

ĐOÀN THANH NIÊN CỘNG SẢN HỒ CHÍ MINH
BAN CHẤP HÀNH THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

CÔNG TRÌNH DỰ THI
GIẢI THƯỞNG SINH VIÊN NGHIÊN CỨU KHOA HỌC EURÉKA
LẦN THỨ 25 NĂM 2023

TÊN CÔNG TRÌNH:
DE-SMARTHEALTHCARE - GIẢI PHÁP CHIA SẺ HỒ SƠ DỮ LIỆU Y
TẾ ĐIỆN TỬ SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ TƯƠNG TÁC LIÊN CHUỖI KHỎI

LĨNH VỰC NGHIÊN CỨU: CÔNG NGHỆ THÔNG TIN
CHUYÊN NGÀNH: MẠNG MÁY TÍNH VÀ TRUYỀN THÔNG

Giáo viên hướng dẫn:	Th.S Trần Tuấn Dũng
Sinh viên thực hiện:	Võ Anh Kiệt – 20520605
	Nguyễn Bùi Kim Ngân – 20520648
	Nguyễn Bình Thực Trâm – 20520815
	Lê Trần Thùy Trang – 20520323
	Trần Đức Minh – 20521617

Mã số công trình:

Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 8 năm 2023

MỤC LỤC

TÓM TẮT ĐỀ TÀI.....	4
CHƯƠNG 1: ĐẶT VẤN ĐỀ	6
1.1. Những ưu thế của công nghệ chuỗi khối so với cơ sở dữ liệu truyền thống	6
1.2. Blockchain trong y tế.....	7
1.3. Tương tác đa blockchain.....	10
CHƯƠNG 2: Tổng quan tài liệu	13
2.1. Tóm tắt các công trình liên quan.....	13
2.1.1. Phương pháp Notary	14
2.1.2. Phương pháp Hash-locking	15
2.1.3. Phương pháp Relays/Chuỗi khối ngoài (Sidechain).....	17
2.1.4. Chuỗi khối Oracle.....	19
2.2. Tính khoa học, tính mới.....	21
CHƯƠNG 3: MỤC TIÊU - PHƯƠNG PHÁP	22
3.1. Mục tiêu công trình	22
3.2. Tổng quan giải pháp.....	22
3.3. Hệ thống chuỗi khối.....	24
3.3.1. Các mạng chuỗi khối	24
3.3.2. Chuỗi khối ngoài.....	26
3.3.3. Ứng dụng phi tập trung.....	27
3.3.4. Hệ thống liên chuỗi khối sử dụng Sidechain	29
3.4. Hệ thống Quản lý	32
3.4.1. Hệ thống Quản lý hồ sơ bệnh án.....	32
3.4.2. Hệ thống Quản lý truy cập sử dụng Khóa có thời hạn	32
CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ - THẢO LUẬN.....	35
4.1. Môi trường	35
4.2. Kết quả	38
4.3. Thảo luận.....	40
CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	42
5.1. Kết luận.....	42
5.2. Ý nghĩa khoa học	42

5.3.	Hiệu quả về kinh tế - xã hội	43
5.4.	Phạm vi áp dụng.....	43
5.5.	Hướng phát triển	43
CHƯƠNG 6: TÀI LIỆU PHỤ LỤC		44
6.1.	Danh mục hình ảnh	44
6.2.	Danh mục bảng	44
6.3.	Danh mục thuật toán	45
6.4.	Danh mục viết tắt và giải nghĩa	45
6.5.	Tài liệu tham khảo.....	46

TÓM TẮT ĐỀ TÀI

Trong giai đoạn hội nhập cùng phát triển và sự phát triển vượt bậc dựa trên cuộc cách mạng 4.0 ở tất cả các lĩnh vực, lượng dữ liệu dưới dạng kỹ thuật số được tạo ra và lưu trữ đang tăng với tốc độ của hệ số mũ. Việc tăng trưởng về mặt lưu trữ dữ liệu này tác động lên mọi mặt trong cuộc sống từ khoa học, công nghệ, kỹ thuật, văn hoá, xã hội, nhưng đặc biệt phải kể đến một lĩnh vực mà sự tác động đến không nhỏ, đó chính là lĩnh vực y tế. Theo thống kê, dữ liệu y tế đang trải qua quá trình chuyển đổi số và đối mặt với sự gia tăng chóng mặt. Vào năm 2020, dung lượng của dữ liệu y tế đã đạt mức hàng triệu gigabytes và sẽ có sự tăng trưởng gấp đôi vào năm tiếp theo. Sự gia tăng đáng kể này đặt ra thách thức không nhỏ về việc lưu trữ và quản lý dữ liệu trong các cơ sở y tế.

Hiện nay, hầu hết các cơ sở y tế như bệnh viện đang lưu trữ hồ sơ bệnh án điện tử (EMR - Electronic Medical Record) của bệnh nhân trên các cơ sở dữ liệu tập trung truyền thống. Tuy nhiên, cách thức lưu trữ tập trung này có nhiều yếu điểm và mang đến nhiều nguy cơ về an toàn thông tin như: thiếu tính bất biến, người quản trị có thể thay đổi dữ liệu một cách âm thầm, dễ dàng bị tấn công mạng, tính sẵn sàng thấp. Do đó, xu hướng lưu trữ dữ liệu EMR theo hướng phân tán sử dụng công nghệ chuỗi khối (blockchain) đang nổi lên như một giải pháp thay thế hoàn hảo nhằm khắc phục các nhược điểm này. Nghiên cứu này tập trung vào vấn đề chia sẻ hồ sơ dữ liệu y tế điện tử giữa các cơ sở y tế khác nhau bằng công nghệ tương tác liên chuỗi khối. Đây là một vấn đề quan trọng trong bối cảnh hiện nay các bệnh viện đang ứng dụng chuỗi khối để lưu trữ EMR nhưng gặp khó khăn trong việc chia sẻ dữ liệu giữa các chuỗi khối không đồng nhất. Đóng góp chính của đề tài là đề xuất xây dựng hệ thống chuỗi khối ngoài gồm các nút Oracle để vận chuyển dữ liệu EMR giữa hai chuỗi khối khác nhau. Ngoài ra, hệ thống của chúng em áp dụng cơ chế kiểm soát truy cập dựa trên khóa có thời hạn để tăng cường bảo mật. Các tính năng chính của hệ thống bao gồm: sử dụng chuỗi khối ngoài với các nút Oracle làm trung gian vận chuyển dữ liệu; áp dụng cơ chế khóa có thời hạn để kiểm soát truy cập; tích hợp với các chuỗi khối Ethereum và Quorum. Qua quá trình thực nghiệm và đánh giá kết quả đạt được, hệ thống cho phép chia sẻ dữ liệu EMR giữa các chuỗi khối một cách hiệu quả, nhanh chóng và an toàn. Thử nghiệm trên các nền tảng blockchain

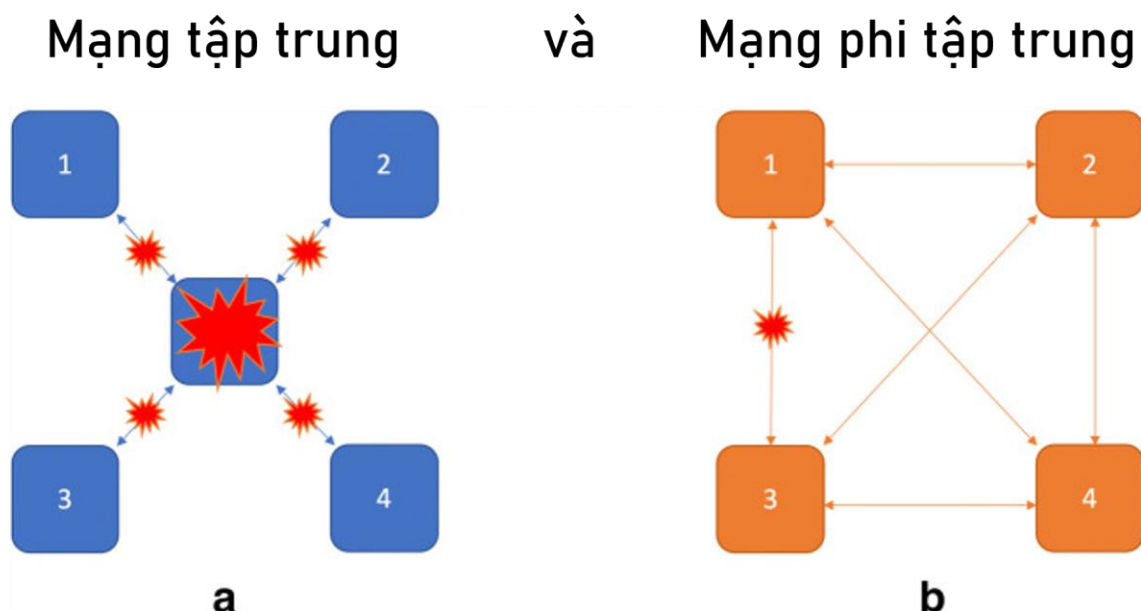
cho thấy khả năng trao đổi dữ liệu liên chuỗi thành công, tốc độ nhanh, chi phí thấp. Nhìn chung, nhóm tác giả đề xuất một giải pháp triển vọng cho vấn đề chia sẻ dữ liệu y tế giữa các chuỗi khối, góp phần tạo nền tảng cho hệ thống chăm sóc sức khỏe thông minh trong tương lai.

CHƯƠNG 1: ĐẶT VẤN ĐỀ

1.1. Những ưu thế của công nghệ chuỗi khối so với cơ sở dữ liệu truyền thống

Ngày nay, hầu hết các hệ thống lưu trữ dữ liệu đều sử dụng mô hình cơ sở dữ liệu tập trung dựa trên kiến trúc client-server. Theo đó, toàn bộ dữ liệu được lưu tập trung tại một máy chủ duy nhất. Mặc dù đem lại sự đơn giản và thuận tiện trong quản lý, mô hình này gây ra một số hạn chế đáng kể. Thứ nhất, tính bảo mật của dữ liệu không cao do tập trung tại một điểm duy nhất, dễ bị tấn công và lộ thông tin. Thứ hai, khó kiểm soát tính toàn vẹn dữ liệu khi chia sẻ giữa nhiều bên [1].

Để khắc phục những hạn chế trên, công nghệ blockchain đã ra đời như một giải pháp thay thế cho cơ sở dữ liệu tập trung. Theo các tác giả [2], blockchain là một công nghệ sổ cái phân tán, mã hóa và bất biến. Mục tiêu của blockchain là cung cấp một môi trường phi tập trung, trong đó không có bên thứ ba nào kiểm soát dữ liệu và giao dịch [3]. So với cơ sở dữ liệu tập trung, blockchain có ưu thế vượt trội là tính phân tán. Khi một điểm trong hệ thống phân tán gặp sự cố, các điểm khác vẫn hoạt động bình thường để đảm bảo tính liên tục của toàn bộ hệ thống, tránh tình trạng “single point of failure” hay điểm lỗi duy nhất.



Hình 1 - Sự khác biệt trong kiến trúc của mạng tập trung và mạng phi tập trung [2]

Bên cạnh những ưu điểm vượt trội so với cơ sở dữ liệu truyền thống, công nghệ blockchain cũng vẫn còn một số nhược điểm cần cải thiện như tốc độ xử lý chậm, chi phí giao dịch cao và khả năng tương tác hạn chế giữa các blockchain khác kiến trúc [3].

Bảng 1 so sánh giữa blockchain và cơ sở dữ liệu tập trung.

Vấn đề	Blockchain	Cơ sở dữ liệu tập trung	Lợi thế
Tính tin cậy	Có thể triển khai không cần bên tin cậy.	Cần một bên tin cậy.	Blockchain
Bảo mật dữ liệu	(Mặc định) Tất cả các nút có thể thấy dữ liệu.	Giới hạn chỉ người được ủy quyền có thể truy cập.	Cơ sở dữ liệu tập trung
Độ bền/Khả năng chịu lỗi	Dữ liệu phân tán giữa các nút.	Dữ liệu lưu trữ ở cơ sở dữ liệu tập trung.	Blockchain
Hiệu suất	Cần thời gian để đạt được sự đồng thuận. (Ví dụ: Bitcoin cần 10 phút)	Thực thi/Cập nhật ngay lập tức.	Cơ sở dữ liệu tập trung
Sự dư thừa	(Mặc định) Tất cả các nút có bản sao dữ liệu mới nhất.	Chỉ cơ sở dữ liệu tập trung có bản sao.	Blockchain
Bảo mật	Sử dụng biện pháp mật mã.	Sử dụng kiểm soát truy cập truyền thống	Blockchain

Bảng 1 - So sánh giữa blockchain và cơ sở dữ liệu truyền thống

Nhìn chung blockchain có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với cơ sở dữ liệu truyền thống tập trung. Vì vậy triển khai các ứng dụng blockchain trong một số lĩnh vực như y tế và chăm sóc sức khỏe đang dần trở thành một xu hướng tất yếu hiện nay.

1.2. Blockchain trong y tế.

Một trong những lĩnh vực mà blockchain được coi là có tiềm năng lớn là chăm sóc sức khỏe [4]. Trong nghiên cứu [6] đề cập việc lưu trữ dữ liệu y tế của bệnh nhân là rất quan trọng trong chăm sóc sức khỏe. Những dữ liệu này rất nhạy cảm và do đó cũng là mục tiêu chính cho các cuộc tấn công mạng. Điều quan trọng là phải bảo mật tất cả dữ liệu nhạy cảm này.

Dựa vào những đặc tính của công nghệ blockchain đang sở hữu, việc ứng dụng blockchain vào việc lưu trữ hồ sơ bệnh nhân mang lại các lợi ích sẽ được mô tả trong bảng sau:

Sự phân tán	Ngành chăm sóc sức khỏe gồm nhiều bên liên quan nên cần một hệ thống quản lý phân tán. Blockchain có thể trở thành thành phần quan trọng quản lý dữ liệu sức khỏe phi tập trung, từ đó tất cả các bên liên quan có thể kiểm soát quyền truy cập vào cùng một hồ sơ sức khỏe mà không có ai đóng vai trò là cơ quan tập trung đối với dữ liệu sức khỏe.
Cải thiện bảo mật dữ liệu và quyền riêng tư.	Thuộc tính bất biến của blockchain cải thiện đáng kể tính bảo mật của dữ liệu sức khỏe được lưu trữ trên nó, vì dữ liệu một khi được lưu vào blockchain không thể bị hỏng, thay đổi hoặc truy xuất. Tất cả dữ liệu sức khỏe trên blockchain đều được mã hóa, đóng dấu thời gian và nổi theo thứ tự thời gian. Ngoài ra, dữ liệu sức khỏe được lưu trên blockchain bằng khóa mật mã giúp bảo vệ danh tính hoặc quyền riêng tư của bệnh nhân.
Quyền sở hữu dữ liệu sức khỏe	Bệnh nhân cần sở hữu dữ liệu của mình và kiểm soát cách sử dụng dữ liệu của họ. Bệnh nhân cần được đảm bảo rằng dữ liệu sức khỏe của họ không bị các bên liên quan khác lạm dụng và cần có phương tiện để phát hiện khi hành vi lạm dụng đó xảy ra. Blockchain giúp đáp ứng các yêu cầu này thông qua các giao thức mã hóa mạnh mẽ và các hợp đồng thông minh được xác định rõ ràng.
Tính khả dụng/ Độ bền	Do các bản ghi trên blockchain được sao chép trong nhiều nút, nên tính khả dụng của dữ liệu sức khỏe được lưu trữ trên blockchain được đảm bảo vì hệ thống này mạnh mẽ và có khả năng phục hồi trước tình trạng mất dữ liệu, hỏng dữ liệu và một số cuộc tấn công bảo mật đối với tính khả dụng của dữ liệu.
Sự minh bạch và tin cậy	Blockchain, thông qua tính chất minh bạch, tạo ra môi trường tin cậy xung quanh các ứng dụng chăm sóc sức khỏe phân tán. Điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc chấp nhận các ứng dụng của các bên liên quan đến chăm sóc sức khỏe.
Kiểm chứng dữ liệu	Ngay cả khi không truy cập vào bản rõ của các bản ghi được lưu trữ trên blockchain, tính toàn vẹn và hợp lệ của các bản ghi đó vẫn có thể được xác minh. Tính năng này rất hữu ích trong các lĩnh vực chăm sóc sức khỏe đòi hỏi phải xác minh hồ sơ, chẳng hạn như quản lý chuỗi cung ứng dược phẩm và xử lý yêu cầu bồi thường bảo hiểm.

Bảng 2 - Lợi ích của công nghệ blockchain vào việc lưu trữ hồ sơ [5]

Vì những đặc tính nổi bật trên, công nghệ blockchain đem lại nhiều lợi ích lĩnh vực chăm sóc sức khỏe.



