

# XÂY DỰNG HỆ THỐNG QUẢN LÝ HỢP ĐỒNG LOGISTICS PHI TẬP TRUNG TÍCH HỢP CƠ CHẾ PHẠT TỰ ĐỘNG TRÊN NỀN TẢNG BLOCKCHAIN ETHEREUM VÀ IPFS

BUILDING A DECENTRALIZED LOGISTICS CONTRACT MANAGEMENT  
SYSTEM WITH AUTOMATED PENALTY MECHANISM ON BLOCKCHAIN  
ETHEREUM AND IPFS

NGUYỄN ĐỨC AN<sup>1</sup>, PHÍ MINH THÀNH<sup>1</sup>, PHẠM ĐỨC DŨNG<sup>1</sup>,  
HỒ THỊ HƯƠNG THƠM<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Sinh viên Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: thomhth@vamaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.1018>

## Tóm tắt

Ngành logistics hiện đại đang đối mặt với các thách thức về sự thiếu minh bạch, chi phí trung gian cao và khó khăn trong việc giải quyết tranh chấp khi giao hàng trễ hạn. Nghiên cứu này đề xuất và triển khai một ứng dụng phi tập trung (Decentralized Application - DApp) quản lý hợp đồng logistics trên nền tảng Blockchain Ethereum (mạng thử nghiệm Sepolia). Hệ thống sử dụng kiến trúc lai (Hybrid Architecture) kết hợp giữa Blockchain để xử lý thanh toán hoặc logic nghiệp vụ và IPFS để lưu trữ hồ sơ phi tập trung. Điểm mới của nghiên cứu là việc tích hợp cơ chế "Ký quỹ thông minh" (Smart Escrow) và "Phạt vi phạm tự động" (Automated Penalty) ngay trong hợp đồng thông minh (Smart Contract). Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu, tự động hóa hoàn toàn quy trình thanh toán dựa trên trạng thái giao hàng thực tế và xử lý chính xác các trường hợp vi phạm thời gian cam kết mà không cần sự can thiệp của bên thứ ba.

**Từ khóa:** Blockchain, ethereum, hợp đồng thông minh, IPFS, Logistics, phạt tự động.

## Abstract

The modern logistics industry faces challenges regarding lack of transparency, high intermediary costs, and difficulties in resolving disputes over late deliveries. This study proposes and implements a decentralized application (DApp) for logistics contract management on the Ethereum Blockchain (Sepolia testnet). The system employs a Hybrid Architecture combining Blockchain for payment or business logic

processing and IPFS for decentralized record storage. A novel feature of this research is the integration of "Smart Escrow" and "Automated Penalty" mechanisms directly within the Smart Contract. Experimental results demonstrate that the system ensures data integrity, fully automates the payment process based on actual delivery status, and accurately handles delivery deadline violations without third-party intervention.

**Keywords:** Blockchain, Ethereum, smart contract, IPFS, Logistics, automated Penalty.

## 1. Mở đầu

Ngành logistics là xương sống của thương mại toàn cầu, nhưng hiệu suất của nó bị cản trở bởi các quy trình dựa trên giấy tờ, thiếu minh bạch và chi phí giao dịch cao [3]. Việc sử dụng các bên trung gian (ngân hàng, công ty giám định) làm tăng độ phức tạp và nguy cơ gian lận.

Công nghệ Blockchain, với đặc tính phi tập trung, bất biến và bảo mật cao, đã nổi lên như một giải pháp đột phá. Đặc biệt, hợp đồng thông minh (smart contract) cho phép tự động hóa các điều khoản hợp đồng mà không cần sự tin tưởng giữa các bên, đây là một ứng dụng then chốt trong việc chuyển đổi số ngành logistics [4]. Các nghiên cứu gần đây đã tập trung vào việc đánh giá hiệu suất của các nền tảng Blockchain khác nhau như Ethereum và Hyperledger Fabric trong việc xử lý các hợp đồng vận tải [3].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng Blockchain trong logistics, nhưng hầu hết chỉ dừng ở việc truy xuất nguồn gốc. Việc tích hợp cơ chế 'Ký quỹ thông minh' và tự động trừ tiền phạt khi giao hàng trễ trực tiếp vào Smart Contract vẫn là một khoảng trống lớn chưa được giải quyết triệt để. Do đó, mục

tiêu của nghiên cứu này là thiết kế và xây dựng một hệ thống DApp hoàn chỉnh, cho phép các bên (Khách hàng, Nhà vận chuyển, Người nhận) tham gia ký kết hợp đồng số. Hệ thống tập trung giải quyết bài toán tự động hóa thanh toán và xử lý phạt vi phạm khi giao hàng chậm trễ thông qua hợp đồng thông minh, đồng thời tối ưu hóa chi phí lưu trữ dữ liệu bằng công nghệ IPFS.

