HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

THẠCH QUỐC TUẤN

NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG PHÁT VIDEO QUA HTTP BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỌC TĂNG CƯỜNG

LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

TP HỒ CHÍ MINH – Năm 2022

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

THẠCH QUỐC TUẤN

NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG PHÁT VIDEO QUA HTTP BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỌC TĂNG CƯỜNG

CHUYÊN NGÀNH:HỆ THỐNG THÔNG TIN

MÃ SỐ: 8.48.01.04

LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS.TS. VÕ THỊ LƯU PHƯƠNG

TP HỒ CHÍ MINH – Năm 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan rằng luận văn: **"Nâng cao chất lượng phát video qua HTTP bằng phương pháp học tăng cường"** là công trình nghiên cứu của chính tôi.

Tôi cam đoan các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Không có sản phẩm/nghiên cứu nào của người khác được sử dụng trong luận văn này mà không được trích dẫn theo đúng quy định.

TP. Hồ Chí Minh, ngày 04 tháng 05 năm 2022

Học viên thực hiện luận văn

Thạch Quốc Tuấn

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu thực hiện luận văn, ngoài nỗ lực của bản thân, tôi đã nhận được sự hướng dẫn nhiệt tình quý báu của quý Thầy Cô, cùng với sự động viên và ủng hộ của gia đình, bạn bè và đồng nghiệp. Với lòng kính trọng và biết ơn sâu sắc, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới:

Ban Giám Đốc, Phòng đào tạo sau đại học và quý Thầy Cô Học viện Công nghệ Bưu Chính Viễn Thông, Cơ sở Thành Phố Hồ Chí Minh, đã tạo mọi điều kiện thuận lợi giúp tôi hoàn thành luận văn.

Tôi xin chân thành cảm ơn **Cô PGS.TS. Võ Thị Lưu Phương**, người cô kính yêu đã hết lòng giúp đỡ, hướng dẫn, động viên, tạo điều kiện cho tôi trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn.

Tôi xin chân thành cảm ơn gia đình, bạn bè, đồng nghiệp trong cơ quan đã động viên, hỗ trợ tôi trong lúc khó khăn để tôi có thể học tập và hoàn thành luận văn.

Mặc dù đã có nhiều cố gắng, nỗ lực, nhưng do thời gian và kinh nghiệm nghiên cứu khoa học còn hạn chế nên không thể tránh khỏi những thiếu sót. Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy cô trong Hội đồng bảo vệ, nhất là các thầy phản biện.

Xin chân thành cảm ơn!

TP. Hồ Chí Minh, ngày 04 tháng 05 năm 2022

Học viên thực hiện luận văn

Thạch Quốc Tuấn

DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
ABR	Adaptive Bitrate	Tương thích tốc độ bit
QoE	Quality of Experience	Chất lượng trải nghiệm
DASH	Dynamic Adative Streaming over HTTP	Phát trực tuyến tương thích động qua HTTP
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	Giao thức truyền tải siêu văn bản (Sử dụng trong www)
	Experience Replay	Bộ nhớ trải nghiệm (sử dụng trong DQN)
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
HD	High Definition	Độ nét cao (video)
SD	Standard Definition	Độ nét tiêu chuẩn (video)
ML	Machine Learning	Máy học
RL	Reinforcement Learning	Học tăng cường
DRL	Deep Reinforcement Learning	Học tăng cường sâu
DQN	Deep Q Learning Networks	Mạng học sâu Q-Learning
Replay Buffer		Bộ đệm phát lại
RAM	Random Access Memory	Bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên
MPEG	Moving Picture Experts Group	Nhóm Chuyên gia Hình ảnh Động
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Dự án Hợp tác Thế hệ thứ 3
HAS	HTTP Adaptive Streaming	Phát trực tuyến tương thích HTTP
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP	Phát trực tuyến tương thích động qua HTTP
MPD	Media Presentation Description	(file) Mô tả trình chiếu đa phương tiện

DANH SÁCH HÌNH VẼ

DANH SÁCH BẢNG

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Với xu hướng phát triển của điện toán đám mây và kết nối vạn vật IoT, thập kỷ vừa qua đã chứng kiến sự phát triển vượt bậc của phát video trực tuyến và chiếm phần lớn lưu lượng truy cập Internet hiện nay nhờ những tiến bộ trong công nghệ truyền tải, năng lực thiết bị đầu cuối và các phương pháp nén âm thanh-video và chiếm hơn 60% lưu lượng Internet toàn cầu [1] , [2]. Thị trường phát video trực tuyến được định giá lên đến hàng tỉ đô la. Cùng với sự phát triển của thị trường này là yêu cầu ngày càng cao các video có chất lượng, đã được chứng minh là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến trải nghiệm chất lượng của người dùng [3], [4]. Điều này tạo ra những thách thức cho việc cung cấp các video với "Chất lượng trải nghiệm tốt nhất" qua mạng Internet, hệ thống mạng ban đầu được thiết kế để theo kiểu "nỗ lực tối đa" – để truyền tải các dữ liệu không theo thời gian thực. Người dùng có thể dừng xem nếu có các vấn đề với việc phát trực tuyến như chất lượng video thấp hay việc đứng hình, phát lại. Ảnh hưởng trực tiếp đến doanh thu của các nhà cung cấp nội dung video.

Với mục tiêu chính là nâng cao chất lượng trải nghiệm của người dùng, vốn bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như băng thông, cường độ tín hiệu, độ nghẽn mạng và thời gian mạng hội tụ sau khi có sự thay đổi, nhiều thuật toán tương thích tốc độ bit [5] được triển khai rộng rãi phía đầu cuối khách hàng và các yêu cầu về mức chất lượng khác nhau đối với máy chủ. Trong những năm gần đây, giải pháp Học tăng cường [6], [7] đang nổi trội và thay thế cho các phương pháp truyền thống khác. Giải pháp end-to-end này học cách cải thiện chất lượng các phiên phát trực tuyến bằng cách sử dụng các tham số đầu vào như là chất lượng mạng và kích thước video, với cách thức tính toán đơn giản hơn. Từ những điều trên, tôi chọn đề tài "**Nâng cao chất lượng phát video qua HTTP bằng phương pháp học tăng cường",** trên cơ sở dựa trên các nghiên cứu trước đó, xây dựng thuật toán ABR dưới hình thức học tăng cường trong môi trường mô phỏng, sử dụng video thời gian thực và mạng 4G. Sau đó, hiệu suất của các thuật toán được đánh giá theo các giao thức đánh giá đã biết.

Cuối cùng, xin đề xuất một số hướng nghiên cứu trong tương lai về vấn đề này, cải thiện một số thông số ảnh hưởng đến QoE người dùng.

2. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Hiện nay, phần lớn lưu lượng Internet là video, dự kiến sẽ chiếm đến 80% trong vài năm sắp tới (theo [1] , [2]), các hệ thống cung cấp video truyền thống đối mặt với nhiều vấn đề trong việc cung cấp các video với chất lượng trải nghiệm cao đến người dùng do chất lượng video bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, chủ yếu là môi trường mạng (băng thông, nghẽn mạng …). Cung cấp video đến người dùng với độ trải nghiệm cao đòi hỏi sự cân bằng giữa hai yếu tố: Người dùng muốn xem các phiên bản video với mức chất lượng cao nhất mà vẫn phải đảm bảo xem video được liên tục, mượt mà và không bị đứng hình. Ví dụ, các video với độ phân giải cao (HD) được mã hóa với tốc độ 2Mbps mang lại trải nghiệm dịch vụ tốt hơn cho người dùng hơn là cùng video đó với độ phân giải tiêu chuẩn (SD) và được mã hóa ở tốc độ 800bps. Thực tế được kiểm chứng, thời gian người dùng xem và chịu trả phí cho các video có độ phân giải tốt hơn sẽ kéo dài hơn. Tuy nhiên, không phải lúc nào người dùng cũng xem được các video được mã hóa với tốc độ bit cao nhất, do băng thông khả dụng thay đổi, tùy thuộc vào chất lượng kết nối mạng giữa người dùng và máy chủ phục vụ. Do lựa chọn tốc độ bit cao hơn băng thông khả dụng có thể gây ra tình trạng đứng hình trong quá trình xem. Hiện tượng đứng hình trong quá trình xem được gọi là rebuffer và xem các video liên tục, không bị đứng hình là yếu tố then chốt đánh giá chất lượng trải nghiệm của người dùng [8]. Vì thế, việc cân bằng giữa hai yếu tố này là vấn đề chính để nâng cao chất lượng trải nghiệm của người dùng.

Để giải quyết vấn đề này, thuật toán lựa chon tốc độ bit thích ứng ABR được triển khai tại ứng dụng người dùng để có thể lựa chọn tốc độ bit của từng phân đoạn sẽ tải xuống tiếp theo phù hợp với thông lượng mạng hiện tại. Đặc biệt, trong quá trình phát video, ứng dụng người dùng sẽ chuyển xuống các phân đoạn video có tốc độ bit thấp khi chất lượng kết nối mạng suy giảm và chuyển sang tải các phân đoạn có tốc độ bit cao hơn để trải nghiệm phong phú hơn khi chất lượng mạng được cải thiện [9]. Rất nhiều thuật toán cho việc lựa chọn tốc độ bit thích ứng được triển khai gần đây, được phân thành nhiều lớp, như thuật toán dựa trên dự đoán thông lượng mạng khả dụng Probe AND Adapt (PANDA) [10], thuật toán LOLYPOP của Miller,

hay các thuật toán dựa mức bộ đệm như BBA của Huang, BOLA - Buffer Occupancy Based Lyapunov Algorithm, hay nhóm thuật toán tổng hợp, kết hợp dự đoán thông lượng mạng và xét mức bộ đệm như MPC [11]. Ngoài ra còn có các thuật toán có bản quyền như Microsoft's Smooth Streaming, Apple's HTTP Live Streaming (HLS). Các thuật toán này có nhiều ưu điểm trong điều kiện cụ thể riêng biệt. Cụ thể, thuật toán dựa trên thông lượng tốt nhất ở yếu tố thời gian khởi tạo và thời điểm tốc độ kết nối ổn định, trong khi các thuật toán dựa trên bộ đệm sẽ tốt hơn khi trong giai đoạn sẵn sàng và khi có sự thay đổi chất lượng mạng. Thuật toán kết hợp như MPC có thể giải quyết các vấn đề trên, nhưng thực tế, nếu trong quá trình kết nối, chất lượng kết nối có sự thay đổi, việc ước lượng băng thông không chính xác có thể làm cho thuật toán MPC không đạt kết quả như mong muốn. Từ các điều trên, thuật toán lựa chọn tốc độ bit video dựa trên học tăng cường (Reinforcement Learning: RF) được đề xuất. Thuật thoán ABR RF "học" chất lượng từ rất nhiều video được tải trước đó và quyết định chất lượng video tiếp theo được tải xuống tiếp theo tùy theo điều kiện kết nối khác nhau và cũng nhờ quá trình "học" này, chất lượng video nhận được tại người dùng được cải thiện, và từ đó, QoE được cải thiện rất nhiều.

3. Mục đích nghiên cứu

Xuất phát từ những tồn tại, đề tài tập trung xây dựng thuật toán lựa chọn tốc độ bit video dựa trên học tăng cường sử dụng môi trường mô phỏng với các video thực và băng thông mạng 4G.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu:
  - Phát video trực tuyến.
  - QoE và chất lượng trải nghiệm người dùng.
  - Phương pháp học tăng cường.
- Phạm vi nghiên cứu:
  - Phương pháp học tăng cường Reinforcement Learning.
  - Công cụ mã nguồn mở Pytorch, Stable_baselines 3 và OpenAI Gym.

5. Phương pháp nghiên cứu

Đề tài này sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với xây dựng mô phỏng và đánh giá thực nghiệm:

- Thu thập các tài liệu có liên quan tới đề tài, các thông số đánh giá QoE và kiến thức về Học tăng cường, Học sâu.
- Xây dựng công cụ mô phỏng và ứng dụng các công nghệ mã nguồn mở Pytorch, thư viện Stable-baselines 3 và OpenAI Gym để kiểm tra thực nghiệm.
- Tiến hành mô phỏng và kiểm tra thực nghiệm, đánh giá những kết quả đạt được, đưa ra hướng phát triển phát triển tiếp theo của để tài để đáp ứng những nhu cầu triển khai thực tế.

6. Cấu trúc luận văn

Ngoài phần mở đầu, mục lục, kết luận và kiến nghị, danh mục hình vẽ, danh mục bảng biểu, tài liệu tham khảo, phụ lục, phần chính của luận văn gồm 4 chương như sau:

Chương 1: TỔNG QUAN VỀ KỸ THUẬT PHÁT VIDEO QUA HTTP

Chương 2: CÁC THUẬT TOÁN LỰA CHỌN TỐC ĐỘ BIT TƯƠNG THÍCH TRONG KỸ THUẬT PHÁT VIDEO QUA HTTP

Chương 3: GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG TRỰC TUYẾN VIDEO: HỌC TĂNG CƯỜNG (REINFORCEMENT LEARNING)

Chương 4: HUẤN LUYỆN VÀ KIỂM THỬ

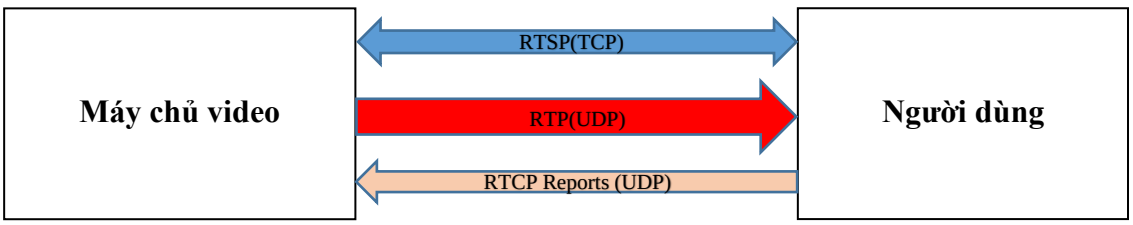
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ PHÁT VIDEO QUA HTTP

1.1. Đặt vấn đề

1.1.1. Truyền phát video hiện nay

Video là một loại dữ liệu đa phương tiện quan trọng trong lĩnh vực truyền thông và giải trí. Lưu lượng truy cập video tăng trưởng rất nhanh chóng trong thời gian gần đây, và dự kiến chiếm phần lớn lưu lượng Internet toàn cầu [1]. Điều này gây ra nhiều thách thức cho các nhà cung cấp dịch vụ video với yêu cầu "Chất lượng trải nghiệm dịch vụ tốt nhất" qua mạng Internet, mạng ban đầu được thiết kế để truyền tải nội dữ liệu theo kiểu "nỗ lực tối đa" các dữ liệu không theo thời gian thực.

