ĐẠI HỌC QUỐC GIA TPHCM

TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Project Socket Programming

Đề tài: Video Streaming with RTSP and RTP

Môn học: Mạng máy tính

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Quốc Nam - 24120098

Võ Hoàng Phúc - 24120123

Chế Nguyễn Thùy Trang - 24120469

Giáo viên hướng dẫn:

ThS. Chung Thuỳ Linh

Ngày 6 tháng 12 năm 2025

Danh sách thành viên

Đóng góp	MSSV	Họ và tên	Mã lớp	Nhiệm vụ
100%	24120123	Võ Hoàng Phúc	24CTT1	- Xây dựng code thỏa tiêu chí 1. - Tổng hợp tài liệu cho tiêu chí 1. - Đồng bộ code.
100%	24120098	Nguyễn Quốc Nam	24CTT1	- Xây dựng code thỏa tiêu chí 2. - Tổng hợp tài liệu cho tiêu chí 2. - Viết báo cáo.
100%	24120469	Chế Nguyễn Thùy Trang	24CTT1	- Xây dựng code thỏa tiêu chí 3. - Tổng hợp tài liệu cho tiêu chí 3.

Bảng 1: Danh sách các thành viên và nhiệm vụ

Mục lục

Danh sách bảng

Danh sách hình vẽ

1 Giới thiệu

1.1 Mục tiêu bài lab

Hiểu được và xây dựng được hệ thống streaming video dùng giao thức RTSP để điều khiển và RTP để truyền tải dữ liệu video từ server đến client.

1.2 Tiêu chí đánh giá

No.	Yêu cầu	Điểm
1	Triển khai giao thức RTSP của máy khách và đóng bóc gói tin RTP của máy chủ.	4đ
2	Truyền phát video HD	3đ
3	Bộ nhớ đệm phía máy khách	2.5đ
3	Báo cáo	0.5đ

Bảng 2: Tiêu chí chấm điểm bài lab

1.3 Tổng quan thư mục

Bài lab được tổ chức theo các thư mục sau:

- **1_RTSP_RTP**: Chứa source code cho tiêu chí 1.
- **2_HD**: Chứa source code cho tiêu chí 2.
- **3_CACHE**: Chứa source code cho tiêu chí 3.
- **4_REPORT**: Chứa báo cáo của bài lab (tiêu chí 4).
- **video**: Chứa các video với các độ phân giải khác nhau phù hợp với từng tiêu chí.

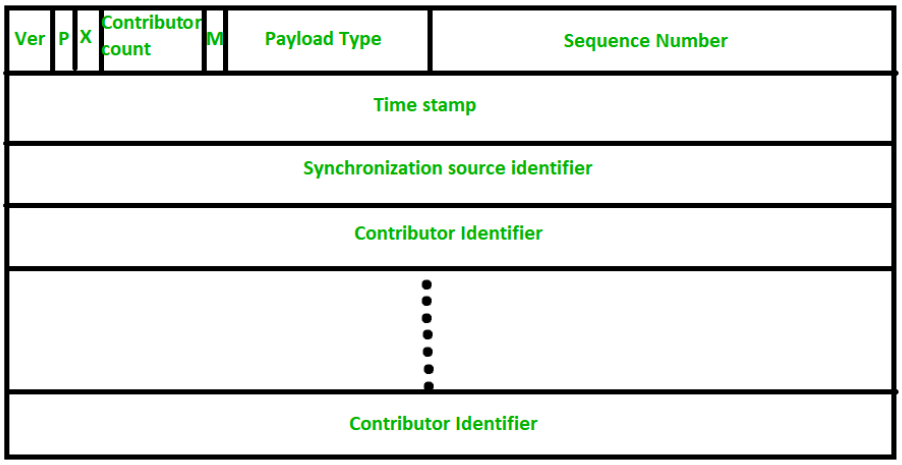
Phần source code cũng đã được up lên Github.

