

Đại học Quốc gia Hà Nội  
Trường Đại học Công nghệ



# BÁO CÁO ĐỀ TÀI

Giám sát giao thông trong thời gian thực  
sử dụng các công nghệ dữ liệu lớn và học sâu

Môn học :

Kỹ thuật và Công nghệ Dữ liệu lớn

Giảng viên :

TS. Trần Hồng Việt

Thành viên nhóm

Mã sinh viên

Lâm Đức Anh

23020326

Ngô Đình Linh

23020394

Hà Nội, 2025

# Mục lục

<b>Danh mục hình ảnh</b>	<b>3</b>
<b>I      Giới thiệu</b>	<b>4</b>
1      Giới thiệu đề tài . . . . .	4
2      Phát biểu bài toán . . . . .	6
3      Các nghiên cứu liên quan . . . . .	6
4      Mục tiêu và phạm vi dự án . . . . .	7
4.1      Mục tiêu dự án . . . . .	7
4.2      Phạm vi thực hiện . . . . .	7
5      Phương pháp thực hiện . . . . .	8
5.1      Phương pháp nghiên cứu lý thuyết . . . . .	8
5.2      Phương pháp triển khai . . . . .	9
5.3      Phương pháp thực nghiệm và đánh giá . . . . .	9
<b>II      Cơ sở lý thuyết</b>	<b>10</b>
1      Bài toán giám sát giao thông . . . . .	10
1.1      Tổng quan về giám sát giao thông . . . . .	10
1.2      Giám sát giao thông với hệ thống camera . . . . .	11
1.3      Các bài toán con . . . . .	12
2      Học sâu . . . . .	13
2.1      YOLO trong phát hiện phương tiện . . . . .	13
2.2      CNN cho bài toán phân loại . . . . .	14
2.3      Nhận diện ký tự biển số xe . . . . .	16
2.4      Ước lượng tốc độ xe . . . . .	17
2.5      Nhận diện xe vượt đèn đỏ . . . . .	17
2.6      Ước lượng lưu lượng giao thông . . . . .	18
3      Công nghệ dữ liệu lớn . . . . .	18

3.1	Apache Kafka . . . . .	18
3.2	Apache Flink . . . . .	20
3.3	MongoDB . . . . .	21
<b>III</b>	<b>Phương pháp đề xuất</b>	<b>24</b>
1	Kiến trúc hệ thống . . . . .	24
1.1	Thiết bị biên . . . . .	24
1.2	Trình giám sát . . . . .	24
1.3	Truyền phát . . . . .	25
1.4	Xử lý luồng dữ liệu . . . . .	27
1.5	Cơ sở dữ liệu . . . . .	28
2	Phân phối, xử lý và lưu trữ dữ liệu . . . . .	28
2.1	Kafka . . . . .	28
2.2	Luồng xử lý dữ liệu chính . . . . .	28
2.3	Lưu trữ trong cơ sở dữ liệu . . . . .	29
<b>IV</b>	<b>Thực nghiệm</b>	<b>30</b>
1	Thiết kế thực nghiệm . . . . .	30
2	Triển khai hệ thống . . . . .	30
3	Dánh giá kết quả thực nghiệm . . . . .	31
<b>V</b>	<b>Kết luận</b>	<b>32</b>
1	Kết luận chung . . . . .	32
2	Hướng cải thiện dự án . . . . .	32
3	Hướng nghiên cứu tiếp theo . . . . .	33
	<b>Tài liệu tham khảo</b>	<b>34</b>

# Danh mục hình ảnh

I.1	Camera giám sát trên đường Vành đai 3 Hà Nội . . . . .	4
I.2	Trung tâm Điều hành giao thông thông minh Hà Nội . . . . .	5
II.1	Kiến trúc mô hình CNN . . . . .	15
II.2	Luồng hoạt động của Apache Kafka . . . . .	19
II.3	Cấu trúc dữ liệu trong MongoDB . . . . .	21
III.1	Sơ đồ truyền phát dữ liệu của Kafka trong hệ thống . . . . .	25
III.2	Sơ đồ luồng dữ liệu trong hệ thống . . . . .	27
IV.1	Chương trình mô phỏng camera . . . . .	30
IV.2	Chương trình giám sát . . . . .	31

# I

## Giới thiệu

### 1 Giới thiệu đề tài

Ngày nay, bùng nổ dân số và xu hướng đô đô thị hóa nhanh, dân số tập trung đông tại các thành phố lớn đòi hỏi yêu cầu phát triển cơ sở hạ tầng giao thông để đảm bảo đô thị được vận hành hiệu quả. Khi hệ thống giao thông ngày càng mở rộng và phát triển, thì các nhà quy hoạch và quản lý đô thị càng quan tâm tới bài toán giám sát một mạng lưới giao thông phức tạp của thành phố, đảm bảo cho hệ thống phải an toàn và thông suốt. Các tình huống thường gặp trên đường bao gồm ùn tắc giao thông, vượt đèn đỏ, lái xe quá tốc độ dẫn đến tai nạn và không đội mũ bảo hiểm với xe máy và thậm chí là truy vết tội phạm đang tham gia giao thông. Do đó, giám sát giao thông là một bài toán cơ bản, quan trọng và không thể thiếu với các đô thị lớn nhằm đảm bảo giao thông được vận hành hiệu quả.



Hình I.1: Camera giám sát trên đường Vành đai 3, Hà Nội. Hiện nay, thành phố Hà Nội triển khai các camera giám sát trên diện rộng hướng đến mục tiêu giám sát giao thông tự động toàn thành phố.

Trong một thời gian rất dài trước đây, tại những thành phố lớn, việc giám sát giao thông chủ yếu dựa vào lực lượng chức năng túc trực trên các tuyến đường và nút giao thông trọng điểm để quan sát, phát hiện và xử lý vi phạm. Cách tiếp cận truyền thống này phụ thuộc lớn vào số lượng nhân lực và khó đảm bảo khả năng theo dõi trên toàn bộ đô thị. Tại Việt Nam, từ lâu chính quyền đã cho lắp đặt camera an ninh ở một vài vị trí để theo dõi tình hình giao thông. Tuy nhiên, việc lắp đặt các camera giám sát một cách có hệ thống cho việc giám sát tự động chỉ mới được triển khai trong những năm gần đây, hướng đến mục tiêu giám sát tự động và ra quyết định theo thời gian thực. Tuy vậy, triển khai giám sát bằng camera trên diện rộng đặt ra nhiều vấn đề và thách thức, trong đó có vấn đề về xử lý lượng dữ liệu lớn và liên tục trong thời gian thực, có thể gây tắc nghẽn cho hệ thống và làm sai lệch kết quả giám sát.



Hình I.2: Bên trong Trung tâm Điều hành giao thông thông minh tại Thành phố Hà Nội, một cán bộ đang theo dõi các phương tiện trên màn hình máy tính.

Trong lĩnh vực Học sâu và Thị giác máy tính, mô hình YOLO là một trong những mô hình tiên tiến cho bài toán nhận diện cũng như theo dõi vật thể trong thời gian thực, có thể được áp dụng trong các bài toán giám sát giao thông như nhận diện biển số xe, phát hiện vượt đèn đỏ hoặc chạy vượt quá tốc độ, phát hiện không đội mũ khi đi xe máy, cũng như đếm lưu lượng phương tiện để cảnh báo ùn tắc. Với một lượng dữ liệu lớn cần xử lý trong thời gian thực, ta có các công nghệ dữ liệu lớn như Apache Kafka kết hợp với Apache Flink cung cấp nền tảng xử lý thời gian thực với độ trễ thấp, khả năng mở rộng quy mô và khả năng chịu lỗi cao. Khối lượng dữ liệu lớn đó có thể được lưu trữ và truy vấn hiệu quả thông qua MongoDB, một cơ sở dữ liệu NoSQL được sử dụng nhờ tính linh hoạt với dữ liệu phi cấu trúc.

## 2 Phát biểu bài toán

Bài toán “Giám sát giao thông thời gian thực sử dụng công nghệ dữ liệu lớn và học sâu” được phát biểu như sau:

1. *Dầu vào*: Là một dữ liệu video/hình ảnh được thu thập từ camera giám sát giao thông trên các tuyến đường hoặc tại nút giao, có chứa các phương tiện đang di chuyển trên đường. Các video/hình ảnh có độ phân giải và điều kiện quay chụp khác nhau, và đều được truyền phát liên tục từng khung hình trong thời gian thực.
2. *Dầu ra*: Nhật ký thông tin các phương tiện di chuyển qua đoạn đường, bao gồm biển số xe, ngày giờ di chuyển, các lỗi vi phạm; Báo cáo tình trạng giao thông trên mỗi tuyến đường/nút giao mà camera truyền phát đến.
3. *Yêu cầu*: Sử dụng các mô hình học sâu để thực hiện các bài toán theo dõi và nhận diện vật thể một cách chính xác; Tích hợp các công nghệ dữ liệu lớn để xử lý song song, phân tán các khung hình nhằm xử lý dữ liệu theo thời gian thực; Lưu trữ các thông tin đã qua nhận diện hoặc xử lý vào cơ sở dữ liệu để sẵn dùng cho các tác vụ khác.

Bài toán này có thể được phát biểu theo nhiều cách khác nhau, nhưng chúng tôi sẽ lấy phát biểu trên làm cơ sở để tiến hành quá trình tìm hiểu và nghiên cứu các giải pháp liên quan. Phạm vi và mục tiêu nghiên cứu sẽ được trình bày cụ thể hơn ở phần sau.

## 3 Các nghiên cứu liên quan

Trong nhiều năm qua, giám sát giao thông đã trở thành một trong những bài toán nghiên cứu và ứng dụng quan trọng góp phần hỗ trợ và thúc đẩy phát triển các thành phố thông minh, hiện đại. Trong số đó, có nhiều công trình nghiên cứu không chỉ các thuật toán phát hiện mà còn khai thác các nền tảng tính toán phân tán và công nghệ dữ liệu lớn để xây dựng hệ thống giám sát thời gian thực. Chúng tôi đã thực hiện thu thập và phân tích một cách có hệ thống nhiều công trình nghiên cứu liên quan, tập trung vào bài toán chính giám sát giao thông và các bài toán cấu thành bao gồm nhận dạng biển số xe, phát hiện vi phạm giao thông, ước lượng mật độ giao thông và xây dựng hệ thống xử lý dữ liệu lớn trong thời gian thực.

Bài toán xử lý dữ liệu giao thông thời gian thực sử dụng Apache Kafka và Flink đã được khám phá trong công trình của Gnana Deepthi và cộng sự (2023) [1]. Các tác giả đề xuất kiến trúc FRTSPS (Flexible Real-Time Traffic Stream Processing System), cho phép xử lý đồng thời dữ liệu theo lô (batch processing) và dữ liệu theo luồng (stream processing) từ các camera giao thông. Kiến trúc này giúp giảm độ trễ và tăng khả năng mở rộng, với Kafka đóng vai trò là bộ đệm dữ liệu đầu vào để quản lý luồng dữ liệu liên tục từ nguồn như camera. Sau đó, Flink thực hiện các phép biến đổi như map, filter hay reduce để phân tích các chỉ số như lưu lượng xe, tốc độ trung bình và vị trí phương tiện tại các khoảng thời gian cụ thể. Thực nghiệm cho thấy FRTSPS có độ trễ thấp hơn so với các nền tảng như Apache Spark hay Storm. Công trình này cho thấy khả năng của Flink trong xử lý dữ liệu giao thông, gợi ý rằng nó có thể áp dụng để phát triển hệ thống giám sát giao thông thông minh tại các đô thị lớn.