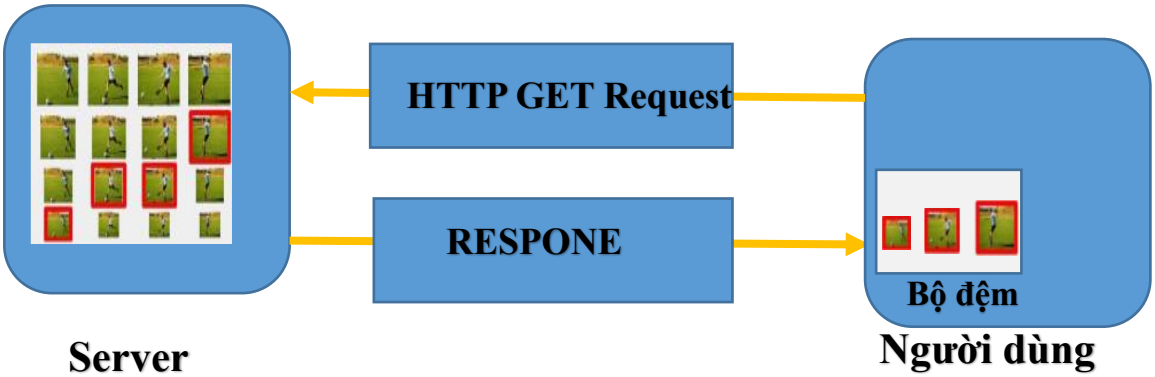
Vào thời kỳ đầu, video được phát với công nghệ chuyển mạch gói, dù sau đó được chuyển qua mạng Internet, vẫn gặp những yếu tố bất lợi như băng thông, độ trễ, và mất gói tin. Năm 2005, Move Networks giới thiệu một mô hình truyền tải video đơn giản và mô hình này nhanh chóng trở nên phổ biến nhờ các ưu điểm vượt trội và chi phí triển khai rẻ hơn kiểu tải dữ liệu lũy tiến truyền thống và các phương thức phát trực tuyến độc quyền khác. Mô hình mới này được gọi là phát trực tuyến tương thích qua HTTP (HAS: HTTP Adaptive Streaming). Về cơ bản, HAS xem các nội dung video giống như nội dung web thông thường và chuyển tải chúng thành các phần nhỏ qua giao thức HTTP. HAS nhanh chóng được các nhà cung cấp dịch vụ và nội dung hàng đầu lựa chọn là phương thức chủ đạo để phát video trực tuyến.



Hình 1.1: Mô hình phát trực tuyến truyền thống

Trong mô hình phát trực tuyến truyền thống không sử dụng HAS như Hình 1.1, người dùng sẽ nhận được các thông tin đa phương tiện được phát đi từ các máy chủ bằng cách sử dụng các giao thức có thiên hướng kết nối như Real-time Messaging Protocol (RTMP/TCP) hoặc không kết nối như Real-time Transport Protocol (RTP/UDP). Giao thức chung để điều khiển các máy chủ kiểu truyền thống chứa các

file nội dung đa phương tiện là giao thức RSTP (Real-time Streaming Protocol: Giao thức phát trực tuyến thời gian thực). RTSP sẽ chịu trách nhiệm thiết lập phiên trực tuyến và luôn giữ trạng thái kết nối, nhưng nó không chịu trách nhiệm cho việc phân phối thật sự, mà nhiệm vụ phân phối là do RTP. Dựa trên các RTCP Reports (RTP Control Protocol: giao thức điều khiển RTP) từ người dùng, máy chủ có thể thay đổi tốc độ tương thích và lịch trình chuyển phát dữ liệu. Những điều này làm cho máy chủ có cấu trúc phức tạp hơn và đắt đỏ hơn. Hơn nữa, các giao thức hoặc các cấu hình cần được thiết lập xuyên suốt phiên, ngoài ra các luồng dữ liệu đa phương tiện có thể bị chặn lại trong trường hợp sử dụng các thiết bị NAT hoặc tường lửa. Mặc dù triển khai theo các giao thức cơ bản như nhau, nhưng đối với các nhà cung cấp dịch vụ khác nhau, các máy chủ có thể khác nhau về cầu hình hoặc cách vận hành, khi các máy chủ có lỗi sẽ làm cho phiên trực tuyến bị gián đoạn hoặc không được liên tục trừ khi có giải pháp sử dụng máy chủ dự phòng. Những vấn đề như việc phụ thuộc vào nhà cung cấp, khả năng mở rộng và cũng như chi phí bảo trì cao sẽ gây ra những thách thức cho các giao thức như RTSP.



Hình 1.2: Mô hình phát trực tuyến HAS

So với mô hình phát trực tuyến truyền thống, mô hình HAS sử dụng HTTP như là một ứng dụng và sử dụng TCP là giao thức cho lớp truyền tải, và người dùng lấy dữ liệu từ máy chủ HTTP chuẩn như Hình 1.2. Cơ bản, các máy chủ này chỉ chứa nội dung đa phương tiện. Giải pháp HAS triển khai theo cơ chế tương thích động tùy theo nhiều điều kiện kết nối mạng khác nhau để cung cấp trải nghiệm phát trực tuyến liên tục, chí ít cũng mượt mà hơn. File đa phương tiện như video hoặc luồng dữ liệu phát trực tuyến nhận từ nguồn phát, trước khi được phát sẽ được chuẩn hóa tại máy chủ HTTP. Các file này sẽ được chia nhỏ thành các phân đoạn (còn gọi là chunk) với

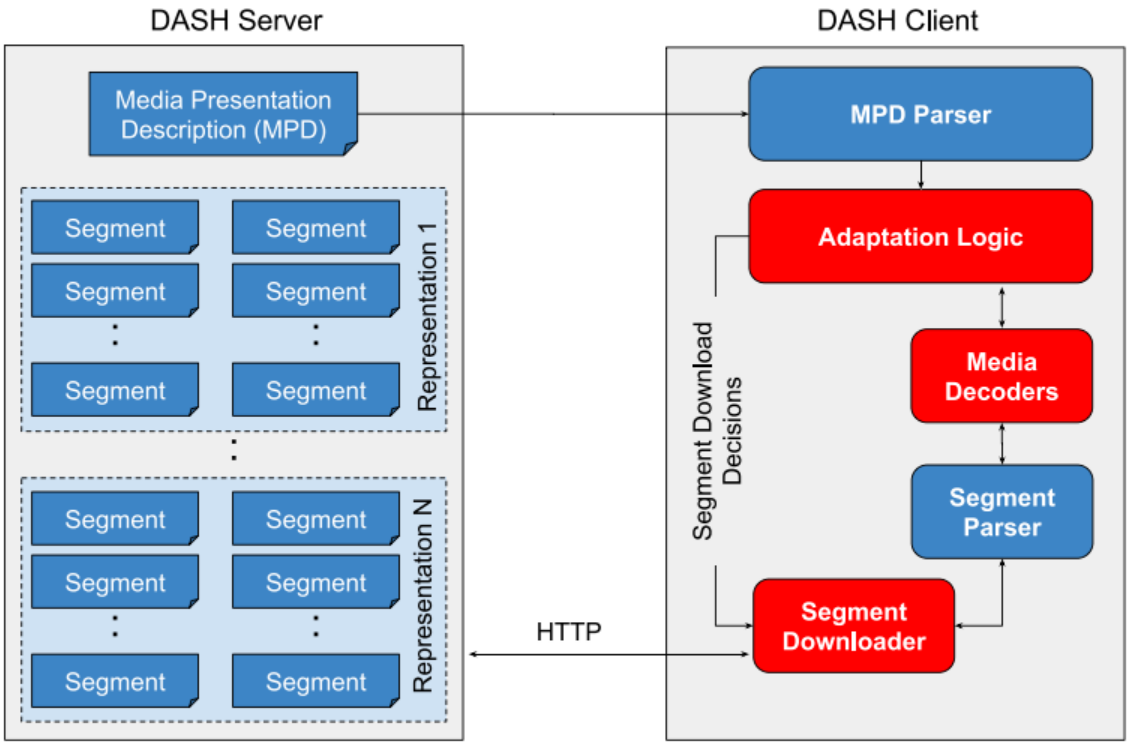
mức thời lượng tương ứng. Các phân đoạn được mã hóa với các mức tốc độ bit khác nhau, tương ứng với chất lượng khác nhau, bằng cách sử dụng các bộ mã hóa hoặc chuyển mã. Theo đó, máy chủ tạo các file đầu mục, đây là danh sách bao gồm địa chỉ web máy chủ HTTP, các phân đoạn video khả dụng để xác định các phân đoạn thuộc máy chủ nào và thời gian khả dụng. Trong suốt một phiên HAS, đầu tiên người dùng sẽ nhận bảng kê chi tiết bao gồm dữ liệu của video, âm thanh, phụ đề và các tham số khác, sau đó sẽ tiến hành thường xuyên đo đạc các tham số bắt buộc như: băng thông mạng khả dụng, trạng thái bộ đệm, pin và tình trạng CPU, v.v. Người dùng đầu cuối sẽ lựa chọn chất lượng các phân đoạn sẽ được tải xuống tiếp theo trong số các các phân đoạn được lưu trữ tại máy chủ tùy theo các thông số đo đạc được.

Bảng 1.1: So sánh sự khác nhau giữa hệ thống phát trực tuyến truyền thống và hệ thống HAS

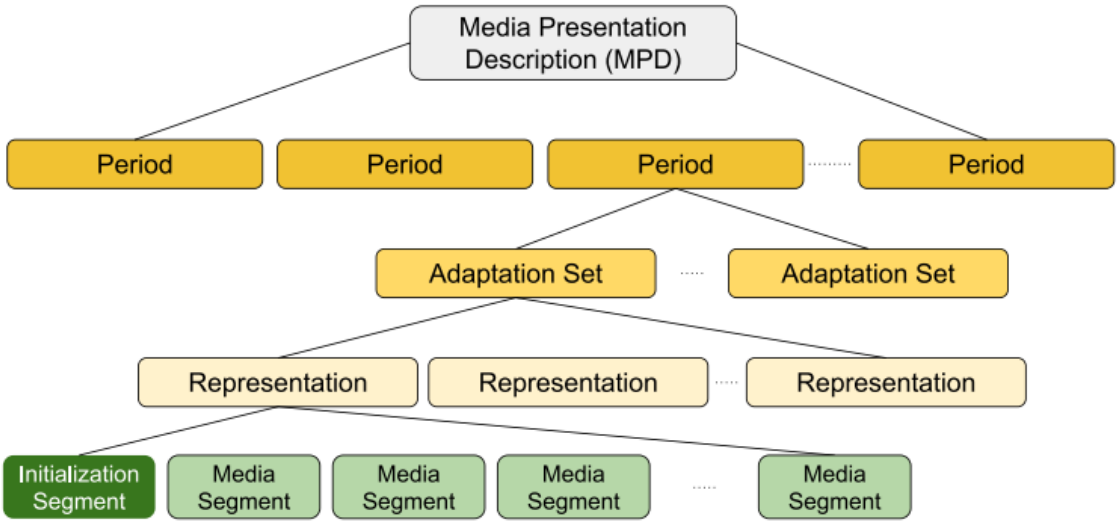
Thông số	Hệ thống truyền thống	Hệ thống HAS
Giao thức tương tác	RTSP, RTP, UDP	HTTP, RTMPx, FTP
Đơn vị thực thi tương thích logic	Máy chủ	Người dùng
Dữ liệu truyền phát	Dữ liệu dạng gói	Các phân đoạn video
Giám sát chất lượng video và định vị người dùng	RTCP cho truyền phát RTP	Đang trong quá trình chuẩn hóa
Hỗ trợ phát quảng bá	Có	Không
Hỗ trợ lưu trữ tạm thời (Caching)	Giao thức đặc biệt	Bộ nhớ lưu trữ tạm thời web được sử dụng cho HTTP

Truyền phát video qua HTTP có một số lợi ích là cơ sở hạ tầng Internet đã phát triển để hỗ trợ HTTP một cách hiệu quả. Ngoài ra, hầu hết tất cả các tường lửa đều được cấu hình để hỗ trợ các kết nối của HTTP. Thêm vào đó, với phát trực tuyến qua HTTP, đầu cuối người dùng sẽ quản lý việc truyền phát mà không cần duy trì trạng thái phiên kết nối trên máy chủ. Do đó, việc triển khai dịch vụ với số lượng lớn người dùng không gây tốn kém tài nguyên máy chủ nên hiện nay chủ yếu sử dụng các giao thức hoạt động trên nền tảng HTTP để cung cấp các dịch vụ phát trực tuyến video.

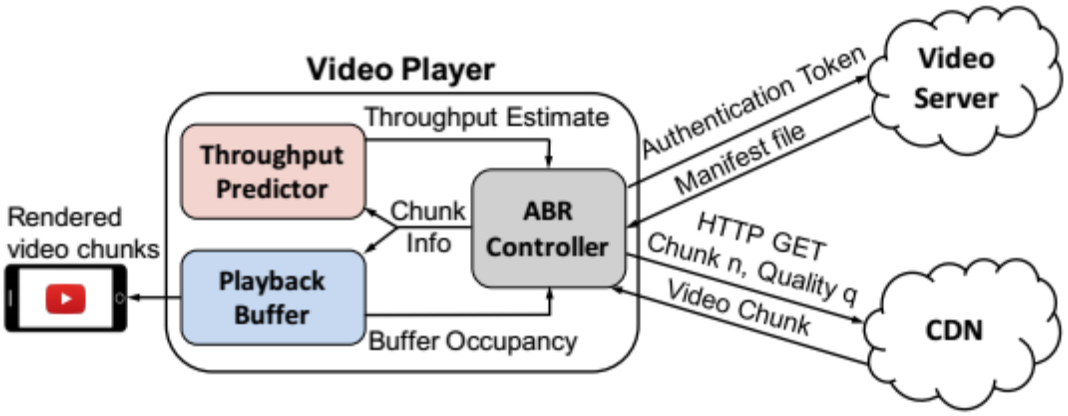
Ngày nay, HAS chiếm phần lớn lưu lượng truy cập video trên Internet. Nó đã trở nên phổ biến so với giải pháp có bản quyền như IIS Smooth Streaming của Microsoft , Phát trực tiếp HTTP (HLS) của Apple, Truyền trực tuyến HTTP động của Adobe (HDS), Akamai's HD và một số giải pháp mã nguồn mở. Để giảm sự phân hóa, MPEG cùng với 3GPP bắt tay nghiên cứu phát trực tuyến qua HTTP tương ứng với đa phương tiện của MPEG và HAS. Những nỗ lực này cuối cùng đã dẫn đến việc ra đời tiêu chuẩn hóa Truyền trực tuyến thích ứng động qua HTTP (gọi tắt là DASH) [1]. Không giống như các giải pháp độc quyền, DASH cung cấp đặc tính kỹ thuật mở để phát trực tuyến tương thích qua HTTP và việc triển khai việc tương thích logic được chuyển cho bên thứ ba như được hiển thị trong Hình 1.3, trong đó các thành phần màu xanh lam là các tiêu chuẩn của DASH, trong khi các thành phần màu đỏ tùy thuộc vào các tiêu chuẩn khác nhau ở đầu cuối người dùng và DASH không can thiệp. Máy chủ DASH về cơ bản là một máy chủ HTTP lưu trữ các phân đoạn video, thường có thời lượng dài hàng vài giây hoặc có thể hàng giờ tùy theo tổng thời lượng của video. Mỗi phân đoạn được mã hóa ở nhiều mức tốc độ bit và được thể hiện theo danh sách trong file và được gọi là Mô tả trình chiếu đa phương tiện – gọi tắt là MPD. Cấu trúc của file MPD được mô tả như Hình 1.4, là một tài liệu XML cung cấp chỉ mục cho các phân đoạn video khả dụng tại máy chủ. Ở đầu cuối người dùng, DASH thực thi cơ chế tương thích tốc độ bit, vấn đề yêu cầu định thời và tải các phân đoạn video được mô tả trong file MPD từ máy chủ bằng các sử dụng thông báo GET HTTP. Trong quá trình tải xuống, ứng dụng DASH tại đầu cuối người dùng thực hiện ước tính băng thông khả dụng trong mạng và sử dụng thông tin từ bộ đệm phát lại để chọn mức tốc độ bit phù hợp cho phân đoạn tiếp theo được tải xuống. Thao tác này được gọi là chuyển đổi tốc độ bit, mục đích chính nhằm người dùng có thể tải xuống các phân đoạn có chất lượng tốt nhất, trong khi vẫn giữ cho bộ đệm phát lại không bị cạn kiệt, tránh hiện tượng đứng hình và nâng cao giá tri QoE.



