

# CHƯƠNG 4

# TCP CONGESTION CONTROL

ET4230

**TS. Trần Quang Vinh**  
**BM. Kỹ thuật Thông tin**  
**Viện Điện tử - Viễn thông**  
**Đại học Bách Khoa Hà Nội**  
**vinhtq@hust.edu.vn**



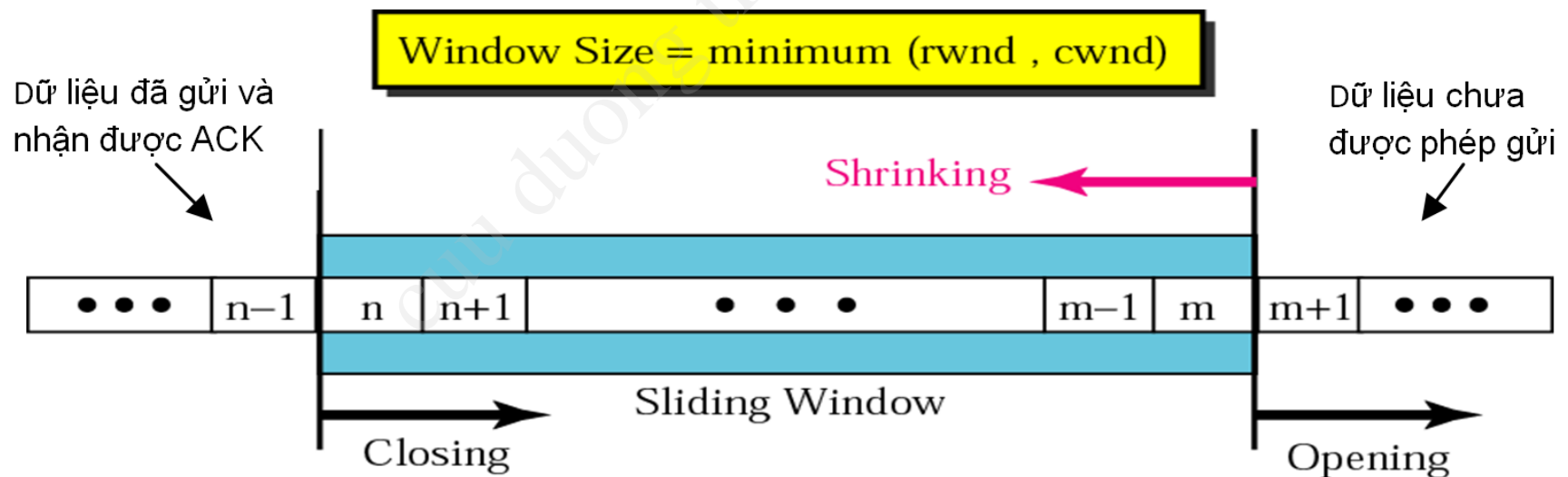
# MỤC ĐÍCH

---

- Mục đích
  - Tối ưu hóa thông lượng sử dụng của mạng
  - Giảm trễ gói khi đi qua mạng
  - Đảm bảo tính công bằng cho việc trao đổi thông tin trên mạng
  - Đảm bảo tránh tắc nghẽn trong mạng
- Điều khiển luồng được thực hiện ở tầng nào?
  - Lớp giao vận:
    - Điều khiển luồng từ đầu cuối đến đầu cuối (end-to-end)
    - Tránh tràn bộ đệm của quá trình nhận tại đích
  - Lớp Liên kết dữ liệu và lớp Mạng:
    - Điều khiển luồng trên từng chặng (hop-by-hop):
    - Tránh cho từng đường truyền khỏi bị tắc nghẽn

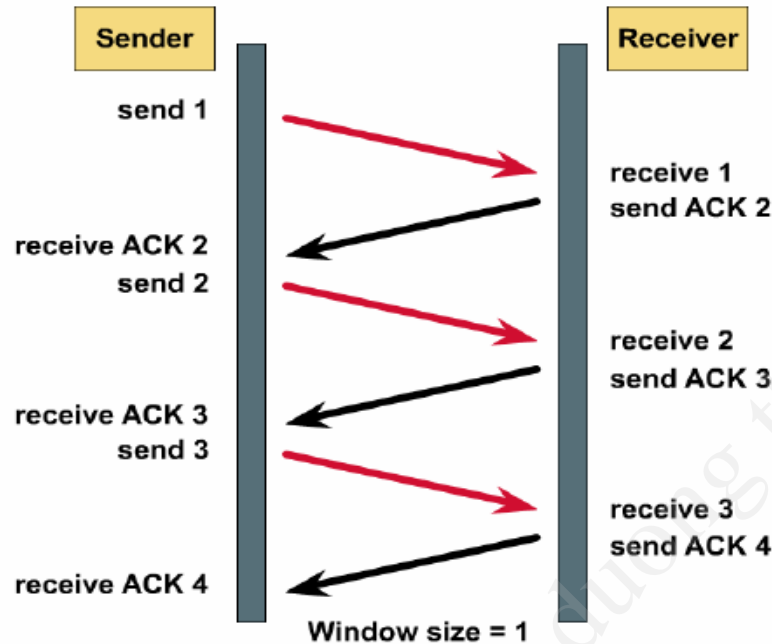
# Kiểm soát luồng (Flow Control)