## 4 Mục tiêu và phạm vi dự án

### 4.1 Mục tiêu dự án

Mục tiêu tổng quát của đề tài “Giám sát giao thông thời gian thực sử dụng công nghệ dữ liệu lớn và học sâu” là xây dựng một hệ thống có khả năng giám sát giao thông tự động thông qua hệ thống các thiết bị biển. Hệ thống phải có khả năng hoạt động với lượng dữ liệu lớn, nhiều nguồn, hoạt động liên tục trong thời gian thực với độ trễ chấp nhận được, trong đó được áp dụng hay tích hợp các công nghệ về xử lý dữ liệu lớn và học sâu. Từ đó cung cấp một giải pháp cơ bản hỗ trợ các cơ quan chức năng trong việc giám sát giao thông tự động.

Mục tiêu cụ thể của dự án này là xây dựng một hệ thống giám sát giao thông tự động dựa trên một hệ thống nhiều camera khác nhau, có khả năng theo dõi các phương tiện, phát hiện các vi phạm (nếu có), phân tích tình trạng giao thông với dữ liệu được gửi liên tục từ hệ thống camera đó trong thời gian thực. Trong đó:

- *Xử lý dữ liệu luồng theo thời gian thực:* Tích hợp Apache Kafka để thu thập và truyền phát dữ liệu liên tục theo thời gian thực, với khả năng truyền phát thông tin liên tục từ nhiều nguồn khác nhau cùng lúc; Sử dụng Apache Flink để xử lý dữ liệu luồng thời gian thực với hiệu suất cao và khả năng mở rộng dễ dàng khi lượng dữ liệu tăng cao.
- *Huấn luyện mô hình học sâu:* Huấn luyện, triển khai mô hình YOLO cùng các thuật toán tracking cho việc theo dõi chuyển động của các phương tiện, phân tích tình trạng giao thông với tốc độ xử lý nhanh; Huấn luyện, triển khai mô hình CNN sâu và các thuật toán khác để nhận diện biển số xe và nhận diện các lỗi vi phạm với độ chính xác cao.
- *Lưu trữ dữ liệu:* Lưu trữ các kết quả sau khi đã nhận diện, phân tích vào MongoDB, giúp quản lý và truy xuất thông tin giao thông về sau dễ dàng và hiệu quả.

### 4.2 Phạm vi thực hiện

Dự án được thực hiện trong một phạm vi về dữ liệu, điều kiện môi trường và năng lực tính toán nhất định. Dự án này tập trung vào xây dựng một hệ thống mẫu có đầy đủ các thành phần của một kiến trúc giám sát giao thông thời gian thực, nhưng triển khai ở quy mô thí nghiệm và mô phỏng. Cụ thể:

Phạm vi dữ liệu đầu vào được sử dụng chủ yếu trong dự án là:

- Video hay chuỗi khung hình được trích xuất từ camera mô phỏng tại giao thông đô thị Việt Nam.
- Dữ liệu chuẩn hóa về độ phân giải trung bình (720p) để bảo đảm hệ thống đủ năng lực tính toán và xử lý ổn định.
- Hướng quay của camera trùng với hướng của đường đi, có góc quay phù hợp đảm bảo có thể quay được biển số xe.

Phạm vi xử lý dữ liệu:

- Hệ thống được cài đặt để có thể xử lý một số bài toán cơ bản của giám sát giao thông, gồm phát hiện biển số, phát hiện vi phạm và phân tích luồng giao thông.
- Hệ thống giả định xử lý giao thông tại các tuyến đường thẳng và các ngã tư điển hình, với các tình huống giao thông cơ bản có thể có như vượt đèn đỏ, không đội mũ bảo hiểm. Hệ thống chưa được thiết kế để xử lý trong các điều kiện giao thông phức tạp hơn.

Công nghệ và công cụ sử dụng:

- Ngôn ngữ chính: Python
- Xử lý ảnh và học sâu: OpenCV, Ultralytics, PyTorch.
- Xử lý dữ liệu: Apache Kafka, Apache Flink, MongoDB.
- Môi trường triển khai: Docker, WSL Ubuntu.

Giới hạn nghiên cứu:

- Nghiên cứu tập trung vào bài toán xử lý luồng dữ liệu trong thời gian thực, chưa tập trung vào xây dựng mô hình học sâu tối ưu cho bài toán.
- Nghiên cứu dừng lại ở một hệ thống thực hiện xử lý luồng dữ liệu từ lúc nó được sinh ra ở camera cho tới khi đến được trình giám sát và lưu vào cơ sở dữ liệu, chưa tích hợp vào một hệ thống quản lý giao thông lớn hơn.
- Nghiên cứu chưa mở rộng sang các thiết bị biên khác, chưa mở rộng đối với giao thông nước ngoài.

Với phạm vi thực hiện này, đề tài hướng đến xây dựng một hệ thống giám sát giao thông có thể xử lý một luồng dữ liệu lớn trong thời gian, với độ tin cậy và khả năng chịu lỗi cao, đồng thời áp dụng các mô hình học sâu cho từng bài toán, đảm bảo tính ứng dụng cao trong thực tế.

## 5 Phương pháp thực hiện

### 5.1 Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Trước hết, để xây dựng nền tảng lý thuyết cho việc thiết kế, triển khai và đánh giá hệ thống giám sát giao thông, chúng tôi tiến hành nghiên cứu và phân tích tài liệu từ nhiều hướng khác nhau, trong đó có:

- Nghiên cứu các công trình, bài báo, dự án đã có một cách có hệ thống, thực hiện một phần hay toàn phần bài toán giám sát giao thông trong thành phố, đặc biệt là các phương pháp có sử dụng công nghệ dữ liệu lớn với học sâu.
- Nghiên cứu cơ chế hoạt động của các công nghệ dữ liệu lớn: Chúng tôi tiến hành nghiên cứu các công nghệ liên quan đến truyền phát, xử lý và lưu trữ dữ liệu lớn.

- Tìm hiểu lý thuyết về học sâu trong thị giác máy tính: Chúng tôi tiến hành các nghiên cứu về mô hình học sâu có thể giải quyết các bài toán hiện có. Nghiên cứu YOLO giúp giải quyết bài toán theo dõi vị trí phương tiện thay đổi trong một khung hình.

## 5.2 Phương pháp triển khai

Chúng tôi thực hiện triển khai dự án theo ba nhóm công việc chính: (1) thu thập và tiền xử lý dữ liệu, (2) huấn luyện mô hình, (3) xây dựng hệ thống.

### Thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Dữ liệu là thành phần quyết định sự bắt đầu của dự án. Theo từng bài toán khác nhau, chúng tôi tiến hành thu thập các dữ liệu khác nhau về giao thông, bao gồm dữ liệu camera đường phố làm nguồn phát dữ liệu cho hệ thống, dữ liệu phương tiện và biển số xe để phục vụ huấn luyện nhận diện phương tiện và nhận diện ký tự biển số, dữ liệu hình ảnh các vi phạm để huấn luyện mô hình phân loại các vi phạm giao thông. Sau khi thu thập, dữ liệu được tiền xử lý bằng các kỹ thuật khác nhau, để sẵn sàng đưa vào quá trình huấn luyện hoặc vận hành hệ thống.

### Huấn luyện mô hình

Mô hình học sâu sẽ giúp cho hệ thống giải quyết các bài toán giám sát giao thông. Chúng tôi tiến hành huấn luyện các mô hình bao gồm mô hình theo dõi phương tiện, mô hình phát hiện biển số, mô hình nhận diện ký tự biển số, mô hình nhận diện vi phạm. Trong quá trình huấn luyện, chúng tôi có thể sử dụng nhiều kiến trúc khác nhau, thử nghiệm trên các bộ siêu tham số khác nhau để lựa chọn ra mô hình cuối cùng có kết quả tốt nhất. Mô hình có hiệu năng cân bằng giữa độ chính xác và tốc độ sẽ được lựa chọn đưa vào hệ thống chính.

### Xây dựng hệ thống

## 5.3 Phương pháp thực nghiệm và đánh giá

# III

## Cơ sở lý thuyết

### 1 Bài toán giám sát giao thông

#### 1.1 Tổng quan về giám sát giao thông

Giám sát giao thông (Traffic Monitoring) trong thành phố là việc thu thập, phân tích và diễn giải thông tin từ các tuyến đường nhằm đảm bảo hệ thống giao thông của thành phố được vận hành an toàn, thông suốt và trật tự. Với sự phát triển của công nghệ cảm biến, camera và thị giác máy tính, giám sát giao thông không chỉ dừng lại ở việc quan sát và phân tích thủ công, mà cần chuyển sang mô hình tự động hóa hoàn toàn. Ta cần một hệ thống có thể tự động thu thập dữ liệu từ hệ thống các thiết bị cảm biến, tự động xử lý phân tích dữ liệu và cuối cùng đưa kết quả cho con người.

Giám sát giao thông trong các thành phố lớn hiện nay chủ yếu xoay quanh 3 nhiệm vụ chính:

1. *Thu thập dữ liệu từ hiện trường*: Hệ thống giám sát sử dụng nhiều loại thiết bị biến khác nhau, có thể bao gồm camera cố định, camera di động, cảm biến hồng ngoại, cảm biến áp lực. Các dữ liệu được thu thập bao gồm mật độ phương tiện, đặc điểm loại phương tiện, tín hiệu đèn giao thông.
2. *Phân tích thông tin để phát hiện sự kiện và bắt thường*: Hệ thống giám sát hiện đại sử dụng các tiến bộ trong lĩnh vực thị giác máy tính như công nghệ học sâu để tự động: phát hiện và theo dõi các phương tiện theo thời gian thực, nhận diện biển số, phân loại phương tiện, nhận diện vi phạm, ước lượng mật độ giao thông theo khu vực hoặc khung giờ.
3. *Cung cấp thông tin và hỗ trợ ra quyết định*: Dữ liệu sau cùng được gửi đến trung tâm điều hành giao thông, nơi các giám sát viên có thể theo dõi luồng giao thông theo thời gian thực, điều chỉnh chu kỳ đèn, đưa cảnh báo khi xảy ra sự cố và kịp thời huy động lực lượng đến hiện trường. Các hệ thống tiên tiến hơn còn có khả năng tự động khuyến nghị các giải pháp điều tiết giao thông dựa trên mô hình dự báo.

Các thách thức cần giải quyết của bài toán giám sát giao thông:

1. *Khối lượng dữ liệu lớn và liên tục*: Hệ thống camera đặt tại các đường có thể tạo ra hàng nghìn khung hình mỗi giây. Để truyền phát và xử lý lượng dữ liệu này đòi hỏi hệ thống phải có độ trễ thấp, khả năng mở rộng linh hoạt và khả năng chịu lỗi cao.
2. *Yêu cầu xử lý trong thời gian thực*: Bài toán giám sát giao thông sẽ không còn ý nghĩa nếu nó không đáp ứng được yêu cầu xử lý trong thời gian thực. Thông tin phải được phân tích ngay trên dữ liệu vừa được sinh ra để kịp thời cảnh báo hoặc điều tiết giao thông.
3. *Điển biến thay đổi phức tạp*: Dữ liệu giao thông được thu thập với điều kiện ngoài trời, vì vậy nó không ổn định được như các hệ thống camera hoạt động trong nhà. Nhiều tình huống khác cũng có thể xảy ra như phương tiện bị che khuất, các vật cản như biển báo, cột điện, cây xanh, có đoàn xe ưu tiên đang đi ngang, có cảnh sát đứng phân luồng, mọi tình huống đều có thể xảy ra không theo quy tắc lập trình ban đầu.
4. *Tính đa dạng*: Đầu giao thông tại các nút giao lớn có thể rất phức tạp và không giống nơi nào khác. Mỗi tuyến đường cũng có những quy tắc và tổ chức riêng, có hình thù và quỹ đạo khác biệt. Phương tiện tham gia giao thông có nhiều loại hình khác nhau.