Hình 1.3: Các thành phần của DASH



Hình 1.4: Cấu trúc của file MPD



Hình 1.5: Mô hình phát trực tuyến tương thích tốc độ bit qua HTTP

Theo đó, video được lưu trữ tại các máy chủ video, chia thành nhiều phân đoạn, thường là vài giây. Mỗi phân đoạn được mã hóa thành nhiều mức tốc độ bit khác nhau. Phân đoạn có mức tốc độ bit cao hơn đồng nghĩa với chất lượng cao hơn và có kích thước lớn hơn. Mức tốc độ bit của các phân đoạn video được cân chỉnh để truyền phát được mượt mà, liên tục, nghĩa là, các chương trình phát video tại người dùng có thể chuyển sang các mức tốc độ bit khác nhau của các phân đoạn video mà không tác động đến các đoạn dự phòng hoặc không bỏ qua các phần của video.

Hình 1.5 mô tả tiến trình phát video trực tuyến qua HTTP hiện nay:

- Dữ liệu video được chia nhỏ thành các phân đoạn video, được mã hóa với các mức chất lượng khác nhau và lưu trữ tại máy chủ (streaming server).
- Phần mềm tại phía người dùng (media player, web browser, ...) cần kết nối đến máy chủ và xác định file video trên máy chủ muốn xem thông qua file MDP.
- Nhà cung cấp dịch vụ sẽ gửi lại cho người dùng danh sách các máy chủ chứa video và danh sách tốc độ bit của các video khả dụng.
- Người dùng sẽ yêu cầu từng phân đoạn video, bằng cách sử dụng các thuật toán tương thích tốc độ bit (ABR: Adaptive Bitrate Algorithm). Các thuật toán này sử dụng nhiều thông số đầu vào (như là tình trạng của bộ đệm, đo thông lượng mạng,…) để lựa chọn mức tốc độ bit của phân đoạn video tiếp theo. Khi các phân đoạn đã được tải về thiết bị người dùng, sẽ được lưu trữ trong bộ đệm, được giải mã (decode) và sau đó trình chiếu thông qua các chương trình

phát video (Ví dụ như VLC hoặc KMPlayer như đã nói ở trên), lưu ý rằng phân đoạn muốn phát phải được tải xuống hoàn toàn.

Lịch sử của truyền trực tuyến có từ lâu và hình thức này được xem như lần đầu vào những năm 1890, đó là khi âm nhạc được phát trực tuyến thông qua mạng điện thoại. Tính đến 2020, thị trường phát trực tuyến có trị giá hàng tỉ đôla và ước tính tăng trưởng mở rộng hàng năm từ 21% từ năm 2021. Các nhà công nghệ khổng lồ, như là Facebook, Twitter và Youtube đầu từ mạnh mẽ và giành giật thị phần béo bở khổng lồ này.

Phát trực tuyến video được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng mạng như: các phần mềm (các ứng dụng nghe nhạc, xem phim như VLC, KMPlayer; hay các trình duyệt web như: Internet Explorer, Google Chrome…) trên các máy khách truy cập và xem video từ các máy chủ theo mô hình máy chủ/máy khách; các ứng dụng họp trực tuyến, đào tạo từ xa.

Vì phát trực tuyến video đóng vai trò ngày một quan trọng trong mạng Internet nên hiện nay, có nhiều giao thức phát trực tuyến video được phát triển và phổ biến, bao gồm:

- Real Time Transport Protocol (RTP) – Giao thức truyền tải thời gian thực: được phát triển bởi Audio-Video Transport Working Group của Internet Engineering Task Force, chạy trên giao thức UDP (User Datagram Protocol).
- Real Time Messaging Protocol (RTMP): Được phát triển bởi Macromedia, là một giao thức độc quyền của Adobe. Có chức năng giám sát thông tin về truyền dẫn, chất lượng dịch vụ và cho phép đồng bộ hóa nhiều luồng đồng thời.
- HTTP Live Streaming (HLS): Được phát triển bởi Apple, hoạt động trên nền giao thức HTTP. Đây cũng là một giao thức độc quyền của Apple, được sử dụng rộng rãi và hỗ trợ trên nhiều nền tảng bao gồm SmartTV, các trình duyệt Web, các thiết bị di động Android và iOS.
- Adobe HTTP Dynamic Streaming (HDS): Được phát triển bởi Adobe. Giống như HLS, giao thức này cũng hoạt động trên nền HTTP.
- IIS Smooth Streaming: Giao thức độc quyền, phát triển bởi Microsoft.
- MPEG-DASH: Đây là tiêu chuẩn quốc tế được phê chuẩn bởi MPEG và ISO vào năm 2012 và đã được sửa đổi vào năm 2019 với tên gọi là MPEG-DASH

ISO/IEC 23009-1, là giải pháp thay thế cho các kỹ thuật phát trực tuyến video có bản quyền trên.

Trong các giao thức trên, RTP và RTMP hoạt động tốt trong các mạng IP được quản lý. Tuy nhiên, trong Internet ngày nay, các mạng được quản lý đã được thay thế, nhiều mạng không hỗ trợ truyền phát RTP. Ngoài ra, các gói RTP và RTMP thường không được phép thông qua tường lửa. Các giao thức còn lại đều dựa trên nền tảng HTTP.

Phát trực tuyến video là ứng dụng chiếm phần lớn lưu lượng Internet ngày nay. Các phương thức phát video ngày càng được cải thiện và nâng cao chất lượng. Bên cạnh đó, kết nối băng thông rộng cùng với sự phát triển của các thiết bị di động 3G/4G/5G, do đó, người dùng có thể sử dụng nhiều loại thiết bị khác nhau để truy cập kho nội dung đa phương tiện khổng lồ bằng nhiều phương thức kết nối với tốc độ truy cập Internet khác nhau. Tuy nhiên, cũng chính điều này đặt ra thách thức cho các nhà cung cấp dịch vụ trong việc đảm bảo người dùng nhận được các video với chất lượng cao và xem liên tục, không bị đứng hình.

Nhiều nghiên cứu đã chứng minh, người dùng sẽ ngừng xem các video khi có các khi có các vấn đề xảy ra, như lỗi ngay từ lúc khởi đầu xem video hoặc chuyển đổi từ mức chất lượng cao nhất sang chất lượng thấp nhất,… và ảnh hưởng nghiêm trọng đến thu nhập của các nhà cung cấp dịch vụ. Điều này bị ảnh hưởng từ nhiều yếu tố như chất lượng mạng, thiết bị đầu cuối và phương thức truyền.

Để giải quyết các vấn đề này, các nhà cung cấp dịch vụ nội dung triển khai và tối ưu các thuật toán tương thích tốc độ bit nhằm mục đích chính là nâng cao trải nghiệm người dùng (Quality of Experience – QoE) trong các điều kiện kết nối khác nhau để người dùng chủ động lựa chọn chất lượng các các phân đoạn video tiếp theo với mức QoE tốt nhất – dựa trên sự giám sát các điều kiện khả dụng như thông lượng mạng, tình trạng bộ đệm phát lại,…

1.1.2. Vai trò của QoE và các yếu tố ảnh hưởng đến QoE

QoE là gì và có ảnh hưởng như thế nào đến chất lượng trải nghiệm của người dùng, các yếu tố ảnh hưởng đến QoE:

Quality of Experience – QoE trải nghiệm người dùng là sự đánh giá cảm nhận của người dùng về chất lượng của dịch vụ, ở đây là chất lượng video mà người

dùng nhận được khi sử dụng dịch vụ phát trực tuyến. Do có nhiều giao thức phát trực tuyến, nên việc đánh giá QoE khá khó khăn.

Lựa chọn tốc độ bit để tối ưu QoE là một nhiệm vụ đối mặt với nhiều khó khăn, thách thức khác vì có nhiều vấn đề mà một ABR phải đối mặt: (1) là sự biến đổi thông lượng mạng [12] (Zou et al., 2015), (2) mâu thuẫn giữa các tham số đo lường đánh giá QoE, như là các phân đoạn video phải có mức tốc độ bit cao hơn - đồng nghĩa các phân đoạn này có kích thước lớn hơn - đồng thời phải đảm hiện tượng rebuffer ở mức thấp nhất và (3) là sự phân cực trong khoảng thời gian dài, nghĩa là video được mã hóa và chia nhỏ thành nhiều phân đoạn, thuật toán ABR phải đảm bảo tối đa hóa tham số QoE cho tất cả các phân đoạn video này.

Có nhiều hàm định nghĩa các tham số đo lường QoE, nhưng có hai yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến người dùng đã được nhiều tài liệu chứng minh, các yếu tố này quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến người dùng, hầu như quyết định đến việc khách hàng có tiếp tục sử dụng dịch vụ hay không đó là chất lượng của các phân đoạn video mà người dùng nhận được và tổng thời gian video bị đứng hình do hiện tượng rebuffering.

1.2. Kết luận chương

Chương này đã trình bày các cơ sở lý thuyết cần thiết khi nghiên cứu về phát trực tuyến video. Vai trò của QoE cũng như các yếu tố ảnh hưởng của nó đến quá trình phát trực tuyến. Chương tiếp theo sẽ trình bày các công trình nghiên cứu mà luận văn tham khảo, những công trình này đã góp phần định hướng nghiên cứu cho đề tài.

CHƯƠNG 2. CÁC THUẬT TOÁN LỰA CHỌN TỐC ĐỘ BIT TƯƠNG THÍCH TRONG PHÁT VIDEO QUA HTTP

2.1. Tổng quan

Đối với phát video trực tuyến, thì QoE tại thiết bị đầu cuối người dùng là một vấn đề luôn được quan tâm cho các nhà nghiên cứu và được đánh giá dựa vào số lượng các thông số khách quan có sẵn. Tuy nhiên, để đánh giá các hiệu quả của các giải pháp đã có, phải sử dụng một thước đo tổng thể để đánh giá chất lượng video vì trải nghiệm của người dùng bị ảnh hưởng mạnh mẽ bởi mức chất lượng nhận được. Với mức chất lượng cao hơn rõ ràng mang lại trải nghiệm tốt hơn và người dùng không hài lòng với chất lượng video suy giảm một cách đáng kể. Ngoài ra, giá trị QoE cũng có thể bị suy giảm đến mức tồi tệ do hiện tượng video bị gián đoạn thường xuyên vì sự biến động băng thông khả dụng.

Trong phần này, chúng ta có đánh giá tổng quan về các công trình nghiên cứu có liên quan về các thuật toán tương thích tốc độ bit của phát trực tuyến video, các đánh giá QoE và xây dựng hàm QoE.

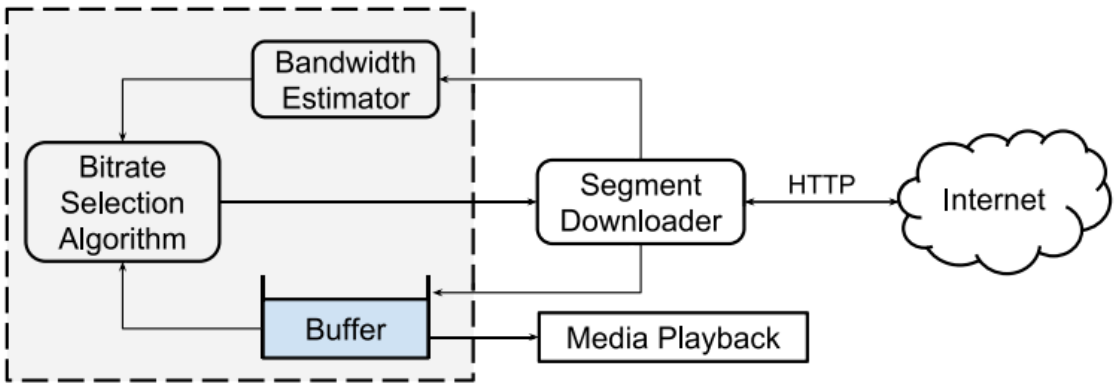
2.1.1. Các thuật toán tương thích tốc độ bit hiện có và xu hướng trong thời gian sắp tới

Trên thực tế, mục tiêu chính của các thuật toán tương thích tốc độ bit là nhằm tối ưu hóa chất lượng video nhận được tại người dùng, tối đa hóa QoE. Các thuật toán này được triển khai tại đầu cuối người dùng và tự động lựa chọn mức chất lượng của các phân đoạn video được tải tiếp theo dựa trên việc quan sát các thông số như ước lượng thông lượng mạng và tình trạng khả dụng của bộ đệm. Tuy nhiên, việc ước lượng này gặp nhiều thách thức do thông lượng biến động, mâu thuẫn trong các thông số đánh giá QoE (chất lượng cao, ít đứng hình và video phải mượt mà,…).

Các thuật toán tương thích tốc độ bit ban đầu có thể được phân thành hai lớp chính được mô tả như trong Hình 2.1: thuật toán dựa trên thông lượng mạng và thuật dựa trên bộ đệm. Và sau đó được phát triển thêm thành thuật toán kết hợp cả hai thuật toán cơ bản ban đầu.

Đối với nhóm thuật toán dựa trên thông lượng mạng, đầu tiên thuật toán sẽ ước tính thông lượng mạng khả dụng bằng cách sử dụng các thông số có thể thu thập

được như chất lượng của phân đoạn đã tải xuống trước đó, lưu lượng mạng trước đó và sau đó yêu cầu mức chất lượng video cao nhất mà mạng được dự đoán có thể xử lý. Ví dụ: dự đoán thông lượng dựa trên giá trị trung bình của thông lượng trước đó của một số phân đoạn đã được tải xuống. Mặc dù có nhiều nỗ lực nhằm cải thiện hiệu suất nhưng thực tế, thuật toán dựa trên thông lượng vẫn khó thực hiện.