- Cơ chế cửa sổ trượt (sliding window)
  - Cửa sổ nhận (Rwnd): số lượng data tối đa bên thu có thể nhận
    - Trường Receive Window Size (4kB – 8kB)
  - Cửa sổ gửi (Cwnd: Congestion window size), tương ứng với các segment mà nó được phép gửi

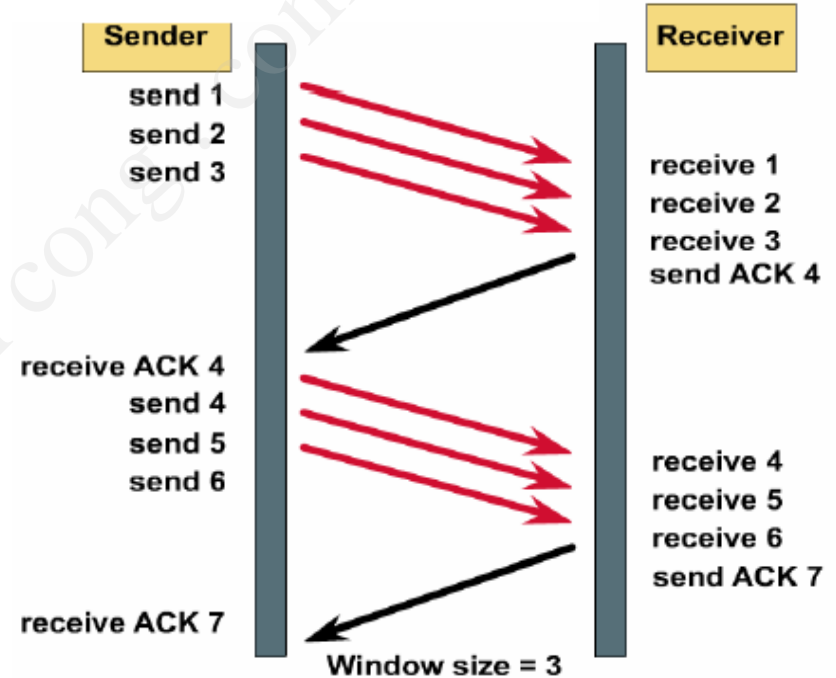


# TCP Window

## TCP Simple Acknowledgment



## TCP WINDOW



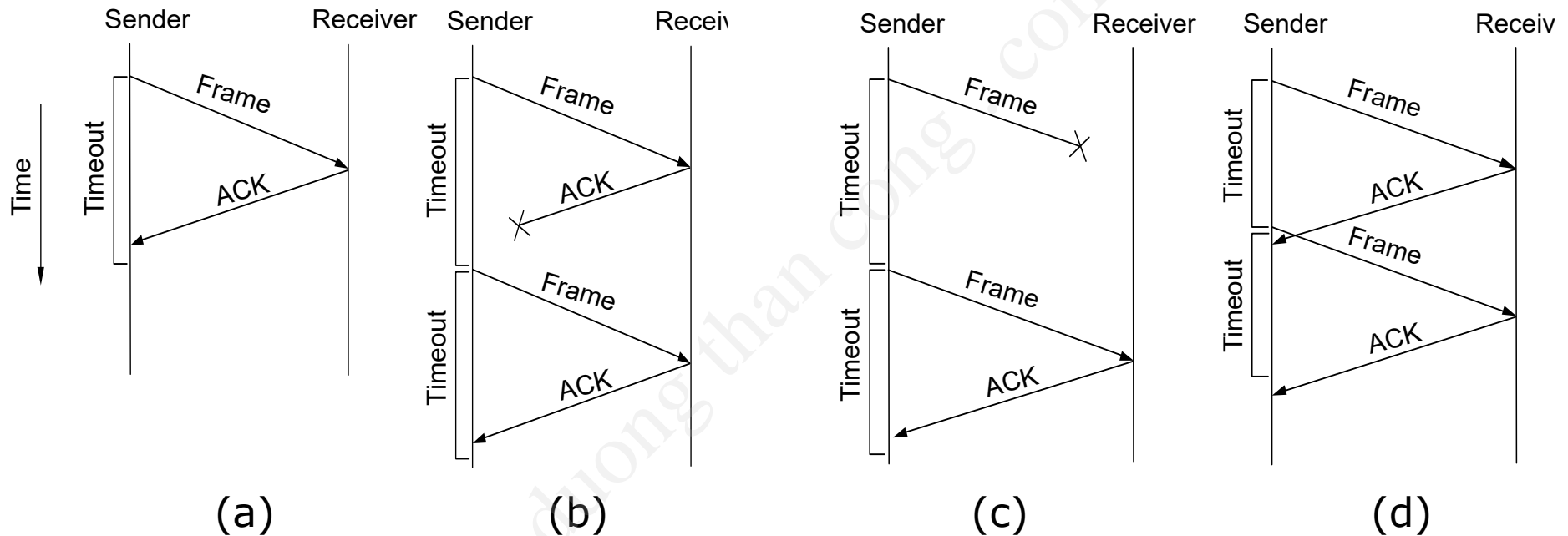
$RTT > \text{Window Size}$ : hiệu suất kênh truyền thấp  
 $RTT = \text{Window Size}$ : hiệu suất kênh đạt 100%.

