5 Màn hình chức năng Trust Stream 61
Hình 4.6 Màn hình hiển thị quyết định của ICE theo phòng 61
Hình 4.7 Màn hình chức năng Alert Triage 62
Hình 4.8 Màn hình chức năng Override Workbench 62
Hình 4.9 Màn hình chức năng Approval/Force audit 63
Hình 4.10 Màn hình chức năng Relay 63
Hình 4.11 Màn hình chức năng quản lý hạ tầng – Infrastructure 64
Hình 4.12 Màn hình xem thông tin chi tiết của thiết bị và controller 64
Hình 4.13 Simulator mô phỏng dữ liệu và phát sinh các sự kiện giả lập cho hệ thống 65
Hình 4.14 Giá trị HVAC và message của khối ICE trước khi giả lập sự kiện 66
Hình 4.15 Giá trị HVAC và message của khối ICE sau khi giả lập sự kiện 67

DANH SÁCH BẢNG

Bảng 2.1 Các thành phần có trong nhóm thực thể Governance Core 20
Bảng 2.2 Các thành phần có trong nhóm thực thể Policy Runtime Support.....20
Bảng 2.3 Các thành phần có trong nhóm thực thể Operational/Digital Twin.....21
Bảng 2.4 Các thành phần của nhóm quan hệ Governance Core 22
Bảng 2.5 Các thành phần của nhóm quan hệ Policy Runtime Support.....23
Bảng 2.6 Các thành phần của nhóm quan hệ Operational/Digital Twin.....24
Bảng 2.7 Các thành phần đầu vào của quá trình suy luận.....32
Bảng 2.8 Các thành phần chính của giả thuyết ngữ cảnh.....36
Bảng 2.9 Các thành phần chính của một tập luật xác thực ngữ cảnh.....40
Bảng 2.10 Các nhóm luật xác thực ngữ cảnh.....40
Bảng 2.11 Bốn kết quả mà mỗi luật có thể cho ra.....41
Bảng 4.1 Kết quả pipeline trên các golden scenario tiêu biểu 69
Bảng 4.2 Kết quả kiểm tra ranh giới kiến trúc và phân nhánh quyết định.....70
Bảng 4.3 Chỉ số chất lượng suy luận trên kịch bản GS-02 70
Bảng 4.4 Thống kê quan hệ trong Knowledge Graph (Neo4j) 71

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU, CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Tên đầy đủ
AI	Artificial Intelligence
LLM	Large Language Model
RAG	Retrieval-Augmented Generation
KG	Knowledge Graph
XAI	Explainable AI
DSS	Decision Support System
IoT	Internet of Things
ICE	Intelligent Context Engine
DTCC	Digital Twin Command Center
SEL	Smart Experience Layer
SI	Smart Infrastructure
JSON	JavaScript Object Notation
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
API	Application Programming Interface

MỞ ĐẦU

1. Mục đích thực hiện đề tài

Mục đích của đề tài là xây dựng một hệ thống hỗ trợ nhận biết ngữ cảnh và ra quyết định trong môi trường văn phòng thông minh, nhằm nâng cao hiệu quả vận hành, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và hỗ trợ người quản trị trong quá trình giám sát hệ thống.

Hệ thống hướng tới giải quyết những hạn chế của các hệ thống Smart Office truyền thống, trong đó dữ liệu thường được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau như cảm biến hiện diện, cảm biến môi trường, lịch họp, hệ thống đặt phòng và trạng thái thiết bị nhưng chưa được khai thác hiệu quả để hình thành các nhận định và quyết định mang tính tổng hợp. Việc phụ thuộc vào các quy tắc đơn lẻ hoặc các tín hiệu riêng biệt có thể dẫn đến những quyết định thiếu chính xác khi dữ liệu không đầy đủ hoặc xuất hiện mâu thuẫn giữa các nguồn thông tin.

Đề tài tập trung xây dựng một cơ chế cho phép hệ thống tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn, khai thác tri thức liên quan và xác định ngữ cảnh vận hành của môi trường làm việc. Trên cơ sở ngữ cảnh được nhận biết, hệ thống có khả năng hỗ trợ đánh giá tình huống và đưa ra các quyết định phù hợp với các chính sách vận hành đã được thiết lập.

Bên cạnh khả năng nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định, đề tài còn hướng tới việc đảm bảo tính minh bạch và khả năng giải thích của hệ thống. Mỗi quyết định được đưa ra cần có khả năng truy vết và giải thích dựa trên dữ liệu, tri thức và các luật nghiệp vụ liên quan, từ đó nâng cao mức độ tin cậy và khả năng kiểm soát trong quá trình vận hành.

Thông qua việc kết hợp các công nghệ Knowledge Graph, Retrieval-Augmented Generation (RAG), mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) và hệ luật (Rule-Based System), đề tài hướng tới xây dựng một nền tảng hỗ trợ nhận biết ngữ cảnh và ra quyết định có khả năng ứng dụng trong các môi trường văn phòng thông minh hiện đại.

2. Mục tiêu đề tài

Đề tài hướng đến mục tiêu xây dựng một hệ thống quản lý năng lượng thông minh cho không gian văn phòng, trong đó đề xuất hoặc phát sinh quyết định vận hành phù hợp đều được đưa ra dựa trên suy luận ngữ cảnh thực tế thay vì các rule cố

định, đồng thời đảm bảo mỗi quyết định đều có thể giải thích, truy vết và cải thiện theo thời gian. Để đạt được mục tiêu trên đề tài cần thực hiện các nhiệm vụ sau:

- Về chức năng: Tự động thu thập, phân tích ngữ cảnh và đưa ra quyết định điều phối năng lượng phù hợp với trạng thái thực tế của không gian, lịch sử sử dụng và hành vi người dùng.
- Về kỹ thuật: Xây dựng thành công kiến trúc Cognitive system khép kín với bốn thành phần cốt lõi: ICE (Intelligent Context Engine), Smart Infrastructure, DTCC (Digital Twin Command Center) và SEL (Smart Experience Layer), hoạt động phối hợp theo vòng lặp nhận thức liên tục.
- Về chất lượng quyết định: Các quyết định được phát sinh phải có khả năng giải thích và truy vết thông qua Reason Code, bằng chứng hỗ trợ, chính sách áp dụng và các thông tin kiểm toán được ghi nhận trong quá trình xử lý.

3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

Về đối tượng nghiên cứu:

- Các mô hình và kiến trúc hỗ trợ xây dựng hệ thống nhận biết ngữ cảnh và ra quyết định như Cognitive Architecture, Event-driven Systems, Stateful Systems và Policy-governed Decision Systems.
- Các nguồn dữ liệu và ngữ cảnh vận hành trong môi trường văn phòng thông minh, bao gồm lịch họp, trạng thái sử dụng phòng, sự hiện diện của người dùng, dữ liệu môi trường và trạng thái thiết bị.
- Các phương pháp tổ chức, khai thác và truy xuất tri thức phục vụ cho quá trình nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định.
- Cơ chế suy luận ngữ cảnh, đánh giá chính sách vận hành và hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu và tri thức thu thập được từ môi trường thực tế.
- Khả năng giải thích và truy vết các quyết định được đưa ra nhằm đảm bảo tính minh bạch, khả năng kiểm tra và độ tin cậy của hệ thống.

Về phạm vi nghiên cứu:

- Hệ thống được nghiên cứu và triển khai trong môi trường văn phòng thông minh, bao gồm các phòng họp, khu vực làm việc và các tầng thuộc cùng một địa điểm vận hành. Việc triển khai trên nhiều địa điểm độc lập không thuộc phạm vi của đề tài.

- Dữ liệu đầu vào của hệ thống được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau như cảm biến hiện diện, cảm biến môi trường, lịch họp, thông tin đặt phòng, trạng thái thiết bị, dữ liệu tiêu thụ năng lượng và một số nguồn dữ liệu bên ngoài như thông tin thời tiết.
- Đề tài tập trung nghiên cứu cơ chế nhận biết ngữ cảnh, khai thác tri thức và hỗ trợ ra quyết định trong môi trường Smart Office nhằm nâng cao hiệu quả vận hành và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên.

4. Phương pháp nghiên cứu

Để thực hiện đề tài, các phương pháp nghiên cứu sau được áp dụng:

- Nghiên cứu tài liệu: Thu thập và tổng hợp các tài liệu, công trình nghiên cứu liên quan đến Smart Office, nhận biết ngữ cảnh (Context Awareness), hệ thống hỗ trợ ra quyết định, Knowledge Graph, Retrieval-Augmented Generation (RAG), mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) và Explainable AI nhằm xây dựng cơ sở lý thuyết cho đề tài.
- Phân tích và thiết kế hệ thống: Phân tích bài toán, xác định yêu cầu hệ thống và thiết kế kiến trúc theo hướng mô-đun hóa, dễ mở rộng, dễ kiểm thử và hỗ trợ khả năng giải thích quyết định.
- Xây dựng và tích hợp hệ thống: Triển khai các thành phần chức năng của hệ thống, xây dựng cơ chế quản lý tri thức, nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định; đồng thời tích hợp các thành phần để hình thành quy trình xử lý thống nhất.
- Thực nghiệm và đánh giá: Tiến hành thử nghiệm hệ thống trên các kịch bản vận hành thực tế, đánh giá khả năng nhận biết ngữ cảnh, hỗ trợ ra quyết định, khả năng giải thích và hiệu quả vận hành của hệ thống.
- Cải tiến dựa trên kết quả đánh giá: Dựa trên kết quả thực nghiệm và phản hồi trong quá trình vận hành, tiến hành điều chỉnh và hoàn thiện hệ thống theo phương pháp lặp (iterative) nhằm nâng cao độ chính xác, tính ổn định và khả năng thích ứng với các tình huống thực tế.

5. Kết quả dự kiến đạt được

Trên cơ sở mục đích và mục tiêu đã đặt ra, đề tài hướng đến các kết quả sự kiến đạt được như sau:

- Xây dựng được Knowledge Graph (trên Neo4j) biểu diễn ngữ cảnh, chính sách, bằng chứng và thực thể vận hành của môi trường Smart Office.

- Xây dựng cơ chế truy xuất tri thức và quy trình suy luận ngữ cảnh kết hợp mô hình ngôn ngữ lớn, trong đó LLM chỉ đề xuất giả thuyết, còn tập luật và cơ chế chấm điểm giữ quyền xác thực, công bố ngữ cảnh.
- Sinh ngữ cảnh chuẩn hóa (Canonical Context Event) và xây dựng cơ chế quản trị quyết định dựa trên chính sách.
- Bảo đảm khả năng giải thích, truy vết (qua bằng chứng, Reason Code, chính sách, audit) và tính tái lập của kết quả suy luận.
- Tích hợp khối ICE vào môi trường Smart Office và trực quan hóa qua giao diện DTCC trên các kịch bản vận hành tiêu biểu.

6. Cấu trúc của đồ án

Chương 1: Tổng quan về đề tài

- Giới thiệu về đề tài xây dựng hệ thống nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định trong môi trường văn phòng thông minh. Trình bày tổng quan về bài toán, phạm vi nghiên cứu và các công nghệ nền tảng được sử dụng trong đề tài như Context Awareness, Knowledge Graph, Retrieval-Augmented Generation (RAG), Large Language Model (LLM), Rule-Based System và Explainable AI.

Chương 2: Phương pháp đề xuất sử dụng Knowledge Graph và LLM để xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh

- Trình bày phương pháp đề xuất của đề tài, bao gồm mô hình tổ chức tri thức bằng Knowledge Graph, cơ chế truy xuất tri thức thông qua RAG, sử dụng LLM trong quá trình suy luận ngữ cảnh và kết hợp hệ luật nhằm hỗ trợ ra quyết định và giải thích quyết định trong môi trường Smart Office.

Chương 3: Phân tích và thiết kế hệ thống.

- Phân tích yêu cầu hệ thống, thiết kế kiến trúc tổng thể và các thành phần chức năng. Trình bày thiết kế dữ liệu, các hợp đồng dữ liệu và các sơ đồ tuần tự của hệ thống.

Chương 4: Triển khai hệ thống và đánh giá kết quả

- Giới thiệu môi trường và công cụ triển khai hệ thống. Trình bày quá trình xây dựng các thành phần chức năng, giao diện hệ thống, các kịch bản thử nghiệm và kết quả đánh giá khả năng nhận biết ngữ cảnh, hỗ trợ ra quyết định và giải thích quyết định của hệ thống.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐỀ TÀI

1.1. Giới thiệu đề tài

Trong môi trường văn phòng hiện đại, nhiều hệ thống được triển khai nhằm hỗ trợ quản lý tài nguyên, kiểm soát môi trường làm việc và nâng cao trải nghiệm người sử dụng. Các hệ thống này thường thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau như cảm biến hiện diện, cảm biến môi trường, lịch họp, thông tin đặt phòng và trạng thái thiết bị.

Từ các dữ liệu thu thập được, hệ thống cần xác định được ngữ cảnh hiện tại của môi trường làm việc để đưa ra các hành động phù hợp, ví dụ:

- Xác định phòng họp sắp diễn ra cuộc họp.
- Phát hiện phòng được đặt nhưng không có người sử dụng.
- Điều chỉnh điều hòa, quạt, đèn, … dựa trên mật độ sử dụng phòng.
- Hỗ trợ vận hành dựa trên các chính sách của doanh nghiệp.

Tuy nhiên, việc xác định ngữ cảnh thường không thể dựa trên một nguồn dữ liệu đơn lẻ, mà đòi hỏi phải tổng hợp và phân tích thông tin từ nhiều nguồn khác nhau. Điều này làm cho quá trình ra quyết định trở nên phức tạp hơn, đặc biệt trong các tình huống dữ liệu không đầy đủ hoặc có sự mâu thuẫn giữa các nguồn thông tin.

Vì vậy, các hệ thống hỗ trợ ra quyết định ngữ cảnh đang trở thành một hướng nghiên cứu quan trọng trong lĩnh vực văn phòng thông minh. Những hệ thống này tập trung vào việc nhận biết ngữ cảnh, hỗ trợ suy luận và đưa ra quyết định phù hợp dựa trên dữ liệu thu thập được từ môi trường vận hành.

1.2. Văn phòng thông minh – Smart Office

1.2.1. Khái niệm văn phòng thông minh

Văn phòng thông minh là một mô hình môi trường làm việc ứng dụng các công nghệ số nhằm nâng cao hiệu quả vận hành, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và cải thiện trải nghiệm của người dùng. Thông qua việc tích hợp các thiết bị cảm biến, hệ thống quản lý, mạng kết nối và các công nghệ phân tích dữ liệu, văn phòng thông minh có khả năng giám sát, tự động hóa và hỗ trợ ra quyết định trong nhiều hoạt động vận hành khác nhau.

Khác với mô hình văn phòng truyền thống, Smart Office không chỉ tập trung việc tự động điều khiển các thiết bị mà còn hướng đến khả năng nhận biết trạng thái môi trường, phân tích hành vi sử dụng và đưa ra các phản hồi phù hợp với từng ngữ cảnh.

1.2.2. Các thành phần của hệ thống Smart Office

Một hệ thống văn phòng thông minh thường bao gồm các thành phần chính sau:

- Hệ thống cảm biến (sensor): thu thập dữ liệu về môi trường và trạng thái hoạt động như nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí, mức độ hiện diện của người dùng hoặc trạng thái thiết bị.
- Hệ thống thiết bị điều khiển (actuators): thực hiện các hành động điều khiển như bật/tắt đèn, điều chỉnh điều hòa, kiểm soát thông gió hoặc các thiết bị hỗ trợ khác.
- Hệ thống quản lý dữ liệu: lưu trữ, xử lý và tổng hợp dữ liệu thu thập được từ nhiều nguồn khác nhau.
- Hệ thống hỗ trợ ra quyết định: phân tích dữ liệu, xác định ngữ cảnh và đề xuất hoặc thực hiện các hành động phù hợp dựa trên các chính sách vận hành.
- Giao diện người dùng: cho phép người quản trị và người sử dụng tương tác với hệ thống, theo dõi trạng thái hoạt động và nhận các thông tin giải thích liên quan đến quyết định của hệ thống.

1.2.3. Thách thức của hệ thống Smart Office

Mặc dù mang lại nhiều lợi ích trong việc tối ưu hóa vận hành, các hệ thống văn phòng thông minh vẫn đối mặt với nhiều thách thức:

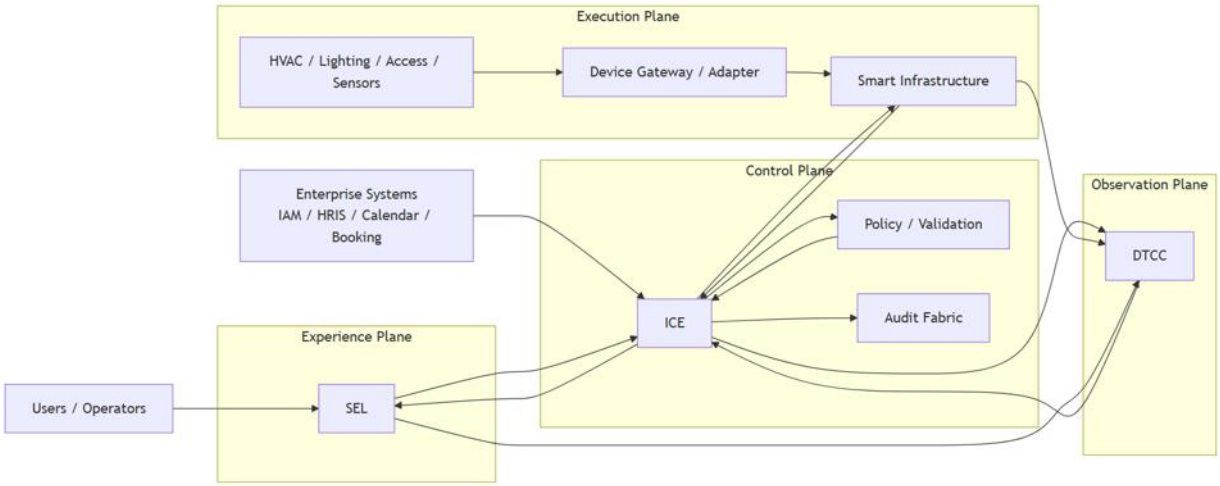
- Thứ nhất: dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau và có thể xuất hiện sự không đồng nhất hoặc mâu thuẫn giữa các nguồn thông tin. Ví dụ dữ liệu đặt phòng cho thấy một cuộc họp sắp diễn ra nhưng cảm biến hiện diện lại không phát hiện người dùng trong khu vực tương ứng.
- Thứ hai: nhiều quyết định vận hành cần được đưa ra dựa trên ngữ cảnh tổng hợp thay vì một tín hiệu đơn lẻ. Điều này đòi hỏi hệ thống phải có khả năng kết hợp và phân tích thông tin từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau để xác định trạng thái thực tế của môi trường.
- Thứ ba: các quyết định được đưa ra cần tuân thủ các chính sách vận hành và phải có khả năng giải thích nhằm đảm bảo tính minh bạch, khả năng kiểm tra và độ tin cậy của hệ thống.

Những thách thức trên chỉ là một phần trong số các vấn đề tồn tại của các hệ thống văn phòng thông minh truyền thống, cho thấy nhu cầu xây dựng một hệ thống có khả năng thu thập và tổng hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, nhận biết ngữ cảnh vận hành, hỗ trợ suy luận và đưa ra các quyết định phù hợp với tình huống thực tế. Bên cạnh đó, hệ thống cũng cần đảm bảo các quyết định được đưa ra có tính minh bạch, khả năng giải thích và tuân thủ các chính sách vận hành của tổ chức. Đây cũng chính là định hướng và bài toán trọng tâm mà đề tài hướng tới giải quyết.

1.3. Kiến trúc tổng thể của hệ thống

Hệ thống Smart Office được xây dựng theo hướng tích hợp giữa hạ tầng IoT, dữ liệu vận hành thời gian thực và các thành phần hỗ trợ ra quyết định nhằm tối ưu hóa việc sử dụng không gian, năng lượng và tài nguyên trong môi trường văn phòng. Thay vì chỉ thực hiện các chức năng giám sát hoặc điều khiển thiết bị đơn lẻ, hệ thống hướng tới khả năng nhận biết trạng thái môi trường, suy luận ngữ cảnh và đưa ra các quyết định phù hợp với tình huống thực tế.

Về mặt kiến trúc, hệ thống được tổ chức thành nhiều khối chức năng có mối liên hệ chặt chẽ với nhau. Mỗi khối đảm nhận một vai trò riêng trong quá trình thu thập dữ liệu, xây dựng trạng thái môi trường, suy luận ngữ cảnh và thực thi hành động.



Hình 0.1 Kiến trúc tổng thể của hệ thống

Trong đó:

- SEL (Smart Experience Layer) là lớp tương tác với người dùng, cung cấp các dịch vụ nghiệp vụ như đặt phòng, theo dõi trạng thái không gian, gửi yêu cầu vận hành và hiển thị kết quả xử lý từ hệ thống.
- DTCC (Digital Twin Command Center) chịu trách nhiệm duy trì bản sao số của môi trường Smart Office thông qua việc thu thập, tổng hợp và quản lý

trạng thái từ các cảm biến, thiết bị và dịch vụ nghiệp vụ. Thành phần này cung cấp trạng thái thế giới (World State) làm đầu vào cho quá trình suy luận và ra quyết định.

- ICE (Intelligent Context Engine) là khối xử lý nhận thức của hệ thống, chịu trách nhiệm truy xuất tri thức, suy luận ngữ cảnh, đánh giá độ tin cậy của ngữ cảnh, quản trị quyết định và cung cấp khả năng giải thích, truy vết cho các quyết định được sinh ra.
- SI (Smart Infrastructure) là lớp thực thi, chịu trách nhiệm tiếp nhận các yêu cầu điều khiển từ hệ thống và tác động tới hạ tầng vật lý như hệ thống chiếu sáng, điều hòa không khí, thông gió và các thiết bị thông minh khác, đồng thời phản hồi trạng thái vận hành trở lại hệ thống.

Quá trình vận hành của hệ thống bắt đầu từ việc thu thập dữ liệu từ môi trường thực tế. Các dữ liệu này được DTCC tổng hợp thành trạng thái số của văn phòng và chuyển tới ICE để thực hiện suy luận ngữ cảnh. Dựa trên các ngữ cảnh được nhận diện và các chính sách vận hành đang có hiệu lực, ICE đưa ra các quyết định phù hợp và chuyển cho SI để thực thi trên hạ tầng vật lý. Kết quả thực thi tiếp tục được phản ánh trở lại môi trường và trở thành đầu vào cho chu trình xử lý tiếp theo.

Trong phạm vi của đồ án này, nội dung nghiên cứu tập trung vào khối ICE, cụ thể là cơ chế truy xuất tri thức, suy luận ngữ cảnh và quản trị quyết định. Các thành phần còn lại của hệ thống được xem là nguồn cung cấp dữ liệu đầu vào hoặc môi trường tiếp nhận kết quả đầu ra của quá trình suy luận.

1.4. Nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định

1.4.1. Nhận biết ngữ cảnh trong hệ thống thông minh

Trong các hệ thống thông minh, dữ liệu thu thập từ môi trường chỉ thực sự có ý nghĩa khi được đặt trong một ngữ cảnh cụ thể. Ngữ cảnh (Context) có thể được hiểu là tập hợp các thông tin mô tả trạng thái hiện tại của môi trường, đối tượng hoặc sự kiện đang diễn ra tại một thời điểm nhất định.

Đối với môi trường Smart Office, ngữ cảnh được hình thành từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau như lịch họp, thông tin đặt phòng, dữ liệu cảm biến hiện diện, trạng thái thiết bị và các thông tin môi trường liên quan. Việc tổng hợp và phân tích các dữ liệu này cho phép hệ thống hiểu được tình trạng vận hành thực tế của không gian làm việc thay vì chỉ xử lý từng nguồn dữ liệu riêng lẻ.

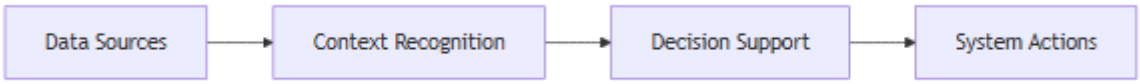
Khả năng nhận biết ngữ cảnh đóng vai trò quan trọng trong việc chuyển đổi dữ liệu thô thành thông tin có ý nghĩa phục vụ cho quá trình vận hành. Thông qua việc

xác định chính xác ngữ cảnh, hệ thống có thể nhận diện các tình huống như phòng họp sắp diễn ra cuộc họp, phòng được đặt nhưng không có người sử dụng hoặc khu vực làm việc đang có mật độ sử dụng cao. Những thông tin này là cơ sở để hệ thống thực hiện các hoạt động phân tích và hỗ trợ ra quyết định ở các bước tiếp theo.