Hình 2.1: Các thuật toán ABR phổ biến ban đầu

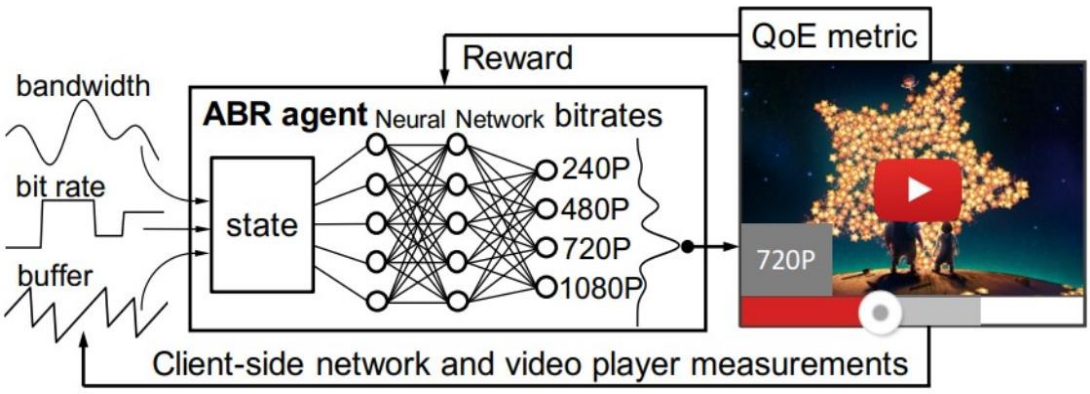
Nhóm thuật toán dựa trên bộ đệm xem xét việc sử dụng bộ đệm phát lại của người dùng khi quyết định mức chất lượng của của phân đoạn tiếp theo. Mục tiêu của các thuật toán này là giữ cho bộ đệm dưới một ngưỡng sao cho cân bằng giữa mức chất lượng và thời gian phát lại. BOLA [13] là thuật toán tiêu biểu nằm trong nhóm này. Thuật toán BOLA tối ưu hóa giá trị QoE bằng cách sử dụng công thức tối ưu hóa Lyapunov. BOLA cũng hỗ trợ việc bỏ qua tải xuống phân đoạn tiếp theo, khi đó, trình phát video có thể tải lại một phân đoạn ở mức tốc độ mã hóa thấp hơn nếu nghi ngờ rằng sắp xảy hiện tượng đứng hình (rebuffer).

Bên cạnh các phương pháp độc lập, một số nghiên cứu nhằm mục đích kết hợp hai cách tiếp cận này: sử dụng kết hợp hai thông số thông lượng mạng và tình trạng bộ đệm để quyết định lựa chọn mức chất lượng của phân đoạn video tiếp theo. MPC [11] là thuật toán điển hình cho nhóm này. Thuật toán MPC sử dụng các thuật toán điều khiển mô hình dự đoán sử dụng cả ước tính thông lượng và thông tin dung lượng bộ đệm để chọn chất lượng của phân đoạn tiếp theo được tải xuống, với mục tiêu chính vẫn là nhằm mang lại chất lượng video cao nhất cho người dùng, tối đa hóa giá trị QoE. Tuy nhiên, việc tính toán vẫn trên kết quả dự đoán, do đó, thuật toán MPC tồn tại nhược điểm lớn, đó là phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của kết quả dự

đoán thông lượng, dẫn đến hiệu suất của thuật toán có thể bị suy giảm đáng kể nếu kết quả dự đoán không chính xác [6].

Một hướng nghiên cứu khác là áp dụng phương pháp học tăng cường (Reinforcement Learning: RL) để phát trực tuyến video. Các công trình của [14], [15], [16] sử dụng học tăng cường ở dạng bảng tìm kiếm, thay vì mạng nơ-ron. Đối với dạng bảng tìm kiếm, học tăng cường sẽ học hàm giá trị cho tất cả các kết hợp có thể có của các trạng thái và hành động rõ ràng, tuy nhiên, giải pháp này không thể áp dụng khi không gian trạng thái tăng lên. Pensieve [6] là giải pháp áp dụng Deep RL, giải pháp này sử dụng mạng nơ-ron thay vì sử dụng các bảng tìm kiếm. Thuật toán lựa chọn tốc độ bit tương thích của Pensieve được tạo ra bằng cách sử dụng các quan sát về kết quả hiệu suất của các quyết định trước đây qua một số lượng lớn các thử nghiệm phát trực tuyến video. Điều này cho phép Pensieve tối ưu hóa chính sách của mình tùy thuộc vào các đặc điểm mạng khác nhau và tối ưu các tham số QoE một cách trực tiếp từ kinh nghiệm đạt được.

Từ những phân tích trên, chúng ta có thể thấy, các giải pháp truyền thống gần như dựa trên sự "dự đoán", và tùy thuộc vào kết quả của dự đoán sẽ thu được kết quả. Nếu kết quả dự đoán không chính xác, sẽ làm hỏng cả quá trình tính toán. Và từ những tồn tại đó, học tăng cường với những ưu điểm vượt trội đã được chứng minh trong các nghiên cứu gần đây trở thành xu hướng nghiên cứu chính trong việc tối ưu và nâng cao trải nghiệm người dùng trong dịch vụ phát trực tuyến video – dịch vụ đang chiếm phần lớn lưu lượng mạng Internet.



Hình 2.2: Áp dụng học tăng cường trong việc lựa chọn chất lượng video theo giải pháp Pensive

Hình 2.2 tóm tắt cách học tăng cường có thể được sử dụng để triển khai việc tương thích tốc độ bit trong phát trực tuyến video. Theo đó, chính sách hướng dẫn để thuật toán tương thích tốc độ bit đưa ra quyết định lựa chọn tốc độ bit của phân đoạn video tiếp theo được tải xuống không phải thực hiện một cách thủ công. Thay vào đó, quyết định của thuật toán có được từ việc huấn luyện một mạng nơ-ron. Tác nhân học tăng cường sẽ quan sát một tập hợp các chỉ số bao gồm trạng thái khả dụng của bộ đệm tại phía người dùng, các quyết định về tốc độ bit trước đó và một số thông tin về tình trạng mạng (ví dụ: các phép đo thông lượng) và cung cấp các giá trị này cho mạng nơ-ron làm dữ liệu đầu vào, dữ liệu đầu ra thu được là quyết định lựa chọn tốc độ bit của phân đoạn video tiếp theo được tải xuống. Kết quả QoE sau đó được quan sát và chuyển trở lại cho tác nhân ABR như một phần thưởng. Tác nhân sử dụng chính thông tin phần thưởng này để huấn luyện và cải thiện mô hình mạng nơ-ron của nó.

2.2. QoE và cách đánh giá QoE

Như đã nói ở trên, Quality of Experience – QoE - trải nghiệm người dùng- là sự đánh giá cảm nhận của người dùng về chất lượng của dịch vụ, ở đây là chất lượng video mà người dùng nhận được khi sử dụng dịch vụ video trực tuyến. Theo yêu cầu thực tế, QoE càng cao càng tốt. Tuy nhiên, QoE bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau nên việc xây dựng công thức cho QoE cũng là một thách thức lớn.

2.2.1. Công thức QoE cho phát trực tuyến video

Đối với phát trực tuyến video, một video được chia thành nhiều phân đoạn N với thời lượng bằng nhau τ (ví dụ: video có độ dài 240 giây có thể được chia thành 60 phân đoạn N, mỗi phân đoạn sẽ có thời lượng là τ = 4 giây. Mỗi phân đoạn được mã hóa với các mức chất lượng L khác nhau và được phân bố thành các luồng riêng lẻ với các cấp độ và tên quen thuộc: như 720p, 1080p, 1080p @ 30fps. Đối với các phân đoạn có cùng chỉ số n, mức chất lượng cao hơn đồng nghĩa với kích thước lớn

hơn. ($\sigma(n, l_1) < \sigma(n, l_2)$ và ($q(n, l_1) < q(n, l_2), l_1 < l_2$. Theo đó, người dùng yêu cầu một phân đoạn từ máy chủ và phân đoạn được tải xuống thiết bị của người dùng.

Thay vì ghi trực tiếp phân đoạn đã tải vào bộ nhớ của máy khách, phân đoạn tải xuống sẽ được lưu trữ trong "Replay Buffer" – bộ đệm phát lại Ω trước khi được phát, sau đó sẽ được lưu trữ trong RAM (Bộ nhớ truy cập ngẫu nhiên). Kích thước bộ đệm phát lại được xác định trước tùy thuộc vào máy khách, nhưng thông thường nó có thể kéo dài hàng chục giây. Bộ đệm phát lại sử dụng quy tắc first-in-first-out: các phân đoạn video được tải xuống trước sẽ được phát trước. Lưu ý rằng phân đoạn video phải được tải xuống đầy đủ vào bộ đệm phát lại và mới bắt đầu phát.

Trình phát video yêu cầu mức đệm phát lại ban đầu Ω_{min} trước khi bắt đầu phát, tức là các phân đoạn *P* được tải xuống từ trước trước và sẽ không được sử dụng trong mục tiêu tối ưu hóa (thường là $P = 1$). Khi bộ đệm phát lại vượt quá mức ngưỡng trên Ω_{max}, trình phát video sẽ dừng yêu cầu các phân đoạn mới. Người dùng phải đợi mức bộ đệm giảm xuống dưới giá trị Ω_{max} để gửi lại yêu cầu phân đoạn mới. Trình phát video bị hiện tượng rebuffers (đứng hình) khi phân đoạn video có chỉ số tiếp theo sắp được phát không có sẵn trong bộ đệm. Sau đó, trình phát video tạm dừng phát và đợi phân đoạn mới cho đến khi nó được tải xuống hoàn toàn và gây ra hiện tượng đứng hình. Theo đánh giá, hiện tượng đứng hình khi đang xem tác động mạnh mẽ đến trải nghiệm chất lượng của người dùng.

Các thuật toán tương thích tốc độ bit nhằm tối ưu hóa chất lượng trải nghiệm QoE của người dùng trong các điều kiện khác nhau để tự động chọn chất lượng cho từng phân đoạn (là các block 4 giây như đã nói ở trên) dựa trên việc quan sát độ khả dụng, chẳng hạn như ước tính thông lượng mạng và kích thước của bộ đệm phát lại, nhằm giảm hiện tượng đứng hình.

Có nhiều phương pháp [6], [12] đánh giá chất lượng của các thuật toán tương thích tốc độ bit trong việc cải thiện và nâng cao giá trị QoE, điểm chung là các phương pháp này tập trung vào hai yếu tố chính đó là chất lượng tổng của đoạn video mà người dùng nhận được và thời lượng video bị đứng hình. Nghĩa là tối đa tổng các giá trị cực đại chất lượng *q* của video được tải xuống, trong khi vẫn đảm bảo video được phát liên tục, không bị gián đoạn (tức là phân đoạn video thứ *n* phải được tải xuống hoàn toàn trước khi phân đoạn video thứ *n-1* phát xong) nhưng không giới hạn kích thước bộ đệm phát lại (tức là $\Omega_{max} = \infty$).

Theo [6], [12], công thức cho hàm QoE được tính như sau:

$$\sum_{n=1}^{N} q(R_n) \; - \alpha \sum_{n=1}^{N} T_n - \; \beta \sum_{n=1}^{N} |q(R_n) - q(R_{n-1})| \qquad (1)$$

Trong biểu thức (1) gồm có:

- N là tổng số phân đoạn (chunk) của video
- R_n là tốc độ bit của phân đoạn thứ n
- $\boldsymbol{q(R_n)}$ là hàm độ lợi tương ứng với giá trị tốc độ bit R_n của phân đoạn thứ *n* với mức chất lượng người dùng nhận được. Giá trị $\boldsymbol{q(R_n) = R_n}$
- T_n là thời gian đứng hình
- $\boldsymbol{|q(R_n) - q(R_{n-1})|}$ là độ sai lệch mức chất lượng của hai phân đoạn liền kề.
- α *v*à β là các hệ số giảm trừ do lỗi đứng hình và lỗi chuyển đổi mức chất lượng tương ứng. Giá trị $\alpha = 2.66$ và $\beta = 1$ được sử dụng theo [6]

Từ công thức (1) ta có thể thấy, nhằm nâng cao QoE, nâng cao chất lượng trải nghiệm người dùng, đó là nâng cao tổng chất lượng video nhận được, giảm thiểu hiện tượng đứng hình và giảm chuyển đổi mức chất lượng video tại các thời điểm tương ứng, và đây cũng chính là mục tiêu mà các thuật toán ABR hướng đến.

2.3. Kết luận chương

Trong chương này thông qua việc nghiên cứu tìm hiểu được một số thuật toán hiện có cũng như xu hướng trong tương lai, đồng thời cũng trình bày công thức về QoE cho phát video trực tuyến. Tạo nên tiền đề và cơ sở vững chắc cho nghiên cứu của đề tài luận văn này.

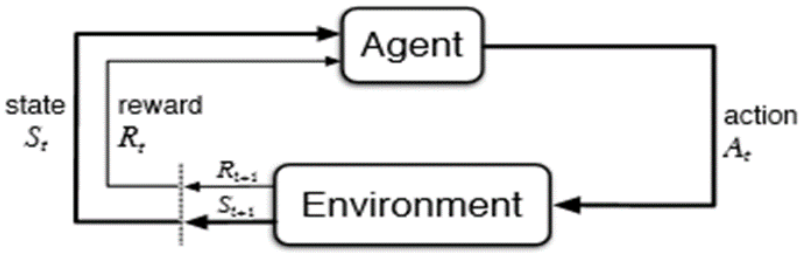
CHƯƠNG 3. GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG PHÁT TRỰC TUYẾN VIDEO: HỌC TĂNG CƯỜNG (REINFORCEMENT LEARNING)

3.1. Phương pháp học tăng cường

3.1.1. Tổng quan về học tăng cường

Có rất nhiều giải pháp cho phát trực tuyến video, với mục tiêu chính là nâng cao chất lượng QoE, đem lại cho người dùng trải nghiệm tốt nhất. Tuy nhiên, như đã nói, chất lượng thu được của các giải pháp hiện có tùy thuộc vào kết quả dự đoán. Nếu kết quả dự đoán sai, kết quả thu được có thể không tốt, dẫn đến chất lượng video kém, kéo giảm giá trị QoE. Và từ đó, để khắc phục các hạn chế của các giải pháp trước đó, giải pháp học tăng cường được đề xuất và đã chứng minh được hiệu quả triển khai thực tế.

Học tăng cường là việc huấn luyện các mô hình học máy để đưa ra một chuỗi các quyết định. Trong học tăng cường, sử dụng một tác nhân (agent) tương tác với môi trường (environment). Tại thời điểm *t*, tác nhân lấy thông tin từ môi trường để tìm ra trạng thái s_t , từ đó tác nhân sẽ thực hiện hành động a_t. Tác nhân sẽ nhận được phần thưởng (reward) r_t tương ứng với hành động a_t, trong khi trạng thái của môi trường thay đổi từ s_t sang s_{t+1}. Giá trị của r_t sẽ cho biết tình trạng hiện tại của môi trường là tốt hay xấu. Mục tiêu chính của nó là tối đa phần thưởng tổng, gọi là lợi tức. Học tăng cường là cách để tác nhân học các thao tác này và đạt được mục tiêu đề ra.



Hình 3.1: Sơ đồ tổng quan RL

Hình 3.1 mô tả cách tác nhân thu thập trạng thái s_t của môi trường, thực hiện hành động a_t và thu được phần thưởng r_t.

Hai thành phần chính của học tăng cường là tác nhân và môi trường. Môi trường là nơi tác nhân tồn tại và tương tác. Ở mỗi bước tương tác, tác nhân sẽ quan sát và thu thập thông tin tình trạng của môi trường và quyết định hành động tiếp theo. Môi trường có thể thay đổi khi có tác nhân tác động hoặc tự thay đổi, không cần tác động nào.

Để hiểu rõ hơn thể hơn, chúng ta cần giới thiệu và làm rõ một số thuật ngữ sử dụng trong học tăng cường:

- không gian trạng thái,
- không gian hành động,
- chính sách,
- quỹ đạo,
- phần thưởng và lợi tức,
- và các hàm giá trị: Q-funtion, V-function.