# Kiểm soát lỗi (Error Control)

---

- Checksum
- Acknowledgement (ACK)
  - Rule 1: Gói ACK không được gán sequence number và không có báo nhận cho bản thân gói ACK
- Timeout (Retransmission TimeOut -RTO)
  - Sau khoảng thời gian  $RTO > RTT$  mà không nhận được ACK → truyền lại
- Retransmission:
  - Rule 2: việc truyền lại xảy ra khi timeout hoặc khi nhận được 3 ACK liên tiếp trùng nhau
  - Rule 3: Không thiết lập timer cho gói ACK
- Out-of-order
  - Rule 4: Dữ liệu đến bên nhận có thể không đúng thứ tự, chúng được lưu trong bộ đệm bên thu và chỉ được chuyển lên tầng trên khi đã sắp xếp lại

# Kiểm soát lỗi (Error Control)



## **Cơ chế truyền lại sử dụng timeout:**

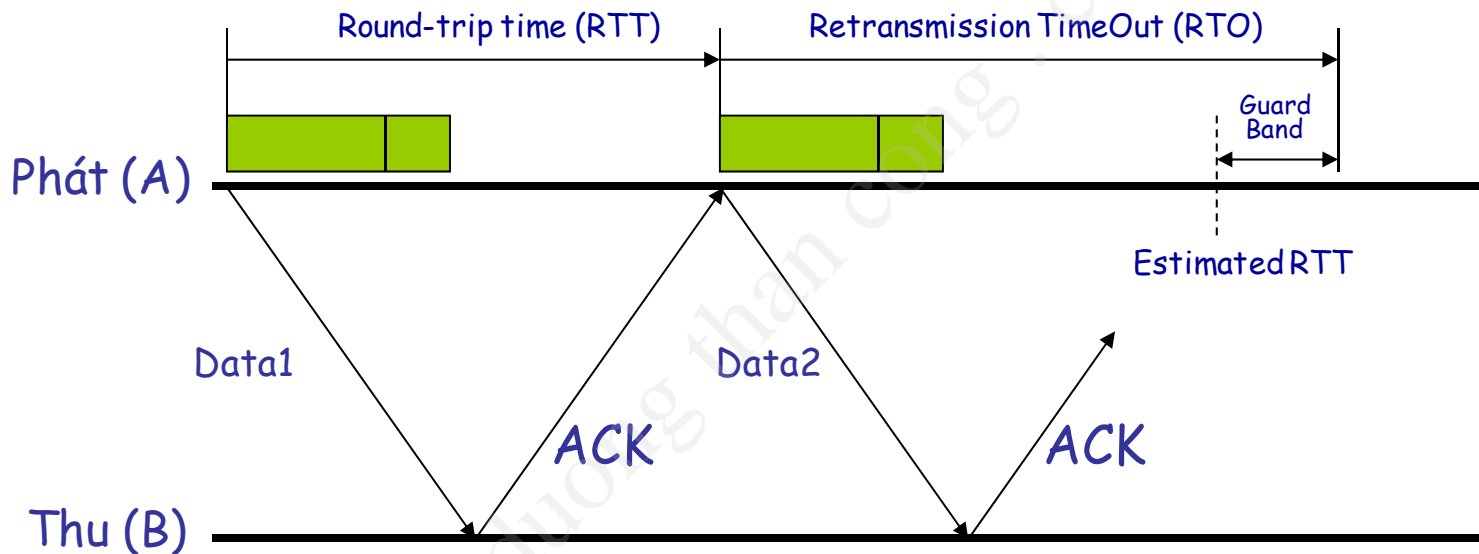
(a) trường hợp bình thường

(b,c) truyền lại khi mất ACK hoặc mất frame

(d)  $timeout < RTT$  gây ra phát trùng frame

# RTO

- RTO thay đổi, thích ứng với sự thay đổi RTT



# Thuật toán Jacobson

## ■ EWMA với thuật toán Jacobson

+ Tính giá trị ước lượng eRTT:

$$eRTT_k = \alpha eRTT_{k-1} + (1 - \alpha) \text{SampleRTT} \quad (1)$$

+ Thiết lập timeout dựa trên eRTT

$$RTO = 2 * eRTT_k \quad (2)$$

Trong đó:

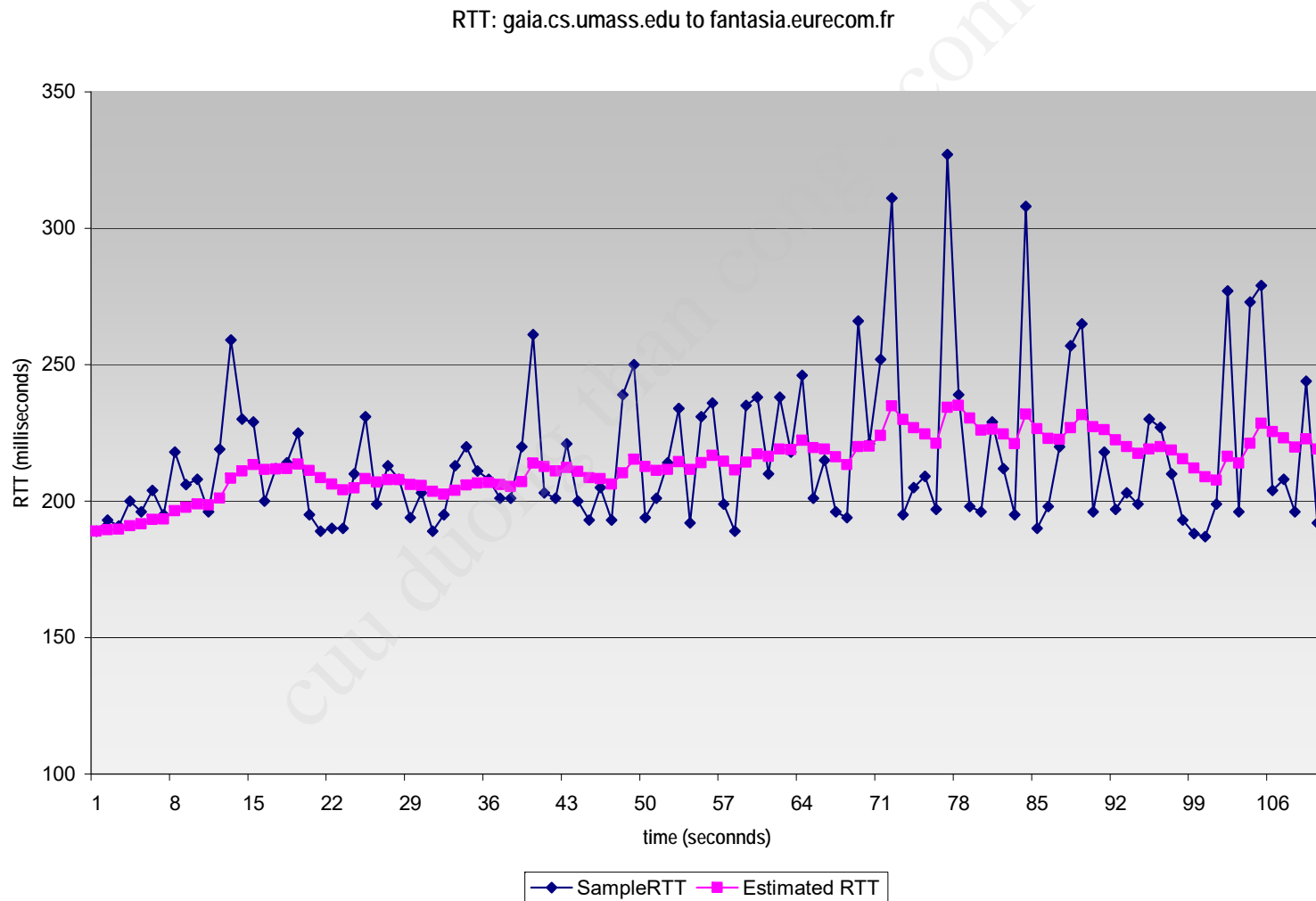
+  $\alpha$  là trọng số thuật toán EWMA ( $0 \leq \alpha \leq 1$ , thông thường  $\alpha = 7/8$ ),

+  $k$  là số bước lặp

+ SampleRTT: giá trị RTT đo được (thực tế) cho mỗi cặp packet/ACK tại bước  $k$ .