1.4.2. Hệ thống hỗ trợ ra quyết định

Hệ thống hỗ trợ ra quyết định (Decision Support System - DSS) là hệ thống có khả năng phân tích dữ liệu, đánh giá tình huống và cung cấp các đề xuất hoặc quyết định dựa trên những thông tin đã được xử lý. Trong các môi trường vận hành hiện đại, DSS được sử dụng nhằm hỗ trợ con người trong việc đưa ra các quyết định nhanh chóng, chính xác và nhất quán hơn.

Trong Smart Office, các quyết định vận hành thường không thể dựa trên một nguồn dữ liệu đơn lẻ mà cần xem xét đồng thời nhiều yếu tố khác nhau. Ví dụ, việc điều chỉnh trạng thái hoạt động của thiết bị trong một phòng họp có thể phụ thuộc vào lịch sử dụng phòng, sự hiện diện của người dùng, điều kiện môi trường và các chính sách vận hành của tổ chức. Do đó, hệ thống cần có khả năng tổng hợp dữ liệu, đánh giá ngữ cảnh và lựa chọn phương án xử lý phù hợp.



Hình 0.2: Quy trình xử lý thông tin trong hệ thống

Để thực hiện được điều này, các hệ thống hiện đại thường kết hợp nhiều công nghệ khác nhau nhằm hỗ trợ quá trình tổ chức tri thức, khai thác thông tin và suy luận ngữ cảnh. Trong phạm vi đề tài, các công nghệ như Knowledge Graph, Retrieval-Augmented Generation (RAG), Large Language Model (LLM), Rule-Based System và Explainable AI được nghiên cứu và ứng dụng nhằm xây dựng một cơ chế nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định phù hợp với môi trường Smart Office.

1.5. Các công nghệ nền tảng của hệ thống

1.5.1. Knowledge Graph



Hình 0.3: Đồ thị tri thức – Knowledge Graph

Knowledge Graph (KG) là mô hình biểu diễn tri thức dưới dạng đồ thị, trong đó các đối tượng được biểu diễn dưới dạng các nút (Node) và mối quan hệ giữa các đối tượng được biểu diễn dưới dạng các cạnh (Relationship). Khác với các mô hình lưu trữ dữ liệu truyền thống, Knowledge Graph không chỉ lưu trữ thông tin mà còn thể hiện được các mối liên hệ giữa các thực thể trong cùng một miền tri thức.

Nhờ khả năng biểu diễn và tổ chức tri thức theo dạng mạng lưới liên kết, Knowledge Graph cho phép hệ thống khai thác các mối quan hệ ngữ nghĩa giữa các đối tượng, hỗ trợ quá trình truy xuất thông tin và suy luận ngữ cảnh. Trong môi trường Smart Office, Knowledge Graph có thể được sử dụng để mô hình hóa các thực thể như người dùng, phòng họp, thiết bị, lịch họp và các mối quan hệ giữa chúng.

Knowledge Graph đóng vai trò là lớp quản lý tri thức của hệ thống, cung cấp nền tảng cho quá trình truy xuất thông tin và hỗ trợ suy luận ngữ cảnh ở các bước xử lý tiếp theo.

1.5.2. Retrieval-Augmented Generation (RAG)

Retrieval-Augmented Generation (RAG) là phương pháp kết hợp giữa cơ chế truy xuất thông tin và mô hình ngôn ngữ lớn nhằm nâng cao chất lượng xử lý và suy luận. Thay vì chỉ dựa trên tri thức đã được học trong quá trình huấn luyện, RAG cho phép hệ thống truy xuất thêm các thông tin liên quan từ nguồn tri thức bên ngoài trước khi thực hiện xử lý.

Cách tiếp cận này giúp mô hình tiếp cận được các thông tin chuyên biệt và phù hợp với ngữ cảnh hiện tại, đồng thời giảm nguy cơ tạo ra các kết quả thiếu chính xác do thiếu thông tin đầu vào.

Trong đề tài, RAG được sử dụng để khai thác tri thức từ Knowledge Graph và các nguồn dữ liệu liên quan, từ đó cung cấp ngữ cảnh cần thiết cho quá trình nhận biết tình huống và hỗ trợ ra quyết định.

1.5.3. Large Language Model (LLM)

Large Language Model (LLM) là các mô hình trí tuệ nhân tạo được huấn luyện trên khối lượng lớn dữ liệu văn bản nhằm học cách hiểu và xử lý ngôn ngữ tự nhiên. Các mô hình này có khả năng phân tích nội dung, tổng hợp thông tin, nhận diện mối quan hệ ngữ nghĩa và hỗ trợ suy luận trên dữ liệu đầu vào.

Trong các hệ thống hiện đại, LLM thường được sử dụng để xử lý các dữ liệu phi cấu trúc, hỗ trợ diễn giải thông tin và tạo ra các kết quả dưới dạng ngôn ngữ tự nhiên. Khi được kết hợp với các nguồn tri thức bên ngoài thông qua RAG, khả năng xử lý của LLM có thể được nâng cao đáng kể.

LLM được sử dụng nhằm hỗ trợ quá trình phân tích thông tin, suy luận ngữ cảnh và diễn giải các kết quả phục vụ cho hoạt động vận hành của hệ thống.

1.5.4. Rule-Based System

Rule-Based System là phương pháp xây dựng hệ thống dựa trên tập hợp các luật nghiệp vụ được xác định trước. Các luật này thường được biểu diễn dưới dạng điều kiện – hành động (IF–THEN), cho phép hệ thống đưa ra kết quả hoặc thực hiện hành động khi các điều kiện tương ứng được thỏa mãn.

Trong các hệ thống hỗ trợ ra quyết định, Rule-Based System đóng vai trò như một cơ chế kiểm soát nhằm đảm bảo các quyết định được đưa ra phù hợp với chính sách vận hành và các yêu cầu nghiệp vụ. Việc kết hợp giữa Rule-Based System và các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo giúp hệ thống vừa tận dụng được khả năng suy luận linh hoạt của AI vừa duy trì được tính nhất quán và khả năng kiểm soát trong quá trình ra quyết định.

1.5.5. Explainable AI (XAI)

Explainable AI (XAI) là tập hợp các phương pháp giúp giải thích và làm rõ cách thức hệ thống trí tuệ nhân tạo đưa ra kết quả hoặc quyết định. Khả năng giải thích đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống hỗ trợ ra quyết định, nơi người dùng cần hiểu được cơ sở hình thành của một kết luận hoặc hành động cụ thể.

Đối với các hệ thống Smart Office, khả năng giải thích giúp người quản trị có thể theo dõi, kiểm tra và đánh giá các quyết định được đưa ra dựa trên dữ liệu, tri thức và các luật nghiệp vụ liên quan. Điều này góp phần nâng cao tính minh bạch, độ tin cậy và khả năng kiểm soát của hệ thống trong quá trình vận hành.

1.6. Kết chương

Chương 1 đã trình bày tổng quan về bài toán xây dựng hệ thống nhận biết ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định trong môi trường văn phòng thông minh. Bên cạnh đó, chương cũng giới thiệu các công nghệ nền tảng được sử dụng trong đề tài như Knowledge Graph, Retrieval-Augmented Generation, Large Language Model (LLM), Rule-Based System và Explainable AI. Đây là cơ sở để đề xuất phương pháp xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh được trình bày trong chương tiếp theo.

CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT SỬ DỤNG KNOWLEDGE GRAPH VÀ LLM XÂY DỰNG HỆ THỐNG SUY LUẬN NGỮ CẢNH

2.1. Bài toán suy luận ngữ cảnh trong môi trường Smart Office

2.1.1. Đặc điểm dữ liệu đầu vào

Trong môi trường Smart Office, trạng thái vận hành của hệ thống được phản ánh thông qua nhiều nguồn dữ liệu khác nhau như lịch họp, thông tin đặt phòng, dữ liệu hiện diện, trạng thái thiết bị và các tín hiệu vận hành phát sinh trong quá trình sử dụng. Mỗi nguồn dữ liệu chỉ phản ánh một phần của thực tế và thường được thu thập một cách độc lập.

Do đặc điểm phân tán của dữ liệu, việc đánh giá trạng thái hiện tại của môi trường làm việc không thể dựa trên một nguồn thông tin đơn lẻ. Thay vào đó, hệ thống cần tổng hợp và phân tích đồng thời nhiều nguồn dữ liệu để hình thành một nhận thức thống nhất về ngữ cảnh đang diễn ra.

2.1.2. Những thách thức trong suy luận ngữ cảnh

Một trong những thách thức lớn nhất của bài toán suy luận ngữ cảnh là sự không đầy đủ và không đồng nhất của dữ liệu đầu vào. Trong thực tế, các nguồn dữ liệu có thể cung cấp những tín hiệu khác nhau hoặc thậm chí mâu thuẫn với nhau về cùng một đối tượng hoặc sự kiện.

Có thể lấy một ví dụ như sau: hệ thống lịch có thể cho thấy một cuộc họp sắp diễn ra trong một phòng họp nhất định, tuy nhiên dữ liệu hiện diện tại khu vực tương ứng lại không ghi nhận sự xuất hiện của người dùng. Ngược lại, một khu vực làm việc có thể xuất hiện hoạt động được sử dụng thực tế nhưng không có bất kỳ sự kiện nào được ghi nhận trong lịch vận hành. Những tình huống này làm cho việc xác định trạng thái thực tế của môi trường trở nên phức tạp hơn so với các bài toán xử lý dữ liệu đơn nguồn.

Bên cạnh đó, các quyết định vận hành trong môi trường Smart Office cần được đưa ra dựa trên tập hợp bằng chứng thay vì một tín hiệu riêng lẻ. Điều này đặt ra yêu cầu về khả năng khai thác tri thức, tổng hợp thông tin và đánh giá độ tin cậy của các kết quả suy luận trước khi sử dụng chúng trong quá trình hỗ trợ ra quyết định.

2.1.3. Yêu cầu đối với hệ thống suy luận ngữ cảnh

Từ những đặc điểm và thách thức nêu trên, hệ thống suy luận ngữ cảnh cần đáp ứng một số yêu cầu quan trọng:

- Thứ nhất: hệ thống phải có khả năng tiếp nhận và tổng hợp thông tin từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau nhằm hình thành một góc nhìn toàn diện về trạng thái hiện tại của môi trường vận hành.
- Thứ hai: hệ thống cần khai thác được các tri thức nghiệp vụ đã được xác định trước để hỗ trợ quá trình đánh giá và diễn giải dữ liệu. Việc sử dụng tri thức giúp hạn chế các kết luận thiếu chính xác khi dữ liệu đầu vào không đầy đủ hoặc xuất hiện mâu thuẫn giữa các nguồn thông tin.
- Thứ ba: quá trình suy luận cần có khả năng đánh giá và kiểm soát kết quả đầu ra nhằm đảm bảo các ngữ cảnh được công bố phù hợp với các quy tắc và ràng buộc của hệ thống.
- Cuối cùng: kết quả suy luận phải được biểu diễn dưới dạng các ngữ cảnh chuẩn hóa để có thể được sử dụng làm đầu vào cho các bước hỗ trợ ra quyết định và điều phối hành động trong những giai đoạn xử lý tiếp theo.

Từ các yêu cầu trên, đề tài đề xuất một phương pháp kết hợp giữa đồ thị tri thức (Knowledge Graph), cơ chế truy xuất tri thức (RAG), mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) và các thành phần kiểm soát dựa trên luật nhằm xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh phục vụ cho môi trường Smart Office.

2.2. Phương pháp đề xuất

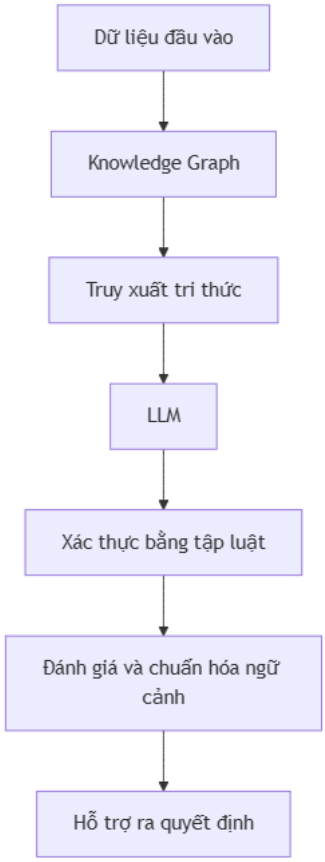
2.2.1. Tổng quan phương pháp

Bài toán suy luận ngữ cảnh đòi hỏi hệ thống phải xử lý được đồng thời nhiều nguồn dữ liệu khác nhau, khai thác tri thức nghiệp vụ và đưa ra các kết quả có khả năng giải thích. Trong quá trình khảo sát bài toán, nhóm nhận thấy việc sử dụng một phương pháp đơn lẻ khó có thể đáp ứng đầy đủ yêu cầu này.

Các hệ thống dựa hoàn toàn trên tập luật có ưu điểm về khả năng kiểm soát và tính minh bạch, tuy nhiên gặp khó khăn khi xử lý các tình huống phức tạp hoặc dữ liệu có nhiều yếu tố ngữ nghĩa. Ngược lại, các mô hình ngôn ngữ lớn có khả năng tổng hợp thông tin và suy luận linh hoạt nhưng khó đảm bảo tính nhất quán nếu không được kiểm soát bởi các cơ chế quản trị phù hợp.

Từ đó, đề tài đề xuất phương pháp kết hợp giữa Knowledge Graph, cơ chế truy xuất tri thức, mô hình ngôn ngữ lớn và các thành phần kiểm soát dựa trên luật. Trong các phương pháp này, Knowledge Graph được sử dụng để tổ chức và quản lý tri thức nghiệp vụ của hệ thống. Cơ chế truy xuất có nhiệm vụ cung cấp các tri thức liên quan

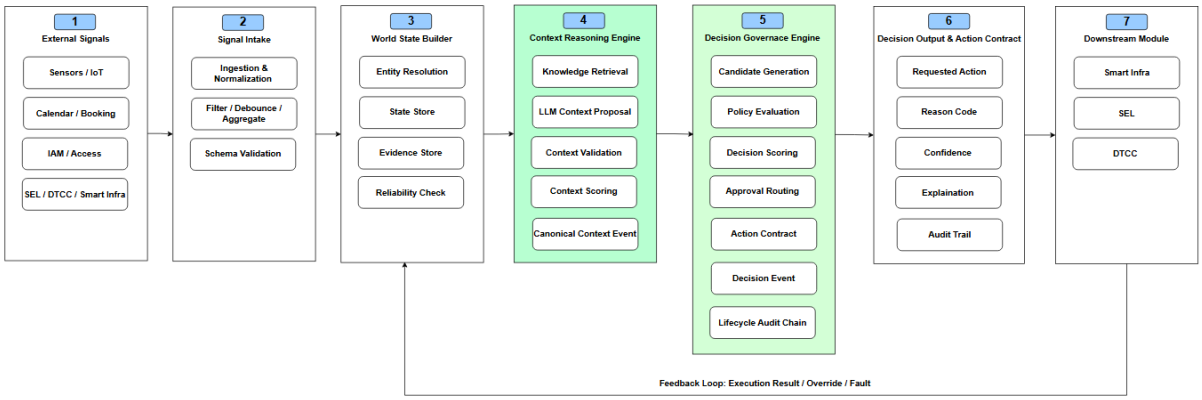
đến tình huống đang được xử lý. Mô hình ngôn ngữ lớn thực hiện quá trình xây dựng giả thuyết ngữ cảnh. Cuối cùng các kết quả suy luận được kiểm tra và đánh giá thông qua tập luật và các cơ chế quản trị trước khi được công bố hoặc sử dụng trong quá trình hỗ trợ ra quyết định.



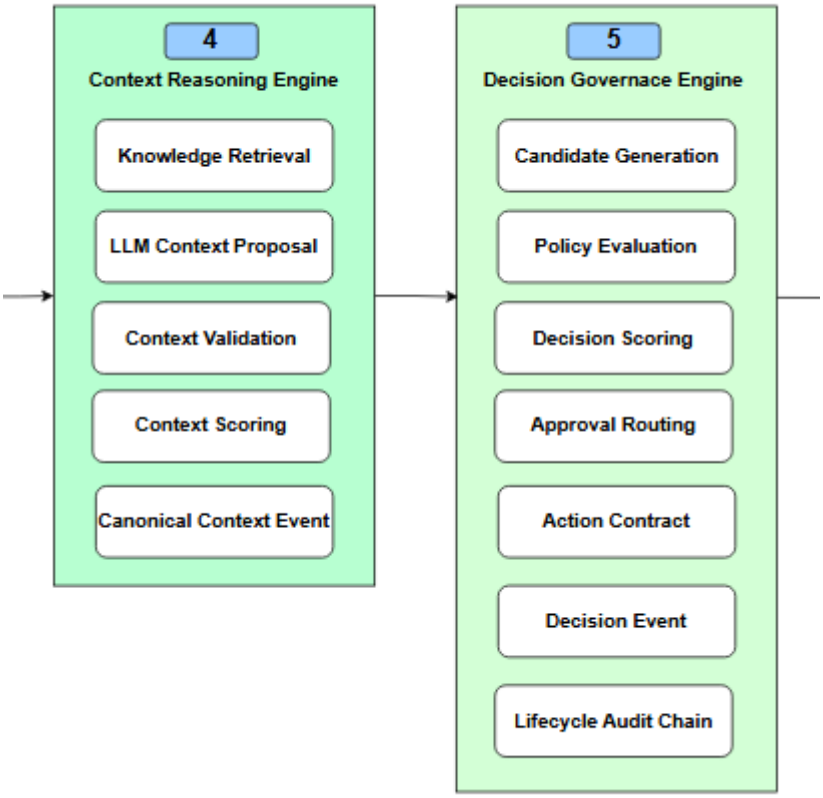
Hình 0.1 Quy trình tổng quát của phương pháp suy luận ngữ cảnh và ra quyết định

Cách tiếp cận này cho phép tận dụng khả năng biểu diễn tri thức của Knowledge Graph, năng lực suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn và tính kiểm soát của các cơ chế dựa trên luật nhằm xây dựng một hệ thống suy luận ngữ cảnh có độ tin cậy cao hơn so với việc sử dụng riêng lẻ từng thành phần.

2.2.2. Kiến trúc tổng thể của hệ thống ICE



Hình 0.2 Kiến trúc tổng thể của hệ thống ICE



Hình 0.3 Hai layer chính của khối ICE

Phương pháp được đề xuất được triển khai trong khối ICE (Intelligent Context Engine) của hệ thống. Khối này chịu trách nhiệm tiếp nhận các tín hiệu đầu vào từ

môi trường vận hành, thực hiện quá trình suy luận ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định dựa trên các tri thức và chính sách đã được xác lập trước.

Về mặt chức năng, hệ thống được tổ chức thành hai nhóm xử lý chính. Nhóm thứ nhất tập trung vào việc nhận diện và xác định ngữ cảnh từ dữ liệu đầu vào. Nhóm thứ hai sử dụng các ngữ cảnh đã được xác thực để đánh giá các phương án xử lý và hình thành quyết định phù hợp với các chính sách vận hành của hệ thống.

Kiến trúc này đảm bảo cho phép tách biệt giữa quá trình suy luận ngữ cảnh và quá trình ra quyết định, từ đó nâng cao khả năng mở rộng, khả năng kiểm soát và khả năng giải thích của hệ thống.

2.2.3. Quy trình xử lý và suy luận ngữ cảnh

Quy trình xử lý của hệ thống bắt đầu từ việc tiếp nhận dữ liệu đầu vào và xây dựng tập thông tin phản ánh trạng thái hiện tại của môi trường vận hành. Dựa trên trạng thái này, hệ thống thực hiện truy xuất các tri thức liên quan từ Knowledge Graph nhằm bổ sung các thông tin cần thiết cho quá trình suy luận.

Các thông tin sau khi được truy xuất sẽ được sử dụng làm đầu vào cho mô hình ngôn ngữ lớn để xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh. Các giả thuyết này tiếp tục được đánh giá thông qua tập luật và các cơ chế kiểm tra nằm loại bỏ các kết quả không phù hợp hoặc không đáp ứng được các điều kiện nghiệp vụ.

Sau khi hoàn thành quá trình xác thực, hệ thống tiến hành đánh giá và chuẩn hóa ngữ cảnh trước khi chuyển sang các bước hỗ trợ ra quyết định. Các quyết định được hình thành dựa trên ngữ cảnh đã được xác nhận, kết hợp với các chính sách vận hành và cơ chế đánh giá của hệ thống nhằm đảm bảo tính nhất quán và khả năng giải thích trong quá trình vận hành.

2.3. Xây dựng đồ thị tri thức

2.3.1. Mô hình Knowledge Graph

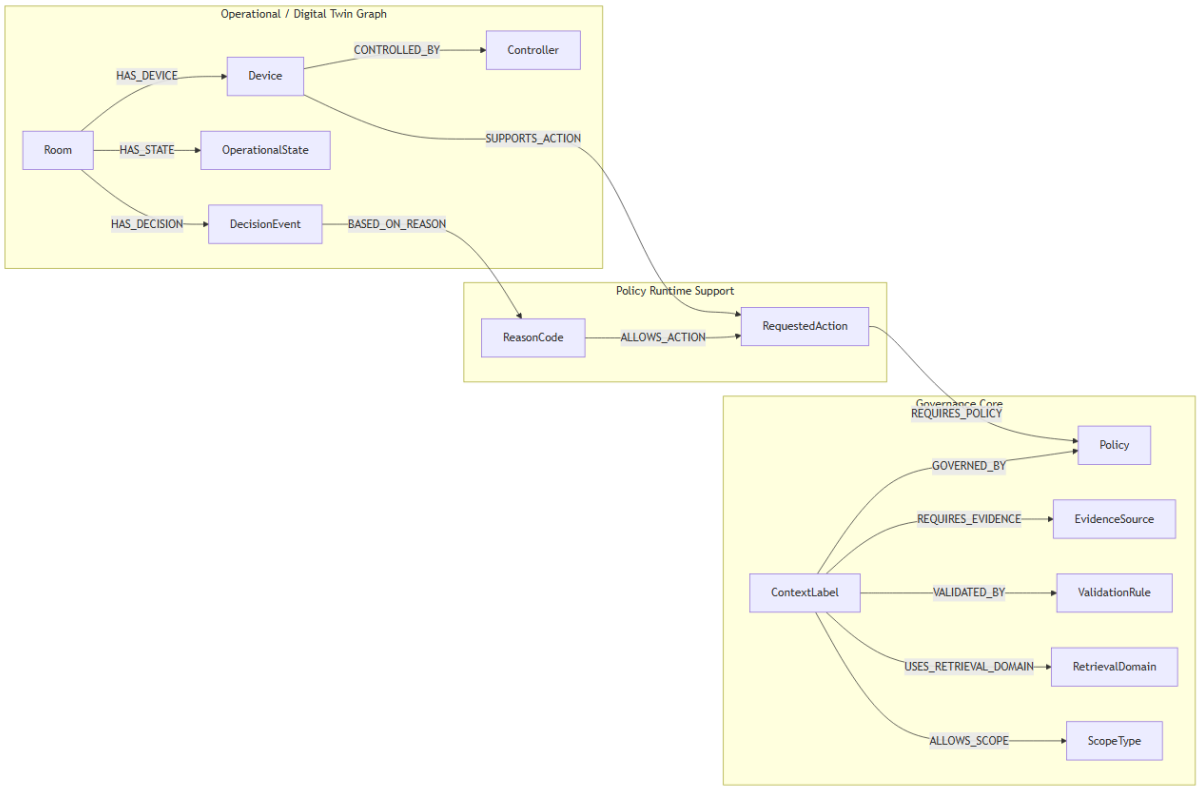
Trong các hệ thống Smart Office, dữ liệu vận hành thường được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau như lịch họp, hệ thống đặt phòng, cảm biến hiện diện, trạng thái thiết bị và các tín hiệu vận hành khác. Tuy nhiên, bản thân các dữ liệu này chỉ phản ánh những sự kiện hoặc trạng thái riêng lẻ, chưa thể hiện được mối quan hệ giữa các đối tượng cũng như các tri thức nghiệp vụ cần thiết cho quá trình suy luận ngữ cảnh.

Để giải quyết vấn đề này, đề tài đã sử dụng Knowledge Graph làm nền tảng tổ chức và quản lý tri thức. Thay vì lưu trữ các thông tin dưới dạng các bản ghi độc lập, mô hình đồ thị cho phép biểu diễn các thực thể và mối quan hệ giữa chúng dưới dạng

các nút (node) và cạnh (relationship). Cách tiếp cận này giúp hệ thống khai thác được các liên kết ngữ nghĩa giữa ngữ cảnh, chính sách, nguồn bằng chứng và các đối tượng vận hành trong môi trường Smart Office.

Knowledge Graph được triển khai trong hệ thống không chỉ phục vụ cho việc lưu trữ tri thức mà còn phản ánh trạng thái vận hành thực tế của môi trường Smart Office. Vì vậy, đồ thị tri thức được xây dựng theo mô hình kết hợp (Hybrid Graph), bao gồm ba thành phần chính:

- Governance Knowledge Graph: lưu trữ các tri thức phục vụ suy luận ngữ cảnh và quản trị quyết định.
- Policy Runtime Support Graph: hỗ trợ quá trình đánh giá chính sách, giải thích quyết định và xây dựng Action Contract.
- Operational/Digital Twin Graph: phản ánh các thực thể vận hành thực tế như phòng họp, thiết bị, bộ điều khiển và trạng thái hoạt động của môi trường.



