

CÁO BẠCH

NDAChain

Hạ tầng Chuỗi khối Quốc gia

Kiến trúc Đa chuỗi Phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc,
hướng tới Chủ quyền số, Quản trị Thống nhất và
Đáp ứng nhu cầu Dịch vụ công.

NDACHain: Hạ tầng Chuỗi khối Quốc gia Việt Nam

Kiến trúc Đa chuỗi Phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc, hướng tới Chủ quyền số, Quản trị Thống nhất và Đáp ứng nhu cầu Dịch vụ công

Tóm tắt

NDACHain là hạ tầng chuỗi khối (blockchain) quốc gia có chủ quyền của Việt Nam, được kiến tạo nhằm hiện thực hóa mục tiêu chủ quyền số, quản trị thống nhất và cung cấp hạ tầng dịch vụ đảm bảo hiệu năng cao trên toàn quốc. Với thiết kế kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc, NDACHain giải quyết bài toán đặc thù của một quốc gia quy mô trung bình với thể chế thống nhất: vừa giữ vững vai trò giám sát tập trung, vừa giữ được khả năng mở rộng linh hoạt theo từng lĩnh vực.

Trung tâm của hệ sinh thái NDACHain là Chuỗi khối gốc có cấp phép (Permissioned Rootchain) - gọi là NDACHain Trust Layer - đảm nhiệm vai trò nguồn sự thật duy nhất và trung tâm điều khiển cho toàn bộ mạng lưới. Chuỗi khối gốc neo định danh phi tập trung (Decentralized Identifier – DID) cho mọi thực thể tham gia và thực thi chính sách quốc gia thông qua một khung quản trị chặt chẽ, trong đó có Khóa quản trị đặc biệt vận hành theo cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n để xử lý nhanh các tình huống khẩn cấp mà vẫn đảm bảo ghi nhận và lưu vết dữ liệu đầy đủ phục vụ truy vết và đối soát khi cần. Bên ngoài Chuỗi khối gốc là các Chuỗi nghiệp vụ (Domain Chains) chuyên biệt, cho phép mở rộng đồng thời theo chiều ngang (bổ sung thêm chuỗi mới theo nhu cầu từng lĩnh vực) và theo chiều dọc (tối ưu hiệu năng độc lập trong từng chuỗi). Thiết kế này hiện thực hóa trực tiếp mô hình lý thuyết được trình bày trong bài báo học thuật đi kèm, biến những lý thuyết khoa học thành một nền tảng quốc gia sẵn sàng đưa vào triển khai và vận hành.

Một đổi mới quan trọng của NDACHain là ChainHub (Trung tâm điều phối liên chuỗi) - lớp tương tác liên chuỗi xây dựng trên Cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể (Chain-as-Entity Identity). Theo cơ chế này, mỗi Chuỗi nghiệp vụ là một chủ thể độc lập được định danh với mã định danh (DID) riêng và bộ Chứng chỉ số (VC) chi tiết. Nhờ đó, công cụ phân quyền thời gian thực thi (Runtime Authorization Engine) có thể vận hành theo cơ chế xác thực hai lớp, kết hợp giữa bằng chứng trạng thái mật mã và kiểm soát phân quyền theo định danh. Các Chuỗi nghiệp vụ có thể tương tác trực tiếp với nhau thông qua Bằng chứng số (VP) mà không cần truy vấn Chuỗi khối gốc cho từng giao dịch, qua đó giảm tải đáng kể cho lớp trung tâm mà vẫn giữ được khả năng truy vết toàn quốc theo thời gian thực. NDACHain được thiết kế theo kiến trúc trung lập về công nghệ, cho phép các chuỗi khối hiện hữu (ví dụ: chuỗi tương thích EVM, chuỗi doanh nghiệp có cấp phép, chuỗi tùy biến hay chuỗi cấp 2 - Layer-2 blockchain) tham gia mà không cần điều chỉnh phần lõi.

Tích hợp vào NDACHain là Nền tảng lưu trữ tài liệu an toàn (NDA SFS) - một lớp lưu trữ phi tập trung có chủ quyền với hệ thống phân tầng theo địa chính trị (địa phương, vùng miền và quốc gia), được mã hóa đầu cuối (End-to-End Encryption – E2EE) và kiểm soát truy cập theo định danh. Mọi nghiệp vụ công trọng yếu đều được vận hành miễn phí (gas-free) hoặc gần như không tốn chi phí trên NDACHain, phù hợp với chiến lược chuyển đổi số quốc gia.

Kết quả đo lường trên phiên bản thử nghiệm, môi trường kiểm thử quy mô quốc gia (national testnet) và các triển khai vận hành thí điểm cho thấy NDACHain đạt hiệu năng đáng tin cậy: Chuỗi khối gốc duy trì khoảng 1.200 giao dịch ghi nhận trên mỗi giây (write transactions per second - write TPS) với tính bất biến (Finality) dưới 2,5 giây, và tổng thông lượng toàn hệ sinh thái vượt 100.000 TPS với sự tham gia của các Chuỗi nghiệp vụ. Hệ thống đạt thời gian hoạt động liên tục từ 99,95% trở lên, với các nút xác thực (Validator nodes) đặt trải khắp ba khu vực Bắc – Trung – Nam, đem lại độ trễ thấp ổn định cho các nghiệp vụ quản trị và hoạt động liên chuỗi ở quy mô toàn quốc.

NDACHain là một thiết kế cân bằng thực tiễn giữa hệ thống công nghệ phi tập trung và cơ chế giám sát nhà nước - đặc biệt phù hợp với quốc gia có quy mô trung bình và mô hình quản trị đơn nhất như Việt Nam. So với các hệ thống liên minh quy mô lớn như BSN (Trung Quốc) hay EBSI (Liên minh châu Âu), NDACHain vượt trội về khả năng kiểm soát thống nhất, truy vết tức thời, giảm lược trong quản trị nhưng lại tăng cường tốc độ phản ứng khẩn cấp và đồng thời thu hẹp đáng kể bề mặt tấn công.

Bằng việc neo định danh số quốc gia, hỗ trợ chia sẻ dữ liệu an toàn, truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng và các dịch vụ công điện tử trên một nền tảng có chủ quyền duy nhất, NDACHain đặt nền móng cho sự phát triển của nền kinh tế số Việt Nam. Đây là bước hiện thực hóa định hướng Chiến lược quốc gia về ứng dụng và phát triển công nghệ chuỗi khối (blockchain) đến năm 2025, định hướng đến năm 2030 (gọi tắt là Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia) tại Quyết định số 1236/QĐ-TTg, đồng thời thiết lập nền tảng chuỗi khối có khả năng mở rộng, an toàn và kiểm soát được cho mục tiêu chủ quyền số dài hạn của Việt Nam.

Mục lục

Tóm tắt.....	1
Mục lục.....	2
1. Giới thiệu.....	4
2. Cơ sở thiết kế và Bối cảnh quốc gia.....	4
2.1 Thách thức của các thiết kế chuỗi khối quốc gia hiện hữu.....	5
2.2 Yêu cầu đặc thù đối với Việt Nam.....	5
2.3 Kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc.....	6
2.4 Sự phù hợp với chiến lược số quốc gia.....	6
3. Kiến trúc tổng thể của NDACHain.....	6
3.1 Kiến trúc bốn lớp.....	7
3.2 Các thành phần cốt lõi và vai trò.....	7
3.3 Các nguyên tắc thiết kế cốt lõi.....	7
3.4 Luồng hệ thống tổng thể.....	8
4. Chuỗi khối gốc (NDACHain Rootchain) – Lớp niềm tin và quản trị.....	9
4.1 Vai trò và mục tiêu thiết kế.....	9
4.2 Triển khai kỹ thuật.....	9
4.3 Cấu trúc mạng và mô hình nút xác thực.....	9
4.4 Khóa ủy thác (Trustee Keys) và Khóa quản trị đặc biệt.....	10
4.5 Quản lý định danh và chứng chỉ.....	10
4.6 Công cụ phân quyền thời gian thực thi.....	10
4.7 Cơ chế quản trị và nâng cấp.....	11
5. ChainHub – Trung tâm điều phối liên chuỗi.....	11
5.1 Mô hình cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể.....	11
5.2 Cơ chế phân quyền thời gian thực thi hai lớp.....	12
5.3 Tương tác liên chuỗi trực tiếp qua bằng chứng số.....	12
5.4 Xác minh và hợp nhất chứng chỉ trên và ngoài chuỗi.....	12
5.5 Quản trị vòng đời chứng chỉ.....	13
6. Tiêu chuẩn tương thích với chuỗi khối Quốc gia và bộ tích hợp.....	13
7. Chuỗi nghiệp vụ phục vụ nhu cầu chuyên ngành.....	14
7.1 Mục đích và nguyên tắc thiết kế.....	14
7.2 Các loại Chuỗi nghiệp vụ.....	14
7.3 Kiến trúc của một Chuỗi nghiệp vụ.....	15
7.4 Cơ chế Trust Oracle.....	16
7.5 Lợi ích về khả năng mở rộng.....	16
7.6 Hệ sinh thái Chuỗi nghiệp vụ.....	16
8. Lưu trữ Phi tập trung Có Chủ quyền – NDA SFS.....	16
8.1 Mục tiêu và nguyên tắc thiết kế.....	16
8.2 Kiến trúc lưu trữ phân tầng.....	17
8.3 Các thành phần kỹ thuật chính.....	17
8.4 Luồng truy cập và chia sẻ dữ liệu.....	17
8.5 Tính năng bảo mật và tuân thủ.....	18
8.6 Giá trị chiến lược.....	18
9. Bảo mật, quyền riêng tư và khả năng phục hồi.....	18
9.1 Tổng quan kiến trúc bảo mật.....	19
9.2 Các biện pháp kiểm soát bảo mật đa lớp.....	19
9.3 Bảo vệ quyền riêng tư.....	19
9.4 Khả năng phục hồi và sẵn sàng Cao.....	20
9.5 Tuân thủ và chứng nhận.....	20
9.6 Khả năng chống lượng tử và mật mã linh hoạt.....	21
10. Quản trị, vận hành và quản lý hệ sinh thái.....	21
10.1 Nguyên tắc quản trị.....	21
10.2 Mô hình quản trị ba lớp.....	21

10.3 Khóa ủy thác và quản trị khẩn cấp.....	22
10.4 Tiếp nhận nút xác thực và đối tượng tham gia.....	22
10.5 Mô hình vận hành.....	22
10.6 Phát triển hệ sinh thái.....	23
11. Tình trạng triển khai và hiệu năng.....	23
11.1 Tình trạng triển khai hiện tại.....	24
11.2 Kết quả Hiệu năng.....	24
11.3 Các trường hợp sử dụng thí điểm.....	25
11.4 Bài học và tối ưu liên tục.....	25
12. Phân tích so sánh và lợi thế chiến lược.....	25
12.1 So sánh với các mô hình quốc tế.....	25
12.2 Các lợi thế so sánh chính.....	26
12.3 So sánh định lượng.....	27
12.4 Lợi thế chiến lược cho Việt Nam.....	27
13. Kết luận.....	27

1. Giới thiệu

Việt Nam đang tăng tốc trên hành trình chuyển đổi số, với mục tiêu xây dựng một hạ tầng số an toàn, có chủ quyền và đủ năng lực mở rộng để phục vụ cả dịch vụ công lẫn phát triển kinh tế. Với dân số khoảng 100 triệu người và mô hình quản trị đơn nhất, đất nước cần một nền tảng chuỗi khối quốc gia bảo đảm cùng lúc nhiều yêu cầu: chủ quyền số, quản trị thống nhất, tuân thủ pháp luật, đảm bảo lãnh thổ dữ liệu trên không gian số và năng lực mở rộng cao trên nhiều lĩnh vực.

Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia đã đặt ra những ưu tiên rõ ràng: khẳng định chủ quyền số, giữ dữ liệu trong lãnh thổ quốc gia, hỗ trợ quản trị thống nhất và truy xuất nguồn gốc, đồng thời cung cấp dịch vụ chuỗi khối có khả năng mở rộng cho cả khu vực công và khu vực tư. Một hệ thống đơn chuỗi tập trung sẽ nhanh chóng vướng vào nút thắt hiệu năng và sự cứng nhắc; ở chiều ngược lại, các mô hình phi tập trung hoàn toàn hoặc liên minh lỏng lẻo lại có nguy cơ phân mảnh thẩm quyền và làm phức tạp việc đối soát cũng như thực thi chính sách ở cấp quốc gia.

Để dung hòa các yêu cầu trên, NDACHain được kiến tạo theo kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc. Lõi của hệ thống là một Chuỗi khối gốc có cấp phép (NDACHain Trust Layer) - đóng vai trò trung tâm điều khiển và nguồn sự thật duy nhất cho toàn hệ sinh thái. Xoay quanh là các Chuỗi nghiệp vụ chuyên biệt, kế thừa dữ liệu định danh, hệ thống tin cậy và chính sách quản trị từ Chuỗi khối gốc nhưng vẫn độc lập về cơ chế đồng thuận, tối ưu hiệu năng và nhu cầu nghiệp vụ.

Cách tiếp cận phân tầng cho phép hệ thống mở rộng theo cả hai chiều: chiều ngang khi cần thêm Chuỗi nghiệp vụ cho các lĩnh vực mới như định danh số, truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng, hồ sơ y tế, văn bằng giáo dục, dịch vụ tài chính hay chính phủ điện tử; và chiều dọc khi cần tinh chỉnh năng lực bên trong từng chuỗi. Chuỗi khối gốc chịu trách nhiệm các đầu việc cốt lõi, bao gồm phê duyệt danh sách (whitelist) cho phép các chuỗi tham gia, neo định danh qua DID, ban hành và quản lý vòng đời VC, phân quyền liên chuỗi và lưu giữ bằng chứng kiểm soát có thể xác minh cho mọi hoạt động liên chuỗi.

Một điểm đặc trưng của NDACHain là Cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể (Chain-as-Entity Identity) - tức mỗi Chuỗi nghiệp vụ được nhìn nhận như một chủ thể độc lập được định danh với mã định danh (DID) riêng. Đây chính là cơ sở cho cơ chế phân quyền thời gian thực thi hai lớp - vừa kiểm tra bằng chứng trạng thái mật mã, vừa kiểm soát phân quyền theo định danh. Khi hai chuỗi cần tương tác trực tiếp với nhau, chúng có thể trao đổi bằng VP mà không phải truy vấn về Chuỗi khối gốc, qua đó giúp giảm tải hệ thống mà vẫn duy trì khả năng truy vết toàn quốc theo thời gian thực.

Đi cùng với các lớp chuỗi khối là Nền tảng lưu trữ tài liệu an toàn (NDA SFS) - lớp lưu trữ phi tập trung phân tầng có chủ quyền, đảm bảo việc chia sẻ dữ liệu được mã hóa đầu cuối, lấy định danh làm trung tâm và tuân thủ đầy đủ các quy định của Việt Nam về bảo vệ dữ liệu cá nhân và lãnh thổ dữ liệu.

Bản cáo bạch này trình bày toàn diện kiến trúc NDACHain, từ thiết kế kỹ thuật, cơ chế quản trị, đặc tính bảo mật cho tới hiệu năng thực tế. Tài liệu sẽ làm rõ vì sao NDACHain đạt được sự cân bằng thực tiễn giữa giám sát tập trung mạnh và năng lực thực thi linh hoạt theo lĩnh vực - yếu tố đặc biệt phù hợp với bối cảnh và mục tiêu chiến lược của Việt Nam.