2 Cơ sở lý thuyết

2.1 RTP - Real time transfer protocol

RTP (Real-time Transfer Protocol) là giao thức truyền tải được thiết kế để vận chuyển dữ liệu thời gian thực như video, audio hoặc hình ảnh qua mạng IP. RTP thường hoạt động trên nền tảng UDP

để giảm độ trễ và cho phép truyền tải liên tục, mặc dù đặc tính này có thể dẫn đến mất gói (packet loss).



Hình 1: Cấu trúc giao thức RTP

Gói RTP bao gồm hai phần:

- Header: chứa các thông tin điều khiển quan trọng như:
  - Version: phiên bản của giao thức RTP.
  - Padding: chỉ định xem có thêm byte đệm vào cuối gói hay không.
  - Extension: chỉ định xem có phần mở rộng header hay không.
  - Contributing Source Count: số lượng nguồn đồng thời tham gia vào stream.
  - Marker Bit: đánh dấu các sự kiện quan trọng trong luồng dữ liệu.
  - Payload Type: xác định loại dữ liệu được truyền.
  - Sequence Number: xác định thứ tự gói tin, hỗ trợ phát hiện mất gói.
  - Timestamp: đánh dấu thời gian của gói tin, hỗ trợ đồng bộ hóa.
  - Synchronization Source Identifier: định danh nguồn stream.
  - Contributing Source Identifiers: định danh các nguồn đóng góp vào stream.
- Payload: chứa dữ liệu thực tế của video.

Lưu ý: Một số giá trị đã được quy định sẵn trong giới hạn bài lab

Ký hiệu	Field	Số bit	Giá trị
V	Version	2	2
P	Padding	1	0
X	Extension	1	0
CC	Contributing Source Count	4	0
M	Marker Bit	1	0
PT	Payload Type	7	26
	Sequence Number	16	frameNbr
	Timestamp	32	time()
SSRC	Synchronization Source Identifier	32	Số tùy ý
CSRC	Contributing Source Identifier	0	Không có
	Tổng số bits	**96 (12 bytes)**	

Bảng 3: Giá trị có sẵn của bài lab trong RTP header

2.2 RTSP - Real time streaming protocol

RTSP (Real-time Streaming Protocol) là giao thức điều khiển cho các phiên truyền tải media. Khác với RTP, RTSP không vận chuyển dữ liệu video mà cung cấp cơ chế "điều khiển từ xa" các hành động như PLAY, PAUSE hay TEARDOWN. RTSP hoạt động trên TCP để đảm bảo tính chính xác của thông điệp điều khiển. Một phiên RTSP tiêu chuẩn gồm các trạng thái và lệnh sau:

- **SETUP**: yêu cầu server tạo phiên làm việc RTSP và thiết lập port để truyền RTP.
- **PLAY**: yêu cầu server bắt đầu gửi các packet RTP tới client.
- **PAUSE**: tạm dừng việc gửi dữ liệu nhưng giữ phiên RTSP.
- **TEARDOWN**: yêu cầu server kết thúc phiên RTSP và giải phóng tài nguyên.

Client và server giao tiếp bằng mô hình request–response, trong đó mỗi yêu cầu đều kèm theo CSeq (Command Sequence) để đánh số thứ tự và Session ID để xác định phiên làm việc.

2.3 Mjpeg - Motion JPEG

MJPEG (Motion JPEG) là định dạng video được tạo ra bằng cách nối liên tiếp nhiều ảnh JPEG độc lập theo thời gian để tạo thành chuỗi chuyển động. Cấu trúc của một frame MJPEG bao gồm:

- Mỗi frame được lưu dưới dạng ảnh JPEG đầy đủ.

- Trước mỗi frame có một 5-byte header mô tả độ dài frame.
- JPEG frame bắt đầu bằng `0xFF 0xD8` (SOI) và kết thúc bằng `0xFF 0xD9` (EOI).