Hình 0.4 Mô hình kết hợp – Hybrid Graph

Sơ đồ thể hiện các thực thể và quan hệ chính trong Knowledge Graph của hệ thống ICE. Đồ thị được tổ chức thành ba nhóm gồm Governance Core, Policy Runtime Support và Operational / Digital Twin Graph, trong đó ContextLabel đóng

vai trò trung tâm cho quá trình suy luận ngữ cảnh, còn các thực thể vận hành như Room, Device và DecisionEvent được sử dụng để phản ánh trạng thái thực tế của môi trường Smart Office.

Từ mô hình trên có thể thấy tri thức trong hệ thống không chỉ xoay quanh các ngữ cảnh cần suy luận mà còn mở rộng tới các chính sách quản trị và các thực thể vận hành trong môi trường Smart Office. Điều này cho phép quá trình truy xuất tri thức không chỉ khai thác được các quy tắc nghiệp vụ mà còn có thể liên kết với trạng thái vận hành thực tế của hệ thống.

Trong pipeline xử lý của ICE, Knowledge Graph được sử dụng ở giai đoạn truy xuất tri thức. Các thành phần truy xuất sẽ khai thác các thực thể và mối quan hệ được lưu trữ trong Neo4j nhằm xây dựng tập thông tin ngữ cảnh phục vụ cho quá trình suy luận. Kết quả truy xuất sau đó được chuyển tới mô hình ngôn ngữ lớn để hình thành các giả thuyết ngữ cảnh trước khi trải qua các bước xác thực và đánh giá tiếp theo.

2.3.2. Mô hình thực thể

Sau khi xác định được mô hình tổng thể của Knowledge Graph, bước tiếp theo là xây dựng tập thực thể phục vụ cho quá trình suy luận ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định. Các thực thể trong đồ thị được thiết kế nhằm phản ánh cả tri thức nghiệp vụ của hệ thống và trạng thái vận hành thực tế của môi trường Smart Office.

Dựa trên vai trò trong hệ thống, các thực thể được chia thành ba nhóm chính gồm: nhóm thực thể Governance Core, nhóm thực thể Policy Runtime Support và nhóm thực thể Operational/Digital Twin.

- Nhóm thực thể Governance Core:

  Đây là nhóm thực thể đóng vai trò trung tâm trong quá trình suy luận ngữ cảnh. Các thực thể thuộc nhóm này được sử dụng để biểu diễn các tri thức nghiệp vụ, nguồn bằng chứng, luật xác thực và các thông tin hỗ trợ cho quá trình truy xuất tri thức.

Bảng 0.1 Các thành phần có trong nhóm thực thể Governance Core

Thực thể	Mô tả
ContextLabel	Biểu diễn các ngữ cảnh chuẩn hóa mà hệ thống có thể nhận diện và công bố.
Policy	Biểu diễn các chính sách quản trị được sử dụng trong quá trình đánh giá và ra quyết định.
EvidenceSource	Biểu diễn các nguồn bằng chứng phục vụ suy luận.
ValidationRule	Biểu diễn các luật xác thực ngữ cảnh.
RetrievalDomain	Biểu diễn miền tri thức được sử dụng trong quá trình truy xuất.
ScopeType	Biểu diễn phạm vi áp dụng của ngữ cảnh hoặc quyết định.

Trong đó, thực thể ContextLabel giữ vai trò trung tâm của quá trình suy luận ngữ cảnh. Các ngữ cảnh như meeting_upcoming, meeting_in_progress, reserved_but_empty, deep_work hoặc sensor_conflict được biểu diễn dưới dạng các ContextLabel và trở thành đầu ra của quá trình suy luận.

– Nhóm thực thể Policy Runtime Support:
  Bên cạnh việc suy luận ngữ cảnh, hệ thống còn cần hỗ trợ quá trình hình thành và giải thích quyết định. Vì vậy, đồ thị tri thức được mở rộng thêm một nhóm thực thể phục vụ cho các chức năng quản trị quyết định.

Bảng 0.2 Các thành phần có trong nhóm thực thể Policy Runtime Support

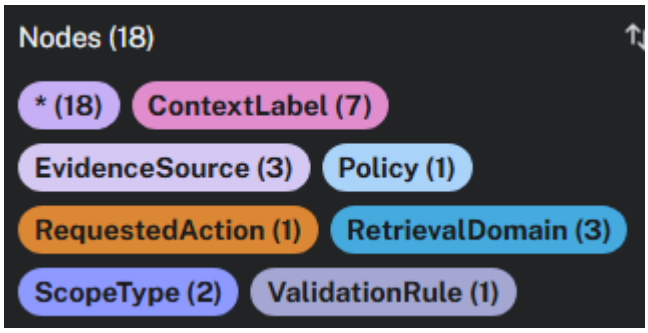
Thực thể	Mô tả
RequestedAction	Biểu diễn các hành động mà hệ thống có thể đề xuất hoặc thực hiện.
ReasonCode	Biểu diễn mã lý do được sử dụng để giải thích quyết định.

Các thực thể trong nhóm này đóng vai trò liên kết giữa kết quả suy luận ngữ cảnh và các hành động vận hành tương ứng. Đồng thời, chúng cũng hỗ trợ khả năng truy vết và giải thích quyết định của hệ thống.

– Nhóm thực thể Operational/Digital Twin:
  Khác với hai nhóm thực thể trước chủ yếu phản ánh tri thức nghiệp vụ, nhóm Operational/Digital Twin được sử dụng để biểu diễn các đối tượng và trạng thái vận hành thực tế của môi trường Smart Office.

Bảng 0.3 Các thành phần có trong nhóm thực thể Operational/Digital Twin

Thực thể	Mô tả
Room	Biểu diễn không gian làm việc hoặc phòng họp.
Device	Biểu diễn các thiết bị văn phòng trong môi trường Smart Office
Controller	Biểu diễn bộ điều khiển thiết bị.
OperationalState	Biểu diễn trạng thái vận hành của môi trường.
DecisionEvent	Biểu diễn các quyết định đã được phát sinh trong runtime.



Hình 0.5 Ví dụ về các node có trong đồ thị tri thức

Nhóm thực thể này cho phép đồ thị tri thức không chỉ lưu trữ các tri thức phục vụ suy luận mà còn phản ánh trạng thái thực tế của môi trường vận hành. Nhờ đó, hệ thống có thể liên kết các ngữ cảnh được suy luận với các đối tượng thực tế như phòng họp, thiết bị hoặc trạng thái vận hành tương ứng.

Việc tổ chức các thực thể theo ba nhóm chức năng giúp hệ thống dễ dàng mở rộng trong tương lai, đồng thời tạo nền tảng cho việc mô hình hóa các mối quan hệ giữa tri thức nghiệp vụ và môi trường vận hành thực tế. Các mối quan hệ này sẽ được trình bày chi tiết trong mục tiếp theo.

2.3.3. Mô hình quan hệ

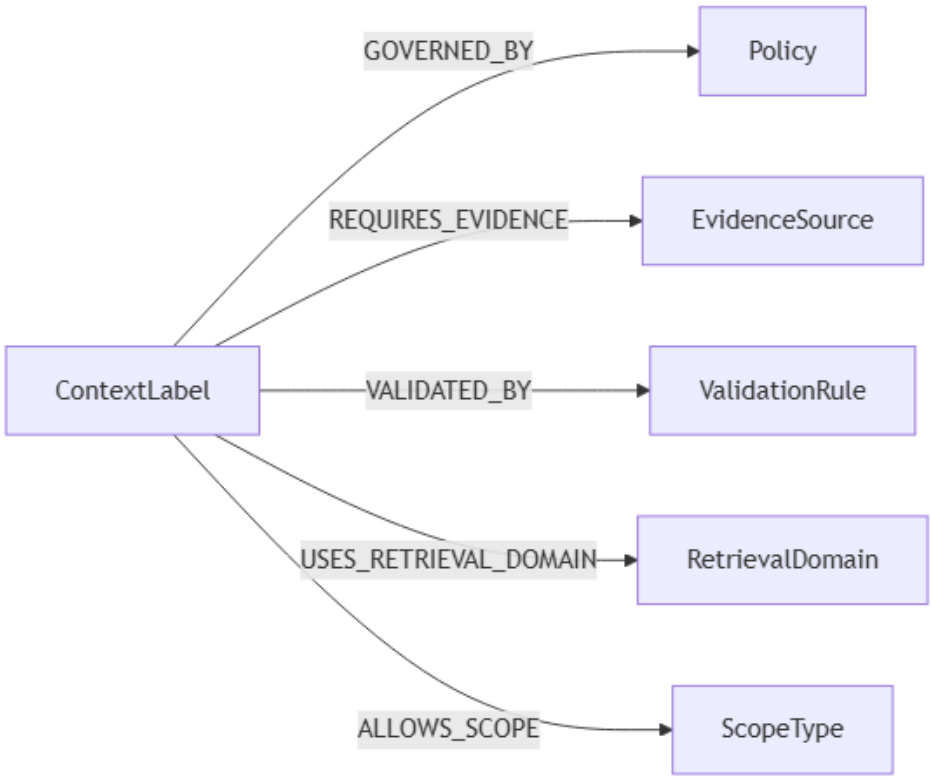
Bên cạnh việc xác định các thực thể, việc mô hình hóa mối quan hệ giữa các thực thể đóng vai trò quan trọng trong quá trình xây dựng Knowledge Graph. Nếu các thực thể chỉ tồn tại dưới dạng các nút độc lập, hệ thống sẽ không thể khai thác được các tri thức liên kết phục vụ cho quá trình suy luận ngữ cảnh và hỗ trợ ra quyết định.

Trong hệ thống được đề xuất, các mối quan hệ được sử dụng để mô tả sự liên kết giữa ngữ cảnh, chính sách, nguồn bằng chứng, luật xác thực và các đối tượng vận hành trong môi trường Smart Office. Thông qua các mối quan hệ này, hệ thống có thể truy xuất được các tri thức liên quan tới một ngữ cảnh cụ thể thay vì chỉ xử lý các dữ liệu rời rạc.

- Nhóm quan hệ Governance Core:
  Đây là nhóm quan hệ cốt lõi phục vụ cho quá trình suy luận ngữ cảnh.

Bảng 0.4 Các thành phần của nhóm quan hệ Governance Core

Quan hệ	Ý nghĩa
GOVERNED_BY	Ngữ cảnh được quản trị bởi một chính sách cụ thể
REQUIRES_EVIDENCE	Ngữ cảnh yêu cầu các nguồn bằng chứng phục vụ suy luận
ALLOWS_SCOPE	Xác định phạm vi áp dụng của ngữ cảnh
USES_RETRIEVAL_DOMAIN	Xác định miền tri thức được sử dụng trong quá trình truy xuất
VALIDATED_BY	Liên kết ngữ cảnh với các luật xác thực tương ứng



Hình 0.6 Mô hình quan hệ của thực thể ContextLabel trong Knowledge Graph

Thông qua các quan hệ này, hệ thống có thể truy xuất được tập tri thức liên quan tới một ngữ cảnh cụ thể. Ví dụ, từ một ContextLabel, hệ thống có thể xác định các nguồn bằng chứng cần thiết, các luật xác thực tương ứng cũng như các chính sách liên quan trước khi thực hiện quá trình suy luận.

– Nhóm quan hệ Policy Runtime Support:
  Nhóm quan hệ này hỗ trợ quá trình quản trị quyết định và giải thích kết quả xử lý của hệ thống.

Bảng 0.5 Các thành phần của nhóm quan hệ Policy Runtime Support

Quan hệ	Ý nghĩa
ALLOWS_ACTION	Xác định các hành động được phép thực hiện tương ứng với từng mã lý do
REQUIRES_POLICY	Xác định chính sách cần được đánh giá trước khi thực hiện hành động

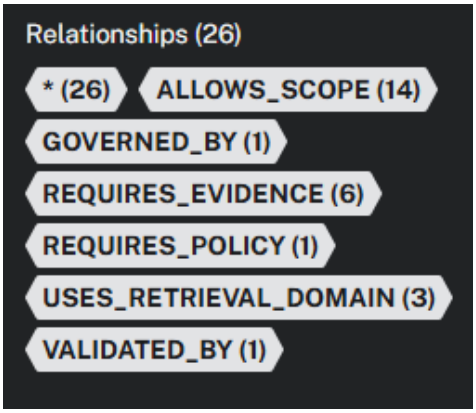
Các quan hệ này giúp liên kết giữa quá trình đánh giá quyết định và các hành động vận hành mà hệ thống có thể thực hiện.

– Nhóm quan hệ Operational/Digital Twin:
  Khác với hai nhóm quan hệ trước chủ yếu phục vụ suy luận và quản trị, nhóm quan hệ Operational/Digital Twin được sử dụng để mô hình hóa các đối tượng và trạng thái vận hành thực tế trong môi trường Smart Office.

Bảng 0.6 Các thành phần của nhóm quan hệ Operational/Digital Twin

Quan hệ	Ý nghĩa
HAS_DEVICE	Phòng hoặc khu vực chứa các thiết bị vận hành
CONTROLLED_BY	Thiết bị được điều khiển bởi bộ điều khiển tương ứng
SUPPORTS_ACTION	Thiết bị hỗ trợ thực hiện một hành động cụ thể
HAS_DECISION	Liên kết với các quyết định đã phát sinh trong runtime
BASED_ON_REASON	Liên kết quyết định với mã lý do tương ứng

Các quan hệ này giúp đồ thị tri thức phản ánh được trạng thái thực tế của môi trường vận hành thay vì chỉ lưu trữ các tri thức nghiệp vụ. Nhờ đó, hệ thống có thể liên kết kết quả suy luận ngữ cảnh với các đối tượng thực tế như phòng họp, thiết bị hoặc trạng thái vận hành tương ứng.



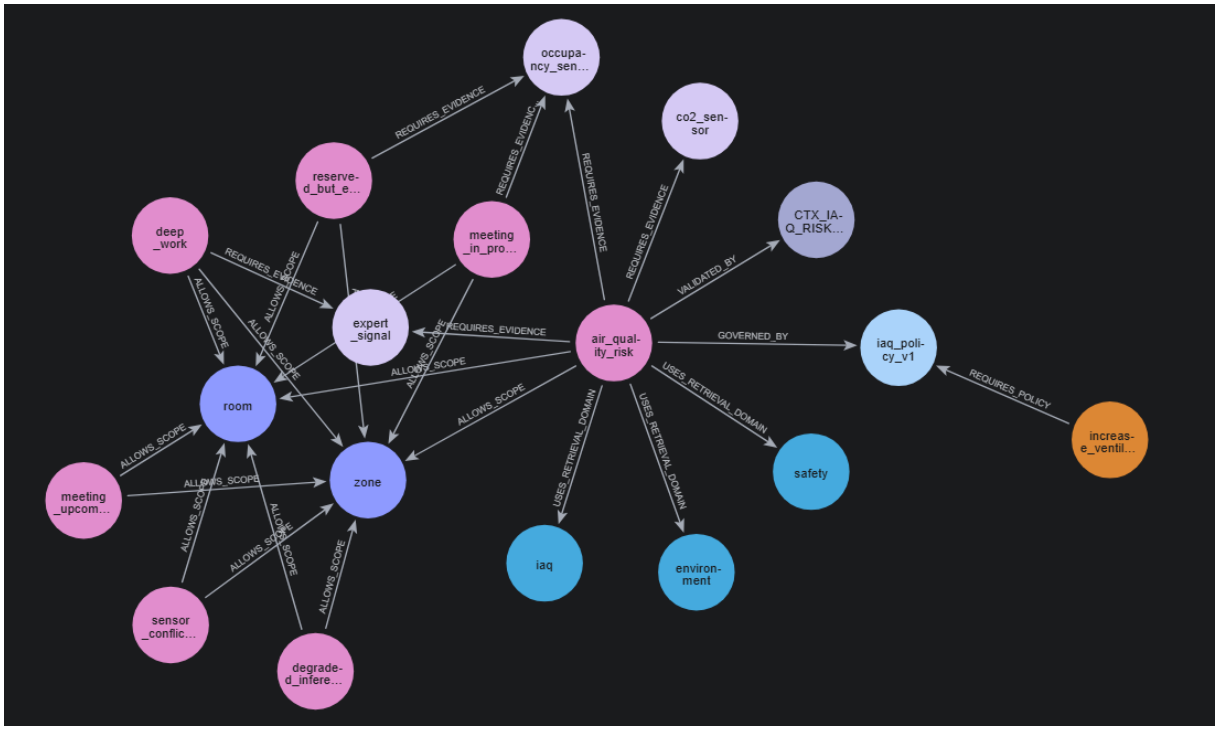
Hình 0.7 Ví dụ về các quan hệ có trong đồ thị tri thức

Có thể thấy rằng các quan hệ trong Knowledge Graph không chỉ đóng vai trò liên kết dữ liệu mà còn là cơ sở cho quá trình truy xuất tri thức và suy luận ngữ cảnh. Thông qua việc khai thác các liên kết này, hệ thống có thể xây dựng được tập thông tin ngữ cảnh đầy đủ hơn trước khi chuyển sang các bước xử lý tiếp theo.

2.3.4. Xây dựng đồ thị tri thức bằng Neo4j

Sau khi hoàn thiện mô hình thực thể và mô hình quan hệ, Knowledge Graph cần được triển khai trên một nền tảng có khả năng lưu trữ và truy vấn dữ liệu dạng đồ thị. Trong phạm vi đề tài, Neo4j được lựa chọn làm hệ quản trị cơ sở dữ liệu đồ thị để hiện thực hóa mô hình tri thức của hệ thống.

Trong hệ thống được xây dựng, Neo4j được sử dụng để lưu trữ toàn bộ Knowledge Graph phục vụ cho quá trình suy luận ngữ cảnh. Các ontology, context registry và policy registry được khởi tạo vào đồ thị dưới dạng các thực thể Governance Core. Bên cạnh đó, các thực thể vận hành như phòng họp, thiết bị và trạng thái hoạt động cũng được đồng bộ vào đồ thị nhằm hình thành lớp Operational/Digital Twin phục vụ cho quá trình truy xuất tri thức.



Hình 0.8 Đồ thị tri thức được xây dựng trong Neo4j

Hình trên đồ thị tri thức được trực quan hóa trong Neo4j. Đồ thị bao gồm các nút (Node) dạng hình tròn đại diện cho thực thể và các mũi tên có nhãn biểu thị cho mối quan hệ (Relationship) giữa chúng. Theo đồ thị, với node air_quality_risk được xác thực bởi (VALIDATED_BY) nút CTX_IAQ_RISK, được điều hành bởi

(GOVERNED_BY) nút chính sách iqa_policy_v1, chính sách này yêu cầu hành động (REQUIRES_POLICY) là increase_ventil (tăng cường thông gió).

Thông qua Neo4j, hệ thống có thể thực hiện các truy vấn dựa trên cấu trúc quan hệ của đồ thị để tìm kiếm các tri thức liên quan tới một ngữ cảnh hoặc một đối tượng vận hành cụ thể. Kết quả truy xuất sẽ được sử dụng trong các bước xử lý tiếp theo nhằm hỗ trợ quá trình suy luận ngữ cảnh và ra quyết định.

Ví dụ, khi hệ thống cần đánh giá một ngữ cảnh cụ thể, các truy vấn đồ thị có thể được sử dụng để xác định các nguồn bằng chứng liên quan, các luật xác thực tương ứng, các chính sách áp dụng cũng như phạm vi hiệu lực của ngữ cảnh đó.

```
MATCH path = (n:ContextLabel {name: "air_quality_risk"})-[*1..2]-(m)
RETURN path
LIMIT 30;
```

Hình 0.9 Lệnh Cypher truy vấn trong Neo4j

Việc triển khai Knowledge Graph trên Neo4j giúp hệ thống xây dựng được một nguồn tri thức có cấu trúc, hỗ trợ hiệu quả cho quá trình truy xuất và suy luận ngữ cảnh. Trên cơ sở đồ thị tri thức đã được xây dựng, hệ thống tiếp tục thực hiện quá trình khai thác và truy xuất tri thức nhằm cung cấp thông tin đầu vào cho các bước suy luận tiếp theo.

2.4. Cơ chế truy xuất tri thức

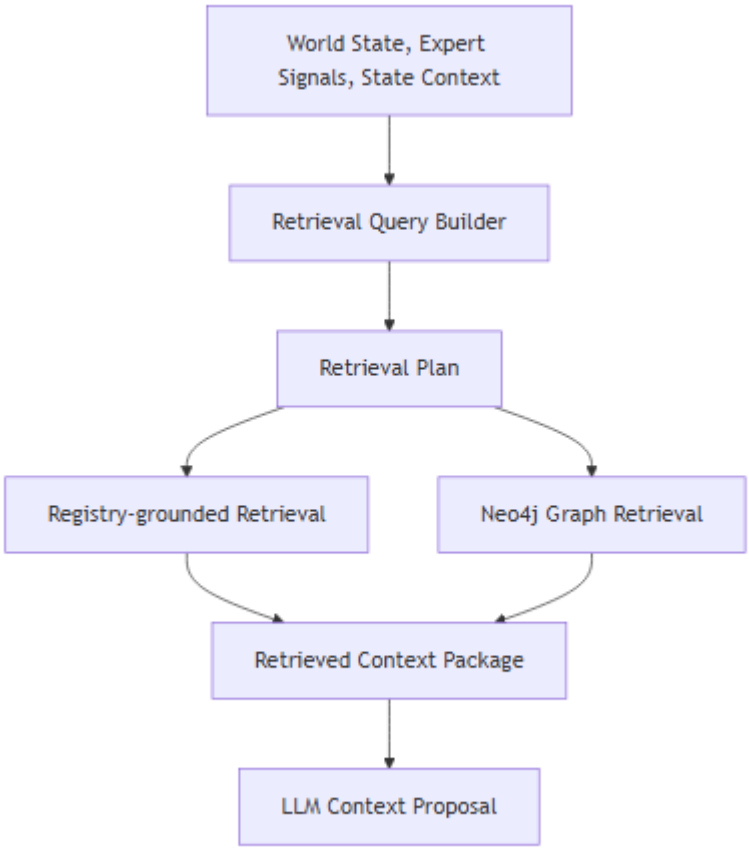
Trong kiến trúc được đề xuất, Knowledge Graph đóng vai trò là nguồn tri thức có cấu trúc phục vụ quá trình suy luận ngữ cảnh. Tuy nhiên, các tri thức được lưu trữ trong đồ thị không được chuyển trực tiếp tới mô hình ngôn ngữ lớn. Thay vào đó, hệ thống thực hiện một giai đoạn truy xuất tri thức nhằm lựa chọn và tổng hợp các thông tin phù hợp với trạng thái vận hành hiện tại trước khi đưa vào quá trình suy luận.

Cơ chế này giúp giảm lượng thông tin không liên quan được đưa vào mô hình, đồng thời đảm bảo các giả thuyết ngữ cảnh được hình thành dựa trên các tri thức đã được xác thực trong hệ thống. Bên cạnh đó, việc sử dụng cơ chế truy xuất có cấu trúc cũng cho phép kiểm soát nguồn gốc của các tri thức được sử dụng trong quá trình suy luận, tạo nền tảng cho khả năng giải thích và truy vết sau này.

2.4.1. Quy trình truy xuất tri thức

Trong hệ thống ICE, quá trình tri thức được thực hiện sau khi trạng thái môi trường (World State) đã được xây dựng và trước khi mô hình ngôn ngữ lớn thực hiện

quá trình sinh giả thuyết ngữ cảnh. Thay vì truy vấn trực tiếp từ dữ liệu đầu vào, hệ thống sử dụng một cơ chế truy xuất trung gian nhằm xác định các tri thức liên quan tới tình huống đang được xử lý.



Hình 0.10 Quy trình truy xuất tri thức

Quá trình truy xuất bắt đầu từ các thông tin mô tả trạng thái hiện tại của hệ thống, bao gồm World State, Expert Signals và State Context. Dựa trên các thông tin này, hệ thống thực hiện giai đoạn lập kế hoạch truy xuất nhằm xác định các miền tri thức và các ngữ cảnh ứng viên cần được khai thác.

Sau khi kế hoạch truy xuất được hình thành, hệ thống tiến hành truy xuất tri thức từ các nguồn tri thức nội bộ và từ Knowledge Graph tùy theo điều kiện vận hành. Các tri thức được truy xuất sau đó được tổng hợp và chuẩn hóa thành một tập ngữ cảnh có cấu trúc trước khi được chuyển tới mô hình ngôn ngữ lớn để phục vụ quá trình xây dựng giả thuyết ngữ cảnh.