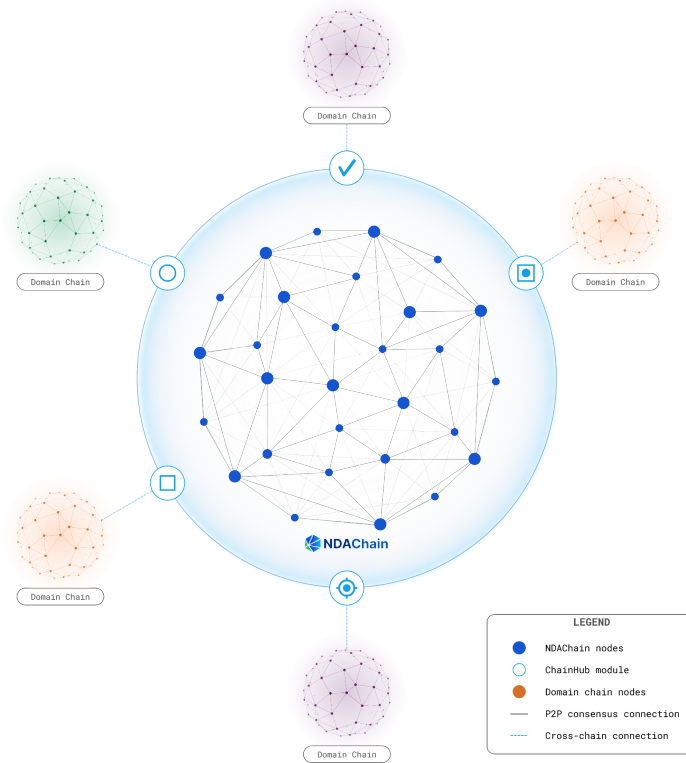
Phần còn lại của bản cáo bạch được tổ chức như sau: Mục 2 trình bày cơ sở thiết kế và bối cảnh quốc gia; Mục 3 giới thiệu kiến trúc tổng thể; Mục 4 đi sâu vào Chuỗi khối gốc; Mục 5 mô tả ChainHub; các Mục 6-9 lần lượt đề cập đến Chuỗi nghiệp vụ, lưu trữ có chủ quyền, an ninh và quản trị; Mục 10 trình bày tình trạng triển khai và kết quả hiệu năng; Mục 11 cung cấp phân tích so sánh và lợi thế chiến lược của NDACHain.

2. Cơ sở thiết kế và Bối cảnh quốc gia

Nền kinh tế số Việt Nam đang phát triển nhanh, được thúc đẩy bởi cam kết mạnh mẽ của Chính phủ với chuyển đổi số, dịch vụ công điện tử và hạ tầng dữ liệu an toàn. Đồng bộ với mục tiêu đó, Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia vạch ra những ưu tiên rõ ràng: khẳng định chủ quyền số, quản lý dữ liệu trong lãnh thổ quốc gia, hỗ trợ quản trị thống nhất và truy xuất nguồn gốc, đồng thời cung cấp dịch vụ chuỗi khối có khả năng mở rộng cho cả khu vực công và khu vực tư.

Những mục tiêu này tạo ra một bộ yêu cầu đặc thù - Việt Nam cần một hạ tầng chuỗi khối vừa có năng lực thực thi chính sách tập trung mạnh và khả năng đối soát cấp quốc gia, vừa đủ sức phục vụ các ứng dụng nghiệp vụ chuyên ngành đòi hỏi hiệu suất hạ tầng cao. Một chuỗi khối cơ bản duy nhất sẽ sớm chạm ngưỡng về hiệu năng và khó đáp ứng các nhu cầu sử dụng đa dạng - từ định danh số, truy xuất nguồn gốc, hồ sơ y tế, văn bằng giáo dục cho đến chính phủ điện tử. Trong khi đó, các mô hình phi tập trung hoàn toàn hay liên minh lỏng lẻo lại tiềm ẩn rủi ro phân mảnh quyền kiểm soát, suy giảm khả năng truy vết và làm phức tạp công tác tuân thủ.

Hình 1: Tổng quan hệ sinh thái chuỗi khối Việt Nam



2.1 Thách thức của các thiết kế chuỗi khối quốc gia hiện hữu

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy có những cân nhắc và đánh đổi rõ rệt khi thiết kế chuỗi khối quốc gia. Dưới đây là phân tích sơ lược một số nền tảng chuỗi khối quốc gia tiêu biểu trên thế giới:

- Blockchain-based Service Network (BSN) của Trung Quốc đi theo mô hình liên minh "mạng của các mạng". Mô hình đạt quy mô khổng lồ nhờ chuẩn hóa và phối hợp chính sách, nhưng lại hạn chế ở khả năng truy vết kỹ thuật và quản trị thống nhất giữa các chuỗi tham gia.
- European Blockchain Services Infrastructure (EBSI) của Liên minh châu Âu lựa chọn mạng chuỗi khối có cấp phép theo mô hình kết nối ngang hàng giữa các nước thành viên. Hệ thống ưu tiên khả năng tương tác xuyên biên giới và định danh tự chủ (Self-Sovereign Identity), đồng thời được thiết kế theo định hướng không bên nào quản lý gốc kỹ thuật trung tâm để tôn trọng chủ quyền và tiếng nói của các quốc gia thành viên. Tuy nhiên, kiến trúc này dẫn đến một số hạn chế về sự phức tạp trong việc phối hợp và sự hạn chế trong khả năng đối soát theo thời gian thực.
- Khung Chuỗi khối Vishvasya của Ấn Độ triển khai mô hình Blockchain-as-a-Service (hạ tầng chuỗi khối dịch vụ phân tán) phục vụ dịch vụ công. Dù được điều phối tập trung ở cấp độ chính sách, mô hình này thiếu một lớp kiểm soát có thẩm quyền duy nhất để bảo đảm sự nhất quán trong giám sát liên chuỗi.

Các kiến trúc trên phù hợp với từng bối cảnh tương ứng - quy mô rất lớn (Trung Quốc, Ấn Độ) hoặc tương tác đa chủ quyền (EU). Tuy nhiên, chúng không phải lựa chọn tối ưu cho một quốc gia có quy mô trung bình và đơn nhất về quản trị như Việt Nam, nơi số Chuỗi nghiệp vụ trong hệ sinh thái vẫn ở mức quản lý được (dự kiến vài chục đến hơn một trăm trong giai đoạn đầu) và đảm bảo quyền giám sát quốc gia là ưu tiên chiến lược.

2.2 Yêu cầu đặc thù đối với Việt Nam

Trên cơ sở Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia và các khung kiến trúc số quốc gia (Quyết định số 3090/QĐ-BKHCN và Quyết định số 2439/QĐ-TTg), NDACHain phải đáp ứng một số yêu cầu cốt lõi.

Về chiến lược và quản trị

- Bảo đảm chủ quyền số trọn vẹn và toàn bộ dữ liệu nằm trong lãnh thổ Việt Nam.
- Kiểm soát thống nhất của nhà nước, có quy định trách nhiệm rõ ràng và khả năng đối soát tức thời với mọi nghiệp vụ trọng yếu.
- Hỗ trợ hiệu quả KYC/AML/CFT, bảo vệ dữ liệu cá nhân (Luật Bảo vệ dữ liệu cá nhân số 91/2025/QH15) và đảm bảo giá trị pháp lý của giao dịch điện tử.

- Năng lực thực thi chính sách hiệu quả và phản ứng nhanh trong các tình huống khẩn cấp ở cấp quốc gia.

Về kỹ thuật và vận hành

- Khả năng mở rộng linh hoạt theo cả chiều ngang (bổ sung Chuỗi nghiệp vụ mới) lẫn chiều dọc (tăng cường hiệu năng mỗi chuỗi hiện hữu).
- Phân hóa hiệu năng với Chuỗi khối gốc đảm bảo các cơ chế lỗi và chính sách hệ thống được Lớp điều khiển (Control plane) quản lý ổn định, trong khi các Chuỗi nghiệp vụ đảm bảo khả năng xử lý và duy trì thông lượng cao cho toàn hệ thống.
- Tương tác liên chuỗi an toàn và có kiểm soát mà không làm yếu đi năng lực giám sát.
- Áp dụng nguyên tắc bảo mật và quyền riêng tư theo thiết kế, bao gồm mã hóa đầu cuối, bằng chứng không tri thức (Zero-Knowledge Proofs - ZKP) và thu hồi quyền theo thời gian thực.
- Độ sẵn sàng cao (mục tiêu thời gian hoạt động liên tục trên 99,95%) và khả năng phục hồi trước các sự cố cục bộ.
- Vận hành miễn phí hoặc gần như không tốn chi phí cho dịch vụ công, qua đó thúc đẩy mức độ ứng dụng rộng rãi cho nền tảng.

2.3 Kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc

NDACHain đáp ứng những yêu cầu trên thông qua kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc. Trong đó, Chuỗi khối gốc có cấp phép (Permissioned blockchain) đóng vai trò là điểm neo niềm tin và lớp quản trị trung tâm. Mọi Chuỗi nghiệp vụ đều phải đăng ký định danh trên Chuỗi khối gốc và thông qua xác nhận chứng chỉ năng lực trước khi tham gia hệ sinh thái - qua đó hình thành một nguồn sự thật duy nhất cho định danh, phân quyền và đối soát, trong khi các Chuỗi nghiệp vụ vẫn vận hành độc lập với mức hiệu năng đáp ứng nhu cầu của từng ngành.

Cách thiết kế này mang lại nhiều lợi thế cho Việt Nam, bao gồm:

- Giám sát thống nhất: Chuỗi khối gốc tập trung mọi hoạt động quản lý danh sách cho phép, đối soát định kỳ, truy vết liên chuỗi và lưu giữ bằng chứng kiểm soát trên một hệ thống thẩm quyền duy nhất.
- Khả năng mở rộng mà vẫn đảm bảo cân bằng: Lớp điều khiển (vận hành hệ thống quản trị, định danh, phân quyền) duy trì ổn định trên Chuỗi khối gốc, trong khi mức hiệu năng thực thi mở rộng độc lập trên các Chuỗi nghiệp vụ.
- Quản trị linh hoạt: Việc thay đổi phân quyền chuỗi khối, vai trò hay quyền truy cập có thể được áp dụng linh động và có hiệu lực ngay trên toàn hệ sinh thái.
- Giảm độ phức tạp: Khi số Chuỗi nghiệp vụ ở mức vừa phải, một Chuỗi khối gốc duy nhất được bảo vệ tốt sẽ thực tiễn và an toàn hơn nhiều so với việc quản lý hàng trăm nút độc lập hoặc phối hợp ngang hàng phức tạp.

Kiến trúc cũng tích hợp lớp lưu trữ phi tập trung có chủ quyền (NDA SFS) với hệ thống nút phân tầng theo địa chính trị (địa phương, vùng miền và quốc gia), kèm kiểm soát truy cập theo định danh nghiêm ngặt. Nhờ vậy, dữ liệu vừa nằm trong lãnh thổ quốc gia, vừa có thể được chia sẻ an toàn giữa các cơ quan nhà nước, doanh nghiệp và công dân với sự kiểm soát của chủ sở hữu dữ liệu.

2.4 Sự phù hợp với chiến lược số quốc gia

NDACHain bám sát kiến Khung trúc tổng thể quốc gia số của Việt Nam, bao gồm khung kiến trúc bốn lớp và các yêu cầu về tương tác, an toàn thông tin cấp độ 4 và chủ quyền dữ liệu. Hệ thống có thể tích hợp liền mạch với các nền tảng quốc gia trọng yếu như Cổng Dịch vụ công Quốc gia, VNeID và các hệ thống số khác.

Bằng cách kết hợp kiểm soát tập trung ở Chuỗi khối gốc với năng lực thực thi linh hoạt, chuyên biệt trên các Chuỗi nghiệp vụ, NDACHain đem đến một nền tảng vừa thực tiễn vừa bền vững cho tương lai. Kiến trúc tránh được hai thái cực - vừa không tập trung hoàn toàn (kéo theo hạn chế hiệu năng) vừa không phi tập trung hoàn toàn (kéo theo mất kiểm soát) - và mang lại điểm cân bằng tối ưu cho quy mô, mô hình quản trị và ưu tiên chiến lược của Việt Nam.

3. Kiến trúc tổng thể của NDACHain

NDACHain được thiết kế theo kiến trúc đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc, dung hòa giữa kiểm soát quốc gia và khả năng mở rộng linh hoạt. Toàn bộ hạ tầng chuỗi khối quốc gia được tổ chức thành bốn lớp logic, vừa phân tách rạch ròi trách nhiệm, vừa bảo đảm quản trị và niềm tin thống nhất.

3.1 Kiến trúc bốn lớp

NDACHain gồm các lớp sau:

1. **Lớp hạ tầng (Infrastructure Layer):** Lớp hạ tầng vật lý và kết nối mạng, bao gồm máy chủ, trung tâm dữ liệu, thiết bị mạng và hệ thống bảo mật rải khắp Việt Nam. Đây là phần phần cứng và kết nối cho mục tiêu sẵn sàng cao và khả năng phục hồi. Các nút được phân bố trên ba khu vực Bắc – Trung – Nam để bảo đảm dự phòng và truy cập có độ trễ thấp.
2. **Lớp nền tảng tin cậy (NDACHain Rootchain):** Chuỗi khối gốc có cấp phép đóng vai trò điểm neo niềm tin trung tâm và trung tâm điều khiển cho toàn hệ sinh thái. Lớp này đảm trách quản lý định danh quốc gia, quản trị, phân quyền và giám sát liên chuỗi. Mọi quyết định và dữ liệu đối soát quan trọng đều được neo tại đây - biến Chuỗi khối gốc thành nguồn sự thật duy nhất.
3. **Lớp nghiệp vụ và thực thi (Domain & Execution Layer):** Lớp gồm nhiều Chuỗi nghiệp vụ chuyên biệt, đảm trách logic nghiệp vụ thực tế và phần lớn giao dịch khối lượng cao. Mỗi Chuỗi nghiệp vụ vận hành độc lập nhưng được tích hợp qua ChainHub, kế thừa định danh, niềm tin và quyền hạn từ Chuỗi khối gốc. Chính sự phân tách này giúp đáp ứng nhu cầu hiệu năng chuyên ngành mà không làm quá tải lớp điều khiển.
4. **Lớp ứng dụng (Application Layer):** Lớp trên cùng, nơi các ứng dụng người dùng cuối, dịch vụ công, hệ thống doanh nghiệp và dApp tương tác với hạ tầng. Lớp này gồm các ứng dụng cốt lõi của NDA - như Ứng dụng quản lý danh tính tự chủ NDAKey, Nền tảng định danh, xác thực và truy xuất nguồn gốc hàng hóa NDATrace và Nền tảng lưu trữ tài liệu an toàn NDA Drive - cùng các ứng dụng hệ sinh thái do bộ ngành, địa phương và đối tác tư nhân phát triển.

3.2 Các thành phần cốt lõi và vai trò

- **Chuỗi khối gốc NDACHain (Lớp niềm tin và kiểm soát):** Chuỗi khối gốc được triển khai dưới dạng chuỗi khối có cấp phép (permissioned blockchain), dùng cơ chế đồng thuận bằng chứng phân quyền (Proof-of-Authority – PoA) kết hợp với giao thức QBFT (Quorum Byzantine Fault Tolerance) để đạt độ trễ thấp và tính bất biến tất định. Chuỗi khối gốc quản lý sổ đăng ký DID (DID Registry), các VC dành cho Chuỗi nghiệp vụ và thực thể, cùng công cụ phân quyền thời gian thực thi (Runtime Authorization Engine). Mọi Chuỗi nghiệp vụ đều phải đăng ký và nhận chứng chỉ năng lực tại Chuỗi khối gốc trước khi tham gia hệ sinh thái chuỗi khối quốc gia. Chuỗi khối gốc cũng lưu giữ nhật ký đối soát bất biến cho các hoạt động liên chuỗi quan trọng.
- **Chuỗi nghiệp vụ (Lớp thực thi theo lĩnh vực):** Là các chuỗi khối có cấp phép độc lập, được tinh chỉnh cho từng lĩnh vực hoặc nhu cầu sử dụng chính phủ và tổ chức - truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng, hồ sơ y tế, văn bằng giáo dục, dịch vụ tài chính, chính phủ điện tử... Các tham số đồng thuận và cấu hình hiệu năng được lựa chọn tùy theo nhu cầu đặc thù của mỗi lĩnh vực. Mỗi Chuỗi nghiệp vụ kết nối với Chuỗi khối gốc qua ChainHub để xác minh an toàn trạng thái định danh và quyền hạn.
- **NDA SFS (Lớp lưu trữ và chia sẻ tài liệu an toàn):** Hệ thống lưu trữ phi tập trung phân tầng có chủ quyền, là nền tảng hỗ trợ cho các lớp chuỗi khối. Dữ liệu được mã hóa ngay tại thiết bị ban đầu bằng cặp khóa gắn với DID của chủ sở hữu dữ liệu, sau đó được phân mảnh và phân phối trên các nút lưu trữ địa phương, vùng miền và quốc gia. Quyền truy cập được kiểm soát thông qua VC và VP - đúng nguyên tắc Zero-Trust (không tín nhiệm), nghĩa là các nút lưu trữ không thể đọc dữ liệu dạng văn bản gốc trừ khi được chủ sở hữu cấp phép.
- **ChainHub (Khung tương tác và phân quyền):** ChainHub là trung tâm điều phối liên chuỗi. Trong khi Chuỗi khối gốc chịu trách nhiệm quản trị các sự kiện trọng yếu, ChainHub cho phép các Chuỗi nghiệp vụ tương tác trực tiếp với nhau qua VP và cơ chế phân quyền dựa trên định danh. Mô hình kết hợp này giúp giảm tải đáng kể cho Chuỗi khối gốc nhưng vẫn giữ được khả năng đối soát toàn quốc và thu hồi quyền theo thời gian thực.