3 Quy trình thực hiện

3.1 Xây dựng RTP/RTSP server và client (4đ)

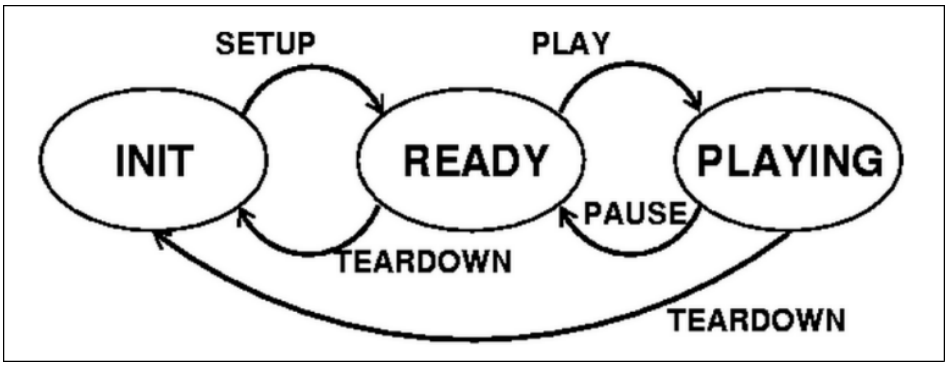
Các file trong phần này nằm trong thư mục **1_RTSP_RTP**
Đây là phiên bản đầu tiên cơ bản nhất của bài lab, yêu cầu xây dựng hệ thống streaming video sử dụng giao thức RTSP để điều khiển và RTP để truyền tải dữ liệu video từ server đến client.

3.1.1 Ý tưởng

Hoàn thiện giao thức RTSP trên client và đóng gói dữ liệu RTP trên server để truyền tải video từ server đến client trên các hàm đã được tạo sẵn.

3.1.2 Hoàn thiện Client.py - Giao thức RTSP của client

Mô hình trang thái của client:



Hình 2: Sơ đồ trạng thái và chuyển đổi của client RTSP

Hoàn thiện hàm gửi RTSP request - sendRtspRequest():

```
import threading

def sendRtspRequest(self, requestCode):
    if requestCode == self.SETUP and self.state == self.INIT:
```

```
        threading.Thread(target=self.recvRtspReply).start()
        self.rtspSeq += 1
        request = "SETUP " + str(self.fileName) + " RTSP/1.0\nCSeq: " + str(self.rtspSeq) + "\nTransport: RTP/UDP; client_port= " + str(self.rtpPort)
        self.requestSent = self.SETUP
    elif requestCode == self.PLAY and self.state == self.READY:
        self.rtspSeq += 1
        request = "PLAY " + str(self.fileName) + " RTSP/1.0\nCSeq: " + str(self.rtspSeq) + "\nSession: " + str(self.sessionId)
        self.requestSent = self.PLAY
    elif requestCode == self.PAUSE and self.state == self.PLAYING:
        self.rtspSeq += 1
        request = "PAUSE " + str(self.fileName) + " RTSP/1.0\nCSeq: " + str(self.rtspSeq) + "\nSession: " + str(self.sessionId)
        self.requestSent = self.PAUSE
    elif requestCode == self.TEARDOWN and not self.state == self.INIT:
        self.rtspSeq += 1
        request = "TEARDOWN " + str(self.fileName) + " RTSP/1.0\nCSeq: " + str(self.rtspSeq) + "\nSession: " + str(self.sessionId)
        self.requestSent = self.TEARDOWN
    else:
        return

    self.rtspSocket.send(request.encode())
    print('\nData sent:\n' + request)
```

- Hàm build chuỗi request. Mỗi lần gửi đều tăng `CSeq` để server đồng bộ và gắn `Session` để nhận biết sau `SETUP`. Cụ thể hơn:
  - `SETUP` request: Chương trình sẽ kiểm tra trạng thái hiện tại của client, nếu là `INIT` thì tạo request `SETUP` và bắt đầu chạy nền phương thức recvRtspReply (nhận các RTSP reply từ server). Một request `SETUP` sẽ có dạng:

    ```
    SETUP <Video_File> RTSP/1.0
    CSeq: <CSeq>
    Transport: RTP/UDP; client_port= <RTP_Port>
    ```

