

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA TOÁN - CƠ - TIN HỌC

LÊ THỊ THUỶ DUNG

**BLOLCKCHAIN TRONG TRUY XUẤT NGUỒN
GỐC THỰC PHẨM**

Khoá luận tốt nghiệp dành cho đại học chính quy
Ngành Máy tính và Khoa học Thông tin
(Chương trình đào tạo chuẩn)

HÀ NỘI - 2023

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN
KHOA TOÁN - CƠ - TIN HỌC

LÊ THỊ THUỶ DUNG

**BLOLCKCHAIN TRONG TRUY XUẤT NGUỒN
GỐC THỰC PHẨM**

Khoá luận tốt nghiệp dành cho đại học chính quy
Ngành Máy tính và Khoa học Thông tin
(Chương trình đào tạo chuẩn)

Cán bộ hướng dẫn: PGS.TS. PHÓ ĐỨC TÀI

HÀ NỘI - 2023

Lời cảm ơn

Đầu tiên em xin gửi lời cảm ơn đặc biệt và sâu sắc tới PGS.TS. Phó Đức Tài, Trưởng khoa Toán – Cơ – Tin học, thầy đã trực tiếp hướng dẫn đề tài khoá luận này của em. Thầy đã cho em ý tưởng và giúp đỡ em tận tình trong suốt quá trình thực hiện đề tài.

Em xin chân thành cảm ơn các thầy cô công tác tại khoa Toán – Cơ – Tin học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Trong quá trình bốn năm học tập và rèn luyện tại khoa, em đã được các thầy cô hết lòng chỉ bảo và tạo điều kiện để em có thể hoàn thành tốt cả việc học tập và các nhiệm vụ được giao khác.

Và cuối cùng, tôi xin cảm ơn tới bạn bè, đặc biệt là gia đình và người thân luôn ủng hộ, động viên tôi trong suốt quá trình thực hiện khoá văn. Mặc dù đã cố gắng hết sức, tuy nhiên trong quá trình thực hiện em không tránh khỏi được những thiếu sót, em rất mong nhận được sự thông cảm và đánh giá chân tình của bạn bè và thầy cô để khoá văn của em được hoàn thiện hơn nữa.

Hà Nội, ngày ... tháng ... năm 2023

Sinh viên

Lê Thị Thuỳ Dung

Danh mục các ký hiệu và chữ viết tắt

STT	Chữ viết tắt	Diễn giải	Tiếng Việt
01	SHA	Secure Hash Algorithm	Thuật toán băm an toàn
02	ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm	Chữ ký số trên đường cong elliptic
03	ECC	Elliptic Curve Cryptography	Mật mã đường cong elliptic
04	PoW	Proof of work	Bằng chứng công việc
05	PoS	Proof of stake	Bằng chứng cổ phần
06	PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerance	Khả năng chịu lỗi Byzantine

Mục lục

I	Giới thiệu về công nghệ Blockchain	3
1	Nền tảng lý thuyết	3
1.1	Hàm băm	3
1.1.1	Tổng quan về hàm băm	3
1.1.2	Hàm băm SHA-256	4
1.1.3	Các thức hoạt động SHA-256	5
2	Mật mã đường cong elliptic	7
2.1	Khái niệm hệ mật mã và các loại hệ mật mã	7
2.1.1	Khái niệm hệ mật mã	7
2.1.2	Các loại hệ mật mã	8
2.2	Trao đổi khoá Diffie-Hellman	10
2.3	Mật mã đường cong elliptic	11
2.3.1	Khái niệm đường cong elliptic	11
2.3.2	Các phép toán trên đường cong elliptic	12
2.3.3	Đường cong elliptic trên trường hữu hạn	14
2.3.4	Khái niệm mật mã đường cong elliptic	15
2.4	Mật mã đường cong elliptic trong chữ ký số	16
2.4.1	Chữ ký số	16
2.4.2	Chữ ký số trên đường cong elliptic	17
3	Cây Merkle	18
3.1	Khái niệm cây Merkle	18
3.2	Merkle Root	19
3.3	Xác minh trong cây Merkle	20
4	Blockchain	21
4.1	Khái niệm Blockchain	21

4.2	Hệ thống phi tập trung	21
4.3	Cấu tạo của Blockchain	22
4.3.1	Cấu trúc của một khối	23
4.4	Các kỹ thuật trong Blockchain	24
4.4.1	Cấu trúc phi tập trung	24
4.4.2	Tính tin cậy	25
4.4.3	Giao thức đồng thuận	25
4.5	Cách thức hoạt động của Blockchain	26
4.5.1	Thêm giao dịch mới vào Blockchain	26
4.5.2	Xác thực một giao dịch	27
4.6	Các ứng dụng điển hình của Blockchain	27
4.6.1	Tiền số	27
4.6.2	Hợp đồng thông minh	28
II	Truy xuất nguồn gốc thực phẩm	29
1	Khái niệm truy xuất nguồn gốc thực phẩm	29
1.1	Giới thiệu	29
2	Các mô hình truy xuất nguồn gốc hiện nay	30
2.1	Mô hình theo dõi dòng sản phẩm	30
2.2	Mô hình truy xuất nguồn gốc dựa vào IoT	30
2.3	Các vấn đề của các hệ thống truy xuất nguồn gốc hiện có	30
III	Hyperledger Fabric	32
1	Giới thiệu Hyperledger Fabric	32
1.1	Mô hình mô-đun	33
1.2	Quản lý danh tính và quyền truy cập	33
1.3	Độc lập với tiền tiền tử	34
1.4	Cơ chế đồng thuận kết hợp	34
2	Mô hình Hyperledger Fabric	35
2.1	Thành phần hệ thống	35
2.1.1	Nút	35
2.1.2	Tài sản	36
2.1.3	Chaincode	36
2.1.4	Sổ cái	36

2.1.5	Dịch vụ đặt hàng	37
2.1.6	Kênh	37
2.2	Cơ chế đồng thuận	38
2.2.1	Kafka Ordering Service	39
2.2.2	Khả năng chịu lỗi Byzantine (PBFT)	39
2.3	Luồng giao dịch	39
3	Cấu trúc mạng Fabric	41
IV	Truy xuất nguồn gốc thực phẩm dựa trên công nghệ Blockchain	42
1	Đặt vấn đề	42
1.1	Bài toán truy xuất nguồn gốc thực phẩm	42
1.2	Cách tiếp cận và giải pháp	42
2	Mô hình hệ thống	42
2.1	Các thành phần tham gia	42
2.2	Business Logic	43
2.2.1	Domain Model	43
2.2.2	Chaincode (Hợp đồng thông minh)	44
2.3	Các bước thực hiện	46
3	Công nghệ sử dụng	46
4	Ứng dụng truy xuất nguồn gốc thực phẩm	47
	Tài liệu tham khảo	48
	Danh sách hình vẽ	49

Mở đầu

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm là quá trình xác định nguồn gốc và lịch sử sản xuất của một sản phẩm thực phẩm từ giai đoạn sản xuất đến khi đến tay người tiêu dùng. Ý nghĩa của việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm là giúp người tiêu dùng đảm bảo được an toàn về chất lượng và nguồn gốc của sản phẩm mà mình sử dụng, đồng thời cũng là một phương tiện quan trọng giúp kiểm soát và ngăn chặn sự xuất hiện của những sản phẩm thực phẩm giả mạo, không rõ nguồn gốc và an toàn.

Việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm đang được xem là một xu hướng quan trọng trong ngành thực phẩm, đặc biệt là trong bối cảnh ngày nay, khi mối đe dọa về an toàn thực phẩm và việc giả mạo sản phẩm thực phẩm ngày càng trở nên phức tạp. Việc thực hiện truy xuất nguồn gốc thực phẩm sẽ giúp tăng cường niềm tin của người tiêu dùng đối với sản phẩm thực phẩm và giúp nâng cao chất lượng và an toàn thực phẩm trên thị trường.

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm được thực hiện thông qua việc ghi nhận, lưu trữ và quản lý các thông tin liên quan đến quá trình sản xuất và phân phối sản phẩm thực phẩm, bao gồm nguồn gốc, thời gian sản xuất, địa điểm sản xuất, thông tin về các thành phần, chất lượng, độ an toàn của sản phẩm. Những thông tin này được ghi nhận và kiểm soát bởi các cơ quan chức năng, doanh nghiệp và các tổ chức liên quan trong quá trình sản xuất và phân phối sản phẩm.

Với sự phát triển của công nghệ Blockchain, việc áp dụng Blockchain để giải quyết việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm trở nên khả quan hơn. Công nghệ Blockchain cho phép lưu trữ thông tin về nguồn gốc, vận chuyển và quản lý các sản phẩm thực phẩm một cách minh bạch, chính xác và an toàn.

Trong bài toán truy xuất nguồn gốc thực phẩm sử dụng công nghệ Blockchain, các thông tin về nguồn gốc, chất lượng và quá trình sản xuất của sản phẩm sẽ được lưu trữ trên một mạng lưới phi tập trung, nơi mà các bên liên quan có thể truy cập và xác minh thông tin một cách dễ dàng. Điều này giúp cho người tiêu dùng có thể kiểm tra được nguồn gốc và chất lượng của sản phẩm mà mình mua, giảm thiểu nguy cơ mua phải sản phẩm giả, kém chất lượng hoặc không đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm.

Ngoài ra, việc sử dụng công nghệ Blockchain trong bài toán truy xuất nguồn

gốc thực phẩm cũng giúp cho các nhà sản xuất và đại lý có thể quản lý sản phẩm một cách chính xác hơn, đảm bảo tính minh bạch và giảm thiểu chi phí trong quá trình quản lý hàng hóa. Từ đó, giúp cho ngành công nghiệp thực phẩm phát triển bền vững và đáp ứng được nhu cầu của thị trường ngày càng khắt khe.

Em sẽ trình bày khoá luận này theo hướng đi từ các kiến thức bổ trợ rồi đến bài toán chính. Chương I cung cấp lý thuyết và các kiến thức cần thiết cho bài toán chính đặt ra ở Chương II. Chương II sẽ mô tả bài toán và giới thiệu các hệ thống có sẵn hiện nay. Chương III trình bày về nền tảng Hyperledger Fabric. Chương IV ứng dụng các kiến thức để mô tả ứng dụng thử nghiệm và hướng phát triển. Do còn hạn chế về kiến thức nên bài khoá luận sẽ có một số phần chưa đạt kết quả như mong muốn. Sự nhận xét, đánh giá và đóng góp ý kiến từ hội đồng sẽ là động lực để em hoàn thiện đề tài tốt hơn.

Chương I

Giới thiệu về công nghệ Blockchain

1 Nền tảng lý thuyết

1.1 Hàm băm

1.1.1 Tổng quan về hàm băm

Hàm băm là một thuật toán được sử dụng để biến đổi dữ liệu đầu vào thành một chuỗi ngắn hơn và đại diện cho dữ liệu đó, được gọi là giá trị băm. Giá trị băm h được tạo bởi hàm H có dạng

$$h = H(M)$$

trong đó M là thông báo có độ dài không cố định và $H(M)$ là giá trị băm có độ dài cố định. Giá trị băm được thêm vào tin nhắn tại nguồn tại thời điểm tin nhắn được giả định hoặc được biết là chính xác. Người nhận xác thực tin nhắn đó bằng cách tính toán lại giá trị băm.[1]

Giá trị đầu vào của hàm băm là tùy ý nhưng đầu ra của hàm băm là một giá trị cố định sẵn, được gọi là độ dài băm. Độ dài băm có thể là 128, 256 hoặc 512 bit. Giá trị băm là duy nhất cho mỗi dữ liệu đầu vào và không thể dễ dàng được tái tạo ngược lại dữ liệu gốc ban đầu. Điều này đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật của dữ liệu.

Hàm băm có các tính chất để đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật của dữ liệu:

- Tính một chiều: Hàm băm là đơn chiều, nghĩa là không thể dễ dàng tái tạo ngược dữ liệu đầu vào từ giá trị băm.
- Tính kháng va chạm yếu: đảm bảo rằng việc tìm kiếm hai dữ liệu đầu vào

khác nhau có cùng giá trị băm là rất khó khăn. Tính va chạm yếu đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu và tránh các cuộc tấn công nhằm thay đổi dữ liệu đầu vào.

- Tính kháng va chạm mạnh: Tính kháng va chạm mạnh đảm bảo rằng việc tìm kiếm một cặp dữ liệu đầu vào cho ra cùng một giá trị băm là rất khó khăn và tốn nhiều thời gian, dữ liệu tính toán. Tính kháng va chạm mạnh đóng vai trò quan trọng trong việc tăng cường tính bảo mật của hàm băm và đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu.

Hàm băm được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng bảo mật và xác thực. Ví dụ như trong việc lưu trữ mật khẩu của người dùng. Thay vì lưu trữ mật khẩu người dùng dưới dạng văn bản thông thường, hàm băm sẽ được sử dụng để biến đổi mật khẩu thành một giá trị băm duy nhất. Khi người dùng đăng nhập, hệ thống sẽ so sánh giá trị băm của mật khẩu được nhập vào với giá trị băm đã được lưu trữ. Nếu hai giá trị này khớp nhau, người dùng sẽ được cho phép truy cập vào hệ thống.

Hàm băm cũng được sử dụng trong việc xác minh tính toàn vẹn của dữ liệu trong quá trình truyền tải, nơi một giá trị băm được tạo ra cho dữ liệu và gửi đi cùng với dữ liệu ban đầu. Người nhận có thể sử dụng hàm băm để kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu bằng cách so sánh giá trị băm nhận được với giá trị băm được gửi đi ban đầu. Nếu hai giá trị băm này khớp nhau, dữ liệu được xác định là chưa bị thay đổi trong quá trình truyền tải.

Một số hàm được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng bảo mật và xác thực: MD5, SHA-1, SHA-256, SHA-512... Trong đó SHA-256 được sử dụng phổ biến nhất vì tính toán nhanh, mức độ bảo mật cao.