3.3 Các nguyên tắc thiết kế cốt lõi

Kiến trúc NDACHain bám theo một số nguyên tắc rút ra từ yêu cầu quốc gia:

- Mô hình kiểm soát thống nhất với khả năng triển khai phân tán: Quản trị và neo định danh tập trung trên Chuỗi khối gốc, còn khả năng chịu tải cho triển khai đa ngành được trải đều trên các Chuỗi nghiệp vụ.
- Khả năng kết nối trung lập về công nghệ: Chuỗi nghiệp vụ có thể được xây trên nhiều phương thức khác nhau (ví dụ: chuỗi tương thích EVM, chuỗi doanh nghiệp có cấp phép, chuỗi tùy biến hay chuỗi cấp 2), miễn là tích hợp được với cơ chế định danh và phân quyền của Chuỗi khối gốc.

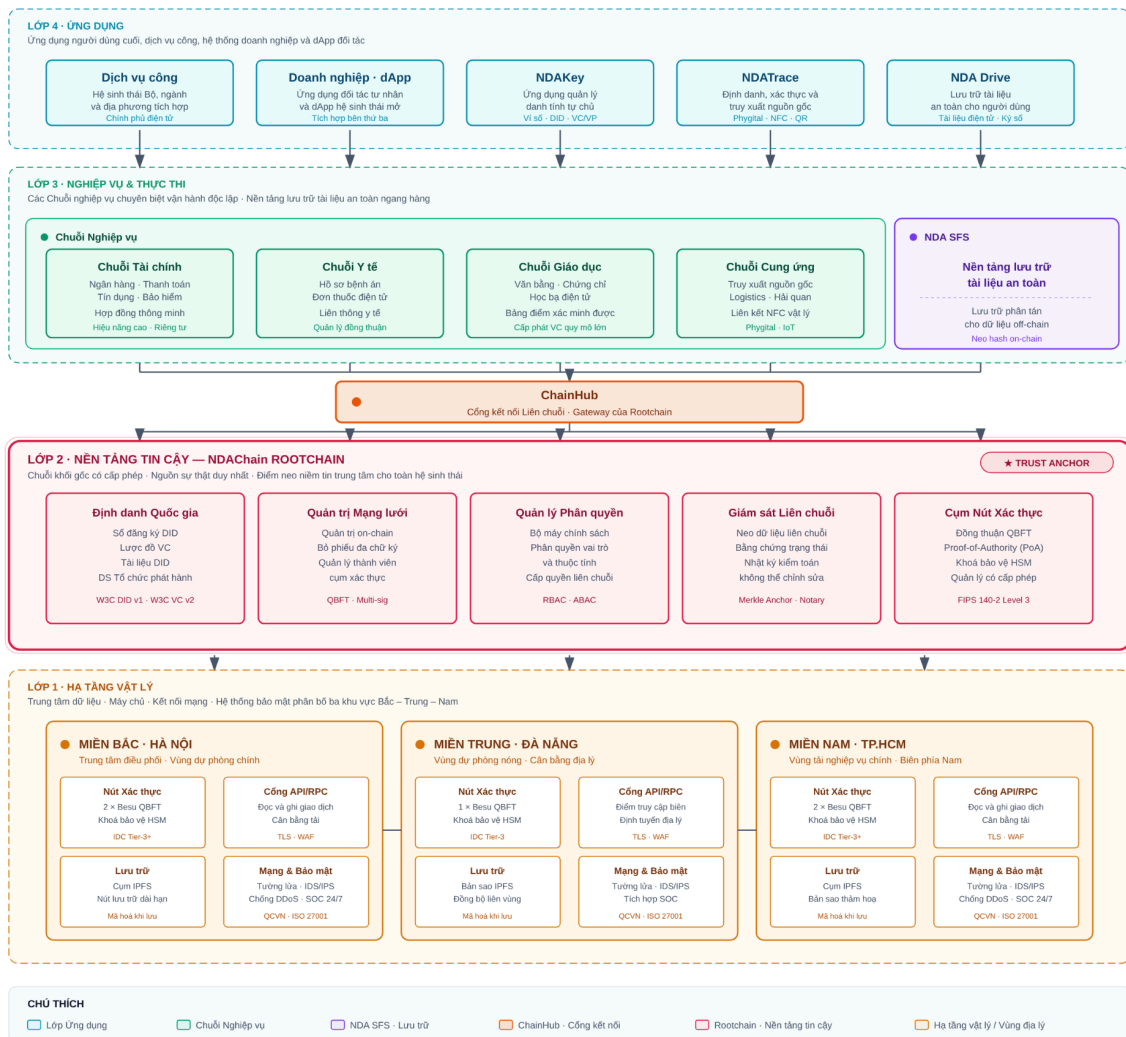
- Bảo đảm an ninh dựa trên kiểm soát định danh: Mỗi Chuỗi nghiệp vụ và thực thể quan trọng tham gia vào hệ thống đều có mã định danh phi tập trung (DID) riêng. Quyền hạn được quy định và quản lý qua các VC chi tiết, hỗ trợ cho kiểm soát truy cập tinh vi, linh động và có thể đổi soát.
- Mô hình miễn phí cho dịch vụ công: Chuỗi khối gốc vận hành với phí gas (gas fee) bằng 0 cho khu vực công, thúc đẩy việc ứng dụng chuỗi khối rộng rãi giữa các cơ quan nhà nước và công dân.
- Tính sẵn sàng cao và phục hồi tốt: Các nút xác thực được phân bố theo địa lý, kèm khả năng chịu lỗi và cơ chế chuyển đổi dự phòng tự động hướng tới mục tiêu thời gian hoạt động liên tục trên 99,95%.

3.4 Luồng hệ thống tổng thể

Khi một Chuỗi nghiệp vụ cần tương tác với Chuỗi nghiệp vụ khác hoặc gửi cập nhật trạng thái quan trọng vào Chuỗi khối gốc, dòng chảy nghiệp vụ diễn ra như sau:

1. Chuỗi bên gửi sẽ xuất trình định danh (DID) và chứng chỉ năng lực dưới dạng VP.
2. Chuỗi bên nhận hoặc Chuỗi khối gốc thực hiện cơ chế xác thực hai lớp: bằng chứng mật mã và kiểm tra định danh.
3. Các tương tác đã được phê duyệt được xử lý, và những sự kiện quan trọng được neo trở về Chuỗi khối gốc để bảo đảm khả năng đổi soát.
4. Mọi truy cập tới dữ liệu trên NDA SFS đều được kiểm soát theo cùng nguyên tắc DID và VC/VP.

Hình 2: Kiến trúc tổng thể của NDACHain



Thiết kế phân tầng này giúp NDACHain mở rộng một cách hiệu quả mà vẫn duy trì được năng lực giám sát quốc gia - một yêu cầu tất yếu đối với hạ tầng công cộng trọng yếu.

4. Chuỗi khối gốc (NDACHain Rootchain) – Lớp niềm tin và quản trị

Chuỗi khối gốc là trái tim của NDACHain - đồng thời là lớp niềm tin và quản trị cho cả hệ sinh thái chuỗi khối quốc gia. Toàn bộ thiết kế hướng tới việc cung cấp hệ thống kiểm soát thống nhất, quản lý định danh, phân quyền và đối soát, đồng thời duy trì độ tin cậy cao và hiệu năng có thể dự đoán được - yếu tố thiết yếu cho hoạt động ở quy mô quốc gia.

4.1 Vai trò và mục tiêu thiết kế

Chuỗi khối gốc là nguồn sự thật duy nhất cho hạ tầng chuỗi khối quốc gia. Trách nhiệm chính bao gồm:

- Neo các DID của mọi Chuỗi nghiệp vụ tham gia và các thực thể trọng yếu.
- Quản lý vòng đời cấp phát, cập nhật và thu hồi VC để xác định quyền hạn và vai trò.
- Triển khai cơ chế phân quyền thời gian thực thi cho mọi nghiệp vụ liên chuỗi và các tác vụ trọng yếu.
- Lưu giữ nhật ký đối soát bất biến cho hoạt động quản trị và tương tác liên chuỗi.
- Cung cấp bằng chứng kiểm soát có thể xác minh phục vụ tuân thủ pháp lý và giám sát quốc gia.

Khi tập trung các chức năng về quản trị và điều hành vào một Chuỗi khối gốc duy nhất, NDACHain vừa khẳng định chủ quyền quốc gia, vừa hỗ trợ để các Chuỗi nghiệp vụ tập trung vào phục vụ nghiệp vụ chuyên ngành với khối lượng lớn.

4.2 Triển khai kỹ thuật

Chuỗi khối gốc được triển khai dưới dạng chuỗi khối có cấp phép, sử dụng cơ chế đồng thuận PoA với giao thức QBFT. Thiết kế này mang lại tính bất biến tất định, độ trễ thấp và tối ưu năng lượng sử dụng - đáp ứng đúng các yêu cầu quản trị nghiêm ngặt của hạ tầng quốc gia.

Thông số kỹ thuật chính:

- Cơ chế đồng thuận: QBFT (biến thể PoA) - chịu được tới 1/3 tổng số nút xác thực lỗi.
- Thời gian tạo khối: 2,5 giây ($\pm 0,2$ giây).
- Tính bất biến: Được đảm bảo dưới 2,5 giây cho các nghiệp vụ trọng yếu.
- Thông lượng ghi: Duy trì ~1.200 giao dịch/giây (TPS) dưới tải hỗn hợp gồm các nghiệp vụ quản trị và cấp phát DID/VC (đo trên môi trường testnet).
- Chính sách phí: Phí gas (gas fee) bằng 0 (zeroBaseFee = true) cho dịch vụ công, qua đó Chuỗi khối gốc thực chất miễn phí gas đối với các ứng dụng phục vụ chính phủ và công dân.
- Máy ảo: Tương thích Ethereum Virtual Machine (EVM), hỗ trợ hợp đồng thông minh (Smart Contract) viết bằng Solidity.
- Môi trường triển khai: Hạ tầng triển khai đặt tại các trung tâm dữ liệu quốc gia được phân bố ở khu vực Bắc, Trung, Nam.

Chuỗi khối gốc vận hành hoàn toàn ở chế độ có cấp phép - chỉ những nút xác thực được phê duyệt qua một quy trình quốc gia minh bạch mới được tham gia tạo khối.

4.3 Cấu trúc mạng và mô hình nút xác thực

Mạng Chuỗi khối gốc được trải khắp Việt Nam để bảo đảm khả năng phục hồi và độ trễ thấp:

- Nút xác thực (Validator nodes): Là các nút chuỗi khối tham gia vào cơ chế đồng thuận, được vận hành bởi các tổ chức có độ tin cậy cao được lựa chọn dựa trên năng lực kỹ thuật, vị thế pháp lý và đóng góp chiến lược (ví dụ: bộ ngành trung ương, doanh nghiệp nhà nước lớn, đơn vị công nghệ hàng đầu).
- Nút vận hành (Full nodes): Là các nút hỗ trợ do các doanh nghiệp và cơ quan nhà nước vận hành nhằm đồng bộ và hỗ trợ truy vấn dữ liệu (không tham gia vào cơ chế đồng thuận). Các đơn vị vận hành nút này cũng qua quy trình đăng ký và xét duyệt.
- Phân bố địa lý: Nút xác thực được triển khai ở ít nhất ba khu vực - Bắc (khu vực Hà Nội), Trung (Đà Nẵng), Nam (TP. Hồ Chí Minh) - để bảo đảm dự phòng theo vùng và khả năng chịu lỗi.

Bảng 1: Mục tiêu hiệu năng của Chuỗi khối gốc (Đo trên môi trường Testnet)

Chỉ số	Mục tiêu	Ghi chú
Thông lượng ghi (quản trị & neo trạng thái)	~1.200 TPS	Duy trì dưới tải hỗn hợp thực tế
Tính bất biến	Dưới 2,5 giây	Tắt định
Thời gian tạo khối	2,5 giây ($\pm 0,2$ s)	Cấu hình qua khối nguyên thủy (genesis block)
Thời gian hoạt động liên tục	Trên 99,95%	Đạt được trong các đợt chạy kéo dài
Khả năng chịu lỗi	Tới 1/3 tổng số nút xác thực	Cơ chế đồng thuận QBFT
Khả năng lưu trữ của mỗi nút xác thực	Trên 12 tháng / 1 TB	Tối ưu lưu trữ trạng thái (pruning)

4.4 Khóa ủy thác (Trustee Keys) và Khóa quản trị đặc biệt

Các hoạt động quản trị trọng yếu được bảo vệ bằng cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n thông qua Khóa ủy thác (Trustee Keys) - còn gọi là Khóa quản trị đặc biệt. Khóa được nắm giữ bởi một nhóm nhỏ, được tuyển chọn cẩn trọng gồm các đơn vị ủy thác cấp quốc gia (thường là 3-5 đơn vị cấp cao).

- Ngưỡng: Cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n (ví dụ: yêu cầu phê duyệt 2/3 hoặc 3/5 của tổng số Khóa ủy thác).
- Phạm vi áp dụng: Nâng cấp giao thức, thêm/loại bỏ nút xác thực, đình chỉ chuỗi khẩn cấp, các thay đổi chính sách lớn.
- Khả năng đối soát: Mọi hành động dùng Khóa ủy thác đều bắt buộc phải được ghi trên Chuỗi khối gốc kèm bằng chứng mật mã đầy đủ - đảm bảo tính minh bạch ngay cả với các can thiệp khẩn cấp.
- Khả năng bảo mật: Khóa được lưu trữ trong Mô-đun bảo mật phần cứng (HSM), tuân theo chính sách xoay vòng và truy cập nghiêm ngặt.

Cơ chế này cho phép phản ứng nhanh trước sự cố an ninh hay nhu cầu chính sách, đồng thời vẫn lưu giữ dấu vết đối soát bất biến - sự cân bằng then chốt cho hạ tầng quốc gia.

4.5 Quản lý định danh và chứng chỉ

Chuỗi khối gốc lưu trữ Sổ đăng ký DID - nơi cấp phát và quản lý DID cho mọi Chuỗi nghiệp vụ và các thực thể tham gia chính. Mỗi Chuỗi nghiệp vụ được đăng ký như một chủ thể định danh duy nhất và độc lập với các đơn vị vận hành hoặc người dùng của chuỗi.

- Tài liệu DID (DID Document): Chứa các khóa công khai, các điểm kết nối (endpoint) và siêu dữ liệu (metadata) của chuỗi.
- Chứng chỉ số (VC): Do Chuỗi khối gốc cấp để xác định quyền hạn chi tiết - vai trò, các thao tác được phép, giới hạn tần suất, thời hạn hiệu lực.
- Thu hồi: DID hoặc VC có thể được thu hồi theo thời gian thực qua sổ đăng ký thu hồi trên chuỗi (on-chain), có hiệu lực ngay lập tức trong các phiên kiểm tra phân quyền tiếp theo.

4.6 Công cụ phân quyền thời gian thực

Mọi tương tác liên quan đến Chuỗi khối gốc - hoặc giữa các Chuỗi nghiệp vụ khi cần neo dữ liệu - đều đi qua công cụ phân quyền thời gian thực (Runtime Authorization Engine). Công cụ này thực hiện cơ chế xác thực hai lớp:

1. Lớp mật mã: Xác minh chữ ký số và bằng chứng trạng thái.

2. Lớp định danh: Phân giải DID và xác thực VC liên quan - kiểm tra tính hiệu lực, trạng thái thu hồi và phạm vi quyền hạn.

Chỉ những yêu cầu vượt qua cả hai lớp mới được chấp nhận. Cách thiết kế này bảo đảm an ninh mà không tạo nút thắt hiệu năng cho các thao tác thường xuyên.