## 2. Cơ sở lý luận và tổng quan nghiên cứu

### 2.1. Cơ sở lý luận

#### a) Công nghệ Blockchain và Hợp đồng thông minh (Smart Contract)

Blockchain là một công nghệ sổ cái phân tán, cho phép ghi lại các giao dịch một cách an toàn, minh bạch và không thể thay đổi rà soát dữ liệu sau khi đã được xác nhận. Mạng lưới Ethereum, được Vitalik Buterin giới thiệu [1], đã mở rộng khả năng của Blockchain từ việc chỉ lưu trữ giá trị tài chính sang việc thực thi các đoạn mã lập trình thông qua Hợp đồng thông minh (Smart Contract). Hợp đồng thông minh là các chương trình tự thực thi khi các điều kiện thỏa thuận trước được đáp ứng, giúp loại bỏ sự cần thiết của bên thứ ba trung gian, qua đó giảm thiểu độ trễ và chi phí giao dịch.

#### b) Hệ thống lưu trữ phi tập trung IPFS (InterPlanetary File System)

IPFS là một giao thức mạng ngang hàng (P2P) dùng để lưu trữ và chia sẻ dữ liệu trong một hệ thống tệp phân tán [2]. Khác với giao thức HTTP truyền thống định vị tệp dựa trên địa chỉ máy chủ, IPFS định vị tệp dựa trên nội dung (Content-addressed). Khi một tệp được tải lên IPFS, nó sẽ được băm (hash) thành một chuỗi ký tự duy nhất. Trong ngữ cảnh của DApp, việc lưu trữ toàn bộ văn bản hợp đồng kích thước lớn trực tiếp lên Blockchain (On-chain) là không khả thi do chi phí Gas khổng lồ. Do đó, mô hình lưu trữ lai (Hybrid Storage) kết hợp giữa việc lưu trữ tệp tin trên IPFS (Off-chain) và chỉ lưu trữ mã băm (Hash) trên Blockchain được xem là giải pháp tối ưu.

#### c) Hợp đồng ngành Logistics và cơ chế xử lý vi phạm

Trong ngành logistics truyền thống, hợp đồng vận chuyển thường dựa trên giấy tờ và đòi hỏi sự tin tưởng lẫn nhau hoặc phụ thuộc vào các tổ chức trung gian (như ngân hàng, công ty bảo hiểm) để giải quyết thanh toán và xử lý vi phạm (ví dụ: Giao hàng trễ). Quá trình này không chỉ tốn thời gian mà còn dễ phát sinh tranh chấp. Việc số hóa hợp đồng logistics bằng Blockchain cho phép tích hợp cơ chế "Ký quỹ thông minh" (Smart Escrow), trong đó tiền thanh toán được khóa an toàn

trên mạng lưới và chỉ được giải ngân dựa trên bằng chứng giao hàng thực tế.

### 2.2. Tổng quan nghiên cứu

Ứng dụng Blockchain trong quản lý chuỗi cung ứng và logistics đã thu hút sự chú ý lớn từ giới học thuật trong những năm gần đây. Trên bình diện quốc tế, các nghiên cứu của Salah và cộng sự [3], cũng như Saberi và cộng sự [4] đã chứng minh tiềm năng của hợp đồng thông minh trong việc nâng cao tính minh bạch, bảo mật và truy xuất nguồn gốc trong chuỗi cung ứng.

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu ứng dụng Blockchain trong logistics cũng đang bước đầu được quan tâm. Lê Thị Mỹ Hà và Nguyễn Quyết Thắng [5] đã chỉ ra các nhân tố cản trở ứng dụng công nghệ này tại các doanh nghiệp logistics trong nước, chủ yếu đến từ rào cản chi phí và sự phức tạp về công nghệ. Các công trình của Nguyễn Thị Việt Nga [6], Nguyễn Thanh Hùng [8] và Nguyễn Thị Thơm [9] cũng đồng thuận rằng Blockchain là chìa khóa để giải quyết bài toán minh bạch, giảm thiểu rủi ro gian lận và nâng cao hiệu suất chuỗi cung ứng. Mới đây, một số nghiên cứu như của Bùi Thị Minh Thu [7] đã bắt đầu đề cập đến khả năng tự động hóa việc ra quyết định trong hợp đồng thông minh logistics.