3.1.2. Không gian rạng thái (state space)

Trạng thái *s* là mô tả đầy đủ về trạng thái của môi trường. Sự quan sát *o* là mô tả một phần của trạng thái, có thể là thông tin không đầy đủ, như hình ảnh của trò chơi. Sự quan sát có thể được biểu thị dưới dạng phần ẩn đi của trạng thái, gọi là *h*, được tính theo công thức:

$$o = h(s) \qquad (2)$$

Trong học tăng cường, chúng ta biểu diễn trạng thái và quan sát dưới dạng vector có giá trị thực, ma trận hoặc các tensor. Ví dụ: một quan sát trực quan có thể biểu diễn các giá trị pixel dưới dạng ma trận RGB hoặc trạng thái của robot có thể được biểu diễn bằng góc các khớp nối và vận tốc của nó.

Khi tác nhân quan sát môi trường một cách đầy đủ hoặc chỉ một phần, tùy thuộc vào kết quả quan sát này có thể có hành động hiệu chỉnh cần thiết.

3.1.3. Không gian hành động (action space)

Tùy thuộc vào kiểu môi trường sẽ có hành động tương ứng. Tập các hành động hợp lệ trong một môi trường nhất định được gọi là không gian hành động. Vài môi trường, như Atari và Go, với các không gian hành động rời rạc, tác nhân sẽ có số lượng các dịch chuyển một cách hữu hạn. Một số môi trường khác, như là môi trường

mô tả điều khiển robot trong thế giới thực là không gian hành động liên tục. Các không gian hành động liên tục này được biểu diễn dưới dạng các vector giá trị thực.

3.1.4. Chính sách (Policy)

Chính sách là quy tắc do tác nhân sử dụng để quyết định hành động nào được thực hiện. Nói cách khác, chính sách là một ánh xạ từ các trạng thái của môi trường đến các hành động được thực hiện khi ở trong trạng thái đó. Nó có thể xác định được, trong trường hợp này là ký hiệu là μ hoặc có thể là một giá trị ngẫu nhiên, được ký hiệu là π.

Chính sách là bộ não, phần quan trọng nhất của tác nhân trong việc quyết định hành động nào được thực hiện. Trong học tăng cường, chúng ta xử lý các chính sách được tham số hoá: chính sách có dữ liệu là các hàm có thể tính toán được, phụ thuộc vào tập các tham số (như trọng số và các liên kết trong mạng nơron) hoặc có thể là các bảng tra cứu.

Các tham số của một chính sách được biểu thị là Θ và thường ký hiệu là:

Đối với các giá trị có thể tính toán được:

$$a_t = \mu_\theta(s_t) \quad (3)$$

Đối với các giá trị có ngẫu nhiên:

$$a_t \sim \pi_\theta(.|s_t) \quad (4)$$

3.1.5. Quỹ đạo

Quỹ đạo *(Trajectory hay còn gọi là episode – một tập)* là chuỗi các hành động và tương tác giữa tác nhân và môi trường tính từ thời điểm bắt đầu và kết thúc quá trình.

3.1.6. Phần thưởng và lợi tức

Hàm phần thưởng (reward) *R* là thành phần quan trọng nhất của học tăng cường. Với mỗi hành động, môi trường sẽ cho tác nhân một giá trị, gọi là phần thưởng. Giá trị của hàm phần thưởng phụ thuộc vào tình trạng hiện tại, hành động tương tác, và trạng thái tiếp theo của môi trường. Giá trị này giúp xác định hành động này là tốt hay xấu đối với tác nhân, và có thể sử dụng để thay đổi chính sách. Nếu hành động được lựa chọn bởi chính sách mang lại giá trị phần thưởng thấp, chính sách có thể thay đổi. Tác nhân sẽ không thực hiện các hành động tương tự như thế

trong tương lai. Mục tiêu của tác nhân là tối đa hóa phần thưởng tích lũy trên một tập hoặc trong một khoảng thời gian dài.

3.1.7. Q-function, V-function

Đối với học tăng cường, hàm giá trị là hàm của các trạng thái hoặc hàm của các cặp hành động – trạng thái, ước tính mức độ tốt của tác nhân ở một trạng thái nhất định hoặc mức độ tốt của tác nhân khi thực hiện một hành động nhất định trong một trạng thái nhất định.

Khái niệm này về mức độ tốt của trạng thái hoặc cặp hành động- trạng thái được đưa ra xét về lợi tức mong đợi. Phần thưởng mà tác nhân mong muốn nhận được phụ thuộc vào những hành động mà tác nhân thực hiện trong các trạng thái nhất định. Vì vậy, các hàm giá trị được xác định liên quan đến các cách hành động cụ thể. Vì cách hành động của một tác nhân bị ảnh hưởng bởi chính sách mà tác nhân đang tuân theo, nên chúng ta có thể thấy rằng các hàm giá trị được xác định đối với các chính sách.

Các hàm giá trị-hành động (Q-Function) và hàm giá trị-trạng thái (V-function) là các dạng hàm như vậy:

Hàm Q-function hay hàm giá trị - hành động của chính sách π được định nghĩa như sau:

$$Q^{\pi}(s_t, a_t) = E_{\pi}\left[R_t | s_t, a_t\right] \quad (5)$$

là giá trị lợi tức mong đợi khi tác nhân bắt đầu ở trạng thái s_t, thực hiện hành động a_t và các hành động tiếp theo theo chính sách π,

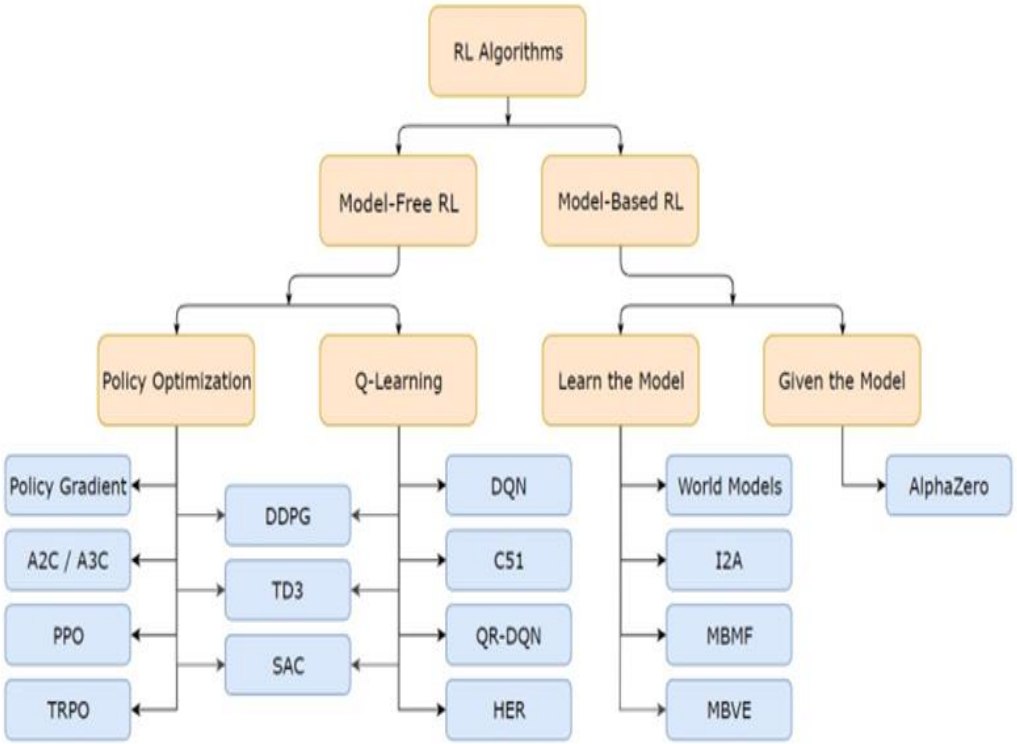
Hàm V-function hay hàm giá trị - trạng thái, được định nghĩa là:

$$V^{\pi}(s_t) = E_{\pi}\left[R_t | s_t\right] \quad (6)$$

là giá trị của trạng thái s_t theo chính sách π, hay nói cách khác, đó là giá trị của trạng thái s theo chính sách π, là lợi tức mong đợi từ khi bắt đầu trạng thái s tại thời điểm t và tuân theo chính sách π.

Thông thường, hàm giá trị hành động Q_{π} được gọi là hàm Q và kết quả đầu ra từ hàm cho bất kỳ cặp hành động trạng thái nhất định nào được gọi là giá trị Q. Chữ cái " Q " được sử dụng để thể hiện cho *Quality* - giá trị của việc thực hiện một hành động nhất định trong một trạng thái nhất định.

3.1.8. Các mô hình học tăng cường



Hình 3.2: Các mô hình RL

Học tăng cường dựa trên mô hình và không có mô hình

Mô hình của môi trường ở đây được xác định là dự đoán sự chuyển đổi trạng thái và phần thưởng. Một trong những điểm phân nhánh quan trọng nhất của học tăng cường là câu hỏi liệu tác nhân có được quyền truy cập (hoặc học) một mô hình của môi trường hay không? Từ đó, có hai hướng cho việc học của tác nhân: học dựa trên mô hình và không học theo mô hình.

Ưu điểm chính của việc có một mô hình là nó cho phép tác nhân lập kế hoạch bằng cách suy nghĩ trước, xem điều gì sẽ xảy ra cho một loạt các lựa chọn có thể và quyết định rõ ràng giữa các lựa chọn của nó. Sau đó, các tác nhân có thể chắt lọc kết quả từ việc lập kế hoạch trước thành một chính sách đã học. Một ví dụ đặc biệt nổi tiếng của phương pháp này là AlphaZero . Khi thực hiện việc này, nó có thể dẫn đến sự cải thiện đáng kể về hiệu quả của mẫu so với các phương pháp không có mô hình.

Nhược điểm chính là mô hình thực tế của môi trường thường không có sẵn cho tác nhân. Nếu một tác nhân muốn sử dụng một mô hình trong trường hợp này, tác nhân phải học hỏi mô hình đó hoàn toàn từ kinh nghiệm, điều này tạo ra một số thách thức. Thách thức lớn nhất là tác nhân có thể khai thác sự thiên lệch trong mô

hình, dẫn đến tác nhân hoạt động tốt so với mô hình đã học, nhưng lại hoạt động kém tối ưu trong môi trường thực. Học tăng cường dựa trên mô hình về cơ bản là khó, có thể không thành công.

Học tăng cường không có mô hình có ưu điểm là tác nhân không cần truy nhập vào mô hình của môi trường. Tác nhân có thể dự đoán giá trị phần thưởng từ môi trường và thay đổi môi trường nếu giá trị phần thưởng thấp. Chiến lược không có mô hình dựa trên các giá trị được lưu trữ cho các cặp hành động trạng thái. Các giá trị hành động này là ước tính về lợi nhuận cao nhất mà tác nhân có thể mong đợi cho mỗi hành động được thực hiện từ mỗi trạng thái, từ đó, sẽ nhận được tối đa hóa giá trị phần thưởng.

Và mục tiêu chính ở đây không phải là học mô hình, mà là tối đa giá trị phần thưởng. Và trong giới hạn của nghiên cứu, chúng ta sẽ tập trung vào các thuật toán không học theo mô hình, do tính hiệu quả của nó trong các trường hợp tổng quát.

3.2. Q-Learning và Deep Q-Learning

3.2.1. Q-Learning

Như Hình 3.2, có thể thấy Q-Learning là một nhánh của học máy không theo mô hình. Phương phát Q-Learning học hàm giá trị Q một cách trực tiếp và không truy cập vào mô hình.

Q-learning sẽ học hàm giá trị của hành động Q(s, a): thực hiện đánh giá mức độ hiệu quả để thực hiện một hành động trong một trạng thái cụ thể. Trong phương pháp Q-learning, chúng ta xây dựng một bảng bộ nhớ Q[s, a] để lưu trữ các giá trị Q cho tất cả các kết hợp có thể có giữa trạng thái *s* và hành động *a*. Nghĩa là, từ bảng này, với mỗi trạng thái, tác nhân chỉ cần tìm hành động nào có giá trị *Q-value* lớn nhất và thực hiện theo.

Về mặt kỹ thuật, chúng ta sẽ lấy mẫu một hành động từ trạng thái hiện tại. Chúng ta sẽ tìm ra phần thưởng r và trạng thái mới s ’(vị trí mới). Từ bảng bộ nhớ, chúng ta sẽ xác định thực hiện hành động tiếp theo a’ mà có giá trị Q (s’, a ’) là cao nhất.

Có thể thấy, tác nhân có thể thực hiện hành động a, và xem giá trị r thu được là bao nhiêu. Điều này tạo ra phương pháp dự đoán trước một bước, r+ Q (s', a) sẽ là giá trị mục tiêu cần đạt đến.

$$Q(s,a) = r(s,a) + \gamma \max_{a} Q(s',a) \qquad (7)$$

Trong đó, *Q(s,a)* là *Q-value* khi thực hiện hành động *a* tại trạng thái *s*, *r(s,a)* là giá trị phần thưởng, *s'* là trạng thái kế tiếp, γ là hệ số giảm trừ,

Công thức này cho thấy *Q-value* của hành động *a* tại trạng thái *s* bằng phần thưởng *r(s,a)* cộng với *Q-value* lớn nhất của các trạng thái s' tiếp theo khi thực hiện các hành động *a*. Trong đó, α là tỷ lệ học. Qua nhiều lần tác nhân thực hiện các hành động, *Q-value* sẽ dần hội tụ.

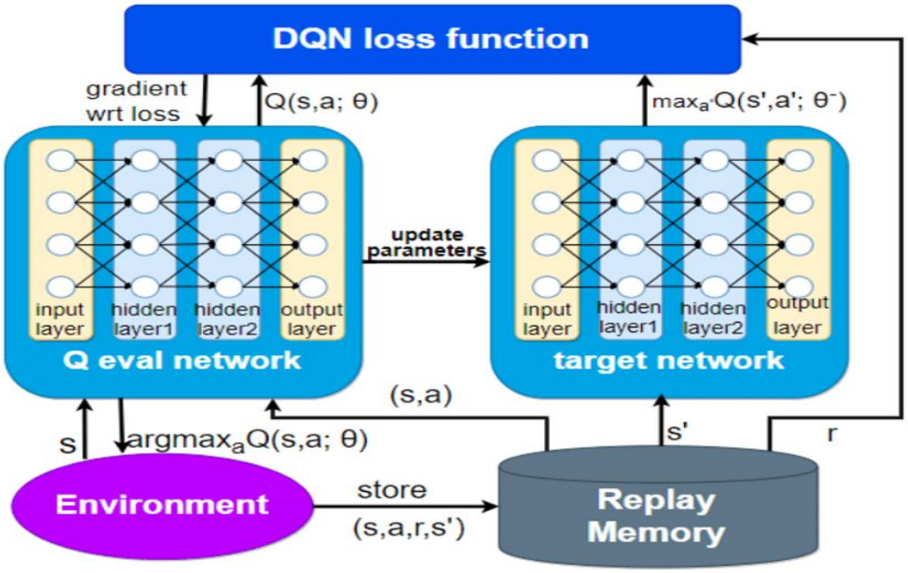
Tuy nhiên, nếu sự kết hợp giữa các trạng thái và các hành động quá lớn, yêu cầu về bộ nhớ và việc tính toán giá trị Q sẽ rất lớn. Để giải quyết vấn đề đó, chúng ta sẽ chuyển sang mạng học sâu Q- Deep Q Network và viết tắt là DQN để tính toán xấp xỉ giá trị Q (s, a). Với cách tiếp cận mới, chúng ta sẽ tổng quát hóa phép tính xấp xỉ của hàm giá trị Q thay vì phải ghi lại và lưu trữ lại các giá trị.