## 1.2 Giám sát giao thông với hệ thống camera

Hệ thống camera hiện đang là giải pháp phổ biến nhất trong giám sát giao thông hiện đại, nhờ khả năng thu thập dữ liệu hình ảnh phong phú, chi phí triển khai hợp lý, và khả năng tích hợp hiệu quả với các thuật toán thị giác máy tính. Khác với các loại cảm biến truyền thống chỉ cung cấp tín hiệu đơn lẻ (như cảm biến áp lực, cảm biến từ, radar), camera cho phép quan sát trực tiếp toàn bộ bối cảnh giao thông theo thời gian thực, từ đó phục vụ nhiều bài toán khác nhau như phát hiện phương tiện, theo dõi chuyển động, nhận diện biển số, phát hiện vi phạm, đánh giá mật độ, và phát hiện sự cố.

### Công việc của camera

Camera được xem là “mắt thần” của hệ thống giám sát giao thông, đảm nhiệm hai chức năng cốt lõi. Một là thu thập dữ liệu hình ảnh liên tục với tần suất cao hàng chục khung hình mỗi giây, giúp hệ thống nắm bắt các diễn biến trên đường một cách đầy đủ nhất. Hai là cung cấp dữ liệu cho trung tâm xử lý, là nguồn đầu vào cho các mô hình học sâu giải quyết các bài toán như phát hiện biển số, phân loại phương tiện, nhận diện vi phạm, dự báo giao thông.

### Đặc điểm kỹ thuật của camera

Dữ liệu được cung cấp bởi camera thường có độ phân giải trung bình từ HD đến Full HD. Độ phân giải càng cao thì khả năng nhận diện càng chi tiết, nhưng cần băng thông và tài nguyên xử lý. Góc quay và vị trí đặt camera cũng ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu thu thập được. Lý tưởng nhất là camera cần được đặt giữa đường, trên cao, quay chính diện hướng cùng chiều với đường đi, góc quay không quá hẹp để có thể theo dõi phương tiện, không quá rộng để nắm bắt các chi tiết nhỏ như biển số.

## Hạn chế của camera trong môi trường thực tế

Việc giám sát bằng camera ngoài trời cũng có nhiều hạn chế. Thứ nhất, camera cần phải hoạt động liên tục 24/7, chịu ảnh hưởng của nắng gắt, mưa gió, sương mù hoặc ánh sáng yếu ban đêm. Điều này làm thay đổi chất lượng hình ảnh, có thể giảm độ chính xác của hệ thống. Thứ hai, ở các thành phố lớn như Hà Nội, xe máy chiếm tỉ lệ rất lớn và thường di chuyển sát nhau, tạo nên tình trạng chồng lấn, che khuất biển số hoặc người điều khiển. Giao thông đông đúc, phương tiện ngày càng tăng sẽ càng tiêu tốn tài nguyên tính toán, đòi hỏi hệ thống xử lý phải đủ lớn, đủ mạnh và đủ nhanh. Ngoài ra, nếu camera quá cao hoặc góc quay bị nghiêng, biển số có thể trở nên khó đọc, việc theo dõi phương tiện cũng dễ bị sai lệch hơn.

### 1.3 Các bài toán con

Giám sát giao thông trên thực tế là một bài toán tổng hợp, trong đó hệ thống phải xử lý nhiều nhiệm vụ nhỏ hơn để phân tích chính xác tình huống xảy ra trên đường. Các bài toán con tiêu biểu bao gồm:

- Nhận diện biển số xe: Nhận diện biển số là một bài toán cốt lõi của giám sát giao thông. Nhiệm vụ gồm hai bước chính: (1) phát hiện vùng biển số trong ảnh hoặc video, và (2) nhận diện các ký tự trên biển số. Đầu vào của bài toán là khung hình chứa phương tiện; đầu ra là chuỗi ký tự biển số. Bài toán này thường sử dụng mô hình YOLO để phát hiện vùng biển số và mô hình CNN hoặc OCR sâu để nhận diện ký tự. Đây là thành phần quan trọng để theo dõi phương tiện, ghi nhận vi phạm và tạo nhật ký giao thông.
- Nhận diện vượt đèn đỏ: Phát hiện vượt đèn đỏ yêu cầu hệ thống theo dõi đồng thời tín hiệu đèn giao thông và quỹ đạo di chuyển của phương tiện. Hệ thống phải xác định trạng thái đèn (đỏ, vàng, xanh), sau đó phân tích xem phương tiện có đi vào vùng cấm trong thời điểm đèn đỏ hay không. Bài toán này kết hợp giữa phát hiện đối tượng, theo dõi chuyển động (tracking) và phân tích sự kiện theo thời gian thực.
- Nhận diện không đội mũ bảo hiểm: Đây là bài toán phân loại đối tượng trên xe máy để xác định người điều khiển có đội mũ bảo hiểm hay không. Sau khi phát hiện người lái bằng mô hình detection, hệ thống sử dụng mô hình phân loại (thường là CNN) để xác định sự hiện diện của mũ bảo hiểm. Bài toán có độ khó cao trong điều kiện ánh sáng ngoài trời thay đổi, góc quay không cố định và đối tượng bị che khuất.
- Ước lượng mật độ giao thông: Ước lượng mật độ là bài toán đếm và đánh giá số lượng phương tiện trong một khu vực theo thời gian thực. Dữ liệu đầu vào là chuỗi khung hình từ camera; đầu ra có thể là số lượng phương tiện, mức độ đông đúc hoặc đánh giá tắc đường. YOLO kết hợp với thuật toán đếm (counting) hoặc kỹ thuật phân tích luồng (flow analysis) có thể được sử dụng để xác định mật độ giao thông tại từng thời điểm.
- Theo dõi phương tiện: Theo dõi phương tiện là bài toán xác định đường đi và trạng thái của mỗi phương tiện trong chuỗi khung hình liên tiếp. Các thuật toán như SORT, DeepSORT hoặc ByteTrack được sử dụng để gán ID cho từng phương tiện và duy trì ID đó khi phương tiện di chuyển. Đây là thành phần hỗ trợ nhiều bài toán khác như phát hiện vượt đèn đỏ, đo tốc độ hay ghi lại lịch sử di chuyển.

- Nhận diện tốc độ xe: Bài toán đo tốc độ dựa trên việc theo dõi vị trí của phương tiện qua các khung hình và tính toán quãng đường di chuyển theo thời gian. Khi camera đặt cố định và đã được hiệu chỉnh không gian, hệ thống có thể đo tốc độ xấp xỉ với sai số nhỏ. Dữ liệu đầu vào là vị trí theo thời gian của phương tiện; đầu ra là tốc độ ước tính theo km/h.

## 2 Học sâu

Học sâu (Deep Learning) là một nhánh của Học máy và Trí tuệ nhân tạo, tập trung vào việc xây dựng và huấn luyện các mô hình dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo. Học sâu mô phỏng cách mà não bộ con người hoạt động qua nhiều lớp nơ-ron, nó học qua nhiều tầng khác nhau và tự động học được các đặc trưng phức tạp từ dữ liệu đầu vào. So với các phương pháp học máy truyền thống, học sâu có khả năng xử lý dữ liệu với độ phức tạp cao mà không cần thiết kế đặc trưng thủ công. Điều này giúp học sâu được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, trong đó có thị giác máy tính.

Với bài toán giám sát giao thông, mô hình học sâu sẽ tự động hóa việc nhận diện phương tiện và phân tích tình trạng giao thông. Trong phần này, chúng tôi sẽ trình bày chủ yếu về CNN và YOLO, hai mô hình học sâu quan trọng nhất cho bài toán nhận diện vật thể, cùng các kỹ thuật khác cho việc xử lý các bài toán liên quan.

### 2.1 YOLO trong phát hiện phương tiện

YOLO (You Only Look Once) là một trong những thuật toán phát hiện đối tượng tiên tiến nhất trong thị giác máy tính. Điểm đặc biệt của YOLO nằm ở việc thực hiện phát hiện đối tượng chỉ với một lần quan sát ảnh, tức là mô hình xử lý toàn bộ khung hình trong một lần suy luận duy nhất, thay vì quét qua nhiều vùng như các phương pháp trước đó. Điều này giúp YOLO đạt tốc độ xử lý nhanh và phù hợp cho các bài toán yêu cầu thời gian thực, đặc biệt là giám sát giao thông.

#### Kiến trúc và nguyên lý hoạt động của YOLO

YOLO chia ảnh đầu vào thành một lưới, với mỗi ô dự đoán một số bounding box với một độ chắc chắn và xác suất phân loại đối tượng. Thay vì thực hiện hai bước tách biệt (đè xuất ra các vùng có khả năng, rồi mới phân loại), YOLO gộp cả hai vào một mạng duy nhất. Điều này có ưu điểm là giảm độ trễ suy luận và tăng sự ổn định, giữ ngữ cảnh toàn ảnh tốt hơn.

Một mô hình YOLO gồm ba thành phần chính

1. Backbone: Là thành phần đầu tiên tiếp nhận ảnh đầu vào, thường là một CNN. Mục tiêu của nó là chuyển ảnh thô thành feature map biểu diễn thông tin quan trọng như đường nét, cạnh, v.v.
2. Neck: Là phần trung gian giữa backbone và head, sử dụng các cấu trúc như Feature Pyramid Network và Path Aggregation Network để kết hợp đặc trưng từ nhiều tầng của backbone.

3. Head: Là phần cuối cùng của YOLO, có nhiệm vụ tạo ra tọa độ bounding box, độ chắc chắn và xác suất lớp đối tượng.

## Ưu điểm và hạn chế của YOLO

YOLO sở hữu nhiều ưu điểm khiến nó trở thành lựa chọn hàng đầu cho các hệ thống thời gian thực:

- Tốc độ xử lý cao: YOLO có thể đạt từ 20-30 FPS khi chạy trên các GPU phổ thông hiện nay.
- Xử lý nhiều bài toán: Tuy ban đầu được thiết kế cho detection, nhưng YOLO có thể mở rộng và ứng dụng cho rất nhiều bài toán khác nhau như theo dõi, đếm, quản lý, v.v.
- Dễ dàng tích hợp: YOLO có thể dễ dàng được tích hợp vào các hệ thống thông qua thư viện Ultralytics.

Tuy vậy, YOLO vẫn có một số hạn chế:

- Hiệu suất giảm khi đối tượng rất nhỏ: YOLO gặp khó khăn khi nhận diện các vật thể nhỏ, chẳng hạn như xe đang dần rời xa, xe bị che khuất, đèn tín hiệu nằm ở góc xa của ảnh. Do bản chất downsampling trong backbone nên các chi tiết quá nhỏ dễ bị mất.

## Ứng dụng YOLO trong giám sát giao thông

YOLO có thể ứng dụng để nhận diện các phương tiện đang tham gia giao thông trên đường, nhận diện vị trí biển số của phương tiện, nhận diện ví trí các kí tự trên biển số, nhận diện tín hiệu đèn tại các ngã tư, v.v.

YOLO khi kết hợp với thuật toán SORT có thể thực hiện theo dõi chuyển động của vật thể, từ đó còn có thể ứng dụng vào việc nhận diện các xe vượt đèn đỏ hoặc ước lượng tốc độ xe.