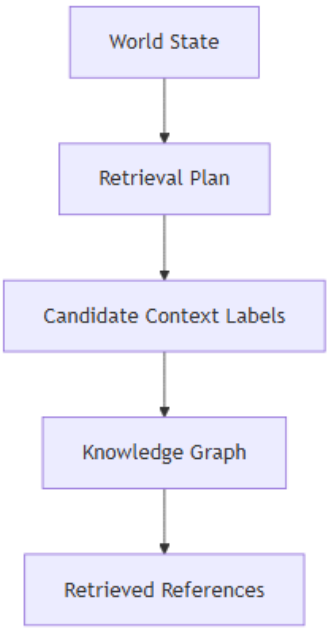
2.4.2. Truy xuất dựa trên Knowledge Graph

Hệ thống không sử dụng cơ chế tìm kiếm dựa trên các vector hay độ tương đồng ngữ nghĩa. Thay vào đó, việc truy xuất được thực hiện dựa trên các tri thức đã được mô hình hóa trong Knowledge Graph và Context.

Trước khi thực hiện truy vấn, hệ thống sử dụng thành phần Retrieval Query Builder để xây dựng một Retrieval Plan. Kế hoạch này được hình thành dựa trên các thông tin như trạng thái môi trường (World State), tín hiệu chuyên gia (Expert Signal) và trạng thái của hệ thống. Từ các thông tin đầu vào đó, hệ thống xác định các ContextLabel tiềm năng cũng như các miền tri thức liên quan cần được khai thác.

Ví dụ, khi trạng thái hiện tại cho thấy có một cuộc họp sắp diễn ra, kế hoạch truy vấn có thể xác định ngữ cảnh ứng viên là meeting_upcoming và kích hoạt các miền tri thức liên quan tới cuộc họp, mức độ hiện diện và khả năng sẵn sàng của phòng họp. Tương tự, khi phát hiện các tín hiệu mâu thuẫn giữa các cảm biến, hệ thống có thể đưa sensor_conflict vào danh sách ngữ cảnh cần đánh giá.

Sau khi kế hoạch truy xuất được xây dựng, Graph Retriever sẽ thực hiện truy xuất từ đồ thị tri thức. Trong chế độ Registry Retrieval, hệ thống có thể thu thập các thực thể như ContextLabel, Policy, EvidenceSource, ValidationRule và RetrievalDomain. Trong khi đó, chế độ Neo4j Retrieval còn cho phép khai thác thêm các thực thể vận hành như Room, Device, Controller, OperationalState, DecisionEvent và ReasonCode.



Hình 0.11 Quy trình truy xuất trong Knowledge Graph

Thông qua cơ chế này, hệ thống không truy xuất toàn bộ đồ thị mà chỉ khai thác các thực thể và quan hệ liên quan tới tình huống đang được xử lý. Điều này giúp giảm khối lượng thông tin được chuyển tới các bước suy luận tiếp theo và nâng cao chất lượng của ngữ cảnh đầu vào.

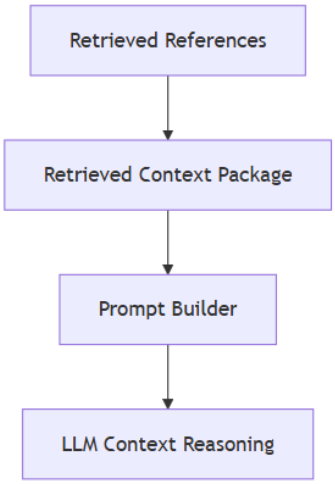
2.4.3. Dữ liệu đầu ra của quá trình truy xuất

Kết quả của quá trình truy xuất không phải là các bản ghi Neo4j thô mà được chuẩn hóa dưới dạng một đối tượng có cấu trúc gọi là RetrievedContextPackage. Đối tượng này đóng vai trò là cầu nối giữa Knowledge Retrieval và Context Reasoning Engine.

RetrievedContextPackage bao gồm các thông tin như:

- Thông tin định danh của phiên truy xuất.
- Phạm vi áp dụng của kết quả truy xuất.
- Danh sách các tri thức đã được truy xuất.
- Thông tin truy vết và chẩn đoán quá trình truy xuất.
- Các chỉ số đánh giá chất lượng của kết quả truy xuất.

Trước khi được chuyển tới mô hình ngôn ngữ lớn, các tri thức trong RetrievedContextPackage sẽ được chuyển đổi thành các tham chiếu ngữ cảnh (Retrieved References). Mỗi tham chiếu bao gồm mã định danh, tiêu đề và phần tóm tắt nội dung tương ứng. Các tham chiếu này được đưa trực tiếp vào prompt của Context Reasoning Engine dưới vai trò nguồn tri thức nền tảng cho quá trình sinh giả thuyết ngữ cảnh.



Hình 0.12 Quy trình hình thành Retrieved Context Package từ kết quả truy xuất

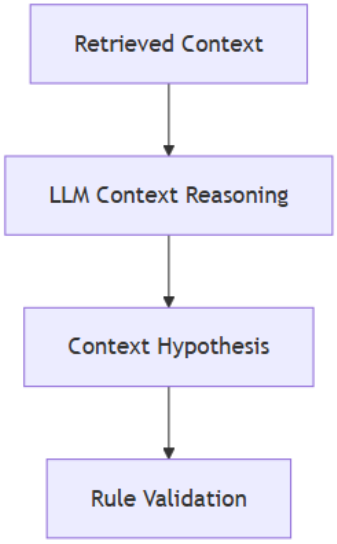
Thông qua cơ chế này, mô hình ngôn ngữ lớn không phải suy luận trực tiếp từ dữ liệu vận hành ban đầu mà được cung cấp thêm các tri thức đã được truy xuất và chuẩn hóa từ hệ thống. Điều này giúp nâng cao tính nhất quán của quá trình suy luận, đồng thời đảm bảo các giả thuyết ngữ cảnh được xây dựng dựa trên các nguồn tri thức đã được kiểm soát và truy vết trong Knowledge Graph.

2.5. Phương pháp suy luận ngữ cảnh bằng mô hình ngôn ngữ lớn

2.5.1. Vai trò của LLM trong hệ thống

Trong phương pháp được đề xuất, mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) được sử dụng để hỗ trợ quá trình suy luận ngữ cảnh dựa trên các thông tin đã được truy xuất từ Knowledge Graph và các tín hiệu vận hành của hệ thống. Nhiệm vụ chính của LLM là phân tích các dữ liệu đầu vào, tổng hợp các bằng chứng liên quan và xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh phù hợp với trạng thái hiện tại của môi trường.

Tuy nhiên, LLM không phải là thành phần đưa ra kết luận cuối cùng. Các giả thuyết ngữ cảnh do LLM sinh ra tiếp tục được chuyển tới các bước xác thực và đánh giá nhằm đảm bảo tính nhất quán với tri thức và các quy tắc nghiệp vụ của hệ thống.



Hình 0.13 Vai trò của mô hình ngôn ngữ lớn trong quá trình suy luận ngữ cảnh

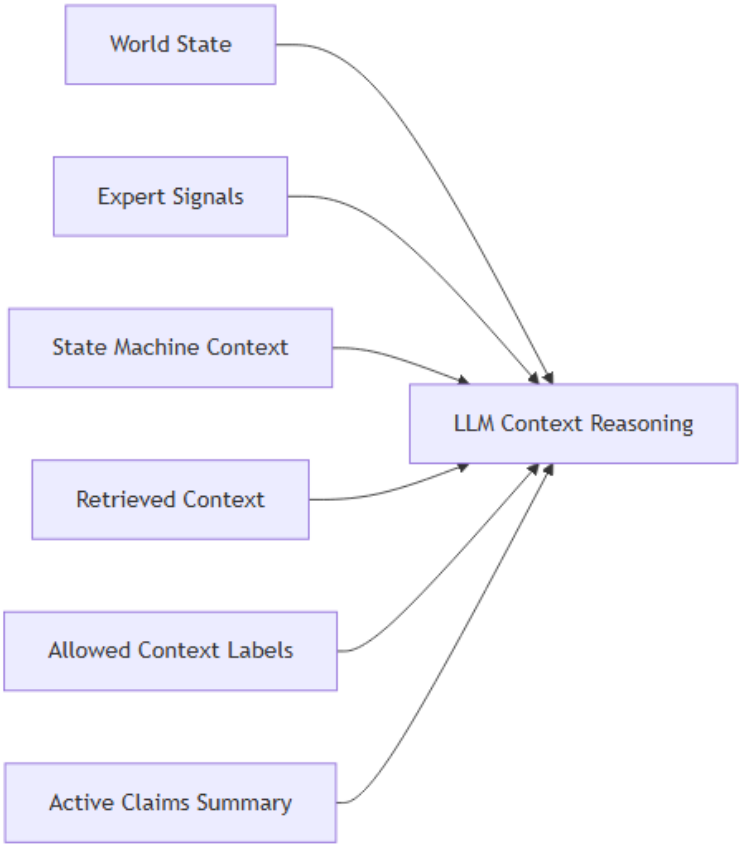
LLM đóng vai trò trung gian giữa giai đoạn truy xuất tri thức và giai đoạn xác thực ngữ cảnh, giúp hệ thống tận dụng khả năng suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn trong khi vẫn duy trì được khả năng kiểm soát và quản trị kết quả đầu ra.

2.5.2. Dữ liệu đầu vào của quá trình suy luận

Để xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh, mô hình ngôn ngữ lớn không được cung cấp trực tiếp toàn bộ dữ liệu vận hành của hệ thống mà sử dụng một tập thông tin đã

được chuẩn hóa từ các bước xử lý trước đó. Các thông tin này được tổng hợp từ trạng thái hiện tại của môi trường, các tín hiệu chuyên gia, kết quả truy xuất tri thức và các thông tin hỗ trợ khác nhằm tạo ra một ngữ cảnh đầu vào có cấu trúc cho quá trình suy luận.

Việc chuẩn hóa dữ liệu đầu vào giúp đảm bảo rằng quá trình suy luận được thực hiện trên cùng một cấu trúc dữ liệu, đồng thời tạo điều kiện để hệ thống kiểm soát được phạm vi tri thức mà mô hình có thể sử dụng trong quá trình xây dựng giả thuyết ngữ cảnh.



Hình 0.14 Các thành phần thông tin được sử dụng trong giai đoạn suy luận ngữ cảnh.

Bảng 0.7 Các thành phần đầu vào của quá trình suy luận

Thành phần	Vai trò
World State	Phản ánh trạng thái hiện tại của môi trường vận hành
Expert Signals	Các tín hiệu được tổng hợp từ các thành phần chuyên biệt của hệ thống
State Machine Context	Thông tin về trạng thái hiện tại và lịch sử chuyển trạng thái
Retrieved Context	Tập tri thức đã được truy xuất từ Knowledge Graph
Allowed Context Labels	Danh sách các ngữ cảnh hợp lệ mà hệ thống cho phép lựa chọn
Active Claims Summary	Tóm tắt các nhận định đang tồn tại trong hệ thống

Dữ liệu đầu vào của quá trình suy luận không chỉ bao gồm trạng thái vận hành hiện tại mà còn kết hợp các tri thức đã được truy xuất, các tín hiệu chuyên gia và các ràng buộc nghiệp vụ. Trên cơ sở tập thông tin này, mô hình ngôn ngữ lớn thực hiện quá trình xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh, nội dung sẽ được trình bày trong mục tiếp theo.

Để làm rõ cách các nguồn thông tin được đóng gói trước khi đưa vào mô hình ngôn ngữ lớn, đoạn JSON dưới đây minh họa cấu trúc đầu vào rút gọn của quá trình suy luận ngữ cảnh.



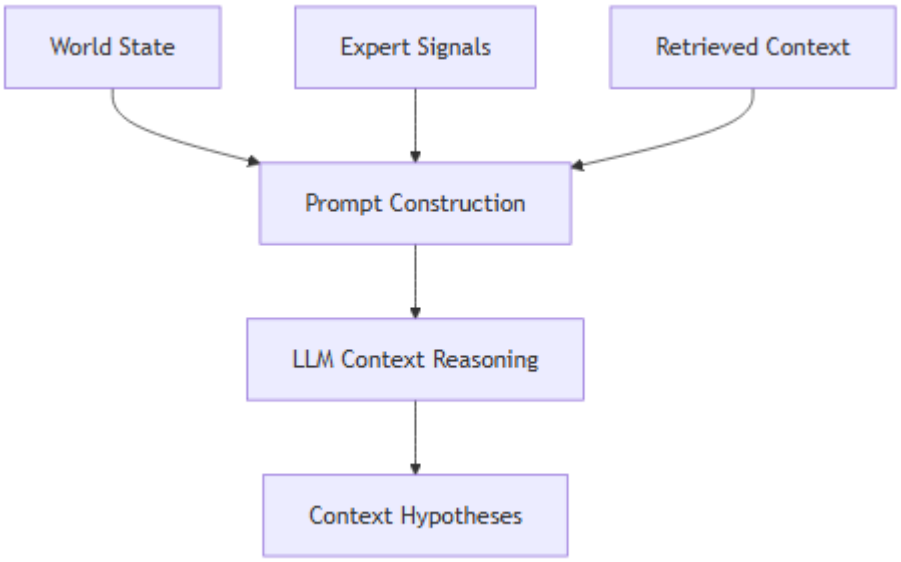
Hình 0.15 Format JSON được sử dụng cho quá trình suy luận ngữ cảnh

Cấu trúc này cho thấy mô hình không nhận dữ liệu thô một cách tự do mà chỉ xử lý các trường thông tin đã được hệ thống chuẩn bị sẵn, bao gồm trạng thái môi trường, tín hiệu chuyên gia, trạng thái chuyển tiếp, kết quả truy xuất tri thức và danh sách nhãn ngữ cảnh hợp lệ.

2.5.3. Xây dựng giả thuyết ngữ cảnh

Sau khi tiếp nhận dữ liệu đầu vào, mô hình ngôn ngữ lớn thực hiện quá trình phân tích và tổng hợp thông tin nhằm xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh phù hợp với trạng thái hiện tại của môi trường. Trong hệ thống được đề xuất, kết quả của giai đoạn này không phải là ngữ cảnh cuối cùng mà chỉ là các giả thuyết cần tiếp tục được xác thực ở các bước xử lý tiếp theo.

Để đảm bảo tính nhất quán với tri thức của hệ thống, mô hình không được phép tự do tạo ra các nhãn ngữ cảnh mới. Thay vào đó, mô hình chỉ được lựa chọn từ danh sách các ngữ cảnh hợp lệ đã được cung cấp trước. Các giả thuyết được sinh ra đồng thời phải chỉ rõ các bằng chứng hỗ trợ, các bằng chứng mâu thuẫn và các tham chiếu tri thức được sử dụng trong quá trình suy luận.



Hình 0.16 Quy trình xây dựng giả thuyết ngữ cảnh

Trong quá trình thực thi, hệ thống xây dựng một prompt tổng hợp bao gồm các thành phần chính:

- Danh sách các nhãn ngữ cảnh được phép sử dụng.
- Tóm tắt trạng thái hiện tại của môi trường.
- Các tín hiệu chuyên gia.
- Thông tin trạng thái chuyển tiếp.
- Các tham chiếu tri thức đã được truy xuất.
- Các ràng buộc và quy tắc đầu ra.

Mô hình sử dụng các thông tin này để xây dựng một hoặc nhiều giả thuyết ngữ cảnh. Mỗi giả thuyết phản ánh một khả năng diễn giải trạng thái hiện tại của môi trường và được gắn với các bằng chứng tương ứng. Trong trường hợp tồn tại nhiều khả năng khác nhau, mô hình có thể sinh ra nhiều giả thuyết và sắp xếp chúng theo mức độ phù hợp.

Ví dụ, khi hệ thống đồng thời quan sát thấy lịch họp sắp bắt đầu, phòng đã được đặt trước và xuất hiện tín hiệu hiện diện của người dùng, mô hình có thể đề xuất giả thuyết meeting_upcoming. Ngược lại, nếu các cảm biến đưa ra các tín hiệu không nhất quán, mô hình có thể đề xuất giả thuyết sensor_conflict cùng với các thông tin giải thích tương ứng.

Mẫu prompt được sử dụng cho quá trình suy luận của hệ thống:

```
ROLE:
Context Reasoning Engine

ALLOWED CONTEXT LABELS:
- meeting_upcoming
- meeting_in_progress
- reserved_but_empty
- sensor_conflict

WORLD STATE:
...

EXPERT SIGNALS:
...

STATE MACHINE:
...

RETRIEVED REFERENCES:
...

CONSTRAINTS:
- Output JSON only
- Use allowed context labels only
- Do not invent evidence references
- Do not invent retrieved references
- Do not generate actions or decisions
- requires_validation must be true

OUTPUT FORMAT:
{
    ...
}
```

Hình 0.17 Mẫu prompt sử dụng cho LLM

Mô hình ngôn ngữ lớn trong hệ thống không đóng vai trò đưa ra kết luận cuối cùng mà chỉ thực hiện nhiệm vụ xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh dựa trên các tri thức đã được cung cấp. Các giả thuyết này tiếp tục được chuyển sang giai đoạn xác thực và đánh giá trước khi có thể trở thành ngữ cảnh chính thức của hệ thống.

2.5.4. Cấu trúc kết quả suy luận

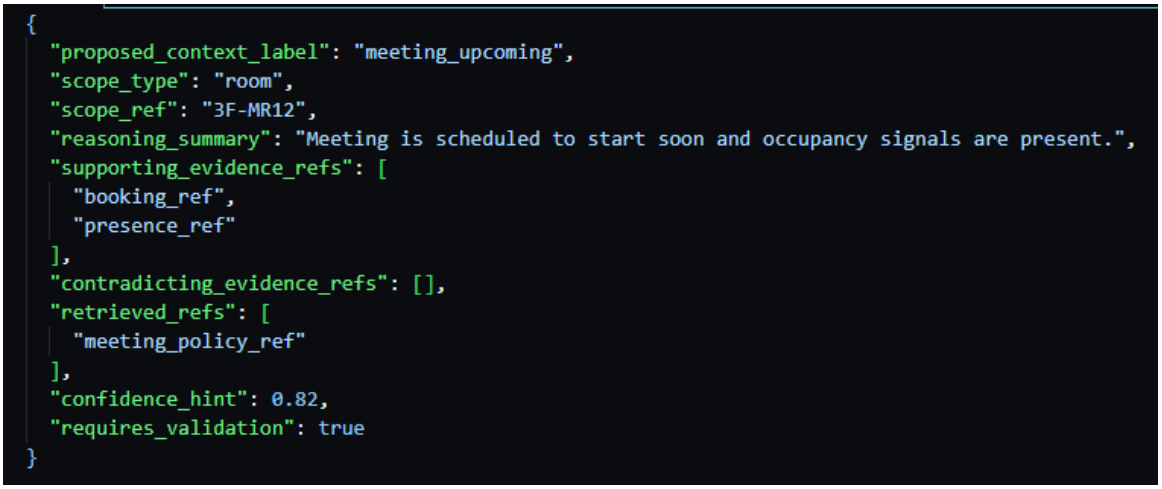
Sau khi hoàn thành quá trình suy luận, mô hình ngôn ngữ lớn không trả về một nhãn ngữ cảnh đơn lẻ mà sinh ra một tập các giả thuyết ngữ cảnh có cấu trúc. Mỗi giả thuyết mô tả một khả năng diễn giải trạng thái hiện tại của môi trường cùng với các bằng chứng và thông tin giải thích liên quan.

Việc sử dụng cấu trúc dữ liệu có tổ chức thay vì văn bản tự do giúp hệ thống có thể tiếp tục thực hiện các bước xác thực, đánh giá và chấm điểm một cách tự động trong các giai đoạn xử lý tiếp theo. Đồng thời, cấu trúc này cũng tạo nền tảng cho khả năng giải thích và truy vết quyết định của hệ thống.

Bảng 0.8 Các thành phần chính của giả thuyết ngữ cảnh

Thành phần	Ý nghĩa
Context Label	Nhãn ngữ cảnh được đề xuất
Reasoning Summary	Tóm tắt quá trình suy luận
Supporting Evidence	Các bằng chứng hỗ trợ
Contradicting Evidence	Các bằng chứng mâu thuẫn
Retrieved References	Các tri thức được sử dụng trong quá trình suy luận
Confidence Hint	Mức độ tin cậy sơ bộ do mô hình đề xuất
Requires Validation	Cờ xác định giả thuyết cần được xác thực

Mẫu JSON mô tả một ví dụ rút gọn của giả thuyết ngữ cảnh:



```
{
  "proposed_context_label": "meeting_upcoming",
  "scope_type": "room",
  "scope_ref": "3F-MR12",
  "reasoning_summary": "Meeting is scheduled to start soon and occupancy signals are present.",
  "supporting_evidence_refs": [
    "booking_ref",
    "presence_ref"
  ],
  "contradicting_evidence_refs": [],
  "retrieved_refs": [
    "meeting_policy_ref"
  ],
  "confidence_hint": 0.82,
  "requires_validation": true
}
```

Hình 0.18 Mẫu JSON mô tả một ví dụ rút gọn của giả thuyết ngữ cảnh

Có thể thấy rằng kết quả đầu ra không chỉ bao gồm nhãn ngữ cảnh được đề xuất mà còn chứa đầy đủ các thông tin phục vụ cho việc giải thích và kiểm chứng sau này. Điều này cho phép hệ thống truy vết được các bằng chứng đã được sử dụng trong quá trình suy luận cũng như đánh giá mức độ phù hợp của từng giả thuyết.

Giá trị confidence_hint chỉ phản ánh mức độ tin cậy sơ bộ do mô hình ngôn ngữ lớn đề xuất. Đây không phải là độ tin cậy cuối cùng của ngữ cảnh. Sau khi các giả thuyết được sinh ra, hệ thống tiếp tục thực hiện các bước xác thực, đánh giá bằng

tập luật và chấm điểm nhằm tính toán mức độ tin cậy chính thức trước khi công bố ngữ cảnh.

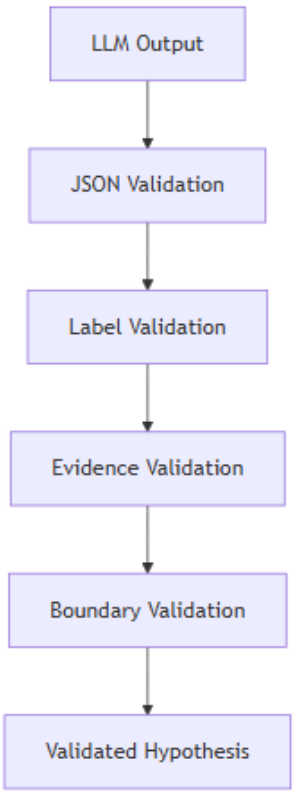
Đầu ra của mô hình ngôn ngữ lớn đóng vai trò là tập giả thuyết có cấu trúc phục vụ cho các bước xử lý tiếp theo, thay vì là kết quả ngữ cảnh cuối cùng của hệ thống.

2.5.5. Cơ chế kiểm soát và xác thực kết quả

Mặc dù mô hình ngôn ngữ lớn có khả năng tổng hợp và diễn giải thông tin từ nhiều nguồn khác nhau, kết quả do mô hình sinh ra không được hệ thống sử dụng trực tiếp. Thay vào đó, các giả thuyết ngữ cảnh phải trải qua nhiều bước kiểm tra nhằm đảm bảo tính nhất quán với tri thức và các quy tắc nghiệp vụ của hệ thống.

Trong giai đoạn suy luận, hệ thống áp dụng nhiều cơ chế ràng buộc nhằm giới hạn phạm vi hoạt động của mô hình. Trước hết, mô hình chỉ được phép lựa chọn các nhãn ngữ cảnh nằm trong danh sách đã được định nghĩa trước. Các nhãn không tồn tại trong hệ thống hoặc không thể ánh xạ tới các nhãn hợp lệ sẽ bị loại bỏ trong quá trình kiểm tra.

Bên cạnh đó, các bằng chứng và tham chiếu tri thức được sử dụng trong quá trình suy luận cũng phải thuộc tập dữ liệu đã được hệ thống cung cấp. Mô hình không được phép tạo mới bằng chứng hoặc tham chiếu ngoài phạm vi của gói tri thức đầu vào. Điều này giúp đảm bảo rằng mọi giả thuyết ngữ cảnh đều có thể được truy vết tới các nguồn tri thức đã được xác nhận.



Hình 0.19 Quá trình kiểm soát kết quả

Ngoài việc kiểm tra cấu trúc dữ liệu, hệ thống còn áp dụng cơ chế bảo vệ ranh giới chức năng giữa các thành phần. Mô hình ngôn ngữ lớn không được phép sinh ra các hành động điều khiển, quyết định vận hành hoặc các thông tin thuộc phạm vi của giai đoạn ra quyết định. Những trường dữ liệu vượt quá thẩm quyền của quá trình suy luận ngữ cảnh sẽ bị phát hiện và loại bỏ trong bước xác thực.

Giá trị độ tin cậy do mô hình sinh ra chỉ được xem là một gợi ý ban đầu. Độ tin cậy chính thức của ngữ cảnh không được lấy trực tiếp từ kết quả suy luận mà được tính toán lại ở các bước đánh giá tiếp theo dựa trên nhiều yếu tố như chất lượng bằng chứng, độ tin cậy của nguồn dữ liệu, kết quả xác thực bằng tập luật và các tiêu chí đánh giá khác.