3.2.2. Deep Q-Learning

Các kỹ thuật học máy thường bị hạn chế ở khả năng phân tích dữ liệu ở dạng tự nhiên. Thông thường, một đại diện tốt của môi trường đòi hỏi sự phân tích phức tạp và lượng kiến thức chuyên môn cần thiết. Bước này được gọi là kỹ thuật đặc biệt và nhằm mục đích tìm kiếm một đại diện đặc trưng cho tập dữ liệu thô thông qua một tập hợp các tính năng được tinh giảm (vector đặc trưng), từ đó hệ thống học tập có thể trích xuất thông tin hữu ích. Học đại diện bao gồm một tập hợp các cơ chế để tự động hóa quá trình này: máy học được cung cấp dữ liệu thô và khám phá ra đại diện tốt nhất để tìm kiếm hoặc tự phân loại.

Phương pháp học sâu (Deep Learning) là kỹ thuật học đại diện sử dụng nhiều lớp mạng nơ-ron nhân tạo; mỗi lớp bao gồm mô-đun (phi tuyến tính) chuyển đổi thông số đầu vào thành tập đại diện trừu tượng hơn một chút, sau đó được sử dụng làm đầu vào cho lớp tiếp theo. Với cấu trúc đủ phức tạp và đủ sâu, cơ chế này có thể học thành công ngay cả đối với những hàm rất phức tạp. Rất nhiều công trình nghiên cứu đã được thực hiện về phương pháp học sâu đã được thực hiện trong các năm gần đây.

Deep Q-Learning [17](Mnih et al., 2013) – viết tắt là DQN. DQN là thuật toán hiện đại trong họ Q-Learning, là sự kết hợp của phương pháp học sâu và Q-Learning, và khi triển khai trên DASH nhằm đạt được chính sách tối ưu cho mô-đun điều giao thức tương thích DASH. Hệ thống học máy này đã được sử dụng trong các hệ thống phức tạp trong các công trình nghiên cứu và thể hiện hiệu suất vượt trội, dù phương phát này mới xuất hiện gần đây.



Hình 3.3: Sơ đồ hoạt động của DQN

Hình 3.3 mô tả sơ đồ hoạt động của giải pháp học tăng cường DQN. Nếu xem nội dung video dưới dạng một chuỗi các cảnh với thời lượng được phân phối theo cấp số nhân, dịch vụ phát trực tuyến video có thể được mô hình hóa như một một chuỗi quyết định Markov với không gian hành động *A*, không gian trạng thái *S* và hàm phần thưởng ρ: $S \times S \times A \rightarrow R$. Tương ứng, ở đây sử dụng *qt* để biểu thị hành động tải xuống một phân đoạn *t* với chất lượng hình ảnh *qt*. Hành động $qt \in A$, được lấy khi hệ thống ở trạng thái cho trước $st \in S$, xác định phân phối thống kê của trạng thái tiếp theo *st + 1* và phần thưởng ρ *(st, st + 1, qt)* đạt được ở bước *t*. Hàm tổn thất $\tilde{L}$ tại bước t được đánh giá thông qua bộ bốn tham số $e_t = (s_t, q_t, r_{t,} s_{t+1})$, được xem như là trải nghiệm của tác nhân tại bước t và được tính như sau:

$$\tilde{L}(s_t, q_t, r_{t,} s_{t+1}) = \left(r_t + \alpha \max_q \hat{Q}\,(s_{t+1}, q_t | \overline{w_t}) - Q(\langle s_t, q_t | w_t \rangle \right)^2 \quad (8)$$

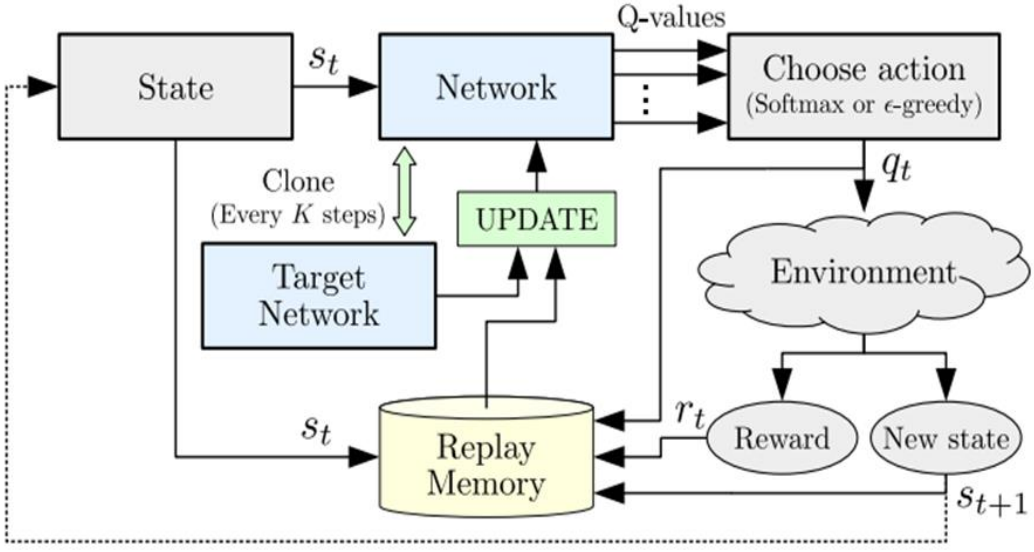
Với r_t là phần thưởng tại phân đoạn *t*. Đối với DASH, khi triển khai DQN, có hai mạng nơ-ron sâu được sử dụng. Mạng thứ nhất, với vector trọng số w_t, được cập

nhật sau mỗi phân đoạn (thường là sau bước thời gian *t*), và được dùng để xây dựng bảng giá trị Q-value $Q(\langle s_t, q_t | w_t \rangle$. Mạng thứ hai, thường gọi là mạng đích, được sử dụng nhằm tăng tính ổn định của hệ thống học máy và vector trọng số $\overline{w_t}$ được cập nhật sau K phân đoạn, được thiết lập bằng với giá trị của mạng thứ nhất và được giữ cố định cho K-1 bước tiếp theo. Nghĩa là $w_t = \overline{w_t}$ sau K phân đoạn. Mạng đích được dùng để tìm kiếm giá trị $Q(\langle s_t, q_t | \overline{w_t} \rangle$.

Ta định nghĩa mạng nơ-ron sử dụng dữ liệu đầu vào là các trạng thái và dữ liệu đâu ra là các giá trị *Q-value*. Thế nhưng mạng nơ-ron dễ bị hiện tượng tràn nếu liên tục nhận các trạng thái giống nhau hoặc có tính tuyến tính, khi đó cần phải áp dụng kỹ thuật Experience Replay để tăng tính ổn định của thuật toán và tận dụng các dữ liệu đã thu thập trước đó.

Thay vì với mỗi trạng thái đầu vào, mạng nơ-ron sẽ cập nhật một lần, ta lưu lại các trạng thái này vào bộ nhớ replay-memory. Sau đó thực hiện lấy mẫu các trạng thái này thành các batch đưa vào mạng nơ-ron và thực hiện việc huấn luyện. Việc này giúp đa dạng hóa dữ liệu đầu vào và tránh mạng nơ-ron bị quá tải. Tuy nhiên, bộ nhớ để lưu trữ và các mẫu này cũng cần phải đủ lớn để giảm sự biến động.

Điều này đem lại các lợi ích sau đây: dữ liệu đáng tin cậy hơn, các mẫu huấn luyện ít bị trùng lắp, chính sách và quá trình lấy mẫu độc lập, không phụ thuộc.



Hình 3.4: Lưu đồ tiến trình cập nhật

Toàn bộ quá trình có thể được chia thành 2 giai đoạn liên tiếp như Hình 3.4, thực thi khác nhau nhưng có cùng số bước thực hiện, được gọi là giai đoạn huấn luyện và giai đoạn kiểm thử.

Giai đoạn huấn luyện: Tham số thăm dò, cụ thể là ε trong trường hợp của chính sách *epsilon* ε-tham lam được giảm dần. Ở mỗi lần lặp, trọng số mạng được cập nhật để giảm thiểu hàm tổn thất trong (8). Phương pháp Adam được sử dụng làm thuật toán tối ưu hóa gradient giảm dần: thực thi tốc độ học tập tương thích để việc hội tụ diễn ra nhanh hơn.

Giai đoạn kiểm thử: Tham số thăm dò được đặt thành 0, do đó, chính sách *epsilon* ε-tham lam thực hiện các hành động được coi là tối ưu tương ứng với trạng thái hệ thống hiện tại và ánh xạ *Q (st, qt | wt)* từ mạng nơron đầu tiên. Đối với giai đoạn này, trọng số *wt* đã bị đóng băng và không còn được cập nhật trong suốt thời gian kiểm tra. Mạng mục tiêu không được sử dụng trong giai đoạn kiểm tra và tất cả các đánh giá hiệu suất đều dựa trên kết quả thu được trong giai đoạn thứ hai này.

Sơ đồ quá trình cập nhật được hiển thị trong Hình 3.3. Đầu tiên, trạng thái hiện tại của môi trường s_t được đưa vào mạng nơ-ron, kết quả đầu ra là giá trị dự đoán Q cho mỗi hành động có thể có $q \in A$, tức là, các giá trị khác nhau của tập tương thích *A*. Sau đó, một hành động q_t được chọn theo chính sách ε-tham lam hoặc softmax. Khi thực hiện hành động a_t, hệ thống chuyển sang trạng thái mới s_{t+1} và phần thưởng mới r_t được đánh giá theo công thức:

$$r_i = q(l_i) - \beta|q(l_i) - q(l_{i-1})| - \gamma\emptyset_i - \delta[\max(0, B^{max} - Bi\,]]^2 \quad (9)$$

Trong đó:

- $q(l_i)$ là hàm độ lợi, tương ứng mức chất lượng l_i của phân đoạn video thứ *i*.
- $|q(l_i) - q(l_{i-1})|$ là độ sai lệch mức chất lượng của hai phân đoạn video liên tiếp. Mức chất lượng của video được xem là ổn định khi độ sai lệch bằng 0 hoặc rất nhỏ. Các phân đoạn video nhận được có sự thay đổi liên tục mức chất lượng sẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến cảm nhận của người dùng.
- $\emptyset_i$ là thời gian bị đứng hình khi phát phân đoạn thứ *i*, $\emptyset_i$ được tính theo công thức $\emptyset_i = \max(0, d_i - B_i)$, với d_i là thời gian tải phân đoạn thứ *i* và B_i là kích thước của bộ đệm (tính theo giây).
- $[max\,(0, B^{max} - Bi\,]^2$ giảm trừ khi bộ đệm video có giá trị thấp hơn mức ngưỡng cho trước B^{max} của bộ đệm. Tuy nhiên, giá trị này có thể bỏ qua trong công thức QoE.

- β, γ và δ là các hệ số cho các thành phần giảm trừ do đứng hình, giảm trừ do thay đổi mức chất lượng và giảm trừ khi mức bộ đệm thấp hơn ngưỡng cho trước.

Thuật toán DQN được mô tả như sau:

Initialize replay memory R with fixed capacity

Initialize action-value function $\hat{a}$ with random weights w

Initialize target action-value function $\hat{q}$ with weight $w_{tar} = w$

For episode $m = 1, \dots, M$ **do**

For time step $t = 1, \dots, N$ **do**

Select action $a_t = \begin{cases} \text{random action, with probability } \epsilon \\ \arg\max_{a'} \hat{q}(s_t, a'; w), \quad \text{otherwise} \end{cases}$

Take action a_t and observe reward r_t and new state s_{t+1}

Append transition (s_t, a_t, r_t, s_{t+1}) to R

Sample uniformly a random mini-batch of B transitions $(\boldsymbol{s_j}, \boldsymbol{a_j}, \boldsymbol{r_j}, \boldsymbol{s_{j+1}})$ from R_k

Set $y_j = \begin{cases} r_j & \text{for terminal step } j+1 \\ r_j + \gamma \max_{a'} \hat{q}(s_{j+1}, a'; w_{tar}) & \text{for non} - \text{terminal step } j+1 \end{cases}$

Perform a stochastic gradient descent step w.r.t. loss function

$$J(w) = \frac{1}{B} \sum_{j=1}^{B} \left(y_j - \hat{q}(s_j, a_j; w) \right)^2$$

Every fixed C steps, update target network $w_{tar} = w$

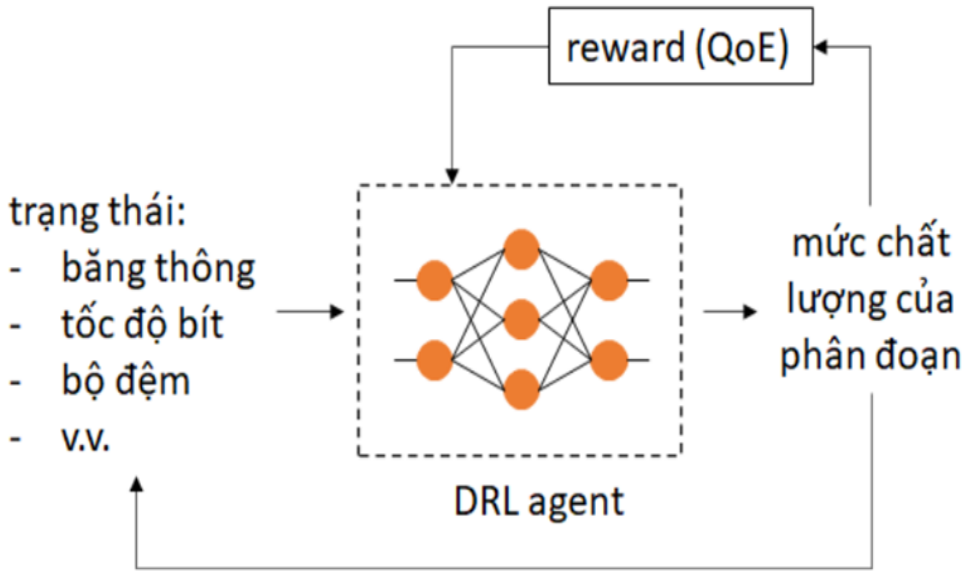
End for

End for

3.3. Áp dụng DQN vào phát trực tuyến video

Như đã nói ở trên, DQN là phương pháp học kết hợp học tăng cường Q-Learning với giải pháp học sâu, sử dụng các mạng nơ-ron, và thực hiện học mô hình thông qua một tập hợp các hành động do tác nhân học tăng cường đưa ra.

Tại thời điểm *t*, tương ứng với trạng thái môi trường *st*, khi tác nhân thực hiện hành động a_t, sẽ tương tác với môi trường, môi trường sẽ chuyển sang trạng thái s_{t+1} , và nhận được phần thưởng r_{t+1} . Mục tiêu của việc học là đưa ra chuỗi hành động nhằm đạt được giá trị tối đa của tổng phần thưởng nhận được.