Hình 2 - Ưu điểm của công nghệ blockchain trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe [7]

Bên cạnh những lợi ích to lớn của công nghệ blockchain, các hệ thống blockchain có thể đối mặt với vấn đề tương tác đa blockchain cho nhu cầu trao đổi hồ sơ bệnh án giữa các cơ sở y tế. Do các ứng dụng dựa trên các nền tảng blockchain khác nhau thiếu khả năng trao đổi dữ liệu với nhau mà khả năng tương tác của blockchain đã trở thành một vấn đề lớn và cần phải được giải quyết. Trong [8] có đề cập rằng các ứng dụng blockchain khác nhau có các tiêu chí khác nhau, đòi hỏi khả năng và yêu cầu blockchain riêng biệt. Do sự tồn tại của nhiều giao thức và công nghệ, thông tin trao đổi không thể được trao đổi tự do và trực tiếp giữa hai blockchain độc lập. Sự phát triển của các công nghệ blockchain độc lập và không tương thích đã gây ra sự phân mảnh đáng kể trong nghiên cứu, vì người dùng và nhà phát triển phải lựa chọn từ một số blockchain cho các kịch bản sử dụng của riêng họ [39, 40]. Điều này đã dẫn đến sự không tương thích và cô lập trong hệ sinh thái blockchain hiện nay.

1.3. Tương tác đa blockchain

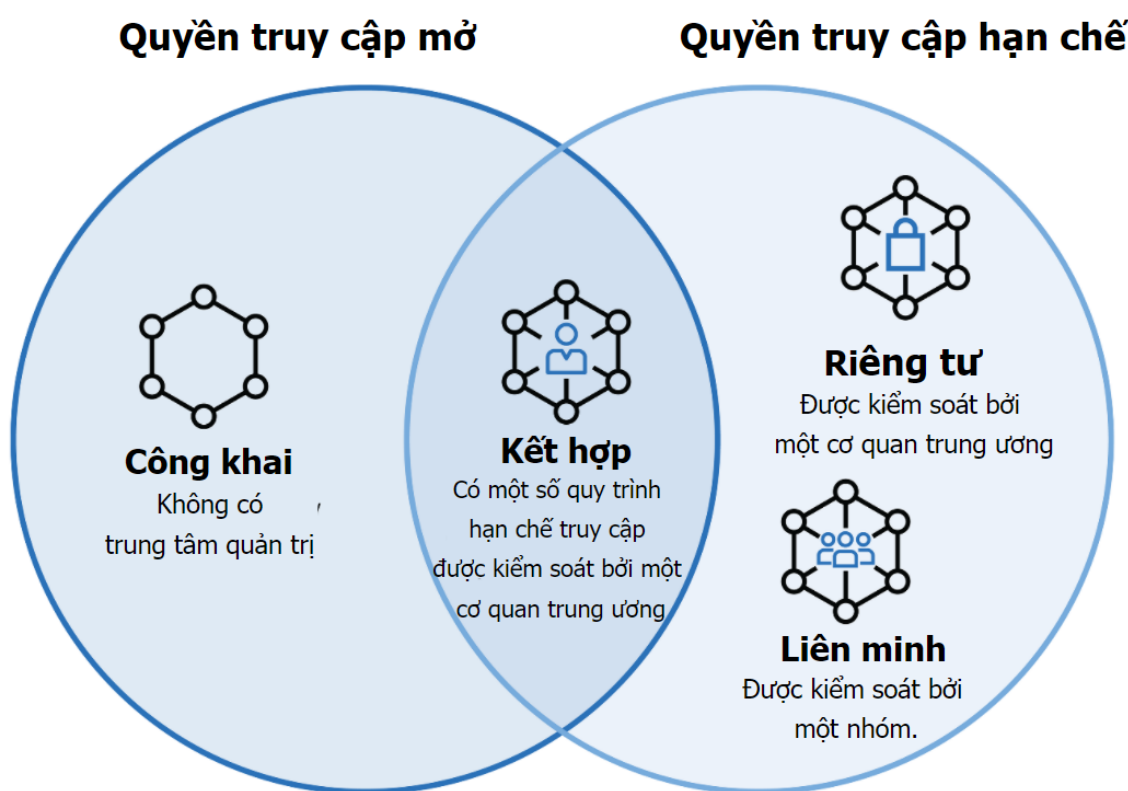
Công nghệ blockchain được xem như một cách cách mạng trong cách chúng ta kinh doanh và sống cuộc sống. Mặc dù tiềm năng đáng kinh ngạc của blockchain như một công nghệ đột phá, nhưng cần phải nhận thức và giải quyết một số hạn chế của nó. Một trong những vấn đề nổi bật nhất là khả năng mở rộng hạn chế của một chuỗi khối đơn lẻ. Cụ thể, khi càng có nhiều người dùng tham gia vào mạng và giao dịch ngày càng tăng, chuỗi khối cũng mở rộng, gây ra thách thức đối với quản lý hiệu quả của nó.

Những thách thức này có thể dẫn đến độ trễ trong giao dịch, chi phí cao hơn và tắc nghẽn mạng, tất cả đều có thể làm suy yếu hiệu suất và hiệu quả tổng thể của blockchain. Nói cách khác, số lượng giao dịch ngày càng tăng trên blockchain đòi hỏi sự gia tăng về tài nguyên xử lý cần thiết để xác minh từng giao dịch. Điều này tăng nguy cơ bị tấn công và làm cho việc duy trì blockchain trở nên khó khăn hơn theo thời gian. [11] đã thực hiện so sánh tỷ lệ giao dịch của các phương thức thanh toán truyền thống, như Visa, với hai hệ thống blockchain nổi tiếng nhất là Bitcoin và Ethereum, kết quả chỉ ra rằng trong khi Bitcoin và Ethereum có thể xử lý lần lượt 7 và 15 giao dịch trên giây, các hệ thống tập trung như Visa có thể xử lý lên đến 1700 giao dịch trên giây, nhấn mạnh sự chênh lệch đáng kể giữa blockchain và các hệ thống tập trung. Do đó, không còn câu hỏi gì rằng vấn đề về khả năng mở rộng phát sinh từ khả năng giới hạn của một chuỗi khối đơn lẻ để quản lý một số lượng lớn giao dịch.

Để vượt qua thách thức này, việc tích hợp khả năng tương tác giữa các chuỗi khối hoặc kiến trúc chéo chuỗi được xem là một giải pháp triển vọng. Tiếp cận đột phá này cho phép các mạng blockchain khác nhau giao tiếp và trao đổi dữ liệu với nhau. Khả năng tương tác giữa các blockchain bao gồm một loạt các công nghệ và giao thức tinh vi giúp tương tác, trao đổi dữ liệu và tài sản số, cùng với sự hợp tác cải tiến trong nhiều mạng blockchain khác nhau. Bằng cách thúc đẩy việc chia sẻ hoạt động một cách liền mạch giữa các mạng blockchain khác nhau thông qua một hợp đồng thông minh được định nghĩa trước, tích hợp khả năng tương tác có thể tạo ra sự hiệu quả và hiệu suất lớn hơn. Để đơn giản, tích hợp khả năng tương tác chấm dứt tính cách cô lập của các chuỗi khối cá nhân, cho phép thực hiện một hệ sinh thái chuỗi khối thống nhất, nơi dữ liệu và tài sản số có thể được chia sẻ và sử dụng một cách hiệu quả hơn. Với sự tích hợp như vậy,

các mạng blockchain được trang bị để tham gia vào giao dịch chéo chuỗi với khả năng mở rộng và khả năng không giới hạn, đây là một bước đột phá quan trọng mà trước đây không thể đạt được do tính phi tập trung của các chuỗi khối truyền thống.

Chuỗi khối đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành như tài chính, bảo hiểm, chăm sóc sức khỏe, hỗ trợ xã hội và giáo dục. [12 - 15] Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu cho thấy rằng khả năng tương tác giữa đa dạng các kiến trúc chuỗi khối khác nhau vẫn là một thách thức lớn chưa được giải quyết và yêu cầu trao đổi giữa những thực thể hoạt động cùng một lĩnh vực là rất phổ biến và thiết yếu. [16] Do đó để công nghệ chuỗi khối có thể phát triển mạnh mẽ và có khả năng áp dụng được với nhiều ngữ cảnh hơn, việc thúc đẩy sự phát triển trong các mối liên kết giữa các chuỗi khối khác kiến trúc là một khía cạnh vô cùng quan trọng.

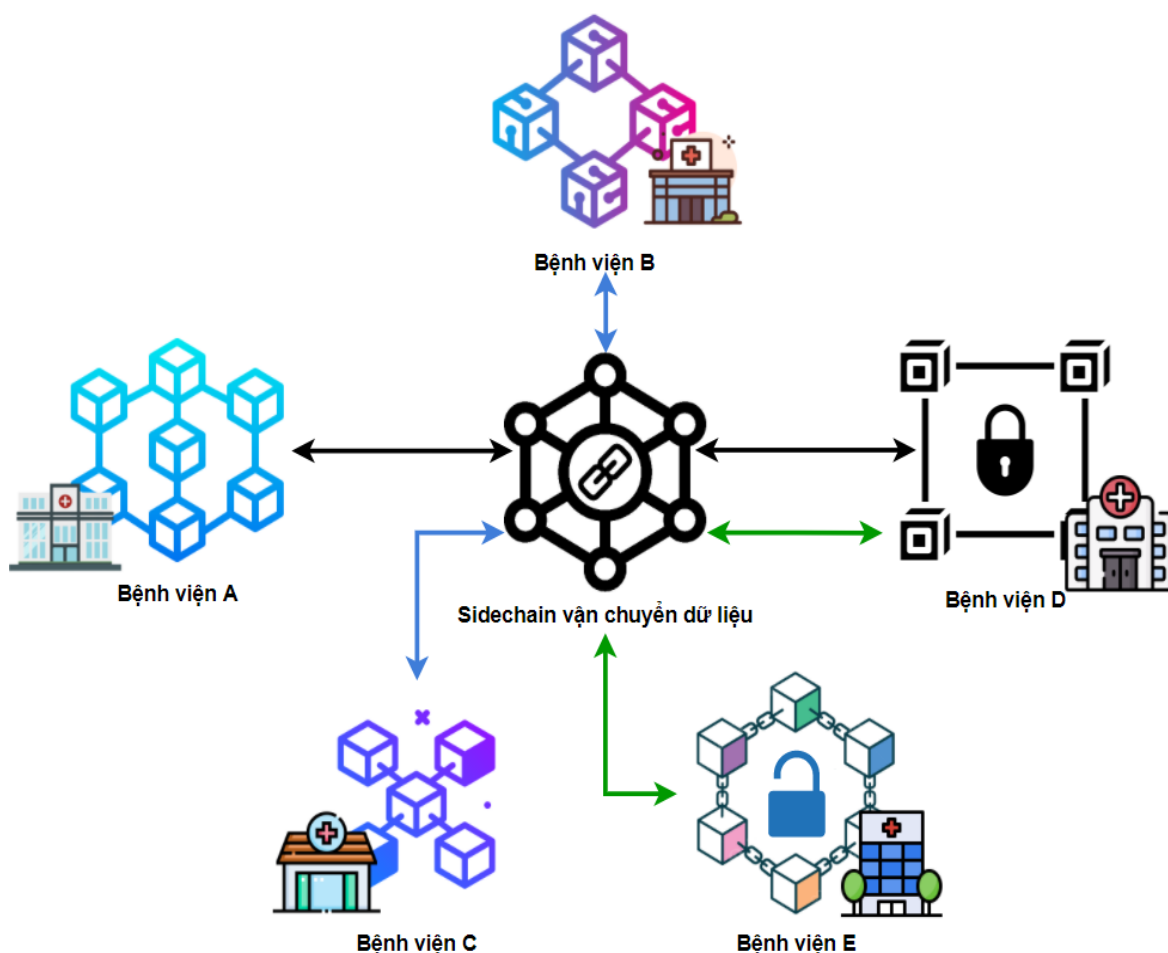


Hình 3 - Sự khác biệt giữa các kiến trúc chuỗi khối

Đặc biệt là trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe đã được ứng dụng chuỗi khối ở mức tương đối thì tính minh bạch và hiệu quả là nền tảng của sự tương tác thành công và liên mạch giữa các bên. Tuy nhiên, vì lưu trữ dữ liệu theo cách phi tập trung, cho phép phân mảnh trong các hệ thống chuỗi khối hiện tại gây ra những hạn chế đáng kể đối với việc cung

cấp dữ liệu có độ chính xác cao để đáp ứng kịp thời cho quá trình chăm sóc và điều trị bệnh nhân một cách tốt nhất.

Do vậy, việc xây dựng và tối ưu hóa hệ thống hỗ trợ tương tác liên chuỗi là vô cùng quan trọng, tuy nhiên, các giải pháp hiện tại đang gặp những trở ngại đáng kể như: Chi phí cao; Quy trình thực hiện phức tạp. Chúng em đề xuất hướng giải quyết bằng cách xây dựng một hệ thống chuỗi khối ngoài (Sidechain) gồm các nút Oracle bên trong. Bên cạnh đó chúng em cũng giới thiệu cơ chế thực thi kiểm soát truy cập dữ liệu và thực hiện cấp quyền tương tác liên chuỗi thông qua khóa có thời hạn (Valid time key – VTK). Qua đó, mô hình được đề xuất hoạt động một cách tối ưu, liền mạch, đáp ứng yêu cầu trao đổi dữ liệu liên chuỗi, đồng thời có thể tăng cường bảo mật dữ liệu của hệ thống mạng nội bộ.