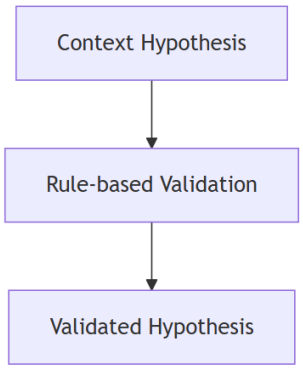
Nhờ các cơ chế kiểm soát và xác thực này, mô hình ngôn ngữ lớn được sử dụng như một thành phần hỗ trợ xây dựng giả thuyết ngữ cảnh thay vì là thành phần đưa ra kết luận cuối cùng. Các giả thuyết hợp lệ sau đó tiếp tục được chuyển sang giai đoạn xác thực và chuẩn hóa ngữ cảnh trước khi có thể trở thành ngữ cảnh chính thức của hệ thống.

2.6. Cơ chế xác thực và chuẩn hóa ngữ cảnh

2.6.1. Xác thực ngữ cảnh bằng tập luật

Sau khi mô hình ngôn ngữ lớn sinh ra các giả thuyết ngữ cảnh, hệ thống chưa sử dụng ngay các kết quả này để công bố ngữ cảnh. Thay vào đó, mỗi giả thuyết phải trải qua quá trình xác thực nhằm kiểm tra tính phù hợp với các quy tắc nghiệp vụ đã được định nghĩa trong hệ thống.

Cách tiếp cận này giúp đảm bảo rằng kết quả cuối cùng không phụ thuộc hoàn toàn vào khả năng suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn. Các giả thuyết được sinh ra chỉ đóng vai trò đề xuất, trong khi tập luật xác thực đóng vai trò kiểm tra và sàng lọc trước khi ngữ cảnh được chấp nhận.



Hình 0.20 Quy trình xác thực

Trong quá trình xác thực, hệ thống đối chiếu các giả thuyết ngữ cảnh với tập luật đã được định nghĩa trước. Các luật này kiểm tra sự phù hợp giữa nhãn ngữ cảnh được đề xuất, các bằng chứng hỗ trợ, phạm vi áp dụng và các điều kiện nghiệp vụ tương ứng.

Ví dụ, một giả thuyết về cuộc họp sắp diễn ra chỉ có thể được chấp nhận khi các bằng chứng liên quan đến lịch họp, trạng thái đặt phòng hoặc tín hiệu hiện diện đáp ứng các điều kiện tối thiểu được quy định trong tập luật. Ngược lại, các giả thuyết không đủ bằng chứng hoặc vi phạm các điều kiện xác thực sẽ bị loại bỏ ở giai đoạn này.

Nhờ cơ chế xác thực bằng tập luật, hệ thống duy trì được tính nhất quán giữa quá trình suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn và các quy tắc nghiệp vụ đã được xây dựng trong môi trường Smart Office.

- Cấu trúc và tổ chức tập luật:

  Mỗi luật xác thực ngữ cảnh là một đối tượng có cấu trúc (ContextValidationRule)

được định nghĩa dưới dạng cấu hình (YAML) thay vì dùng mã cứng, gồm các thành phần chính:

Bảng 0.9 Các thành phần chính của một tập luật xác thực ngữ cảnh

Thành phần	Ý nghĩa
rule_id	Mã định danh luật
target_context_label	Nhãn ngữ cảnh mà luật áp dụng
conditions_all / conditions_any	Tập điều kiện theo logic AND / OR
rule_group	Nhóm chức năng của luật
outcome_on_failure	Kết quả khi luật không thỏa
scoring_bonus / scoring_penalty	Điểm thưởng/phạt đóng góp vào chấm điểm

Mỗi điều kiện trỏ tới một dữ kiện qua đường dẫn và so khớp bằng các toán tử như exist, eq, gte, lte, in, not_constains, …

Các luật được tổ chức thành 8 nhóm đánh giá theo thứ tự xác định, đi từ kiểm tra cấu trúc đến kiểm tra nghiệp vụ phức tạp:

Bảng 0.10 Các nhóm luật xác thực ngữ cảnh

Nhóm	Vai trò
REGISTRY	Nhãn ngữ cảnh có được đăng ký hợp lệ
SCOPE	Phạm vi áp dụng hợp lệ
EVIDENCE_REFS	Có đủ tham chiếu bằng chứng
REQUIRED_CLAIMS	Có đủ các mệnh đề bắt buộc
CONTRADICTION	Không tồn tại mệnh đề mâu thuẫn
RELIABILITY	Độ tin cậy nguồn đạt ngưỡng
FRESHNESS	Dữ liệu còn đủ mới
LIFECYCLE	Hợp lệ về vòng đời/chuyển trạng thái

- Kết quả và cơ chế tổng hợp:
  Sau khi đánh giá, mỗi luật cho một trong 4 kết quả và hệ thống tổng hợp theo mức ưu tiên giảm dần, chỉ cần một luật cứng thất bại, toàn bộ giả thuyết sẽ bị từ chối

Bảng 0.11 Bốn kết quả mà mỗi luật có thể cho ra

Kết quả	Ý nghĩa
REJECT	Vi phạm luật cứng → loại bỏ giả thuyết
NEEDS_MORE_EVIDENCE	Thiếu bằng chứng → chờ thêm dữ liệu
DEGRADE	Đạt nhưng giảm độ tin cậy (có hình phạt điểm)
PASS	Thỏa toàn bộ điều kiện

Ngoài việc cho ra kết quả định tính, tập luật còn phát sinh các **điểm thưởng/phạt** (bonus/penalty) được chuyển sang bước chấm điểm, qua đó ảnh hưởng đến độ tin cậy cuối cùng của ngữ cảnh.

- Ví dụ mỗi luật:
  Ví dụ luật yêu cầu mệnh đề bắt buộc cho ngữ cảnh air_quality_risk:

```yaml
rule_id: CTX_IAQ_REQUIRED_CLAIMS_V1
target_context_label: air_quality_risk
rule_group: REQUIRED_CLAIMS
conditions_all:
  - field_path: active_claims.co2_above_threshold
    operator: exists
  - field_path: active_claims.occupancy_confirmed
    operator: exists
outcome_on_failure: NEEDS_MORE_EVIDENCE
scoring_bonus: 0.10
failure_reason_code: INSUFFICIENT_REQUIRED_CLAIMS
```

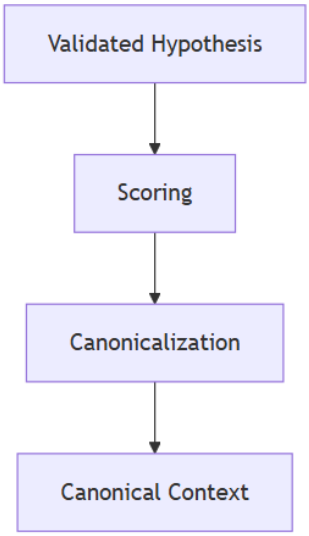
Hình 0.21 Mẫu ví dụ luật yêu cầu mệnh đề bắt buộc cho ngữ cảnh air_quality_risk

Luật này chỉ chấp nhận air_quality_risk khi đồng thời có mệnh đề CO_2 vượt ngưỡng và xác nhận có người; nếu thiếu, ngữ cảnh không bị loại hẳn mà chuyển sang trạng thái chờ thêm bằng chứng.

2.6.2. Đánh giá và chuẩn hóa ngữ cảnh

Sau khi vượt qua bước xác thực, các giả thuyết ngữ cảnh tiếp tục được đánh giá nhằm xác định mức độ phù hợp và độ tin cậy của từng giả thuyết. Kết quả đánh giá được sử dụng để lựa chọn các ngữ cảnh có khả năng phản ánh chính xác nhất trạng thái hiện tại của môi trường.

Quá trình đánh giá không chỉ dựa trên kết quả suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn mà còn kết hợp nhiều yếu tố khác như chất lượng bằng chứng, độ tin cậy của nguồn dữ liệu và kết quả xác thực từ tập luật. Nhờ đó, độ tin cậy cuối cùng của ngữ cảnh không phụ thuộc trực tiếp vào giá trị confidence do mô hình đề xuất.

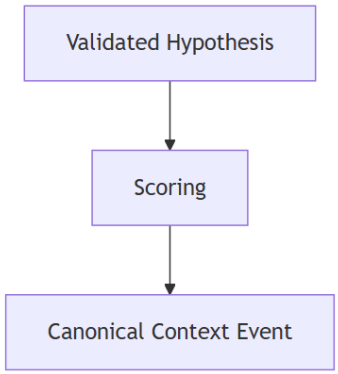


Hình 0.22 Quá trình đánh giá và chuẩn hóa ngữ cảnh

Sau khi được đánh giá, các ngữ cảnh hợp lệ được chuyển sang bước chuẩn hóa. Tại đây, các nhãn ngữ cảnh, phạm vi áp dụng và các thông tin liên quan được chuyển đổi về định dạng thống nhất của hệ thống. Việc chuẩn hóa giúp các thành phần phía sau có thể xử lý ngữ cảnh theo một cấu trúc chung, đồng thời giảm sự phụ thuộc vào cách diễn đạt của mô hình ngôn ngữ lớn.

2.6.3. Phát sinh sự kiện ngữ cảnh chuẩn

Bước cuối cùng của quá trình xử lý ngữ cảnh là phát sinh sự kiện ngữ cảnh chuẩn (Canonical Context Event). Đây là dạng biểu diễn chính thức của ngữ cảnh trong hệ thống và là đầu vào cho các cơ chế quản trị và ra quyết định ở các bước tiếp theo.



Hình 0.23 Quá trình phát sinh sự kiện ngữ cảnh chuẩn

Sự kiện ngữ cảnh chuẩn thường bao gồm các thông tin như:

- Nhãn ngữ cảnh đã được xác nhận.
- Phạm vi áp dụng của ngữ cảnh.
- Khoảng thời gian hiệu lực.
- Nguồn bằng chứng hỗ trợ.
- Kết quả đánh giá độ tin cậy.
- Thông tin phục vụ truy vết và giải thích.

```
{
  "context_label": "air_quality_risk",
  "scope_type": "room",
  "scope_ref": "3F-MR12",
  "confidence_score": 0.84,
  "validity_window_sec": 900,
  "evidence_refs": [
    "ev-co2-room-3f-mr12-001",
    "ev-occ-room-3f-mr12-001"
  ],
  "source_mix": [
    "co2_sensor",
    "occupancy_sensor",
    "llm_context_reasoning",
    "deterministic_rulebase"
  ]
}
```

Hình 0.24 Mẫu JSON của một sự kiện ngữ cảnh chuẩn

Đoạn JSON trên minh họa một Canonical Context Event sau khi hoàn thành các bước suy luận, xác thực và đánh giá. Sự kiện ngữ cảnh này phản ánh trạng thái rủi ro chất lượng không khí (air_quality_risk) tại phòng họp 3F-MR12 với độ tin cậy

0.84. Các bằng chứng hỗ trợ bao gồm dữ liệu cảm biến CO_2 và cảm biến hiện diện, trong khi nguồn hình thành ngữ cảnh là sự kết hợp giữa dữ liệu cảm biến, mô hình ngôn ngữ lớn và tập luật xác thực của hệ thống.

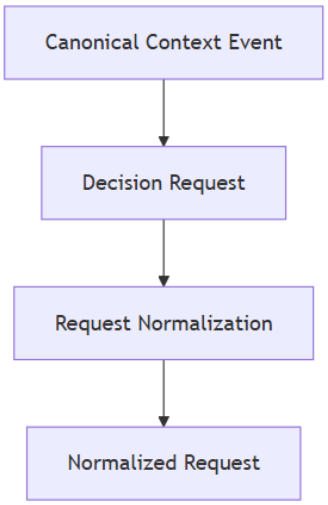
Việc sử dụng Canonical Context Event giúp toàn bộ hệ thống làm việc trên cùng một biểu diễn ngữ cảnh thống nhất.

2.7. Cơ chế quản trị và ra quyết định

2.7.1. Tiếp nhận ngữ cảnh đầu vào

Sau khi ngữ cảnh được xác nhận và công bố dưới dạng Canonical Context Event, hệ thống chuyển sang giai đoạn quản trị và ra quyết định. Mục tiêu của giai đoạn này là xác định phương án xử lý phù hợp dựa trên ngữ cảnh hiện tại, các chính sách đang có hiệu lực và trạng thái vận hành thực tế của môi trường.

Trước khi thực hiện đánh giá, hệ thống tiến hành chuyển đổi ngữ cảnh đầu vào thành một yêu cầu ra quyết định có cấu trúc. Đối tượng này chứa thông tin về ngữ cảnh đã được xác nhận, các tham chiếu chính sách, khả năng thực thi, trạng thái vận hành và các ràng buộc liên quan đến quá trình ra quyết định.



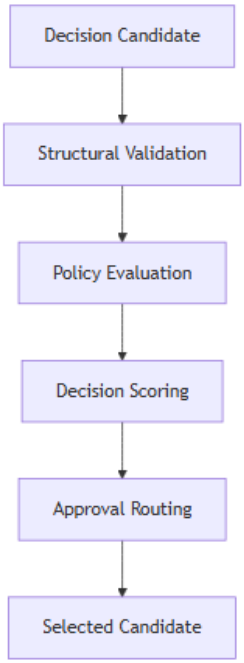
Hình 0.25 Quá trình tiếp nhận và chuẩn hóa ngữ cảnh đầu vào

Việc chuẩn hóa đầu vào giúp đảm bảo các thành phần phía sau luôn làm việc trên cùng một cấu trúc dữ liệu, đồng thời loại bỏ các yêu cầu không hợp lệ trước khi bước vào quá trình đánh giá.

2.7.2. Đánh giá chính sách và lựa chọn phương án

Sau khi yêu cầu ra quyết định được chuẩn hóa, hệ thống tiến hành xây dựng các phương án xử lý khả thi. Các phương án này được sinh ra một cách xác định dựa trên tập khả năng thực thi (capabilities) hiện có của hệ thống thay vì được tạo trực tiếp bởi mô hình ngôn ngữ lớn.

Mỗi phương án tiếp tục trải qua nhiều bước đánh giá nhằm xác định tính phù hợp và khả năng thực thi trong điều kiện vận hành thực tế.



Hình 0.26 Quá trình đánh giá chính sách và lựa chọn phương án

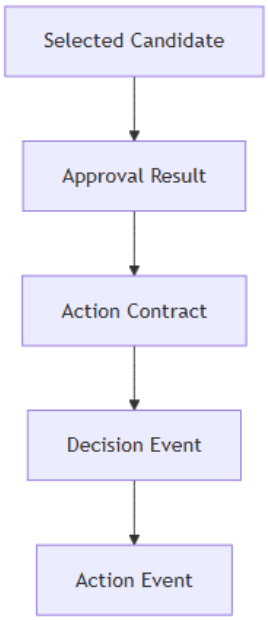
Trước hết, hệ thống thực hiện kiểm tra cấu trúc nhằm xác nhận tính hợp lệ của bằng chứng, tham chiếu chính sách, phạm vi tác động và các ràng buộc nghiệp vụ. Các phương án không đáp ứng các điều kiện tối thiểu sẽ bị loại bỏ ở giai đoạn này.

Các phương án hợp lệ sau đó được đánh giá bởi tập chính sách đang có hiệu lực. Kết quả đánh giá có thể cho phép thực hiện, yêu cầu phê duyệt, hạn chế hoặc chặn hoàn toàn phương án tương ứng.

Tiếp theo, hệ thống tiến hành chấm điểm các phương án dựa trên nhiều tiêu chí như độ tin cậy của ngữ cảnh, lợi ích dự kiến, mức độ rủi ro, khả năng thực thi và các yếu tố vận hành khác. Phương án có kết quả phù hợp nhất sẽ được lựa chọn để chuyển sang bước phát sinh quyết định.

2.7.3. Phát sinh hành động và ghi nhận kết quả

Sau khi lựa chọn được phương án phù hợp, hệ thống tiến hành phát sinh quyết định chính thức và tạo hợp đồng hành động phục vụ cho các thành phần thực thi.



Hình 0.27 Quá trình phát sinh quyết định và ghi nhận kết quả

Điểm quan trọng của hệ thống là quyết định và hành động được tách biệt. Kết quả đầu ra chính của giai đoạn này là Decision Event, phản ánh quyết định cuối cùng sau khi hoàn thành toàn bộ các bước đánh giá và kiểm tra. Trong một số trường hợp, hệ thống có thể phát sinh thêm Action Event để yêu cầu các thành phần thực thi thực hiện hành động tương ứng.

Không phải mọi quyết định đều dẫn tới hành động. Tùy thuộc vào kết quả đánh giá chính sách, phê duyệt và kiểm tra hợp đồng hành động, hệ thống có thể phát sinh các loại quyết định khác nhau như quyết định thực thi, yêu cầu phê duyệt, tạm hoãn hoặc không thực hiện hành động nào.

Bên cạnh đó, toàn bộ quá trình xử lý đều được ghi nhận dưới dạng chuỗi kiểm toán (audit chain), cho phép truy vết các bằng chứng, chính sách và quyết định đã được sử dụng trong quá trình ra quyết định.

2.8. Kết chương

Chương 2 đã trình bày phương pháp xây dựng hệ thống suy luận ngữ cảnh dựa trên sự kết hợp giữa Knowledge Graph, cơ chế truy xuất tri thức và mô hình ngôn ngữ lớn. Trong phương pháp được đề xuất, Knowledge Graph đóng vai trò là nguồn

tri thức có cấu trúc phục vụ truy xuất và liên kết ngữ cảnh, trong khi mô hình ngôn ngữ lớn được sử dụng để xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh dựa trên các thông tin đã được truy xuất.

Để đảm bảo tính tin cậy của kết quả suy luận, các giả thuyết ngữ cảnh tiếp tục được xác thực bằng tập luật, đánh giá độ tin cậy và chuẩn hóa trước khi được công bố dưới dạng Canonical Context Event. Trên cơ sở các ngữ cảnh đã được xác nhận, hệ thống thực hiện quá trình quản trị và ra quyết định thông qua các bước đánh giá chính sách, chấm điểm và lựa chọn phương án xử lý phù hợp.

Phương pháp này cho phép kết hợp khả năng biểu diễn tri thức của Knowledge Graph với năng lực suy luận của mô hình ngôn ngữ lớn, đồng thời vẫn duy trì được khả năng kiểm soát, giải thích và quản trị quyết định trong môi trường Smart Office.

CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG

3.1. Phân tích yêu cầu hệ thống

Hệ thống suy luận ngữ cảnh và quản trị quyết định được xây dựng nhằm hỗ trợ môi trường Smart Office trong việc tự động nhận diện trạng thái vận hành, đánh giá các tình huống phát sinh và đưa ra các quyết định phù hợp dựa trên dữ liệu thực tế. Để đáp ứng mục tiêu này, hệ thống cần thỏa mãn một tập các yêu cầu chức năng và phi chức năng làm cơ sở cho quá trình thiết kế và triển khai.

3.1.1. Yêu cầu chức năng

Các yêu cầu chức năng chính của hệ thống được xác định như sau:

- Tiếp nhận dữ liệu từ môi trường vận hành:
  Hệ thống phải có khả năng tiếp nhận các tín hiệu và trạng thái từ môi trường Smart Office, bao gồm dữ liệu cảm biến, thông tin lịch họp, trạng thái không gian và các tín hiệu chuyên gia.
- Truy xuất tri thức phục vụ suy luận:
  Hệ thống phải hỗ trợ truy xuất tri thức từ Knowledge Graph nhằm cung cấp các thông tin liên quan phục vụ quá trình suy luận ngữ cảnh.
- Suy luận ngữ cảnh:
  Hệ thống phải có khả năng phân tích dữ liệu đầu vào, kết hợp với tri thức đã truy xuất để xây dựng các giả thuyết ngữ cảnh phù hợp với trạng thái hiện tại của môi trường.
- Xác thực và chuẩn hóa ngữ cảnh:
  Các giả thuyết phải được xác thực bằng tập luật và chuẩn hóa thành dạng ngữ cảnh chuẩn trước khi được công bố cho các thành phần khác của hệ thống.
- Hỗ trợ ra quyết định:
  Hệ thống phải có khả năng đánh giá các phương án xử lý dựa trên ngữ cảnh đã được xác nhận, các chính sách hiện hành và các ràng buộc vận hành.
- Giải thích và truy vết:
  Hệ thống phải lưu trữ đầy đủ thông tin về bằng chứng, tri thức truy xuất, các bước xử lý và quyết định cuối cùng nhằm phục vụ quá trình giải thích và kiểm toán.

3.1.2. Yêu cầu phi chức năng

Bên cạnh các yêu cầu chức năng, hệ thống cần đáp ứng các yêu cầu phi chức năng sau:

- Tính mở rộng:
  Kiến trúc hệ thống phải cho phép bổ sung các loại ngữ cảnh, nguồn dữ liệu, chính sách và luật nghiệp vụ mới mà không làm ảnh hưởng đến các thành phần hiện có.
- Tính nhất quán:
  Mọi ngữ cảnh và quyết định được phát sinh phải tuân thủ các quy tắc nghiệp vụ và chính sách đã được định nghĩa trong hệ thống.
- Khả năng giải thích:
  Hệ thống phải cung cấp khả năng truy vết nguồn gốc của ngữ cảnh và quyết định thông qua các bằng chứng, tri thức truy xuất và kết quả đánh giá.
- Khả năng kiểm soát:
  Các quyết định cuối cùng không được phụ thuộc hoàn toàn vào mô hình ngôn ngữ lớn mà phải trải qua các bước xác thực, đánh giá và quản trị.
- Tính linh hoạt:
  Hệ thống phải có khả năng thích ứng với các trạng thái vận hành khác nhau của môi trường Smart Office thông qua cơ chế cấu hình và cập nhật tri thức.

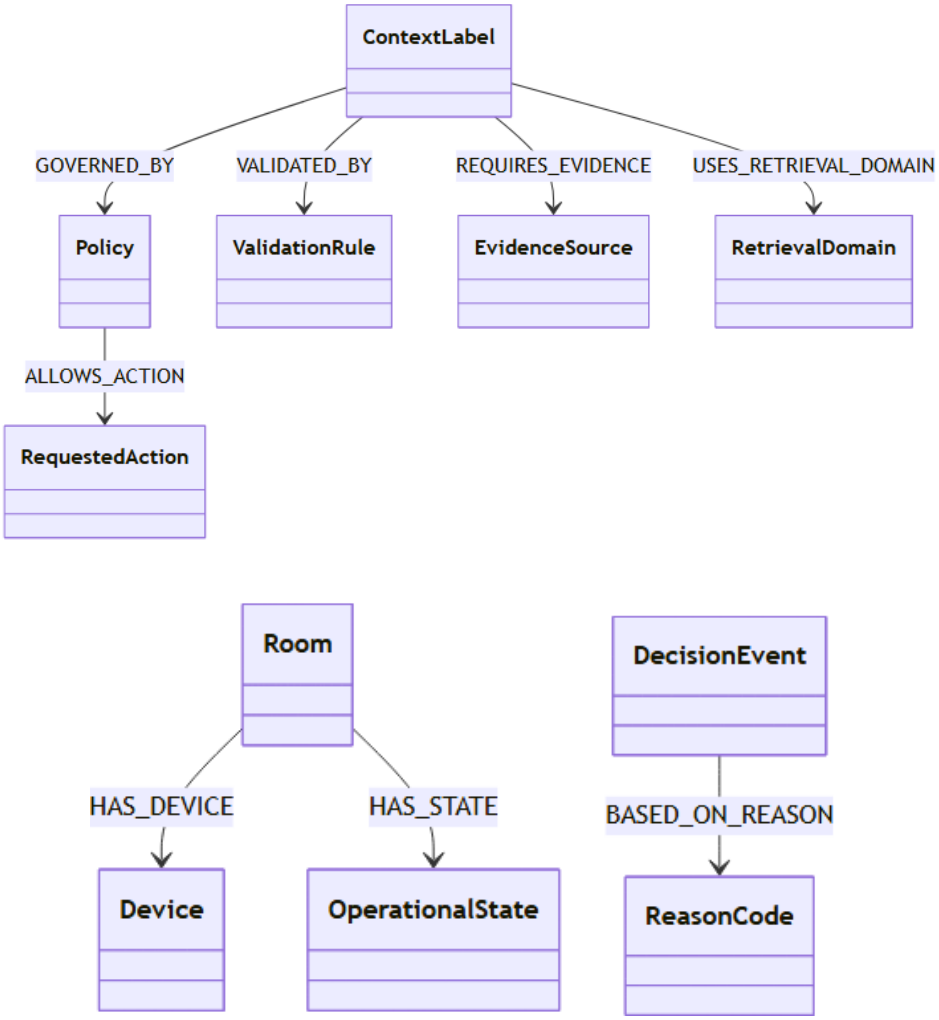
3.2. Thiết kế dữ liệu và hợp đồng dữ liệu

Trong kiến trúc được đề xuất, dữ liệu được tổ chức theo hai lớp chính. Lớp thứ nhất là Knowledge Graph dùng để lưu trữ và biểu diễn tri thức phục vụ truy xuất và suy luận ngữ cảnh. Lớp thứ hai là các hợp đồng dữ liệu (Data Contract) dùng để trao đổi thông tin giữa các thành phần trong pipeline xử lý.