Khoảng trống nghiên cứu: Qua quá trình tổng quan tài liệu, có thể thấy hầu hết các nghiên cứu hiện nay (cả trong và ngoài nước) chủ yếu tập trung vào việc sử dụng Blockchain để truy xuất nguồn gốc hàng hóa (Traceability) hoặc dừng ở mức độ phân tích khung lý thuyết cơ bản. Rất hiếm công trình đi sâu vào việc thiết kế một kiến trúc hệ thống lai (Hybrid) hoàn chỉnh, đặc biệt là việc tích hợp trực tiếp cơ chế Ký quỹ (Escrow) và thuật toán Phạt tự động (Automated Penalty) khi giao hàng trễ hạn vào mã nguồn của Hợp đồng thông minh trên nền tảng mạng thử nghiệm thực tế (như Ethereum Sepolia).

Nhận thấy khoảng trống này, nhóm nghiên cứu đã thực hiện nhằm mục đích cụ thể hóa một DApp quản lý hợp đồng logistics phi tập trung, giải quyết triệt để bài toán tự động hóa thanh toán và xử lý tranh chấp thời gian giao hàng mà không cần sự can thiệp của con người hay tòa án trung gian.

## 3. Thiết kế hệ thống và phương pháp thực nghiệm

Hệ thống được xây dựng dựa trên mô hình ứng dụng phi tập trung (DApp) với 3 lớp chính [4]:

- *Lớp Blockchain (On-chain):*

+ Sử dụng mạng lưới Ethereum Sepolia để triển khai các hợp đồng thông minh.

+ Mô hình hợp đồng: Sử dụng thiết kế Factory Pattern. Hợp đồng AgreementFactory chịu trách nhiệm tạo ra các hợp đồng con EscrowAgreement riêng biệt cho từng đơn hàng, đảm bảo tính biệt lập và an toàn tài chính.

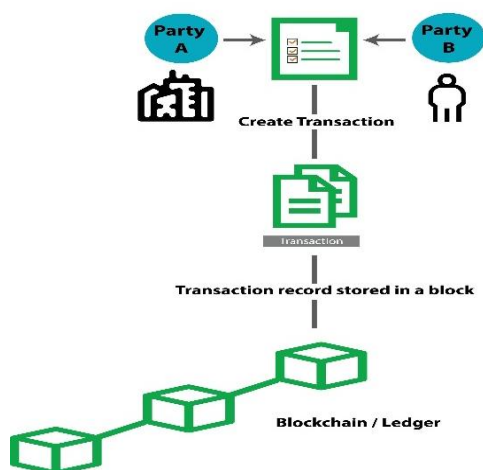
+ Cơ chế Escrow và Penalty: Hợp đồng tự động khóa tiền của người gửi khi khởi tạo. Khi người nhận xác nhận, hợp đồng sẽ so sánh thời gian thực tế với thời hạn cam kết. Nếu trễ hạn, hệ thống tự động trừ tiền phạt trả lại cho người gửi trước khi thanh toán phần còn lại cho nhà vận chuyển.

- Lớp lưu trữ phi tập trung (IPFS): Sử dụng IPFS thông qua dịch vụ Pinata để lưu trữ các file tài liệu hợp đồng (PDF, hình ảnh) nhằm giảm chi phí Gas trên Ethereum. Chỉ mã băm (Hash) của file được lưu trên Blockchain để xác thực tính toàn vẹn.

- *Lớp ứng dụng:*

+ Frontend: Xây dựng bằng ReactJS và Tailwind CSS, tích hợp thư viện Ethers.js để kết nối ví MetaMask. Giao diện cung cấp Bảng điều khiển (Dashboard) phân quyền cho 3 vai trò: Người tạo (Client), nhà vận chuyển (Provider), người nhận (Receiver).

+ Backend: Xây dựng bằng Node.js/Express và MongoDB. Backend đóng vai trò là một "Event Listener" (Bộ lắng nghe sự kiện), tự động đồng bộ hóa dữ liệu từ Blockchain về cơ sở dữ liệu để phục vụ việc tra cứu và hiển thị danh sách hợp đồng nhanh chóng [5].