4.7 Cơ chế quản trị và nâng cấp

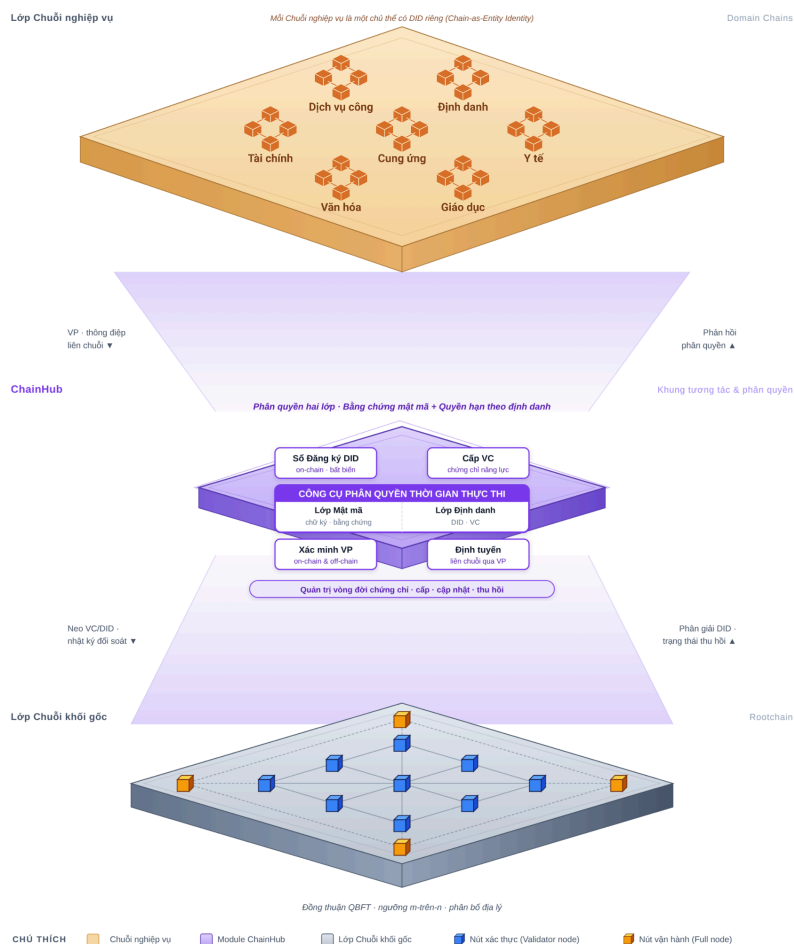
Chuỗi khối gốc hỗ trợ các nâng cấp có kiểm soát thông qua cơ chế quản trị bằng hợp đồng thông minh. Những thay đổi lớn sẽ cần phê duyệt qua Khóa ủy thác, trong khi các điều chỉnh tham số nhỏ có thể thực hiện thông qua biểu quyết từ cơ chế đồng thuận của các nút xác thực. Mọi nâng cấp đều minh bạch và có thể đối soát.

Sự kết hợp giữa độ vững chắc về kỹ thuật, phân bố địa lý, quản trị theo ngưỡng và kiểm soát theo định danh đã biến Chuỗi khối gốc của NDACHain thành một nền tảng có chủ quyền, an toàn và đáng tin cậy cho hệ sinh thái chuỗi khối quốc gia của Việt Nam.

5. ChainHub – Trung tâm điều phối liên chuỗi

Một trong những đổi mới cốt lõi của NDACHain là cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể (Chain-as-Entity Identity), trong đó mỗi Chuỗi nghiệp vụ được nhìn nhận như một chủ thể độc lập được định danh với mã định danh (DID) riêng bên trong hệ sinh thái. ChainHub vận hành cơ chế này như lớp tương tác cốt lõi - cho phép thiết lập quyền hạn an toàn, chi tiết và được điều hành động giữa các chuỗi, đồng thời hỗ trợ tương tác hiệu quả và có kiểm soát. Với vai trò là lớp điều phối, ChainHub cung cấp nền tảng cho quản trị thống nhất và khả năng tương tác liên chuỗi.

Hình 3: Mô hình kiến trúc tổng thể ChainHub



5.1 Mô hình cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể

Thông qua ChainHub, mỗi Chuỗi nghiệp vụ nhận một DID riêng do Chuỗi khối gốc cấp. DID này đại diện cho chính chuỗi đó - độc lập với đơn vị vận hành, nút xác thực hay người dùng - và là chủ thể chính của mọi quyết định phân quyền.

Các thành phần chính:

- Sổ đăng ký DID: Một hợp đồng thông minh trên Chuỗi khối gốc, lưu giữ bản ghi bất biến của tất cả DID thuộc các Chuỗi nghiệp vụ đã đăng ký, kèm Tài liệu DID (khóa công khai, endpoint, metadata).
- Chứng chỉ số (VC): Các chứng chỉ năng lực chi tiết do Chuỗi khối gốc cấp, xác định chính xác quyền hạn và vai trò của mỗi Chuỗi nghiệp vụ. Một chuỗi có thể nắm nhiều VC tương ứng với các phạm vi quyền hạn khác nhau - chẳng hạn gửi dữ liệu, tham gia thanh toán hay vai trò quan sát.
- Bảng chứng số (VP): Các gói có chữ ký chứa một hoặc nhiều VC mà Chuỗi nghiệp vụ xuất trình khi tương tác với Chuỗi khối gốc hoặc với các chuỗi khác.

Mô hình này hỗ trợ kiểm soát ở mức độ chi tiết: quyền hạn có thể quy định loại thao tác được phép, phạm vi dữ liệu, giới hạn tần suất và thời hạn hiệu lực. Mọi chứng chỉ đều có thể đối soát đầy đủ trên Chuỗi khối gốc.

5.2 Cơ chế phân quyền thời gian thực thi hai lớp

Mọi tương tác với Chuỗi khối gốc hay các hoạt động liên chuỗi trọng yếu đều phải đi qua cơ chế xác thực hai lớp do Công cụ phân quyền thời gian thực thi đảm trách:

1. Lớp Mật mã: Xác thực chữ ký số và bằng chứng trạng thái mật mã để bảo đảm tính toàn vẹn và xác thực dữ liệu.
2. Lớp Định danh & Quyền hạn: Phân giải DID của bên gửi từ Sổ đăng ký, sau đó kiểm tra các VC đính kèm về tính hiệu lực, trạng thái thu hồi, thời hạn và mức độ phù hợp với hành động đang yêu cầu.

Chỉ những yêu cầu vượt qua cả hai lớp mới được chấp nhận. Cơ chế này đem lại bảo đảm bảo mật mạnh mẽ mà vẫn hiệu quả vì phần lớn các phép xác minh thường xuyên dùng chứng chỉ đã cache cục bộ hoặc xuất trình trực tiếp.

Việc thu hồi DID hay VC có hiệu lực ngay lập tức trong lần kiểm tra phân quyền tiếp theo - cho phép phản ứng theo thời gian thực với sự cố an ninh hoặc thay đổi chính sách mà không gây gián đoạn toàn hệ thống.

5.3 Tương tác liên chuỗi trực tiếp qua bằng chứng số

NDACHain hỗ trợ khả năng tương tác ngang hàng trực tiếp giữa các Chuỗi nghiệp vụ - qua đó giảm phụ thuộc vào Chuỗi khối gốc cho từng giao dịch:

- Khi Chuỗi nghiệp vụ A muốn tương tác với Chuỗi nghiệp vụ B, A tạo một VP chứa các VC liên quan và ký bằng khóa riêng của DID.
- Chuỗi B độc lập xác minh hai yếu tố:
 - Chữ ký trên VP - xác nhận danh tính bên gửi qua Sổ đăng ký DID.
 - Các VC nhúng kèm - xác nhận quyền hạn được Chuỗi khối gốc cấp hợp pháp.
- Nếu cả hai phép kiểm tra đều đạt, tương tác diễn ra trực tiếp mà không cần hỏi Chuỗi khối gốc.

Cách làm này giảm đáng kể tải cho lớp điều khiển nhưng vẫn giữ nguyên khả năng truy vết quốc gia - các sự kiện trọng yếu và neo trạng thái vẫn được ghi nhận trên Chuỗi khối gốc khi cần phục vụ đối soát hoặc tuân thủ.

Khung tương tác có tính trung lập về công nghệ: các Chuỗi nghiệp vụ xây trên các nền tảng khác nhau - tương thích EVM, Hyperledger Fabric, DLT tùy biến hay các giải pháp Layer 2 rollup - đều có thể tham gia, miễn là hỗ trợ phân giải DID/VC và xác minh VP.

5.4 Xác minh và hợp nhất chứng chỉ trên và ngoài chuỗi

Một thế mạnh đáng chú ý của khung định danh NDACHain là khả năng dùng cùng một VC liên mạch giữa các môi trường:

- Trên chuỗi (on-chain): Các hợp đồng thông minh trên Chuỗi khối gốc hoặc các Chuỗi nghiệp vụ trực tiếp xác minh VP.
- Ngoài chuỗi (off-chain): Các hệ thống truyền thống - cổng dịch vụ công, ứng dụng doanh nghiệp, ứng dụng di động, công cụ đối soát - có thể xác minh VP bằng cách so chữ ký với khóa công khai đã công bố trên Chuỗi khối gốc, mà không cần vận hành nút chuỗi khối.
- Liên chuỗi: Các Chuỗi nghiệp vụ dùng chung một định dạng chứng chỉ cho các tương tác trực tiếp.

Cách tiếp cận hợp nhất này tạo ra cầu nối tự nhiên giữa Web2 và Web3 - các tổ chức chỉ cần duy trì một bộ chứng chỉ duy nhất cho cả môi trường chuỗi khối và môi trường truyền thống.

5.5 Quản trị vòng đời chứng chỉ

Chuỗi khối gốc quản lý toàn bộ vòng đời của DID và VC qua một Module Quản trị chuyên biệt:

- **Cấp phát:** Các Chuỗi nghiệp vụ mới nhận DID và VC ban đầu sau khi được phê duyệt vào danh sách cho phép.
- **Cập nhật:** Vai trò, quyền hạn hoặc ràng buộc có thể được điều chỉnh động.
- **Hạn chế / Thu hồi:** Quyền hạn có thể bị giới hạn hoặc thu hồi hoàn toàn theo thời gian thực.
- **Dấu vết đối soát:** Mọi sự kiện vòng đời được ghi bất biến trên Chuỗi khối gốc.

Mọi hành động quản trị có tác động lớn đều được bảo vệ bởi Khóa ủy thác - cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n đã trình bày ở Mục 4.

6. Tiêu chuẩn tương thích với chuỗi khối Quốc gia và bộ tích hợp

Tiêu chuẩn tương thích NDACHain xác định các yêu cầu kỹ thuật và vận hành mà bất kỳ chuỗi khối Layer 1 hiện hữu hay mới nào cũng phải đáp ứng để trở thành một Chuỗi nghiệp vụ tuân thủ đầy đủ trong hệ sinh thái quốc gia. Đây là cầu nối thực tiễn để kết nối tầm nhìn kiến trúc tổng thể đã trình bày ở các phần trước với thực tế vận hành hằng ngày - khi tiếp nhận các chuỗi khối của tỉnh, bộ, doanh nghiệp và bên thứ ba. Một đặc tả quốc gia rõ ràng, có phiên bản giúp tích hợp diễn ra liền mạch, an toàn và trung lập về công nghệ, đồng thời bảo toàn cơ chế đồng thuận cốt lõi và logic nghiệp vụ của từng chuỗi tham gia. Cách làm này đáp đúng một bài học quan trọng từ kinh nghiệm quốc tế như BSN của Trung Quốc: một lớp tương thích được định nghĩa rõ ràng sẽ tăng tốc đáng kể sự phát triển hệ sinh thái và giảm ma sát tích hợp.

Tiêu chuẩn áp dụng cho nhiều công nghệ chuỗi khối - từ các nền tảng doanh nghiệp có cấp phép hiện hữu (Besu/Quorum, Hyperledger Fabric), các chuỗi tương thích EVM và rollup Layer 2, Cosmos SDK cho tới các triển khai tùy biến cao hoặc lai. Tiêu chuẩn không yêu cầu chuyển đổi dữ liệu lịch sử, không thay thế thuật toán đồng thuận gốc và không đòi hỏi viết lại toàn bộ logic hợp đồng thông minh. Thay vào đó, các chuỗi tham gia chỉ cần triển khai thêm một Lớp tương thích (Adaptation Layer) mỏng và không xâm lấn - cho phép kế thừa định danh, phân quyền và khả năng đối soát quốc gia từ Chuỗi khối gốc, mà vẫn giữ trọn vẹn sự độc lập về vận hành.

Để đạt tuân thủ, một chuỗi khối phải triển khai các yêu cầu cốt lõi sau:

1. **Cơ chế nhận dạng chuỗi khối như một chủ thể:** Đăng ký một DID do Sở đăng ký DID của Chuỗi khối gốc cấp và duy trì một Tài liệu DID hợp lệ chứa khóa công khai cùng các endpoint dịch vụ.
2. **phân quyền dựa trên Chứng chỉ:** Tích hợp với mô hình phân quyền dựa trên chứng chỉ của Chuỗi khối gốc - nơi định danh và quyền hạn được xác thực qua VC.
3. **Tăng cường Niềm tin Thời gian Thực thi:** Áp dụng cơ chế xác thực hai lớp cho các tương tác bên ngoài và liên chuỗi, gồm xác minh mật mã (chữ ký / bằng chứng) và phân quyền dựa trên định danh (DID + VC).
4. **Truy cập Trạng thái Chuỗi khối gốc:** Tích hợp một client gọn nhẹ để phân giải DID, trạng thái VC và dữ liệu quyền hạn từ Chuỗi khối gốc, có hỗ trợ cache cục bộ.
5. **Hooks cho Neo dữ liệu và đối soát:** Hỗ trợ neo dữ liệu định kỳ hoặc theo sự kiện đối với các bản tóm tắt trạng thái hoặc hash quan trọng lên Chuỗi khối gốc.
6. **Truyền tin Liên chuỗi Tiêu chuẩn:** Áp dụng schema tin nhắn liên chuỗi chính thức của NDACHain dựa trên chuẩn W3C Verifiable Credentials Data Model v2.0.
7. **Nền tảng Mật mã và Bảo mật:** Tuân thủ bộ thuật toán mật mã quốc gia và yêu cầu an toàn thông tin cấp độ 3+ của Việt Nam.

Để giảm gánh nặng tích hợp cho đơn vị vận hành chuỗi, NDACHain công bố Adaptation Layer Kit chính thức theo mã nguồn mở (còn gọi là Bộ tích hợp - Integration Kit). Bộ tích hợp đóng vai trò lớp tích hợp mỏng nhưng đầy đủ giữa chuỗi tham gia và Chuỗi khối gốc. Bộ tích hợp gồm các thành phần cấp sản xuất: Trust Oracle Client Library (có sẵn cho Go, Java, JavaScript và Python), các module xác minh VP có thể tái sử dụng, các wrapper Cổng API (API Gateway) chuẩn hóa với cơ chế giới hạn tần suất và thực thi xác thực hai lớp tích hợp sẵn, các mẫu hợp đồng thông minh tham chiếu, các agent giám sát và đo lường, cùng các script triển khai. Ngoài ra, Lớp tương thích còn đảm trách việc neo các bản tóm tắt trạng thái và bằng chứng quan trọng từ Chuỗi nghiệp vụ lên Chuỗi khối gốc, đồng thời chuyển tiếp các thông điệp liên chuỗi và dữ liệu phân quyền.

Nhờ cách thiết kế này, hầu hết các chuỗi có thể tích hợp chỉ bằng cách triển khai và cấu hình Lớp tương thích - không cần can thiệp sâu vào giao thức cốt lõi hay engine thực thi.

Quy trình tích hợp thuần kỹ thuật để kết nối một chuỗi khối hiện hữu gồm năm bước:

1. Đăng ký DID và công bố Tài liệu DID.
2. Triển khai và cấu hình client Trust Oracle.
3. Triển khai logic xác minh VP và cơ chế xác thực hai lớp.
4. Áp dụng các hook neo trạng thái chuẩn hóa và truyền tin liên chuỗi.
5. Kiểm thử tích hợp cục bộ, sau đó kiểm thử trên testnet.

Với một chuỗi đã trưởng thành dùng một trong các adapter tham chiếu được cung cấp sẵn, việc tích hợp thuần kỹ thuật thường mất 7-14 ngày (1-2 tuần).

Các triển khai tham chiếu hiện có sẵn cho hầu hết framework phổ biến - adapter cho Hyperledger Fabric, Quorum/Besu và Cosmos SDK - kèm các adapter REST/JSON tổng quát cho các chuỗi tùy biến cao. Toàn bộ mã nguồn, tài liệu, mẫu triển khai và bộ kiểm thử được công bố trên kho GitHub chính thức của NDACHain.

Việc áp dụng Tiêu chuẩn Tương thích mang lại nhiều lợi ích kỹ thuật trực tiếp: truy cập tới các dịch vụ định danh quốc gia, chia sẻ dữ liệu liên chuỗi an toàn qua ChainHub, tích hợp với NDA SFS và đơn giản hóa việc neo dữ liệu lên Chuỗi khối gốc. Kết hợp với bộ kit mã nguồn mở, các năng lực này giúp bất kỳ đơn vị chuỗi khối nào tại Việt Nam đều có thể tham gia hệ sinh thái quốc gia một cách hiệu quả và an toàn.