Việc chuẩn hóa dữ liệu theo các contract thống nhất giúp các thành phần trong hệ thống có thể tương tác với nhau một cách độc lập, đồng thời hỗ trợ khả năng truy vết và mở rộng trong quá trình vận hành.

3.2.1. Knowledge Graph Schema

Knowledge Graph được thiết kế theo mô hình đồ thị có nhãn (Labeled Property Graph) và được triển khai trên Neo4j. Đồ thị được xây dựng nhằm biểu diễn các ngữ cảnh, chính sách, nguồn bằng chứng, trạng thái vận hành và các thành phần liên quan đến quá trình ra quyết định.

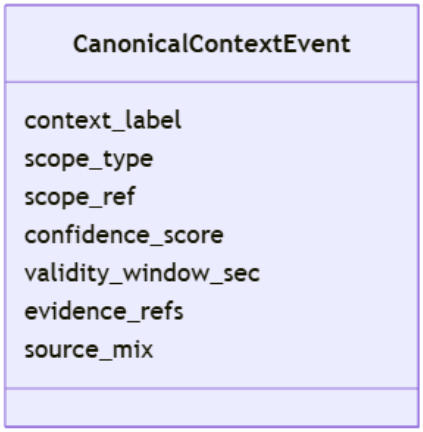


Hình 0.1 Sơ đồ lớp mô tả cấu trúc tổng quát của Knowledge Graph

Schema trên cho phép hệ thống biểu diễn đồng thời tri thức nghiệp vụ, chính sách vận hành và trạng thái thực tế của môi trường Smart Office trong cùng một không gian tri thức thống nhất. Các thực thể và quan hệ trong đồ thị được sử dụng làm cơ sở cho quá trình truy xuất tri thức ở giai đoạn suy luận ngữ cảnh.

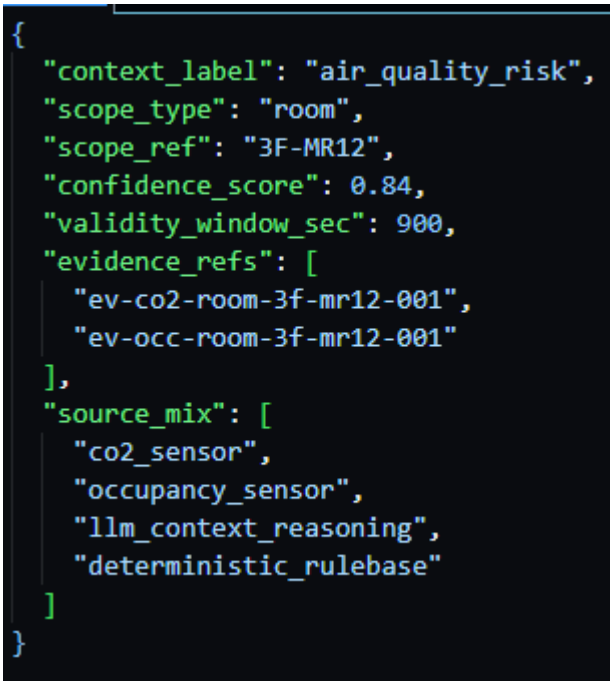
3.2.2. CanonicalContextEvent

Là contract trung gian được sử dụng để công bố kết quả cuối cùng của quá trình suy luận ngữ cảnh. Đối tượng này đóng vai trò cầu nối giữa khối suy luận ngữ cảnh và khối quản trị quyết định.



Hình 0.2 Cấu trúc của CanonicalContextEvent

Ví dụ rút gọn của CanonicalContextEvent:



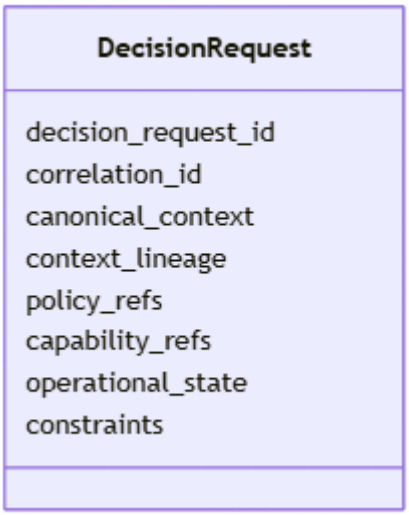
Hình 0.3 Mẫu JSON rút gọn của ConanicalContextEvent

Contract này cho phép biểu diễn ngữ cảnh đã được xác thực cùng với các bằng chứng và nguồn dữ liệu được sử dụng trong quá trình suy luận.

3.2.3. DecisionRequest

Sau khi một ngữ cảnh được công bố, hệ thống tiến hành chuyển đổi CanonicalContextEvent thành một yêu cầu ra quyết định dưới dạng DecisionRequest.

Khác với dữ liệu đầu vào từ người dùng, DecisionRequest là đối tượng trung gian được sinh tự động trong hệ thống nhằm cung cấp đầy đủ thông tin cần thiết cho quá trình quản trị quyết định.



Hình 0.4 Cấu trúc của DecisionRequest

Trong đó:

- canonical_context chứa ngữ cảnh đã được xác nhận.
- context_lineage lưu thông tin truy vết của quá trình suy luận.
- policy_refs xác định các chính sách liên quan.
- capability_refs mô tả các khả năng thực thi hiện có.
- operational_state phản ánh trạng thái vận hành tại thời điểm đánh giá.
- constraints biểu diễn các ràng buộc cần được xem xét trong quá trình ra quyết định.

Ví dụ rút gọn:

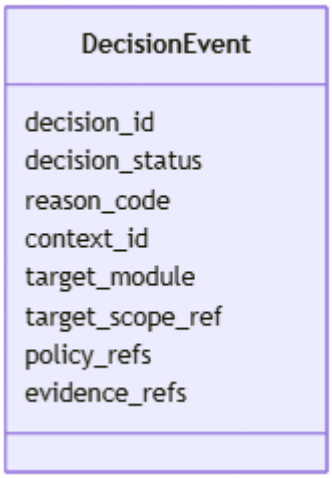


Hình 0.5 Mẫu JSON rút gọn của DecisionRequest

DecisionRequest là đầu vào trực tiếp của pipeline quản trị quyết định.

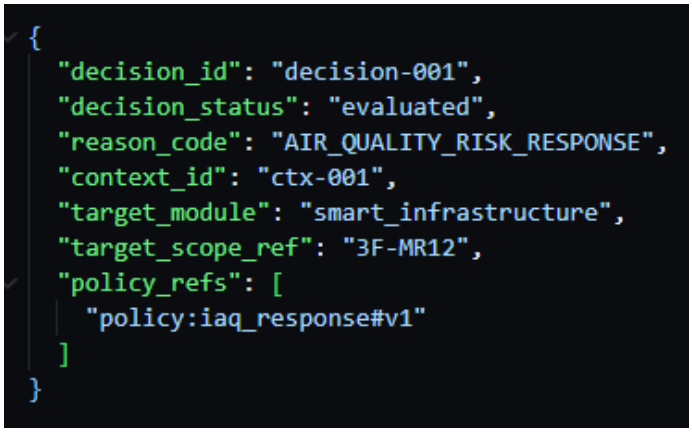
3.2.4. DecisionEvent

DecisionEvent là đầu ra chính thức của khối quản trị quyết định. Đối tượng này phản ánh kết quả đánh giá cuối cùng sau khi hệ thống hoàn thành các bước sinh phương án, đánh giá chính sách, chấm điểm và phê duyệt.



Hình 0.6 Cấu trúc của DecisionEvent

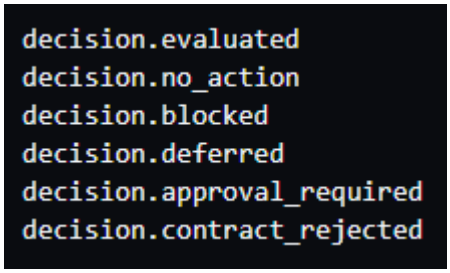
Ví dụ rút gọn:



Hình 0.7 Mẫu JSON rút gọn của DecisionEvent

Một đặc điểm quan trọng của thiết kế này là DecisionEvent không đồng nghĩa với hành động điều khiển. Ngay cả khi hệ thống quyết định không thực hiện hành động nào, bị chặn bởi chính sách hoặc yêu cầu phê duyệt thủ công, một DecisionEvent vẫn được phát sinh nhằm đảm bảo khả năng giải thích và truy vết.

Các trạng thái quyết định được hỗ trợ gồm:



Hình 0.8 Các trạng thái quyết định

Thông qua các contract dữ liệu được chuẩn hóa, toàn bộ pipeline từ suy luận ngữ cảnh đến quản trị quyết định có thể trao đổi thông tin một cách nhất quán và hỗ trợ đầy đủ khả năng truy vết trong quá trình vận hành hệ thống.

3.3. Thiết kế xử lý

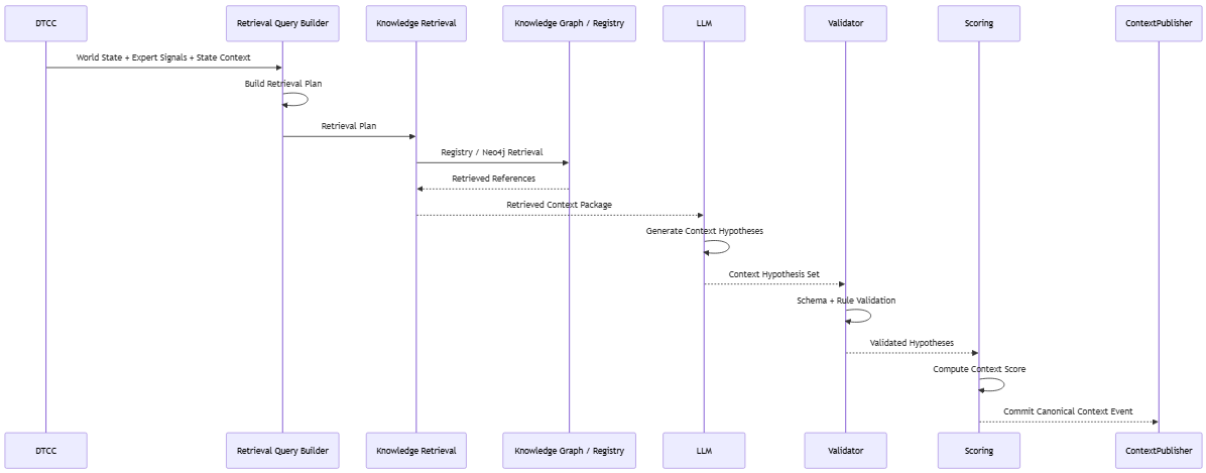
Sau khi thiết kế dữ liệu và các hợp đồng trao đổi thông tin, bước tiếp theo là thiết kế luồng xử lý của hệ thống. Nội dung này tập trung mô tả sự tương tác giữa các thành phần trong quá trình suy luận ngữ cảnh và quản trị quyết định.

Hai quy trình xử lý chính của hệ thống bao gồm:

- Quy trình suy luận ngữ cảnh
- Quy trình quản trị và ra quyết định

3.3.1. Sơ đồ tuần tự quá trình suy luận ngữ cảnh

Quá trình suy luận ngữ cảnh được thực hiện nhằm chuyển đổi dữ liệu vận hành thành các ngữ cảnh chuẩn có thể được sử dụng trong các bước xử lý tiếp theo. Quá trình này kết hợp giữa truy xuất tri thức, suy luận bằng mô hình ngôn ngữ lớn, xác thực bằng tập luật và đánh giá độ tin cậy.



Hình 0.9 Sơ đồ tuần tự của quá trình suy luận ngữ cảnh

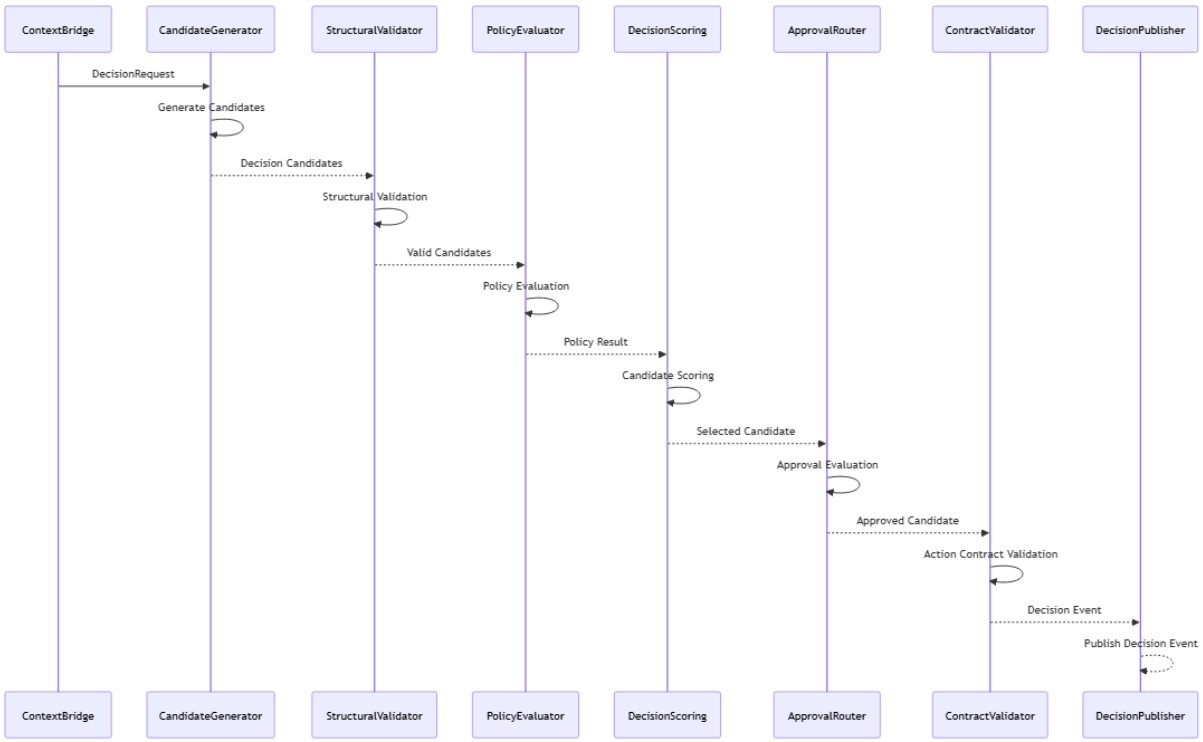
Quá trình bắt đầu khi DTCC cung cấp trạng thái hiện tại của môi trường cùng với các tín hiệu chuyên gia liên quan. Hệ thống sau đó thực hiện truy xuất tri thức từ Knowledge Graph nhằm thu thập các thông tin hỗ trợ cho việc suy luận.

Kết quả truy xuất được kết hợp với trạng thái môi trường để tạo thành gói ngữ cảnh đầu vào cho mô hình ngôn ngữ lớn. Mô hình sử dụng các thông tin này để xây dựng tập các giả thuyết ngữ cảnh. Các giả thuyết tiếp tục được xác thực bằng tập luật và được đánh giá độ tin cậy trước khi được công bố dưới dạng Canonical Context Event.

Thông qua thiết kế này, mô hình ngôn ngữ lớn chỉ đóng vai trò xây dựng giả thuyết ngữ cảnh, trong khi việc xác nhận và công bố ngữ cảnh vẫn được kiểm soát bởi các thành phần xác thực và đánh giá của hệ thống.

3.3.2. Sơ đồ tuần tự quá trình ra quyết định

Sau khi ngữ cảnh được công bố, hệ thống chuyển sang giai đoạn quản trị và ra quyết định. Mục tiêu của giai đoạn này là xác định phương án xử lý phù hợp dựa trên ngữ cảnh hiện tại, các chính sách đang có hiệu lực và trạng thái vận hành thực tế của môi trường.



Hình 0.10 Sơ đồ tuần tự của quá trình ra quyết định

Canonical Context Event được chuyển đổi thành DecisionRequest thông qua Context Bridge. Từ yêu cầu này, hệ thống xây dựng tập các phương án xử lý khả thi dựa trên các khả năng thực thi hiện có.

Các phương án sau đó được kiểm tra cấu trúc, đánh giá chính sách và chấm điểm trước khi lựa chọn phương án phù hợp nhất. Tùy thuộc vào chính sách và kết quả đánh giá, hệ thống có thể tự động cho phép thực thi, yêu cầu phê duyệt hoặc từ chối phương án tương ứng.

Sau khi hoàn tất quá trình đánh giá, hệ thống phát sinh DecisionEvent làm kết quả đầu ra chính thức của khối quản trị quyết định. Trong trường hợp đáp ứng đầy đủ các điều kiện thực thi, hệ thống có thể tiếp tục phát sinh ActionEvent để yêu cầu các thành phần thực thi thực hiện hành động tương ứng.

3.4. Kết chương

Chương 3 đã trình bày quá trình phân tích yêu cầu và thiết kế hệ thống suy luận ngữ cảnh, quản trị quyết định trong môi trường Smart Office. Trên cơ sở các yêu cầu chức năng và phi chức năng đã xác định, hệ thống được thiết kế theo hướng tách biệt giữa lớp tri thức, lớp xử lý suy luận và lớp quản trị quyết định nhằm đảm bảo khả năng mở rộng, kiểm soát và giải thích trong quá trình vận hành.

Về mặt dữ liệu, hệ thống sử dụng Knowledge Graph làm nền tảng biểu diễn tri thức có cấu trúc, đồng thời chuẩn hóa quá trình trao đổi thông tin giữa các thành phần thông qua các hợp đồng dữ liệu gồm CanonicalContextEvent, DecisionRequest và DecisionEvent. Các contract này đóng vai trò kết nối giữa các giai đoạn xử lý, đồng thời duy trì tính nhất quán của dữ liệu trong toàn bộ pipeline.

Về mặt xử lý, hệ thống được thiết kế thành hai quy trình chính gồm suy luận ngữ cảnh và quản trị quyết định. Quy trình suy luận ngữ cảnh kết hợp truy xuất tri thức, mô hình ngôn ngữ lớn, tập luật xác thực và cơ chế chấm điểm để tạo ra ngữ cảnh chuẩn. Trên cơ sở các ngữ cảnh đã được xác nhận, quy trình quản trị quyết định tiếp tục thực hiện đánh giá chính sách, lựa chọn phương án xử lý và phát sinh quyết định phù hợp với trạng thái vận hành thực tế của môi trường.

Bên cạnh đó, các thông tin về bằng chứng, chính sách áp dụng, mã lý do và lineage được duy trì xuyên suốt vòng đời của ngữ cảnh và quyết định thông qua các hợp đồng dữ liệu và sự kiện của hệ thống. Điều này tạo nền tảng cho khả năng giải thích, truy vết và kiểm toán trong quá trình vận hành.

CHƯƠNG 4: TRIỂN KHAI HỆ THỐNG VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

4.1. Môi trường và công cụ lập trình

Môi trường lập trình:

- Frontend: React, TypeScript, Vite và TailwindCSS được sử dụng để xây dựng giao diện web của hệ thống Smart Office và các màn hình trực quan hóa dữ liệu trong DTCC.
- Backend: Python được sử dụng để xây dựng ICE Runtime, bao gồm các thành phần truy xuất tri thức, suy luận ngữ cảnh, xác thực ngữ cảnh và quản trị quyết định. Bên cạnh đó, Kotlin Spring Boot được sử dụng để phát triển các dịch vụ backend trong hệ thống Smart Office.
- Database: PostgreSQL được sử dụng để lưu trữ dữ liệu vận hành và dữ liệu nghiệp vụ của hệ thống.
- Graph Database: Neo4j được sử dụng để xây dựng và truy vấn Knowledge Graph phục vụ quá trình truy xuất tri thức và suy luận ngữ cảnh.
- Hạ tầng truyền thông điệp: Apache Kafka và MQTT được sử dụng để tiếp nhận, truyền tải và đồng bộ dữ liệu telemetry giữa các thành phần trong hệ thống.
- LLM: Gemini
- Triển khai hệ thống: Các dịch vụ hạ tầng như Neo4j, PostgreSQL, Kafka và MQTT được triển khai thông qua Docker Compose. Hệ thống được cài đặt và vận hành trên máy ảo Ubuntu thuộc nền tảng Google Cloud nhằm phục vụ quá trình kiểm thử và trình diễn.

Công cụ lập trình:

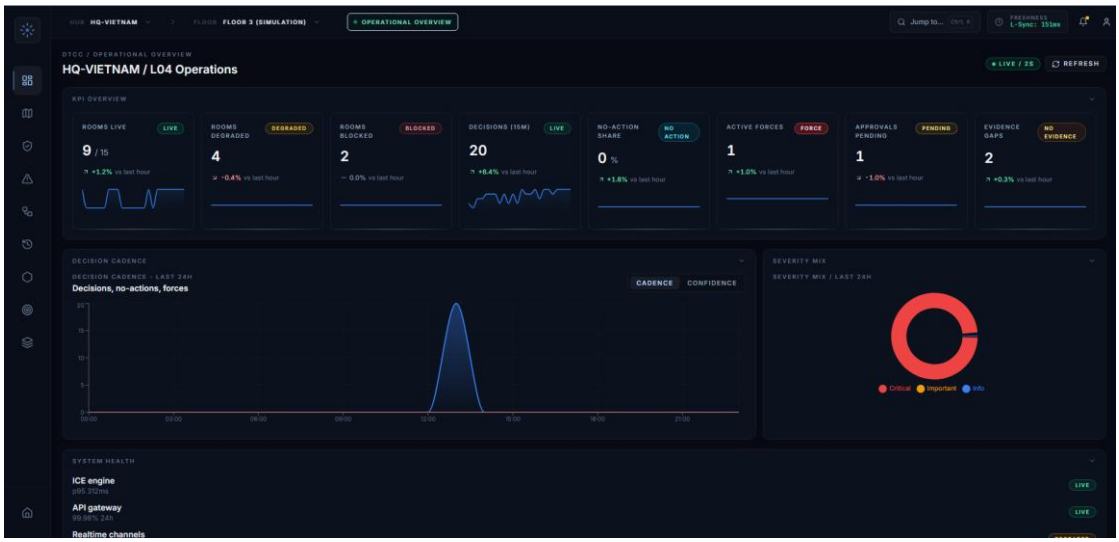
- Visual Studio Code được sử dụng làm môi trường soạn thảo và phát triển mã nguồn.
- Lưu trữ và quản lý mã nguồn bằng Github
- Gradle được sử dụng để biên dịch và quản lý các dịch vụ backend phát triển bằng Kotlin Spring Boot..

– Công cụ AI: Github Copilot, Codex.