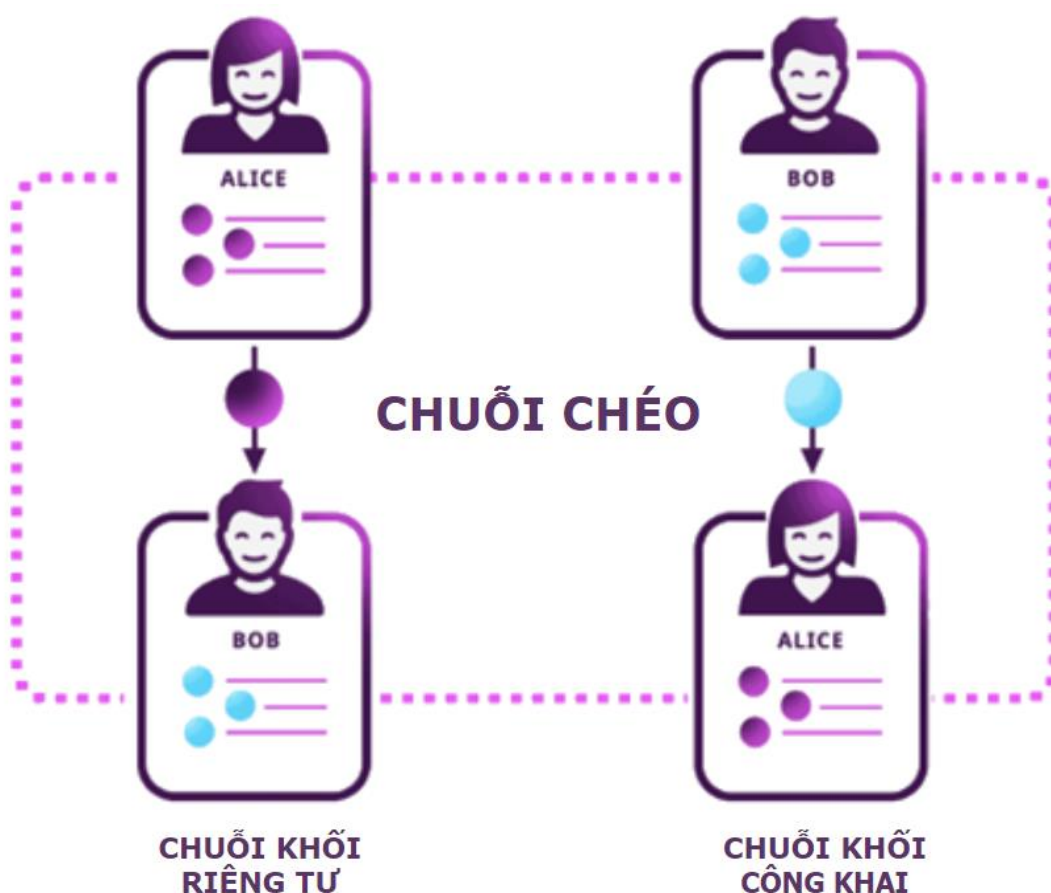


Hình 4 - Mô hình các bệnh viện với Mạng chuỗi khối được kết nối với nhau

CHƯƠNG 2: Tổng quan tài liệu

2.1. Tóm tắt các công trình liên quan

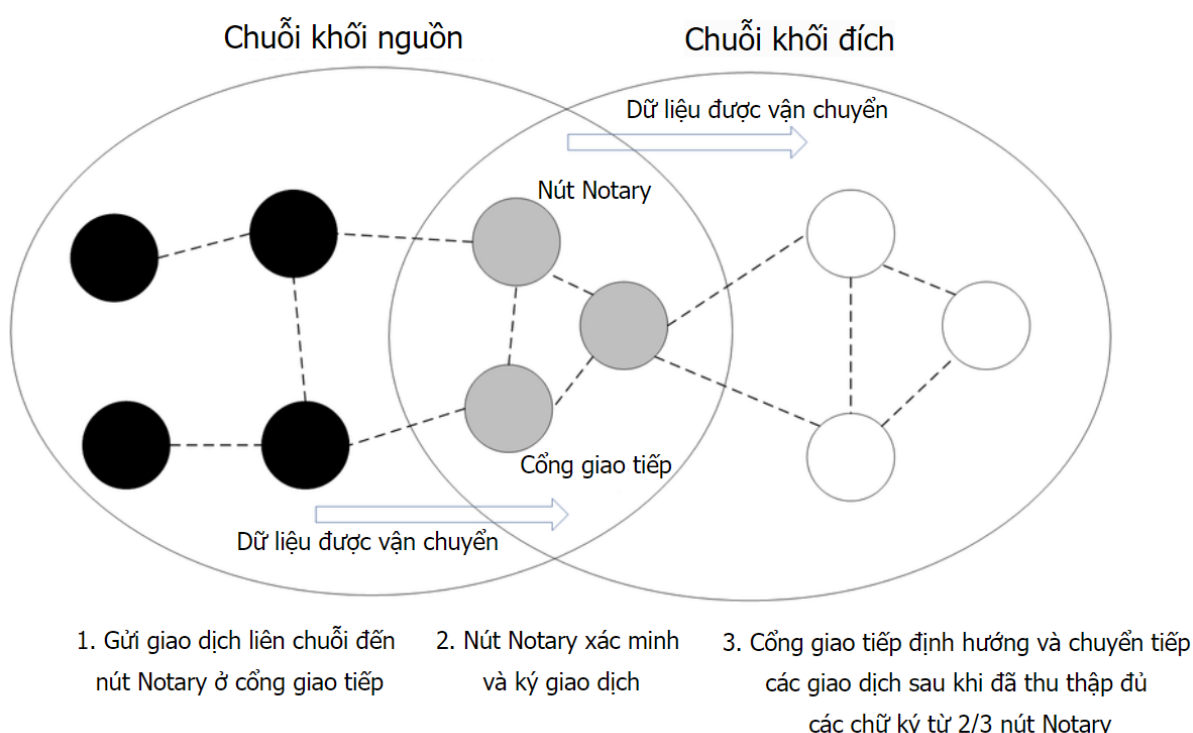
Để đạt được khả năng tương tác liên chuỗi và thực hiện liên mạch các hợp đồng thông minh giữa các mạng chuỗi khối khác kiến trúc, việc áp dụng các giao thức được tiêu chuẩn hóa và các phương pháp mới mẻ nổi lên như những yếu tố then chốt. Bằng cách nắm bắt những phát kiến đáng chú ý này, chúng ta có thể mở khóa tiềm năng vô tận của công nghệ chuỗi khối, tạo ra một hệ sinh thái chuỗi khối có khả năng tương tác và kết nối với nhau bất kể những sự khác biệt trong mặt xây dựng hệ thống nội bộ bên trong. Song, cũng đã có rất nhiều nhà nghiên cứu đã làm sáng tỏ tầm quan trọng của khả năng tương tác chuỗi khối trong các nghiên cứu của họ, từ đó đưa ra ba loại chiến lược chính: phương pháp Notary, phương pháp khóa băm (Hash-locking) và phương pháp chuỗi chuyển tiếp (Relays)/chuỗi khối ngoài (Sidechain) và xem chúng như các khuôn khổ thiết yếu để đạt được kết nối liên mạch trên các mạng chuỗi khối đa dạng.



Hình 5 - Mô phỏng giao dịch xuyên chuỗi giữa Alice và Bob

2.1.1. Phương pháp Notary

Phương pháp Notary được gọi ý là một trong những hướng tiếp cận cho giải pháp liên chuỗi tương đối đơn giản. Cơ chế này liên quan đến một tập hợp các thực thể được xem là đáng tin cậy, đóng vai trò trung gian, bắt đầu các hành động trong một chuỗi khối để đáp ứng các sự kiện diễn ra trong một chuỗi khối khác. Tuy nhiên, việc phụ thuộc vào một bên thứ ba có thể gây ra những lo ngại về vấn đề tập trung hóa, thất cổ chai hoặc sự tin tưởng mù quáng.



Hình 6 - Mô phỏng phương pháp Notary Blockchain Interoperability

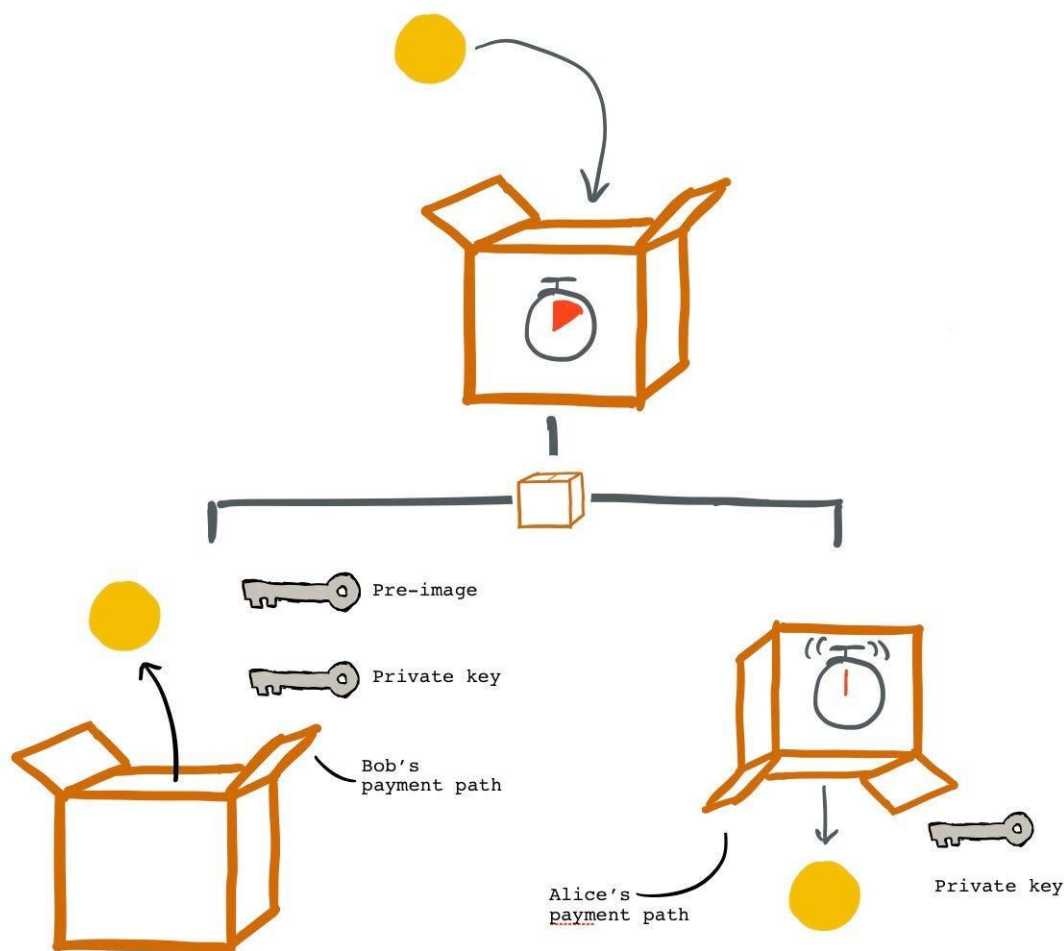
Như trên Hình 6 đã miêu tả, sẽ có 3 nút Notary đóng vai là “người xác minh” (verifier) xác minh các giao dịch và thực hiện quá trình vận chuyển dữ liệu giữa hai chuỗi khối không cùng kiến trúc theo yêu cầu của một trong hai chuỗi khối. Trong quá trình này, các nút Notary sẽ xác minh và kí vào các giao dịch được tạo ra bởi chuỗi khối nguồn. Tiếp đến, giao dịch được gửi đến sẽ được tin tưởng nếu như chuỗi khối đích có thể thu thập được ít nhất là 2/3 chữ ký xác minh từ các nút Notary ở giữa. Sau khi đã kiểm tra xong, chuỗi khối đích sẽ thu thập dữ liệu và giao dịch từ chuỗi khối nguồn, hoàn thành quá trình trao đổi dữ liệu.

Như vậy, các nút Notary đóng vai trò là bên thứ ba và trình kết nối của chúng có thể được xem như một loại “công chứng” cho các hành động chuyển đổi dữ liệu và thực hiện giao dịch liên chuỗi, cho phép chuyển giá trị giữa những người dùng từ các chuỗi khối khác kiến trúc với nhau. Nhưng đồng thời, làm thế nào để đảm bảo độ tin cậy, tính bảo mật của quá trình “công chứng” và tính toàn vẹn của giao dịch là một phần gây tranh cãi cho phương pháp này.

Mặt khác, các nút Notary này cũng có thể gây ra tình trạng “thắt nút cổ chai” trong quá trình xử lý nếu như số lượng giao dịch liên chuỗi tăng quá nhiều và số lượng nút Notary không đủ để đáp ứng [17]. Song song với đó, việc xây dựng các nút Notary còn gặp phải vấn đề chính là gây nên tính tập trung hóa, dễ bị tấn công mạng và có thể khiến cho các thông tin được vận chuyển không thể đảm bảo. Nhưng nếu tăng số lượng nút Notary lên thì cũng đồng nghĩa với việc chi phí bỏ ra để xây dựng hệ thống sẽ tăng cao và quá trình xác minh có thể mất nhiều thời gian do số lượng chữ ký kiểm tra cũng sẽ tăng lên theo.

2.1.2. Phương pháp Hash-locking

Ngoài phương pháp Notary thì khóa băm cũng là một hướng tiếp cận vấn đề chuỗi chéo rất được quan tâm hiện nay. Việc sử dụng khóa băm như một cơ chế giao tiếp liên chuỗi khối đã cung cấp một cách giải quyết hiệu quả để trao đổi tài sản, đồng thời loại bỏ sự phụ thuộc vào sự tham gia của bên thứ ba. Trong quá trình này, cả hai bên khóa tài sản dùng để trao đổi của họ trong hợp đồng thông minh và gửi giá trị băm của khóa bí mật đã chọn cho người nhận. Việc thực hiện thành công giao dịch phụ thuộc vào việc đáp ứng các điều kiện băm được xác định trước trong một khung thời gian cụ thể. Trong trường hợp các yêu cầu này không được đáp ứng, tài sản sẽ nhanh chóng được trả lại cho chủ sở hữu hợp pháp của chúng, nhờ vậy mà quy trình vận chuyển dữ liệu được đảm bảo tính bí mật và tính toàn vẹn của thông tin.



Hình 7 - Mô phỏng phương pháp Hash – locking [18]

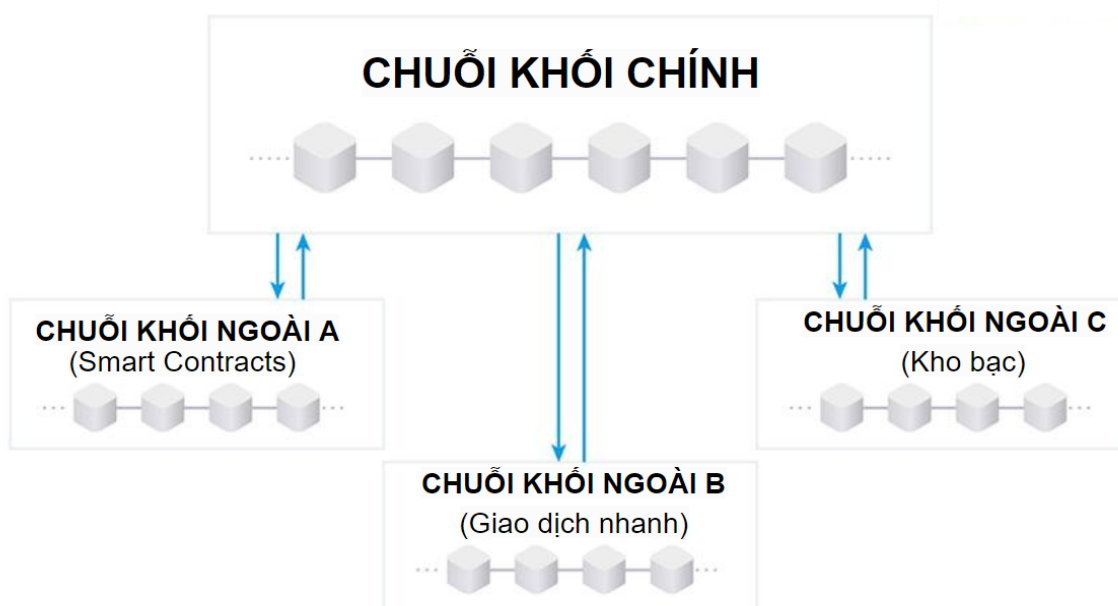
Hình 7 bên trên mô phỏng cách cụ thể hóa quá trình trao đổi dữ liệu giữa hai chuỗi khối trong một ngữ cảnh nhất định là trao đổi tiền điện tử. Ở đây, Bob muốn gửi một giá trị tiền điện tử cho Alice. Để hoàn thành mục tiêu này, Bob sẽ gửi giá trị băm của tiền điện tử cho Alice và các loại tiền điện tử tương ứng sẽ bị khóa. Nếu Alice có thể đưa ra giá trị chính xác của tiền điện tử bị khóa từ hàm băm của nó, thì tài sản bị khóa sẽ được chuyển cho người nhận. Còn ngược lại, nếu Alice không thể đưa ra giá trị chính xác trong thời gian quy định, số tiền này sẽ được hoàn trả về ví thanh toán của Bob.

Thế nhưng, mặc dù khóa băm có thể được xem là một giải pháp khả thi để trao đổi và chuyển giao tài sản liên chuỗi, nhưng nó đòi hỏi khả năng tương thích của cả hai chuỗi liên quan để hỗ trợ cùng một hàm băm. Yêu cầu này gần như là rất khó để có thể được đáp ứng, đồng thời nó sẽ đặt ra những hạn chế trong các tình huống trong đó các chuỗi

tham gia sử dụng các thuật toán băm riêng biệt hoặc sở hữu các điều kiện kỹ thuật tiên quyết khác nhau. Hơn nữa, có một thách thức đáng kể nằm ở chi phí cao và các yêu cầu thiết kế phức tạp liên quan đến việc đảm bảo sự hiểu biết lẫn nhau và khả năng tương thích của các hợp đồng thông minh trên các chuỗi khối khác nhau.

2.1.3. Phương pháp Relays/Chuỗi khối ngoài (Sidechain)

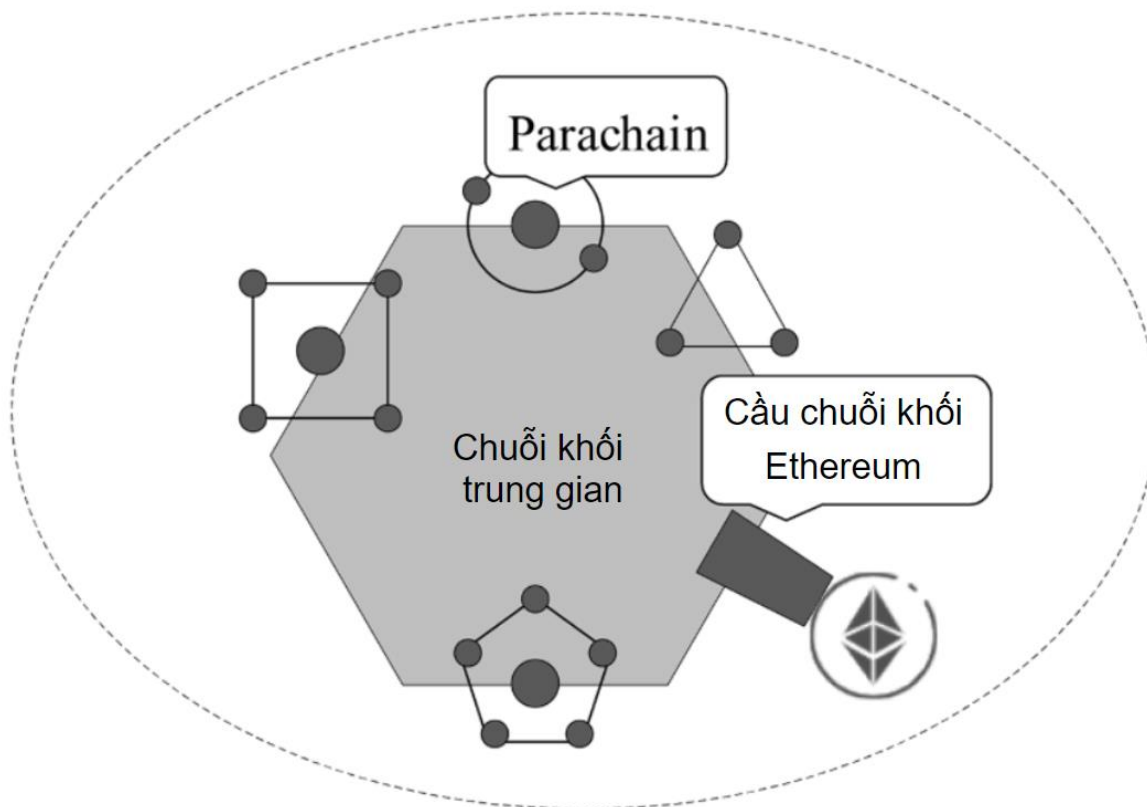
Relays/Chuỗi khối ngoài là một giải pháp chuỗi chéo đầy hứa hẹn, tập trung vào khả năng mở rộng và khả năng tương tác giữa các chuỗi khối khác kiến trúc, nhờ vậy có thể cung cấp một giải pháp phi tập trung thay thế cho phương pháp Notary. Bằng cách tận dụng cơ chế của một chuỗi khối, việc chuyển giao tài sản kỹ thuật số, bao gồm tài sản số, token và dữ liệu, trở nên dễ dàng và trôi chảy trên các mạng chuỗi khối khác nhau. Trong hệ sinh thái chuỗi khối, chuỗi khối ngoài có vai trò như một chuỗi khối thứ hai tự trị, hoạt động độc lập, chính nhờ vậy mà nó có khả năng bảo vệ hiệu suất và tính bảo mật của chuỗi khối chính mà không gặp phải bất kỳ tác động bất lợi nào.