Tiêu chuẩn Tương thích sẽ được phiên bản hóa chính thức (bắt đầu từ v1.0 khi ra mắt) và do Ủy ban Chỉ đạo Chuỗi khối Quốc gia bảo trì. Các phiên bản tương lai sẽ tích hợp các thuật toán mật mã mới, các tính năng tăng cường quyền riêng tư (bao gồm Zero-Knowledge Proofs), bổ sung adapter cho thêm framework và những cải tiến đến từ phản hồi thực tế của hệ sinh thái. Bằng việc công bố đặc tả cụ thể này cùng bộ công cụ hỗ trợ, NDACHain đưa các lợi thế lý thuyết của mô hình lấy chuỗi khối gốc làm trọng tâm vào thực tiễn - trở thành một hạ tầng quốc gia sẵn sàng vận hành sản xuất, mà bất kỳ đơn vị chuỗi khối nào tại Việt Nam đều có thể tham gia hiệu quả và an toàn.

7. Chuỗi nghiệp vụ phục vụ nhu cầu chuyên ngành

Trong khi Chuỗi khối gốc đóng vai trò hạ tầng niềm tin, quản trị và giám sát thống nhất, phần lớn quá trình xử lý có khối lượng lớn cho dịch vụ quốc gia diễn ra trên các Chuỗi nghiệp vụ. Các chuỗi chuyên biệt này giúp NDACHain mở rộng hiệu quả, đồng thời đáp ứng nhu cầu hiệu năng và chức năng đa dạng của từng lĩnh vực.

7.1 Mục đích và nguyên tắc thiết kế

Chuỗi nghiệp vụ là các chuỗi khối có cấp phép độc lập, được tinh chỉnh cho các trường hợp sử dụng hoặc lĩnh vực quốc gia cụ thể. Chúng đảm trách phần lớn tải vận hành - cho phép Chuỗi khối gốc tập trung vào các chức năng lớp điều khiển như quản lý định danh, phân quyền và đối soát.

Các nguyên tắc thiết kế chính:

- Độc lập vận hành: Mỗi Chuỗi nghiệp vụ tự cấu hình tham số đồng thuận, kích thước khối và tinh chỉnh hiệu năng cho phù hợp với tải công việc của mình.
- Kế thừa niềm tin: Mọi Chuỗi nghiệp vụ đều phải đăng ký DID trên Chuỗi khối gốc và nhận VC định nghĩa các vai trò cùng các thao tác được phép.
- Tương tác có kiểm soát: Các Chuỗi nghiệp vụ trao đổi với nhau và với Chuỗi khối gốc qua những cơ chế dựa trên định danh đã chuẩn hóa, giữ vững giám sát ở cấp quốc gia.
- Linh hoạt: Hỗ trợ cả chuỗi chuyên dụng (Blockchain-as-a-Service) lẫn chuỗi dùng chung (Smart Contract-as-a-Service), tùy theo yêu cầu về bảo mật, tuân thủ và hiệu năng.

Sự phân tách phân lớp này bảo đảm các ứng dụng chuyên ngành thông lượng cao không ảnh hưởng tới tính ổn định hay khả năng dự đoán của các chức năng quản trị quốc gia.

7.2 Các loại Chuỗi nghiệp vụ

NDACHain hỗ trợ hai mô hình triển khai chính:

1. Chuỗi nghiệp vụ Chuyên dụng (Blockchain-as-a-Service - BaaS) Chuỗi hoàn toàn độc lập, dành cho các lĩnh vực hoặc tổ chức yêu cầu cô lập dữ liệu nghiêm ngặt, quản trị tùy chỉnh hoặc khối lượng giao dịch rất lớn - chẳng hạn chuỗi truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng quốc gia hay chuỗi hồ sơ y tế.

- Chuỗi nghiệp vụ Dùng chung (Smart Contract-as-a-Service – SCaaS) Nhiều ứng dụng hoặc tiểu lĩnh vực dùng chung một hạ tầng chuỗi, vẫn giữ phân tách logic qua hợp đồng thông minh và kiểm soát truy cập. Mô hình này tối ưu chi phí và đơn giản hóa quản lý cho các trường hợp sử dụng có khối lượng thấp hơn hoặc liên quan với nhau.

Cả hai mô hình đều phải tuân thủ các tiêu chuẩn quốc gia - bao gồm việc tích hợp bắt buộc với Trust Oracle của Chuỗi khối gốc và sử dụng các mẫu hợp đồng thông minh đã được phê duyệt.

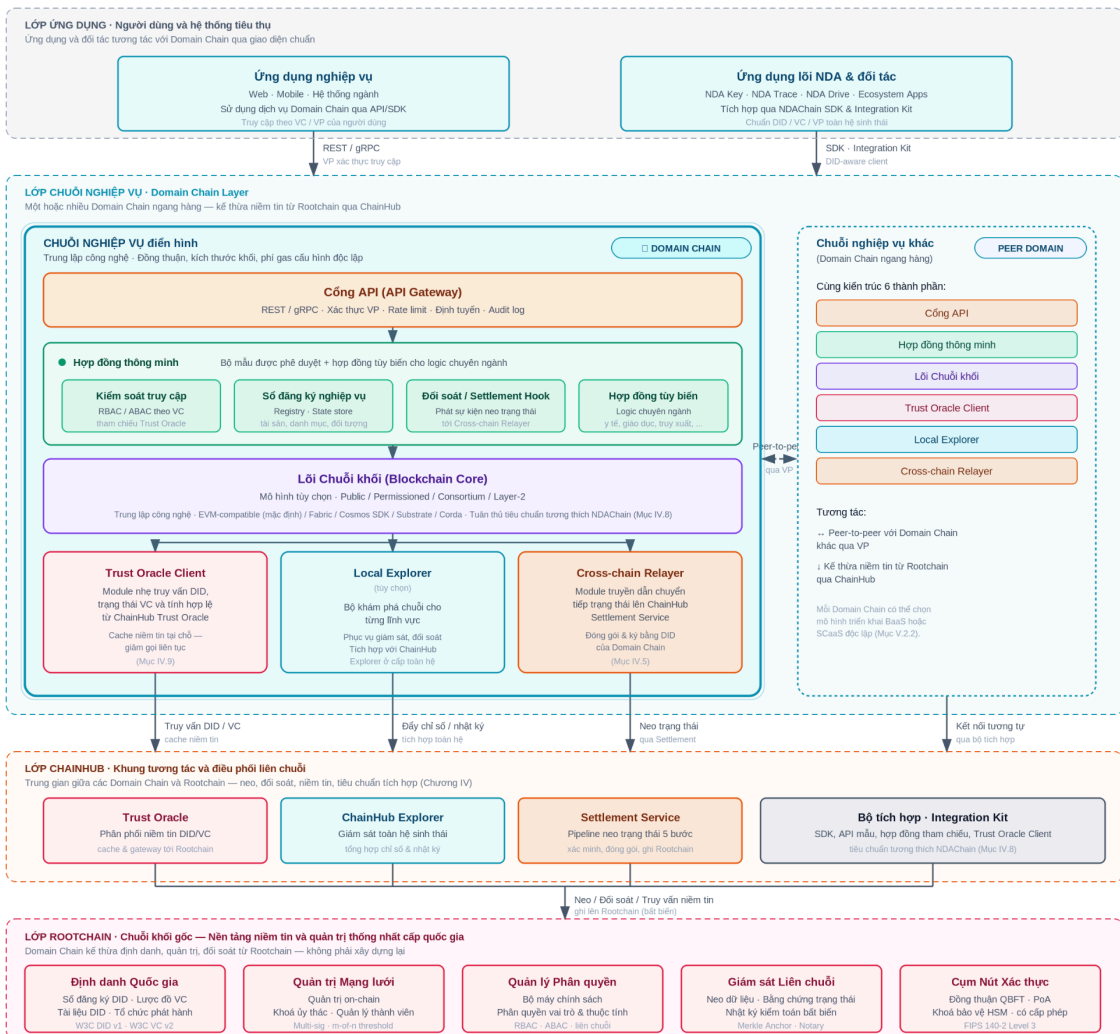
7.3 Kiến trúc của một Chuỗi nghiệp vụ

Mỗi Chuỗi nghiệp vụ thường gồm các thành phần sau:

- Lỗi Chuỗi khối: Chuỗi có cấp phép (mặc định tương thích EVM; các framework DLT khác cũng được chấp nhận nếu đáp ứng yêu cầu khả năng tương tác).
- Trust Oracle: Dịch vụ cầu nối an toàn cho phép Chuỗi nghiệp vụ truy vấn định danh, trạng thái DID và tính hợp lệ của VC từ Chuỗi khối gốc mà không phải gọi trực tiếp liên tục. Oracle cache thông tin niềm tin đã xác minh tại chỗ để tăng hiệu năng.
- Hợp đồng thông minh: Bộ mẫu đã được phê duyệt cho các chức năng phổ biến - kiểm soát truy cập, sổ đăng ký, đối soát - cùng các hợp đồng tùy biến cho logic chuyên ngành.
- Cổng API (API Gateway): Cung cấp endpoint REST/gRPC kèm cơ chế giới hạn tần suất và xác thực cho ứng dụng bên ngoài.
- Local Explorer (tùy chọn): Bộ khám phá chuỗi khối riêng cho từng lĩnh vực, phục vụ giám sát và đối soát.

Chuỗi nghiệp vụ kết nối tới Chuỗi khối gốc chủ yếu qua Trust Oracle để kiểm tra định danh và quyền hạn, và qua việc neo dữ liệu trực tiếp đối với các cập nhật trạng thái quan trọng cần tính bất biến ở cấp quốc gia.

Hình 4: Kiến trúc một Chuỗi nghiệp vụ điển hình



7.4 Cơ chế Trust Oracle

Trust Oracle là cầu nối nhẹ, hướng sự kiện giữa các Chuỗi nghiệp vụ và Chuỗi khối gốc. Nhờ Oracle, Chuỗi nghiệp vụ có thể:

- Xác minh trạng thái DID và VC theo thời gian thực hoặc từ cache.
- Xác nhận phạm vi quyền hạn trước khi xử lý giao dịch.
- Nhận thông báo thu hồi với độ trễ tối thiểu.

Oracle được thiết kế để phục hồi tốt và có thể được triển khai dưới dạng đa nút phi tập trung trong các giai đoạn tiếp theo, nhằm giảm thiểu các điểm phụ thuộc đơn lẻ.

7.5 Lợi ích về khả năng mở rộng

Lớp Chuỗi nghiệp vụ là nguồn năng lực mở rộng chính của NDACHain:

- Mở rộng theo chiều ngang: Có thể bổ sung nhanh Chuỗi nghiệp vụ mới cho các ưu tiên quốc gia mới mà không ảnh hưởng đến các chuỗi hiện hữu hay Chuỗi khối gốc.
- Mở rộng theo chiều dọc: Từng Chuỗi nghiệp vụ có thể được tinh chỉnh để có thông lượng cao hơn - khối lớn hơn, engine thực thi tối ưu, xử lý song song - tùy theo nhu cầu của lĩnh vực.
- Phân phối tải: Các giao dịch khối lượng lớn thường xuyên ở lại trên Chuỗi nghiệp vụ, giúp Chuỗi khối gốc luôn ổn định cho các nhiệm vụ quản trị và điều phối.

Các đợt triển khai ban đầu cho thấy mô hình này cho phép toàn hệ sinh thái đạt thông lượng tổng cộng vượt 100.000 TPS, trong khi Chuỗi khối gốc vẫn duy trì hiệu năng ổn định cho các thao tác điều khiển.

7.6 Hệ sinh thái Chuỗi nghiệp vụ

NDACHain hiện đã hỗ trợ các Chuỗi nghiệp vụ thí điểm trong nhiều lĩnh vực then chốt:

- Truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng và logistics (như đã thể hiện qua các trường hợp sản xuất giai đoạn đầu).
- Dịch vụ chứng chỉ số và định danh.
- Các luồng chia sẻ dữ liệu và tài liệu an toàn.

Các Chuỗi nghiệp vụ bổ sung cho y tế, giáo dục, dịch vụ tài chính và chính phủ điện tử nằm trong kế hoạch của các giai đoạn tiếp theo.

Sự kết hợp giữa năng lực quản trị mạnh của Chuỗi khối gốc và năng lực thực thi linh hoạt của các Chuỗi nghiệp vụ giúp NDACHain trở thành nền tảng có chủ quyền và khả năng mở rộng - đủ sức hỗ trợ các dịch vụ số đa dạng của Việt Nam ở hiện tại và tương lai.

8. Lưu trữ Phi tập trung Có Chủ quyền – NDA SFS

Trong khi các lớp chuỗi khối bảo đảm niềm tin bất biến và xử lý giao dịch, nhiều ứng dụng quốc gia còn cần lưu trữ tập lớn, tài liệu và dữ liệu nhạy cảm một cách an toàn và có khả năng mở rộng. Nền tảng lưu trữ tài liệu an toàn (NDA SFS) ra đời để đáp ứng nhu cầu này - là hạ tầng lưu trữ phi tập trung, có chủ quyền, lấy định danh làm trung tâm, và hoàn toàn phù hợp với các yêu cầu của Việt Nam về chủ quyền dữ liệu và bảo vệ quyền riêng tư.

8.1 Mục tiêu và nguyên tắc thiết kế

NDA SFS được tạo ra để khắc phục các hạn chế của hệ thống lưu trữ tập trung truyền thống, đồng thời tuân thủ chặt chẽ các quy định quốc gia về lãnh thổ dữ liệu và bảo vệ dữ liệu cá nhân (Luật năm 2023 và các nghị định liên quan).

Các nguyên tắc thiết kế cốt lõi:

- Chủ quyền dữ liệu: Mọi dữ liệu được lưu trữ vật lý trong lãnh thổ Việt Nam - trên các nút quốc gia, vùng và địa phương.
- Kiểm soát lấy định danh làm trung tâm: Mỗi tệp hay đối tượng dữ liệu đều được gắn với DID của chủ sở hữu. Quyền truy cập được quản lý độc quyền qua VC và VP.
- Kiến trúc Zero-Trust: Dữ liệu được mã hóa đầu cuối ngay tại máy khách trước khi rời khỏi thiết bị của chủ sở hữu. Các nút lưu trữ không bao giờ thấy dữ liệu dạng văn bản gốc.

- Quyền riêng tư theo thiết kế: Chủ sở hữu giữ trọn quyền kiểm soát dữ liệu của mình - bao gồm khả năng cấp, hạn chế hay thu hồi quyền truy cập tức thời.
- Khả năng phục hồi và sẵn sàng cao: Dữ liệu được phân mảnh, mã hóa và phân phối với cơ chế nhân bản có kiểm soát trên nhiều nút.

8.2 Kiến trúc lưu trữ phân tầng

NDA SFS tổ chức lưu trữ thành ba tầng logic, phản ánh đúng cấu trúc hành chính và vận hành của Việt Nam:

- Tầng Địa phương (Nút Doanh nghiệp / Tổ chức): Triển khai bên trong các cơ quan nhà nước, bộ ngành, bệnh viện, trường học hoặc doanh nghiệp. Cung cấp truy cập nhanh tới dữ liệu được tổ chức đó dùng thường xuyên.
- Tầng Vùng: Đóng vai trò là lớp nhân bản và sao lưu trung gian giữa các tỉnh hoặc vùng kinh tế. Cải thiện độ sẵn sàng và giảm độ trễ cho việc truy cập liên tổ chức trong cùng một vùng.
- Tầng Quốc gia: Lớp lưu trữ dài hạn và Phục hồi sau thảm họa (Disaster Recovery – DR), được quản lý ở cấp quốc gia. Bảo đảm độ bền dữ liệu và hỗ trợ các yêu cầu đối soát, tuân thủ ở cấp quốc gia.

Cách tiếp cận phân tầng này cân bằng giữa hiệu năng, chi phí và khả năng phục hồi - đồng thời duy trì quản trị thống nhất qua Chuỗi khối gốc.