# Thuật toán Jacobson (tiếp)



# VÍ DỤ

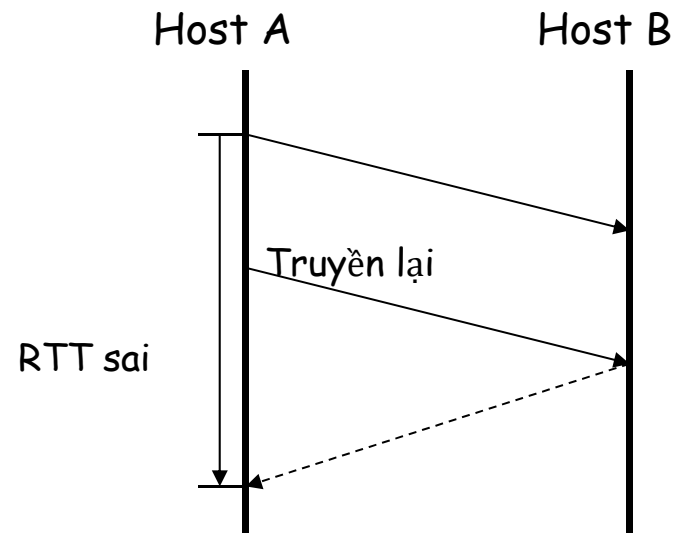
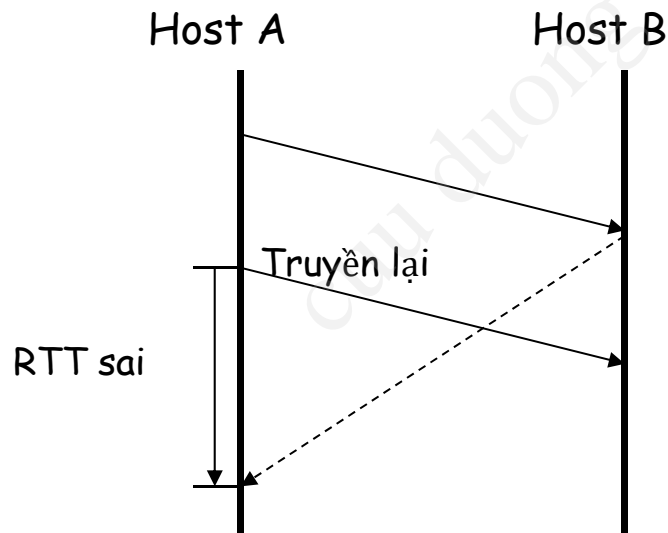
---

- Một kết nối TCP có RTT hiện tại là 30 ms, nhận được các bản tin ACK đến sau 26, 32, và 24 ms. Tính ước lượng giá trị RTT theo thuật toán Jacobson với  $\alpha = 0.9$ .

# Cơ chế ước lượng RTO

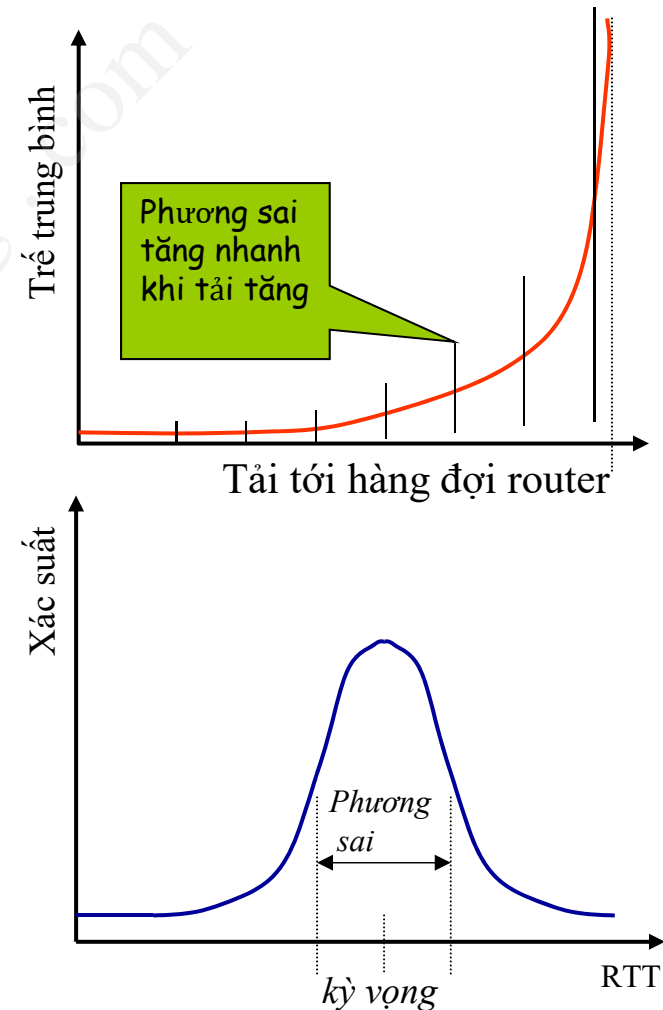
## □ Thuật toán Karn:

- **Vấn đề:** Khi truyền lại thì RTT được ước lượng thế nào cho chính xác?
- **Giải pháp:**
  - Không cập nhật giá trị EstimatedRTT
  - $RTO_k = 2 * RTO_{k-1}$



# Cơ chế ước lượng RTO

- Trong thuật toán trên:
  - Giả thiết: Phương sai của giá trị RTT là hằng số
  - Trong thực tế:
    - Chiều dài hàng đợi của router tăng dần khi tải tăng
    - Phương sai của RTT tăng nhanh khi tải tăng
    - Phân bố xác suất của RTT không xác định
- Yêu cầu:
  - Ước lượng RTT chính xác để tránh ước lượng sai RTO