Hình 8 - Mô phỏng phương pháp Relays/Sidechain

Cosmos và Polkadot là những platform cung cấp khả năng tương tác liên chuỗi khối bằng chuỗi khối ngoài nổi bật và có kiến trúc đặc biệt giúp tương tác một cách liên mạch và hiệu quả giữa các chuỗi khối.

Polkadot sử dụng Relay Chain (Chuỗi khối trung gian) ở trung tâm và các Parachain kết nối với nó để thực hiện trao đổi giữa các blockchain. Các Parachain sử dụng các giao thức, ứng dụng riêng biệt và được xác thực thông qua chuỗi khối trung gian [21].



Hình 9 - Tổng quan về framework của Polkadot

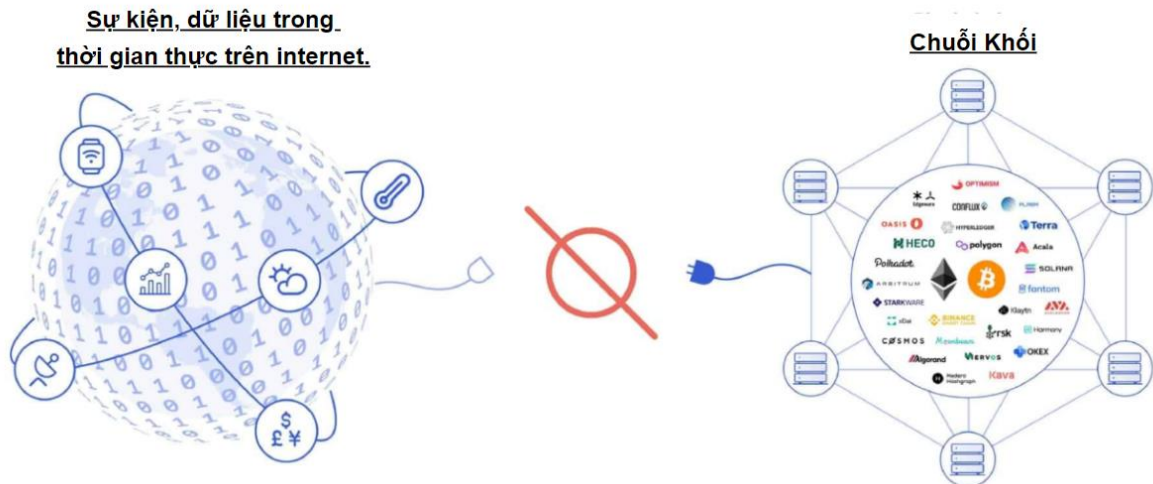
Mô hình được Cosmos sử dụng là "Inter-Blockchain Communication (IBC)" cho phép các blockchain khác nhau trao đổi một cách an toàn thông tin, tài sản. IBC giúp các blockchain có thể hoạt động độc lập và trao đổi với nhau thông qua một giao thức chuẩn hóa. Cosmos có một kiến trúc modulized với nhiều blockchain độc lập được gọi là "Zones" (Vùng) và một blockchain chính gọi là "Hub" (Cổng Cosmos). Mỗi vùng chạy độc lập và sử dụng giao thức, ứng dụng khác nhau. Trong khi đó cổng Cosmos có chức năng quản lý IBC và kết nối các vùng với nhau [38].



Hình 10 - Triển khai Cosmos sử dụng giao thức IBC để giao tiếp liên chuỗi

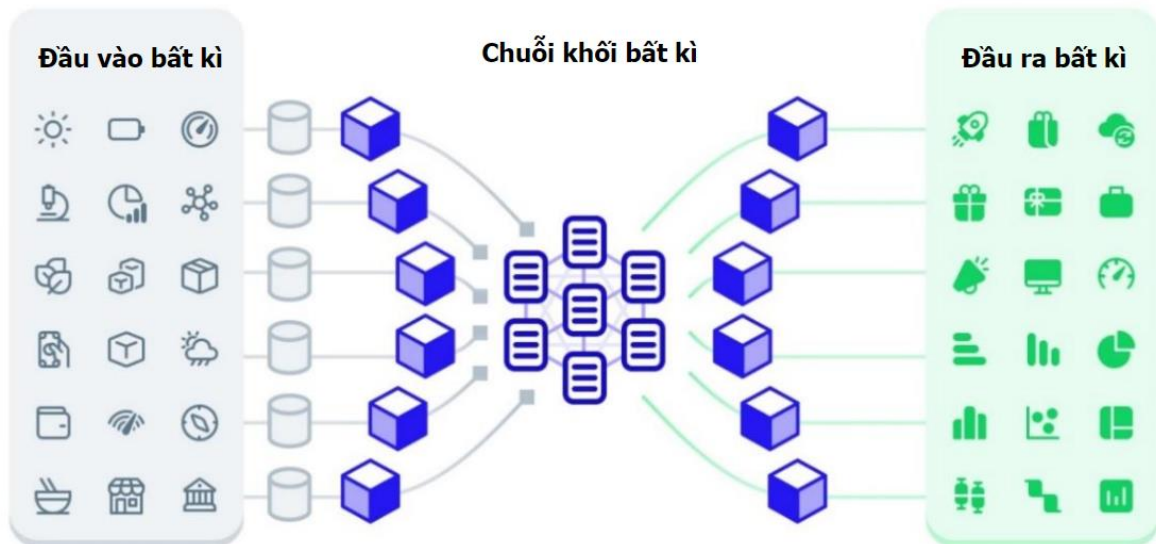
2.1.4. Chuỗi khối Oracle

Bài toán mang đến ý tưởng xây dựng chuỗi khối Oracle bắt nguồn từ một hạn chế cơ bản của các hợp đồng thông minh, đó là chúng vốn không thể tương tác với dữ liệu và hệ thống tồn tại bên ngoài môi trường chuỗi khối gốc của chúng. Các tài nguyên bên ngoài chuỗi khối được coi là tài nguyên “off-chain” (ngoài chuỗi), trong khi dữ liệu đã được lưu trữ trên chuỗi khối được coi là tài nguyên “on-chain” (trên chuỗi). Chính việc cố ý tách biệt khỏi các hệ thống bên ngoài, các chuỗi khối có được các thuộc tính có giá trị nhất của chúng như sự đồng thuận mạnh mẽ về tính hợp lệ trong các giao dịch của người dùng, ngăn chặn các cuộc tấn công double-spending và giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động (downtime) của mạng. Thế nhưng, việc tương tác an toàn với các hệ thống và dữ liệu ngoài chuỗi từ chuỗi khối vẫn là một yêu cầu vô cùng cấp thiết để phục vụ cho những ứng dụng thực tiễn của các hệ thống chuỗi khối. Chính vì vậy, ý tưởng về chuỗi khối Oracle được ra đời.



Hình 11 - Sự thiếu kết nối của dữ liệu và sự kiện với Blockchains

Các nút Oracle này là một giải pháp để hệ sinh thái Web3 phi tập trung có thể truy cập vào các nguồn dữ liệu hiện có, các hệ thống kế thừa và tính toán nâng cao ngoài chuỗi. Các mạng Oracles phi tập trung (Decentralized oracle networks - DON) cho phép tạo các hợp đồng thông minh lai, trong đó mã trên chuỗi và cơ sở hạ tầng ngoài chuỗi được kết hợp để hỗ trợ các ứng dụng phi tập trung (DApp) tiên tiến phản ứng với các sự kiện trong thế giới thực và tương tác với các hệ thống truyền thống.



Hình 12 - Cách hoạt động của chuỗi khối Oracles

2.2. Tính khoa học, tính mới

Để khắc phục trở ngại của việc truyền dữ liệu giữa các blockchain riêng biệt, nhóm nghiên cứu đề xuất hướng giải quyết bằng cách xây dựng một hệ thống chuỗi khối ngoài (Sidechain) gồm các nút Oracle bên trong. Chuỗi khối ngoài đóng vai trò như một cầu nối giao tiếp giữa hai chuỗi, đồng thời đảm bảo tính hợp lệ của dữ liệu thông qua cơ chế xác minh đồng thuận bắt buộc mỗi khi có một giao dịch liên chuỗi được thực hiện. Đồng thời, nhóm nghiên cứu cũng mang đến một cơ chế mới mẻ để kiểm soát truy cập dữ liệu và cấp quyền tương tác liên chuỗi khối thông qua khóa có thời hạn (Valid time key – VTK). Kết hợp hai điều này, hệ thống của chúng em đảm bảo rằng việc truyền và xem dữ liệu chỉ được giới hạn nghiêm ngặt cho các bên được ủy quyền.

Thông qua các miêu tả trên đã cho thấy, trọng tâm mà nhóm chúng em hướng tới chính là vấn đề bảo mật và quyền riêng tư của dữ liệu, vì vậy giải pháp của nhóm đưa ra cũng có một số những đóng góp đáng kể trong các khía cạnh sau:

- Đề xuất được một hướng tiếp cận mới cho vấn đề trao đổi dữ liệu giữa hai chuỗi khối khác kiến trúc, cụ thể chính là sáng tạo một hệ thống liên chuỗi được xây dựng dựa trên kiến trúc chuỗi khối ngoài để vận chuyển dữ liệu giữa hai chuỗi khối khác kiến trúc, cung cấp bằng chứng xác minh tính minh bạch của dữ liệu. Đồng thời, hệ thống kết hợp kiểm soát truy cập thông qua việc triển khai cơ chế khóa có thời hạn để đảm bảo các quy tắc về an toàn thông tin.
- Hệ thống của chúng em đã được triển khai và thử nghiệm thành công trên mạng thử nghiệm (testnet) các nền tảng chuỗi khối của các bên liên quan, kết quả cho thấy khả năng vận chuyển và chia sẻ dữ liệu liên chuỗi mà hệ thống mang lại thật sự nhanh chóng và an toàn. Các tiêu chí về hiệu suất, chi phí và bảo mật đã được kiểm nghiệm và đánh giá, cho tới hiện tại, các kết quả cho ra đều theo hướng tích cực.

CHƯƠNG 3: MỤC TIÊU - PHƯƠNG PHÁP

3.1. Mục tiêu công trình

Nhóm chúng em đề xuất một hệ thống liên chuỗi mới mẽ có khả năng vận chuyển hồ sơ bệnh án của bệnh nhân giữa hai bệnh viện sử dụng hai mạng blockchain khác kiến trúc một cách mượt mà và hiệu quả thông qua một Sidechain – Mạng phi tập trung của các Oracles tương tự như một blockchain trung gian thứ ba. Hệ thống được đề xuất của chúng em mang đến những đóng góp chính và mục tiêu như sau:

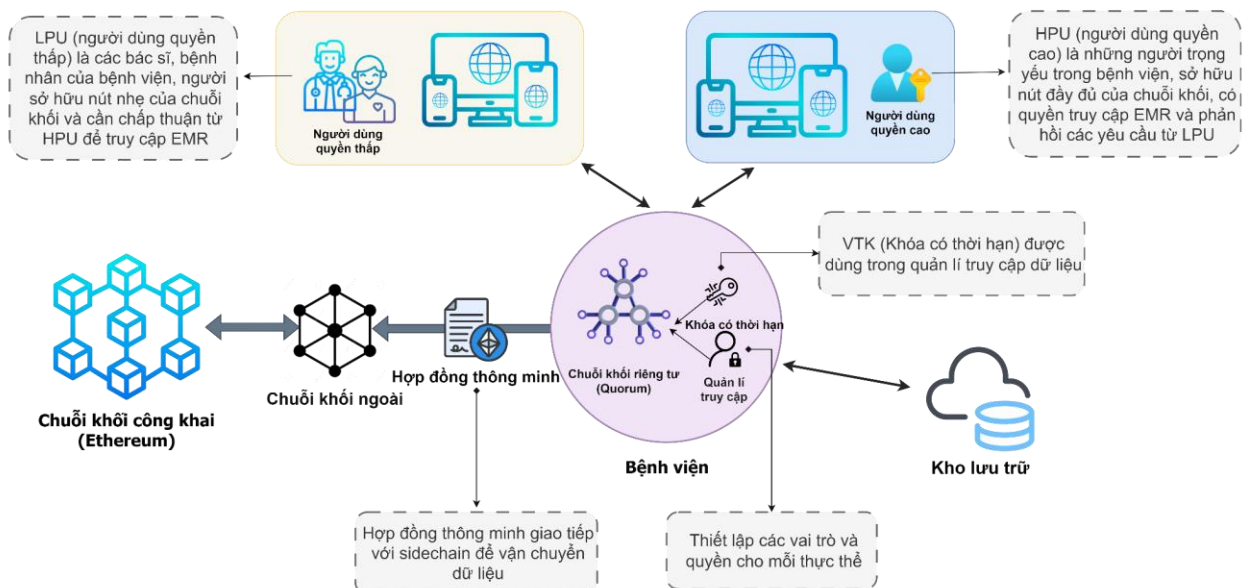
- Xây dựng nền tảng để phát triển hệ thống bệnh viện thông minh với khả năng lưu trữ, xử lý, vận chuyển hồ sơ bệnh án điện tử nhằm mang lại sự tiện lợi và hiệu quả trong quá trình chăm sóc y tế cho bệnh nhân.
- Triển khai kiểm soát truy cập dữ liệu dựa trên vai trò bằng khóa có thời gian (VTK), giúp thuận tiện, tối ưu hơn và tăng cường bảo mật cho dữ liệu được yêu cầu truy xuất.
- Hệ thống không gây ảnh hưởng tới hiệu suất và bảo mật của blockchain mà bệnh viện đã xây dựng trước đó.
- Giải pháp có thể triển khai lên nhiều kiến trúc blockchain khác nhau như Ethereum, Quorum, Hyperledger Fabric,...
- Quy trình vận chuyển dữ liệu được diễn ra một cách tự động hóa, giảm thiểu tối đa sự can thiệp của người dùng cuối.
- Kiểm tra hiệu suất thực tế và đo lường chi phí tiêu tốn để thực hiện mỗi giao dịch, đồng thời đánh giá tổng thể về hoạt động, chức năng và an toàn của hệ thống đề xuất.

3.2. Tổng quan giải pháp

Hệ thống được đề xuất nằm trong bối cảnh bệnh viện quản lý hồ sơ sức khỏe của bệnh nhân thông qua mạng chuỗi khối riêng.

Trong mạng chuỗi khối thì nút đầy đủ (full node) là một loại nút quan trọng nhất đảm bảo hoạt động và tính nhất quán của hệ thống. Vai trò chính của nút đầy đủ là duy trì một bản sao đầy đủ của toàn bộ blockchain và tham gia vào quá trình xác nhận cũng như xây dựng các khối mới trong mạng. Tuy nhiên, chi phí xây dựng một mạng như

Để giải quyết vấn đề này, cần phải có bằng chứng về tính toàn vẹn của dữ liệu và bằng chứng đó có thể được lưu trữ trên chuỗi khối công khai nhằm tăng cường bảo mật và tính minh bạch cũng như có thể truy xuất ngay khi cần. Thách thức ở đây là làm thế nào để vận chuyển dữ liệu giữa hai chuỗi khối với các kiến trúc khác nhau. Giải pháp đề xuất của nhóm chúng em sẽ giải quyết vấn đề này, với thông tin về các thành phần hệ thống được trình bày chi tiết trong các phần sau. Tổng quan hệ thống được mô tả theo hình dưới.