## 2.2 CNN cho bài toán phân loại

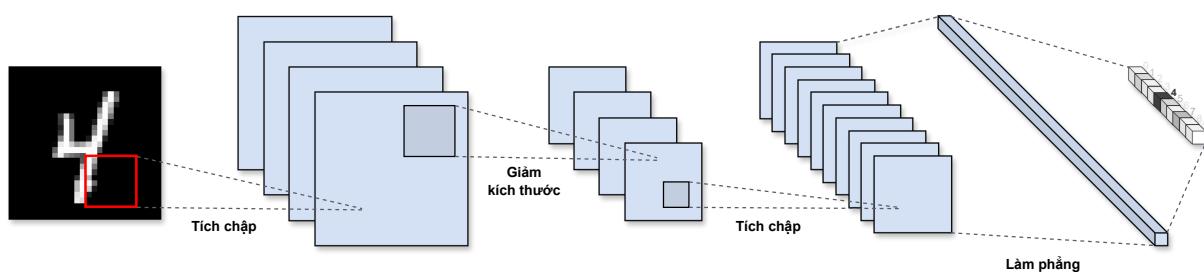
CNN là một trong những mô hình quan trọng nhất trong lĩnh vực thị giác máy tính. Mạng này được thiết kế để tự động học và trích xuất các đặc trưng hình ảnh, phù hợp cho các bài toán phân loại hoặc nhận diện các đối tượng có cấu trúc hình ảnh phức tạp.

### Kiến trúc của mô hình CNN

Một mô hình CNN thường bao gồm các tầng chính:

1. Tầng tích chập (Convolution Layer): là thành phần cốt lõi của mạng, sử dụng các bộ lọc (kernel) để quét qua ảnh đầu vào và tạo ra các bản đồ đặc trưng (feature map). Các lớp tích chập giúp mô hình học được các đặc trưng như cạnh, đường cong, họa tiết hoặc hình dạng phức tạp của đối tượng.

2. Hàm kích hoạt (Activation Function): Thường sử dụng ReLU, nhằm tăng tính phi tuyến cho mô hình và giúp học được các đặc trưng đa dạng, tránh hiện tượng biến mất gradient.
3. Tầng pooling: Pooling được sử dụng để giảm kích thước của feature map, giúp giảm số lượng tham số cần học, tăng tính bất biến đối với dịch chuyển và tăng hiệu quả tính toán.
4. Tầng kết nối toàn bộ (Fully Connected Layer): Sau khi trích xuất đặc trưng, mô hình đưa chúng vào các lớp kết nối đầy đủ để thực hiện phân loại. Đầu ra thường là một vector xác suất cho từng lớp đối tượng.



Hình II.1: Kiến trúc mô hình CNN.

## Ứng dụng CNN trong giám sát giao thông

Trong hệ thống giám sát giao thông, CNN được ứng dụng cho nhiều nhiệm vụ phân loại quan trọng:

1. Phân loại phương tiện: Sau khi mô hình YOLO phát hiện vùng chứa phương tiện, CNN có thể phân loại loại xe: ô tô, xe máy, xe tải, xe buýt, v.v. Điều này giúp thống kê loại phương tiện, phân tích mật độ và phục vụ báo cáo giao thông.
2. Nhận diện ký tự biển số xe: Sau khi tách được vùng biển số (bằng YOLO hoặc mô hình detection khác), CNN được dùng để phân loại từng ký tự (0–9, A–Z). Đây là bước quan trọng trong hệ thống nhận diện biển số tự động.
3. Phát hiện các vi phạm dựa trên phân loại: Một số loại vi phạm có thể được nhận diện bằng mô hình phân loại: không đội mũ bảo hiểm, không thắt dây an toàn, sử dụng điện thoại khi lái xe, v.v. CNN có thể phân tích vùng chứa người lái để đưa ra phân loại đúng cho từng hành vi. Vì giới hạn trong dữ liệu, nên dự án này chúng tôi chỉ thực hiện phân loại không đội mũ bảo hiểm.
4. Xác định trạng thái đèn tín hiệu: CNN có thể phân loại đèn giao thông thành các trạng thái đỏ, vàng, xanh, hỗ trợ bài toán phát hiện vượt đèn đỏ.

## 2.3 Nhận diện kí tự biển số xe

Bài toán nhận diện kí tự biển số xe là tự động trích xuất chuỗi kí tự thông qua hình ảnh phương tiện thu được từ camera giám sát. Đầu vào của bài toán là một ảnh phương tiện đã được cắt ra. Ảnh có thể có kích thước, góc và điều kiện sáng khác nhau. Đầu ra là một chuỗi kí tự biển số được chuẩn hóa (ví dụ: “30A-12345”), cùng các thông tin phụ khác.

### Quy trình

Quy trình nhận diện biển số xe (được dùng trong dự án này) gồm 3 bước: Tìm và cắt biển số; Nhận diện kí tự thô; Sắp xếp và chuẩn hóa.

Ở bước thứ nhất ta phát hiện và cắt biển số:

- Với mỗi ảnh phương tiện (crop từ bước detection tổng thể), chạy mô hình YOLO (đã huấn luyện riêng cho vùng biển số) để phát hiện bounding box của biển số.
- Thực hiện tiền xử lý trên vùng biển số được cắt: chỉnh sửa tỷ lệ (resize giữ tỉ lệ), điều chỉnh độ sáng/tương phản nếu cần, và (nếu góc nghiêng) áp dụng perspective transform để làm phẳng biển số.

Ở bước thứ hai ta nhận diện kí tự thô:

- Dùng một mạng YOLO khác (huấn luyện để phát hiện từng ký tự riêng lẻ cho biển số) trên vùng biển số đã chuẩn hóa. Mạng này trả về các bounding box và class tương ứng ký tự (A-Z, 0-9) cùng confidence.
- Kết quả hiện tại là tập các ký tự nhận diện thô (mỗi ký tự kèm bbox và score), thứ tự trong danh sách này là ngẫu nhiên (không theo thứ tự đọc).

Ở bước thứ ba, ta tiến hành chuẩn hóa chuỗi:

- Chuẩn hoá tọa độ: chuyển bbox ký tự về hệ tọa độ tương ứng với vùng biển số đã can thiệp, dùng centroid ( $cx$ ,  $cy$ ) hoặc  $x_{min}$ ,  $y_{min}$ ,  $x_{max}$ ,  $y_{max}$ .
- Phát hiện số hàng: tính chiều cao trung bình của các kí tự được nhận diện và chênh lệch giữa kí tự thấp nhất và cao nhất, nếu chênh lệch lớn hơn 2 lần so với chiều cao trung bình thì kết luận là 2 hàng, ngược lại là 1 hàng.
- Sắp xếp: Sắp xếp theo thứ tự từ trên xuống dưới, từ trái sang phải, dựa theo tọa độ.
- Kiểm tra và hiệu chỉnh theo quy tắc cú pháp: Sử dụng để loại bỏ các nhận diện rõ ràng sai. Chuỗi kí tự sau đó được thêm dấu gạch để chuẩn hóa.
- Bình chọn: Trong một chuỗi các khung hình có thể phát sinh việc nhận diện được kết quả khác nhau, nhất là lúc mới vào và sắp đi ra. Qua một số khung hình ta thực hiện cơ chế bình chọn ra kết quả được dự đoán nhiều nhất.

## 2.4 Ước lượng tốc độ xe

Mục tiêu của bài toán ước lượng tốc độ xe là dự đoán vận tốc của phương tiện khi đi qua khu vực quan sát của camera. Kết quả thu được có thể hỗ trợ cảnh báo nguy hiểm, thực tế hơn là giúp phân tích lưu lượng và thống kê theo thời gian thực.

### Phương pháp

Hệ thống ước lượng tốc độ xe dựa trên thời gian di chuyển của xe giữa hai vạch biết trước khoảng cách, là một kỹ thuật tương đối cơ bản và phổ biến. Quy trình cụ thể như sau:

- Xác định hai vạch chuẩn: Vạch 1 được đặt ở vị trí phía trước trong khung hình, nơi phương tiện đi vào vùng đo. Vạch 2 được đặt phía sau vạch 1, cũng trong tầm nhìn camera. Khoảng cách thực tế giữa hai vạch (s) được biết trước theo đơn vị mét (m). Hai vạch được quy định thủ công dựa trên vị trí camera và kích thước mặt đường.
- Theo dõi phương tiện: Hệ thống sử dụng mô hình YOLO kết hợp thuật toán theo dõi để gán ID duy nhất cho mỗi phương tiện. Với mỗi ID, hệ thống giám sát vị trí bounding box theo thời gian. Khi toàn bộ bounding box của phương tiện đi qua vạch 1, timestamp thời điểm này được ghi nhận là  $t_1$ . Khi phương tiện tiếp tục di chuyển và toàn bộ phương tiện đi qua vạch 2, hệ thống ghi nhận timestamp  $t_2$ .
- Tính toán vận tốc: Dựa trên thời gian di chuyển lấy từ timestamp của hệ thống, cùng với khoảng cách đã biết, ta tính vận tốc theo công thức  $v = s/t$ .

## 2.5 Nhận diện xe vượt đèn đỏ

Vượt đèn đỏ là một lỗi giao thông phổ biến, đặc biệt tại các thành phố lớn như Hà Nội, khi mà người điều khiển phương tiện giao thông không chấp hành tín hiệu đèn. Mục tiêu của bài toán là xác định xem phương tiện có đi qua vạch dừng trong khi tín hiệu đèn đang ở trạng thái đỏ hay không.

### Phương pháp

Chúng tôi thực hiện nhận diện vượt đèn đỏ dựa trên 3 thành phần: vạch dừng, tín hiệu đèn, vị trí phương tiện. Cụ thể như sau:

- Vạch dừng: được xác định thủ công trên khung hình, là một đoạn thẳng nằm ngay trước ngã tư, vị trí tương ứng với vạch trắng thật trên mặt đường. Vạch được mô tả bằng tọa độ pixel cố định một đường ngang. Khi bounding box của phương tiện cắt qua hoặc đi qua hoàn toàn vùng này, hệ thống coi đó là sự kiện vượt vạch.
- Nhận diện trạng thái đèn: Hệ thống sử dụng YOLO được huấn luyện để phát hiện đèn giao thông trong ảnh và trả về bounding box của cụm đèn. Mô hình CNN xương sống có nhiệm vụ phân loại trạng thái của đèn.
- Theo dõi vị trí: kết hợp với thông tin về vị trí, một phương tiện được xem là vượt đèn đỏ nếu thỏa mãn đồng thời hai điều kiện: (1) Đèn tín hiệu đang ở trạng thái đỏ, (2) Bounding box của phương tiện vượt hoàn toàn qua vạch dừng.

## 2.6 Ước lượng lưu lượng giao thông

Ước lượng lưu lượng giao thông nhằm cung cấp cái nhìn tổng quan về tình trạng đường tại thời điểm quan sát, hỗ trợ đưa ra các quyết định điều phối hoặc cảnh báo kịp thời. Đây là một thành phần quan trọng trong hệ thống giám sát, giúp đánh giá mức độ đồng đúc, phát hiện ùn tắc và theo dõi xu hướng lưu thông. Chúng tôi thực hiện ước lượng lưu lượng được thực hiện thông qua các phép thống kê cơ bản dựa trên kết quả nhận diện và theo dõi phương tiện:

1. Đếm lưu lượng phương tiện mỗi phút: Trong mỗi khoảng thời gian cố định, hệ thống đếm số phương tiện đi qua khu vực quan sát. Số lượng phương tiện sẽ được tính trung bình theo từng phút.
2. Tính vận tốc lưu thông trung bình: Dựa trên tốc độ của từng phương tiện (được tính theo phương pháp mục 2.4), hệ thống tính vận tốc trung bình trong một khoảng thời gian.