1.1.2 Hàm băm SHA-256

Thuật toán Secure Hash Algorithm (SHA) được phát triển bởi Cơ quan An ninh Quốc gia Hoa Kỳ (National Security Agency - NSA), để chuyển đổi độ dài dữ liệu thành một độ dài cố định.

SHA-256 là hàm băm có đầu ra có độ dài 256 bit. SHA-256 với kết quả đầu ra tương đương với 2^{256} bits. Đây là một hàm băm an toàn bởi vì nó có độ khó

tìm kiếm kháng va chạm mạnh.

Có một số phương pháp để tấn công SHA-256 như :

- Brute force: Đây là phương pháp tấn công đơn giản nhất, trong đó kẻ tấn công thử tất cả các khóa để tìm ra giá trị băm phù hợp.
- Tấn công preimage: Đây là phương pháp tìm kiếm đầu vào phù hợp với một giá trị băm đã biết trước. Nếu kẻ tấn công có thể tìm ra đầu vào phù hợp với giá trị băm, thì an toàn của hàm băm sẽ bị đe dọa.
- Tấn công collision: Đây là phương pháp tìm kiếm hai đầu vào khác nhau nhưng cho cùng một giá trị băm. Nếu kẻ tấn công có thể tìm ra hai đầu vào như vậy, thì an toàn của hàm băm sẽ bị đe dọa.

Tấn công Brute-force khó thực hiện bởi vì độ dài của đầu vào là 2^{256} bits. Hiện tại, Frontier xây dựng vào năm 2022 bởi công ty công nghệ thông tin đa quốc gia Hewlett Packard Enterprise là siêu máy tính có tốc độ tính toán nhanh nhất hiện nay. Nó có thể tính toán khoảng 10^{12} phép tính trên giây. Thế giới có 8 tỷ người, giả sử mọi người đều tính toán không ngừng nghỉ, 1 năm sẽ tính được $2,52 \times 10^{32}$ phép tính. Vậy cần khoảng $1,23 \times 10^{40}$ năm để tính hết các trường hợp đầu ra của SHA-256.

Tấn công collision và tấn công preimage cũng khó thực hiện bởi vì:

- Đầu vào có độ dài lớn: có thể lên tới 2^{256} bits.
- Không thể tái tạo đầu vào từ giá trị băm: Với thuật toán băm như SHA-256, việc tìm kiếm một đầu vào có cùng giá trị hash với một giá trị hash đã biết (tấn công preimage) cũng rất khó khăn. Điều này là do giá trị hash được tạo ra bằng cách áp dụng một hàm băm không thể đảo ngược (one-way function), tức là không thể tái tạo đầu vào ban đầu từ giá trị hash.

Bởi vậy SHA-256 là một hàm băm an toàn, được sử dụng phổ biến trong các ứng dụng bảo mật và xác thực.

1.1.3 Các thức hoạt động SHA-256

SHA-256 bao gồm các bước sau:

Bước 1: Khởi tạo giá trị đầu vào cho hàm băm SHA-256.

- 1.1: Chuyển dữ liệu đầu vào thành chuỗi nhị phân.
- 1.2: Thêm 1 bit 1 vào cuối chuỗi nhị phân.
- 1.3: Nối 0 cho đến khi độ dài l của chuỗi nhị phân thỏa mãn $l \bmod 512 = 64$.
- 1.4: Độ dài của dữ liệu đầu vào được chuyển thành chuỗi nhị phân 64 bits, sau đó được thêm vào cuối chuỗi nhị phân.

Bước 2: Khởi tạo bộ đệm.

Tạo các giá trị băm từ H_1 đến H_8 là 32 bit đầu tiên của căn bậc hai của 8 số nguyên tố đầu tiên: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19.

Bước 3: Khởi tạo hằng số k .

Khởi tạo mảng chứa 64 hằng số tròn, mỗi giá trị $k_i (i = 0 \dots 63)$ có độ dài 32 bits, ứng với 32 bits đầu tiên của căn bậc ba của 64 số nguyên tố đầu tiên.

Bước 4: Vòng lặp Chunk

- 4.1: Chia đầu vào ở cuối bước 1 thành N vòng lặp, mỗi vòng lặp có độ dài 512 bits. Thực hiện các bước 5, 6, 7 đối với mỗi vòng. Tại cuối mỗi vòng lặp, ta sẽ tính toán lại các giá trị băm $h_i (i = 0 \dots 7)$.

Bước 5: Tạo Message Schedule (w)

- 5.1: Chia 512 bits của mỗi dữ liệu chunk thành các đoạn 32 bits, Thêm 48 đoạn dữ liệu 0 vào cuối để tạo thành mảng $w[0 \dots 63]$
- 5.2: Chỉnh sửa các đoạn dữ liệu 0 ở cuối mảng w theo thuật toán sau:

```

1  for i from w[16...63]:
2      S0 = (w[i-15] rightrotate 7) xor (w[i-15] rightrotate 18)
3      xor (w[i-15] rightshift 3)
4      S1 = (w[i- 2] rightrotate 17) xor (w[i- 2] rightrotate 19)
5      xor (w[i- 2] rightshift 10)
6      w[i] = w[i-16] + S0 + w[i-7] + S1

```

Bước 6: Nén

- 6.1: Khởi tạo các biến a, b, c, d, e, f, g, h có giá trị bằng $h_0 \dots h_7$,
- 6.2: Chạy vòng lặp nén làm biến đổi các giá trị từ $a \dots h$ theo thuật toán sau:

```

1  for i from 0 to 63:
2      S1 = (e rightrotate 6) xor (e rightrotate 11) xor (e rightrotate 25)
3      ch = (e and f) xor ((not e) and g)
4      temp1 = h + S1 + ch + k[i] + w[i]
5      S0 = (a rightrotate 2) xor (a rightrotate 13) xor (a rightrotate 22)
6      maj = (a and b) xor (a and c) xor (b and c)
7      temp2 = S0 + maj
8      h = g
9      g = f
10     f = e
11     e = d + temp1
12     d = c
13     c = b
14     b = a
15     a = temp1 + temp2

```

Bước 7: Cập nhật các giá trị băm h0...h7

```

1  h0 = h0 + a
2  h1 = h1 + b
3  h2 = h2 + c
4  h3 = h3 + d
5  h4 = h4 + e
6  h5 = h5 + f
7  h6 = h6 + g
8  h7 = h7 + h

```

Bước 8: Tính toán giá trị băm cuối cùng bằng cách nối các chuỗi h0...h7

```

1  result = h0 append h1 append h2 append h3 append h4 append h5 append h6 append h7

```

Sau 8 bước thì thuật toán SHA-256 đã hoàn thành việc tính toán giá trị băm của dữ liệu đầu vào. [2]

2 Mật mã đường cong elliptic

2.1 Khái niệm hệ mật mã và các loại hệ mật mã

2.1.1 Khái niệm hệ mật mã

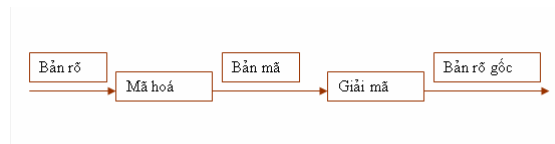
Hệ mật mã là một tập hợp các phương pháp và kỹ thuật được sử dụng để bảo vệ thông tin truyền qua các kênh truyền thông không an toàn. Nó bao gồm

các phương pháp mã hóa và giải mã thông tin để chỉ cho người dùng hợp lệ đọc được thông tin. Đồng thời, hệ mật mã cũng bao gồm các kỹ thuật xác thực người dùng và đảm bảo tính toàn vẹn của thông tin.

Hệ mật mã là hệ thống bao gồm các thành phần như sau:

- Bản rõ là tập hợp hữu hạn các thông tin cần được bảo mật.
- Bản mã là tập hợp hữu hạn các thông tin được mã hóa từ bản rõ.
- Một tập hợp các khóa: khóa công khai K_{pub} và khóa bí mật k_{pri} .
- Một thuật toán mã hóa E , mã hoá bản rõ thành bản mã.
- Một thuật toán giải mã D , giải mã bản mã thành bản rõ gốc.

Quy trình mã hoá và giải mã được thể hiện qua sơ đồ sau:



Hình I.1: Quy trình mã hoá và giải mã

Tính chất cơ bản của mật mã:

- Tính bí mật: đảm bảo tính bí mật của dữ liệu mà mình gửi đi và chỉ những người nắm giữ khoá mới có thể đọc được nội dung.
- Tính toàn vẹn: đảm bảo dữ liệu không bị mất mát hoặc chỉnh sửa trong quá trình gửi và nhận mà không bị phát hiện.
- Tính xác thực: đảm bảo danh tính của thực thể được xác minh.
- Tính không thể chối từ: đảm bảo người gửi không thể phủ nhận thông tin mình gửi đi.

2.1.2 Các loại hệ mật mã

Các hệ mật mã được chia thành hai loại chính:

- Hệ mật mã đối xứng
- Hệ mật mã bất đối xứng

a) Hệ mật mã đối xứng

Mật mã đối xứng là một hệ mật mã sử dụng cùng một khóa để mã hóa và giải mã thông tin. Vì vậy nên khoá bí mật phải giữ an toàn và không được chia sẻ với bất kỳ ai.

Một số hệ mật mã khóa đối xứng hiện đại hay được sử dụng là DES, AES, RC4, RC5,...

Hệ mật sẽ bao gồm:

- Bản rõ (M)
- Bản mã (C)
- Khóa (K)
- Mã hoá (E): $C = E(K, M)$
- Giải mã (D): $M = D(K, C) = D(K, E(K, M))$

Vì dùng chung một khóa nên mật mã đối xứng có một số mặt hạn chế như:

- Nếu bị đánh cắp hoặc mất khóa thì thông tin cần gửi sẽ bị lộ
- Khóa do bên thứ 3 tạo và phải gửi từ bên người gửi đến người nhận, cần phải có một kênh truyền thông an toàn để truyền khóa. Việc đảm bảo khóa không bị lộ khi truyền đi cũng là vấn đề lớn.
- Truyền tin giữa các nhóm nhiều người cần 1 lượng lớn khóa, vì 3 người thì không thể dùng chung khóa, giữa 2 người phải có khóa riêng để đảm bảo rằng thông tin truyền đi giữa 2 người không bị lộ cho người thứ 3.
- Thông tin truyền đi có thể bị sửa đổi vì không có cơ chế xác thực.

Chính vì những nhược điểm như trên nên hệ mật mã bất đối xứng ra đời.

b) Hệ mật mã bất đối xứng

Hệ mã bất đối xứng (hệ mã khóa công khai) là hệ mật mã sử dụng hai khóa khác nhau để mã hóa và giải mã thông tin. Khóa công khai dùng để mã hóa thông tin và khóa bí mật dùng để giải mã thông tin. Khóa công khai được công khai cho tất cả mọi người, còn khóa bí mật thì người nhận nắm giữ.

Hệ mật sẽ bao gồm:

- Bản rõ (M)

- Bản mã (C)
- Khoá (K):
 - + Khoá công khai (K_{pub})
 - + Khoá bí mật (K_{pri})
- Mã hoá (E): $C = E(K_{pub}, M)$
- Giải mã (D): $M = D(K_{pri}, C) = D(K_{pri}, E(K_{pub}, M))$

Một số phương pháp sử dụng để trao đổi khoá trong có hệ mật là:

- Trao đổi khoá Diffie-Hellman
- Trao đổi khoá RSA
- Trao đổi khoá ElGamal

trong khoá luận này, em sẽ tập chung vào trao đổi khoá Diffie-Hellman.

2.2 Trao đổi khoá Diffie-Hellman

Thuật toán trao đổi khóa Diffie-Hellman giải quyết tình huống sau. Alice và Bob muốn chia sẻ một khóa bí mật để sử dụng trong mật mã đối xứng, nhưng phương thức liên lạc của họ không an toàn. Mọi thông tin mà họ trao đổi đều được quan sát bởi Eve - kẻ tấn công. Làm sao để Alice và Bob có thể chia sẻ khóa mà Eve không biết? Độ khó của bài toán logarit rời rạc trong \mathbb{F}_p^* đã đưa ra một giải pháp.

Đầu tiên, Alice và Bob thống nhất sử dụng một số nguyên tố p và một số nguyên khác không g theo modulo p . Tiếp theo, Alice bí mật chọn một số nguyên a và không cho ai biết. Cùng lúc đó, Bob cũng bí mật chọn một số nguyên b . Alice và Bob sử dụng những số bí mật của họ và tính

$$\underbrace{A \equiv g^a \pmod{p}}_{\text{Alice tính}} \text{ và } \underbrace{B \equiv g^b \pmod{p}}_{\text{Bob tính}}$$

Sau đó, họ trao đổi với nhau giá trị vừa tính được, Alice gửi A cho Bob và Bob gửi B cho Alice. Cuối cùng, Bob và Alice tiếp tục sử dụng những số bí mật

mà họ đã chọn ở bước trước đó, và tính

$$\underbrace{A' \equiv B^a \pmod{p}}_{\text{Alice tính}} \text{ và } \underbrace{B' \equiv A^b \pmod{p}}_{\text{Bob tính}}$$

A' và B' , là bằng nhau, vì:

$$A' \equiv B^a \equiv (g^a)^b \equiv g^{ab} \equiv (g^b)^a \equiv A^b \equiv B' \pmod{p}.$$

Giá trị này là khóa mà cả hai cùng chấp nhận sử dụng.