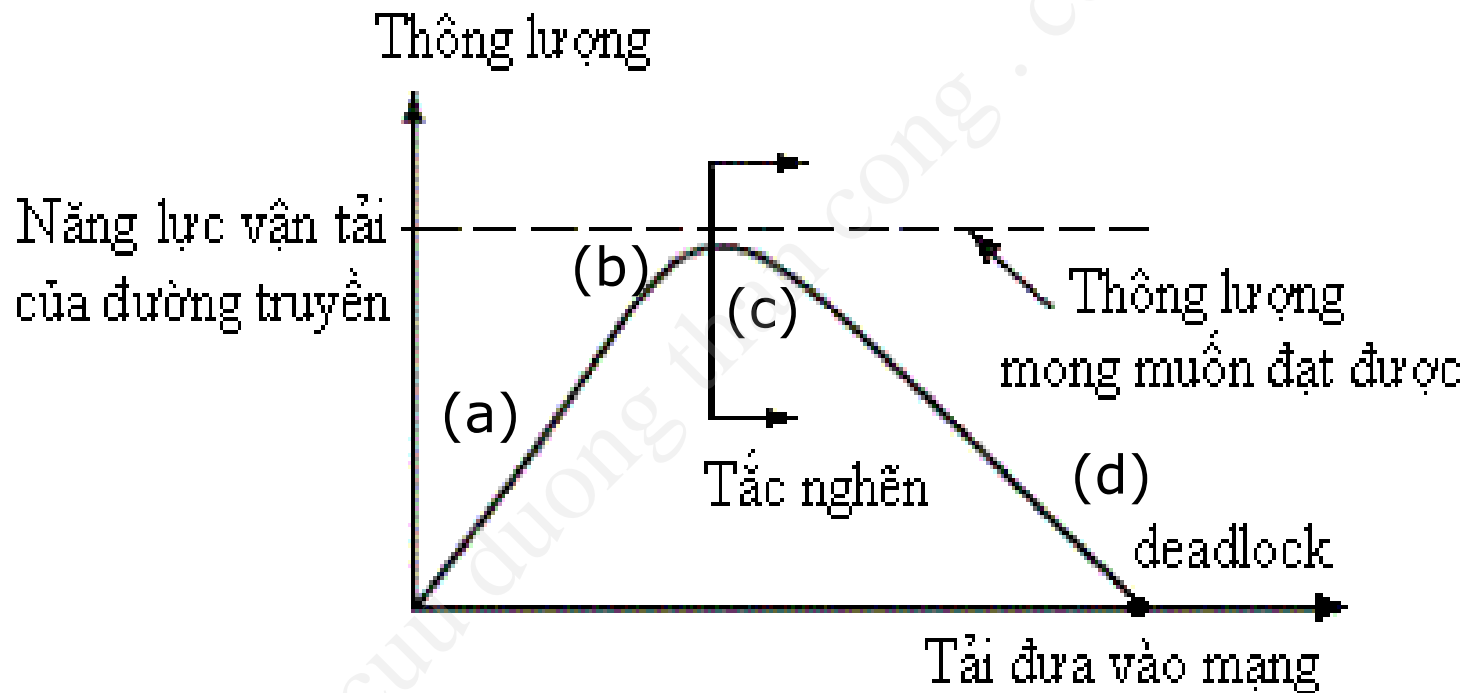
# Cơ chế ước lượng RTO

- Thuật toán ước lượng RTO mới:
  - Cho phép đánh giá cả phương sai của RTT

1.  $\text{EstimatedRTT}_k = \alpha \text{ EstimatedRTT}_{k-1} + (1 - \alpha) \text{ SampleRTT}$
2.  $\text{Difference}_k = (1 - \delta) * \text{Difference}_{k-1} + \delta * |\text{SampleRTT} - \text{EstimatedRTT}_k|$
3.  $\text{RTO} = \mu * \text{EstimatedRTT}_k + \phi * \text{Difference}_k$   
 $\alpha \approx 0,125; \mu \approx 1; \phi \approx 4; \delta \approx 0,25$