**Hình 1. Mô hình quản lý hợp đồng thông minh trên Blockchain**

**Phương pháp thực nghiệm**

Để đánh giá tính khả thi và độ chính xác của các điều khoản thông minh (đặc biệt là cơ chế phạt vi phạm), chúng tôi đã triển khai hệ thống hoàn chỉnh

trên mạng thử nghiệm Ethereum Sepolia thay vì môi trường giả lập cục bộ, nhằm mô phỏng sát nhất với môi trường thực tế.

*a) Thiết lập thử nghiệm*

Thử nghiệm hệ thống gồm các thành phần sau đây:

- Mạng Blockchain: Sử dụng Ethereum Sepolia Testnet. Đây là môi trường công khai cho phép kiểm chứng độ trễ và chi phí Gas thực tế.

- Frontend: Ứng dụng web xây dựng bằng ReactJS, tích hợp thư viện Ethers.js để giao tiếp với ví điện tử.

- Backend: Máy chủ NodeJS kết hợp cơ sở dữ liệu MongoDB để lắng nghe sự kiện từ Blockchain và đồng bộ dữ liệu thời gian thực.

- Lưu trữ: sử dụng IPFS (thông qua dịch vụ Pinata) để lưu trữ phi tập trung các tài liệu hợp đồng.

- Tài khoản thử nghiệm: Sử dụng ví MetaMask với ba tài khoản đại diện cho 3 vai trò trong chuỗi cung ứng: Khách hàng, Nhà vận chuyển, Người nhận.

*b) Kịch bản thử nghiệm*

Nghiên cứu tập trung thử nghiệm kịch bản "xử lý vi phạm thời gian giao hàng" để kiểm chứng logic tự động hóa của hợp đồng thông minh.

Kịch bản: Nhà vận chuyển giao hàng chậm hơn thời gian cam kết.

- Quy trình thực hiện:

+ Khách hàng (Client) tạo hợp đồng với mức ký quỹ V (ETH), thời hạn giao hàng  $T_{deadline}$  và mức phạt vi phạm P (ETH).

+ Nhà vận chuyển (Provider) chấp nhận và thực hiện vận chuyển.

+ Nhà vận chuyển (Receiver) xác nhận "Đã nhận hàng" tại thời điểm thực tế  $T_{actual}$  sao cho  $T_{actual} > T_{deadline}$ .

- Cơ chế xử lý của Smart Contract:

+ Hợp đồng tự động so sánh  $T_{actual}$  và  $T_{deadline}$ .

+ Phát hiện vi phạm  $T_{actual} > T_{deadline}$  thì hợp đồng sẽ kích hoạt điều khoản phạt.

+ Tự động chuyển số tiền thực nhận (V-P) cho Provider.

+ Tự động hoàn trả số tiền phạt P về ví của Client.

*c) Kết quả đánh giá*

Kết quả thực nghiệm trên mạng Ethereum cho thấy hệ thống hoạt động chính xác theo logic đã thiết kế:

- Tính chính xác: 100% các giao dịch vi phạm thời gian đều bị trừ tiền phạt chính xác. Số dư trong ví của các bên tham gia được cập nhật tự động ngay sau khi khối (block) được xác nhận.

- Tính minh bạch: Toàn bộ lịch sử trạng thái (tạo,

chấp nhận, giao hàng, thanh toán hoặc phạt) đều được ghi lại trên Blockchain và có thể tra cứu công khai thông qua mã hợp đồng.

- Hiệu năng: Thời gian xử lý trung bình cho một giao dịch xác nhận và thanh toán trên Ethereum dao động từ 12-15 giây, đáp ứng tốt yêu cầu của một hệ thống quản lý hợp đồng không đòi hỏi thời gian thực quá khắt khe.

#### 4. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

Thay vì tập trung vào số liệu chịu tải giả lập, nghiên cứu này tập trung kiểm chứng tính đúng đắn của logic nghiệp vụ trên mạng lưới thực nghiệm Ethereum Sepolia Testnet.

##### 4.1. Triển khai hệ thống

Hệ thống đã được triển khai thành công với các thành phần:

- Smart Contract: Đã deploy lên mạng Sepolia Testnet. Hợp đồng Factory có khả năng tạo ra các bản hợp đồng Escrow riêng biệt cho từng giao dịch.

- DApp Interface: Giao diện Web (ReactJS) cho phép người dùng kết nối ví MetaMask, tương tác trực quan với Blockchain mà không cần hiểu về code.