Kẻ tấn công biết được giá trị $p, g, g^a \pmod{p}, g^b \pmod{p}$ nhưng không tính toán được khóa $k = g^{ab} \pmod{p}$. Đây là một bài toán khó giải trong thời gian đa thức. [3]

2.3 Mật mã đường cong elliptic

2.3.1 Khái niệm đường cong elliptic

Một *đường cong Elliptic* là tập nghiệm của một phương trình có dạng

$$Y^2 = X^3 + AX + B$$

cùng với một điểm \mathcal{O} ở vô cùng, trong đó hằng số A và B thỏa mãn

$$4A^3 + 27B^2 \neq 0$$

Các phương trình thuộc loại này được gọi là *phương trình Weierstrass*. Đồ thị của đường cong elliptic có dạng đối xứng qua trục hoành. [3]

Điểm \mathcal{O} là điểm đặc biệt của đường cong elliptic, nó không thuộc đường cong. Khi ta cộng điểm P với một điểm P' đối xứng với P qua đường cong thì ta có:

$$P \oplus P' = \mathcal{O}$$

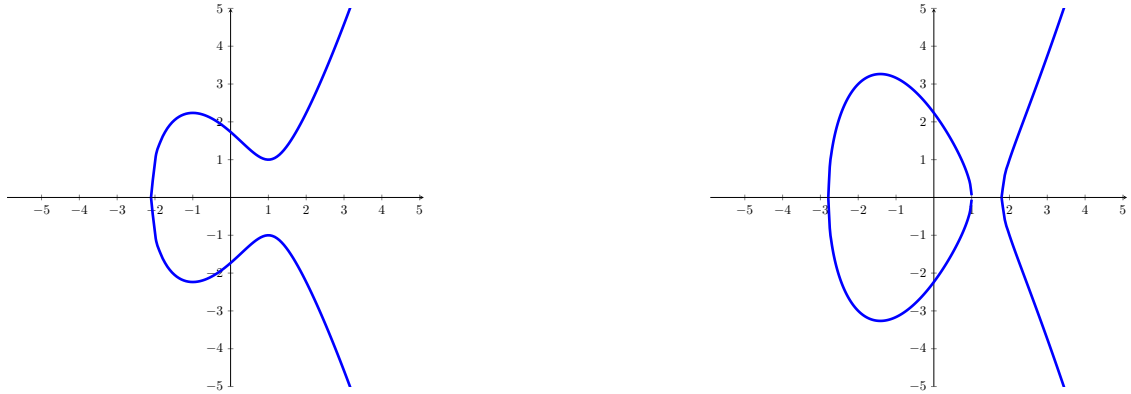
Hai ví dụ cho đường cong elliptic:

$$E_1 : Y^2 = X^3 - 3X + 3$$

và

$$E_2 : Y^2 = X^3 - 5X + 5$$

được minh họa ở Hình I.2



Hình I.2: Đường cong elliptic E_1 và E_2

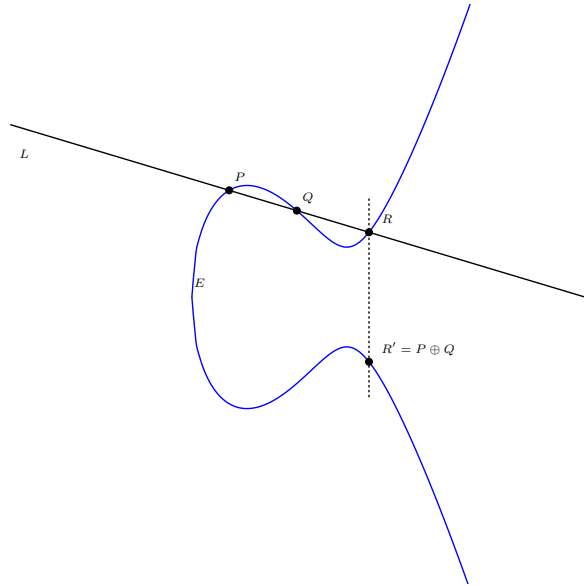
2.3.2 Các phép toán trên đường cong elliptic

a) Phép cộng

Luật cộng trên E được định nghĩa như sau:

Cho 2 điểm P và Q là 2 điểm thuộc E . L là đường thẳng nối P và Q , hoặc là đường tiếp tuyến của E tại P nếu $P = Q$. Khi đó, giao điểm của E và L là ba điểm P , Q và R , với \mathcal{O} được hiểu là điểm nằm trên mọi đường thẳng đứng. $R = (a, b)$, tổng của P và Q là điểm $R' = (a, -b)$. Tổng này được ký hiệu là $P \oplus Q$, có thể viết đơn giản $P + Q$.

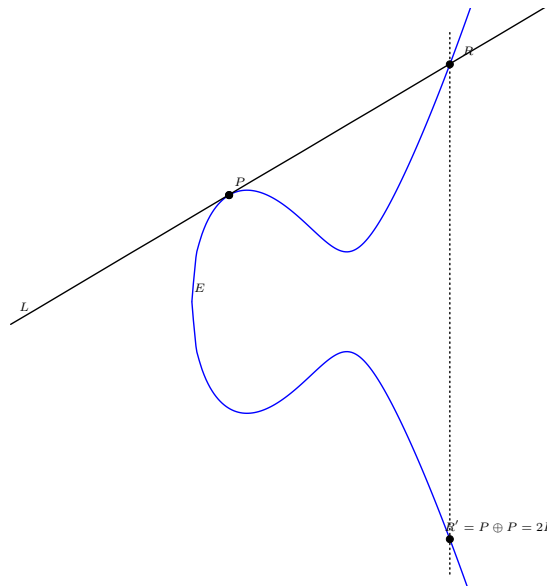
Luật cộng có thể được minh họa qua hình vẽ sau:



Hình I.3: Phép cộng trên đường cong elliptic

Nếu ta muốn cộng điểm P với chính nó, thì ta lấy đường thẳng L là tiếp tuyến của đồ thị qua điểm P .

Kết quả được minh họa trong hình vẽ sau:



Hình I.4: Phép cộng điểm P với chính nó

Định lý 2.1 (Thuật toán cộng đường cong Elliptic). Cho

$$E : Y^2 = X^3 + AX + B$$

là một đường cong elliptic và P_1 và P_2 là hai điểm trên E .

1. Nếu $P_1 = \mathcal{O}$ thì $P_1 + P_2 = P_2$.
2. Ngược lại, nếu $P_2 = \mathcal{O}$ thì $P_1 + P_2 = P_1$.
3. Ngược lại, viết $P_1 = (x_1, y_1)$ và $P_2 = (x_2, y_2)$.
4. Nếu $x_1 = x_2$ và $y_1 = -y_2$ thì $P_1 + P_2 = \mathcal{O}$.
5. Nếu không, định nghĩa λ bởi

$$\lambda = \begin{cases} \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} & \text{nếu } P_1 \neq P_2 \\ \frac{3x_1^2 + A}{2y_1} & \text{nếu } P_1 = P_2. \end{cases}$$

Và ta có $P_1 + P_2 = (x_3, y_3)$, trong đó:

$$x_3 = \lambda^2 - x_1 - x_2 \quad \text{và} \quad y_3 = \lambda(x_1 - x_3) - y_1.$$

b) Phép nhân

Phép nhân P với một số nguyên n được định nghĩa bởi

$$nP = P + P + \dots + P$$

với n lần phép cộng.

2.3.3 Đường cong elliptic trên trường hữu hạn

Các ứng dụng về mật mã của đường cong Elliptic đa số chỉ sử dụng các đường cong trên trường hữu hạn.

Định nghĩa 1. Trường là một tập hợp K có nhiều hơn một phần tử, được định nghĩa hai phép toán cộng và nhân, ký hiệu bởi dấu $(+)$ và dấu (\cdot) . Trường thỏa mãn các tính chất của số học.

Định nghĩa 2. Trường hữu hạn (còn gọi là trường Galois) là những trường có hữu hạn số phần tử. Bậc của một trường hữu hạn là số phần tử của nó, là số nguyên tố hoặc lũy thừa nguyên tố.

Trường hữu hạn là cơ bản trong một số lĩnh vực toán học và khoa học máy tính, bao gồm lý thuyết số, hình học đại số, lý thuyết Galois, hình học hữu hạn, mật mã và lý thuyết mã hóa.

Đường cong elliptic E trên trường hữu hạn \mathbb{F}_q là một phương trình có dạng:

$$E : Y^2 = X^3 + AX + B \text{ với các hằng số } A, B \in \mathbb{F}_p \text{ thỏa mãn } 4A^3 + 27B^2 \neq 0$$

Tập hợp các điểm trên E có tọa độ thuộc \mathbb{F}_p được kí hiệu bởi

$$E(\mathbb{F}_p) = \{(x, y) : x, y \in \mathbb{F}_p \text{ thỏa mãn } y^2 = x^3 + Ax + B\} \cup \mathcal{O}$$

2.3.4 Khái niệm mật mã đường cong elliptic

Mật mã đường cong elliptic (ECC) là một phương pháp mã hóa và giải mã thông tin bằng cách sử dụng các điểm trên đường cong elliptic. ECC được sử dụng để đảm bảo tính bảo mật và an toàn trong các ứng dụng mật mã, như mã hóa thông tin, xác thực người dùng, và tạo chữ ký số.

Trao đổi khóa Diffie - Hellman trên elliptic, thay thế bài toán logarit rời rạc cho trường hữu hạn \mathbb{F}_p bằng bài toán logarit rời rạc cho đường cong elliptic $E(\mathbb{F}_p)$. Đây là các bài toán khó có thể giải quyết trong thời gian đa thức. Phù hợp để sử dụng trong các ứng dụng mật mã.

a) Trao đổi khoá Diffie - Hellman trên đường cong elliptic

Alice và Bob cùng đồng ý sử dụng một đường cong elliptic $E(\mathbb{F}_p)$ và một điểm $P \in E(\mathbb{F}_p)$. Alice bí mật chọn một giá trị n_A , Bob chọn một giá trị n_B . Cả hai sử dụng số bí mật của họ và tính

$$\underbrace{Q_A = (n_A P)}_{\text{Alice tính}} \text{ và } \underbrace{Q_B = (n_B P)}_{\text{Bob tính}}$$

Sau đó, họ trao đổi với nhau giá trị vừa tính được, Alice gửi Q_A cho Bob và Bob gửi Q_B cho Alice. Sau đó tính $n_A Q_B$ và $n_B Q_A$. Và họ có khóa bí mật chung

$$n_A Q_B = (n_A n_B) P = n_B Q_A,$$

Giống như bài toán logarit rời rạc trên trường hữu hạn, bài toán logarit rời rạc trên đường cong elliptic cũng là một bài toán khó.

Hiện nay, thuật toán phổ biến để giải quyết bài toán logarit rời rạc trên đường cong elliptic là thuật toán Pollard's rho và thuật toán đặc biệt hơn là thuật toán số học đại số đường cong elliptic (ECDLP).

Thuật toán Pollard's rho được sử dụng để tìm giá trị bí mật của logarit rời

trên đường cong elliptic bằng cách sử dụng phép nhân trên đường cong để tìm kiếm các chu kỳ lặp lại. Thuật toán này có độ phức tạp tính toán khoảng $O(\sqrt{n})$, trong đó n là số lượng phần tử trong đường cong.

Vậy nên để đảm bảo độ bảo mật và tính khó tính toán cho bài toán trên, ta sử dụng đường cong elliptic có số phần tử lớn, hay chọn p là một số nguyên tố lớn, và chọn 1 đường cong elliptic trên trường hữu hạn F_p . [?]

2.4 Mật mã đường cong elliptic trong chữ ký số

2.4.1 Chữ ký số

Chữ ký số là một phương pháp xác thực nguồn gốc và tính toàn vẹn của tài liệu điện tử hoặc thông tin truyền qua mạng.

Theo quy định của pháp luật và căn cứ vào Khoản 6 Điều 3 Nghị định 130/2018 NĐ-CP nêu rõ:

“”Chữ ký số” là một dạng chữ ký điện tử được tạo ra bằng sự biến đổi một thông điệp dữ liệu sử dụng hệ thống mật mã không đối xứng, theo đó, người có được thông điệp dữ liệu ban đầu và khóa công khai của người ký có thể xác định được chính xác:

a) Việc biến đổi nêu trên được tạo ra bằng đúng khóa bí mật tương ứng với khóa công khai trong cùng một cặp khóa;

b) Sự toàn vẹn nội dung của thông điệp dữ liệu kể từ khi thực hiện việc biến đổi nêu trên.”

Khi người tạo chữ ký số ký một tài liệu điện tử, phần mềm tạo chữ ký số sẽ sử dụng khóa bí mật để tạo ra một **mã hóa dữ liệu** đính kèm vào tài liệu đó. **mã hóa dữ liệu** này bao gồm các thông tin về chữ ký số, bao gồm cả khóa công khai của người tạo chữ ký. Khi người nhận tài liệu muốn xác thực chữ ký số, phần mềm xác thực chữ ký số sẽ sử dụng khóa công khai để giải mã mã hóa dữ liệu và kiểm tra tính toàn vẹn của tài liệu đó.

Chữ ký số được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng như giao dịch thương mại điện tử, xác thực người dùng và chữ ký điện tử. Nó giúp đảm bảo tính toàn vẹn và xác thực của thông tin truyền qua mạng và giảm thiểu rủi ro về gian lận và giả mạo.

2.4.2 Chữ ký số trên đường cong elliptic

Chữ ký số trên đường cong elliptic (ECDSA) là một phương pháp mã hóa và giải mã thông tin bằng cách sử dụng các điểm trên đường cong elliptic. ECDSA được sử dụng để đảm bảo tính bảo mật và an toàn trong các ứng dụng mật mã, như mã hóa thông tin, xác thực người dùng, và tạo chữ ký số.

Chữ ký số trên đường cong elliptic được sử dụng nhiều bởi bài toán logarit rời rạc cho đường cong elliptic khó hơn rất nhiều so với bài toán logarit rời rạc cho F_p^* .

Giả sử rằng Alice muốn gửi một tin nhắn m đến Bob. Bob cần xác minh biết chắc chắn tin nhắn đó đến từ Alice.

Giao thức ECDSA hoạt động như sau:

Alice và Bob cùng đồng ý sử dụng một đường cong elliptic $E(\mathbb{F}_p)$ và một điểm $G \in E(\mathbb{F}_p)$. Hai người cũng cùng sử dụng 1 hàm băm H .

Các giá trị công khai là a, b, G, p .