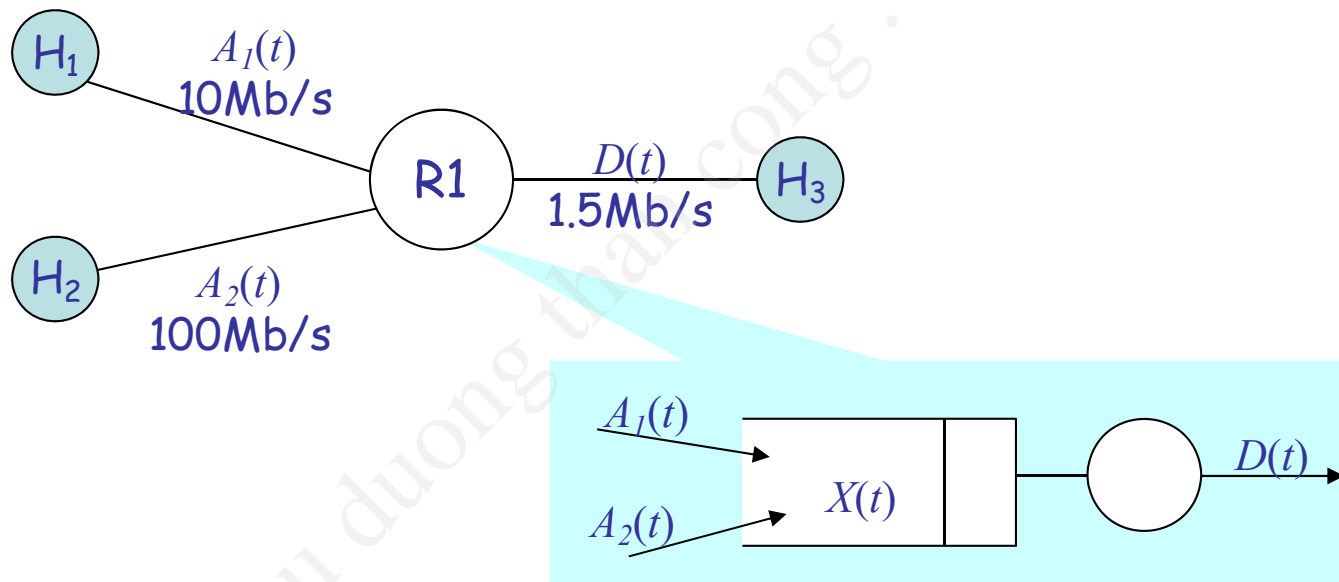
# Chống tắc nghẽn (Congestion Control)

- Hiện tượng tắc nghẽn



# Nguyên nhân gây tắc nghẽn mạng

- Tràn bộ đệm
- Tốc độ xử lý chậm (hay nghẽn cổ chai)



## **Nhận xét:**

Nếu bộ đệm rỗng → trễ nhỏ, mạng không bị tắc nghẽn, nhưng hiệu suất sử dụng kênh thấp

Nếu bộ đệm luôn đầy → trễ lớn, có thể tắc nghẽn, nhưng hiệu suất sử dụng kênh cao