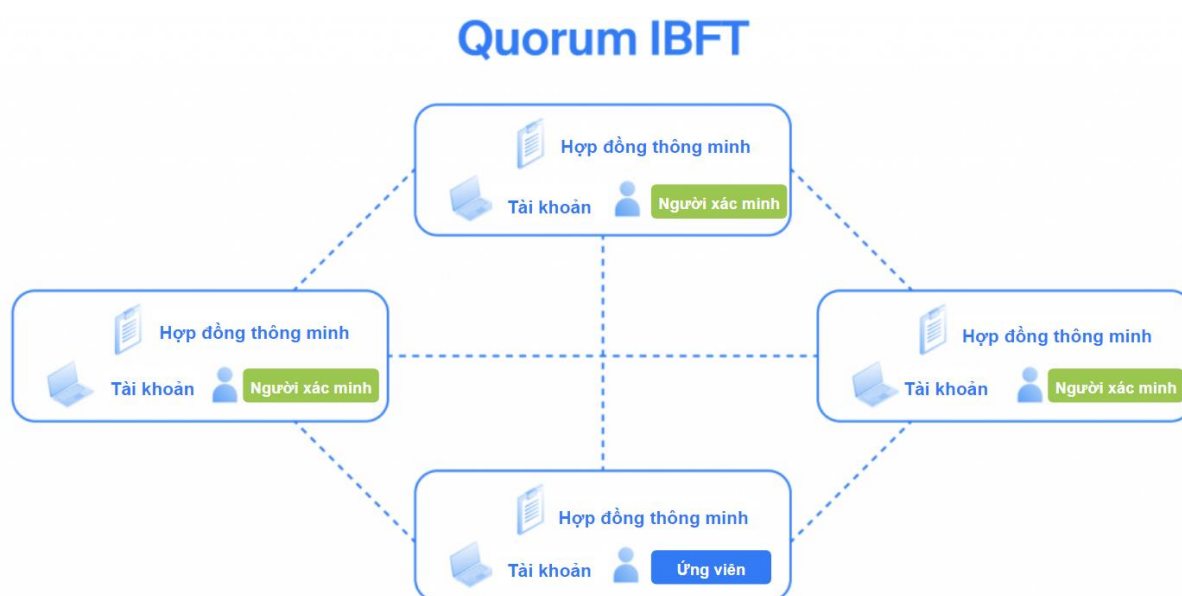


23

3.3. Hệ thống chuỗi khối

3.3.1. Các mạng chuỗi khối

Thứ nhất, về mạng chuỗi khối riêng, chúng em triển khai xây dựng kiến trúc chuỗi khối Quorum. Để đảm bảo tính bảo mật của dữ liệu, cũng như để tối ưu hóa quy trình yêu cầu truy cập dữ liệu để sử dụng trong thực tế, chúng em đã thiết kế các biện pháp kiểm soát truy cập theo vai trò bằng cách triển khai các hợp đồng thông minh trong mạng chuỗi khối riêng tư Quorum.



Hình 14 - Mạng Quorum cung cấp khả năng phân quyền các nút

Có ba vai trò chính cho các thực thể trong mạng chuỗi khối riêng:

Bác sĩ/Nhân viên y tế/Bệnh nhân có liên quan - Người dùng có quyền hạn thấp là các nút nhẹ có quyền gửi yêu cầu để đọc EMR nếu được cấp khóa có thời hạn để truy cập bởi các nút đầy đủ. Thông tin chi tiết về khóa có thời hạn sẽ được giải thích trong phần sau.

Trưởng khoa/Người quản lý (Manager) - Người dùng có quyền cao là các nút đầy đủ chịu trách nhiệm xác thực tính hợp lệ của một EMR khi nó được tạo ra, đồng thời có quyền được đọc nội dung và cấp quyền truy cập đến EMR cho nút nhẹ khi nhận được yêu cầu.

Quản trị viên (Admin) – Là nút đầy đủ và được cấp toàn quyền, chịu trách nhiệm quản lý toàn bộ hệ thống và xử lý các trường hợp khẩn cấp.



Bác sĩ/Nhân viên y tế/Bệnh nhân có liên quan

Gửi yêu cầu đọc EMR

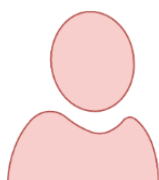


Trưởng khoa/Người quản lý

Chịu trách nhiệm xác nhận tính hợp lệ của một EMR

Đọc nội dung

Cấp quyền truy cập đến EMR cho nút nhẹ



Quản trị viên

Toàn quyền hạn

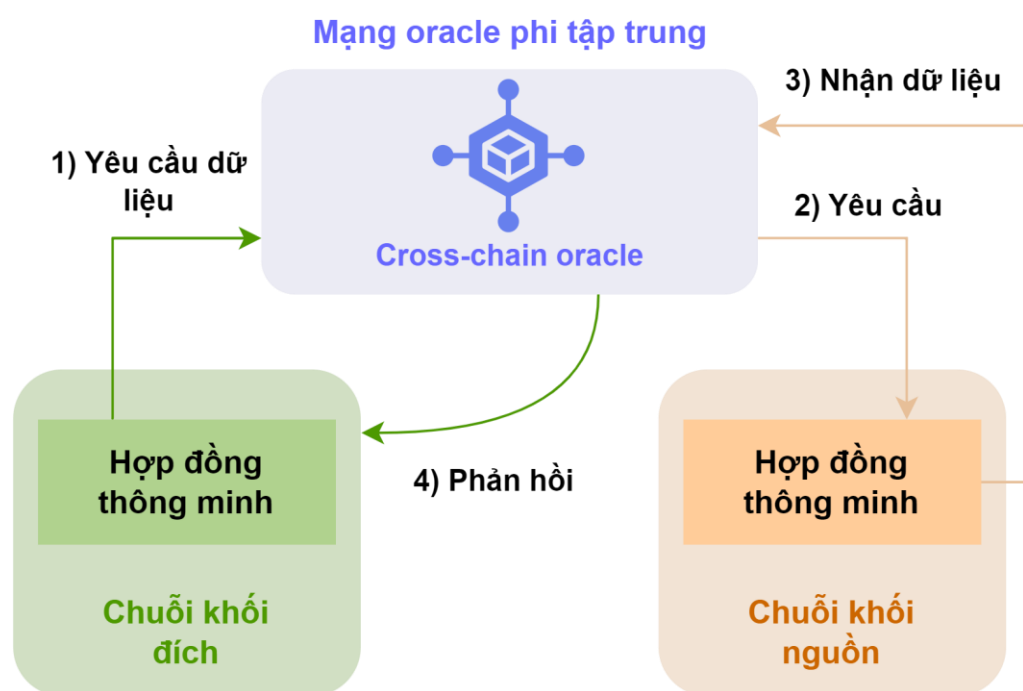
Quản lý hệ thống

Ứng phó sự cố

Hình 15 - Vai trò các thực thể trong mạng chuỗi khối

Thứ hai, về mạng chuỗi khối công khai, chúng em triển khai xây dựng Ethereum. Chuỗi khối này có vai trò lưu trữ bằng chứng để xác minh tính toàn của các hồ sơ y tế điện tử. Cụ thể bằng chứng sẽ gồm một mã băm là kết quả sau khi băm tài liệu tại thời điểm vừa được tạo ra, cùng với một mã ID tương ứng của tài liệu để phân biệt mã băm đó. Khi cần kiểm tra toàn vẹn của một EMR bất kì, ta có thể truy vấn và tìm mã băm được lưu trên Ethereum của tài liệu đó về. Bằng cách ứng dụng chuỗi khối công khai, thông tin lưu trữ được bảo vệ an toàn, minh bạch, không thể bị tác động sửa đổi một cách âm thầm và có thể truy vấn về dễ dàng.

chuỗi khối và cung cấp dữ liệu cho một chuỗi khối khác. Sự tương tác giữa hai chuỗi khối không đồng nhất và một Oracle được mô tả trong hình dưới.



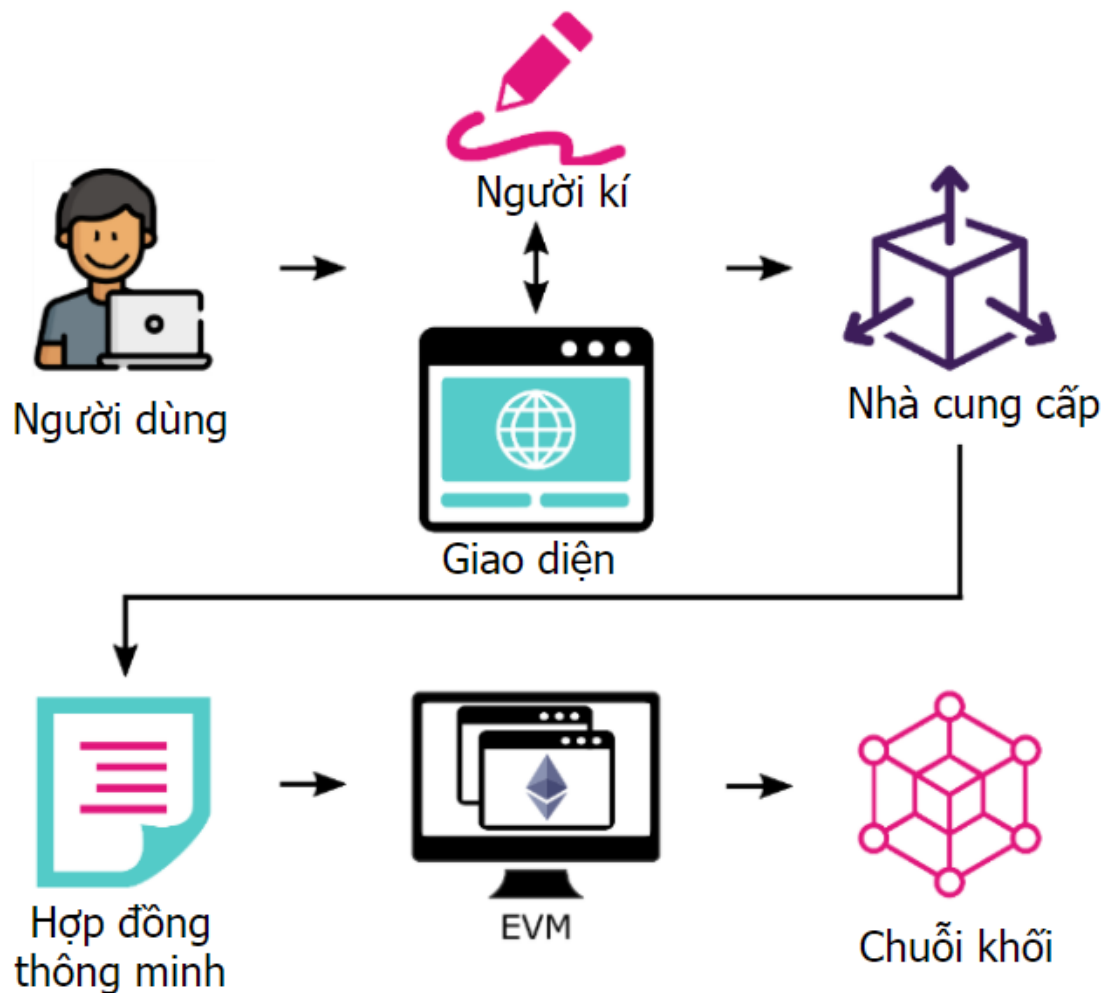
Hình 17 - Tương tác giữa hai chuỗi khối sử dụng nút Oracle

Mỗi Oracle chịu trách nhiệm cho một yêu cầu về dữ liệu từ người dùng thông qua DApp và truyền dữ liệu giữa hai chuỗi khối. Bằng cách tương tác với chuỗi khối nguồn thông qua hợp đồng thông minh, nó có thể thu thập dữ liệu theo yêu cầu, có thể là hàm băm mới được tạo sau hàm băm EMR hoặc bằng chứng cho dữ liệu gồm hàm băm đã lưu và EMR ID. Nếu dữ liệu là hàm băm mới đó, nó sẽ được vận chuyển từ chuỗi khối riêng Quorum đến và lưu trữ trên Ethereum. Một hợp đồng thông minh Quorum cũng cần thiết để thực hiện hoạt động này. Quá trình truy vấn hàm băm đã lưu để kiểm tra tính toàn vẹn sẽ được giải thích chi tiết trong phần sau.

3.3.3. Ứng dụng phi tập trung

Ứng dụng phi tập trung, viết tắt là DApp, sử dụng các hợp đồng thông minh để thực hiện các giao dịch và duy trì các quy định trên mạng phi tập trung, trong trường hợp này là mạng được hỗ trợ bởi công nghệ chuỗi khối. DApps là mã nguồn mở, tự trị và có tính minh bạch, trái ngược với các ứng dụng tập trung thông thường, nằm dưới sự kiểm soát của một thực thể hoặc tổ chức duy nhất. DApps có thể được sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau, bao gồm tài chính, trò chơi, mạng xã hội, v.v. DApps đóng

vai trò trung gian giữa người dùng và chuỗi khối riêng trong giải pháp đề xuất của nhóm chúng em. Giao diện người dùng cho ứng dụng web là frontend của nó và phần backend kết nối với DApp được phát triển trên chuỗi khối riêng để vận chuyển các dữ liệu theo yêu cầu của người dùng đến đó.

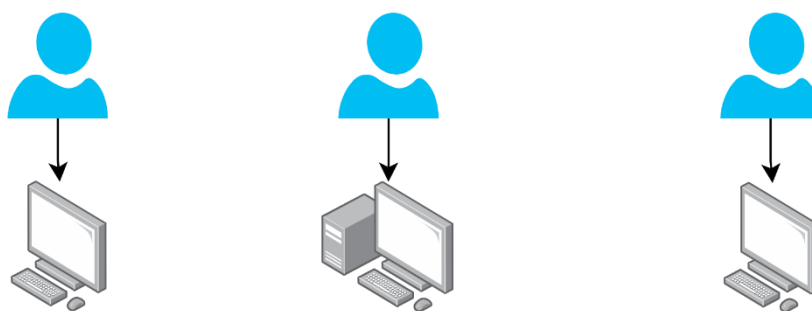


Hình 18 - Ứng dụng phi tập trung cơ bản

DApp của chúng em được tạo ra với ba phiên bản chính:

- Phiên bản dành cho bệnh nhân
- Phiên bản dành cho người dùng quyền thấp
- Phiên bản dành cho người dùng quyền cao

Bệnh nhân Người dùng quyền thấp Người dùng quyền cao



Hình 19 - Các phiên bản DApp dành cho các thực thể

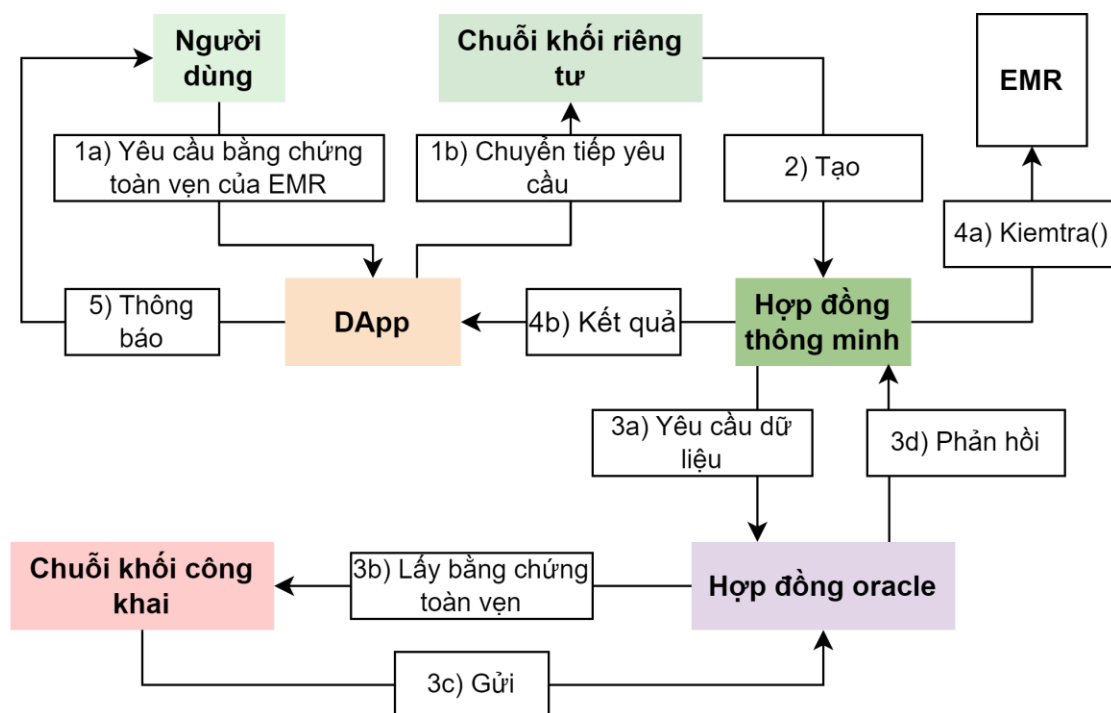
Mỗi vai trò người dùng sẽ có một phiên bản thích hợp riêng với những quyền sử dụng riêng trong DApp, vì vậy người dùng với các vai trò khác nhau sẽ được yêu cầu cung cấp các thông tin đăng nhập khác nhau phù hợp với phiên bản mà mình sử dụng.

Trong phiên bản chỉ dành cho bệnh nhân, người dùng chỉ có thể truy cập đến EMR của họ. Các bác sĩ và nhân viên bệnh viện cũng sử dụng phiên bản có quyền thấp, nhưng sẽ được cung cấp nhiều tính năng hơn, các tính năng này sẽ được cấp quyền sau tùy thuộc vào quá trình gửi yêu cầu để đọc và truy cập dữ liệu EMR của bệnh nhân.