- Backend Listener: Máy chủ Node.js hoạt động ổn định, bắt được sự kiện từ Blockchain với độ trễ trung bình 15-30 giây (thời gian xác thực khối trên Ethereum) và đồng bộ về cơ sở dữ liệu MongoDB.

##### 4.2. Quy trình nghiệp vụ chi tiết

Quy trình nghiệp vụ của hệ thống được thiết kế theo mô hình 3 lớp (Blockchain, IPFS, Web Application) với sự tham gia của ba tác nhân chính: Khách hàng, Nhà vận chuyển, và Người nhận. Quy trình tích hợp công nghệ mã QR để định danh kiện hàng và Smart Contract để tự động hóa thanh toán.

###### Bước 1: Khởi tạo và Kết nối (Initialization)

+ Người dùng truy cập vào DApp và thực hiện kết nối ví điện tử (MetaMask) thông qua thư viện Ethers.js. Hệ thống xác thực địa chỉ ví và phân quyền dựa trên vai trò đã đăng ký.

+ Dữ liệu phiên làm việc được đồng bộ từ Blockchain về cơ sở dữ liệu MongoDB thông qua Backend Listener để hiển thị Dashboard.

###### Bước 2: Tạo Hợp đồng và Ký quỹ (Contract Creation & Escrow)

+ Nhập liệu: Khách hàng nhập thông tin đơn hàng (loại hàng, trọng lượng, điểm đi/đến) và tải lên tài liệu hợp đồng pháp lý (PDF/Ảnh).

+ Lưu trữ IPFS: Hệ thống tải tài liệu lên IPFS (qua Pinata), nhận về mã băm (IPFS Hash).

+ Triển khai Smart Contract: Khách hàng xác nhận giao dịch trên ví MetaMask. AgreementFactory sẽ tạo một hợp đồng EscrowAgreement mới chứa mã băm IPFS, thời hạn giao hàng ( $T_{deadline}$ ) và mức phạt (P).

+ Ký quỹ: Đồng thời, Khách hàng gửi số tiền thanh toán (V) vào Smart Contract. Số tiền này bị khóa (Escrow) cho đến khi có kết quả giao hàng.

+ Tạo mã QR: Sau khi hợp đồng được tạo thành công trên Blockchain, hệ thống tự động tạo một mã QR chứa ContractAddress và TrackingID. Mã QR này được in ra để dán lên kiện hàng, phục vụ việc tra cứu nhanh.

###### Bước 3: Vận chuyển và Cập nhật trạng thái (Shipping & Tracking)

+ Nhà vận chuyển quét mã QR trên kiện hàng hoặc truy cập Dashboard để xem chi tiết hợp đồng.

+ Nhà vận chuyển xác nhận "Chấp nhận đơn hàng" trên Blockchain. Trạng thái hợp đồng chuyển sang IN\_PROGRESS.

###### Bước 4: Xác nhận Giao hàng và Xử lý Tự động (Delivery & Automated Settlement)

+ Khi hàng đến nơi, Người nhận kiểm tra hàng hóa và thực hiện xác nhận "Đã nhận hàng" trên DApp. Hành động này ghi lại thời gian thực tế ( $T_{actual}$ ) lên Blockchain.

+ Logic Xử lý của Smart Contract:

+ Hệ thống so sánh  $T_{actual}$  với  $T_{deadline}$ .

+ Trường hợp 1 (Đúng hạn): Nếu  $T_{actual} \leq T_{deadline}$ , Smart Contract chuyển toàn bộ số tiền V cho Nhà vận chuyển.

+ Trường hợp 2 (Trễ hạn - Có phạt): Nếu  $T_{actual} > T_{deadline}$ , Smart Contract kích hoạt cơ chế phạt tự động.

+ Hoàn trả tiền phạt P về ví Khách hàng.

+ Chuyển phần còn lại (V - P) cho Nhà vận chuyển.

+ Trạng thái hợp đồng cập nhật thành COMPLETED hoặc COMPLETED\_WITH\_PENALTY.