Bước 1: Thuật toán sinh khoá Alice bí mật chọn một giá trị n_A .

Alice tạo private key: n_A .

Alice tạo public key: $P = n_A G$.

Bước 2: Thuật toán tạo chữ ký

1. Alice chọn một số k sao cho $1 \leq k \leq p - 1$.
2. Alice tính $K = (x_p, y_p) = kG$.
3. Alice tính $r = x_P \bmod p$, nếu $r = 0$ thì quay lại **2.1**.
4. Alice tính $e = H(m)$
5. Alice tính $s = k^{-1}(e + n_A r) \bmod p$, n_A là khóa bí mật của Alice và k^{-1} là nghịch đảo modulo p của k .
Nếu $s = 0$ thì trở lại **2.1**.
6. Cặp chữ ký (r, s) được tạo thành.

Alice gửi đi bộ chữ ký (r, s) cùng thông điệp m cho Bob.

Bước 2: Thuật toán xác minh chữ ký

1. Bob tính $e = H(m)$
2. Bob tính $w = s^{-1} \bmod p$.

3. Bob tính $u_1 = e \times w \mod p$ và $u_2 = r \times w \mod p$.
4. Bob tính $X = (x_1, y_1) = u_1G + u_2P$.
5. Nếu $X = 0$, thì từ chối chữ ký, nếu không thì $v = x_1 \mod p$.
6. Nếu $v = r$ thì chấp nhận chữ ký, nếu không thì từ chối chữ ký.

Tính đúng đắn của thuật toán

Ta có:

$$s = k^{-1}(e + n_A r) \mod p$$

$$\rightarrow k = s^{-1}(e + n_A r) \mod p$$

$$= w \times e + w \times n_A \times r \mod p$$

$$= u_1 + u_2 \times n_A \mod p$$

$$\rightarrow u_1G + u_2P = u_1G + u_2 \times n_AG = (u_1 + u_2 \times n_A)G = kG$$

Nếu chữ ký trên đúng thì $X = K$ hay $v = r$. [3]

Chữ ký số có ý nghĩa to lớn và trở thành một phần không thể thiếu đối với ngành mật mã học. Ứng dụng của chữ ký số đã được triển khai trên nhiều quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam. So với chữ ký tay, chữ ký số giúp các cá nhân, doanh nghiệp thực hiện việc ký các tài liệu được nhanh chóng, hiệu quả hơn.

Hiện nay ECDSA đang được sử dụng rộng rãi, đặc biệt trong công nghệ Blockchain.

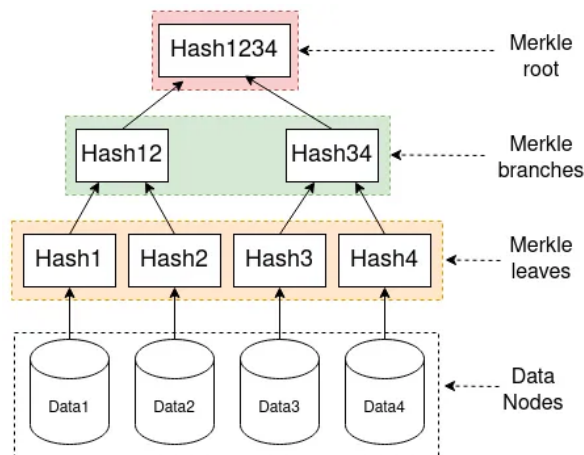
3 Cây Merkle

3.1 Khái niệm cây Merkle

Merkle Tree là một cấu trúc dữ liệu cây nhị phân được sử dụng trong một số loại hệ thống phân tán để đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu.

Cấu trúc Merkle Tree là một cấu trúc dữ liệu cây nhị phân, trong đó mỗi nút lá của cây biểu diễn một khối dữ liệu và mỗi nút cha của hai nút lá biểu diễn giá trị băm của hai khối dữ liệu liên tiếp. Các giá trị băm này được tính toán bằng cách sử dụng một thuật toán băm như SHA-256 hoặc SHA-3.

Các giá trị băm của các cặp khối dữ liệu liên tiếp được sử dụng để tính toán giá trị băm của các nút cha tiếp theo. Quá trình này được lặp lại cho đến khi chỉ



Hình I.5: Merkle Tree

còn lại một giá trị băm duy nhất, được gọi là "root hash". Các giá trị băm này được sử dụng để đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu được lưu trữ trong cây.

Số nút lá của cây Merkle là lũy thừa của 2 (2,4,8,16,32,...). Nếu số nút lá của cây không đủ, thì sẽ sử dụng dữ liệu cuối cùng để đại diện cho khối dữ liệu còn thiếu.

Một cây Merkle có thể được sử dụng để giảm thiểu khối lượng dữ liệu cần truyền qua mạng khi xác minh tính toàn vẹn của một tập hợp lớn các khối dữ liệu. Thay vì truyền toàn bộ dữ liệu qua mạng, chỉ cần truyền giá trị băm của các khối dữ liệu và giá trị băm của các nút cha để xác minh tính toàn vẹn của dữ liệu.

Một trong những ứng dụng phổ biến nhất của cây Merkle là trong blockchain. Trong blockchain, các giao dịch được kết hợp với nhau để tạo thành một khối, và các khối này được kết hợp với nhau để tạo thành một cây Merkle. Các thợ đào sẽ sử dụng giá trị băm của cây Merkle để xác minh tính toàn vẹn của khối, giúp ngăn chặn các giao dịch giả mạo hoặc thay đổi dữ liệu trên blockchain.

3.2 Merkle Root

Merkle Root là giá trị băm của nút gốc trong cây Merkle. Nó được tính toán bằng cách kết hợp giá trị băm của các nút cha trong cây Merkle.

Trong blockchain, Merkle Root được sử dụng để đại diện cho tất cả các giao dịch trong một khối. Các giao dịch được kết hợp với nhau để tạo thành một cây Merkle, và Merkle Root của cây này được sử dụng để đại diện cho toàn bộ khối

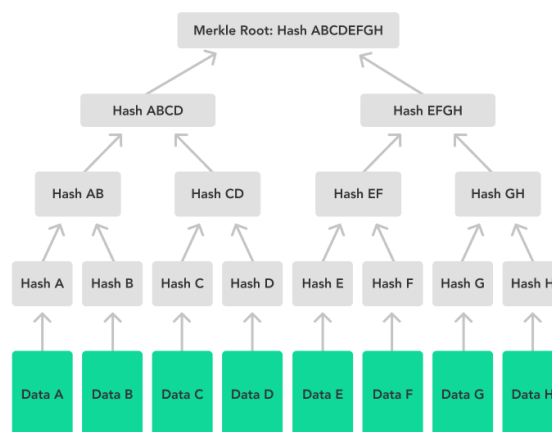
trong blockchain.

Việc sử dụng Merkle Root giúp tăng tính toàn vẹn và bảo mật của blockchain. Nếu một giao dịch trong khối bị thay đổi, thì giá trị băm của Merkle Root sẽ thay đổi và blockchain sẽ không chấp nhận khối này. Do đó, Merkle Root giúp ngăn chặn các cuộc tấn công như giao dịch giả mạo hoặc thay đổi dữ liệu trên blockchain.

3.3 Xác minh trong cây Merkle

Chúng ta xác minh các giao dịch trên cây Merkle như thế nào?

Giả sử chúng ta có một cây Merkle với 8 nút lá thể hiện các giao dịch từ A đến H. Chúng ta sẽ sử dụng giá trị băm của các nút lá để xác minh tính toàn vẹn của dữ liệu. Giá trị băm của các nút lá được sử dụng để tính toán giá trị băm của các nút cha, và quá trình này được lặp lại cho đến khi chỉ còn lại một giá trị băm duy nhất, được gọi là "root hash".



Hình I.6: Cây Merkle 8 lá

Giả sử ta cần xác minh một giao dịch, đầu tiên ta băm giao dịch và tìm kiếm kết quả trong cây Merkle, nếu không tìm thấy kết quả thì thông tin giao dịch là giả. Nếu tìm được một hàm băm lá trùng khớp với hàm băm ta vừa tính toán, thì thực hiện tính toán Merkle Root.

Giả sử hàm băm thông tin giao dịch cần xác minh trùng khớp với Hash D. Ta lấy thông tin Hash C để tính được Hash CD, sau đó lấy thông tin Hash AB để tính được Hash ABCD. Cuối cùng sử dụng thông tin Hash EFGH kết hợp với Hash ABCD để tính được Merkle Root.

Cuối cùng so sánh Merkle Root vừa tính với giá trị Merkle Root được lưu trữ trong cây Merkle. Nếu hai giá trị này giống nhau, thì giao dịch là đúng, nếu không thì thông tin giao dịch là giả.

4 Blockchain

4.1 Khái niệm Blockchain

Blockchain là một công nghệ mới và đầy tiềm năng, được sử dụng để lưu trữ và quản lý thông tin một cách an toàn và minh bạch. Nó là một cơ sở dữ liệu phân tán, trong đó dữ liệu được lưu trữ trên nhiều nút mạng và được bảo vệ bởi mã hóa mạnh. Cơ sở dữ liệu này sẽ lưu thông tin trong các khối, các khối này sẽ được liên kết với nhau bằng mã hóa và có thể mở rộng theo thời gian để tạo thành chuỗi. Vì vậy, nếu một khối bị thay đổi hoặc xóa, toàn bộ chuỗi sẽ bị ảnh hưởng và trở nên không hợp lệ.

Ta có thể hiểu đơn giản Blockchain chính là một cuốn sổ cái kỹ thuật số phân tán. Cuốn sổ cái này sẽ lưu trữ tất cả các loại thông tin giao dịch và được sao chép thành nhiều bản đặt tại nhiều máy tính khác nhau.

Không giống như các cơ sở dữ liệu thông thường, blockchain là cơ sở dữ liệu phi tập trung. Tức là blockchain không đặt tại một vị trí nhất định và chịu sự quản lý của một quản trị viên mà nó được sao chép thành nhiều bản và được lưu trên các máy tính riêng lẻ gọi là nút.

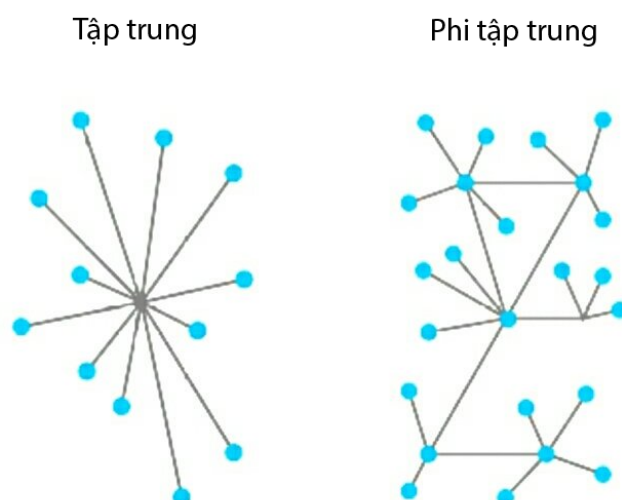
Một trong những ưu điểm của blockchain là tính minh bạch và an toàn. Do dữ liệu được lưu trữ phân tán, không ai có thể can thiệp vào và thay đổi dữ liệu một cách dễ dàng.

Tuy nhiên, cũng có những hạn chế của blockchain, bao gồm tốc độ xử lý chậm và khó khăn trong việc thay đổi các thông tin đã được lưu trữ trên blockchain. Tuy nhiên, với sự phát triển và ứng dụng đa dạng, blockchain đang trở thành một công nghệ quan trọng và tiềm năng cho tương lai.

4.2 Hệ thống phi tập trung

Ở phần 4.1, chúng ta nói rằng Blockchain là một hệ thống phi tập trung. Vậy hệ thống phi tập trung khác hệ thống tập trung như thế nào?

Hệ thống tập trung là một hệ thống mà tất cả các thành phần của nó được đặt



Hình I.7: Hệ thống tập trung và phi tập trung

tại một vị trí và chịu sự quản lý của một quản trị viên. Ví dụ như hệ thống quản lý thông tin của một công ty, hệ thống quản lý thông tin của một trường học, hệ thống quản lý thông tin của một bệnh viện, hệ thống quản lý thông tin của một ngân hàng v.v...

Hệ thống phi tập trung là một hệ thống mà không có bên nào kiểm soát toàn bộ. Trong hệ thống này, tất cả các thực thể trong hệ thống là ngang hàng. Các quyết định và hoạt động được phân phối trên nhiều thực thể độc lập và được quyết định bởi một cộng đồng người dùng.

Ưu điểm của hệ thống phi tập trung là dữ liệu sẽ được đảm bảo, không bị thay đổi, không bị xóa bỏ. Hệ thống phi tập trung đảm bảo tính minh bạch, an toàn, độ tin cậy và khả năng phát triển dễ dàng. Tuy nhiên, tốc độ xử lý chậm và khó khăn trong việc đạt được sự đồng thuận giữa các thực thể phân tán là những vấn đề cần giải quyết để hệ thống phát triển mạnh mẽ hơn.

4.3 Cấu tạo của Blockchain

Một blockchain cơ bản bao gồm các thành phần sau:

- Khối: là một đơn vị cơ bản của blockchain, chứa thông tin về các giao dịch và các liên kết đến các block khác trong chuỗi.
- Giá trị băm: là một mã hóa duy nhất đại diện cho một khối hoặc một tập

hợp các thông tin trên blockchain. Giá trị băm được tạo ra bằng cách sử dụng một thuật toán mã hóa, chẳng hạn như SHA-256.