Phiên bản cuối cùng, phiên bản dành cho người dùng có quyền cao, cung cấp cho người lãnh đạo tùy chọn phê duyệt hoặc từ chối yêu cầu dữ liệu và cũng có thể thiết lập khóa có thời hạn và kênh kết nối để chia sẻ dữ liệu

3.3.4. Hệ thống liên chuỗi khối sử dụng Sidechain

Trong phần này, chúng ta đi sâu vào làm sáng tỏ quá trình truyền dữ liệu băm được lưu trữ từ chuỗi khối công khai sang chuỗi khối riêng tư. Quy trình được trình bày trong ngữ cảnh người dùng quyền thấp gửi yêu cầu truy cập dữ liệu hoặc yêu cầu thực hiện xác minh dữ liệu cần có các dữ liệu liên chuỗi. Cụ thể sẽ được mô tả một cách sinh động trong hình dưới.



Hình 20 - Quy trình trao đổi dữ liệu liên chuỗi

Sau khi EMR trải qua quá trình mã hóa sẽ được lưu trữ được bảo vệ bằng quyền giám hộ an toàn của khóa bí mật nằm trong tay các nút đầy đủ. Lúc này, nếu người dùng quyền cao bắt đầu gửi yêu cầu xác minh hàm băm cho tính toàn vẹn của EMR thông qua DApp, quy trình tỉ mỉ này sẽ bảo vệ tính bảo mật tối đa của dữ liệu y tế nhạy cảm và trao quyền cho các cá nhân được ủy quyền xác thực tính xác thực của EMR. Thuật toán dưới cung cấp thông tin chi tiết về các hoạt động tuần tự liên quan đến quá trình xử lý yêu cầu kiểm tra toàn vẹn dữ liệu.

Đầu vào: ID của EMR được yêu cầu

Đầu ra: Kết luận bị sửa đổi hoặc Kết luận không bị sửa đổi

```
1: Yêu cầu thực hiện kiểm tra tính toàn vẹn của EMR      →Bước 1
   tạo hợp đồng Oracle                                    →Bước 2
   tạo hợp đồng thông minh PriBC
2: if tontaitrongPuBC(ID) then                            →Bước 3
3:   BCToanven ← Lấy
4:   Nút Oracle vận chuyển BCToanven tới PriBC
5: else
6:   Hủy bỏ giao dịch
7:   Thoát
8: end if
9: maBamTinh ← hamBam ← EMR                                →Bước 4
10: maBamNhan ← BangChung
11: if maBamTinh == maBamNhan then
12:   return Kết luận không bị sửa đổi
13: else
14:   return Kết luận bị sửa đổi
15: end if
16: Gửi thông báo                                          →Bước 5
```

Thuật toán 1 - Xác thực tính toàn vẹn dữ liệu của EMR

- Bước 1: Trong các trường hợp cần đảm bảo tính toàn vẹn của một EMR, khách hàng sử dụng DApp để yêu cầu bằng chứng cho tài liệu được chỉ định nằm trong chuỗi khối công khai. Bằng chứng kiểm tra này bao gồm mã băm và ID của EMR được đề cập. DApp sau đó chuyển tiếp yêu cầu tới chuỗi khối riêng để xử lý.
- Bước 2: Chuỗi khối riêng tạo hợp đồng thông minh của nó để liên lạc với chuỗi khối ngoài và nhận dữ liệu từ thế giới bên ngoài. Đồng thời, chuỗi khối ngoài được DApp triệu tập để tạo hợp đồng Oracle trên backend.
- Bước 3: Chuỗi khối ngoài lấy dữ liệu được yêu cầu trên chuỗi khối công khai và chuyển nó về chuỗi khối riêng.
- Bước 4: Khi nhận được bằng chứng, hợp đồng thông minh của chuỗi khối riêng tự sẽ thi hàm kiểm tra để xác minh tính toàn vẹn của EMR. Nếu hàm băm kết quả của tài liệu khớp với hàm băm được lấy từ chuỗi khối công khai, thì có thể kết luận rằng EMR không bị sửa đổi.

- Bước 5: Cuối cùng, DApp thông báo cho khách hàng về kết quả.

Quá trình này đảm bảo rằng các thông tin y tế nhạy cảm được bảo vệ an toàn và nguyên vẹn trong khi cung cấp cho các cá nhân được ủy quyền các phương tiện cần thiết để xác minh tính xác thực, tận dụng được tối đa tiềm lực của công nghệ chuỗi khối.

3.4. Hệ thống Quản lý

3.4.1. Hệ thống Quản lý hồ sơ bệnh án

Nền tảng chuỗi khối vốn không có khả năng lưu trữ dữ liệu với kích thước lớn. Do đó để giải quyết nhược điểm này ta có thể sử dụng các giải pháp lưu trữ ngoài chuỗi như Cloud hoặc IPFS – lưu trữ phi tập trung kết hợp với việc quản lý quyền truy cập vào cơ sở dữ liệu bằng blockchain để đảm bảo an toàn thông tin cho hệ thống.



Hình 21 - Phương án lưu trữ sử dụng Cloud kết hợp với Blockchain

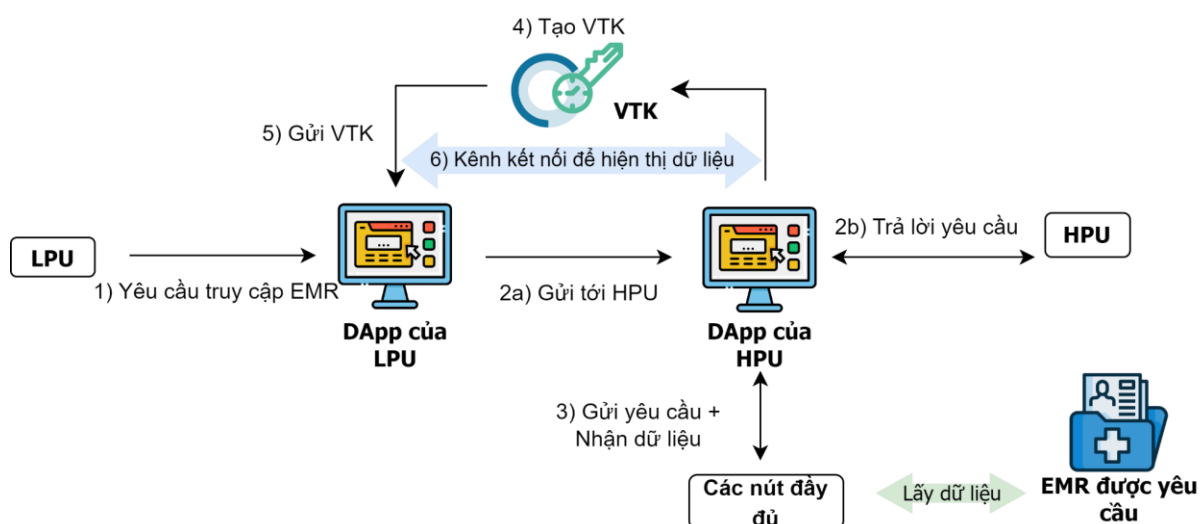
Trong ngữ cảnh đưa ra, nhóm chúng em sử dụng lưu trữ Cloud để lưu các dữ liệu lớn như EMR. Mỗi EMR được mã hóa bằng thuật toán mã hóa đối xứng trước khi đưa vào và khóa bí mật sẽ do các fullnodes nắm giữ.

3.4.2. Hệ thống Quản lý truy cập sử dụng Khóa có thời hạn

Nền tảng chuỗi khối vốn không có khả năng lưu trữ dữ liệu với kích thước lớn. Do đó để giải quyết nhược điểm này ta có thể sử dụng các giải pháp lưu trữ ngoài chuỗi như Cloud hoặc IPFS – lưu trữ phi tập trung kết hợp với việc quản lý quyền truy cập vào cơ sở dữ liệu bằng blockchain để đảm bảo an toàn thông tin cho hệ thống. Trong ngữ cảnh

đưa ra, chúng em sử dụng lưu trữ Cloud để lưu các dữ liệu lớn như EMR. Mỗi EMR được mã hóa bằng thuật toán mã hóa đối xứng trước khi đưa đi lưu trữ và khóa bí mật sẽ được các full nodes nắm giữ.

Trong các tình huống khi mà các người dùng quyền thấp tìm kiếm quyền truy cập vào EMR đã mã hóa được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu, việc sử dụng khóa có thời gian viết tắt là khóa có thời hạn trở nên quan trọng trong việc cung cấp cho họ một quyền truy cập cần thiết. Quá trình bắt đầu khi một nút nhẹ gửi yêu cầu tới các nút đầy đủ thông qua ứng dụng phi tập trung của mình, nếu nhận được sự chấp thuận, EMR sẽ được người dùng quyền cao giải mã bằng khóa bí mật. Sau đó, một kết nối đến dữ liệu được thiết lập, đồng thời tạo ra một khóa có thời hạn và nó được gửi đến ứng dụng phi tập trung của nút nhẹ đã yêu cầu ban nãy. Sau khi được cung cấp khóa có thời hạn hợp lệ này, ứng dụng phi tập trung dễ dàng truy cập tới kênh kết nối, người dùng có thể đọc được nội dung của dữ liệu. Khi hết thời gian được chỉ định, hiệu lực của khóa có thời hạn sẽ chấm dứt và sự chấm dứt kết nối ngay lập tức. Qua đó nhóm chúng em có thể đạt được kiểm soát truy cập dữ liệu một cách hiệu quả. Hình dưới đây giới thiệu mô hình quy trình chi tiết và thuật toán 1 cung cấp mô tả ngắn gọn về giao dịch kiểm soát quyền truy cập EMR bằng khóa có thời hạn.



Hình 22 - Quy trình cấp quyền cho người dùng quyền thấp

Cụ thể về từng bước trong quá trình người dùng quyền thấp yêu cầu cấp quyền để có thể truy cập hoặc lấy dữ liệu liên chuỗi được thể hiện bằng thuật toán như hình bên dưới.

1:	$YeucauTruycapEMR \leftarrow EID$	→ Bước 1
2:	if nhanChapthuanTuHPU $\leftarrow UID$ then	→ Bước 2
3:	$EMRdaGiaima \leftarrow GiaimaDulieu(Khoabimat, EID)$	→ Bước 3
4:	$VTK \leftarrow Tao$	→ Bước 4
5:	$KetnoiDulieu \leftarrow TaoKetnoi \leftarrow VTK, EMRdaGiaima$	
6:	Gửi VTK đến LPU	→ Bước 5
7:	while VTK còn hiệu lực do	
8:	$KetnoiDulieu \leftarrow VTK$	→ Bước 6
9:	end while	
10:	đóng $KetnoiDulieu$	
13:	else	
14:	Thông báo (“Không được chấp nhận”)	
15:	end if	

Thuật toán 2 - Kiểm soát truy cập EMR

CHƯƠNG 4: KẾT QUẢ - THẢO LUẬN

4.1. Môi trường

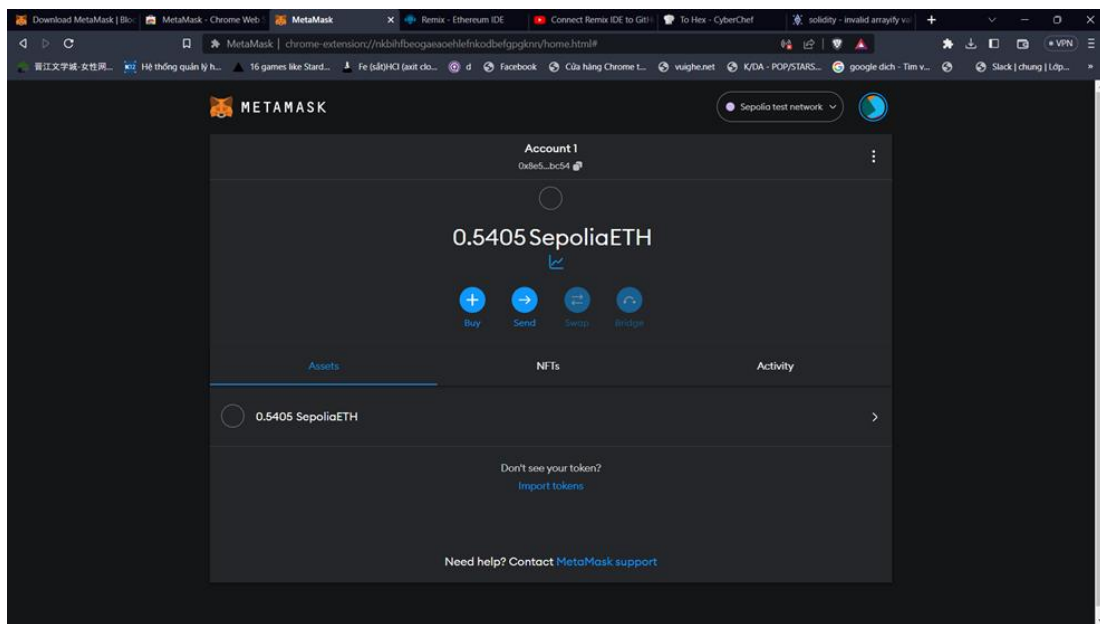
Để kiểm tra tính khả thi và đánh giá hiệu suất của giải pháp chuỗi chéo dựa trên chuỗi khối ngoài, chúng em tiến hành một loạt thử nghiệm. Môi trường thực nghiệm được mô tả theo bảng sau:

Máy ảo	CPU	RAM	Hard drive	OS	Vai trò
VM1	4-core	16 GB	60 GB	Ubuntu 22.04	Quorum
VM2	4-core	8 GB	60 GB	Ubuntu 22.04	Sidechain
VM3	4-core	8GB	60 GB	Ubuntu 22.04	Ethereum

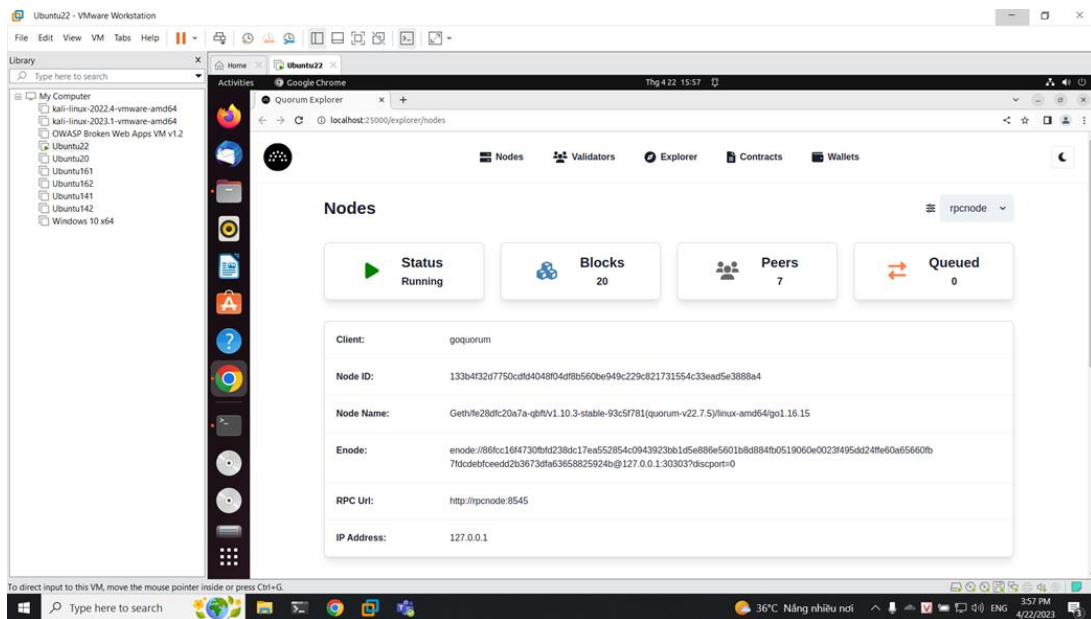
Bảng 3 - Môi trường thực nghiệm

Để đánh giá chức năng của hệ thống, nhóm chúng em đã thực hiện dựng mô hình đã đề xuất bao gồm các mạng blockchain, hệ thống Sidechain và thực hiện một loạt các hoạt động bao gồm đăng ký tài khoản DApp, bắt đầu yêu cầu truy cập EMR thông qua DApp, cấp quyền truy cập EMR được yêu cầu sử dụng khóa có thời hạn và hủy kết nối sau khi kết thúc khoảng thời gian được chỉ định.