8.3 Các thành phần kỹ thuật chính

NDA SFS gồm bốn lớp tích hợp chặt chẽ:

1. Lớp Định danh & Kiểm soát Truy cập Được neo vào Chuỗi khối gốc của NDACHain. Sử dụng Sổ đăng ký DID và cơ chế VC/VP để quản lý mọi quyền truy cập. Mỗi tệp được gắn với DID của chủ sở hữu, và quyền hạn được biểu diễn dưới dạng các chứng chỉ có chữ ký mật mã.
2. Lớp Ứng dụng Các ứng dụng phía máy khách và SDK đảm trách việc mã hóa, giải mã và đóng gói dữ liệu. Tệp được mã hóa bằng các khóa dẫn xuất từ DID của chủ sở hữu trước khi tải lên. Ứng dụng cũng tạo và quản lý VP khi cấp hoặc chứng minh quyền truy cập.
3. Lớp cổng kết nối (Gateway) Các gateway phi trạng thái đóng vai trò trung gian an toàn - xác minh chứng chỉ VP, thực thi chính sách truy cập và định tuyến dữ liệu đã mã hóa tới các nút lưu trữ phù hợp. Gateway không bao giờ giải mã hay lưu trữ dữ liệu dạng văn bản gốc.
4. Lớp lưu trữ Phân tán Xây trên lưu trữ định địa chỉ theo nội dung (giống nguyên lý IPFS nhưng có chủ quyền và được kiểm soát đầy đủ). Dữ liệu được chia thành các chunk đã mã hóa, được khử trùng lặp dựa trên hash nội dung và phân phối với hệ số nhân bản có thể cấu hình trên ba tầng.

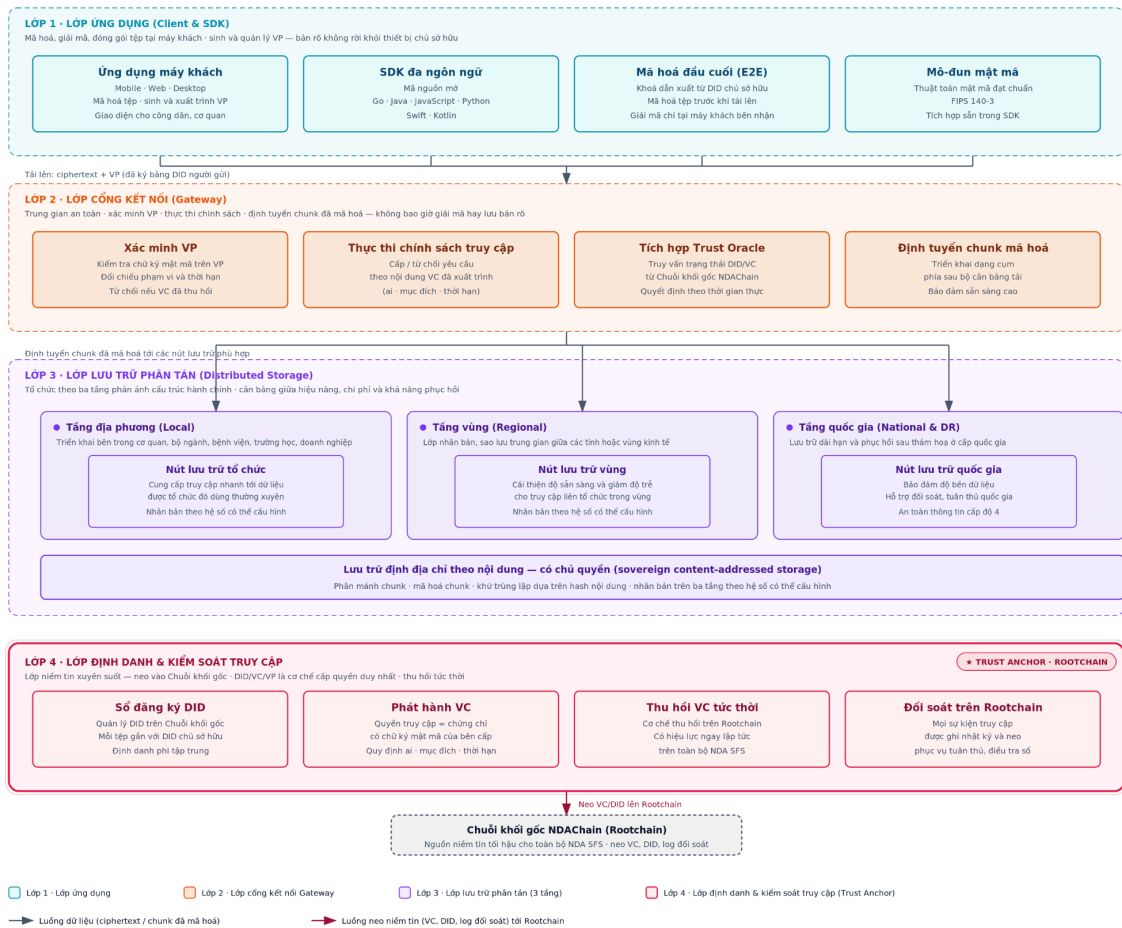
8.4 Luồng truy cập và chia sẻ dữ liệu

Quy trình chia sẻ dữ liệu an toàn diễn ra theo các bước:

1. Tải lên & Mã hóa: Chủ sở hữu mã hóa tệp tại chỗ bằng các khóa dẫn xuất từ DID, sau đó tải bản mã (ciphertext) lên NDA SFS qua gateway.
2. Cấp quyền: Chủ sở hữu phát hành một VC quy định quyền truy cập (ai được truy cập, vào mục đích gì và trong bao lâu) rồi gửi cho bên được phân quyền.
3. Yêu cầu truy cập: Bên nhận xuất trình một VP có chữ ký bằng DID của chính họ để chứng minh quyền sở hữu VC đã được cấp.
4. Xác minh & truy xuất: Gateway xác minh VP với Chuỗi khối gốc, sau đó định tuyến các chunk đã mã hóa tới ứng dụng của bên nhận.
5. Giải mã phía máy khách: Chỉ ứng dụng của bên nhận đã được phân quyền mới có thể giải mã dữ liệu bằng các khóa phù hợp.

Cách bố trí này đảm bảo các nút lưu trữ hoàn toàn không thấy được nội dung, trong khi kiểm soát truy cập vẫn hoàn toàn phi tập trung và có thể đối soát.

Hình 5: Kiến trúc bốn lớp NDA SFS



8.5 Tính năng bảo mật và tuân thủ

- Mã hóa đầu cuối: Dữ liệu được mã hóa trước khi rời khỏi thiết bị của chủ sở hữu và giữ nguyên trạng thái mã hóa khi lưu trữ và khi truyền tải.
- Mô hình Zero-Trust: Không một nút hay đơn vị vận hành nào có thể truy cập dữ liệu dạng văn bản gốc.
- Thu hồi theo thời gian thực: Việc thu hồi VC ngăn chặn ngay lập tức các truy cập tiếp theo.
- Khả năng đối soát: Mọi sự kiện truy cập đều có thể được ghi nhật ký và neo về Chuỗi khối gốc phục vụ tuân thủ và điều tra số.
- Tuân thủ quốc gia: Đáp ứng đầy đủ yêu cầu về lãnh thổ dữ liệu, luật bảo vệ dữ liệu cá nhân và các yêu cầu an ninh quốc gia (bao gồm tiêu chuẩn an toàn thông tin cấp độ 4).

8.6 Giá trị chiến lược

NDA SFS hoàn thiện tầm nhìn của NDACHain - bằng việc cung cấp một nền tảng lưu trữ có chủ quyền, an toàn và phối hợp liền mạch với các lớp chuỗi khối. Nền tảng này mở đường cho việc chia sẻ an toàn các tài liệu lớn, chứng chỉ, hồ sơ y tế, văn bằng giáo dục và những dữ liệu nhạy cảm khác giữa các cơ quan nhà nước và với công dân - luôn dưới sự kiểm soát chặt chẽ của chủ sở hữu và sự giám sát của quốc gia.

Cùng với Chuỗi khối gốc và các Chuỗi nghiệp vụ, NDA SFS hợp thành một hạ tầng có chủ quyền hoàn chỉnh - đủ sức nâng đỡ những sáng kiến chuyển đổi số đòi hỏi nhất của Việt Nam.

9. Bảo mật, quyền riêng tư và khả năng phục hồi

NDACHain là hạ tầng quốc gia trọng yếu, vì vậy đòi hỏi tiêu chuẩn cao nhất về bảo mật, quyền riêng tư và khả năng phục hồi vận hành. Bảo mật không phải là phụ kiện - mà được nhúng xuyên suốt kiến trúc theo cách tiếp cận Bảo mật theo Thiết kế và Quyền riêng tư theo Thiết kế, đồng bộ với yêu cầu an toàn thông tin cấp độ 4 của Việt Nam và các thông lệ quốc tế tốt nhất.

9.1 Tổng quan kiến trúc bảo mật

NDACHain áp dụng mô hình bảo mật Zero-Trust trên mọi lớp. Không một thực thể nào - dù là Chuỗi nghiệp vụ, đơn vị vận hành nút, hay ứng dụng - được mặc nhiên tin tưởng. Mọi yêu cầu đều phải được xác thực và phân quyền tường minh bằng bằng chứng mật mã và chứng chỉ định danh.

Các nguyên tắc bảo mật chính:

- Đặc quyền tối thiểu: Quyền hạn được phân chia chi tiết và có thời hạn thông qua VC.
- Phòng thủ theo chiều sâu: Nhiều biện pháp kiểm soát bảo mật độc lập trải đều ở các lớp hạ tầng, chuỗi khối, định danh, lưu trữ và ứng dụng.
- Khả năng đối soát bất biến: Mọi hành động trọng yếu, quyết định quản trị và sự kiện truy cập đều được ghi trên Chuỗi khối gốc.
- Thu hồi theo thời gian thực: Định danh hoặc chứng chỉ bị xâm hại có thể bị thu hồi tức thì với hiệu lực trên toàn hệ thống.

9.2 Các biện pháp kiểm soát bảo mật đa lớp

Lớp Hạ tầng

- Nút xác thực và các nút khác được triển khai tại các trung tâm dữ liệu quốc gia an toàn, có dự phòng địa lý ở khu vực Bắc, Trung, Nam.
- Truy cập mạng được giới hạn qua danh sách cho phép địa chỉ IP, mTLS và mã hóa ở cấp giao thức P2P.
- Mọi dịch vụ hướng ra ngoài đều được bảo vệ bằng tường lửa ứng dụng web (WAF), giảm thiểu tấn công DDoS và giới hạn tần suất nghiêm ngặt.

Lớp Chuỗi khối gốc và Quản trị

- Cơ chế PoA với đồng thuận QBFT giới hạn việc tham gia chỉ cho các nút xác thực có độ tin cậy cao đã được phê duyệt.
- Các hành động quản trị trọng yếu được bảo vệ bằng Khóa ủy thác sử dụng cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n, lưu trong HSM.
- Mọi nâng cấp, thay đổi nút xác thực và can thiệp khẩn cấp đều cần phê duyệt đa bên tường minh và được ghi vĩnh viễn on-chain.

Lớp Định danh và phân quyền

- Cơ chế xác thực hai lớp (bằng chứng mật mã + kiểm tra định danh/quyền hạn) cho mọi thao tác nhạy cảm.
- Thu hồi DID và VC theo thời gian thực qua sổ đăng ký thu hồi on-chain.
- Hỗ trợ các tùy chọn mật mã chống lượng tử trong các lần nâng cấp tương lai.

Lớp Lưu trữ (NDA SFS)

- Mã hóa đầu cuối thực hiện ở phía máy khách trước khi dữ liệu rời khỏi thiết bị của chủ sở hữu.
- Các nút lưu trữ chỉ xử lý các mảnh dữ liệu đã mã hóa và không có quyền truy cập khóa giải mã.
- Truy cập được kiểm soát chặt chẽ qua VP có chữ ký DID.

Lớp Ứng dụng

- Mọi ứng dụng máy khách đều dùng SDK an toàn để thực thi mã hóa và xác thực dựa trên chứng chỉ.
- Các thao tác nhạy cảm yêu cầu sự đồng thuận tường minh của người dùng hoặc hệ thống thông qua việc cấp VC.

9.3 Bảo vệ quyền riêng tư

NDACHain bảo vệ mạnh mẽ dữ liệu cá nhân và dữ liệu nhạy cảm thông qua:

- Định danh tự chủ (Self-Sovereign Identity): Cá nhân và tổ chức kiểm soát DID của chính mình và quyết định thông tin nào sẽ được chia sẻ thông qua các cơ chế tiết lộ có chọn lọc - được hỗ trợ bởi Zero-Knowledge Proofs khi áp dụng được.

- Tiết lộ dữ liệu tối thiểu: VC cho phép chứng minh các thuộc tính cụ thể (ví dụ "trên 18 tuổi" hay "đơn vị logistics được phân quyền") mà không phải phơi bày dữ liệu cá nhân không cần thiết.
- Lãnh thổ dữ liệu: Toàn bộ trạng thái chuỗi khối và các nút lưu trữ chỉ vận hành bên trong lãnh thổ Việt Nam.
- Phân tách trách nhiệm: Chuỗi khối gốc chỉ lưu trữ tối thiểu metadata (DID và khóa công khai), trong khi nội dung nhạy cảm thực tế được mã hóa và lưu giữ trong NDA SFS - dưới quyền kiểm soát của chủ sở hữu.

9.4 Khả năng phục hồi và sẵn sàng Cao

NDACHain được thiết kế để vận hành liên tục ngay cả trong điều kiện bất lợi:

- Dự phòng địa lý: Nút xác thực và nút lưu trữ được phân bố trên ba khu vực lớn để chịu đựng các sự cố vùng hoặc thiên tai.
- Khả năng chịu lỗi: Đồng thuận QBFT của Chuỗi khối gốc chịu được tới 1/3 nút xác thực bị lỗi hoặc bị xâm hại.
- Failover tự động: Các nút tự động kết nối lại và đồng bộ lại trong trường hợp phân vùng mạng.
- Phục hồi sau thảm họa: Sao lưu định kỳ, snapshot và Kế hoạch duy trì hoạt động (BCP) đã được kiểm chứng để phục hồi nhanh chóng.
- Mục tiêu sẵn sàng: Thời gian hoạt động liên tục trên 99,95%, đã được kiểm chứng qua các đợt chạy testnet kéo dài và vận hành sản xuất giai đoạn đầu.

Bảng 2: Các tính năng bảo mật và khả năng phục hồi chính

Khía cạnh	Cơ chế	Lợi ích
Bảo mật Đồng thuận	QBFT PoA + Khóa ủy thác theo Ngưỡng	Tham gia có kiểm soát kèm khả năng can thiệp khẩn cấp
phân quyền	Cơ chế xác thực hai lớp (Mật mã + Định danh)	Bảo vệ mạnh mẽ chống truy cập trái phép
Bảo vệ Dữ liệu	E2EE phía máy khách + Lưu trữ Zero-Trust	Nút lưu trữ không thể truy cập dữ liệu dạng văn bản gốc
Thu hồi	Sổ đăng ký thu hồi on-chain theo thời gian thực	Hiệu lực tức thời trên toàn hệ sinh thái
Khả năng phục hồi	Phân bố 3 vùng + chịu lỗi 1/3	Vẫn vận hành khi sự cố vùng xảy ra
Khả năng đối soát	Ghi nhật ký bất biến trên Chuỗi khối gốc	Truy vết đầy đủ phục vụ pháp lý và điều tra

9.5 Tuân thủ và chứng nhận

NDACHain được xây dựng để tuân thủ:

- Yêu cầu an toàn thông tin cấp độ 4 của quốc gia.
- Luật Bảo vệ Dữ liệu Cá nhân và các quy định về lãnh thổ dữ liệu.
- Các tiêu chuẩn quốc tế bao gồm W3C DID/VC, ISO/IEC 27001 và các nguyên tắc của eIDAS 2.0 (khi áp dụng được dưới sự kiểm soát quốc gia).

Các đợt đối soát an ninh độc lập, kiểm thử thâm nhập và đánh giá tuân thủ được thực hiện định kỳ - như một phần của quá trình quản trị liên tục.

Bằng việc tích hợp các biện pháp kỹ thuật mạnh với quản trị vững chắc và sự giám sát quốc gia, NDACHain mang đến nền tảng an toàn, riêng tư và có khả năng phục hồi cao - đủ năng lực phục vụ những dịch vụ số nhạy cảm nhất của Việt Nam.

9.6 Khả năng chống lượng tử và mật mã linh hoạt

Là hạ tầng tin cậy quốc gia dài hạn, NDACHain áp dụng cách tiếp cận có khả năng tương thích về phía trước cho bảo mật mật mã - bao gồm cả việc chuẩn bị cho mối đe dọa từ điện toán lượng tử.