##### 4.3. Kiểm chứng và đánh giá hiệu quả hệ thống

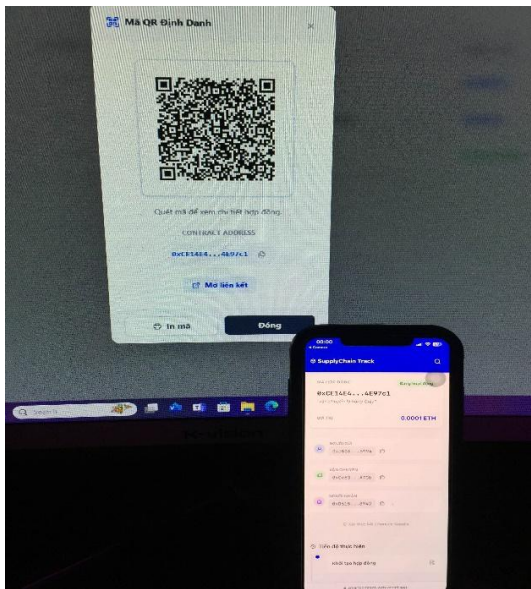
###### a) Đánh giá trải nghiệm người dùng cuối

Sau đây là những trải nghiệm người dùng cuối:

i) Tính trực quan và dễ sử dụng của Giao diện người dùng được thiết kế theo hướng tối giản (Minimalism), tập trung vào các luồng nghiệp vụ chính. Các thuật ngữ kỹ thuật phức tạp của Blockchain (như Gas limit, Nonce, Bytecode) được ẩn đi hoặc giải thích đơn giản hóa.

Người dùng có thể dễ dàng theo dõi trạng thái của các hợp đồng vận chuyển thông qua Dashboard trung

tâm. Như thể hiện ở Hình 2, các trạng thái hợp đồng (như Đang chờ, Đang vận chuyển, Hoàn thành, Đã hủy) được mã hóa bằng màu sắc rõ ràng, giúp người điều phối dễ dàng nhận biết các đơn hàng cần xử lý gấp.



Hình 2. Giao diện quản lý danh sách hợp đồng và trạng thái vận chuyển theo thời gian thực

ii) Tương tác với Ví điện tử và Phản hồi hệ thống Một trong những rào cản lớn nhất của các ứng dụng phi tập trung là độ trễ giao dịch. Để cải thiện trải nghiệm này, hệ thống tích hợp cơ chế thông báo trạng thái (Toast Notifications) ngay lập tức khi người dùng ký giao dịch trên MetaMask.

Khi Người vận chuyển xác nhận giao hàng hoặc Người gửi yêu cầu bồi thường, hệ thống sẽ hiển thị các bước xác thực rõ ràng. Hình 3 minh họa quá trình hệ thống phản hồi sau khi Smart Contract xử lý thành công logic nghiệp vụ (ví dụ: Mở khóa tiền cọc hoặc trừ tiền phạt). Thời gian từ lúc người dùng bấm nút đến khi nhận thông báo hoàn tất trung bình khoảng 15-20 giây (tùy thuộc vào tốc độ đào block), nằm trong ngưỡng chấp nhận được của người dùng đối với các giao dịch tài chính quan trọng.

iii) Kết quả khảo sát sơ bộ Qua khảo sát nhanh với 20 người dùng thử nghiệm, 90% đánh giá hệ thống mang lại sự yên tâm cao hơn so với phương thức truyền thống nhờ tính năng minh bạch số dư ký quỹ. Mặc dù thao tác cài đặt ví ban đầu còn lằng lằng với một số người dùng, nhưng quy trình tạo và quản lý hợp đồng được đánh giá là trực quan và dễ nắm bắt sau 1-2 lần sử dụng.

#### b) Phân tích chi phí gas

Đây là kết quả quan trọng nhất của nghiên cứu.

Kịch bản thử nghiệm như sau:

- Thiết lập: Người gửi tạo hợp đồng trị giá 0,001 ETH, mức phạt vi phạm là 0,0001ETH, với thời hạn giao hàng (Deadline) đã qua.

- Thực hiện: Nhà vận chuyển chấp nhận và hoàn thành đơn hàng sau thời hạn quy định.