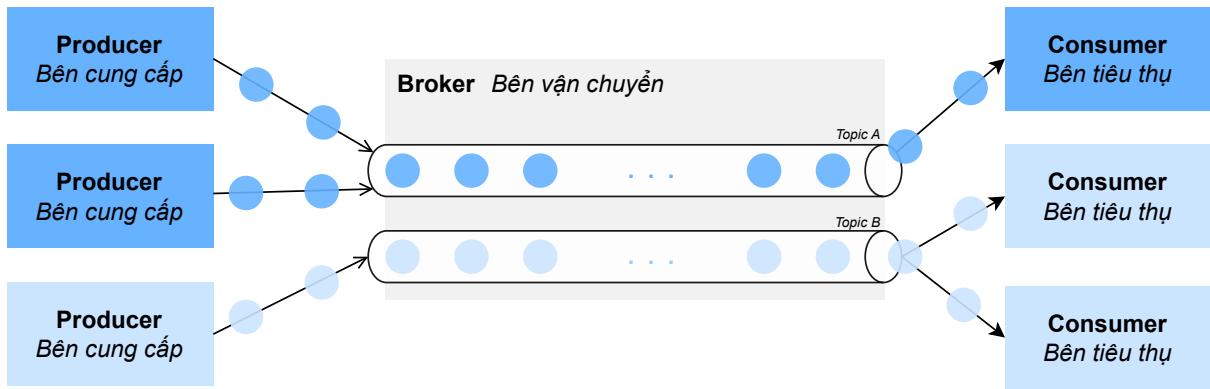
## 3 Công nghệ dữ liệu lớn

### 3.1 Apache Kafka

Apache Kafka là một hệ thống phân tán được xây dựng với mục tiêu truyền phát một lượng dữ liệu rất lớn trong thời gian thực với độ trễ thấp, đồng thời có khả năng mở rộng cao. Ban đầu Kafka được phát triển bởi LinkedIn, nhưng sau đó được chuyển giao và trở thành dự án mã nguồn mở trong hệ sinh thái Apache và nhanh chóng được cộng đồng công nghệ chấp nhận rộng rãi.

Kafka hoạt động dựa trên 3 thành phần chính:

1. *Producer* (Bên cung cấp): để chỉ các ứng dụng hay hệ thống nơi dữ liệu được tạo ra và cần được phân phối đến Kafka. Mỗi dữ liệu truyền phát đến Kafka sẽ được sắp xếp theo các topic do người dùng lựa chọn, mỗi topic dữ liệu mang ý nghĩa và mục đích riêng, phản ánh một luồng dữ liệu cụ thể cần trao đổi trong hệ thống. Mỗi topic được chia thành nhiều partition, cho phép Kafka phân tán dữ liệu trên nhiều máy chủ, từ đó tăng khả năng xử lý song song và hỗ trợ mở rộng khi khối lượng dữ liệu tăng.
2. *Consumer* (Bên tiêu thụ): để chỉ các ứng dụng hay hệ thống cần truy cập và sử dụng dữ liệu được Kafka lưu trữ. Mỗi consumer sẽ đăng ký các topic mà nó quan tâm, từ đó sẽ nhận tự động luồng dữ liệu mà producer đã gửi vào Kafka. Các consumer có thể làm việc độc lập, tức là mỗi consumer sẽ nhận toàn bộ dữ liệu trong topic, hoặc hoạt động theo nhóm, khi đó dữ liệu trong topic sẽ được phân phát giữa các consumer trong nhóm để xử lý song song.
3. *Broker*: là các máy chủ trong hệ thống Kafka, chịu trách nhiệm nhận và lưu trữ dữ liệu từ các producer. Mỗi broker quản lý một hoặc nhiều partition của topic. Vì Kafka hỗ trợ tính toán phân tán nên các broker có thể phân phối dữ liệu giữa các máy chủ để nâng cao hiệu suất và tăng cường khả năng chịu lỗi.



Hình II.2: Luồng hoạt động nhận và gửi tin của Apache Kafka. Các hình tròn đại diện cho các tin nhắn được gửi qua Kafka.

Kafka được xem là một thành phần quan trọng trong nhiều hệ thống xử lý dữ liệu lớn hiện nay, nhờ khả năng đáp ứng tốt các yêu cầu về truyền phát dữ liệu liên tục ở quy mô lớn. Dưới đây là các đặc điểm nổi bật của Kafka:

- *Khả năng mở rộng*: Kafka có thể mở rộng để xử lý lượng dữ liệu lớn bằng cách thêm các broker vào cluster. Các partition của topic có thể được phân phối trên nhiều broker, giúp tăng khả năng xử lý đồng thời và cân bằng tải giữa các nút trong hệ thống.
- *Tính chịu lỗi cao*: Kafka hỗ trợ cơ chế sao lưu và phân phối dữ liệu, đảm bảo rằng dữ liệu không bị mất khi có sự cố xảy ra. Mỗi partition có thể có một hoặc nhiều bản sao (replica) để bảo vệ dữ liệu khỏi mất mát. Các broker sẽ tự động chuyển đổi sang các bản sao khi một broker gặp sự cố.
- *Hiệu suất cao*: Kafka có thể xử lý hàng triệu sự kiện mỗi giây với độ trễ rất thấp. Điều này là nhờ vào việc sử dụng cơ chế write-ahead log (WAL), nơi dữ liệu được ghi vào log trước khi được xử lý. Kafka có khả năng tối ưu hóa việc ghi dữ liệu và xử lý đồng thời, giúp đạt được hiệu suất cao.
- *Tính linh hoạt*: Kafka hỗ trợ nhiều kiểu dữ liệu và ứng dụng khác nhau, từ các ứng dụng yêu cầu xử lý thời gian thực (như hệ thống giám sát và phân tích dữ liệu trực tuyến) đến các ứng dụng yêu cầu lưu trữ và phân tích dữ liệu theo thời gian dài (như hệ thống log và dữ liệu lịch sử).
- *Tích hợp dễ dàng*: Kafka dễ dàng tích hợp với các công cụ và hệ thống khác trong hệ sinh thái dữ liệu lớn như Apache Spark, Apache Flink, Hadoop, và Elasticsearch. Điều này giúp xây dựng các pipeline xử lý dữ liệu phức tạp mà không gặp phải sự gián đoạn trong quá trình truyền tải dữ liệu.

[Thêm một đoạn nữa nói về ứng dụng của Kafka trong xử lý dữ liệu lớn]

## 3.2 Apache Flink

Apache Flink là một nền tảng mã nguồn mở mạnh mẽ dùng để xử lý dữ liệu luồng theo thời gian thực và dữ liệu theo lô. Khác với các hệ thống xử lý theo mô hình micro-batch, Flink thực hiện xử lý dữ liệu streaming thực sự, nghĩa là mỗi bản ghi được xử lý ngay khi xuất hiện, với độ trễ rất thấp và khả năng mở rộng cao. Flink được thiết kế theo kiến trúc phân tán, cho phép triển khai linh hoạt trên nhiều node trong một cụm máy và có thể tích hợp linh hoạt với nhiều hệ thống dữ liệu như Kafka, MongoDB hay các hệ quản trị cơ sở dữ liệu khác.

### Kiến trúc và nguyên lý hoạt động

Apache Flink gồm 3 thành phần chính: JobManager, TaskManager và Client.

- *Client*: Chịu trách nhiệm biên dịch và gửi job đến cụm máy Flink.
- *JobManager*: Thực hiện lập kế hoạch thực thi các job được gửi lên, quản lý luồng dữ liệu, điều phối công việc giữa các node, giám sát quá trình thực thi để đảm bảo toàn bộ công việc được xử lý đúng và hiệu quả.
- *TaskManager*: Chịu trách nhiệm thực thi các tác vụ cụ thể, xử lý dữ liệu đầu vào, gửi kết quả đầu ra hoặc kết quả trung gian đến các node khác trong cụm.

Flink thực hiện xử lý dữ liệu streaming thực sự, trong đó mỗi bản ghi được xử lý ngay khi đến thay vì gom thành các batch nhỏ như trong micro-batch, cho phép tiến tới một hệ thống có độ trễ xử lý thấp và xử lý liên tục trong thời gian thực. Bên cạnh đó, Flink sử dụng cơ chế checkpointing để lưu trạng thái định kỳ, sử dụng state backend để quản lý và truy xuất trạng thái trong quá trình xử lý. Ngoài ra, Flink còn hỗ trợ xử lý theo thời gian sự kiện kết hợp với watermark, giúp xử lý chính xác các luồng dữ liệu đến trễ hoặc không theo thứ tự.

Flink có khả năng tích hợp linh hoạt với nhiều công nghệ dữ liệu lớn khác như Apache Kafka, HDFS, MongoDB hoặc Cassandra, cho phép xây dựng các pipeline xử lý dữ liệu phức tạp và mở rộng dễ dàng. Trong lập trình, Flink cung cấp DataStream API phục vụ xử lý dữ liệu streaming, cho phép người dùng định nghĩa luồng xử lý thông qua các phép biến đổi như map, filter, keyBy, window hoặc aggregation. Bên cạnh các API bằng Java và Scala, Flink cũng cung cấp API cho Python (PyFlink), hỗ trợ người dùng triển khai và quản lý các ứng dụng xử lý dữ liệu luồng bằng Python, cho phép mở rộng khả năng tiếp cận và phát triển hệ thống trong nhiều tình huống khác nhau, đặc biệt là khi cần tích hợp với các mô hình học sâu.

### Các ưu điểm của Flink

- *Xử lý dữ liệu thời gian thực với độ trễ thấp*: Độ trễ của Flink rất thấp, chỉ tính bằng mili-giây, có thể đáp ứng tốt các yêu cầu phân tích và ra quyết định theo thời gian thực, đặc biệt phù hợp cho các bài toán giám sát theo thời gian thực.
- *Xử lý nhất quán và toàn vẹn*: Flink có cơ chế cho phép xử lý dữ liệu dựa trên thời gian sự kiện thay vì thời gian hệ thống, cho phép duy trì tính toàn vẹn của kết quả khi dữ liệu không đồng bộ. Flink cũng có các cơ chế đảm bảo tính nhất quán, đảm bảo mỗi bản ghi được xử lý duy nhất một lần ngay cả khi gặp sự cố.

- *Khả năng tích hợp linh hoạt:* Flink hỗ trợ kết nối và trao đổi dữ liệu với nhiều hệ thống phổ biến như Apache Kafka, Cassandra, MongoDB, giúp xây dựng pipeline liên tục từ thu thập, xử lý đến lưu trữ. Flink cũng hỗ trợ xuất kết quả sang nhiều định dạng khác nhau, phù hợp cho các hệ thống giám sát hay dashboard.
- *Khả năng mở rộng và chịu lỗi cao:* Nhờ kiến trúc phân tán và cơ chế lập lịch linh hoạt, Flink có thể mở rộng quy mô xử lý lên tới hàng trăm node để đáp ứng khối lượng dữ liệu cực lớn. Khi có lỗi xảy ra, Flink tự động khôi phục từ các checkpoint gần nhất mà không làm gián đoạn quá trình xử lý. Những điều này giúp Flink duy trì hoạt động ổn định trong môi trường thực tế.

### 3.3 MongoDB

MongoDB là một hệ quản trị cơ sở dữ liệu NoSQL phổ biến, được thiết kế để lưu trữ và quản lý dữ liệu phi cấu trúc hoặc cấu trúc linh hoạt, được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống yêu cầu khả năng mở rộng và hiệu suất cao. Khác với hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ (RDBMS) sử dụng các bảng và quan hệ, thì MongoDB lưu trữ dưới dạng documents trong collections. Mỗi document trong MongoDB là một đối tượng JSON (JavaScript Object Notation) hoặc BSON (Binary JSON), cho phép lưu trữ các kiểu dữ liệu phức tạp như mảng, đối tượng lồng nhau hay kiểu dữ liệu thời gian.

```
{
  "timestamp": "2025-11-07T14:23:10Z",
  "camera_id": "cam-02-hcm",
  "location": {
    "lat": 10.762622,
    "lon": 106.660172
  },
  "vehicle": {
    "type": "motorbike",
    "plate": "59K1-12345",
    "color": "blue"
  },
  "speed_kmh": 58.4,
  "event": "speeding",
  "confidence": 0.93
}
```

Hình II.3: Ví dụ cấu trúc dữ liệu trong MongoDB. MongoDB là một cơ sở dữ liệu NoSQL kiểu document, thường được viết theo định dạng JSON.

### Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của MongoDB

Trong MongoDB, dữ liệu được lưu trữ dưới dạng document, mỗi document là một bộ dữ liệu chứa các cặp khóa-giá trị, tương tự như một đối tượng JSON. Một document có thể bao gồm nhiều trường với các kiểu dữ liệu khác nhau, từ chuỗi, số, đến mảng hoặc đối tượng lồng nhau. Điều này cho phép MongoDB xử lý dữ liệu phức tạp và không cần phải tuân theo một sơ đồ dữ liệu cố định như trong các cơ sở dữ liệu quan hệ.

Các document được nhóm lại thành collections. Một collection có thể chứa nhiều document và không yêu cầu các document phải có cấu trúc giống nhau. Điều này mang lại sự linh hoạt rất lớn, vì bạn có thể lưu trữ các loại dữ liệu khác nhau trong cùng một collection mà không cần phải thay đổi cấu trúc của các bảng hay cơ sở dữ liệu như trong hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ.

MongoDB sử dụng cơ chế replication để sao lưu và bảo vệ dữ liệu, đảm bảo rằng nếu một nút trong cluster gặp sự cố, dữ liệu vẫn có thể được truy cập thông qua các bản sao (replica set). Một replica set là một nhóm các mongod processes (MongoDB processes), trong đó một node được chọn làm primary và các node còn lại là secondary. Dữ liệu được sao chép từ node primary sang các node secondary, giúp duy trì sự đồng nhất và tính sẵn sàng cao.

## Các ưu điểm nổi bật của MongoDB

MongoDB có một số tính năng nổi bật giúp nó trở thành lựa chọn phổ biến trong việc xử lý và lưu trữ dữ liệu lớn:

- **Khả năng mở rộng (Scalability):** MongoDB hỗ trợ khả năng mở rộng ngang (horizontal scaling) thông qua cơ chế sharding. Sharding cho phép phân chia dữ liệu và lưu trữ nó trên nhiều máy chủ, giúp ứng dụng có thể mở rộng và xử lý một lượng dữ liệu lớn mà không gặp phải sự chậm trễ hoặc giới hạn tài nguyên.
- **Tính linh hoạt trong cấu trúc dữ liệu:** MongoDB không yêu cầu dữ liệu phải tuân theo một schema cố định như trong các hệ quản trị cơ sở dữ liệu quan hệ. Điều này cho phép các ứng dụng thay đổi cấu trúc dữ liệu mà không gặp phải những thay đổi phức tạp trong cấu trúc cơ sở dữ liệu. Mỗi document trong MongoDB có thể có một cấu trúc hoàn toàn khác biệt với các document khác trong cùng một collection.
- **Hiệu suất cao:** MongoDB sử dụng cơ chế in-memory và indexing để tối ưu hóa việc truy vấn dữ liệu. Các chỉ mục (index) có thể được tạo cho bất kỳ trường nào trong một document, giúp giảm thời gian truy vấn và cải thiện hiệu suất khi làm việc với dữ liệu lớn.
- **Cơ chế sao lưu và phục hồi dữ liệu:** MongoDB hỗ trợ cơ chế sao lưu và phục hồi dữ liệu rất mạnh mẽ thông qua replica sets và snapshotting. Các replica set không chỉ giúp tăng tính khả dụng của hệ thống mà còn bảo vệ dữ liệu khỏi bị mất mát trong trường hợp xảy ra sự cố.
- **Quản lý dữ liệu phi cấu trúc:** MongoDB rất phù hợp với các ứng dụng xử lý dữ liệu phi cấu trúc hoặc dữ liệu bán cấu trúc như dữ liệu JSON, XML, log file, dữ liệu web scraping, và dữ liệu cảm biến. Với MongoDB, các nhà phát triển có thể dễ dàng lưu trữ và truy vấn các loại dữ liệu này mà không phải lo lắng về việc thay đổi cấu trúc dữ liệu thường xuyên.

## Ứng dụng của MongoDB trong xử lý dữ liệu lớn

MongoDB đặc biệt hữu ích trong các hệ thống xử lý dữ liệu lớn vì khả năng mở rộng và linh hoạt của nó. Trong môi trường dữ liệu lớn, nơi mà lượng dữ liệu có thể phát sinh nhanh chóng và có thể đến từ nhiều nguồn khác nhau, MongoDB cung cấp một nền tảng để lưu trữ và truy vấn dữ liệu mà không gặp phải sự chậm trễ hoặc tắc nghẽn. Nó có thể

được sử dụng trong các ứng dụng web, phân tích dữ liệu lớn, hệ thống lưu trữ log, hệ thống IoT, và các ứng dụng cần xử lý và phân tích dữ liệu thời gian thực.

Một ví dụ điển hình là trong các ứng dụng phân tích log, MongoDB có thể được sử dụng để lưu trữ và truy vấn các tệp log từ nhiều nguồn khác nhau. Các công ty công nghệ lớn sử dụng MongoDB để lưu trữ và phân tích dữ liệu nhạy cảm và phi cấu trúc từ các trang web và dịch vụ của họ.

Ngoài ra, MongoDB còn hỗ trợ tích hợp tốt với các công cụ khác trong hệ sinh thái xử lý dữ liệu lớn, chẳng hạn như Apache Flink, để phân tích và xử lý các tập dữ liệu không lồ. Khi kết hợp với các công cụ như Kafka và Flink, MongoDB có thể giúp xây dựng các hệ thống phân tích dữ liệu thời gian thực mạnh mẽ, có thể xử lý và phân phối dữ liệu với độ trễ thấp và khả năng mở rộng cao.

# III

## Phương pháp đề xuất

### 1 Kiến trúc hệ thống

Hệ thống giám sát giao thông dựa trên công nghệ dữ liệu lớn và học sâu bao gồm 3 thành phần chính: Thiết bị biên (Edge Devices Layer), Trung tâm dữ liệu và xử lý (Processing and Data Central Layer) và Trình giám sát (Monitoring Layer).

#### 1.1 Thiết bị biên

Thiết bị biên là các thiết bị thu nhận hoặc phát sinh dữ liệu trực tiếp tại hiện trường. Đối với hệ thống giám sát giao thông, thiết bị biên có thể bao gồm các camera giám sát, hệ thống đèn tín hiệu, cảm biến giao thông. Với quy mô và phạm vi của dự án này, hệ thống các thiết bị biên tương đương với hệ thống các camera giám sát được đặt trên cao, tại các tuyến đường hoặc nút giao của thành phố.

Tùy vào nhu cầu thực hiện các nhiệm vụ mà các thiết bị biên sẽ có phần cứng phù hợp và các chương trình tính toán được lập trình sẵn. Dự án này thực hiện với giả sử các camera sẽ có độ phân giải HD, được đặt một góc quay chính diện và phù hợp tại các con đường hoặc nút giao, có phần cứng phù hợp để tích hợp các chương trình xử lý cơ bản.

Trong hệ thống này, các camera sẽ tiến hành ghi lại các khung hình, xử lý ảnh cơ bản, áp dụng mô hình theo dõi vật thể cơ bản và tiến hành truyền dữ liệu thời gian thực theo từng khung hình về trung tâm xử lý. Để xử lý dữ liệu streaming theo thời gian thực, các camera sẽ không gửi trực tiếp đến trung tâm xử lý mà thực hiện gửi dữ liệu đến các topic trong Kafka, giao cho Kafka thực hiện phân phối dữ liệu.

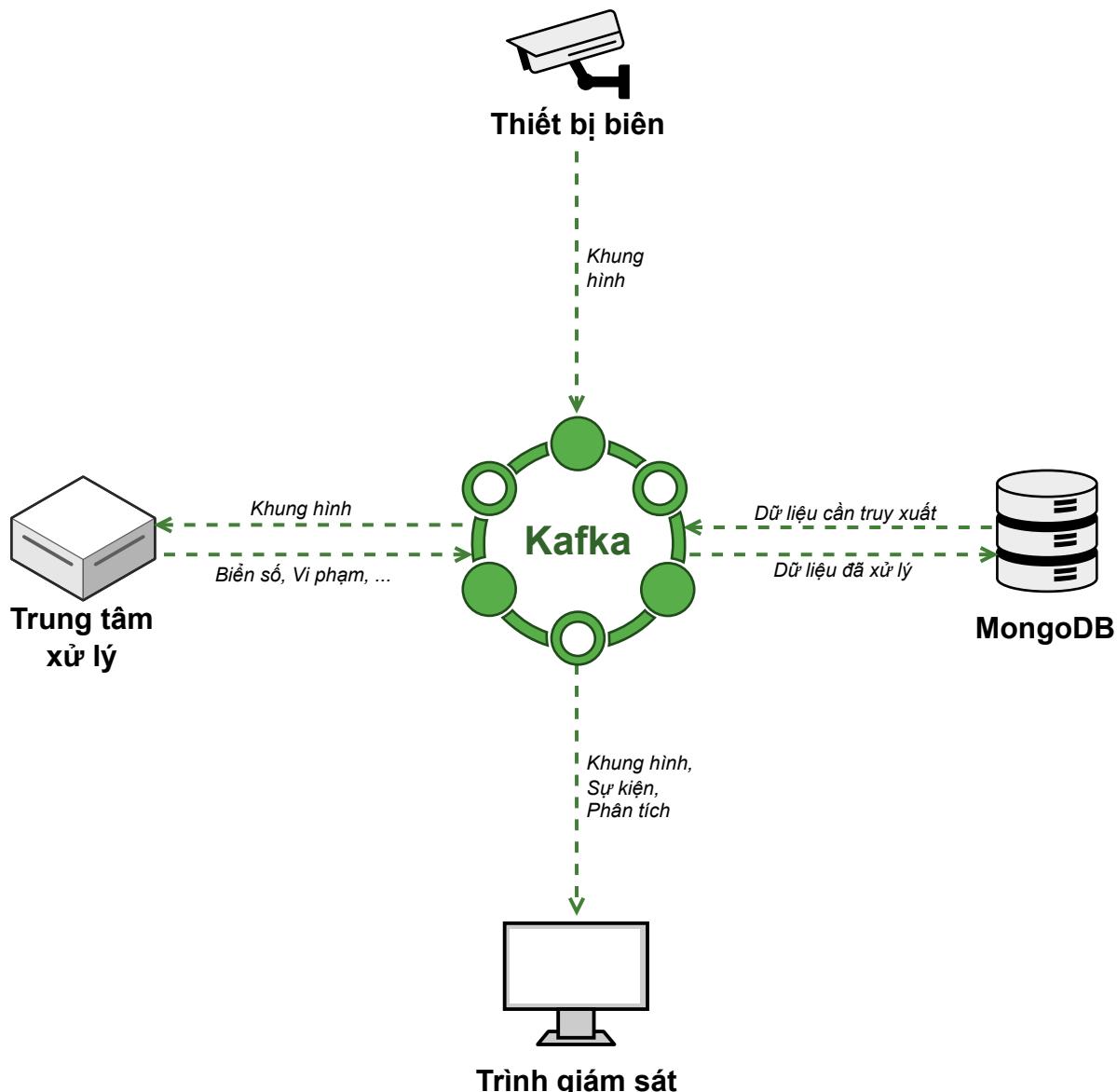
#### 1.2 Trình giám sát

Trình giám sát là ứng dụng cuối được sử dụng bởi các giám sát viên. Trong hệ thống giám sát giao thông thời gian thực, trình giám sát là đầu ra của hệ thống, hiển thị được hình ảnh truyền phát từ các camera, thông báo các sự kiện diễn ra và phân tích tình trạng giao thông, tất cả trong thời gian thực. Trình giám sát sẽ nhận dữ liệu streaming theo thời gian thực mà trung tâm xử lý gửi đến Kafka, hiển thị trực quan trên màn hình giao diện người dùng.