Năng lực hiện tại

Phiên bản hiện tại đã đặt sẵn nền tảng cho khả năng sẵn sàng hậu lượng tử:

- Cơ chế Khối Ký kép (chế độ tùy chọn): Mã nguồn NDACHain hỗ trợ một chế độ tùy chọn - cho phép ký các khối bằng cả lược đồ chữ ký cổ điển (ví dụ ECDSA) và thuật toán hậu lượng tử phù hợp với tiêu chuẩn đang hình thành ML-DSA (FIPS 204). Cơ chế cho phép sớm áp dụng bảo mật chống lượng tử mà vẫn duy trì tương thích với hạ tầng hiện hữu. Cơ chế được triển khai ban đầu trên các Chuỗi nghiệp vụ chọn lọc để đánh giá hiệu năng và khả năng tương tác - trước khi nhân rộng lên Chuỗi khối gốc.
- Tính linh hoạt của lớp định danh: Khung DID và VC hỗ trợ nhiều phương pháp mật mã, cho phép các bên cấp định danh áp dụng các thuật toán mạnh hơn mà không phải thay đổi chuỗi nền.

Nguyên tắc thiết kế

- Linh hoạt mật mã: Các thuật toán không bị cố định và có thể được nâng cấp thông qua các định danh chuẩn trong DID và quy trình xác minh.
- Di trú phân lớp: Chuỗi khối gốc, ChainHub và các Chuỗi nghiệp vụ có thể áp dụng cơ chế hậu lượng tử một cách độc lập.
- Mô hình chuyển tiếp lai: Cách tiếp cận chữ ký kép bảo đảm tính liên tục của niềm tin trong các giai đoạn di trú.

Hướng đi tương lai

NDACHain sẽ tiếp tục đồng bộ với các tiêu chuẩn hậu lượng tử quốc tế và mở rộng dần mật mã chống lượng tử trên các thành phần định danh, quản trị và phân quyền liên chuỗi.

10. Quản trị, vận hành và quản lý hệ sinh thái

Quản trị hiệu quả là yếu tố thiết yếu với một hạ tầng chuỗi khối quốc gia. NDACHain triển khai một khung quản trị rõ ràng, phân lớp - vừa bảo đảm sự giám sát mạnh của nhà nước, vừa duy trì hiệu quả vận hành và sự tham gia rộng rãi của hệ sinh thái, mà vẫn giữ được tính minh bạch và trách nhiệm giải trình.

10.1 Nguyên tắc quản trị

Quản trị NDACHain xoay quanh ba nguyên tắc cốt lõi rút ra từ yêu cầu quốc gia:

- Kiểm soát quốc gia thống nhất: Chuỗi khối gốc là lớp có thẩm quyền duy nhất cho các quyết định chiến lược và thực thi chính sách.
- Tách bạch nhiệm vụ: Phân biệt rõ giữa hoạch định chính sách, quản lý dịch vụ và vận hành hằng ngày - nhằm tránh tập trung quyền lực và tạo điều kiện cho giám sát hiệu quả.
- Minh bạch có thể đối soát: Mọi hành động quản trị, đặc biệt những hành động liên quan đến Khóa ủy thác, đều được ghi vĩnh viễn trên Chuỗi khối gốc phục vụ đối soát và rà soát quy phạm.

10.2 Mô hình quản trị ba lớp

NDACHain áp dụng khung quản trị ba lớp có cấu trúc:

1. Lớp quản trị (Hoạch định chính sách và giám sát chiến lược)

- Do Ủy ban Chỉ đạo Chuỗi khối Quốc gia (hoặc cơ quan có thẩm quyền được chỉ định) dẫn dắt.
- Chịu trách nhiệm về chính sách cấp cao, các quyết định kiến trúc lớn, phê duyệt các Chuỗi nghiệp vụ mới và thiết lập tiêu chuẩn quốc gia.
- Cơ chế then chốt: Khóa ủy thác (cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n) do một nhóm nhỏ các đơn vị ủy thác cấp quốc gia nắm giữ. Các khóa này cần thiết cho những hành động trọng yếu - nâng cấp giao thức, can thiệp khẩn cấp, thay đổi tập hợp nút xác thực, thực thi chính sách quy mô lớn.

- Mọi hành động sử dụng Khóa ủy thác đều bắt buộc phải được ghi nhật ký trên Chuỗi khối gốc kèm bằng chứng mật mã đầy đủ.

2. Lớp quản lý (Giám sát dịch vụ và chất lượng)

- Chịu trách nhiệm về chất lượng dịch vụ hằng ngày, tuân thủ tiêu chuẩn, quản lý SLA và điều phối hệ sinh thái.
- Các chức năng chính bao gồm:
 - Định nghĩa các tiêu chuẩn kỹ thuật và yêu cầu tích hợp.
 - Quản lý Thỏa thuận Mức Dịch vụ (SLA) với các tổ chức tham gia.
 - Giám sát tuân thủ bảo mật và quản trị rủi ro.
 - Điều phối khả năng tương tác liên ngành.

Lớp này là cầu nối giữa chính sách chiến lược và vận hành kỹ thuật.

3. Lớp vận hành (Triển khai kỹ thuật và bảo trì)

- Đảm trách vận hành, giám sát và phát triển kỹ thuật của hạ tầng.
- Trách nhiệm chính:
 - Triển khai và bảo trì nút xác thực.
 - Giám sát mạng và phản ứng sự cố - qua Trung tâm vận hành mạng (NOC) và Trung tâm vận hành an ninh (SOC) hoạt động 24/7.
 - Triển khai và hỗ trợ Chuỗi nghiệp vụ (mô hình BaaS và SCaaS).
 - Nâng cấp kỹ thuật và tối ưu hiệu năng.
 - Tiếp nhận thành viên mới và hỗ trợ kỹ thuật.

10.3 Khóa ủy thác và quản trị khẩn cấp

Khóa quản trị đặc biệt (Khóa ủy thác) là cơ chế mạnh nhưng được kiểm soát chặt - dành cho các cơ quan nhà nước:

- Cho phép can thiệp nhanh trong các tình huống khẩn cấp - sự cố an ninh, đình chỉ chuỗi hay thực thi chính sách trọng yếu.
- Yêu cầu phê duyệt đa bên (lược đồ ngưỡng) để tránh hành động đơn phương.
- Mọi lần sử dụng đều có thể đối soát đầy đủ trên Chuỗi khối gốc - cân bằng giữa tốc độ và trách nhiệm giải trình.

Cơ chế này đặc biệt giá trị với một hạ tầng quốc gia: cho phép phản ứng nhanh mà vẫn giữ vững niềm tin và tính minh bạch.

10.4 Tiếp nhận nút xác thực và đối tượng tham gia

Việc tham gia NDACHain được kiểm soát chặt chẽ:

- Nút xác thực: Lựa chọn qua quy trình quốc gia minh bạch, dựa trên năng lực kỹ thuật, vị thế pháp lý và tầm quan trọng chiến lược. Chỉ các tổ chức được phê duyệt - bộ ngành, doanh nghiệp nhà nước lớn và đơn vị công nghệ tin cậy - mới được vận hành nút xác thực.
- Nút vận hành: Cho phép tham gia rộng rãi hơn cho mục đích đồng bộ và truy vấn dữ liệu.
- Đơn vị Vận hành Chuỗi nghiệp vụ: Bất kỳ cơ quan nhà nước hay doanh nghiệp được phê duyệt nào đều có thể yêu cầu Chuỗi nghiệp vụ chuyên dụng hoặc dùng chung sau khi đăng ký DID thành công và được cấp VC.

Quy trình tiếp nhận gồm đánh giá kỹ thuật, đối soát an ninh và phê duyệt chính thức từ Lớp Quản trị.

10.5 Mô hình vận hành

NDACHain vận hành với phân chia trách nhiệm rõ ràng:

- Giám sát 24/7: Trung tâm vận hành mạng và Trung tâm vận hành an ninh tập trung phục vụ giám sát theo thời gian thực.

- Phản ứng sự cố: Quy trình leo thang được định nghĩa với trách nhiệm rõ ràng ở từng lớp quản trị.
- Quản lý hiệu năng: Báo cáo định kỳ về các chỉ số chính - TPS của Chuỗi khối gốc, thông lượng hệ sinh thái, thời gian đạt tính bất biến và độ sẵn sàng hệ thống.
- Quy trình nâng cấp: Được kiểm soát qua quản trị bằng hợp đồng thông minh, với phê duyệt bằng Khóa ủy thác là bắt buộc cho các thay đổi lớn.

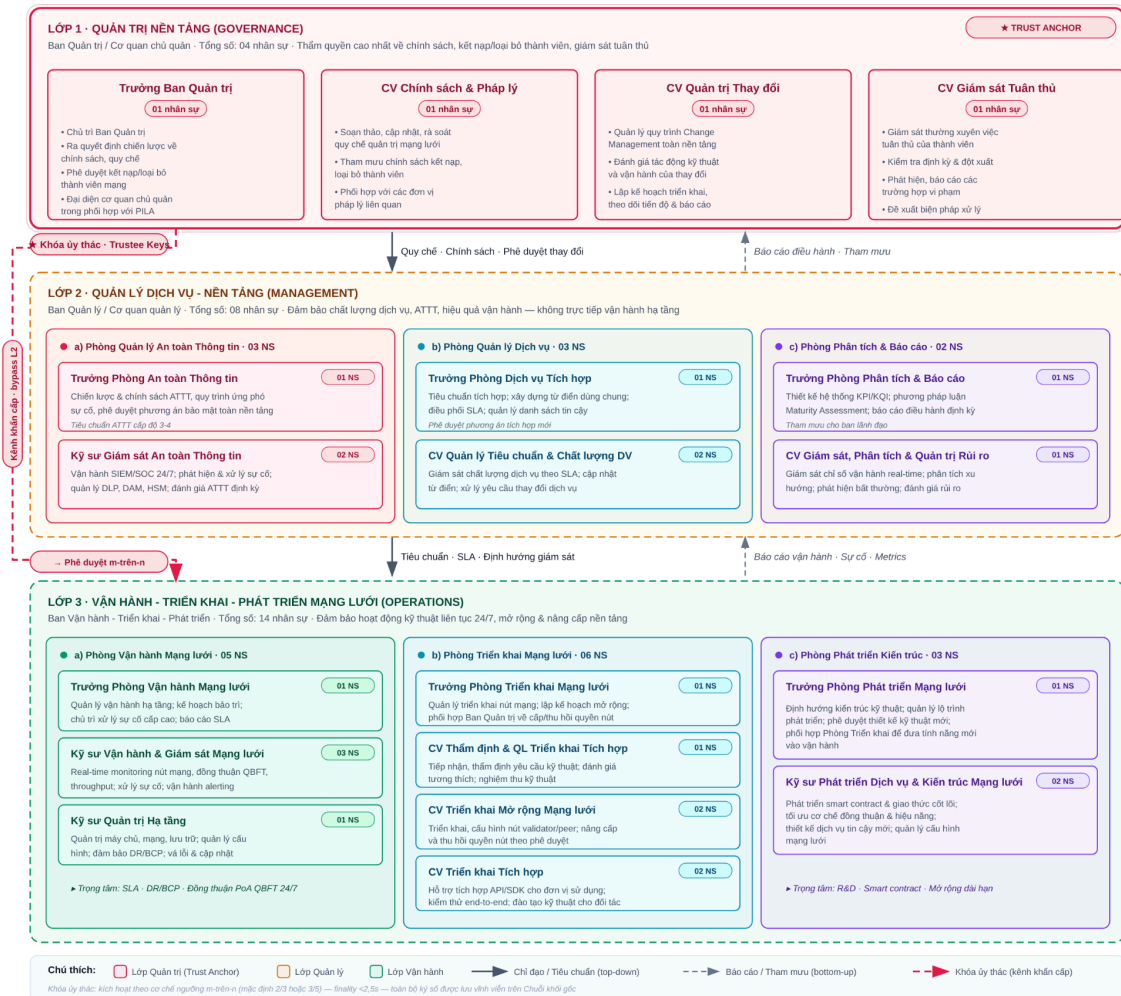
Vận hành miễn phí gas cho dịch vụ công được tài trợ ở cấp hạ tầng quốc gia - qua đó khuyến khích phổ cập rộng rãi giữa các cơ quan nhà nước và công dân.

10.6 Phát triển hệ sinh thái

NDACHain chủ động kiến tạo một hệ sinh thái quốc gia sôi động thông qua:

- Công cụ cho lập trình viên: Môi trường tương thích EVM, các SDK và mẫu hợp đồng thông minh đã được phê duyệt.
- Hỗ trợ tích hợp: Cổng API, tài liệu và hỗ trợ kỹ thuật cho các bộ ngành và doanh nghiệp.
- Chương trình thí điểm: Triển khai liên tục Chuỗi nghiệp vụ trong các lĩnh vực ưu tiên (chuỗi cung ứng, chứng chỉ số, chia sẻ tài liệu an toàn).
- Đào tạo và nâng cao năng lực: Các chương trình phát triển chuyên gia chuỗi khối trong nước.

Hình 6: Mô hình quản trị ba lớp của NDACHain



Khung quản trị này giúp NDACHain luôn nằm dưới sự kiểm soát chặt chẽ của quốc gia, đồng thời đủ linh hoạt để hỗ trợ đổi mới và sự tham gia rộng rãi trong nền kinh tế số của Việt Nam.

11. Tình trạng triển khai và hiệu năng

NDACHain đã vượt qua giai đoạn thiết kế lý thuyết để bước vào phát triển, kiểm thử và triển khai sản xuất giai đoạn đầu. Mục này trình bày tình trạng triển khai hiện tại, các chỉ số hiệu năng thực tế và kết quả ban đầu từ các nguyên mẫu, mạng thử nghiệm quốc gia và các trường hợp sử dụng thí điểm.

11.1 Tình trạng triển khai hiện tại

NDACHain hiện đang vận hành trong ba môi trường:

- Môi trường nguyên mẫu: Cấu hình quy mô nhỏ phục vụ kiểm chứng kiến trúc ban đầu và phát triển tính năng.
- Mạng thử nghiệm quốc gia (Testnet): Môi trường quy mô đầy đủ với các nút xác thực phân bố trên ba khu vực Bắc, Trung, Nam - là nền tảng kiểm thử và đo hiệu năng chính.
- Triển khai sản xuất giai đoạn đầu: Sử dụng sản xuất hạn chế với tải công việc quốc gia thực tế, đáng chú ý nhất là trong truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng và logistics.

Chuỗi khối gốc đã được triển khai và đưa vào sản xuất đầy đủ. Khung định danh và tương tác - bao gồm Sổ đăng ký DID, cấp phát VC, Công cụ phân quyền thời gian thực thi và hỗ trợ VP - đã đi vào vận hành. Nhiều Chuỗi nghiệp vụ đã được kết nối thành công và NDA SFS đang vận hành ở chế độ thí điểm.

Các thành phần đã ở giai đoạn sản xuất hoặc kiểm thử nâng cao bao gồm:

- Cơ chế quản trị Chuỗi khối gốc và Khóa ủy thác.
- Đăng ký DID theo cơ chế Chain-as-Entity và quản lý vòng đời VC.
- Cơ chế phân quyền thời gian thực thi hai lớp.
- Khả năng tương tác trực tiếp giữa các Chuỗi nghiệp vụ qua VP.
- NDA SFS phân tầng với mã hóa đầu cuối.

11.2 Kết quả Hiệu năng

Các đo kiểm thực tế trên testnet quốc gia và môi trường sản xuất giai đoạn đầu cho thấy NDACHain đáp ứng - hoặc vượt - các mục tiêu thiết kế.

Hiệu năng Chuỗi khối gốc (Lớp Điều khiển):

- Thông lượng ghi duy trì: 1.150 – 1.280 TPS dưới tải hỗn hợp gồm quản trị, cấp phát DID/VC và neo dữ liệu liên chuỗi.
- Tính bất biến trung bình: 2,1 – 2,4 giây (tất định).
- Thời gian tạo khối: 2,5 giây ($\pm 0,2$ s) như đã cấu hình.
- Hiệu quả tài nguyên: Vận hành ổn định với 7–11 nút xác thực phân bố trên ba khu vực địa lý.
- Thời gian hoạt động liên tục: 99,97% đạt được trong các đợt stress test kéo dài hơn 72 giờ.

Hiệu năng toàn hệ sinh thái:

- Thông lượng tổng cộng trên các Chuỗi nghiệp vụ: vượt 100.000 TPS khi chạy đồng thời nhiều chuỗi.
- Chi phí trễ tương tác liên chuỗi qua VP: dưới 8% so với giao dịch nội bộ Chuỗi nghiệp vụ.
- Độ trễ truy xuất NDA SFS: dưới một giây cho truy cập tăng địa phương; dưới 2 giây cho truy cập tăng vùng/quốc gia trong điều kiện tải bình thường.