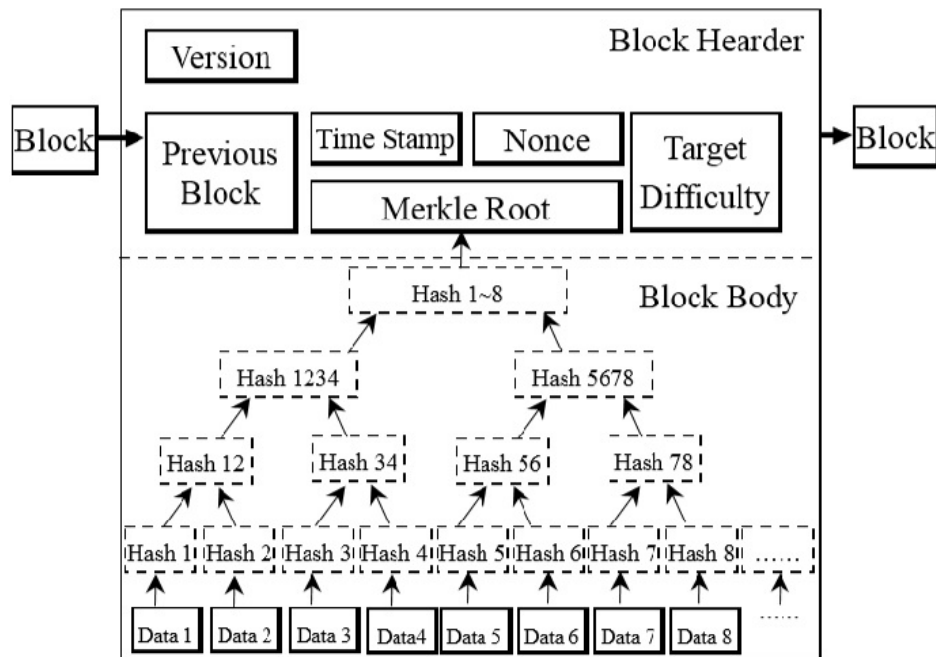
- Chuỗi khối: là một loạt các khối được kết nối với nhau theo thứ tự thời gian. Mỗi khối trong chuỗi chứa liên kết đến khối trước đó và khối sau đó, tạo thành một chuỗi liên kết.
- Giao thức đồng thuận: là một phương thức để xác minh và chứng thực các giao dịch trên blockchain.
- Nút: là một thiết bị hoặc một phần mềm chạy trên thiết bị, được sử dụng để tham gia vào mạng blockchain, giúp xác minh và chứng thực các giao dịch.
- Ví: là một phần mềm hoặc thiết bị lưu trữ khóa cá nhân và khóa công khai, cho phép người dùng thực hiện các giao dịch trên mạng blockchain.

Các thành phần này cùng hoạt động để tạo ra một hệ thống blockchain an toàn, minh bạch và phân tán, giúp các giao dịch trên mạng blockchain được xác minh và chứng thực một cách chính xác.

4.3.1 Cấu trúc của một khối

Cấu trúc của 1 khối được minh họa qua sơ đồ sau:

- Block header: chứa các thông tin về block, bao gồm: thời gian tạo block, hash của block trước đó, hash của block hiện tại, nonce, và các thông tin khác.
 - + Version: phiên bản của blockchain.
 - + Previous Block: Giá trị băm của block trước.
 - + Time Stamp: Thời gian block này được tạo.
 - + Merkle Root: Mã hash của tất cả các giao dịch trong khối hiện tại, được tính toán bằng cách sử dụng cây Merkle.
 - + Nonce: là một số ngẫu nhiên được sử dụng để giải quyết bài toán PoW.
 - + Target Difficulty: là một giá trị được sử dụng để xác định độ khó của bài toán PoW trong block này.
- Block Body: chứa các giao dịch được thực hiện trên blockchain.



Hình I.8: Cấu trúc của 1 khối

4.4 Các kỹ thuật trong Blockchain

4.4.1 Cấu trúc phi tập trung

Cấu trúc phi tập trung trong blockchain được xây dựng để đảm bảo tính an toàn và bảo mật của hệ thống. Cấu trúc này cho phép thông tin được phân tán trên nhiều nút mạng khác nhau, giúp giảm thiểu rủi ro bị tấn công và tăng tính đáng tin cậy.

Cấu trúc phi tập trung trong blockchain có các thành phần cơ bản như:

- Mạng ngang hàng: Các nút trong mạng sẽ kết nối với nhau để chia sẻ thông tin và cập nhật các giao dịch mới nhất.
- Giao thức đồng thuận: Để đảm bảo tính nhất quán và đáng tin cậy của dữ liệu, các nút trong mạng sẽ phải đồng thuận về sự thay đổi của blockchain. Các giao thức đồng thuận phổ biến bao gồm Bằng chứng công việc (PoW) và Bằng chứng cổ phần (PoS).
- Nút: đóng vai trò xác nhận để các khối mới và xác nhận các giao dịch.
- Blockchain: Dữ liệu được lưu trữ trên blockchain, một chuỗi các khối được kết nối với nhau theo thứ tự thời gian.

- Ví: là một phần mềm hoặc thiết bị lưu trữ khóa cá nhân và khóa công khai, cho phép người dùng thực hiện các giao dịch trên mạng blockchain.

Các thành phần này cùng hoạt động với nhau để tạo ra một hệ thống phi tập trung, nơi mà dữ liệu được phân tán trên nhiều nút khác nhau và không có bất kỳ cơ quan trung gian nào kiểm soát hoặc giám sát.

4.4.2 Tính tin cậy

Tính tin cậy là một trong những điểm mạnh của blockchain. Điều này được đảm bảo bởi cấu trúc phi tập trung của hệ thống, nghĩa là không có một tổ chức hay cá nhân nào có quyền kiểm soát toàn bộ blockchain. Thay vào đó, blockchain được phân tán trên nhiều nút trong mạng, mỗi nút lưu trữ một bản sao của toàn bộ blockchain.

Việc phân tán dữ liệu trên nhiều nút khác nhau giúp tăng tính đáng tin cậy của hệ thống, vì không có một nút duy nhất nào có thể gian lận hoặc tấn công hệ thống. Nếu một nút bị tấn công hoặc lỗi, các nút khác vẫn có thể tiếp tục hoạt động và duy trì tính toàn vẹn của blockchain.

4.4.3 Giao thức đồng thuận

- **PoW**: có nhiệm vụ đảm bảo tính nhất quán và đáng tin cậy của blockchain bằng cách yêu cầu các nút trong mạng phải thực hiện một số lượng lớn tính toán để xác nhận giao dịch và thêm mới các khối vào blockchain. Cụ thể, các nút trong mạng sẽ cạnh tranh với nhau để giải quyết một bài toán tính toán phức tạp, được gọi là "bài toán đào". Bài toán này yêu cầu các nút phải tìm ra một giá trị băm thỏa mãn điều kiện, dựa trên các thông tin trong khối mới nhất và khối trước đó. Việc giải quyết bài toán này đòi hỏi sự tiêu tốn của năng lượng tính toán, thời gian và tài nguyên máy tính. Điều kiện này là giá trị "difficulty" – số lượng số 0 đứng phía trước giá trị băm.
- **PoS**: là một giao thức đồng thuận được sử dụng trong blockchain để đảm bảo tính nhất quán và đáng tin cậy của dữ liệu. PoS hoạt động khác với PoW, bằng cách không yêu cầu các nút trong mạng thực hiện các hoạt động tính toán phức tạp để giải quyết bài toán đào, mà thay vào đó, các nút sẽ được chọn để xác nhận giao dịch và thêm mới các khối vào blockchain dựa trên số lượng tiền điện tử mà họ đã có trong tài khoản của mình. Khi lượng tiền

điện tử trong ví càng cao thì khả năng được chọn để xác nhận giao dịch càng lớn. Điều này giúp giảm thiểu việc tiêu tốn năng lượng tính toán và tài nguyên máy tính, đồng thời tăng tốc độ xác nhận giao dịch và thêm mới các khối vào blockchain.

Blockchain sử dụng các giao thức đồng thuận để đảm bảo tính tin cậy và bảo mật. Khi không nắm được 51% số nút trong mạng, dữ liệu mạng không thể bị kiểm soát và sửa đổi. Do đó, bản thân Blockchain đã trở nên tương đối an toàn và có thể tránh việc sửa đổi dữ liệu. Vì thế, nếu một số lượng lớn các nút có khả năng tính toán mạnh được tham gia vào hệ thống thì dữ liệu trong hệ thống này sẽ có độ bảo mật cao hơn.

4.5 Cách thức hoạt động của Blockchain

4.5.1 Thêm giao dịch mới vào Blockchain

Để thêm một giao dịch trong blockchain, quá trình cần phải đi qua các bước sau:

- Người dùng gửi một thông tin của giao dịch mới vào mạng blockchain.
- Giao dịch mới sẽ được gửi đến tất cả các nút trong mạng blockchain.
- Các nút trong mạng sẽ kiểm tra tính hợp lệ của giao dịch bằng cách kiểm tra tính đúng đắn của chữ ký số.
- Các giao dịch hợp lệ sẽ được đóng gói lại thành một khối và bao gồm các thông tin như giá trị băm của khối trước, thông tin của giao dịch, phiên bản, thời gian tạo khối,...
- Tính toán giá trị băm của khối mới, các nút trong mạng sẽ xác nhận tính hợp lệ của khối mới. Để xác nhận, các nút sẽ kiểm tra giá trị băm của khối trước đó có khớp với giá trị *Previous Hash* được lưu trong khối mới hay không. Tiếp theo, sẽ kiểm tra *Merkle Root* của khối mới có khớp với giá trị *Merkle Root* được lưu trong khối mới hay không. Cuối cùng sẽ kiểm tra thời gian tạo khối, giá trị nonce có hợp lệ hay không.
- Nếu khối mới được xác nhận là hợp lệ, nó sẽ được thêm vào blockchain. Khối mới này sẽ trở thành khối mới nhất trong chuỗi blockchain và các giao

dịch được bao gồm trong khối sẽ được coi là đã được xác nhận và lưu trữ trong blockchain.

4.5.2 Xác thực một giao dịch

- Tính giá trị băm của giao dịch cần xác thực.
- Tìm tất cả các khối trong chuỗi khối và kiểm tra xem giá trị băm của giao dịch đó có nằm trong danh sách các giao dịch của mỗi khối hay không. Nếu không tồn tại thì thông tin giao dịch là sai.
- Nếu có thì kiểm tra tính toàn vẹn của giao dịch bằng cách sử dụng chữ ký số của người gửi giao dịch.
- + Sử dụng khoá công khai để giải mã chữ ký số.
- + Tính toán lại giá trị băm của dữ liệu giao dịch bằng cách sử dụng cùng thuật toán mã hóa được sử dụng trong blockchain.
- + So sánh hai giá trị vừa tính được. Nếu trùng khớp thì giao dịch được xác nhận là hợp lệ và tính toàn vẹn của giao dịch được xác định. Việc xác minh tính toàn vẹn trên dựa vào thuật toán Chữ ký số trên đường cong elliptic (ECDSA) đã được chứng minh ở phần **2.4.2**

4.6 Các ứng dụng điển hình của Blockchain

4.6.1 Tiền số

Tiền số trong blockchain là một loại tiền tệ số được tạo ra và quản lý bởi các mạng blockchain, được mã hóa để đảm bảo tính bảo mật và độ tin cậy của các giao dịch trên mạng. Các ví dụ tiêu biểu của tiền số trên thế giới hiện nay bao gồm Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Ripple và Bitcoin Cash. Mỗi loại tiền số có đặc điểm và tính năng riêng, tuy nhiên tất cả đều được tạo ra và quản lý bởi các mạng blockchain. Tiền số trong blockchain có tính năng phân quyền, không có bên trung gian nào can thiệp hoặc kiểm soát quá trình giao dịch và các giao dịch được xác thực bởi các nút trong mạng. Tiền số trong blockchain được sử dụng trong nhiều ứng dụng như chuyển tiền, thanh toán trực tuyến, đầu tư và trao đổi trên các sàn giao dịch tiền số, tuy nhiên, nó cũng đang gặp phải một số thách thức như tính ổn định giá, độ tin cậy và sự phức tạp về quy định pháp lý.

4.6.2 Hợp đồng thông minh

Hợp đồng thông minh là một chương trình tự động được viết bằng ngôn ngữ lập trình và thực thi trên mạng blockchain. Chúng được thiết kế để tự động thực hiện các điều khoản hợp đồng một cách đáng tin cậy, không cần phải dựa vào bên thứ ba.

Hợp đồng thông minh được định nghĩa bởi một tập hợp các quy tắc và điều kiện mà khi được kích hoạt, nó sẽ tự động thực hiện các hành động được yêu cầu. Các hợp đồng thông minh được sử dụng để thực hiện các giao dịch tài chính, quản lý quy trình kinh doanh, bảo vệ sở hữu trí tuệ và quản lý dữ liệu.

Một trong những đặc điểm của hợp đồng thông minh là tính bảo mật cao, vì chúng được mã hóa và lưu trữ trên mạng blockchain, không thể bị can thiệp hay thay đổi bởi bất kỳ ai. Các giao dịch được thực hiện thông qua các hợp đồng thông minh cũng được xác thực và đảm bảo tính đúng đắn bởi các nút trong mạng.

Hợp đồng thông minh đã được triển khai trong nhiều lĩnh vực, bao gồm tài chính, bảo hiểm, bất động sản, quản lý chuỗi cung ứng và nhiều lĩnh vực khác. Tuy nhiên, việc triển khai hợp đồng thông minh vẫn đang đối mặt với một số thách thức, bao gồm khả năng lập trình và kiểm tra hợp đồng, độ tin cậy và quy định pháp lý.

Chương II

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm

1 Khái niệm truy xuất nguồn gốc thực phẩm

1.1 Giới thiệu

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm là quá trình xác định nguồn gốc và lịch sử sản xuất của một sản phẩm thực phẩm từ giai đoạn sản xuất đến khi đến tay người tiêu dùng. Ý nghĩa của việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm là giúp người tiêu dùng đảm bảo được an toàn về chất lượng và nguồn gốc của sản phẩm mà mình sử dụng, đồng thời cũng là một phương tiện quan trọng giúp kiểm soát và ngăn chặn sự xuất hiện của những sản phẩm thực phẩm giả mạo, không rõ nguồn gốc và an toàn.