    Ví dụ:

```
SETUP video/movie288.Mjpeg RTSP/1.0
CSeq: 1
Transport: RTP/UDP; client_port= 8090
```

– `PLAY` request: Chương trình sẽ kiểm tra trạng thái hiện tại của client, nếu là `READY` thì tạo request `PLAY` có dạng:

```
PLAY <Video_File> RTSP/1.0
CSeq: <CSeq>
Session: <Session_ID>
```

Ví dụ:

```
PLAY video/movie288.Mjpeg RTSP/1.0
CSeq: 2
Session: 619227
```

– `PAUSE` request: Chương trình sẽ kiểm tra trạng thái hiện tại của client, nếu là `PLAYING` thì tạo request `PAUSE` có dạng:

```
PAUSE <Video_File> RTSP/1.0
CSeq: <CSeq>
Session: <Session_ID>
```

Ví dụ:

```
PAUSE video/movie288.Mjpeg RTSP/1.0
CSeq: 3
Session: 619227
```

– `TEARDOWN` request: Chương trình sẽ kiểm tra trạng thái hiện tại của client, nếu không là `INIT` (là `READY` hoặc `PLAYING`) thì tạo request `TEARDOWN` có dạng:

```
TEARDOWN <Video_File> RTSP/1.0
CSeq: <CSeq>
Session: <Session_ID>
```

Ví dụ:

```
TEARDOWN video/movie288.Mjpeg RTSP/1.0
CSeq: 4
Session: 619227
```

- Sau khi dựng xong, request được encode và đẩy qua socket TCP tới server RTSP.

Hoàn thiện hàm phân tích RTSP reply - parseRtspReply():

```
def parseRtspReply(self, data):
    lines = data.split('\n')
    seqNum = int(lines[1].split(' ')[1])

    if seqNum == self.rtspSeq:
        session = int(lines[2].split(' ')[1])
        if self.sessionId == 0:
            self.sessionId = session
        if self.sessionId == session:
            if int(lines[0].split(' ')[1]) == 200:
                if self.requestSent == self.SETUP:
                    self.state = self.READY
                    self.openRtpPort()
                elif self.requestSent == self.PLAY:
                    self.state = self.PLAYING
                elif self.requestSent == self.PAUSE:
                    self.state = self.READY
                    self.playEvent.set()
                elif self.requestSent == self.TEARDOWN:
                    self.state = self.INIT
                    self.teardownAcked = 1
```

- Phản hồi được tách theo từng dòng để lấy `CSeq` và `Session`. Client chỉ xử lý khi số thứ tự trùng với gói vừa gửi để tránh trạng thái cũ. Ví dụ một phản hồi có dạng:

```
RTSP/1.0 <HTTP_Status_Code> <Phrase>
CSeq: <CSeq>
Session: <Session_ID>
```

- Khi mã trạng thái HTTP là 200, client cập nhật trạng thái mới dựa trên request đã gửi:
  - Sau `SETUP`, trạng thái chuyển từ `INIT` sang `READY`. Sau đó mở port RTP bằng hàm openRtpPort().

- Sau `PLAY`, trạng thái chuyển từ `READY` sang `PLAYING` và bắt đầu chạy nền hàm nhận gói RTP.
- Sau `PAUSE`, trạng thái chuyển từ `PLAYING` sang `READY` và dừng hàm nhận gói RTP.
- Sau `TEARDOWN`, trạng thái chuyển về `INIT` và đóng socket RTP.

Hoàn thiện hàm kết nối tới port của RTP - openRtpPort():

```
import socket, tkinter

def openRtpPort(self):
    self.rtpSocket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    self.rtpSocket.settimeout(0.5)

    try:
        self.rtpSocket.bind(('', self.rtpPort))
    except:
        tkinter.messagebox.showwarning('Unable to Bind', 'Unable to bind PORT=%d
    ' %self.rtpPort)
```

- Client khởi tạo socket UDP (`AF_INET, SOCK_DGRAM`) (AF_INET: IPv4, SOCK_DGRAM: UDP) cùng timeout ngắn để việc nhận khung không bị block.
- Hàm bind trực tiếp vào `rtpPort`; nếu cổng đã được sử dụng, người dùng sẽ được cảnh báo không thể bind port đó.