4.2. Mô tả chức năng kết quả đã đạt được

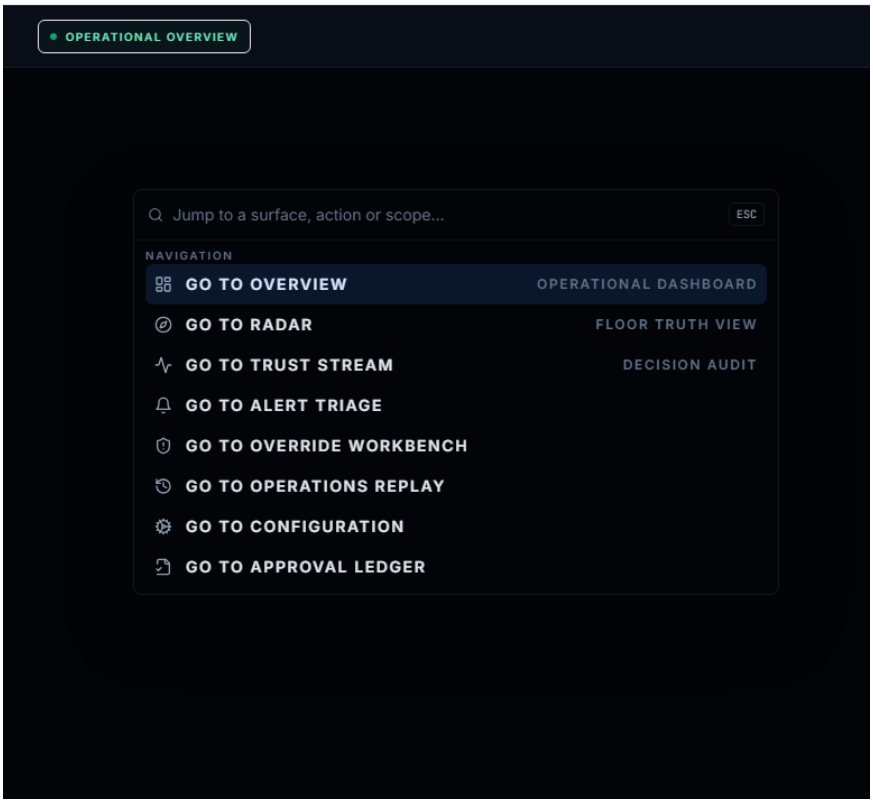
4.2.1. Giao diện chức năng chung

– Chức năng màn hình tổng quan DTCC:



Hình 0.1 Màn hình tổng quan DTCC

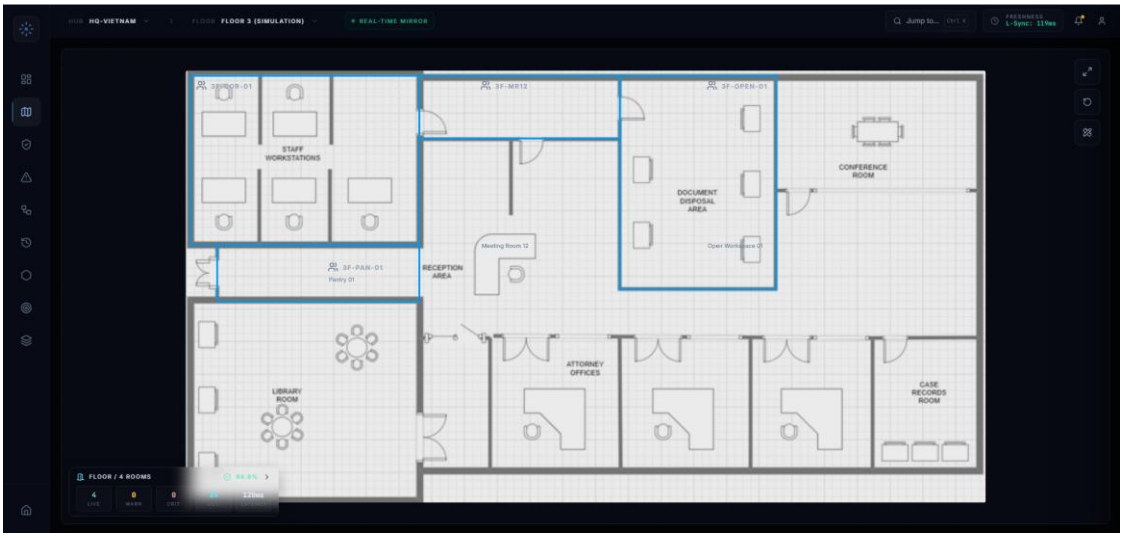
– Chức năng điều hướng giữa các màn hình nghiệp vụ:



Hình 0.2 Màn hình điều hướng giữa các chức năng nghiệp vụ

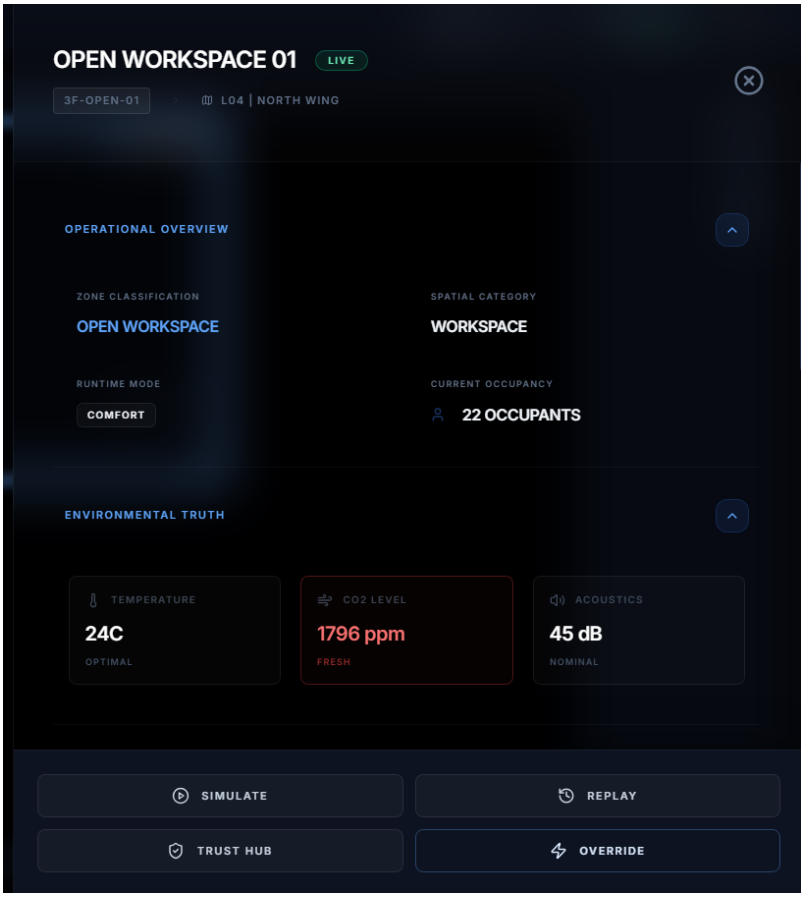
4.2.2. Giao diện chức năng phục vụ giám sát và vận hành ICE

– Chức năng Radar vận hành:



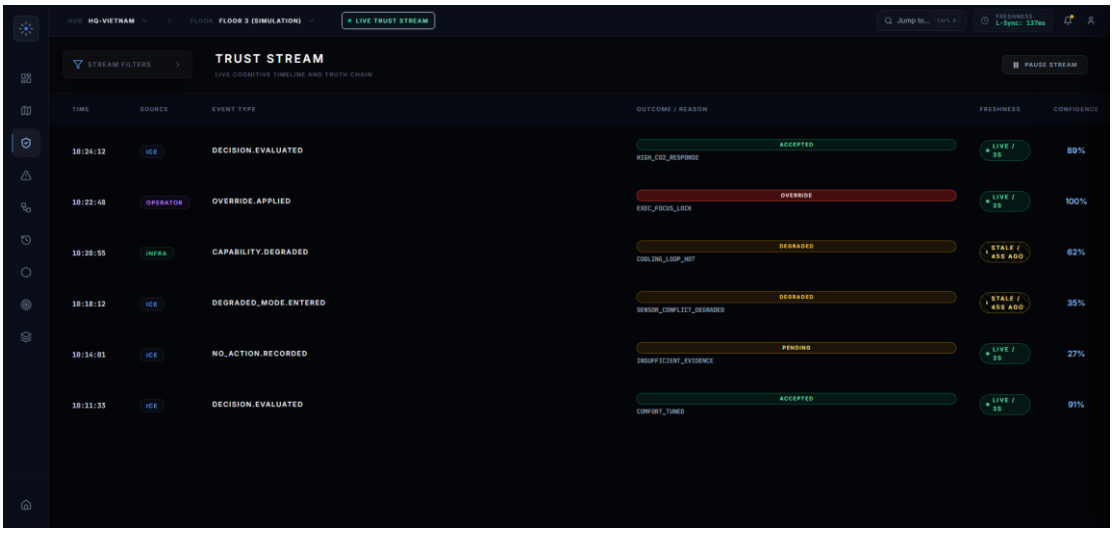
Hình 0.3 Màn hình Radar của hệ thống

– Chức năng xem trạng thái chi tiết của phòng:



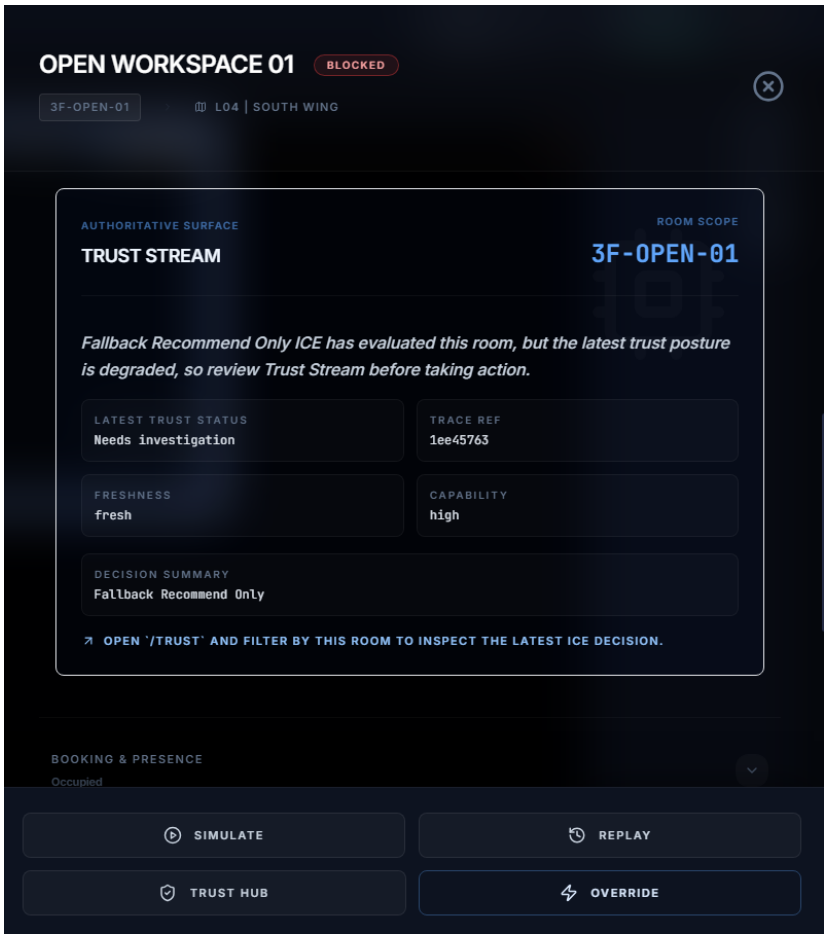
Hình 0.4 Màn hình trạng thái chi tiết của phòng

– Chức năng Trust Stream:



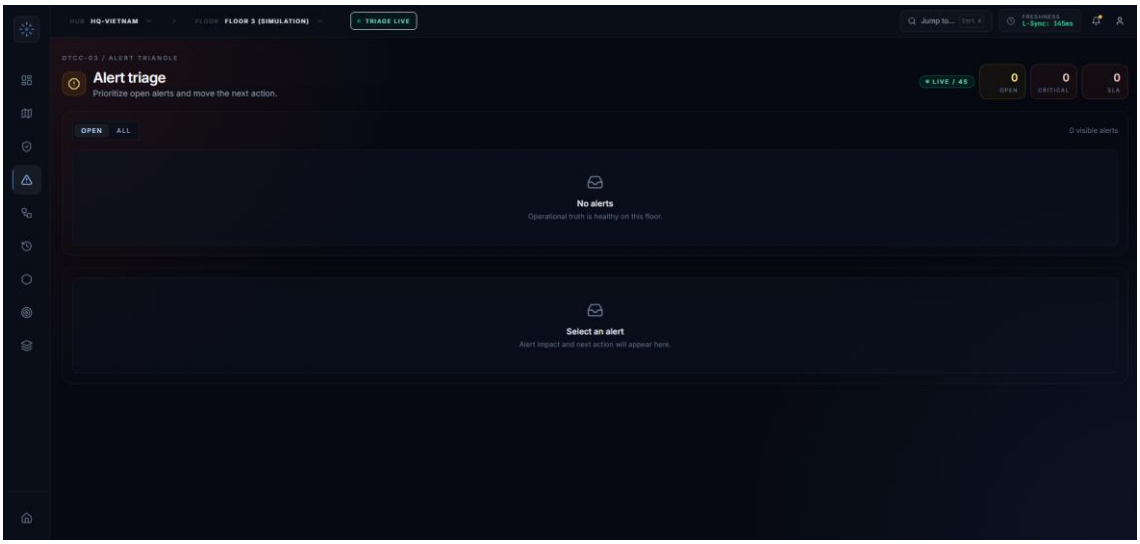
Hình 0.5 Màn hình chức năng Trust Stream

– Chức năng trực quan hóa quyết định theo phòng:



Hình 0.6 Màn hình hiển thị quyết định của ICE theo phòng

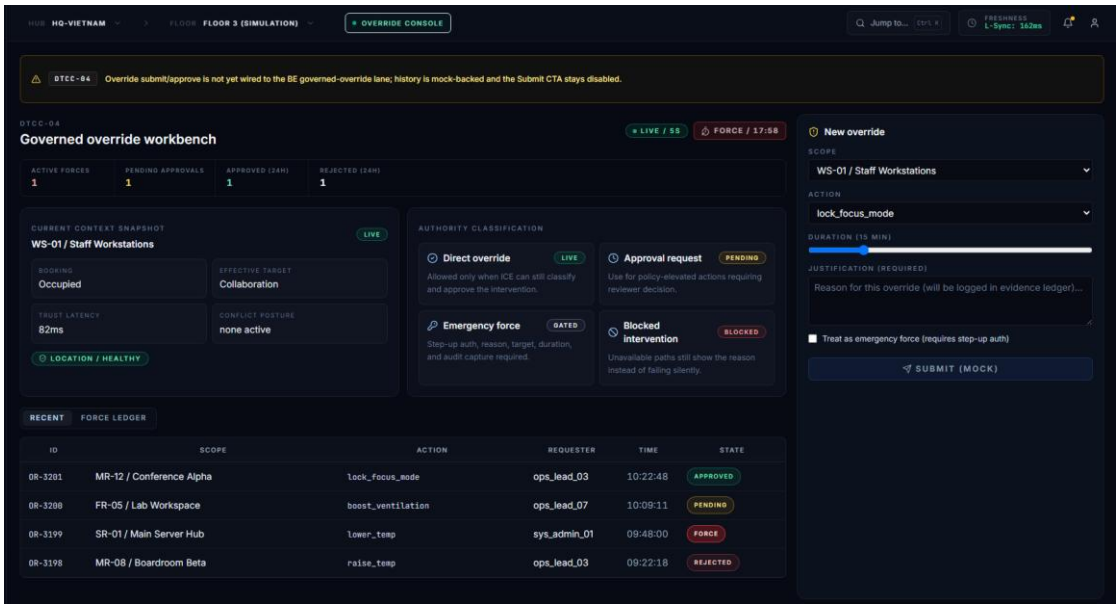
– Chức năng Alert Triage:



Hình 0.7 Màn hình chức năng Alert Triage

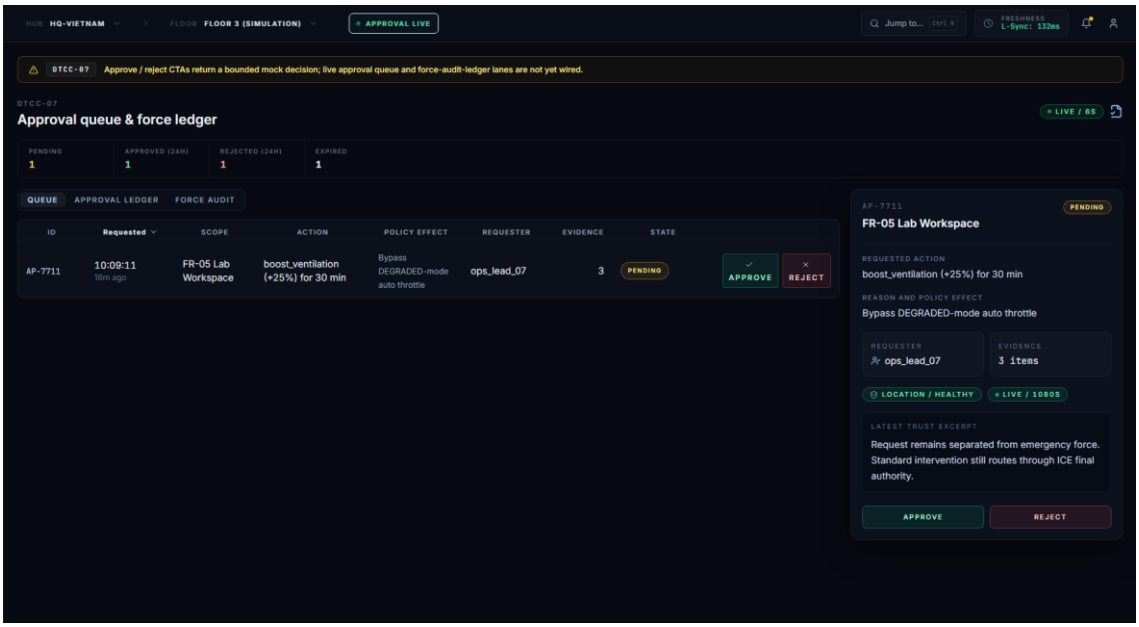
4.2.3. Giao diện chức năng can thiệp và kiểm soát quyết định

– Chức năng Override Workbench:



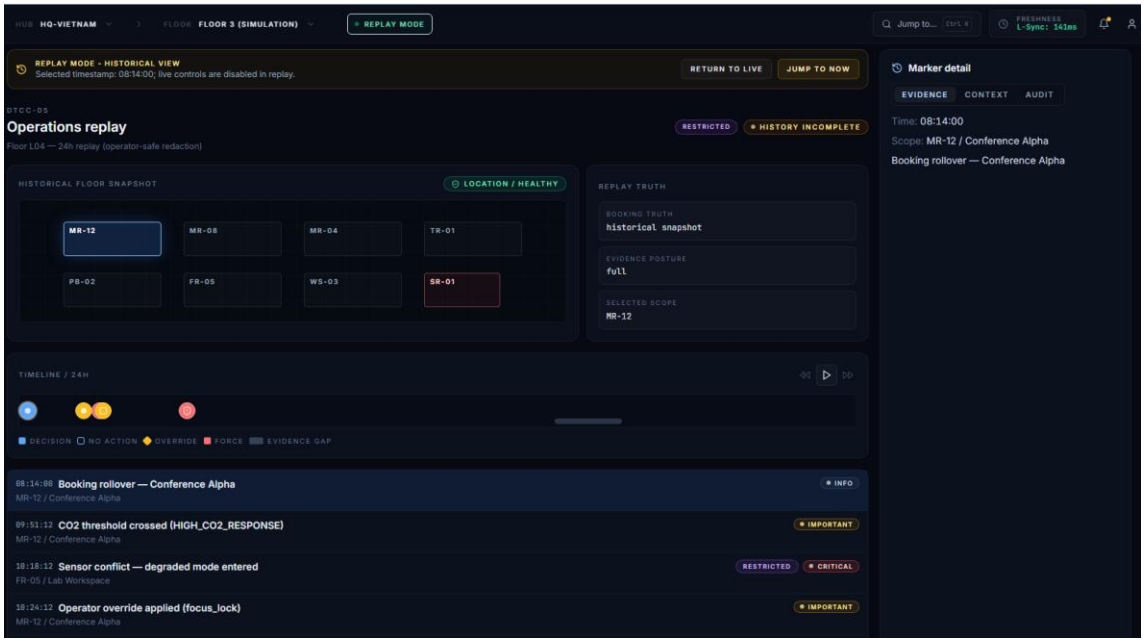
Hình 0.8 Màn hình chức năng Override Workbench

– Chức năng Approval/Force audit:



Hình 0.9 Màn hình chức năng Approval/Force audit

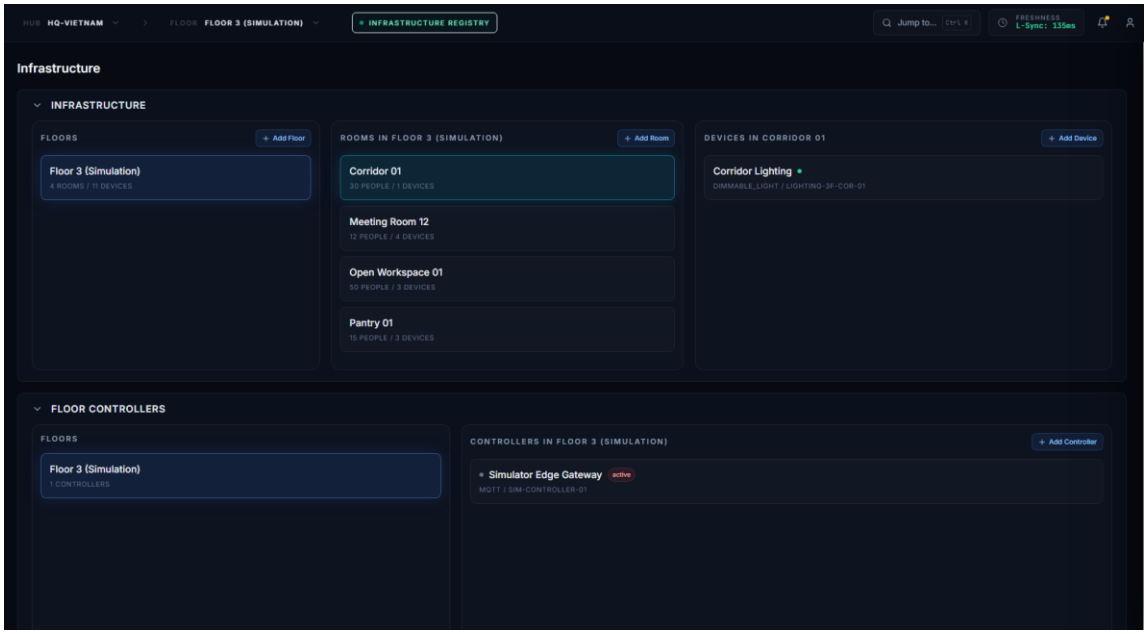
– Chức năng Relay:



Hình 0.10 Màn hình chức năng Relay

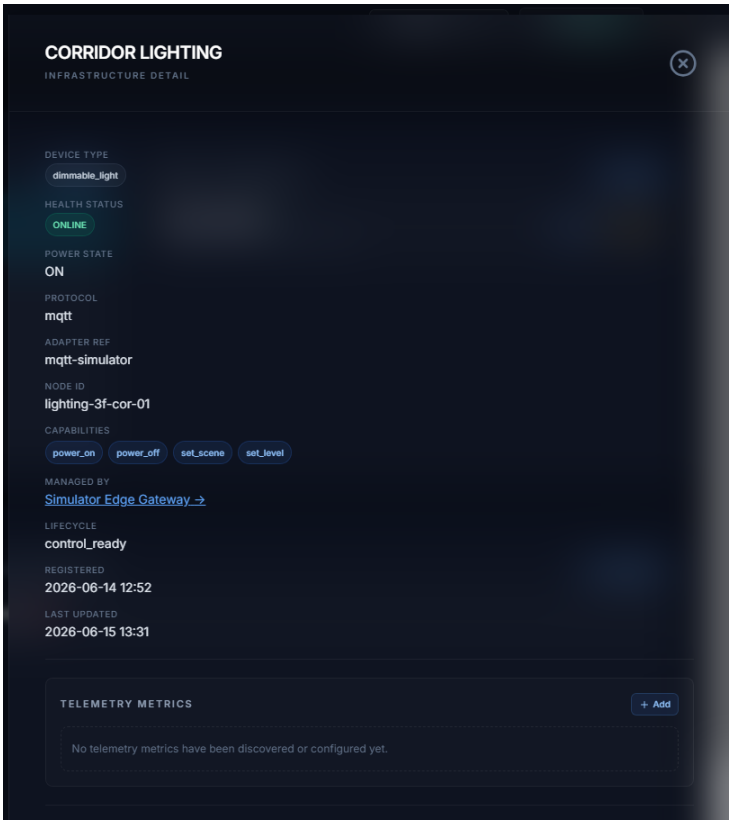
4.2.4. Giao diện chức năng hạ tầng và dữ liệu vận hành

– Chức năng quản lý hạ tầng:



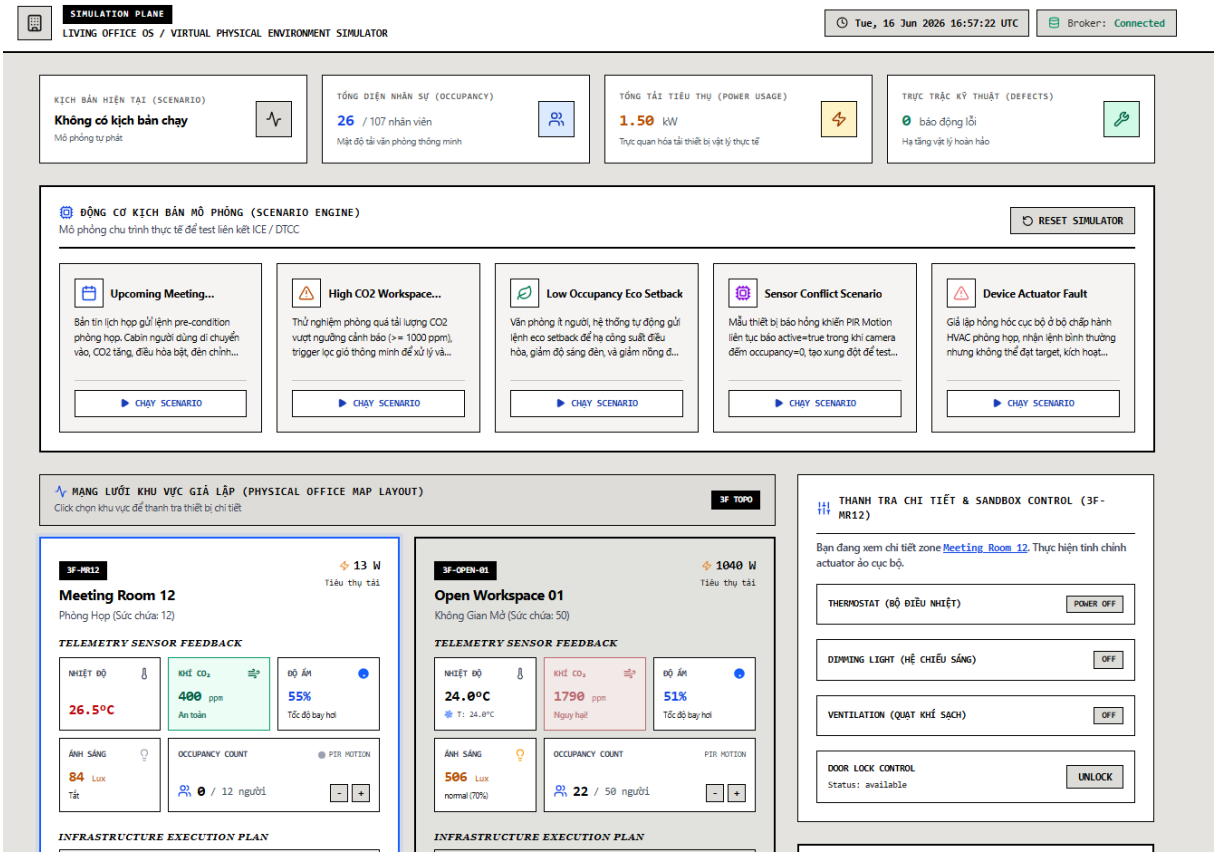
Hình 0.11 Màn hình chức năng quản lý hạ tầng – Infrastructure