Việc truy xuất nguồn gốc thực phẩm đang được xem là một xu hướng quan trọng trong ngành thực phẩm, đặc biệt là trong bối cảnh ngày nay, khi mối đe dọa về an toàn thực phẩm và việc giả mạo sản phẩm thực phẩm ngày càng trở nên phức tạp. Việc thực hiện truy xuất nguồn gốc thực phẩm sẽ giúp tăng cường niềm tin của người tiêu dùng đối với sản phẩm thực phẩm và giúp nâng cao chất lượng và an toàn thực phẩm trên thị trường.

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm được thực hiện thông qua việc ghi nhận, lưu trữ và quản lý các thông tin liên quan đến quá trình sản xuất và phân phối sản phẩm thực phẩm, bao gồm nguồn gốc, thời gian sản xuất, địa điểm sản xuất, thông tin về các thành phần, chất lượng, độ an toàn của sản phẩm. Những thông tin này được ghi nhận và kiểm soát bởi các cơ quan chức năng, doanh nghiệp và các tổ chức liên quan trong quá trình sản xuất và phân phối sản phẩm.

2 Các mô hình truy xuất nguồn gốc hiện nay

2.1 Mô hình theo dõi dòng sản phẩm

Mô hình theo dõi dòng sản phẩm là một mô hình truy xuất nguồn gốc đơn giản nhất. Trong mô hình này, mỗi sản phẩm được gắn nhãn hoặc mã số duy nhất để theo dõi từ khi sản xuất đến khi đến tay người tiêu dùng. Thông tin về nguồn gốc, quá trình sản xuất, vận chuyển và lưu trữ của sản phẩm được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu và có thể được tra cứu bởi người tiêu dùng.

Mô hình này sử dụng mã QR và mã vạch để truy xuất nguồn gốc. Các mã QR và mã vạch được in trên sản phẩm để cho phép người tiêu dùng quét và truy xuất thông tin về nguồn gốc, quá trình sản xuất và vận chuyển của sản phẩm.

Mô hình này khá đơn giản, dễ triển khai và chi phí thấp. Nó cũng giúp tăng cường tính minh bạch và đáng tin cậy của thông tin về nguồn gốc sản phẩm.

2.2 Mô hình truy xuất nguồn gốc dựa vào IoT

Mô hình truy xuất nguồn gốc dựa vào IoT (Internet of Things) là một mô hình truy xuất nguồn gốc sử dụng công nghệ IoT để thu thập và chia sẻ thông tin về nguồn gốc, quá trình sản xuất, vận chuyển và lưu trữ của sản phẩm.

Trong mô hình này, các cảm biến IoT được gắn trên sản phẩm để thu thập thông tin về vị trí, nhiệt độ, độ ẩm và các thông số khác liên quan đến quá trình sản xuất và vận chuyển sản phẩm. Các dữ liệu này được lưu trữ và chia sẻ trên nền tảng đám mây, giúp người tiêu dùng có thể truy xuất thông tin về nguồn gốc sản phẩm bằng cách quét mã QR hoặc mã vạch trên sản phẩm.

2.3 Các vấn đề của các hệ thống truy xuất nguồn gốc hiện có

Các mô hình truy xuất nguồn gốc hiện nay đang có một số hạn chế cần phải khắc phục. Các mô hình này sử dụng nguồn dữ liệu từ các cơ sở dữ liệu của các tổ chức, doanh nghiệp, việc đảm bảo thông tin là chính xác không được xác nhận. Ngoài ra, thông tin được lưu trữ trên một hệ thống tập trung, do bên thứ 3 quản lý, do bên thứ 3 có thể thay đổi thông tin, làm giả mạo thông tin và mất mát thông tin trong quá trình truyền tải. Khi bên thứ 3 bị tấn công, sửa đổi thông tin, chúng ta không thể kiểm soát được. Các mô hình này cũng không thể cung cấp toàn bộ chi tiết về nguồn gốc, quá trình sản xuất.

Vậy nên bài toán đặt ra là xây dựng một mô hình truy xuất nguồn gốc thực phẩm sao cho thông tin lưu trữ đầy đủ các quy trình, các thông tin lưu trữ đảm bảo tính toàn vẹn, không thể làm giả.

Chương III

Hyperledger Fabric

1 Giới thiệu Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric là một nền tảng blockchain phân tán được phát triển bởi Linux. Nó cung cấp một giải pháp cho các tổ chức và doanh nghiệp để triển khai các ứng dụng blockchain tùy chỉnh. Hyperledger Fabric được thiết kế để có tính linh hoạt và khả năng mở rộng dễ dàng, cho phép các thành phần của hệ thống phát triển và triển khai độc lập với nhau.

Hyperledger Fabric có tính bảo mật cao và hỗ trợ quản lý danh tính và quản lý quyền truy cập, giúp bảo vệ dữ liệu của người dùng trên blockchain. Nó bao gồm các hợp đồng thông minh, sổ cái và hệ thống mà người tham gia vào hệ thống quản lý các giao dịch của họ.

Điểm khác biệt giữa Hyperledger Fabric và các nền tảng blockchain khác là:

- Thiết kế dựa trên mô hình module
- Hỗ trợ quản lý danh tính và quyền truy cập
- Độc lập với tiền điện tử
- Hỗ trợ các giao thức đồng thuận kết hợp

Fabric có kiến trúc linh hoạt, có thể thay đổi để đáp ứng cho nhiều lĩnh vực khác nhau, điều này chính là lý do em chọn Hyperledger Fabric để nghiên cứu và xây dựng ứng dụng.

1.1 Mô hình mô-đun

Hyperledger Fabric được thiết kế dựa trên mô hình mô-đun, cho phép các thành phần của hệ thống được phát triển và triển khai độc lập với nhau. Điều này giúp cho việc phát triển và triển khai các ứng dụng blockchain trở nên dễ dàng hơn. Một Fabric tiêu chuẩn gồm các thành phần mô-đun sau:

- *Dịch vụ đặt hàng (Ordering service)* được sử dụng để quản lý và xác nhận các giao dịch trên mạng blockchain.
- *Dịch vụ cung cấp thành viên (Membership service provider)* là một thành phần trong hệ thống Hyperledger Fabric, được sử dụng để quản lý và xác thực danh tính trên mạng blockchain. Nó đảm bảo rằng chỉ các thành viên được ủy quyền mới có thể tham gia vào mạng blockchain và thực hiện các hoạt động trên đó. MSP sử dụng các chứng chỉ xác thực để xác định quyền truy cập của mỗi thành viên trong mạng.
- *Dịch vụ nhắn tin ngang hàng (Cross-chain messaging service)* được sử dụng để cho phép các thành viên có thể tương tác và giao tiếp với nhau trực tiếp, mà không cần thông qua một bên trung gian nào khác.
- *Hợp đồng thông minh (Chaincode)* chạy trong môi trường container như Docker. Được viết bằng các ngôn ngữ lập trình để quy định các luật và điều khoản khi tham gia vào hệ thống.
- *Sổ cái* nơi lưu trữ tất cả các thông tin về các giao dịch và trạng thái của mạng blockchain, được hỗ trợ bởi nhiều hệ quản trị cơ sở dữ liệu.
- *Chính sách xác thực và chứng thực* có thể được thêm và áp dụng độc lập cho mỗi ứng dụng.

1.2 Quản lý danh tính và quyền truy cập

Hyperledger Fabric có tính năng hỗ trợ quản lý danh tính và quyền truy cập để đảm bảo tính bảo mật và phân quyền trong mạng blockchain. Dưới đây là một số tính năng quan trọng trong việc quản lý danh tính và quyền truy cập trong Hyperledger Fabric:

- Xác thực và ủy quyền: hỗ trợ nhiều phương thức xác thực và ủy quyền khác nhau, chẳng hạn như xác thực bằng chứng chỉ SSL/TLS, xác thực bằng tài khoản và mật khẩu, xác thực bằng access token và ủy quyền bằng các chứng chỉ.
- Quản lý danh tính: cung cấp tính năng quản lý danh tính để quản lý các thông tin về người dùng và tổ chức trên mạng blockchain.
- Quản lý quyền truy cập: cung cấp tính năng quản lý quyền truy cập để quản lý người dùng đảm bảo rằng với mỗi người dùng có nhiệm vụ khác nhau thì quyền truy cập trong hệ thống là khác nhau.
- Quản lý chứng chỉ: cung cấp tính năng quản lý chứng chỉ để quản lý các chứng chỉ và chứng thư số, để bảo mật và xác thực người dùng. [5]

1.3 Độc lập với tiền điện tử

Hyperledger Fabric là một nền tảng blockchain phổ biến được thiết kế để sử dụng trong các ứng dụng doanh nghiệp. Khác với các tiền điện tử như Bitcoin hay Ethereum, Hyperledger Fabric không phải là một loại tiền điện tử và không thực hiện các giao dịch tiền tệ. Thay vào đó, nó cung cấp các tính năng để đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật của dữ liệu trong mạng blockchain, giúp các doanh nghiệp triển khai các ứng dụng blockchain phù hợp với nhu cầu của họ.

Cụ thể hơn, trong Bitcoin hay Ethereum, khi miner giải bài toán khó PoW để xác minh tính toàn vẹn của thông tin sẽ được một phần thưởng là một lượng tiền điện tử. Thay vào đó, Hyperledger Fabric sử dụng một hệ thống đồng thuận phân cấp để đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật của dữ liệu trên mạng blockchain. Các thành viên trong mạng Hyperledger Fabric được xác định và quản lý bởi các chứng chỉ xác thực và quy tắc thành viên. Khi một giao dịch mới được đề xuất, các thành viên trong mạng sẽ thẩm định và chấp nhận nó trước khi thêm vào blockchain.

1.4 Cơ chế đồng thuận kết hợp

Hyperledger Fabric là một nền tảng blockchain dành cho doanh nghiệp, có khả năng hỗ trợ nhiều cơ chế đồng thuận khác nhau như Proof of Work (PoW), Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) và Kafka Ordering Service. Việc

sử dụng cơ chế đồng thuận kết hợp trong Hyperledger Fabric được thực hiện nhằm đảm bảo tính toàn vẹn và bảo mật của hệ thống.

PBFT được sử dụng để đồng thuận giữa các thành viên trong mạng, đảm bảo rằng các giao dịch được xác nhận và thêm vào blockchain chỉ khi được chấp thuận bởi đa số các thành viên trong mạng. Bên cạnh đó, Kafka Ordering Service được sử dụng để quản lý thứ tự của các block mới được thêm vào blockchain, tránh xảy ra các xung đột về thứ tự của các block.

Ngoài ra, Hyperledger Fabric cũng có thể sử dụng các cơ chế đồng thuận khác như PoW hoặc PoS tùy thuộc vào yêu cầu của từng ứng dụng blockchain cụ thể.

Trình bày cụ thể về các cơ chế đồng thuận kết hợp trong Hyperledger Fabric, em sẽ trình bày ở phần **Cơ chế đồng thuận**.

2 Mô hình Hyperledger Fabric

2.1 Thành phần hệ thống

2.1.1 Nút

Các nút trong hệ thống này đảm nhận các vai trò khác nhau. Mỗi loại nút có quyền truy cập và vai trò khác nhau trong hệ thống. Có 3 vai trò nút trong hệ thống:

- Khách (Client): như là người dùng cuối, nó tạo và huỷ các giao dịch, cho phép đảm nhận vai trò giao tiếp với các nút khác trong mạng.
- Thành viên (Peer): Là nút mạng tham gia vào quá trình xử lý giao dịch và lưu trữ dữ liệu trong mạng blockchain. Mỗi nút thành viên có một bản sao của sổ cái và có thể thực hiện các chức năng như giao tiếp với các nút khác, đảm nhận xác thực và xử lý giao dịch, thực hiện các chaincode (smart contract), cập nhật trạng thái của sổ cái, và đồng bộ dữ liệu với các nút thành viên khác.

Có hai loại nút thành viên khác nhau: người tán thành (Endorsers) và người cam kết (Committers).

- + Người tán thành: Mô phỏng, thực thi logic kinh doanh trong chaincode và xác minh tính hợp lệ giao dịch.

- + Người cam kết: Xác minh và xác nhận kết quả giao dịch trước khi thêm giao dịch vào blockchain. [6]
- Người đặt hàng (Orderer): vai trò là kênh liên lạc trung tâm cho mạng lưới, đảm bảo các thành viên sẽ nhận chính xác một thông điệp theo đúng logic và quản lý thứ tự của các khối mới được thêm vào blockchain.

2.1.2 Tài sản

Tài sản là các đối tượng có giá trị được quản lý trên mạng blockchain trong Hyperledger Fabric. Mỗi tài sản có một ID duy nhất và được lưu trữ trong world state ledger. Trạng thái của mỗi tài sản được đại diện bởi cơ sở dữ liệu key-value và được cập nhật thông qua chaincode để tạo mới, cập nhật, xóa và truy vấn thông tin. Các hoạt động này được thực hiện thông qua các giao dịch trên một Kênh.

2.1.3 Chaincode

Trong Hyperledger Fabric, hợp đồng thông minh được gọi là chaincode. Chaincode là một phần mềm các định một hoặc nhiều nội dung. Nó thực thi các quy tắc được xác định để đọc và thay đổi các cặp giá trị key-value được lưu trữ trong sổ cái.

Một giao dịch đề xuất thay đổi được gửi đến các nút thành viên trong mạng blockchain, và các thành viên thực thi chaincode để kiểm tra và xác minh giao dịch này. Nếu giao dịch thỏa mãn các quy tắc được định nghĩa bởi chaincode, giao dịch sẽ được thực thi và kết quả được thêm cho sổ cái được lưu tất cả các nút thành viên.