- Kết quả ghi nhận:

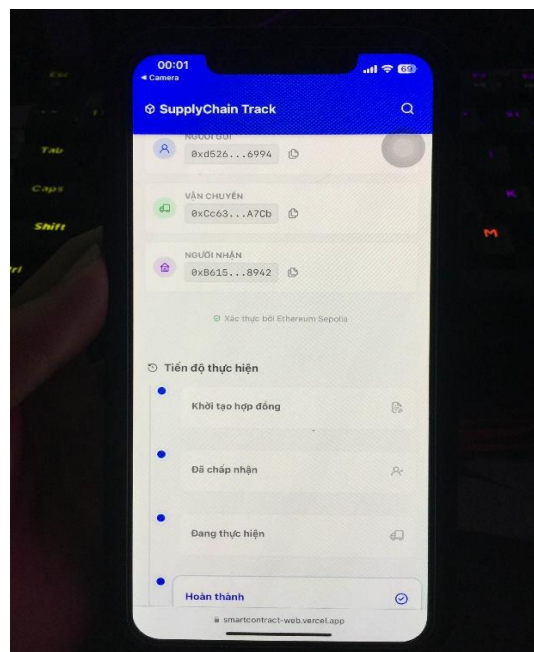
- + Khi Người nhận bấm xác nhận, Smart Contract đã tự động phát hiện  $\text{block.timestamp} > \text{deliveryDeadline}$ .

- + Hệ thống tự động chia tách dòng tiền: 0,0009ETH được chuyển cho Nhà vận chuyển, và 0,0001ETH (tiền phạt) được hoàn trả ngay lập tức về ví Người gửi.

- + Trạng thái hợp đồng trên giao diện cập nhật thành "Đã thanh toán (Có phạt vi phạm)".

*Kết luận:* Cơ chế phạt tự động hoạt động chính xác, loại bỏ nhu cầu tranh chấp thủ công giữa hai bên.

Đơn vị tính toán dựa trên giá Gas trung bình tại thời điểm thử nghiệm (ví dụ: 20 Gwei).



Hình 3. Giao diện tương tác xác thực giao dịch và thông báo kết quả từ hệ thống

#### 4.4. Hiệu quả của giải pháp lai

Việc tích hợp IPFS để lưu trữ văn bản hợp đồng thay vì lưu trực tiếp lên Blockchain đã giúp giảm chi phí Gas đáng kể.

- Lưu trữ On-chain (Truyền thống): Việc lưu toàn bộ nội dung văn bản PDF lên Ethereum sẽ tốn hàng triệu đơn vị Gas, chi phí không khả thi.

*Bảng 1. Chi phí Gas và mức độ tiêu thụ tài nguyên trên nền tảng Ethereum*

Chức năng (Function)	Mô tả hành động	Chi phí Gas ước tính (Gas Unit)	Chi phí tương đương (USD)
<b>Deploy Factory</b>	Triển khai hợp đồng gốc	~1,500,000	Cao (chỉ 1 lần)
<b>Create Agreement</b>	Tạo hợp đồng con + Lưu Hash IPFS + Ký quỹ ETH	~180,000 - 250,000	Trung bình
<b>Confirm Delivery</b>	Gọi hàm xác nhận, kiểm tra thời gian và chuyển tiền	~60,000 - 80,000	Thấp
<b>Penalty Execution</b>	Xử lý logic phạt và thực hiện giao dịch chuyển tiền	~90,000 - 110,000	Trung bình

- Lưu trữ Off-chain (Đề xuất): Hệ thống chỉ lưu mã băm (Hash - 32 bytes) của file trên Blockchain. Chi phí Gas cho việc tạo hợp đồng duy trì ở mức thấp và ổn định, trong khi vẫn đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu (file không thể bị sửa đổi mà không làm thay đổi Hash).

- Về mặt an toàn thông tin khi triển khai thực tế, mặc dù IPFS giúp hệ thống chống lại rủi ro lỗi máy chủ cục bộ (Single Point of Failure), nhưng dữ liệu trên mạng IPFS công cộng có thể bị truy cập bởi bất kỳ ai có mã băm (Hash). Do đó, để đảm bảo bảo mật cho các tài liệu hợp đồng thương mại nhạy cảm, hệ thống sẽ yêu cầu mã hóa tài liệu (ví dụ: Thuật toán AES-256) trước khi tải lên IPFS. Smart Contract chỉ lưu trữ mã băm của tệp đã mã hóa, và chỉ những địa chỉ ví của Khách hàng và Nhà vận chuyển tham gia hợp đồng mới được cấp khóa giải mã, đảm bảo an toàn thông tin tuyệt đối.