Các kết quả này khẳng định hiệu quả của kiến trúc phân lớp: Chuỗi khối gốc giữ được sự ổn định, có thể dự đoán cho các nhiệm vụ quản trị, trong khi các Chuỗi nghiệp vụ hấp thụ phần lớn tải vận hành khối lượng cao.

Bảng 3: Tóm tắt hiệu năng NDACHain (Testnet & sản xuất giai đoạn đầu)

Chỉ số	Chuỗi khối gốc (Điều khiển)	Hệ sinh thái (Chuỗi nghiệp vụ)	Ghi chú
Thông lượng Ghi	1.150 – 1.280 TPS	> 100.000 TPS tổng cộng	Tải hỗn hợp thực tế
Tính bất biến	2,1 – 2,4 giây	< 5 giây (đã neo)	Tất định trên Chuỗi khối gốc

Chỉ số	Chuỗi khối gốc (Điều kiện)	Hệ sinh thái (Chuỗi nghiệp vụ)	Ghi chú
Thời gian tạo khối	2,5 giây	Cấu hình theo từng chuỗi	-
Thời gian hoạt động liên tục	99,97%	99,95%+	Đo trên 30+ ngày
Chi phí Trễ VP Liên chuỗi	-	< 8%	Trực tiếp Domain-to-Domain

11.3 Các trường hợp sử dụng thí điểm

Thí điểm sản xuất đầu tiên là Chuỗi nghiệp vụ Truy xuất Nguồn gốc Chuỗi cung ứng và Logistics - kết nối tới Chuỗi khối gốc:

- Các sự kiện (sản xuất, vận chuyển, phân phối) được ghi trên Chuỗi nghiệp vụ.
- Các điểm neo truy xuất quan trọng và việc chuyển nhượng quyền sở hữu được gửi lên Chuỗi khối gốc để xác thực và đối soát ở cấp quốc gia.
- Các tổ chức tham gia dùng VP để trao đổi dữ liệu trực tiếp giữa các chuỗi đã được phân quyền.
- NDA SFS được dùng để lưu trữ an toàn các tài liệu hỗ trợ - chứng chỉ, hóa đơn, biên bản kiểm tra - với quyền truy cập do chủ sở hữu kiểm soát.

Kết quả ban đầu cho thấy cải thiện đáng kể về tốc độ truy xuất, giảm rủi ro gian lận và đơn giản hóa báo cáo tuân thủ cho cơ quan quản lý.

Các thí điểm bổ sung trong lĩnh vực chứng chỉ số và chia sẻ tài liệu chính phủ an toàn đang được triển khai với kết quả khả quan.

11.4 Bài học và tối ưu liên tục

Quá trình triển khai đã kiểm chứng nhiều lựa chọn kiến trúc:

- Việc tách biệt mặt phẳng điều khiển (Chuỗi khối gốc) khỏi mặt phẳng thực thi (Chuỗi nghiệp vụ) ngăn ngừa hiệu quả các nút thắt quản trị.
- Khả năng tương tác trực tiếp dựa trên VP làm giảm đáng kể tải cho Chuỗi khối gốc.
- Phân bố địa lý của các nút xác thực mang lại khả năng phục hồi rất tốt.
- Cơ chế Khóa ủy thác cho phép quản trị khẩn cấp nhanh và có thể đối soát.

Các hướng đang tiếp tục tối ưu gồm: tinh chỉnh thêm Trust Oracle để giảm độ trễ, mở rộng các chiến lược nhân bản của NDA SFS và hoàn thiện các bảng giám sát phục vụ tầm nhìn toàn hệ sinh thái.

Cách tiếp cận triển khai theo giai đoạn của NDACHain - bắt đầu từ ổn định Chuỗi khối gốc cốt lõi rồi mới mở rộng các Chuỗi nghiệp vụ và lưu trữ - đã chứng tỏ hiệu quả trong quản trị rủi ro và tăng trưởng năng lực bền vững.

Tình trạng hiện tại khẳng định: NDACHain không chỉ đúng về lý thuyết mà còn khả thi về thực tiễn - với tư cách là nền tảng chuỗi khối quốc gia của Việt Nam, mang lại hiệu năng đo lường được và giá trị vận hành thực tế trong các lĩnh vực ưu tiên.

12. Phân tích so sánh và lợi thế chiến lược

Kiến trúc Đa chuỗi Phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc của NDACHain được thiết kế riêng cho bối cảnh Việt Nam - một quốc gia đơn nhất quy mô trung bình. Mục này so sánh NDACHain với các cách tiếp cận quốc tế chính và làm rõ các lợi thế chiến lược của nền tảng.

12.1 So sánh với các mô hình quốc tế

Các sáng kiến chuỗi khối quốc gia trên thế giới đã đi theo những triết lý kiến trúc khác nhau, tùy theo quy mô, mô hình quản trị và ưu tiên:

- Mạng dịch vụ dựa trên Chuỗi khối (BSN) của Trung Quốc: Mô hình liên minh "mạng của các mạng" quy mô lớn, không có gốc kỹ thuật duy nhất. Đạt quy mô khổng lồ nhờ chuẩn hóa và phối hợp chính sách, nhưng khả năng truy vết kỹ thuật và kiểm soát tập trung giữa hàng nghìn chuỗi vẫn tương đối lỏng.
- Hạ tầng Dịch vụ Chuỗi khối Châu Âu (EBSI) của Liên minh Châu Âu: Mạng có cấp phép theo mô hình ngang hàng, đặt trọng tâm vào khả năng tương tác xuyên biên giới và Định danh tự chủ. Mô hình chủ động không có một gốc kỹ thuật trung tâm để tôn trọng chủ quyền các nước thành viên - cái giá là sự phối hợp phức tạp và khả năng đối soát thống nhất bị hạn chế.
- Khung Chuỗi khối Quốc gia của Ấn Độ (Vishvasya): Mô hình Blockchain-as-a-Service phân tán, tập trung vào dịch vụ công. Dù được điều phối ở cấp chính sách qua tài nguyên đám mây tập trung, mô hình thiếu một lớp kiểm soát có thẩm quyền duy nhất cho việc quản trị và truy vết liên chuỗi nhất quán.

Trái lại, NDACHain đi theo Kiến trúc Đa chuỗi Phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc - với một Chuỗi khối gốc có cấp phép đóng vai trò là điểm neo niềm tin và kiểm soát trung tâm. Thiết kế này đặc biệt phù hợp với quy mô Việt Nam (khoảng 100 triệu dân) và mô hình quản trị đơn nhất, nơi giám sát quốc gia mạnh mẽ và thực thi chính sách hiệu quả là ưu tiên chiến lược.

12.2 Các lợi thế so sánh chính

1. Quản trị thống nhất và khả năng đối soát mạnh hơn

NDACHain đặt mọi quyết định trọng yếu - quản lý danh sách cho phép, neo định danh, cấp phát quyền hạn, các hoạt động liên chuỗi - vào một Chuỗi khối gốc có thẩm quyền duy nhất, kèm bằng chứng kiểm soát mật mã. Đây là điều rất khó đạt được trong các mô hình liên minh hay ngang hàng - nơi truy vết bị phân tán và đòi hỏi nhiều phối hợp.

2. Cân bằng giữa kiểm soát và khả năng mở rộng

Kiến trúc phân lớp tách bạch rõ giữa mặt phẳng điều khiển (Chuỗi khối gốc) và mặt phẳng thực thi (Chuỗi nghiệp vụ). Chuỗi khối gốc duy trì hiệu năng có thể dự đoán (~1.200 TPS thông lượng ghi với tính bất biến ≤ 2,5 giây), trong khi các Chuỗi nghiệp vụ mang lại thông lượng tổng cộng cao (> 100.000 TPS toàn hệ sinh thái). Mô hình cho phép mở rộng đồng thời theo chiều ngang (bổ sung Chuỗi nghiệp vụ mới) và chiều dọc (tinh chỉnh từng chuỗi) - mà không làm suy giảm giám sát quốc gia.

3. Quản trị hiệu quả và phản hồi nhanh

Khóa quản trị đặc biệt - vận hành theo cơ chế xác thực đa nhân tố ngưỡng m-trên-n - cho phép các đơn vị ủy thác quốc gia được chỉ định thực hiện can thiệp khẩn cấp nhanh chóng, và đồng thời bảo đảm mọi hành động đều có thể đối soát đầy đủ trên Chuỗi khối gốc. Phê duyệt chuỗi, cập nhật quyền hạn và thu hồi có thể hoàn tất trong vài phút đến vài giờ - khác xa thời gian phối hợp chính sách hàng ngày hoặc hàng tuần ở các hệ thống liên minh lớn hơn.

4. Ít bề mặt tấn công và bảo mật đơn giản hơn

Khi tập trung kiểm soát vào một lớp Chuỗi khối gốc được bảo vệ tốt thay vì hàng trăm nút độc lập, NDACHain thu hẹp đáng kể bề mặt tấn công chính. Kết hợp với cơ chế xác thực hai lớp, thu hồi theo thời gian thực và phân bố địa lý, mô hình bảo mật trở nên đơn giản và dễ thực thi hơn.

5. Khả năng tương tác trung lập về công nghệ

Các Chuỗi nghiệp vụ có thể tham gia hệ sinh thái bất kể công nghệ nền - EVM, Hyperledger Fabric, các chuỗi tùy biến, Layer 2, sidechain hay appchain. Các tương tác ngang hàng trực tiếp qua VP còn giúp giảm thêm các nút thắt trung tâm, đồng thời vẫn giữ được khả năng truy vết.

6. Lưu trữ dữ liệu có chủ quyền và cầu nối Web2-Web3

NDA SFS cung cấp lưu trữ mã hóa đầu cuối, lấy định danh làm trung tâm với phân phối phân tầng quốc gia. Cùng một bộ VC vận hành liền mạch cho cả xác minh on-chain và off-chain - tạo cầu nối tự nhiên giữa các hệ thống truyền thống và ứng dụng chuỗi khối.

12.3 So sánh định lượng

Bảng 4: NDACHain so với các sáng kiến chuỗi khối quốc gia lớn

Khía cạnh	NDACHain (Việt Nam)	BSN (Trung Quốc)	EBSI (EU)	Vishvasya (Ấn Độ)
Kiến trúc	Đa chuỗi phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc	Mạng liên minh	Liên minh ngang hàng	BaaS phân tán
Cơ chế Kiểm soát	Kỹ thuật + chính sách mạnh	Chính sách + chuẩn hóa	Phi tập trung giữa các quốc gia	Chính sách + đám mây
Truy vết & Khả năng đối soát	Cao (nguồn duy nhất trên Chuỗi khối gốc)	Phân tán	Phân tán	Trung bình
Quy mô Tối ưu	Quốc gia đơn nhất quy mô trung bình	Rất lớn	Liên minh đa chủ quyền	Liên bang lớn
Khả năng Phản hồi Quản trị	Cao (phút-giờ)	Trung bình-cao	Thấp-trung bình	Trung bình
Bề mặt Tấn công	Thấp (lớp kiểm soát trung tâm)	Cao	Cao	Trung bình
Linh hoạt Công nghệ	Cao (trung lập)	Trung bình	Trung bình	Trung bình

12.4 Lợi thế chiến lược cho Việt Nam

Với một quốc gia có quy mô và mô hình quản trị như Việt Nam, cách tiếp cận lấy chuỗi khối gốc làm trọng tâm mang lại sự cân bằng thực tiễn:

- Mang lại trách nhiệm giải trình rõ ràng hơn và phản ứng quốc gia nhanh hơn so với các mô hình phi tập trung cao.
- Tránh được hạn chế hiệu năng của một chuỗi đơn lẻ và chi phí phối hợp của các liên minh lớn.
- Hậu thuẫn mạnh mẽ cho chủ quyền số, lãnh thổ dữ liệu và thực thi chính sách thống nhất - các mục tiêu cốt lõi của Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia.
- Đặt nền móng bền vững cho tương lai - có thể mở rộng theo nhu cầu quốc gia, mà vẫn nằm trọn dưới sự kiểm soát của Việt Nam.

Vì vậy, NDACHain không chỉ là một giải pháp kỹ thuật. Đây là hạ tầng quốc gia phù hợp về mặt chiến lược - đặt Việt Nam vào vị thế dẫn đầu trong phát triển chuỗi khối có chủ quyền giữa các quốc gia đơn nhất quy mô trung bình.

13. Kết luận

NDACHain là nỗ lực chiến lược của Việt Nam trong việc xây dựng một hạ tầng chuỗi khối quốc gia có chủ quyền - đủ sức đáp ứng các đòi hỏi của thời đại số. Bằng việc lựa chọn Kiến trúc Đa chuỗi Phân tầng dựa trên Chuỗi khối gốc, nền tảng đã thành công trong việc kết hợp giữa quản trị tập trung mạnh mẽ và sự giám sát quốc gia, với sự linh hoạt và khả năng mở rộng cần thiết cho rất nhiều ứng dụng chuyên ngành.

Ở trung tâm, Chuỗi khối gốc có cấp phép đóng vai trò là điểm neo niềm tin và lớp kiểm soát cho toàn bộ hệ sinh thái. Đây là nơi quản lý định danh quốc gia qua DID, thực thi quyền hạn bằng VC và bảo đảm phân quyền cũng như khả năng đối soát theo thời gian thực cho mọi nghiệp vụ trọng yếu. Các Chuỗi nghiệp vụ chuyên biệt độc lập đảm trách phần lớn tải công việc chuyên ngành ở khối lượng cao, trong khi NDA SFS cung cấp lưu trữ có chủ quyền, mã hóa đầu cuối với kiểm soát truy cập lấy định danh làm trung tâm. Khả năng tương tác trực tiếp giữa các Chuỗi nghiệp vụ - nhờ VP - còn nâng cao thêm hiệu quả mà không hy sinh khả năng truy vết quốc gia.

Kiểm thử thực tế và các triển khai giai đoạn đầu đã khẳng định tính khả thi của thiết kế này. Chuỗi khối gốc duy trì khoảng 1.200 giao dịch ghi mỗi giây với tính bất biến tất định dưới 2,5 giây. Ở cấp hệ sinh thái, thông lượng tổng cộng trên nhiều Chuỗi nghiệp vụ vượt 100.000 TPS. Việc phân bố địa lý các nút xác thực trên ba khu vực Bắc - Trung - Nam, kết hợp với Khóa ủy thác theo ngưỡng cho quản trị khẩn cấp và vận hành base fee bằng 0 cho dịch vụ công, cho thấy NDACHain có thể mang lại đồng thời kiểm soát mạnh và hiệu năng vận hành vững chắc.

Kiến trúc đặc biệt phù hợp với Việt Nam - một quốc gia đơn nhất quy mô trung bình. NDACHain mang lại trách nhiệm giải trình rõ ràng và thực thi chính sách nhanh hơn so với các hệ thống liên minh quy mô lớn như BSN của Trung Quốc hay EBSI của EU, đồng thời tránh được hạn chế về khả năng mở rộng của các cách tiếp cận chuỗi đơn. Bám sát Chiến lược Chuỗi khối Quốc gia tại Quyết định số 1236/QĐ-TTg (2024) và các khung số quốc gia khác, NDACHain đặt nền móng an toàn và có thể kiểm soát cho các dịch vụ quốc gia trọng yếu - bao gồm định danh số, chia sẻ dữ liệu an toàn, truy xuất nguồn gốc chuỗi cung ứng và chính phủ điện tử.

Trong tương lai, NDACHain sẽ phát triển qua việc triển khai theo giai đoạn các Chuỗi nghiệp vụ bổ sung, nâng cao hơn nữa các tính năng bảo vệ quyền riêng tư, tích hợp sâu hơn với các nền tảng số quốc gia hiện hữu, và thận trọng khám phá khả năng tương tác quốc tế có kiểm soát - luôn dưới sự giám sát đầy đủ của quốc gia. Ngoài việc hậu thuẫn cho chính chuyển đổi số của Việt Nam, nền tảng còn có tiềm năng làm hình mẫu tham chiếu thực tiễn cho các quốc gia khác đang đối mặt với những thách thức tương tự về quy mô và quản trị.

Tựu trung, NDACHain phản ánh cam kết của Việt Nam đối với khả năng tự chủ về công nghệ và chủ quyền số. Nền tảng cho thấy rằng một cách tiếp cận phân tầng cân bằng - quản trị mạnh ở trung tâm và thực thi linh hoạt ở các nhánh - hoàn toàn có thể mang lại đồng thời năng lực kiểm soát, khả năng mở rộng và sự đổi mới cần thiết để xây dựng một quốc gia số đáng tin cậy cho tương lai.