2.1.4 Sổ cái

Mỗi sổ cái là một bản sao của toàn bộ blockchain và được lưu trữ trên mỗi nút thành viên trong mạng. Hệ thống có thể lưu trữ nhiều sổ cái khác nhau, mỗi sổ cái được lưu trữ trên một channel riêng biệt. Trong Hyperledger Fabric, một sổ cái bao gồm 2 phần:

- World state ledger: Lưu trữ trạng thái hiện tại của tất cả các tài sản trong mạng blockchain. World state ledger được lưu trữ dưới dạng cơ sở dữ liệu

key-value, trong đó khóa là ID của tài sản và giá trị là trạng thái hiện tại của tài sản đó.

- Transaction log ledger: Lưu trữ toàn bộ lịch sử các giao dịch được thực hiện trên mạng blockchain. Transaction log ledger bao gồm các khối được kết nối theo đúng thứ tự thời gian, mỗi khối chứa thông tin về các giao dịch được thực hiện trong khoảng thời gian đó. Khác với World state ledger chỉ lưu trữ giá trị hiện tại, transaction log ledger lưu trữ toàn bộ lịch sử các giao dịch dưới dạng chuỗi các khối. Đây là một khối bất biến, không thể sửa đổi.

2.1.5 Dịch vụ đặt hàng

Nút đặt hàng thực hiện việc đặt hàng giao dịch, nút này cùng với các nút đặt hàng khác tạo thành một dịch vụ đặt hàng. Dịch vụ đặt hàng cung cấp một kênh truyền thông cho các nút trong mạng để phát sóng các tin nhắn chứa các giao dịch, đồng bộ hoá các giao dịch và đảm bảo tính nhất quán của trạng thái blockchain. Nút đặt hàng cũng thực thi kiểm soát truy cập cơ bản đối với các kênh, hạn chế người có thể đọc và ghi dữ liệu vào chúng cũng như ai có thể định cấu hình chúng. [6]

Khi khách hàng yêu cầu thêm một giao dịch trên blockchain, nó được đưa vào một gói tin và phát sóng đến Dịch vụ đặt hàng. Dịch vụ đặt hàng sẽ đảm bảo rằng các giao dịch được xử lý và đóng gói thành các khối theo một thứ tự nhất định và phát sóng đến tất cả các nút trong mạng. Các nút sau đó sẽ xác nhận và thêm khối này vào trạng thái blockchain của mình nếu khối đầy thỏa mãn.

Trong dịch vụ đặt hàng sử dụng cơ chế đồng thuận Kafka Orderer Service (Kafka) để khi một khối mới được tạo ra bởi Kafka-based Ordering Service, nó sẽ được phát sóng đến tất cả các nút trong mạng. Các nút trong mạng sau đó sẽ xác nhận và kiểm tra tính hợp lệ của các giao dịch trong khối mới này.

2.1.6 Kênh

Trong hệ thống Hyperledger Fabric, kênh là một tính năng quan trọng để cung cấp cách thức truyền tải thông tin và giao tiếp bảo mật giữa các thành viên trong mạng blockchain.

Mỗi kênh là một nơi truyền thông riêng biệt giữa một nhóm các thành viên trong mạng, cho phép các thành viên trong kênh đóng vai trò như các bên liên

quan duy nhất đến các giao dịch và trạng thái của sổ cái liên quan đến kênh đó. Điều này có nghĩa là nếu một thành viên không thuộc kênh không có quyền truy cập vào các giao dịch và trạng thái của kênh đó.

Mỗi kênh có một sổ cái riêng, bao gồm một World State Ledger và một Transaction Log Ledger, để lưu trữ thông tin về trạng thái hiện tại của tài sản trong sổ cái và lịch sử các giao dịch liên quan đến sổ cái đó. Khi một giao dịch được thực hiện trên một kênh, nó sẽ chỉ ảnh hưởng đến sổ cái của kênh đó và không ảnh hưởng đến các kênh khác.

Một thành viên có thể tham gia cùng lúc nhiều kênh và lưu trữ tất cả các sổ cái của các kênh.

2.2 Cơ chế đồng thuận

Đồng thuận là quá trình mà một mạng lưới các nút cung cấp thứ tự giao dịch được đảm bảo và xác thực khối giao dịch. Cơ chế đồng thuận cung cấp các chức năng chính sau:

- Xác nhận tính chính xác của tất cả giao dịch trong một khối được đề xuất.
- Đồng thuận về sổ cái giữa tất cả các nút thành viên.
- Dùng hợp đồng thông minh để xác minh tính chính xác của từng giao dịch đã được sắp xếp trong một khối.

Sự đồng thuận trong Hyperledger Fabric được chia làm 3 giai đoạn:

- Xác nhận: Nút thành viên có vai trò tán thành xác nhận giao dịch hợp lệ bằng cách ký chữ ký bảo lãnh.
- Đặt hàng: Chấp nhận các giao dịch được xác nhận và đồng ý về thứ tự được thêm vào sổ cái.
- Xác thực: kiểm tra một khối các giao dịch đã được sắp xếp và xác minh tính chính xác của kết quả, bao gồm kiểm tra chính sách tán thành và tránh tình trạng trùng lặp. [4]

Cơ chế đồng thuận phủ khắp và bao gồm toàn bộ quá trình giao dịch. Các nút có nhiệm vụ khác nhau sẽ có vai trò khác nhau trong quá trình đồng thuận.

Hyperledger Fabric sử dụng chủ yếu 2 cơ chế đồng thuận là Kafka Ordering Service và Khả năng chịu lỗi Byzantine.

2.2.1 Kafka Ordering Service

Kafka Ordering Service là một cơ chế quan trọng trong Hyperledger Fabric được sử dụng để xác định thứ tự của các giao dịch trước khi được thêm vào blockchain. Khi một giao dịch mới được tạo ra, nó sẽ được đưa vào hàng đợi để chờ xác nhận. Các nút trong mạng sẽ lấy các giao dịch từ hàng đợi, kiểm tra tính hợp lệ của chúng, và đưa ra quyết định về thứ tự của các giao dịch, sau đó chúng được thêm vào blockchain theo thứ tự đã được xác định.

Việc sử dụng Kafka Ordering Service giúp đảm bảo tính toàn vẹn và độ tin cậy của dữ liệu trong mạng Hyperledger Fabric. Tất cả các nút trong mạng đều nhận thông tin về các giao dịch mới nhất thông qua hàng đợi, đảm bảo rằng tất cả các nút trong mạng đều chia sẻ cùng một sổ cái. Nó cũng cho phép mạng mở rộng và linh hoạt hơn, vì các nút có thể được thêm vào hoặc loại bỏ khỏi mạng mà không ảnh hưởng đến tính toàn vẹn của dữ liệu.

2.2.2 Khả năng chịu lỗi Byzantine (PBFT)

PBFT là một cơ chế đồng thuận được sử dụng để đảm bảo tính toàn vẹn và độ tin cậy của dữ liệu trong mạng bằng cách xác định tính hợp lệ của các giao dịch trong quá trình đồng thuận.

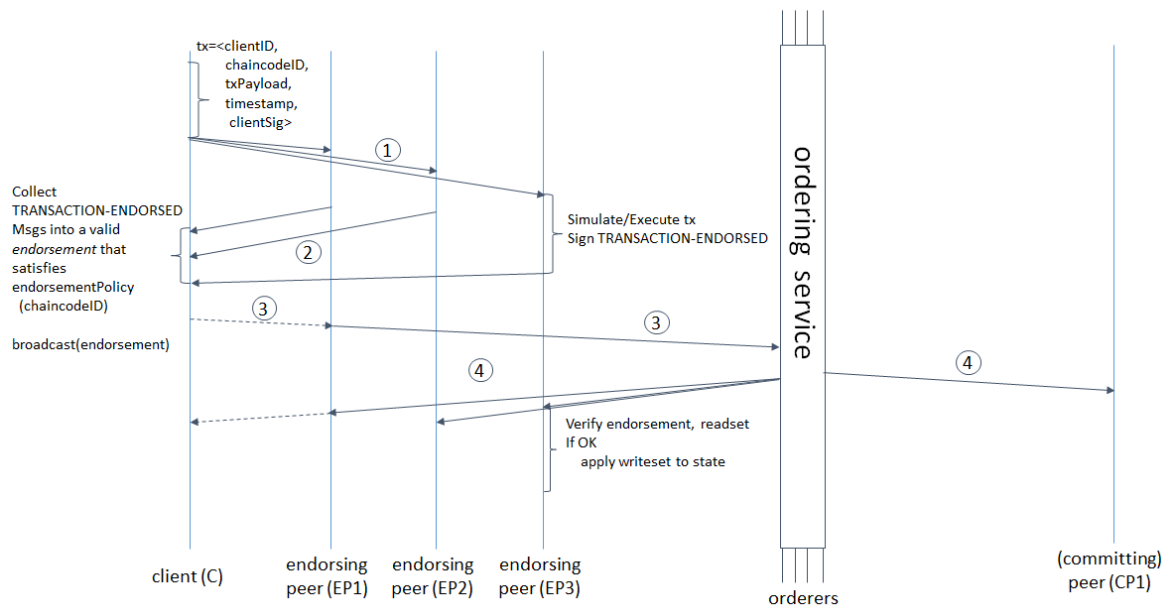
Khi một giao dịch được gửi đến mạng Hyperledger Fabric, PBFT sẽ được sử dụng để kiểm tra và xác định tính hợp lệ của giao dịch trước khi được thêm vào blockchain. Các nút trong mạng sẽ thực hiện các vòng lặp đồng thuận để đưa ra quyết định về tính hợp lệ của một giao dịch dựa trên sự đồng thuận của hầu hết các nút trong mạng.

Quá trình đồng thuận của PBFT bao gồm các bước như sau:

- Gửi yêu cầu cho các nút khác trong mạng để thực hiện đồng thuận.
- Thực hiện vòng lặp đồng thuận để đưa ra quyết định về tính hợp lệ của một giao dịch.
- Gửi thông báo về quyết định đồng thuận cho các nút khác trong mạng.
- Nếu nút hợp lệ thì ký chữ ký bảo lãnh.

2.3 Luồng giao dịch

Luồng giao dịch có các bước sau:



Hình III.1: Luồng giao dịch

1. Khách gửi một giao dịch đến các nút tán thành. Nút tán thành được sử dụng để chứng nhận tính hợp lệ của một giao dịch trước khi nó được gửi đến các nút khác để xác nhận và cam kết trên sổ cái. Nó không lưu trữ trực tiếp các thông tin liên quan đến giao dịch hoặc sổ cái.
2. Khi một giao dịch được gửi đến nút tán thành, nó sẽ thực hiện một số hoạt động để chứng nhận tính hợp lệ của giao dịch đó. Đầu tiên, nó sẽ kiểm tra xác thực của người gửi giao dịch và xác định xem họ có quyền thực hiện giao dịch hay không. Sau đó, nó sẽ thực hiện việc thực thi các hàm chaincode để xác định xem giao dịch có hợp lệ hay không. Với mỗi một lệnh được thực hiện thì ta ghi lại trạng thái đọc và ghi của dữ liệu, gọi là tập ReadWrite (RW) Nếu nút này thấy là giao dịch hợp lệ, nó sẽ tạo một chữ ký bảo lãnh và gửi lại cho người gửi giao dịch.
3. Khi một giao dịch được chứng nhận hợp lệ, khách sẽ gửi giao dịch đó đến các ordering service. Người đặt hàng sẽ xác định thứ tự của các khối dựa trên chữ ký bảo lãnh của nút tán thành và sắp xếp các giao dịch vào các khối tương ứng. Sau đó nó gửi các khối đến toàn bộ nút thành viên.
4. Người cam kết sẽ xác nhận lại các chính sách xác thực một lần nữa. Đồng thời nó kiểm tra hiệu lực của tập RW. Việc xác nhận giao dịch sẽ được lưu vào World- state, còn sổ cái sẽ lưu lại các giao dịch. Khi này, sổ cái được

đồng bộ hóa.

4. Người cam kết sẽ thông báo lại cho ứng dụng là trạng thái của giao dịch.

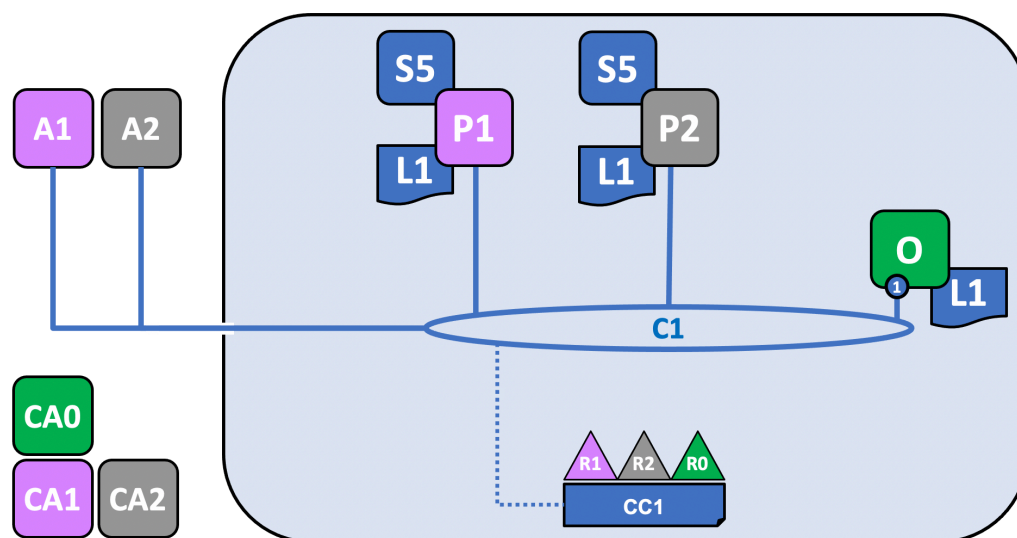
Ứng dụng sẽ thông báo cho các thành viên trong kênh. [5]

3 Cấu trúc mạng Fabric

Mạng Blockchain là một cơ sở hạ tầng kỹ thuật cung cấp sổ cái và hợp đồng thông minh (chaincode) cho các ứng dụng. Chaincode được sử dụng để tạo ra các giao dịch sau đó phân phối cho nút thành viên trong mạng. Người dùng ứng dụng có thể là khách hàng hoặc quản trị viên của mạng blockchain.