Hình 3.5: Mô hình học tăng cường cho vấn đề phát video tương thích tốc độ bit qua HTTP

Khi áp dụng giải pháp DQN vào phát trực tuyến, như Hình 3.5, không gian trạng thái , các các hàm phần thưởng, hành động, hàm phần thưởng, tác nhân học tăng cườn được định nghĩa như sau:

Trạng thái (tương ứng với giá trị st) được định nghĩa là tập hợp các quan sát từ môi trường hiện tại như ước tính thông lượng mạng, độ trễ, chất lượng của các phân đoạn video vừa tải về trước đó, kích thước của phân đoạn tiếp theo tương ứng với các mức chất lượng khác nhau, số phân đoạn video còn lại,…

Hành động (tương ứng với giá trị at): hành động được định nghĩa là lựa chọn chất lượng phân đoạn video tiếp theo, tùy thuộc vào kết quả của việc quan sát trạng thái của môi trường.

Tác nhân học tăng cường (DRL agents) trong hướng nghiên cứu của luận văn là thuật toán DQN.

Hàm phần thưởng (reward) là giá trị QoE tổng thu thập được, là sự tổng hợp giữa độ lợi mang lại từ chất lượng của các phân đoạn video liên tiếp, giá trị này sẽ bị giảm trừ nếu hai phân đoạn liên tiếp có mức chất lượng khác nhau và giảm trừ khi bị

đứng hình. Theo đó, hàm phần thưởng của phân đoạn video thứ *i* được tính theo công thức (9)

Sau quá trình huấn luyện bằng cách sử dụng thuật toán DQN, kết quả thu về là giá trị QoE tính toán được từ các hành động lựa chọn mức chất lượng của phân đoạn video tải tiếp theo.

3.4. Kết luận chương 3

Chương 3 đã nêu lên vấn đề mà luận văn sẽ đối mặt và đề xuất quy trình nghiên cứu. Trong chương sau, luận văn sẽ trình bày quá trình cụ thể quá trình xây dựng và đánh giá kết quả đạt được.

CHƯƠNG 4. MÔ PHỎNG VÀ THỬ NGHIỆM GIẢI PHÁP

4.1. Công cụ mô phỏng

Từ công thức đánh giá QoE và kết quả chương 3, luận văn tập trung xây dựng công cụ mô phỏng bằng việc sử dụng mã nguồn mở như Pytorch, Stable_Baseline 3 và OpenAI Gym.

4.1.1. PyTorch

PyTorch [18] (Paszke et al., 2019) là một framework học máy mã nguồn mở , giúp tăng tốc lộ trình từ các mẫu nghiên cứu đến triển khai thực tế. PyTorch cung cấp hai tính năng cao cấp: (1) Tính toán tensor (giống như NumPy) nhưng với khả năng tăng tốc mạnh mẽ thông qua GPU và (2) Mạng Deep nơ-ron được xây dựng trên hệ thống phân biệt tự động theo phân loại. PyTorch đang thịnh hành trong cộng đồng nghiên cứu do tính năng động của nó và hầu hết thư viện RL được xây dựng trên PyTorch cho phép toàn quyền tùy chỉnh.

So với các framework đã có trước đó, PyTorch có nhiều ưu điểm như:

Động so với tĩnh: Mặc dù cả PyTorch và TensorFlow đều hoạt động trên tensor, sự khác biệt chính giữa PyTorch và Tensorflow là trong khi PyTorch sử dụng đồ thị tính toán động, thì TensorFlow sử dụng đồ thị tính toán tĩnh.

Song song hóa dữ liệu: PyTorch sử dụng thực thi bất đồng bộ của Python để triển khai xử lý dữ liệu song song, nhưng với TensorFlow thì không. Với TensorFlow, cần phải cấu hình nhân công các thao tác xử lý dữ liệu song song.

Nhiều thư viện nghiên cứu khác nhau được xây dựng trên PyTorch (ví dụ: Stable_Baseline 3, cho phép toàn quyền tùy chỉnh trong khi framework khác như TensorFlow thì không có các thư viện dạng này.

4.1.2. OpenAI Gym Environment

Gym [19] (Brockman và cộng sự, 2016) là một bộ công cụ để phát triển và so sánh các thuật toán Reinforcement Learning. Hỗ trợ dạy các tác nhân mọi thứ, từ đi bộ đến chơi trò chơi như Pong hoặc Pinball. Nó không có giả định nào về cấu trúc của tác nhân và có thể tương thích với bất kỳ thư viện số tính toán nào.

Thư viện của Gym là một tập hợp các vấn đề kiểm tra - môi trường - mà người dùng có thể sử dụng để tìm ra các thuật toán học tập củng cố của chính nó. Những

môi trường này có giao diện chia sẻ và cho phép người dùng xây dựng các thuật toán chung dựa trên các thuật toán đã có.

Giao diện môi trường bao gồm hai chức năng chính: *step* và *reset*. Tại thời điểm bắt đầu mỗi tập, thực hiện thao tác reset, nhằm đặt lại tất cả các biến trong một tập. Sau đó, *step* được thực hiện liên tục cho đến khi tập kết thúc và lặp lại tiến trình này. Hàm *step* yêu cầu dữ liệu đầu vào là hành động của *step* trước đó và trả về trạng thái/quan sát tiếp theo, một giá trị vô hướng làm phần thưởng và một biến boolean cho biết tập đã kết thúc hay chưa.

Thiết kế của OpenAI Gym dựa trên kinh nghiệm của các tác giả khi phát triển và so sánh các thuật toán học tăng cường cũng như kinh nghiệm của chúng tôi khi sử dụng điểm chuẩn trước đó. Quyết định thiết kế của Gym có thể được tóm tắt như sau:

Môi trường, không phải tác nhân: Hai khái niệm cốt lõi là tác nhân và môi trường. Các tác giả đã chọn chỉ cung cấp một phần trừu tượng cho môi trường, không phải là tác nhân. Lựa chọn này nhằm tối đa hóa sự thuận tiện cho người dùng và cho phép các phương thức triển khai khác nhau của giao diện tác nhân.

Nhấn mạnh độ phức tạp của quá trình lấy mẫu, không chỉ là hiệu suất cuối cùng. Hiệu suất của một thuật toán RL trên một môi trường có thể được đo theo hai hướng: thứ nhất, hiệu suất cuối cùng; thứ hai, lượng thời gian cần thiết để học — lấy mẫu phức tạp. Cả hiệu suất cuối cùng và độ phức tạp của các mẫu đều rất thú vị, tuy nhiên, số lượng tính toán tùy ý có thể được sử dụng để tăng hiệu suất sau cùng, làm cho nó so sánh các tài nguyên tính toán hơn là chất lượng thuật toán.

Khuyến khích đánh giá ngang hàng, không cạnh tranh: Trang web OpenAI Gym cho phép người dùng so sánh hiệu suất của các thuật toán của họ. Một trong những nguồn cảm hứng của nó là Kaggle, nơi tổ chức một loạt các cuộc thi học máy với bảng thành tích. Tuy nhiên, mục đích của bảng điểm OpenAI Gym không phải là để tạo ra một cuộc thi, mà là để kích thích việc chia sẻ mã nguồn và ý tưởng, đồng thời trở thành một tiêu chuẩn có ý nghĩa cho các phương pháp truy cập khác nhau.

Lập phiên bản nghiêm ngặt cho môi trường: Nếu môi trường thay đổi, kết quả trước đó và sau khi thay đổi sẽ không thể so sánh được. Để tránh vấn đề này, các tác giả đảm bảo rằng bất kỳ thay đổi nào đối với môi trường sẽ đi kèm với sự gia tăng số phiên bản.

Giám sát theo mặc định: Theo mặc định, các môi trường được thiết kế với mục tiêu giám sát, đối tượng này theo dõi mọi bước thời gian (một bước mô phỏng) và sử dụng hàm *reset* (lấy mẫu trạng thái khởi tạo mới). Thao tác giám sát có thể cấu hình, và nó có thể ghi lại video định kỳ. Việc xây dựng các đường mô phỏng học tập cũng hoàn thiện.

4.1.3. Stable_Baseline 3

Stable_Baseline3 [20](SB3) (Rafn và cộng sự, 2021) là một framework mã nguồn mở triển khai các thuật toán Deep RL không theo mô hình đã được sử dụng phổ biến. Thư viện rất chú trọng đến tuân thủ các phương pháp hay nhất về kỹ thuật phần mềm để đạt được các triển khai chất lượng cao phù hợp với các kết quả trước đó. Mỗi thuật toán đã được chuẩn hóa trên các môi trường chung và so với các lần triển khai trước. Bộ thử nghiệm bao gồm 95% mã và cùng với với các thay đổi đang xem xét kỹ lưỡng dựa trên người dùng đang hoạt động, đảm bảo rằng bất kỳ lỗi triển khai nào được giảm thiểu. Vào tháng 11 năm 2021, SB3 có hơn 800 sao trên GitHub, hơn 100 vấn đề đã được xử lý và hơn 80 yêu cầu hợp nhất, làm cho SB3 trở thành một trong những thư viện RL phổ biến nhất.

Các tính năng của Stable_Baseline 3 có thể được tóm tắt như sau:

- API đơn giản. Các tác nhân traning trong Stable_Baseline 3 chỉ mất một vài dòng mã, sau đó tác nhân có thể được truy vấn cho các hành động. Điều này cho phép các nhà nghiên cứu dễ dàng sử dụng các thuật toán và các thành phần cơ sở trong các thử nghiệm của họ, cũng như áp dụng RL sang các tác vụ và môi trường mới lạ, chẳng hạn như học hỏi liên tục khi tấn công các mạng WiFi hoặc dao động của các cây cầu.
- Tài liệu: Stable_Baseline 3 đi kèm với tài liệu mở rộng về mã API. bao gồm một hướng dẫn sử dụng, bao gồm cả người dùng cơ bản và nâng cao hơn với một bộ sưu tập các ví dụ cụ thể. Hơn nữa, các tác giả đã phát triển một hướng dẫn RL Colab, cho phép người dùng mô phỏng các thư viện trực tiếp trong trình duyệt.
- Chất lượng triển khai cao: Các thuật toán được xác nhận dựa trên các kết quả đã công bố bằng cách so sánh các sơ đồ học tác nhân. Hơn nữa, tất cả các hàm đều được nhập (các loại tham số và trả về) và được ghi lại với một phong cách

nhất quán, và hầu hết các hàm này được bao phủ bởi các đơn vị kiểm tra. Kiểm tra tích hợp liên tục để đảm bảo tất cả các thay đổi vượt qua các tra đơn vị kiểm tra và loại kiểm tra, cũng như xác thực kiểu mã và tài liệu.

- Toàn diện: Stable_Baseline 3 chứa các thuật toán chính sách và phi chính sách hiện đại, thường được sử dụng làm đường cơ sở thử nghiệm. Hơn nữa, Stable_Baseline 3 cung cấp các tính năng độc lập với thuật toán khác nhau. Các tác giả hỗ trợ ghi log vào file CSV và TensorBoard.

Đánh giá chung:

Sử dụng thư viện mã nguồn mở có sẵn thay vì bắt đầu triển khai từ "con số không" mang lại một số lợi thế nhất định:

1. Tiết kiệm thời gian và hiệu quả.
2. Các thuật toán trong thư viện mã nguồn mở đã được chuẩn hóa kỹ lưỡng để phù hợp với kết quả công bố trong nhiều tác vụ khác nhau, vì thế các thuật toán này có độ tin cậy cao.
3. Môi trường mô phỏng bắt buộc phải tuân theo giao diện Gym [16], làm cho nó dễ dàng được sử dụng bởi các thuật toán khác và dễ dàng mở rộng hơn, ngay cả khi chúng đến từ một thư viện khác.

4.2. Tập dữ liệu dùng cho quá trình mô phỏng

Mức video và chất lượng: Đối với video, quá trình mô phỏng sử dụng tập dữ liệu video *Elephants dream* [21] (Blender, 2014). Video được mã hóa thành 20 mức chất lượng khác nhau với mỗi phân đoạn có thời lượng 4 giây. Bảy mức mã hóa bitrate sau: [700, 900, 2000, 3000, 5000, 6000, 8000] Kbps được chọn, tuân theo các cấu trúc của (Google, 2021), là các mức chất lượng phổ biến, thân thuộc với người dùng là: (240p, 360p, 480p, 720p, 720p @ 60fps, 1080p, 1080p @ 60 khung hình / giây). Do đó, tác nhân có 7 hành động riêng biệt cho mỗi bước. 60 phần đầu tiên của video (N = 60) được sử dụng, có thời lượng 240 giây. Chất lượng mặc định của phân đoạn đầu tiên là mức chất lượng thấp nhất.

4G LTE: tập dữ liệu 4G LTE [22](Raca và cộng sự, 2018) bao gồm 135 đoạn băng thông, với mức trung bình có thời lượng 15 phút cho mỗi đoạn băng thông, ở mức độ chi tiết 1 giây. Tập dữ liệu này đã thu thập đoạn băng thông từ các nhà khai

thác di động Ireland, với 5 kiểu di chuyển (tĩnh, người đi bộ, xe hơi, xe buýt và xe lửa).

FCC: Tập dữ liệu FCC chứa hơn 1 triệu đoạn, ở mức độ chi tiết 10 giây mỗi mẫu [23] (FCC, 2019). Tôi tạo 1.000 đoạn băng thông ngẫu nhiên (mỗi đoạn kéo dài 320 giây) cho tập dữ liệu huấn luyện và kiểm thử của chúng tôi. Tôi sử dụng tập dữ liệu trong tháng 9 năm 2019.

4.3. Quá trình mô phỏng

Huấn luyện và kiểm thử: Trong cả hai tập dữ liệu, tôi chia ngẫu nhiên tập dữ liệu thành 80% cho huấn luyện và 20% để kiểm tra. Để tăng tốc quá trình huấn luyện, tôi kết hợp bộ dữ liệu FCC và LTE để huấn luyện tác nhân học tăng cường. Tác nhân được huấn luyện trong 590.000 bước với 10000 tập để tìm ra mô hình. Trong quá trình huấn luyện, các mô hình tốt hơn so với mô hình trước đó sẽ sẽ được giữ lại để so sánh và tìm ra mô hình tốt nhất.

```python
#Training DQN và lưu mô hình tốt

class DQNEvaluator(BaseEvaluator):
    def evaluate(self, file_name, params, save=True):
        self.name = "DQN"
        self.env = Monitor(self.env, file_name)
        self.env.reset()
        self.model = DQN("MultiInputPolicy", self.env, verbose=1, **params, tensorboard_log=logdir,device=device)
        for i in range(10):
            self.model.learn(total_timesteps=NUM_STEP_PER_EP * self.EVAL_EPS, reset_num_timesteps=False,tb_log_name = logdir)
            train_reward=self.env.get_episode_rewards()[-self.EVAL_EPS]
            train_reward += train_reward
            print(train_reward)
            if best_reward < train_reward and i > (2*10/3):
                best_reward == train_reward
                self.model.save(f"{model_dir}/{self.EVAL_EPS * i}")
```

Hình 4.1: Đoạn code huấn luyện và lưu các mô hình tốt

```python
class DQNEvaluator(BaseEvaluator):
    def evaluate(self, file_name, params, save=True):
        self.name = "DQN"
        self.env = Monitor(self.env, file_name)
        self.env.reset()
        model_dir = "models/DQN"
        model_path = f"{model_dir}/1800.zip"
        self.model = DQN.load(model_path, self.env,verbose=1, **params, tensorboard_log=logdir,device=device, tb_log_name= lo

    def test(self, file_name, bitrate_list_test_fcc, bitrate_list_test_lte):
        print("Evaluating on FCC...")
        env = SinglepathEnvGym(bitrate_list=bitrate_list_test_fcc, train=False)
        info_keywords = ("reward_quality_norm", "reward_smooth_norm", "reward_rebuffering_norm")
        env = Monitor(env, filename="./test_monitorFCC" + self.name, info_keywords=info_keywords)
        avg_reward, _ = evaluate_policy(self.model, env, n_eval_episodes=config.system_config["EVAL_EPS"],
                                        return_episode_rewards=True)
        print(f"Algorithm evaluation average reward: {avg_reward}")  # Kieu cu
        df = pd.DataFrame({"eps_id": np.arange(len(avg_reward)), "avg_reward": avg_reward})
        # df.to_csv("./test_monitorFCC" + self.name + ".monitor.csv")
        df.to_csv("./test_monitorFCC" + self.name + ".csv")
```

Hình 4.2: Code đánh giá kết quả thu được theo tập dữ liệu test FCC

Sau khi huấn luyện, tác nhân DQN được đánh giá kiểm tra trên một tập thử nghiệm (được phân chia như mô tả ở trên) trong 200 tập và ghi lại giá trị phần thưởng trung bình. Thử nghiệm được lặp lại 10 lần và sử dụng giá trị trung bình. Dữ liệu đầu vào được cố định trong quá trình đánh giá, tức là tại mỗi bước, thuật toán quan sát dữ liệu đầu vào là như nhau.