– Chức năng xem thông tin thiết bị và controller:



Hình 0.12 Màn hình xem thông tin chi tiết của thiết bị và controller

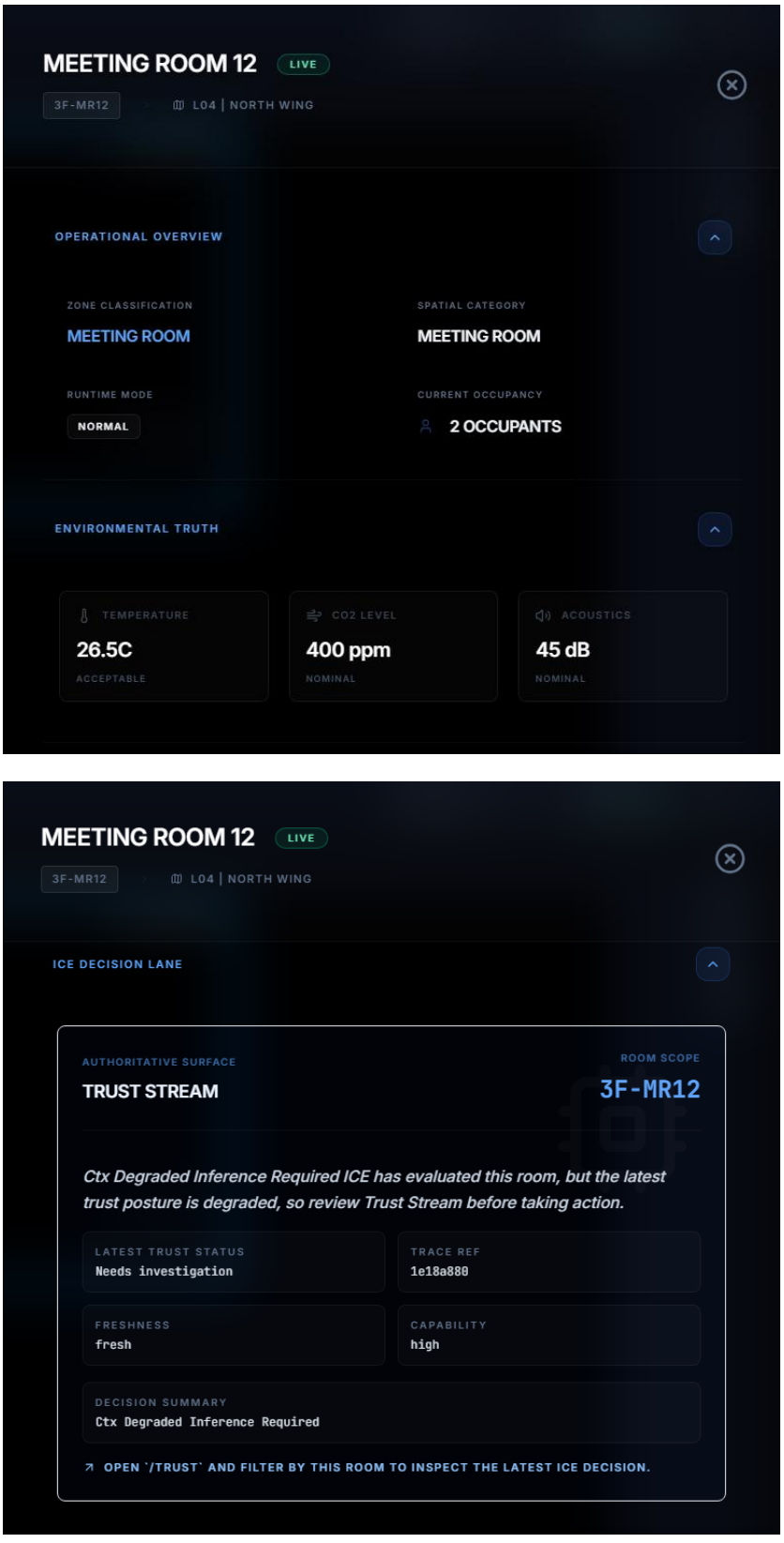
– Màn hình Simulator, nơi mô phỏng dữ liệu và phát sinh các sự kiện giả lập cho hệ thống:



Hình 0.13 Simulator mô phỏng dữ liệu và phát sinh các sự kiện giả lập cho hệ thống

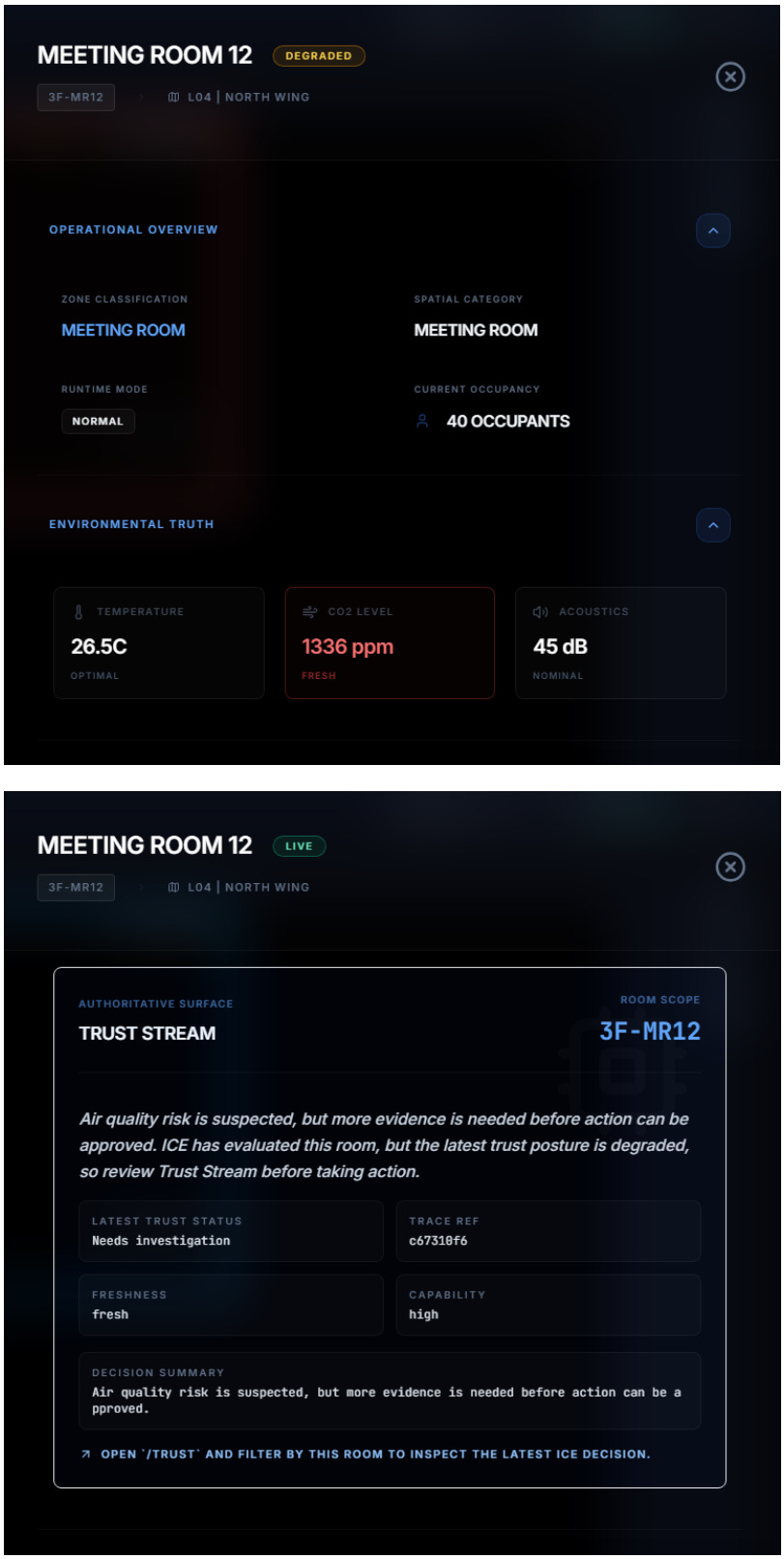
– Giả lập sự kiện bằng cách tăng số người có trong phòng họp, lúc này nồng độ CO2 trong phòng sẽ tăng cao và vượt ngưỡng quy định, hệ thống sẽ nhận biết và ICE sẽ đưa ra quyết định phù hợp:

  - Trước khi phát sinh sự kiện, các giá trị HVAC của phòng họp vẫn ở ngưỡng bình thường:



Hình 0.14 Giá trị HVAC và message của khối ICE trước khi giả lập sự kiện

- Sau khi phát sinh sự kiện, giá trị CO2 tăng khi số người tham gia trong phòng họp tăng, hệ thống ngay lập tức đưa ra cảnh báo Air risk:



Hình 0.15 Giá trị HVAC và message của khối ICE sau khi giả lập sự kiện

4.3. Đánh giá kết quả

Việc đánh giá hệ thống ICE được thực hiện theo hướng kiểm chứng tính đúng đắn, tính tái lập và việc tuân thủ ranh giới kiến trúc của pipeline suy luận ngữ cảnh, thay vì chỉ mô tả định tính. Quá trình đánh giá dựa trên bộ kịch bản tiêu biểu (golden scenarios) cùng cơ chế benchmark, replay và đánh giá chất lượng suy luận đã được tích hợp sẵn trong hệ thống.

4.3.1. Phương pháp và phạm vi đánh giá

Hệ thống được đánh giá thông qua bốn nhóm tiêu chí:

- Tính đúng đắn của pipeline: mỗi kịch bản được kiểm tra qua sáu tầng nghiệm thu, từ kiểm tra lược đồ (schema) đến chấp nhận đầu-cuối (end-to-end).
- Tuân thủ ranh giới kiến trúc: kiểm tra mô hình ngôn ngữ lớn có sinh ra hành động hoặc quyết định vượt thẩm quyền của tầng suy luận ngữ cảnh hay không (boundary check).
- Tính tái lập (determinism): cùng một đầu vào phải cho ra cùng một kết quả khi chạy lại (replay).
- Tính tái lập (determinism): cùng một đầu vào phải cho ra cùng một kết quả khi chạy lại (replay).

Phạm vi đánh giá tập trung vào khối ICE ở chế độ kiểm thử xác định (deterministic) trên bộ golden scenarios tiêu biểu (air_quality_risk, meeting_upcoming, sensor_conflict, needs_more_evidence và một số biến thể). Việc đánh giá trên mô hình ngôn ngữ lớn ở chế độ trực tuyến (live) và trên quy mô dữ liệu lớn không thuộc phạm vi đánh giá định lượng của đồ án, mà được nêu trong phần hạn chế và hướng phát triển.

4.3.2. Kết quả kiểm thử pipeline suy luận ngữ cảnh

Mỗi kịch bản được đưa qua sáu tầng nghiệm thu tương ứng với các giai đoạn xử lý của khối ICE.

Bảng 0.1 Kết quả pipeline trên các golden scenario tiêu biểu

Tầng nghiệm thu	Ý nghĩa	GS-02 (air_quality_risk)	GS-03 (needs_more_evidence)
L1 – Schema validity	Hợp lệ về lược đồ dữ liệu	PASS	PASS
L2 – Structural gates	Qua các cổng xác thực cấu trúc	PASS	PASS
L3 – Rulebase outcome	Kết quả xác thực bằng tập luật	PASS	PASS
L4 – Scoring	Chấm điểm độ tin cậy	PASS	PASS
L5 – Commit / No-update	Quyết định công bố hay nén lại	PASS	PASS
L6 – E2E acceptance	Chấp nhận đầu-cuối	PASS	PASS
Tổng		PASS	PASS

Trên toàn bộ bộ kịch bản nghiệm thu, hệ thống đạt benchmark 10/10 PASS và replay 10/10 PASS. Kết quả này cho thấy pipeline xử lý đúng ở tất cả các tầng và phân nhánh chính xác theo từng tình huống: kịch bản GS-02 có đủ bằng chứng được công bố thành Canonical Context Event, trong khi GS-03 thiếu bằng chứng được hệ thống chủ động chuyển sang trạng thái *no_update* thay vì công bố ngữ cảnh.

4.3.3. Kết quả kiểm tra ranh giới kiến trúc và tính tái lập

Một trong những yêu cầu cốt lõi của đề tài là mô hình ngôn ngữ lớn chỉ được phép đề xuất giả thuyết ngữ cảnh, tuyệt đối không sinh ra hành động hoặc quyết định.

Bảng 0.2 Kết quả kiểm tra ranh giới kiến trúc và phân nhánh quyết định

Kịch bản	Ngữ cảnh đề xuất	confidence_hint	Kết quả khối	Boundary check	Rò rỉ action/decision
meeting_upcoming	meeting_upcoming	0.82	canonical_context	PASS	Không
air_quality_risk (GS-02)	air_quality_risk	0.82	canonical_context	PASS	Không
needs_more_evidence (GS-03)	air_quality_risk	0.72	no_update	PASS	Không
multi_hypothesis_ambiguity	air_quality_risk	0.82	canonical_context	PASS	Không
kg_rag_aware_reasoning	air_quality_risk	0.82	canonical_context	PASS	Không

Trên cả năm kịch bản, hệ thống đạt boundary check PASS và không ghi nhận bất kỳ trường hợp rò rỉ hành động/quyết định nào trong đầu ra của tầng suy luận ngữ cảnh. Điều này xác nhận cơ chế bảo vệ ranh giới hoạt động đúng: mô hình ngôn ngữ lớn được giữ ở vai trò đề xuất, còn quyền công bố ngữ cảnh thuộc về các thành phần xác thực và chấm điểm.

Bên cạnh đó, kết quả replay cho thấy quá trình suy luận có tính tái lập (deterministic): cùng một đầu vào luôn cho ra cùng một kết quả công bố, đáp ứng yêu cầu về khả năng kiểm toán và truy vết của hệ thống.

4.3.4. Chất lượng truy hồi

Đối với kịch bản GS-02, hệ thống đánh giá chất lượng truy hồi và mức độ grounding của giả thuyết ngữ cảnh được sinh ra.

Bảng 0.3 Chỉ số chất lượng suy luận trên kịch bản GS-02

Chỉ số	Giá trị	Ý nghĩa
grounding_avg	1.000	Tỉ lệ bằng chứng/tri thức được grounding đầy đủ
retrieval_avg	1.000	Mức độ giả thuyết sử dụng đúng tri thức đã truy hồi

Kết quả cho thấy giả thuyết ngữ cảnh được sinh ra hoàn toàn dựa trên bằng chứng và tri thức đã được hệ thống cung cấp, không xuất hiện bằng chứng hoặc tham chiếu "bịa" ngoài phạm vi gói tri thức đầu vào. Đây là minh chứng cho hiệu quả của cơ chế grounding giữa Knowledge Graph và mô hình ngôn ngữ lớn.

4.3.5. Độ phủ Knowledge Graph

Knowledge Graph được dựng và kiểm chứng trực tiếp trên Neo4j.

Bảng 0.4 Thống kê quan hệ trong Knowledge Graph (Neo4j)

Loại quan hệ	Số lượng
REQUIRES_EVIDENCE	29
ALLOWS_SCOPE	22
USES_RETRIEVAL_DOMAIN	18
GOVERNED_BY	6
VALIDATED_BY	6

Ngoài ra, ở chế độ nạp thử (dry-run), hệ thống ghi nhận 23 node và 27 quan hệ được tạo hợp lệ. Kết quả này xác nhận Knowledge Graph được hiện thực hóa đầy đủ với các nhóm quan hệ Governance Core phục vụ truy xuất tri thức, thay vì chỉ tồn tại ở dạng mô hình thiết kế.

4.3.6. Nhận xét chung và hạn chế của đánh giá

Tổng hợp các kết quả trên cho thấy hệ thống ICE đã được hiện thực hóa và kiểm chứng ở mức có thể quan sát và lặp lại: pipeline đạt 10/10 PASS ở benchmark và replay, tuân thủ tuyệt đối ranh giới kiến trúc (không rò rỉ hành động/quyết định), bảo đảm tính tái lập, và đạt chất lượng grounding cao trên kịch bản tiêu biểu. Bên cạnh đó, Knowledge Graph và các cơ chế truy hồi, suy luận, xác thực, chấm điểm, công bố ngữ cảnh đều đã hoạt động trên dữ liệu thực và được trực quan hóa qua các bề mặt DTCC.

Tuy nhiên, quá trình đánh giá vẫn còn một số hạn chế:

- Bộ kịch bản đánh giá còn nhỏ (một số golden scenario tiêu biểu), chưa kiểm chứng trên quy mô dữ liệu lớn và đa dạng tình huống thực tế.
- Bộ kịch bản đánh giá còn nhỏ (một số golden scenario tiêu biểu), chưa kiểm chứng trên quy mô dữ liệu lớn và đa dạng tình huống thực tế.

- Bộ kịch bản đánh giá còn nhỏ (một số golden scenario tiêu biểu), chưa kiểm chứng trên quy mô dữ liệu lớn và đa dạng tình huống thực tế.

4.4. Kết chương

Trong chương 4, đề tài đã trình bày kết quả triển khai hệ thống theo hướng tập trung vào khối ICE và sự tích hợp của nó với môi trường Smart Office. Các thành phần công nghệ, môi trường triển khai và các chức năng chính đã được mô tả dựa trên kết quả hiện thực trong mã nguồn và các bề mặt giao diện DTCC.

Kết quả đạt được cho thấy hệ thống đã xây dựng được pipeline xử lý hoàn chỉnh từ telemetry và world state, qua truy hồi tri thức và suy luận, đến canonical context, quản trị quyết định và projection lên giao diện vận hành. Quá trình đánh giá trên bộ golden scenario tiêu biểu cho thấy pipeline đạt benchmark 10/10 PASS và replay 10/10 PASS qua đủ sáu tầng nghiệm thu, đồng thời bảo đảm tính tái lập (deterministic) của kết quả suy luận. Đặc biệt, kiểm tra ranh giới kiến trúc trên các kịch bản trình diễn đều đạt boundary check PASS, không ghi nhận trường hợp rò rỉ hành động/quyết định nào trong đầu ra của tầng suy luận ngữ cảnh, qua đó xác nhận bằng số liệu vai trò "đề xuất, không quyết định" của mô hình ngôn ngữ lớn. Bên cạnh đó, chất lượng grounding đạt mức cao trên kịch bản tiêu biểu và Knowledge Graph được kiểm chứng trực tiếp trên Neo4j với độ phủ quan hệ đầy đủ.

Việc tích hợp với các màn hình như Radar, Trust Stream, Relay, Override và Infrastructure đã giúp làm rõ giá trị ứng dụng thực tế của đồ án, đồng thời thể hiện được khả năng giám sát, can thiệp và truy vết quyết định của hệ thống.

Mặc dù vẫn còn những điểm cần tiếp tục hoàn thiện như mở rộng quy mô bộ kịch bản đánh giá, đánh giá định lượng mô hình ngôn ngữ lớn ở chế độ trực tuyến và đo lường độ trễ dưới tải hệ thống hiện tại đã tạo được nền tảng rõ ràng, có kiểm chứng cho việc ứng dụng Knowledge Graph, LLM và cơ chế decision governance trong bài toán điều hành văn phòng thông minh.

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

1. Kết quả đạt được

Sau quá trình nghiên cứu và phát triển, đề tài về xây dựng hệ thống ICE trong môi trường Smart Office đã hoàn thành được các mục tiêu chính với các kết quả cụ thể như sau:

- Xây dựng được Knowledge Graph phục vụ biểu diễn các ngữ cảnh, chính sách, nguồn bằng chứng và tri thức vận hành trong môi trường Smart Office.
- Xây dựng cơ chế truy xuất tri thức kết hợp với mô hình ngôn ngữ lớn (LLM) nhằm hỗ trợ suy luận ngữ cảnh.
- Xây dựng thành công quy trình suy luận ngữ cảnh bao gồm truy xuất tri thức, sinh giả thuyết ngữ cảnh, xác thực bằng luật nghiệp vụ và chuẩn hóa thành Canonical Context Event.
- Xây dựng cơ chế quản trị quyết định dựa trên chính sách, hỗ trợ đánh giá và lựa chọn phương án xử lý phù hợp.
- Xây dựng cơ chế giải thích và truy vết thông qua bằng chứng, chính sách áp dụng và mã lý do của quyết định.
- Tích hợp thành công hệ thống ICE vào môi trường Smart Office để hỗ trợ suy luận ngữ cảnh và ra quyết định trong các tình huống vận hành thực tế.

2. Hạn chế

Bên cạnh việc đáp ứng các chức năng chính của hệ thống, vẫn còn một số điểm hạn chế như:

- Phạm vi tri thức trong Knowledge Graph còn giới hạn và chưa bao phủ toàn bộ các tình huống vận hành thực tế.
- Chất lượng suy luận vẫn phụ thuộc vào độ đầy đủ và chính xác của dữ liệu đầu vào.
- Hệ thống mới được đánh giá trên một số kịch bản vận hành tiêu biểu, chưa được kiểm chứng trên quy mô lớn.
- Một số thành phần tích hợp với hệ thống Smart Office vẫn cần được tiếp tục hoàn thiện.

3. Hướng phát triển

Trong tương lai, đề tài có thể được mở rộng theo các hướng sau:

- Bổ sung thêm các loại ngữ cảnh, chính sách và nguồn tri thức cho Knowledge Graph.
- Nâng cao chất lượng truy xuất tri thức và suy luận ngữ cảnh.
- Mở rộng tập luật nghiệp vụ và cơ chế quản trị quyết định.
- Triển khai và đánh giá hệ thống trên quy mô vận hành thực tế lớn hơn.
- Hoàn thiện các chức năng trực quan hóa, giải thích và giám sát quyết định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Neo4j Graph, "Overview: What Is Neo4j (Graph Database)?" [Online]. Available: https://graphable.ai/software/what-is-neo4j-graph-database/ [Accessed: Jun. 2026].

[2] Viblo, "Khám phá Knowledge Graph: Cách xây dựng và ứng dụng hiệu quả trong thực tế" [Online]. Available: https://vnptai.io/vi/blog/detail/knowledge-graph. [Accessed: Jun. 2026].

[3] Cognative System Framework, "Cognitive System Dynamics" [Online]. Available: https://paradigmdynamics.org/cognitive-system-dynamics-framework/ [Accessed: Jun. 2026].

[4] VM Instance, "Hướng dẫn tạo máy ảo (Virtual Machine – VM) trên Google Compute Engine." [Online]. Available : https://blog.cloud-ace.vn/huong-dan-tao-may-ao-virtual-machine-vm-tren-google-compute-engine/. [Accessed: Jun. 2026].

[5] SSH Server, " Hướng dẫn sử dụng SSH remote trên Visual Studio Code để kết nối vào VPS." [Online]. Available : VM Instance, "Hướng dẫn tạo máy ảo (Virtual Machine – VM) trên Google Compute Engine." [Online]. Available : https://blog.cloud-ace.vn/huong-dan-tao-may-ao-virtual-machine-vm-tren-google-compute-engine/. [Accessed: Jun. 2026].

[6] GraphRAG, "GraphRAG - Một sự nâng cấp mới của RAG truyền thống chăng?" [Online]. Available: https://viblo.asia/p/graphrag-mot-su-nang-cap-moi-cua-rag-truyen-thong-chang-EoW4oXRBJml. [Accessed: Jun. 2026].

PHỤ LỤC

Mã nguồn:

Github: https://github.com/hung26oct03/DATN