Các tổ chức kết hợp với nhau để tạo thành một kênh trong đó các giao dịch được gọi trên chaincode và trong đó các quyền được xác định bởi một bộ chính sách được đồng ý khi kênh được định cấu hình ban đầu. Hơn nữa, các chính sách có thể thay đổi theo thời gian tùy thuộc vào sự đồng ý của các tổ chức.

Đây là một ví dụ mạng cơ bản:



Hình III.2: Mạng Blockchain Hyperledger Fabric

Chương IV

Truy xuất nguồn gốc thực phẩm dựa trên công nghệ Blockchain

1 Đặt vấn đề

Như đã trình bày ở chương II, ta cần tìm ra một mô hình có thể đảm bảo tính toàn vẹn và đáng tin cậy cao, khó bị tấn công từ bên ngoài, và giúp cải thiện tính minh bạch và đáng tin cậy trong quá trình sản xuất và vận chuyển sản phẩm.

1.1 Bài toán truy xuất nguồn gốc thực phẩm

1.2 Cách tiếp cận và giải pháp

Sử dụng nền tảng Hyperledger Fabric.

2 Mô hình hệ thống

2.1 Các thành phần tham gia

Cốt lõi của Business Logic của hệ thống được thực hiện dưới dạng chaincode. Chaincode cung cấp các thao tác cho phép người dùng hệ thống thêm và sửa đổi thông tin trong blockchain một cách an toàn và có thể theo dõi được. Người sử dụng hệ thống là các thành viên chuỗi cung ứng và các bộ phận quản lý. Các thực thể tham gia vào hoạt động của hệ thống là các tổ chức người dùng, trong đó mỗi người dùng được xác định bằng một chứng chỉ do cơ quan chứng nhận liên kết với tổ chức được xác định rõ ràng mới có thể tham gia vào các hoạt động của hệ thống. Trong Hyperledger Fabric, tập hợp các tổ chức tham gia vào

các hoạt động blockchain được xác định trước. Hyperledger Fabric cho phép thêm một tổ chức mới hoặc xóa một tổ chức hiện có trong thời gian chạy bằng cách chuyển một loạt các giao dịch sang blockchain phải được đa số các tổ chức tham gia chấp thuận.

Với hệ thống truy xuất nguồn gốc thực phẩm, thành viên bao gồm:

- Nhà cung cấp giống vật tư: Dữ liệu truy tìm bao gồm thông tin về nguyên liệu thực phẩm nông nghiệp (ví dụ: hạt giống, thuốc trừ sâu và phân bón), giao dịch với người nông dân v.v.
- Nông dân: Dữ liệu truy tìm bao gồm thông tin về các trang trại, quá trình canh tác, điều kiện thời tiết, giao dịch với các nhà sản xuất, ...
- Nhà sản xuất: Dữ liệu truy tìm bao gồm thông tin về các nhà máy, quá trình sản xuất, giao dịch với nông dân và nhà phân phối,...
- Công ty vận chuyển: Dữ liệu truy tìm bao gồm chi tiết vận chuyển, điều kiện lưu trữ, giao dịch với nông dân, nhà phân phối hay nhà sản xuất,...
- Nhà phân phối: Dữ liệu truy tìm bao gồm thông tin về các cửa hàng, quá trình phân phối, ngày nhập hàng, hạn sử dụng, các giao dịch với nhà sản xuất,...

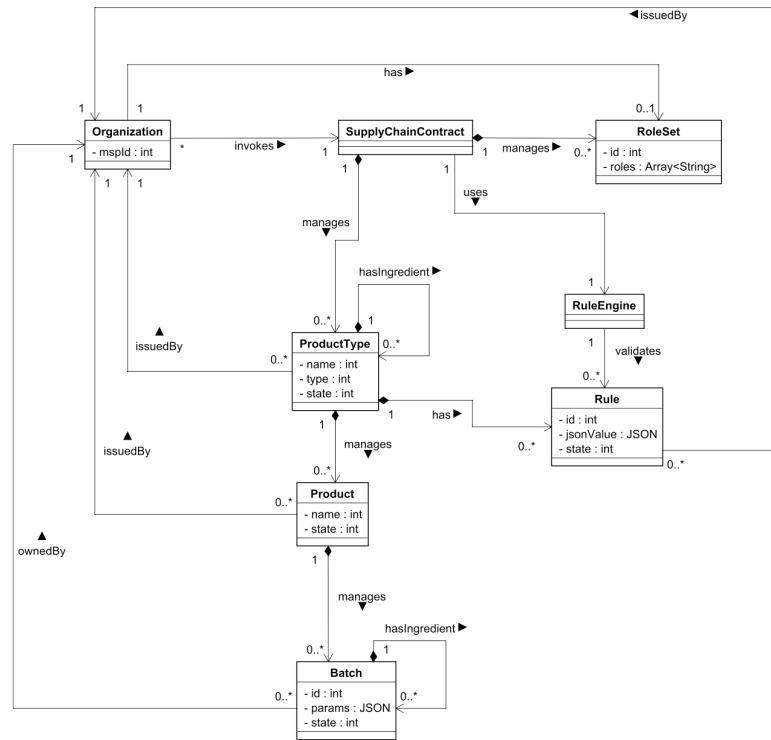
Tuỳ vào từng sản phẩm cụ thể, mô hình có thể thêm hoặc bớt các thành viên tham gia.

2.2 Business Logic

2.2.1 Domain Model

Các tổ chức muốn tham gia vào chuỗi cung ứng sẽ đăng ký tham gia. Để được xác nhận, tổ chức sẽ kí hợp đồng thông minh thể hiện qua chaincode. Nếu thoả mãn hợp đồng, tổ chức sẽ được thêm vào và có một mã định danh ID. Chaincode thể hiện các điều khoản và các cam kết cần thực hiện.

Một loại sản phẩm muốn thêm vào blockchain sẽ được đăng ký thông qua một hợp đồng thông minh. Nó thoả mãn các yêu cầu thì sẽ được thêm vào blockchain. Việc kiểm tra yêu cầu này được thực hiện một cách tự động thông qua các hàm của chaincode. Sản phẩm có một số thuộc tính như ID, type, state,... Một sản phẩm có thể được cấu tạo từ nhiều nguyên liệu, vật tư,... Những nguyên



Hình IV.1: Domain Model của Business Logic

liệu ấy có thể đã được tồn tại trong mạng blockchain. Nếu tồn tại trong mạng blockchain, ta sẽ thêm thuộc tính params để thể hiện mối quan hệ. Nếu không thì ta sẽ yêu cầu giao dịch để ghi thông tin về sản phẩm.

Việc xây dựng Domain Model như này giúp việc quản lý nguồn gốc cũng như xác thực nguồn gốc dễ dàng hơn, như quản lý được sản phẩm được sản xuất từ lô nông sản nào, cũng từ đó truy xuất được nguồn gốc giống của sản phẩm nông sản.

2.2.2 Chaincode (Hợp đồng thông minh)

Chaincode nó được sử dụng để xác định các đầu vào và đầu ra của các giao dịch trên blockchain. Chaincode là một chương trình được viết bằng một trong các ngôn ngữ lập trình được hỗ trợ bởi Hyperledger Fabric.

Các chaincode trong Hyperledger Fabric được phân loại thành hai loại chính: chaincode system và chaincode ứng dụng. Chaincode system được sử dụng để quản lý các thao tác cơ bản trên blockchain như quản lý danh sách thành viên và quản lý quyền truy cập. Chaincode ứng dụng được sử dụng để thực hiện các chức năng cụ thể của ứng dụng, bao gồm quản lý tài sản, thanh toán và đăng ký.

Một số hàm tiêu biểu của chaincode trong hệ thống truy xuất nguồn gốc thực phẩm.

SupplyChainContract
<code>addRoleSet() addProductType() addRule() enableRule() disableRule() blockProductType() unblockProductType() requestProductRegistration() acceptProductRegistration() refuseProductRegistration() blockProduct() unblockProduct() registerBatch() blockBatch() unblockBatch() requestBatchTransfer() acceptBatchTransfer() refuseBatchTransfer() getBatchHistory()</code>

Paint X tile

Hình IV.2: Chaincode

- **addRoleSet():** Thêm một thành viên mới vào hệ thống. Thành viên này có thể là một tổ chức hoặc cá nhân.
- **addProductType():** Thêm một loại sản phẩm mới vào hệ thống. Loại sản phẩm này có thể là sản phẩm chính hoặc sản phẩm phụ.
- **addRule():** Thêm một quy tắc mới vào hệ thống. Quy tắc này có thể là quy tắc chính hoặc quy tắc phụ.
- **enableRule ()** và **disableRule ()**: Cho phép bật và tắt rule qua ruleId.
- **blockProductType()** và **unblockProductType()**: cho phép chặn và mở chặn một loại sản phẩm.
- **requestProductRegistration()**: yêu cầu đăng ký một sản phẩm mới.
- **acceptProductRegistration()** và **refuseProductRegistration()**: cho phép chất nhận hoặc từ chối đăng ký sản phẩm.
- **blockProduct()** và **unblockProduct()**: cho phép chặn và mở chặn một sản phẩm.
- **registerBatxh()**: cho phép một tổ chức đăng ký một lô sản phẩm liên kết với sản phẩm nào đó.

- **blockBatch()** và **unblockBatch()**: cho phép chặn và mở chặn một lô sản phẩm.
- **requestBatchTransfer()**: cho phép một tổ chức yêu cầu chuyển một lô sản phẩm từ một tổ chức khác.
- **acceptBatchTransfer()** và **refuseBatchTransfer()**: cho phép chấp nhận hoặc từ chối chuyển lô sản phẩm.
- **getBatchHistory()**: cho phép lấy lịch sử của một lô sản phẩm.

2.3 Các bước thực hiện

Các bước thực hiện cơ bản của hệ thống truy xuất nguồn gốc thực phẩm như sau:

- **Bước 1:** Các tổ chức đăng ký thành viên vào hệ thống.
 - **1.1:** Các tổ chức tạo peer node.
 - **1.2:** Các peer tham gia vào channel.
 - **1.3:** Tổ chức tạo admin là client trong hệ thống, và yêu cầu tham gia vào channel. Peer node xác thực thông tin của client và cấp quyền.
- **Bước 2:** Các tổ chức đăng ký các loại sản phẩm của riêng mình bằng cách gửi yêu cầu giao dịch. Các bước thực hiện được trình bày ở mục **III.2.2**
- **Bước 3:** Các tổ chức lần lượt thêm các thông tin, các thông tin sẽ được lưu trữ trong các block nối tiếp nhau và sắp xếp theo thời gian. Các peer node sẽ lưu trữ chuỗi block này - hay còn gọi là sổ cái.
- **Bước 4:** Khách hàng đăng nhập vào ứng dụng và nhập mã để yêu cầu truy xuất thông tin sản phẩm. Nếu sản phẩm chỉ thuộc 1 channel, không có nguyên liệu thuộc channel khác thì sẽ trả về thông tin sản phẩm. Ngược lại thì sẽ truy xuất thông tin nguyên liệu của sản phẩm đó và trả về tất cả thông tin sản phẩm.

3 Công nghệ sử dụng

- Docker

- Golang
- Hyperledger Fabric [?]

4 Ứng dụng truy xuất nguồn gốc thực phẩm

Tài liệu tham khảo

Tiếng Anh

- [1] William Stallings (2005), “Message Authentication and Hash Functions”,
Cryptography and Network Security: Principles and Practice, pp.334-344.
- [2] What is SHA-256? (2020). Retrieved from
<https://blog.boot.dev/cryptography/how-sha-2-works-step-by-step-sha-256/>.
- [3] Jeffrey Hoffstein, Jill Pipher and Joseph H. Silverman (2014), *An Introduction to Mathematical Cryptography*.
- [4] Hyperledger Architecture, Volume 1 (2017). Retrieved from
https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/08/Hyperledger_Arch_WG_Paper_1_Consensus.pdf.
- [5] A Blockchain Platform for the Enterprise (2020). Retrieved from
<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.5/>
- [6] Matt Zand, Xun Wu and Mark Anthony Morris (2021), *Hands-On Smart Contract Development with Hyperledger Fabric V2 Building Enterprise Blockchain Applications*.
- [7] Angelo Marchese, Orazio Tomarchio (2022), *A Blockchain-Based System for Agri-Food Supply Chain Traceability Management*.

Danh sách hình vẽ

I.1	Quy trình mã hoá và giải mã	8
I.2	Đường cong elliptic E_1 và E_2	12
I.3	Phép cộng trên đường cong elliptic	13
I.4	Phép cộng điểm P với chính nó	13
I.5	Merkle Tree	19
I.6	Cây Merkle 8 lá	20
I.7	Hệ thống tập trung và phi tập trung	22
I.8	Cấu trúc của 1 khối	24
III.1	Luồng giao dịch	40
III.2	Mạng Blockchain Hyperledger Fabric	41
IV.1	Domain Model của Business Logic	44
IV.2	Chaincode	45

Danh mục các cụm từ dịch sang tiếng anh

STT	Tiếng Việt	Tiếng Anh
01	Hàm băm	Hash Function
02	Bản rõ	Plaintext
03	Bản mã	Ciphertext
04	Khoá công khai	Public Key
05	Khoá bí mật	Private Key
06	Giá trị băm	Hash Value
07	Cây Merkle	Merkle Tree
08	Khối	Block
09	Chuỗi khối	Blockchain
10	Nút	Node
11	Giao thức đồng thuận	Consensus Protocol
12	Cấu trúc phi tập trung	Decentralized Structure
13	Mạng ngang hàng	Peer-to-peer Network
14	Bằng chứng công việc	Proof of Work
15	Bằng chứng cổ phần	Proof of Stake
16	Hợp đồng thông minh	Smart Contract
17	Chữ ký bảo lãnh	Endorsement signature