### 1.3 Truyền phát

Tầng truyền phát là cầu nối trung gian giữa các thiết bị biên, trung tâm xử lý và trình giám sát. Với hệ thống yêu cầu xử lý dữ liệu lớn thì công việc truyền phát càng quan trọng và có ý nghĩa. Trong hệ thống giám sát giao thông, dữ liệu được sinh ra liên tục từng khung hình, từng sự kiện (biển số, tốc độ, vi phạm, mật độ,...), nên hệ thống cần một cơ chế truyền phát liên tục, bền vững, an toàn, chịu tải cao và tránh phụ thuộc giữa các thành phần. Công việc truyền phát trong hệ thống của chúng tôi sử dụng nền tảng Apache Kafka.

Kafka giao tiếp với cả mặt trước (dữ liệu thô từ camera), phần giữa (dữ liệu xử lý trung gian) và mặt sau (dữ liệu đã xử lý gửi đến trình giám sát và cơ sở dữ liệu) của hệ thống. Việc truyền phát dữ liệu của Kafka trong hệ thống được minh họa tại Hình III.1.



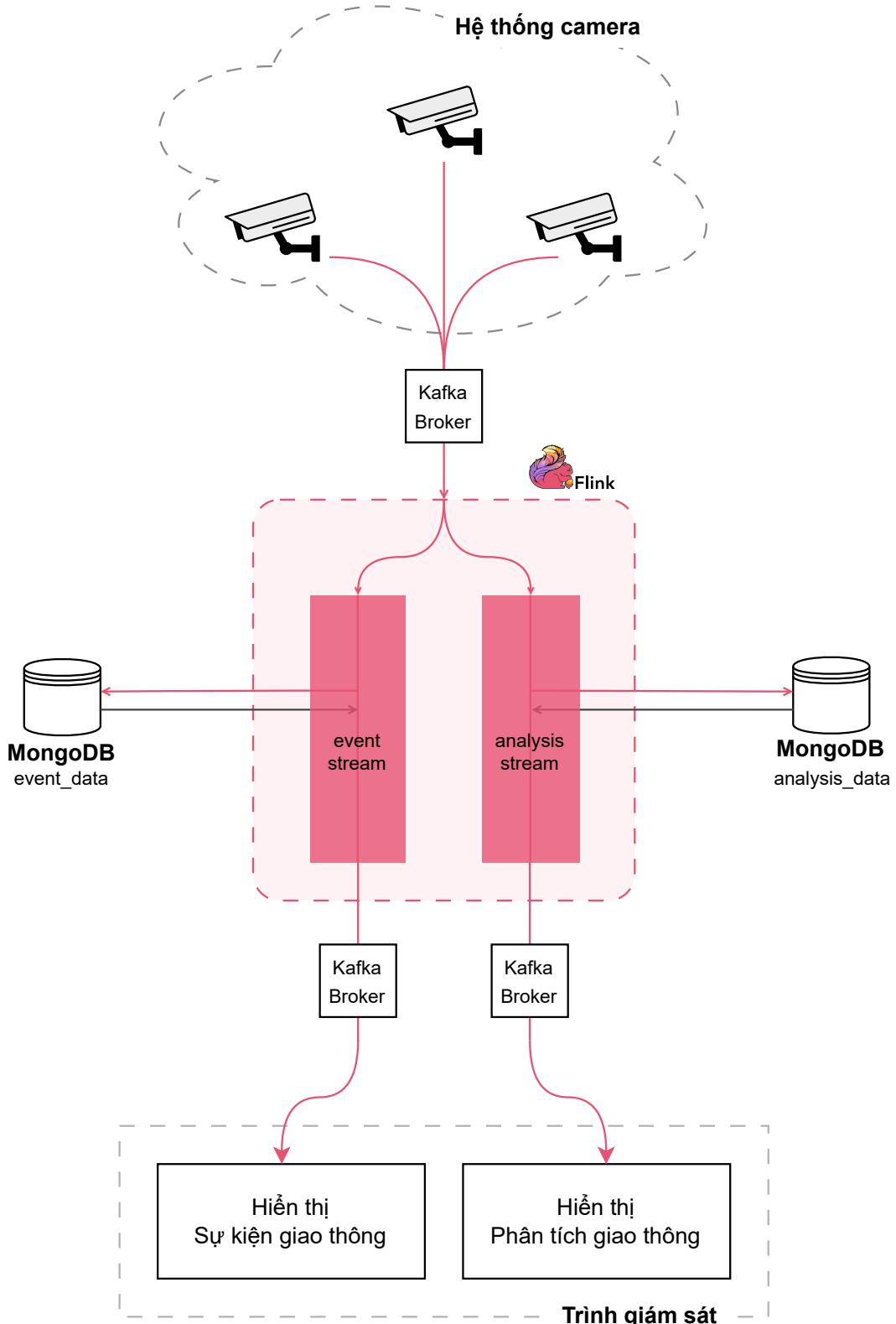
Hình III.1: Sơ đồ truyền phát dữ liệu của Kafka với các thành phần khác trong hệ thống. Kafka đóng vai trò là nơi nhận phát dữ liệu trong hệ thống giám sát giao thông thời gian thực.

Ở phía thiết bị biên, mỗi camera chỉ thực hiện gửi các khung hình và thông tin đã được xử lý sơ bộ đến Kafka mà không cần kết nối trực tiếp với trung tâm xử lý. Điều này tách biệt giữa nguồn dữ liệu và quá trình xử lý, mỗi camera có thể hoạt động độc lập và không bị ảnh hưởng bởi trạng thái của các thành phần khác, tránh buộc camera phải kết nối với nhiều dịch vụ khác nhau. Kafka chịu trách nhiệm thu thập luồng dữ liệu lớn từ nhiều camera cùng lúc, có cơ chế đệm để tránh mất dữ liệu khi hàng đợi bị ùn tắc.

Ở trung tâm xử lý, Apache Flink tiêu thụ dữ liệu streaming từ Kafka để thực hiện các tác vụ phân tích theo thời gian thực. Kafka giúp Flink có thể mở rộng theo chiều ngang và duy trì khả năng xử lý ổn định ngay cả khi dữ liệu tăng đột biến. Kafka cũng đảm bảo dữ liệu được phân phối theo đúng thứ tự và có thể phục hồi khi xảy ra sự cố.

Với các dữ liệu đầu ra sau khi xử lý, bao gồm biển số, sự kiện giao thông, kết quả phân tích giao thông, Kafka đảm nhiệm tự động phân phối chúng đến trình giám sát hay cơ sở dữ liệu. Trình giám sát không cần truy vấn liên tục đến trung tâm xử lý hay cơ sở dữ liệu, vì Kafka đã đầy luồng dữ liệu trực tiếp theo thời gian thực. Điều này đảm bảo trình giám sát có thể hiển thị thời gian thực, độ trễ thấp, hoạt động ổn định và không ảnh hưởng lẫn nhau.

## 1.4 Xử lý luồng dữ liệu



Hình III.2: Sơ đồ luồng dữ liệu đi trong hệ thống. Apache Flink ở trung tâm có nhiệm vụ xử lý các luồng dữ liệu lớn được truyền đi liên tục trong thời gian thực.

## 1.5 Cơ sở dữ liệu

Trong kiến trúc, cơ sở dữ liệu MongoDB có nhiệm vụ tiếp nhận và lưu trữ các thông tin được sinh ra hay được xử lý từ các thành phần khác trong hệ thống. Trước hết, cơ sở dữ liệu sẽ có các dữ liệu về phương tiện. Các dữ liệu bao gồm hình ảnh phương tiện, hình ảnh biển số, hình ảnh biển số sau khi được nhận diện bởi trung tâm xử lý sẽ được gửi về cơ sở dữ liệu để lưu trữ.

## 2 Phân phối, xử lý và lưu trữ dữ liệu

### 2.1 Kafka

Trong hệ thống, Apache Kafka là nền tảng truyền phát dữ liệu chính.

#### Kiến trúc và triển khai

Triển khai một cụm Kafka gồm 6 brokers, chạy dưới dạng container Docker để đảm bảo sự ổn định và khả năng mở rộng. ZooKeeper được sử dụng để quản lý trạng thái cluster và theo dõi các brokers. KafkaUI được triển khai để giám sát các topic, partition, producers, consumers theo thời gian thực.

#### Topic dữ liệu

Các topic chính của hệ thống:

Topic	Mô tả
cam-raw	Nhận dữ liệu thô từ các thiết bị biển, cụ thể là dữ liệu các khung hình được quay bởi camera giám sát.
cam-tracking	Nhận dữ liệu khung hình đã nhận diện và vẽ bounding box cho các phương tiện giao thông.
cam-event	Lưu sự kiện đã xử lý như biển số, tốc độ, vi phạm, ngày giờ.
cam-stats	Lưu trữ kết quả thống kê giao thông

Bảng III.1: Các topic chính của hệ thống Kafka

### 2.2 Luồng xử lý dữ liệu chính

Luồng xử lý dữ liệu của hệ thống được thiết kế theo dạng pipeline streaming liên tục, đảm bảo mỗi khung hình từ camera đều được xử lý theo thời gian thực và phân phối đến các thành phần liên quan. Quy trình gồm các bước chính sau:

1. Camera gửi dữ liệu đến topic **cam-raw**: Các thiết bị camera (thiết bị biên) chụp và gửi từng khung hình theo thời gian thực. Mỗi khung hình được đóng gói thành một bản tin bao gồm: hình ảnh mã hóa dưới dạng base64, timestamp, camera id và một vài thông tin sơ bộ.
2. Theo dõi phương tiện: Tại trung tâm xử lý, Apache Flink tiêu thụ dữ liệu từ **cam-raw** và thực thi chuỗi xử lý, sử dụng mô hình YOLO để phát hiện và theo dõi phương tiện, cho kết quả đầu ra là ID các phương tiện được theo dõi và vị trí của chúng theo thời gian thực.
3. Vẽ bounding box và gửi về **cam-tracking**: Các đối tượng sau khi được tracking sẽ được vẽ bounding box trực tiếp trên khung hình và loại xe để tiện theo dõi. Khung hình đã xử lý được gửi vào topic **cam-tracking** để cung cấp cho trình giám sát hiển thị trực tiếp theo thời gian thực.
4. Đồng thời với bước 3, các object tiếp tục được xử lý để nhận diện biển số, tốc độ và vi phạm. Bước này thực hiện nhận diện và cắt vùng biển số, nhận diện ký tự biển số, tính tốc độ dựa trên vị trí đối tượng qua thời gian và hai vạch chuẩn, kiểm tra vi phạm như vượt đèn đỏ, không đội mũ bảo hiểm, v.v. Kết quả phân tích được giữ trong một luồng dữ liệu trung gian để phục vụ cả thống kê và phát hiện sự kiện.
5. Song song với bước 4, hệ thống thực hiện thống kê lưu lượng và tốc độ trung bình. Flink duy trì các time window để đếm số lượng phương tiện đi qua theo từng phút, tính tốc độ trung bình theo camera, ước lượng mật độ giao thông. Kết quả phân tích được gửi vào topic **cam-stats** nhằm phục vụ trình giám sát và báo cáo giao thông theo thời gian thực.
6. Đối với mỗi phương tiện đã được nhận diện, hệ thống sẽ truy vấn MongoDB để bổ sung các thông tin liên quan nếu được lưu trước đó. Sau đó, một sự kiện được hình thành gồm thời gian, vị trí camera, loại xe, biển số, vi phạm, tốc độ, hình ảnh. Sự kiện hoàn chỉnh sẽ được gửi đến topic **cam-event** để truyền đến trình giám sát, đồng thời một phần sự kiện sẽ được lưu trữ vào cơ sở dữ liệu.