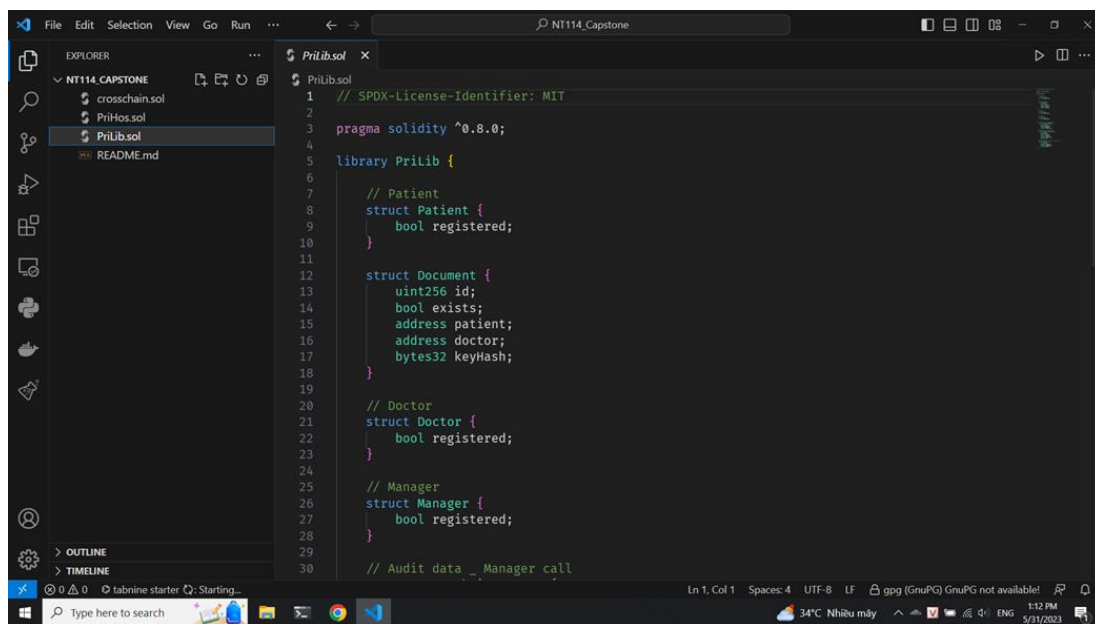
Các hình ảnh thực nghiệm khi thực hiện dựng mô hình và thực hiện các thao tác:



Hình 23 - Mạng Sepolia Ethereum



Hình 24 - Mạng Quorum



Hình 25 - Smart contract 1

```

1 // SPDX-License-Identifier: MIT
2 pragma solidity ^0.8.0;
3
4 import "./PriLib.sol";
5 import "./crosschain/crosschain.sol";
6 import "@openzeppelin/contracts/utils/Strings.sol";
7
8 contract PriHos {
9     // Define Variable
10    address public hospital;
11    mapping(address => PriLib.Patient) public patients;
12    mapping(address => PriLib.Doctor) public doctors;
13    mapping(address => PriLib.Manager) public managers;
14    mapping(bytes32 => PriLib.Document) public documents;
15    mapping(uint256 => PriLib.CrosschainManager) public requestManagers;
16    mapping(uint256 => PriLib.GrantCrosschainDoctor) public requestDoctors;
17    mapping(uint256 => PriLib.requestData) public requestNormals;
18    uint256 requestsCount;
19    uint256 docsCount;
20    string public docRequestID;
21
22    // Modifier
23    modifier onlyHospital {
24        require(
25            msg.sender == hospital,
26            "Only regulatory agency smart contract hospital can call this function"
27        );
28    }
29
30

```

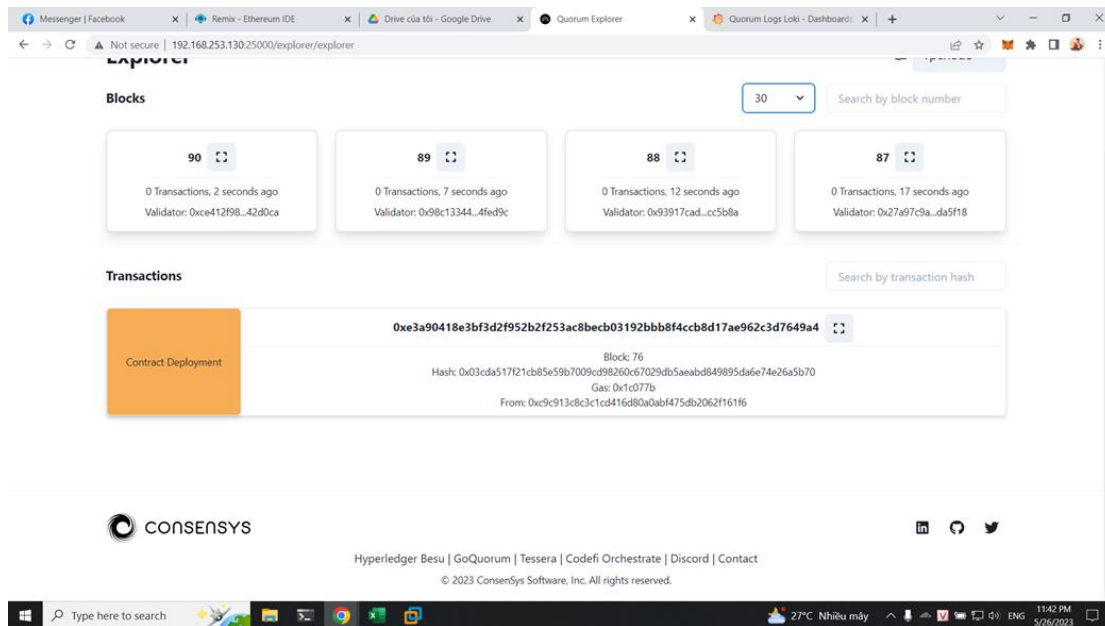
Hình 26 - Smart contract 2

```

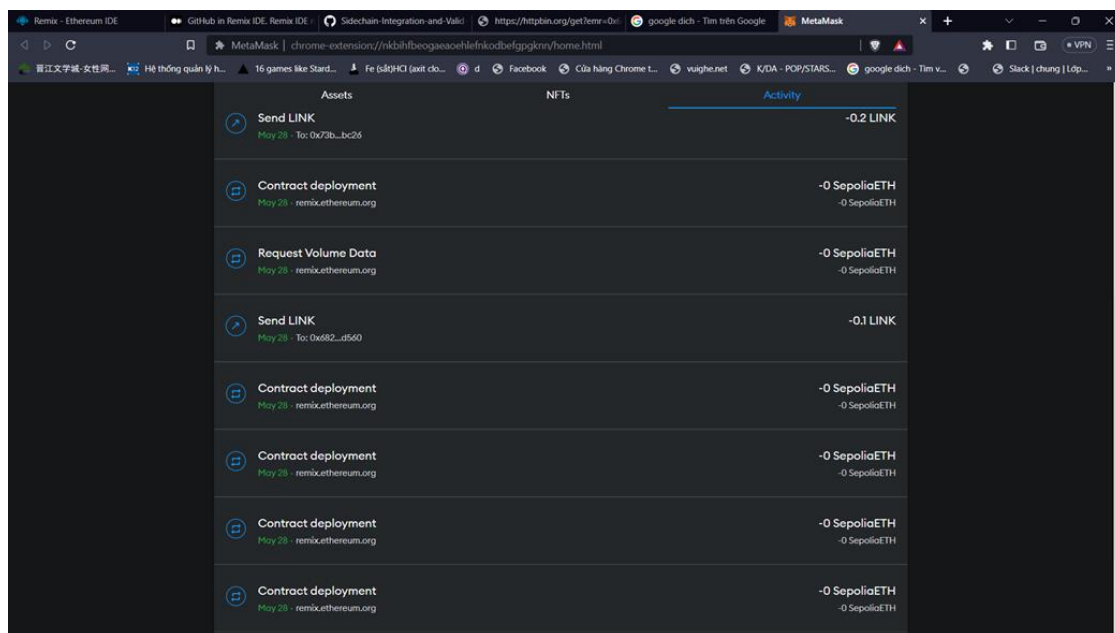
1 // SPDX-License-Identifier: MIT
2 pragma solidity ^0.8.7;
3
4 import "@chainlink/contracts/src/v0.8/ChainlinkClient.sol";
5 import "@chainlink/contracts/src/v0.8/ConfirmedOwner.sol";
6
7 contract APIConsumer is ChainlinkClient, ConfirmedOwner {
8     using Chainlink for *;
9     bytes32 private jobId;
10    bytes32 private fee;
11
12    event requestAuditEMR(bytes32 indexed requestId, string emr);
13
14    constructor() ConfirmedOwner(msg.sender) {
15        setChainlinkToken(0x779877A7B80D9E8603169DdbD7836e478b4624789);
16        setChainlinkOracle(0x6090149792dAAeE9D1D568c9f9a6F6B46AA29eFD);
17        jobId = "7d80a6386ef543a3abb52817f6707e3b";
18        fee = (1 * LINK_DIVISIBILITY) / 10; // 0,1 * 10**18 (Varies by network and job)
19    }
20
21    function requestAuditEMRData(string memory url) public returns (bytes32 requestId) {
22        Chainlink.Request memory req = buildChainlinkRequest(
23            jobId,
24            address(this),
25            this.fulfill.selector
26        );
27        req.add(
28            "get",
29

```

Hình 27 - Smart contract 3



Hình 28 - Triển khai smart contract



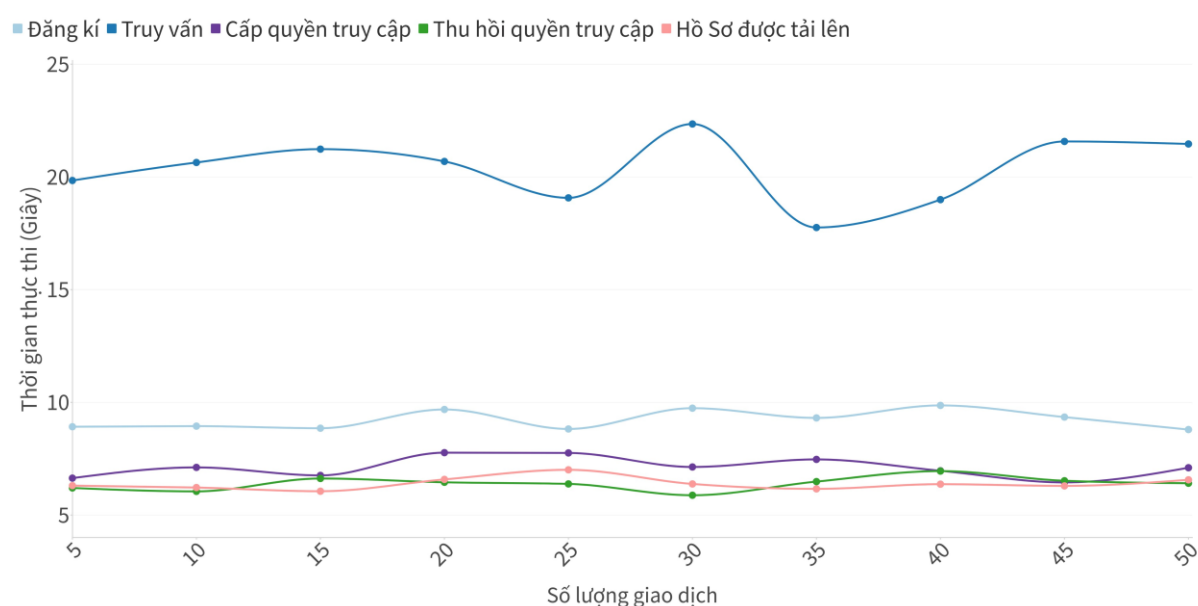
Hình 29 - Thông tin các giao dịch

Thông tin chi tiết mã nguồn: <https://github.com/Bingtoni2122/Sidechain-Integration-and-Valid-Time-Key>

4.2. Kết quả

Để đánh giá hiệu suất, chúng em đo đặc thời lượng của các giao dịch này, như được minh họa trong Hình 26 và tiến hành nhiều phép đo cho từng giao dịch để đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy cao nhất. Thông qua phân tích các kết quả thử nghiệm, chúng

em đã tiến hành đánh giá toàn diện về hiệu suất giao dịch liên quan đến việc lưu trữ và kiểm soát truy cập dữ liệu của EMR, cho phép chúng em có được những hiểu biết có giá trị về hiệu suất và hiệu quả của các quy trình này. Khi nói đến đăng ký tài khoản trên DApp, nó đòi hỏi một quy trình gồm nhiều bước liên quan đến việc tạo giao dịch trên Private blockchain, xác minh danh tính và ủy quyền, thường dẫn đến thời gian xử lý kéo dài hơn một chút so với các giao dịch nói trên. Tuy nhiên, kết quả tổng thể thể hiện một triển vọng đặc biệt tích cực, củng cố khái niệm về một kết quả rất thuận lợi. Trong bối cảnh giao dịch truy vấn liên quan đến tương tác giữa các chuỗi, phép đo ghi lại toàn bộ dòng thời gian, bắt đầu từ thời điểm người dùng gửi yêu cầu cho đến khi nhận được kết quả kiểm tra tính toàn vẹn, cung cấp thông tin chi tiết có giá trị về hiệu quả và hiệu suất của chuỗi chéo giao tiếp. Đánh giá kỹ lưỡng của chúng em xác nhận rằng giải pháp đề xuất của chúng em đã mang lại kết quả tích cực và có tiềm năng đầy hứa hẹn cho những tiến bộ trong tương lai.



Hình 30 - Kết quả thực nghiệm về mặt thời gian

Ngoài ra, chúng em đánh giá về chi phí của hệ thống dựa trên giá trị trung bình của nhiều giao dịch. Bảng bên dưới trình bày kết quả tính toán và phí giao dịch cho mỗi giao dịch, được đo bằng đơn vị gas. Phí giao dịch cho mỗi giao dịch được đo bằng đơn vị gas và kết quả tính toán được hiển thị trong bảng. Mức tiêu thụ gas để đăng ký giao dịch cho mỗi thực thể vẫn ở mức trung bình nhất quán, và hoạt động này chỉ yêu cầu thực hiện một lần. Chi phí liên quan đến lưu trữ, truy cập dữ liệu và chuyển giao chuỗi

chéo gắn liền với sự phức tạp của việc triển khai và truyền tải. Chúng em đánh giá rằng chi phí phát sinh khá hợp lý và nằm trong phạm vi có thể chấp nhận được. Ngoài ra, bảng này cũng cung cấp thông tin chuyên sâu về mức sử dụng CPU liên quan đến từng giao dịch. Khi phân tích các quy trình khác nhau, rõ ràng là giao dịch truy vấn nổi bật là yêu cầu khắt khe nhất về mức sử dụng CPU cao nhất, chiếm 76,31%. Do những hạn chế vốn có của chức năng máy ảo của chúng em, điều đáng chú ý là phần trăm sử dụng CPU kết quả có thể xuất hiện tương đối đáng kể. Tuy nhiên, giá trị này vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được, với khả năng cải thiện đáng kể thông qua nâng cấp cấu hình phần cứng.

Đối tượng	Hoạt động	Mức sử dụng CPU	Phí Gas	USD
Thực thể trong Blockchain	Đăng kí người quản lý	66.29%	46407	4.46
	Đăng kí bác sĩ	66.17%	46378	4.45
	Đăng kí bệnh nhân	66.12%	46378	4.45
EMR	Lưu trữ	62.22%	92664	8.90
Điều khiển truy cập dữ liệu	Cấp quyền truy cập	66.82%	161275	15.48
	Thu hồi quyền truy cập	66.60%	30261	2.91
Bảng chứng toàn vẹn	Truy vấn	76.31%	229851	22.07

Bảng 4 - Kết quả thực nghiệm về mặt hiệu năng và chi phí

4.3. Thảo luận

Nhìn chung, nhóm tác giả đã xây dựng được một hệ thống trao đổi dữ liệu cho quá trình xác minh dữ liệu giữa các chuỗi khối khác kiến trúc một cách an toàn và nhanh chóng thông qua việc sử dụng các nodes Oracle trong một chuỗi khối ngoài. Ngoài ra, chúng em còn thực hiện quản lý truy cập bằng cách ứng dụng khóa có thời hạn trong quá trình yêu cầu trao đổi hoặc chia sẻ dữ liệu để đảm bảo được tính riêng tư, bảo mật của các dữ liệu quan trọng. Và các thử nghiệm của chúng em cũng đã cho thấy tính khả thi của hệ thống trong ngữ cảnh giữa hai bệnh viện mà chúng em đã đưa ra.

Tuy nhiên, để đạt tới hiệu suất tối ưu và bảo mật cho các mạng chuỗi khối, chúng em phải chuỗi khối ngoài tương ứng với một mạng Oracle phi tập trung, nhưng cũng chính vì vậy đã dẫn đến một số hạn chế cần phải xem xét như: Khó mở rộng mạng chuỗi khối

ngoài, vấn đề về bảo mật trong quá trình trao đổi liên chuỗi ở các điểm đầu cuối từ các ứng dụng phi tập trung.

Khó mở rộng mạng chuỗi khối ngoài: Nếu chúng ta cần phát triển hệ thống, cần yêu cầu nhiều nodes Oracle để làm nhiệm vụ vận chuyển dữ liệu trao đổi hơn thì việc mở rộng chuỗi khối ngoài là một vấn đề thiết yếu cần đối mặt. Thế nhưng hiện tại, mở rộng chuỗi khối ngoài đồng nghĩa với việc sẽ cần nhiều phần cứng hơn, nhiều nodes Oracle thì quá trình xác minh các giao dịch sẽ tốn nhiều thời gian và nhiều chi phí hơn, dẫn đến hiệu suất và tính thực tế của hệ thống bị giảm.