3.1.3 Hoàn thiện RtpPacket.py - Giao thức RTP của server

Hoàn thiện hàm encapsulation - encode():

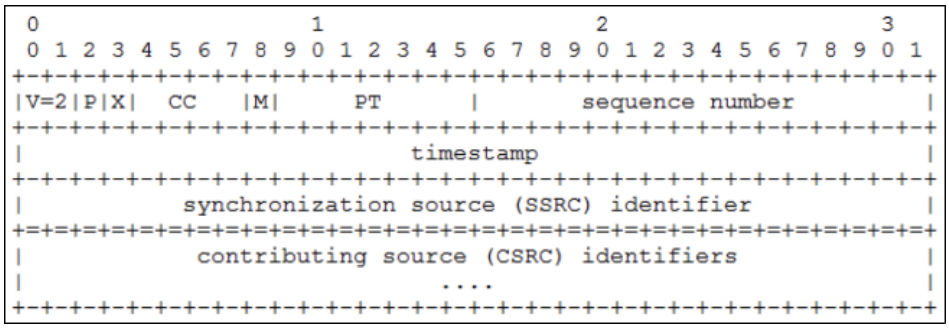
```
from time import time
HEADER_SIZE = 12

def encode(self, version, padding, extension, cc, seqnum, marker, pt, ssrc,
    payload):
    timestamp = int(time())
    header = bytearray(HEADER_SIZE)

```

```
8     header[0] = (version & 0x03) << 6 | (padding & 0x01) << 5 | (extension & 0
    x01) << 4 | (cc & 0x0F)
9     header[1] = (marker & 0x01) << 7 | (pt & 0x7F)
10    header[2:4] = (seqnum >> 8) & 0xFF, seqnum & 0xFF
11    header[4:8] = (timestamp >> 24) & 0xFF, (timestamp >> 16) & 0xFF, (timestamp
     >> 8) & 0xFF, timestamp & 0xFF
12    header[8:12] = (ssrc >> 24) & 0xFF, (ssrc >> 16) & 0xFF, (ssrc >> 8) & 0xFF,
     ssrc & 0xFF
13
14    self.header = header
15    self.payload = payload
```

header: mảng byte có kích thước 12 bytes

- Byte thứ 1 (8 bits): chứa trường Version, Padding, Extension, Contributing Source Count và có dạng V-V-P-X-CC-CC-CC-CC
  - version & 0x03: lấy 2 bit cuối của version (03[16] = 0000 0011[2])
  - « 6: dịch trái 6 bit để đưa về vị trí 2 bit đầu tiên trong byte (eg. V = 2 => 1100 0000[2])
  - Tương tự với các trường padding, extension, lúc này còn 4 bit cuối cùng là CC
  - cc & 0x0F: chỉ lấy 4 bit cuối của cc (0F[16] = 0000 1111[2])
- Byte thứ 2 (8 bits): chứa trường Marker Bit, Payload Type và có dạng M-PT-PT-PT-PT-PT-PT-PT (các logic tương tự byte 1)
- Byte thứ 3-4 (16 bits): chỉ chứa trường Sequence Number
  - (seqnum » 8) & 0xFF: lấy 8 bit đầu của seqnum (0xFF[16] = 1111 1111[2])
  - seqnum & 0xFF: lấy 8 bit cuối của seqnum
- Byte thứ 5-8 (32 bits): chỉ chứa trường Timestamp, logic tương tự byte 3-4
- Byte thứ 9-12 (32 bits): chỉ chứa trường Synchronization Source Identifier (SSRC), logic tương tự byte 3-4

Phần header trong python sẽ có dạng như sau, với mỗi dòng tương ứng với 4 bytes (32 bits):