### 2.3 Lưu trữ trong cơ sở dữ liệu

Trong hệ thống này, collection chính là **vehicles**. Collection này chứa các bản ghi là các phương tiện, bao gồm biển số xe và và các sự kiện đã được xử lý.

# IV

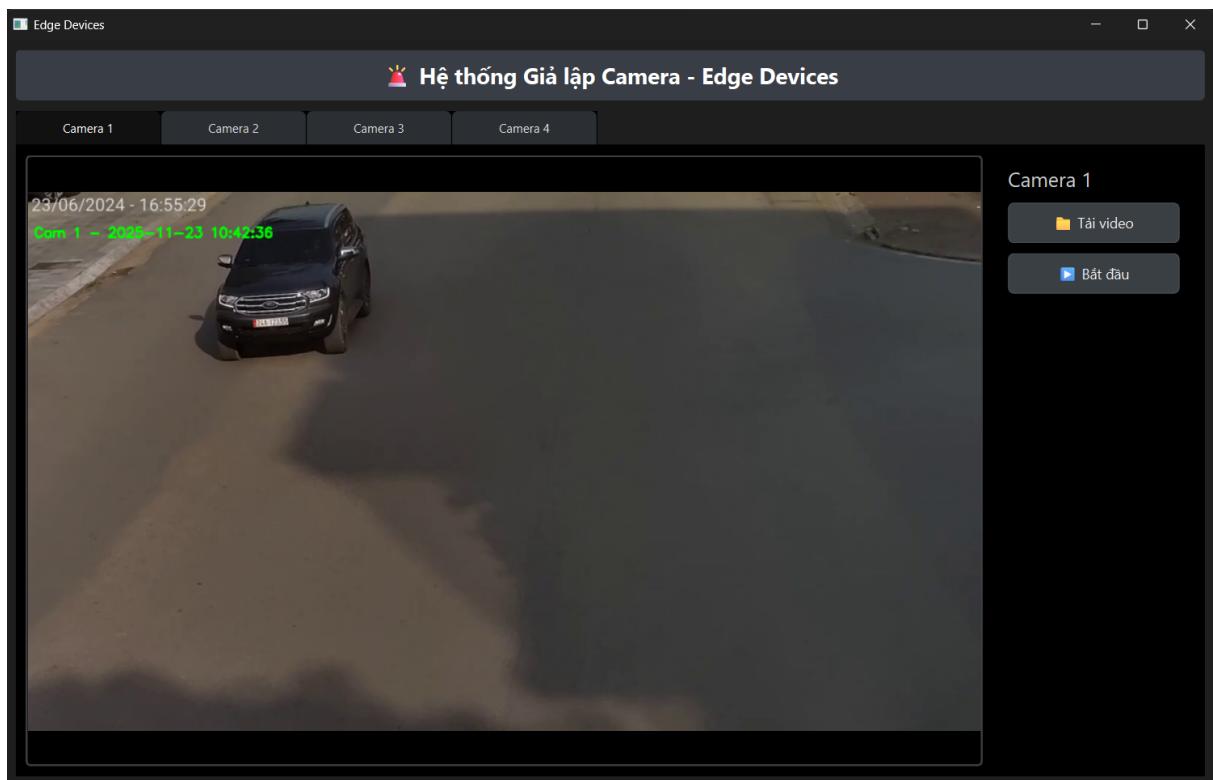
## Thực nghiệm

### 1 Thiết kế thực nghiệm

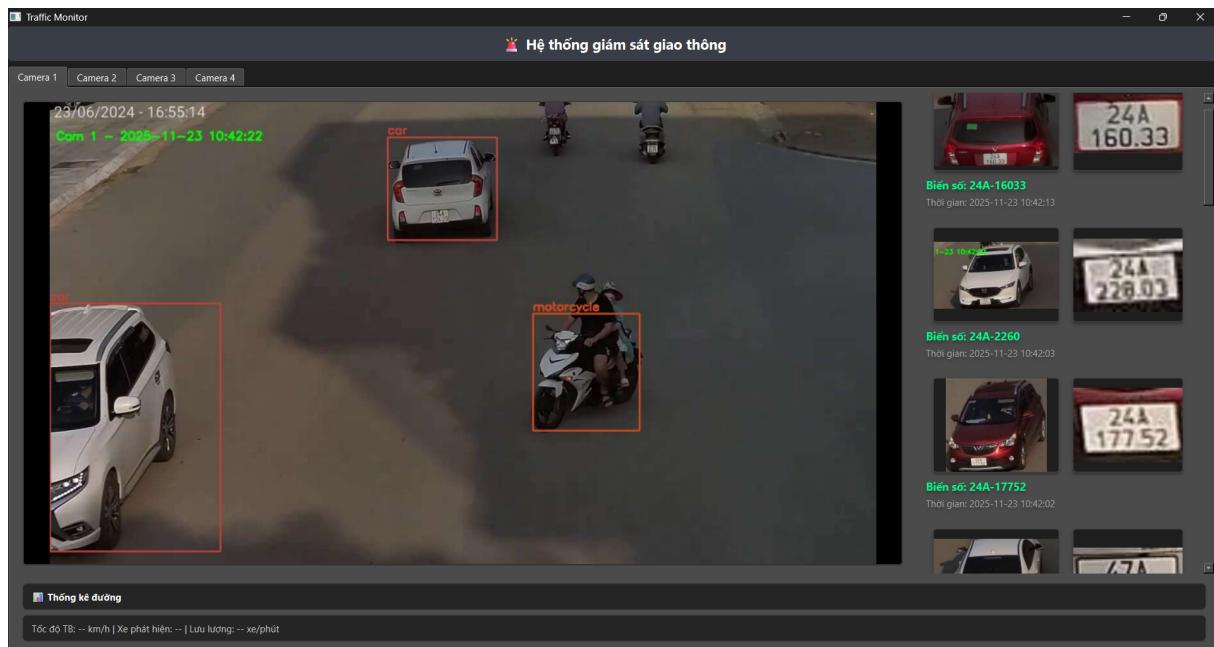
Nêu ra môi trường thực nghiệm: Ubuntu, Docker.

Nêu ra phần cứng thực nghiệm.

### 2 Triển khai hệ thống



Hình IV.1: Chương trình mô phỏng camera, thực hiện truyền phát từng khung hình theo thời gian thực đến Kafka.



Hình IV.2: Chương trình giám sát giao thông, bao gồm hình ảnh camera, thông tin sự kiện và thống kê giao thông.

### 3 Đánh giá kết quả thực nghiệm

# V Kết luận

## 1 Kết luận chung

Trong bối cảnh ABC, hệ thống giám sát thời gian thực đã đem lại ý nghĩa to lớn. Với đề tài xây dựng hệ thống giám sát thời gian thực, chúng tôi đã hoàn thành nghiên cứu thiết kế và triển khai một hệ thống giám sát, với luồng dữ liệu được truyền phát và xử lý bởi Kafka, Flink, lưu trữ trên MongoDB, với mô hình lõi được triển khai trên các mô hình học sâu như YOLO, CNN.

Cụ thể, hệ thống có thể thực hiện được:

- Xử lý và truyền phát các khung hình camera đến trình giám sát trong thời gian thực với độ trễ chấp nhận được.
- Theo dõi và nhận diện phương tiện với độ chính xác tốt
- Có thể phát hiện các hành vi vi phạm cơ bản (vượt đèn đỏ, không đội mũ bảo hiểm, quá tốc độ)
- Thông kê lưu lượng và vận tốc trung bình để ước lượng tình trạng giao thông
- Lưu trữ dữ liệu một cách có tổ chức trong MongoDB để phục vụ các tác vụ giám sát và phân tích sau này

Từ những kết quả đạt được, có thể khẳng định rằng việc kết hợp giữa học sâu và công nghệ xử lý dữ liệu lớn là một hướng tiếp cận hiệu quả, khả thi, cho hệ thống giám sát giao thông thời gian thực.

## 2 Hướng cải thiện dự án

Mặc dù hệ thống đã cơ bản đáp ứng mục tiêu đề ra, nhưng vẫn còn nhiều yếu tố có thể cải thiện:

- Cải thiện độ chính xác của mô hình học sâu: huấn luyện lại YOLO và CNN trên tập dữ liệu lớn hơn, đa dạng hơn; tối ưu mô hình cho điều kiện ánh sáng yếu, mưa.

- Xử lý nhiều tình huống thực tế phức tạp hơn: nhận diện hành vi lẩn làn, đi vào đường cấm; xử lý trường hợp phương tiện bị che khuất hoặc di chuyển nhanh.
- Cải thiện hệ thống camera mô phỏng: mô phỏng nhiều camera cùng một vị trí; mô phỏng giao thông đa hướng, ngã tư phức tạp.

### 3 Hướng nghiên cứu tiếp theo

Trong tương lai, hệ thống có thể được phát triển theo các hướng mở rộng sau:

- Tích hợp vào hệ thống điều hành giao thông thông minh quy mô lớn, liên kết với trung tâm điều hành giao thông của thành phố, đồng bộ với hệ thống điều khiển đèn tín hiệu.
- Xây dựng cơ chế ra quyết định tự động: tự động điều chỉnh chu kỳ đèn dựa trên lưu lượng; tự động gửi cảnh báo hoặc phát hiện sự cố.
- Mở rộng sang các thiết bị biên mạnh hơn: tận dụng edge computing để xử lý một phần ngay tại camera, giảm tải cho trung tâm xử lý và giảm độ trễ.
- Mở rộng phạm vi dữ liệu: dữ liệu giao thông từ nhiều thành phố, nhiều quốc gia, tích hợp dữ liệu GPS để tăng độ chính xác.
- Ứng dụng học sâu tiên tiến hơn: sử dụng mô hình Transformer trong thị giác (ViT, DETR), áp dụng mô hình đa nhiệm vụ (multitask) để giảm số mô hình cần chạy

# Tài liệu tham khảo

- [1] B. G. Deepthi, K. S. Rani, P. V. Krishna, et al. An efficient architecture for processing real-time traffic data streams using apache flink. *Multimedia Tools and Applications*, 83:37369–37385, 2024.
- [2] Theofanis P. Raptis and Andrea Passarella. A survey on networked data streaming with apache kafka. *IEEE Access*, 11:85333–85350, 2023.
- [3] Chen Chen, Bin Liu, Shaohua Wan, Peng Qiao, and Qingqi Pei. An edge traffic flow detection scheme based on deep learning in an intelligent transportation system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3):1840–1852, 2021.
- [4] T. Arif, A. S. Muhammad Mussa, M. Rahman, et al. Vision-based real-time traffic flow monitoring system for road intersections in dhaka city. *Applied Intelligence*, 55:800, 2025.
- [5] D. Banelas and E. G. M. Petrakis. Motioninsights: real-time object tracking in streaming video. *Machine Vision and Applications*, 35:85, 2024.
- [6] Jinqing Mu, Jing Luan, and Danni Li. Research on Traffic Video Flow Monitoring Based on Spark . In *2021 2nd International Conference on Computer Science and Management Technology (ICCSMT)*, pages 331–335, Los Alamitos, CA, USA, November 2021. IEEE Computer Society.