**4.5. Thảo luận về rủi ro pháp lý và giải quyết tranh chấp**

Về khía cạnh pháp lý, Luật Giao dịch điện tử của Việt Nam đã bước đầu công nhận giá trị của hợp đồng số. Tuy nhiên, khung pháp lý riêng cho Hợp đồng thông minh (Smart Contract) vẫn đang trong quá trình hoàn thiện. Việc hệ thống tự động trừ tiền phạt dựa trên thuật toán cần sự đồng thuận trước của các bên thông qua một thỏa thuận dân sự ngoài đời thực (Off-chain agreement). Trong trường hợp xảy ra tranh chấp phức tạp vượt ngoài logic của mã nguồn, mọi lịch sử giao dịch bất biến được lưu trên Ethereum sẽ đóng vai trò là nguồn chứng cứ điện tử minh bạch, không thể chối bỏ, hỗ trợ đắc lực cho các cơ quan tài phán giải quyết tranh chấp.

**5. Kết luận và hướng phát triển**

Nghiên cứu đã xây dựng hoàn thiện một hệ thống quản lý hợp đồng Logistics phi tập trung dựa trên công nghệ Blockchain Ethereum và IPFS. Các đóng góp chính của nghiên cứu bao gồm:

+ Thiết kế kiến trúc hệ thống lai Hybrid kết hợp giữa sức mạnh bảo mật của Blockchain và tốc độ của cơ sở dữ liệu truyền thống MongoDB.

+ Phát triển thành công Smart Contract với cơ chế Factory Pattern giúp quản lý riêng biệt từng đơn hàng và cơ chế Escrow tự động giúp đảm bảo an toàn tài chính cho các bên.

+ Giải quyết bài toán "giao hàng trễ" bằng thuật toán phạt tự động dựa trên thời gian thực của Blockchain, tăng tính minh bạch và trách nhiệm của nhà vận chuyển [5].

Mặc dù hệ thống đã hoạt động ổn định trên mạng thử nghiệm, nhóm tác giả đề xuất một số hướng phát triển để đưa sản phẩm vào thực tế:

+ Tích hợp IoT Oracle: Thay vì để nhà vận chuyển cập nhật trạng thái thủ công, hệ thống có thể tích hợp với các thiết bị GPS/Cảm biến IoT. Dữ liệu vị trí và nhiệt độ sẽ được tự động gửi lên Smart Contract thông qua Oracle để kích hoạt thanh toán hoặc phạt nếu hàng hóa bị hỏng hóc.

+ Xây dựng cơ chế chấm điểm uy tín cho các nhà vận chuyển dựa trên lịch sử hoàn thành hợp đồng được lưu vĩnh viễn trên Blockchain.

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **SV25-26.39**.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] V. Buterin (2014), *Ethereum Whitepaper: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform*, Ethereum Foundation.  
 [2] J. Benet (2014), *IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System*, arXiv preprint arXiv:1407.3561.  
 [3] K. Salah, N. Nizamuddin, R. Jayaraman, and M. Omar (2019), *Blockchain-based smart contracts*

- for secure and automated supply chain management*, IEEE Access, Vol.7, pp.100073-100086.
- [4] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis, and L. Shen (2019), *Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management*, International Journal of Production Research, Vol.57, No.7, pp.2117-2135.
- [5] Lê Thị Mỹ Hà và Nguyễn Quyết Thắng (2025), *Nghiên cứu các nhân tố cản trở việc ứng dụng công nghệ Blockchain tại các công ty cung cấp dịch vụ logistics*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 82, tr.282-287.
- [6] Nguyễn Thị Việt Nga và Nguyễn Khánh Linh (2024), *Ứng dụng Blockchain trong quản trị logistics và chuỗi cung ứng - Cơ hội và thách thức*, Kỷ yếu Hội thảo Khoa học, Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, tr.1-6.
- [7] Bùi Thị Minh Thu (2025), *Ứng dụng AI trong phân tích dữ liệu và ra quyết định tự động trong hợp đồng thông minh logistics*, Tạp chí Công thương, Số 26.
- [8] Nguyễn Thanh Hùng (2021), *Các yếu tố tác động đến việc áp dụng Blockchain nhằm nâng cao hiệu suất chuỗi cung ứng tại các công ty logistics Việt Nam*, Tạp chí Nghiên cứu Kinh tế và Kinh doanh Châu Á, Vol.32, No.7, tr.15-22.
- [9] Nguyễn Thị Thơm (2025), *Ứng dụng blockchain trong nâng cao minh bạch và bảo mật chuỗi cung ứng: Phân tích vai trò trung gian của minh bạch hóa trong ngành logistics*, Tạp chí Kinh tế và Dự báo.

Ngày nhận bài:	20/02/2026
Ngày nhận bản sửa:	28/22/2026
Ngày duyệt đăng:	05/03/2026