Hình 3: Cấu trúc mảng header

3.1.4 Thử nghiệm

Thực hiện chạy server RTSP/RTP và client RTSP trên cùng máy tính với video mẫu qua câu lệnh:

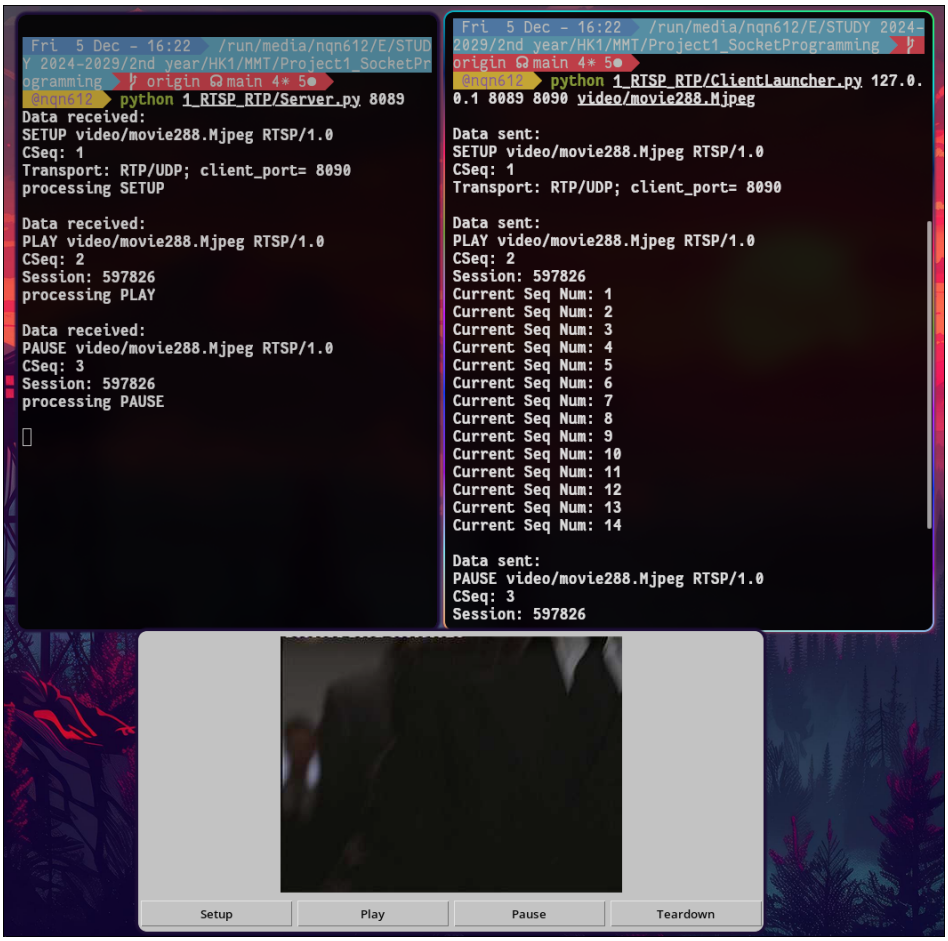
- Ternimal 1: chạy server RTSP/RTP (python Server.py <**PORT**>). Ví Dụ:

```
python 1_RTSP_RTP/Server.py 8089
```

- Ternimal 2: chạy client RTSP (python ClientLauncher.py <**SERVER_IP**> <**RTSP_PORT**> <**RTP_PORT**> <**VIDEO_FILE**>). Ví Dụ:

```
python 1_RTSP_RTP/ClientLauncher.py 127.0.0.1 8089 8090 video/movie288.
    Mjpeg
```

Output thu được khi chọn các nút (Setup -> Play -> Pause) trên giao diện client:



Hình 4: Output RTSP client

Có thể thấy client đã gửi đúng các request RTSP và chạy được video qua giao thức RTP.

Nhược điểm: Với video có độ phân giải cao (HD trở lên) khi 1 frame vượt quá kích thước gói UDP sẽ bị tràng byte qua các gói khác, dẫn đến việc giải mã sai các frame tiếp theo và báo lỗi.