Vấn đề về bảo mật ở các điểm đầu cuối từ các ứng dụng phi tập trung: Hiện tại, hệ thống sẽ giao tiếp với các chuỗi khối thông qua các ứng dụng phi tập trung, tuy nhiên việc kiểm soát các yêu cầu bảo mật ở các ứng dụng phi tập trung của các hệ thống chuỗi khối vẫn là một vấn đề cần đảm bảo tốt hơn cho các dữ liệu được trao đổi giữa hai chuỗi khối.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

5.1. Kết luận

Trong đề tài này, chúng em giới thiệu một giải pháp cho khả năng tương tác chuỗi khối, tận dụng sức mạnh của chuỗi khối ngoài và khóa thời gian hợp lệ (khóa có thời hạn). Trong đó, chuỗi khối ngoài của chúng em hoạt động như một mạng phi tập trung, đóng vai trò then chốt là một trung gian đáng tin cậy, tạo ra các kết nối liền mạch với vô số chuỗi khối không đồng nhất.

Ngoài ra, chúng em trình bày một khái niệm đột phá được gọi là khóa có thời hạn để tăng cường quản lý truy cập dữ liệu an toàn và thuận tiện. Kết quả thử nghiệm khẳng định hiệu suất vượt trội của hệ thống của chúng em về chức năng và khả năng tương tác liên chuỗi khối liền mạch, hoàn toàn đảm bảo các yêu cầu về bảo mật thông tin được trao đổi liên chuỗi.

Trong công việc trong tương lai, chúng em hướng tới việc nâng cao hiệu suất hệ thống, tối ưu hóa chi phí và thực hiện thử nghiệm rộng rãi để mở khóa toàn bộ tiềm năng của việc kết hợp dữ liệu chuỗi khối bên ngoài. Mặt khác, chúng em nhận thấy được vẫn còn tồn tại một số vấn đề về bảo mật trong quá trình trao đổi liên chuỗi ở các điểm đầu cuối từ các ứng dụng phi tập trung, vì vậy việc cải thiện mức độ an toàn của hệ thống cũng là một trong những hướng phát triển quan trọng mà chúng em nhắm đến. Hơn nữa, chúng em nhận ra tầm quan trọng của việc giải quyết các kịch bản dữ liệu có thể thay đổi và bắt tay vào khám phá các phương pháp thay thế cho các hàm băm có thể xác minh hiệu quả tính toàn vẹn của dữ liệu đó trong khi tương thích với chuỗi khối.

5.2. Ý nghĩa khoa học

Công trình được triển khai góp phần đưa ra một hướng tiếp cận mới mẻ và có nhiều ưu điểm về mặt bảo mật để, góp phần giải quyết bài toán chung về trao đổi dữ liệu giữa hai chuỗi khối khác kiến trúc. Ngoài ra, chúng em đã trình bày một khái niệm sáng tạo được gọi là khóa có thời hạn để ứng dụng trong quản lý truy cập dữ liệu an toàn và thuận tiện. Nhờ đó phần nào đưa ra một giải pháp tham khảo cho vấn đề đảm bảo các yêu cầu về bảo mật thông tin được trao đổi liên chuỗi.

5.3. Hiệu quả về kinh tế - xã hội

Mỗi doanh nghiệp thường sẽ có những yêu cầu riêng về hệ thống chuỗi khối, dẫn đến sự bất đồng nhất và khó khăn trong việc trao đổi dữ liệu giữa các doanh nghiệp sử dụng chuỗi khối với nhau. Việc này có thể gây bất lợi cho doanh nghiệp trong quá trình phát triển và mở rộng, dẫn đến các thiệt hại kinh tế không đáng có. Mặt khác, khi một chuỗi khối có quá nhiều khối, hiệu năng chuỗi khối sẽ giảm nhưng chi phí phần cứng bỏ ra cho lại ngày một tăng lên, vì vậy ý tưởng mở rộng chuỗi khối bằng các chuỗi khối ngoài thường được áp dụng làm tăng nhu cầu trao đổi dữ liệu giữa hai chuỗi khối với nhau. Và công trình của chúng em đã phần nào đóng góp một giải pháp với chi phí xây dựng và sử dụng thấp, hiệu năng cao và có thể đáp ứng được nhu cầu phát triển của doanh nghiệp sử dụng hệ thống. Đồng thời, hệ thống còn cung cấp khả năng quản lý truy cập dữ liệu, tăng tính bảo mật và riêng tư cho dữ liệu trao đổi giữa hai chuỗi khối.

5.4. Phạm vi áp dụng

Hiện nay, với việc chuỗi khối đang không ngừng được nghiên cứu và phát triển, đồng thời đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành như pháp chứng kỹ thuật số, tài chính, bảo hiểm, chăm sóc sức khỏe, hỗ trợ xã hội và giáo dục. Giải pháp của chúng em hoàn toàn có thể được sử dụng trong các ngữ cảnh triển khai này với nhiều kiến trúc chuỗi khối khác nhau.

5.5. Hướng phát triển

Trong công việc trong tương lai, chúng em hướng tới việc nâng cao hiệu suất hệ thống, tối ưu hóa chi phí và thực hiện thử nghiệm rộng rãi để mở khóa toàn bộ tiềm năng của việc kết hợp dữ liệu chuỗi khối bên ngoài. Mặt khác, chúng em cũng nhận thấy được vẫn còn tồn tại một số vấn đề về bảo mật trong quá trình trao đổi liên chuỗi ở các điểm đầu cuối từ các ứng dụng phi tập trung, vì vậy việc cải thiện mức độ an toàn của hệ thống cũng là một trong những hướng phát triển quan trọng mà chúng em nhắm đến. Hơn nữa, nhóm chúng em nhận ra tầm quan trọng của việc giải quyết các kịch bản dữ liệu có thể thay đổi và bắt tay vào khám phá các phương pháp thay thế cho các hàm băm có thể xác minh hiệu quả tính toàn vẹn của dữ liệu đó trong khi tương thích với chuỗi khối.

CHƯƠNG 6: TÀI LIỆU PHỤ LỤC

6.1. Danh mục hình ảnh

Hình 1 - Sự khác biệt trong kiến trúc của mạng tập trung và mạng phi tập trung [2] ...	6
Hình 2 - Ưu điểm của công nghệ blockchain trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe [7]	9
Hình 3 - Sự khác biệt giữa các kiến trúc chuỗi khối	11
Hình 4 - Mô hình các bệnh viện với Mạng chuỗi khối được kết nối với nhau	12
Hình 5 - Mô phỏng giao dịch xuyên chuỗi giữa Alice và Bob	13
Hình 6 - Mô phỏng phương pháp Notary Blockchain Interoperability	14
Hình 7 - Mô phỏng phương pháp Hash – locking [18]	16
Hình 8 - Mô phỏng phương pháp Relays/Sidechain	17
Hình 9 - Tổng quan về framework của Polkadot	18
Hình 10 - Triển khai Cosmos sử dụng giao thức IBC để giao tiếp liên chuỗi	19
Hình 11 - Sự thiếu kết nối của dữ liệu và sự kiện với Blockchains	20
Hình 12 - Cách hoạt động của chuỗi khối Oracles	20
Hình 13 - Mô hình tổng quan của hệ thống De-SmartHealthCare	23
Hình 14 - Mạng Quorum cung cấp khả năng phân quyền các nút	24
Hình 15 - Vai trò các thực thể trong mạng chuỗi khối	25
Hình 16 - Mạng chuỗi khối Ethereum	26
Hình 17 - Tương tác giữa hai chuỗi khối sử dụng nút Oracle	27
Hình 18 - Ứng dụng phi tập trung cơ bản	28
Hình 19 - Các phiên bản DApp dành cho các thực thể	29
Hình 20 - Quy trình trao đổi dữ liệu liên chuỗi	30
Hình 21 - Phương án lưu trữ sử dụng Cloud kết hợp với Blockchain	32
Hình 22 - Quy trình cấp quyền cho người dùng quyền thấp	33
Hình 23 - Mạng Sepolia Ethereum	35
Hình 24 - Mạng Quorum	36
Hình 25 - Smart contract 1	36
Hình 26 - Smart contract 2	37
Hình 27 - Smart contract 3	37
Hình 28 - Triển khai smart contract	38
Hình 29 - Thông tin các giao dịch	38
Hình 30 - Kết quả thực nghiệm về mặt thời gian	39

6.2. Danh mục bảng

Bảng 1 - So sánh giữa blockchain và cơ sở dữ liệu truyền thống	7
Bảng 2 - Lợi ích của công nghệ blockchain vào việc lưu trữ hồ sơ [5]	8
Bảng 3 - Môi trường thực nghiệm	35
Bảng 4 - Kết quả thực nghiệm về mặt hiệu năng và chi phí	40

6.3. Danh mục thuật toán

Thuật toán 1 - Xác thực tính toàn vẹn dữ liệu của EMR.....	31
Thuật toán 2 - Kiểm soát truy cập EMR.....	34

6.4. Danh mục viết tắt và giải nghĩa

Viết tắt	Tên tiếng Anh	Tên tiếng Việt
EMR	Electronic medical records	Hồ sơ bệnh án điện tử
	Blockchain	Chuỗi khối
	Public Blockchain	Chuỗi khối ngoài
	Private Blockchain	Chuỗi khối riêng
	Smart contract	Hợp đồng thông minh
	Sidechain	Hệ thống chuỗi khối ngoài
VTK	Valid time key	Khoá có thời hạn
	Off-chain	Ngoài chuỗi khối
	On-chain	Trên chuỗi khối
DON	Decentralized oracle networks	Các mạng phi tập trung
	Full Node	Nút đầy đủ
	Light Node	Nút nhẹ
IPFS	InterPlanetary File System	Hệ thống tập tin phi tập trung
ID	Identifier	Định danh
DApp	Decentralized Application	Ứng dụng phi tập trung

6.5. Tài liệu tham khảo

- [1] Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. M. (2019, April). Blockchain technology in healthcare: a systematic review. In *Healthcare* (Vol. 7, No. 2, p. 56). MDPI.
- [2] Hölbl, M., Kompara, M., Kamišalić, A., & Nemec Zlatolas, L. (2018). A systematic review of the use of blockchain in healthcare. *Symmetry*, 10(10), 470.
- [3] Ahmad, R. W., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., Ellahham, S., & Omar, M. (2021). The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine. *International journal of medical informatics*, 148, 104399.
- [4] Wang, G. (2021). Sok: Exploring blockchains interoperability. *Cryptology ePrint Archive*.
- [5] R. Das, P. J. Rad, K. K. R. Choo, F. Neri, M. Tran, Mutual Distributed Ledger (MDL): A new paradigm for patient-centric health information exchange, *Computers & Security*, Volume 104, 2021.
- [6] A. Dubovitskaya, Z. Xu, S. Ryu, M. Schumacher, F. Wang, Secure and Trustable Electronic Medical Records Sharing using Blockchain, *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2017, page 671-680.
- [7] W. Hasan, T. Prima Kurniati, A. Anwar, N. E. A. Rakhmawati, Blockchain for Electronic Health Record, 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2018, page 298-301.
- [8] T. Nugraha, E. B. Nabila, A. F. C. Kumalasari, The Design of Blockchain Application for Health Information Exchange Solution, 2020 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), 2020, page 1-5.
- [9] Ou, W., Huang, S., Zheng, J., Zhang, Q., Zeng, G., & Han, W. (2022). An overview on cross-chain: Mechanism, platforms, challenges and advances. *Computer Networks*, 218, 109378.
- [10] Mao, H., Nie, T., Sun, H., Shen, D., & Yu, G. (2022). A survey on cross-chain technology: Challenges, development, and prospect. *IEEE Access*.
- [11] Abdelatif Hafid, Abdelhakim Senhaji Hafid, and Mustapha Samih. Scaling blockchains: A comprehensive survey. *IEEE Access*, 8:125244–125262, 2020.

- [12] Hölbl, M., Kompara, M., Kamišalić, A., & Nemec Zlatolas, L. (2018). A systematic review of the use of blockchain in healthcare. *Symmetry*, 10(10), 470.
- [13] Raimundo, R., & Rosário, A. (2021). Blockchain system in the higher education. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 11(1), 276-293.
- [14] Varma, J. R. (2019). Blockchain in finance. *Vikalpa*, 44(1), 1-11.
- [15] Brophy, R. (2020). Blockchain and insurance: a review for operations and regulation. *Journal of financial regulation and compliance*, 28(2), 215-234.
- [16] Harris, C. G. (2023, July). Cross-Chain Technologies: Challenges and Opportunities for Blockchain Interoperability. In *2023 IEEE International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [17] Wang, G. (2021). Sok: Exploring blockchains interoperability. *Cryptology ePrint Archive*.
- [18] The Indepth Anatomy of an HTLC. Abstract definition: A Hash Time Locked... | by Harsha Goli | Medium
- [19] M. Rauchs, A. Blandin, K. Bear, and S. B. McKeon, “2nd global enterprise blockchain benchmarking study,” Available at SSRN 3461765, 2019.
- [20] Y. Pang, “A new consensus protocol for blockchain interoperability architecture,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 153 719–153 730, 2020.
- [21] S. Biswas, K. Sharif, F. Li, Z. Latif, S. S. Kanhere, and S. P. Mohanty, “Interoperability and synchronization management of blockchain-based decentralized e-health systems,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 67, no. 4, pp. 1363–1376, 2020.
- [22] T. Hardjono, A. Lipton, and A. Pentland, “Toward an interoperability architecture for blockchain autonomous systems,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 67, no. 4, pp. 1298–1309, 2019.12 T.D. Tran et al.
- [23] Roehrs, C. A. Da Costa, and R. da Rosa Righi, “Omniphr: A distributed architecture model to integrate personal health records,” *Journal of biomedical informatics*, vol. 71, pp. 70–81, 2017.

- [24] N. Spence, M. Niharika Bhardwaj, and D. P. Paul III, “Ransomware in healthcare facilities: A harbinger of the future?” *Perspectives in Health Information Management*, pp. 1–22, 2018.
- [25] N. Thamer and R. Alubady, “A survey of ransomware attacks for healthcare systems: Risks, challenges, solutions and opportunity of research,” in *2021 1st BICITS*, IEEE, 2021, pp. 210–216.
- [26] M.-H. Kuo et al., “Opportunities and challenges of cloud computing to improve health care services,” *Journal of medical Internet research*, vol. 13, no. 3, e1867, 2011.
- [27] S. Schulte, M. Sigwart, P. Frauenthaler, and M. Borkowski, “Towards blockchain interoperability,” in *Business Process Management: BPM 2019 Blockchain and CEE Forum*, Vienna, Austria, Proceedings 17, Springer, 2019, pp. 3–10.
- [28] R. Belchior, A. Vasconcelos, S. Guerreiro, and M. Correia, “A survey on blockchain interoperability: Past, present, and future trends,” *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 54, no. 8, pp. 1–41, 2021.
- [29] V. Buterin, “R3 report-chain interoperability,” *R3 Res*, 2016.
- [30] Z. Wang, J. Li, X.-B. Chen, and C. Li, “A secure cross-chain transaction model based on quantum multi-signature,” *Quantum Information Processing*, vol. 21, no. 8, p. 279, 2022.
- [31] Monika, R. Bhatia, A. Jain, and B. Singh, “Hash time locked contract based asset exchange solution for probabilistic public blockchains,” *Cluster Computing*, vol. 25, no. 6, pp. 4189–4201, 2022.
- [32] R. Bhatia, A. Jain, and B. Singh, “Hash time locked contract based asset exchange solution for probabilistic public blockchains,” *Cluster Computing*, vol. 25, no. 6, pp. 4189–4201, 2022.
- [33] J. Kwon and E. Buchman, “Cosmos whitepaper,” *A Netw. Distrib. Ledgers*, p. 27, 2019.
- [34] G. Wood, “Polkadot: Vision for a heterogeneous multi-chain framework,” *White paper*, vol. 21, no. 2327, p. 4662, 2016.

- [35] M. V. Baysal, O. " Ozcan-Top, and A. Betin-Can, "Blockchain technology " applications in the health domain: A multivocal literature review," The Journal of supercomputing, vol. 79, no. 3, pp. 3112–3156, 2023.
- [36] Chainlink Documents: <https://docs.chain.link/>
- [37] Hyperchain Documentations: <https://www.hyperchain.cn/>
- [38] Cosmos Documentations: <https://docs.cosmos.network/main>
- [39] Polkadot Documentations: <https://polkadot.network/development/docs/>
- [40] Stakin: <https://stakin.com/>
- [41] Chainstack: <https://chainstack.com/>
- [42] Shiksha: <https://www.shiksha.com/>
- [43] Moonbeam Documentationons: <https://docs.moonbeam.network/>
- [44] Horizen Academy: <https://www.horizen.io/academy/sidechains/>
- [45] Azim, A., Islam, M. N., & Spranger, P. E. (2020). Blockchain and novel coronavirus: Towards preventing COVID-19 and future pandemics. Iberoamerican Journal of Medicine, 2(3), 215-218.
- [46] McBee, M. P., & Wilcox, C. (2020). Blockchain technology: principles and applications in medical imaging. Journal of digital imaging, 33, 726-734.
- [47] Chowdhury, M. J. M., Colman, A., Kabir, M. A., Han, J., & Sarda, P. (2018, August). Blockchain versus database: A critical analysis. In 2018 17th IEEE International conference on trust, security and privacy in computing and communications/12th IEEE international conference on big data science and engineering (TrustCom/BigDataSE) (pp. 1348-1353). IEEE.
- [48] European Coordination Committee of the Radiological. Blockchain in Healthcare; Technical report; European Coordination Committee of the Radiological: Brussels, Belgium, 2017