Các thư viện mã nguồn mở: Theo ghi nhận và khuyến nghị tưc các công trình nghiên cứu của [26](Engstrom và cộng sự, 2020; [27]Henderson và cộng sự, 2018; [28]Islam và cộng sự, 2017; [29]Hu và cộng sự, 2021; [30]Irpan, 2018; Andrychowicz và cộng sự, 2021), các thủ thuật tối ưu ở cấp lập trình (ví dụ: chuẩn hóa việc quan sát, chia tỷ lệ phần thưởng,) từ các nền tảng lập trình khác nhau có thể tác động đến hiệu suất của các thuật toán học tăng cường. Vì thế, tôi sử dụng thuật toán học tăng cường DQN đã được xây dựng trong thư viện mã nguồn mở Stable_Baselines3 , mà không sửa đổi bất kỳ phần nào của thuật toán.

α và β: theo [6], đặt $\beta = 1$ và sử dụng giá trị $\alpha = 2.66$ để kiểm tra.

4.4. Đánh giá kết quả mô phỏng

4.4.1. Các thuật toán khác

Tôi so sánh phương pháp tương thích tốc độ bit dựa trên học tăng cường, ở đây là DQN, so với các thuật toán đã có trước đó là:

Ngẫu nhiên (RAN): với thuật toán này, tại mỗi bước, mức chất lượng video được lựa chọn một cách ngẫu nhiên.

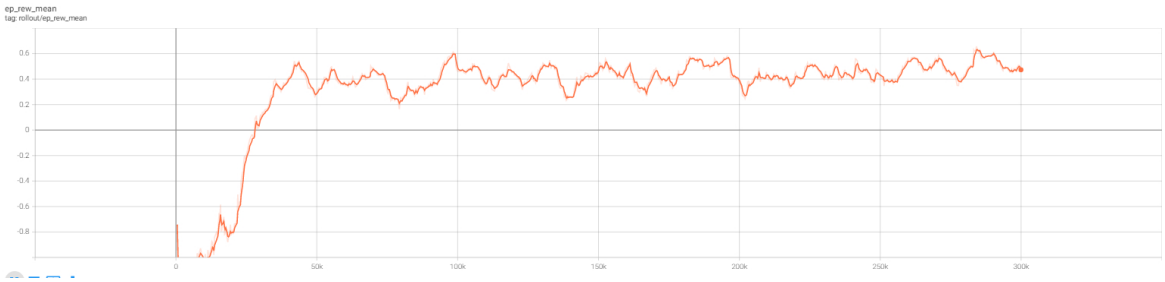
Cố định (CON): thuật toán này sẽ chọn mức chất lượng như nhau tại mỗi bước, cụ thể là 3000kpbs, tương đương chuẩn video HD 720p

Dựa trên thông lượng (TRB): Mức chất lượng cao nhất được chọn nhưng phải nhỏ hơn bình quân mức chất lượng của ba phân đoạn được tải xuống gần nhất.

BOLA [13]: thuật toán tương thích dựa trên thông lượng, sử dụng phương pháp tối ưu Lyapunov để giảm thiểu đứng hình và tối ưu hóa chất lượng video.

4.4.2. Đánh giá kết quả

Kết quả được thể hiện như trong Bảng 4.1 khi giá trị α = 2.66 và bộ siêu tham số được lựa chọn sẵn. Thuật toán DQN có thể hội tụ sau 250.000 bước huấn luyện.



Hình 4.3: Biểu đồ giá trị phần thưởng tích lũy của DQN khi huấn luyện

Khi so sánh QoE của giải pháp QoE với các thuật toán của các giải pháp khác khác, thuật toán dựa trên DQN đem lại giá trị QoE cao nhất.

Bảng 4.1: Kết quả QoE khi thực hiện đánh giá với *α = 2.66*

FCC	QoE	Chuyển đổi mức chất lượng	Rebuffer (Đứng hình)
DQN	**0.821**	0.19	0.06
THRB	0.726	0.20	0.03
BOLA	0.785	0.11	0.09
RAN	-1.142	0.606	1.38
CON	-1.686	0.044	2.8

LTE	QoE	Chuyển đổi mức chất lượng	Rebuffer (Đứng hình)
DQN	**0.485**	0.17	0.141
THRB	0.417	0.186	0.208
BOLA	0.455	0.152	0.265
RAN	-2.2005	0.604	2.380
CON	-3.14	0.044	4.251

4.5. Kết luận chương

Trong chương này, từ việc mô phỏng và trên cơ sở so sánh kết quả thu được, khi so sánh phương pháp tương thích tốc độ bit dựa trên học tăng cường sâu DQN với các thuật toán trước đó thì có thể thấy, giải pháp học tăng cường sâu DQN có nhiều ưu điểm, mang lại giá trị QoE vượt trội hơn so với các thuật toán đã có trước đó. Hạn chế của luận văn nằm ở bước chỉ thực hiện trên môi trường mô phỏng, do vậy cần triển khai thực nghiệm trên các môi trường thực để có thể đánh giá chính xác hơn nữa.

CHƯƠNG 5: KẾT LUẬN

5.1 Kết quả nghiên cứu của đề tài

Luận văn "NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG PHÁT VIDEO QUA HTTP BẰNG PHƯƠNG PHÁP HỌC TĂNG CƯỜNG" đã giới thiệu về lịch sử của phát video trực tuyến và các giải pháp hiện có. Tiếp theo tôi phân tích các yếu tố tác động đến chất lượng dịch vụ, tác động đến trải nghiệm người dùng và đánh giá các tác động này. Sau cùng, tôi đề xuất giải pháp, là các thư viện và các framework được dùng để mô phỏng, đánh giá kết quả thu được. Kết quả mô phỏng đã chứng minh tính hiệu quả của giải pháp học tăng cường sâu DQN khi áp dụng cho thuật toán tương thích tốc độ bit. Với kết quả là thuật toán tương thích tốc độ bit dựa trên học tăng cường thể hiện ưu điểm so với các phương pháp truyền thống.

5.2 Hạn chế luận văn

Môi trường thực: Do quỹ thời gian hạn hẹp, tôi chỉ thực hiện việc đánh giá thông qua kết quả mô phỏng và sử dụng một thuật toán áp dụng học tăng cường để so sánh với các thuật toán truyền thống mà mà không thực hiện việc mô phỏng trong môi trường thực như dash.js. Trong môi trường thực sẽ có nhiều vấn đề hơn cần để giải quyết.

5.3 Vấn đề kiến nghị và hướng đi tiếp theo của nghiên cứu

Từ kết quả thực tế và để đáp ứng hạn chế, tôi xin đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo của luận văn là thực hiện trong môi trường thực, sử dụng đa dạng hơn nữa các thuật toán học tăng cường khác, sử dụng các thư viện mã nguồn mở như A2C, PPO, đây là các thuật toán hiện đại, cho phép thực hiện quá trình tính toán song song, giảm thời gian huấn luyện tác nhân. Các thuật toán này cũng đã được nhiều công trình nghiên cứu đề cập đến.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A. Bentaleb, B. Taani, A. Begen, C. Timmerer and R. Zimmermann, "A Survey on Bitrate Adaptation Schemes for Streaming Media Over HTTP," *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* vol. 21, pp. 562-585, 2019.

[2] Cisco, "Cisco visual networking index: Forecast and methodology," 2016.

[3] F. Dobrian, V. Sekar, A. Awan, I. Stoica, D. A. Joseph, A. Ganjam, J. Zhan, and H. Zhang, "Understanding the Impact of Video Quality on User Engagement," in ACM SIGCOMM, 2011.

[4] S. S. Krishnan and R. K. Sitaraman, "Video Stream Quality Impacts Viewer Behavior: Inferring Causality using Quasi-Experimental Designs," in IMC, 2012.

[5] I. Sodagar, "The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet," IEEE Multimedia, 2011.

[6] Mao, Hongzi & Netravali, Ravi & Alizadeh, Mohammad, "Neural Adaptive Video Streaming with Pensieve," in the Conference of the ACM Special Interest Group, 2017.

[7] Richard S. Sutton and Andrew G. Barto, "Reinforcement Learning: An Introduction," in The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, 2015.

[8] T. Hoßfeld et al, "Initial delay vs. interruptions: Between the devil and the deep blue sea," in 4th Int. Workshop Qual. Multimedia Experience (QoMEX), 2012.

[9] Matteo Gadaleta, Federico Chiariotti, Michele Rossi, and Andrea Zanella, "D-DASH: A Deep Q-Learning Framework for DASH Video Streaming," in IEEE TRANSACTIONS ON COGNITIVE COMMUNICATIONS AND NETWORKING, 2017.

[10] Z. L. e. al, "Probe and adapt: Rate adaptation for HTTP video streaming at scale," in IEEE J. Sel. Areas Commun, 2014.

[11] Xiaoqi Yin , Abhishek Jindal, Vyas Sekar, Bruno Sinopoli, "A Control-Theoretic Approach for Dynamic Adaptive Video Streaming over HTTP," in Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication, 2015.

[12] Huang, Te-Yuan & Handigol, Nikhil & Heller, Brandon & McKeown, Nick & Johari, Ramesh, "Confused, timid, and unstable: Picking a video streaming rate is hard," in Proceedings of the 2012 Internet Measurement Conference, 2012.

[13] Kevin Spiteri, Rahul Urgaonkar, and Ramesh K. Sitaraman., "Near-optimal bitrate adaptation for online videos," IEEE/ACM Transactions on Networking, 2020.

[14] Maxim Claeys, Steven Latr´e, Jeroen Famaey, Tingyao Wu, Werner Van Leekwijck, and Filip De Turck, "Design of a Q-learning-based client quality selection algorithm for HTTP adaptive video streaming," in Adaptive and Learning Agents Workshop, 2013.

[15] Maxim Claeys, Steven Latr´e, Jeroen Famaey, Tingyao Wu, Werner Van Leekwijck, and Filip De Turck, "Design and optimisation of a (fa)q-learning-based http adaptive streaming client," Connection Science, 2014.

[16] Federico Chiariotti, Stefano D'Aronco, Laura Toni, and Pascal Frossard, "Online learning adaptation strategy for dash clients," in Proceedings of the 7th International Conference on Multimedia Systems, 2016.

[17] V. Mnih, K. Kavukcuoglu et al, "Playing Atari with Deep Reinforcement Learning," arXiv:1312.5602.

[18] A. Paszke, S. Gross, et al, "PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library," in Advances in Neural Information Processing Systems, Curran Associates, Inc., 2019.

[19] G. Brockman, V. Cheung, et al, "Openai gym," arXiv:1606.01540.

[20] A. Raffin, A. Hill, A. Gleave, A. Kanervisto, M. Ernestus, and N. Dormann, "Stable-Baselines3: Reliable Reinforcement Learning Implementations," Journal of Machine Learning Research 22, 2021.

[21] Blender, "Elephants dream movie," 2014. [Online]. Available: https://orange.blender.org/.

[22] Darijo Raca, Jason J. Quinlan, Ahmed H. Zahran, and Cormac J. Sreenan, "Beyond throughput: A 4g lte dataset with channel and context metrics," in Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference, 2018.

[23] FCC, "The tenth measuring broadband america fxed broadband report: A report on consumer fxed broadband performance in the united states," 2019.

[24] C´edric Colas, Olivier Sigaud, and Pierre-Yves Oudeyer, "A hitchhiker's guide to statistical comparisons of reinforcement learning algorithms," arXiv:1904.06979, 2019.

[25] SciPy 1.0 Contributors at el, "SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientifc Computing in Python.," Nat Methods 17, 2020.

[26] L. Engstrom, A. Ilyas, S. Santurkar, et al, "Implementation matters in deep rl: A case study on ppo and trpo," International Conference on Learning Representations, 2020.

[27] P. Henderson, R. Islam, P. Bachman, J. Pineau, D. Precup, and DavidMeger, "Deep reinforcement learning that matters," 2018.

[28] Riashat Islam, Peter Henderson, Maziar Gomrokchi, and Doina Precup, "Reproducibility of benchmarked deep reinforcement learning tasks for continuous control," Reproducibility in Machine Learning Workshop (ICML), 20171.

[29] Jian Hu, Siyang Jiang, Seth Austin Harding, Haibin Wu, and Shih wei Liao, "Rethinking the implementation tricks and monotonicity constraint in cooperative multi-agent reinforcement learning," 2021.

[30] A. Irpan, "Deep reinforcement learning doesn’t work yet.," 2018. [Online]. Available: https://www.alexirpan.com/2018/02/14/rl-hard.html.

PHỤ LỤC

Trong phụ lục này, tôi trình bày giá trị của các siêu tham số (Hyperparameter)của thuật toán DQN và giá trị sau khi cân chỉnh. Chi tiết các siêu tham số của thuật toán DQN có trong [17]

Bảng P. 1: Khoảng đề xuất các siêu tham số của thuật toán DQN

Hyperparameter	Kiểu dữ liệu	Giá trị mẫu
Learning rate	float	1e-5 – 1e-3
Buffer size	int	(59 –11800)
Batch size	int	(59 –590)
Learning starts	int	(295 –2360)
Discount factor	float	{0.95,0.99}
Polyak coef	float	{0.95,1}
Train frequency	int	(30 –120)
Gradient steps	int	(-1 – 59)
Target update interval	int	(30 – 200)
Exploration fraction	float	(0.2 –0.6)

Bảng P. 2: Các siêu tham số sau cân chỉnh

Hyperparameter	Kiểu dữ liệu	Giá trị cân chỉnh
Learning rate	float	0.0005
buffer size	int	10000
Batch size	int	128
Learning starts	int	128
gamma	float	0.9
Target update interval	int	25
Exploration fraction	float	0.1