3.2 Bổ sung HD video streaming (3đ)

Các file trong phần này nằm trong thư mục **2_HD_Video_Streaming**.

Đây là phiên bản nâng cấp của phần 1 nhằm hỗ trợ streaming video có độ phân giải cao (HD - 720p, Full HD - 1080p, 2K - 1440p).

3.2.1 Ý tưởng

Khắc phục nhược điểm của phần 1 bằng cách chia nhỏ frame video thành các mảnh (fragment) có kích thước phù hợp với gói UDP dựa trên MTU - Maximum transmission unit (Hầu hết các hệ thống mạng dùng MTU mặc định 1500 bytes cho IPv4 để đảm bảo tương thích.).

Các phương tiện truyền tải qua IP	**MTU (bytes)**	**Notes**
Internet IPv4 path MTU	Tối thiểu 68 bytes, tối đa 64 KiB	MTU thực tế phụ thuộc đường truyền; nếu router giảm MTU sẽ xảy ra IP fragmentation.
Internet IPv6 path MTU	Tối thiểu 1280 bytes, tối đa 64 KiB	Yêu cầu MTU tối thiểu 1280 bytes; hỗ trợ gói jumbo cho payload lớn.
X.25	576 bytes khi gửi hoặc 1600 bytes khi nhận	Chuẩn X.25 quy định hai ngưỡng MTU khác nhau cho chiều gửi và nhận.
Ethernet v2	1500 bytes	Hầu hết mạng LAN sử dụng Ethernet II nên MTU mặc định luôn là 1500 bytes.
...	...	...

Bảng 4: Một số MTU cho các phương tiện truyền tải phổ biến

Mỗi fragment sẽ được đóng gói trong một gói RTP riêng biệt với đầy đủ header và payload. Client sẽ nhận các gói RTP, tái tạo lại các fragment và ghép chúng lại thành frame hoàn chỉnh bằng cách nhận diện các SOI, EOI trong payload (Marker Bit không được sử dụng do đã bị giới hạn giá trị bằng 0).

3.2.2 Hoàn thiện cơ chế chia nhỏ frame thành các fragment

3.2.3 Hoàn thiện cơ chế bỏ qua các frame bị trễ để đảm bảo đồ mượt khi phát video

3.2.4 Hoàn thiện tính năng hiện số frame mất và lưu lượng mạng trên giao diện

3.2.5 Thử nghiệm

Nhược điểm: Dù đã gửi và chạy được nhưng với các video có độ phải cao hơn (1440p, 2160p,...) các frame tải chậm hơn tốc độ của video dẫn tới tình trạng mất frame và drop FPS nặng.

3.3 Bổ sung client cache (2.5đ)

Các file trong phần này nằm trong thư mục **3_Client_Cache**.
Đây là phiên bản nâng cấp của phần 2 và cũng là phiên bảng cuối cùng nhằm cải thiện trải nghiệm xem video HD bằng cách thêm bộ đệm (buffer) trên client.

3.3.1 Ý tưởng

Khắc phục nhược điểm của phần 2 bằng cách thêm bộ đệm (buffer) trên client để lưu trữ trước một số frame video nhất định trước khi phát. Khi người dùng nhấn Play, client sẽ bắt đầu nhận các gói RTP và lưu trữ các frame vào bộ đệm cho đến khi đạt ngưỡng đã định sẵn (ví dụ: 30 frame). Sau đó, client mới bắt đầu phát video từ bộ đệm trong khi tiếp tục nhận và lưu trữ các frame mới vào bộ đệm. Điều này giúp đảm bảo rằng có đủ frame để phát liên tục ngay cả khi tốc độ tải về chậm hơn tốc độ phát video.

3.3.2 Hoàn thiện cơ chế bộ đệm phía client

3.3.3 Thử nghiệm

Thực hiện chạy server RTSP/RTP và client RTSP trên cùng máy tính với video mẫu qua câu lệnh:

4 Kết quả đạt được

5 Tài liệu tham khảo

Tài liệu