# Các giải pháp chống tắc nghẽn

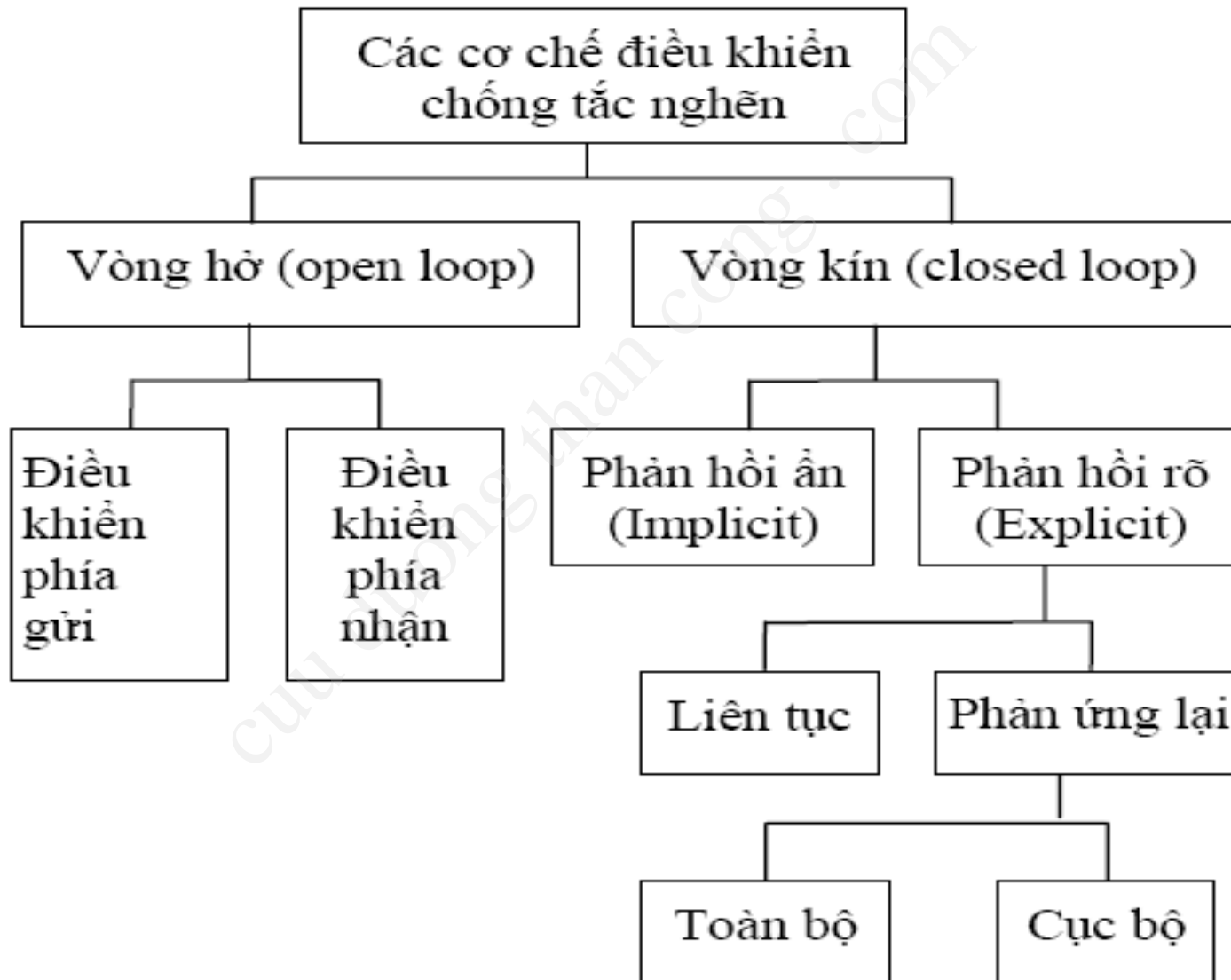
---

## ■ Chính sách chung

- Điều khiển tiếp nhận (Admission control)
  - Cho phép một kết nối mới chỉ khi mạng có thể đáp ứng một cách thích hợp
- Kiểm soát (Policing)
- Điều khiển luồng lưu lượng (Flow control)
  - Yêu cầu giảm tốc độ luồng phát

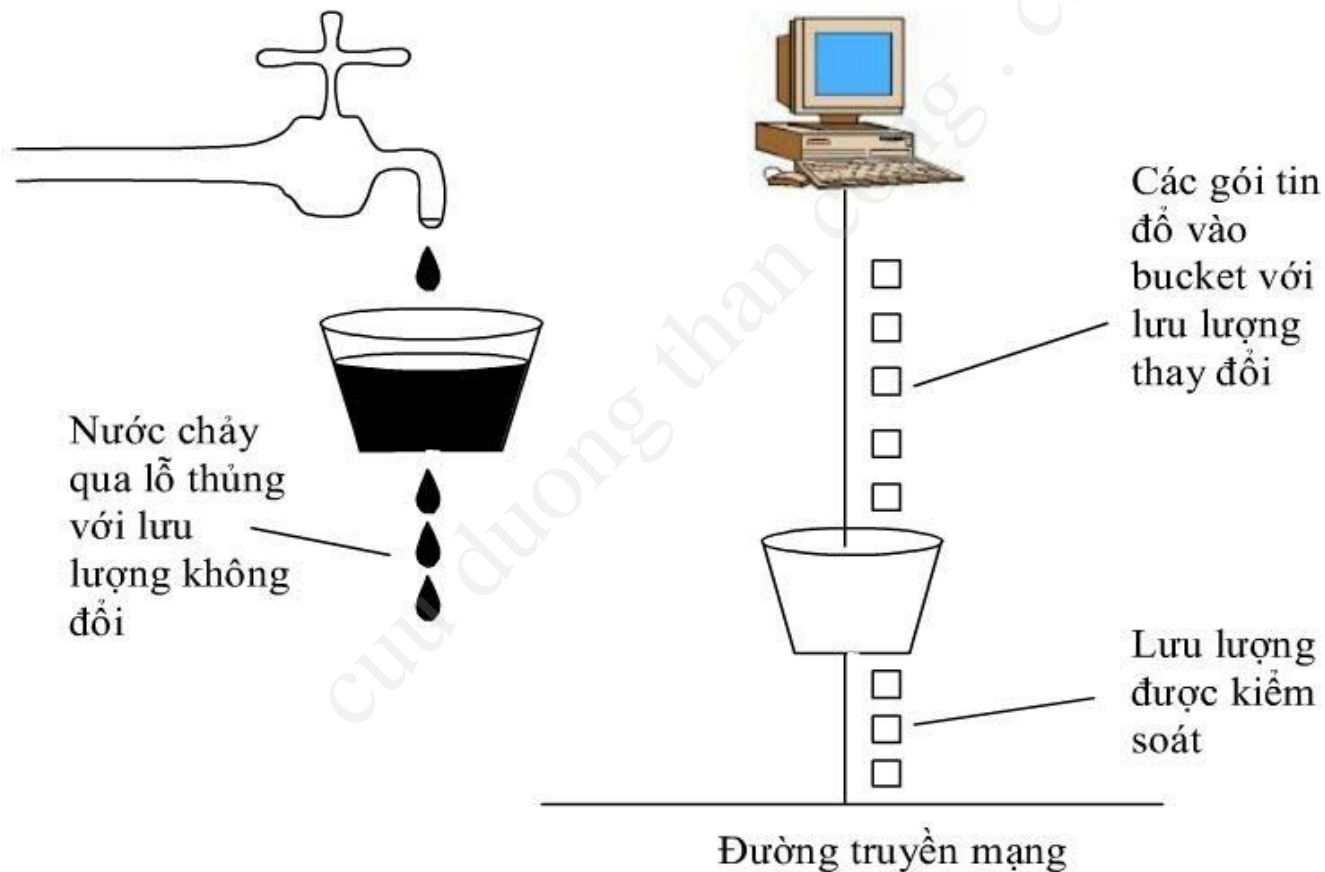


# Phân loại



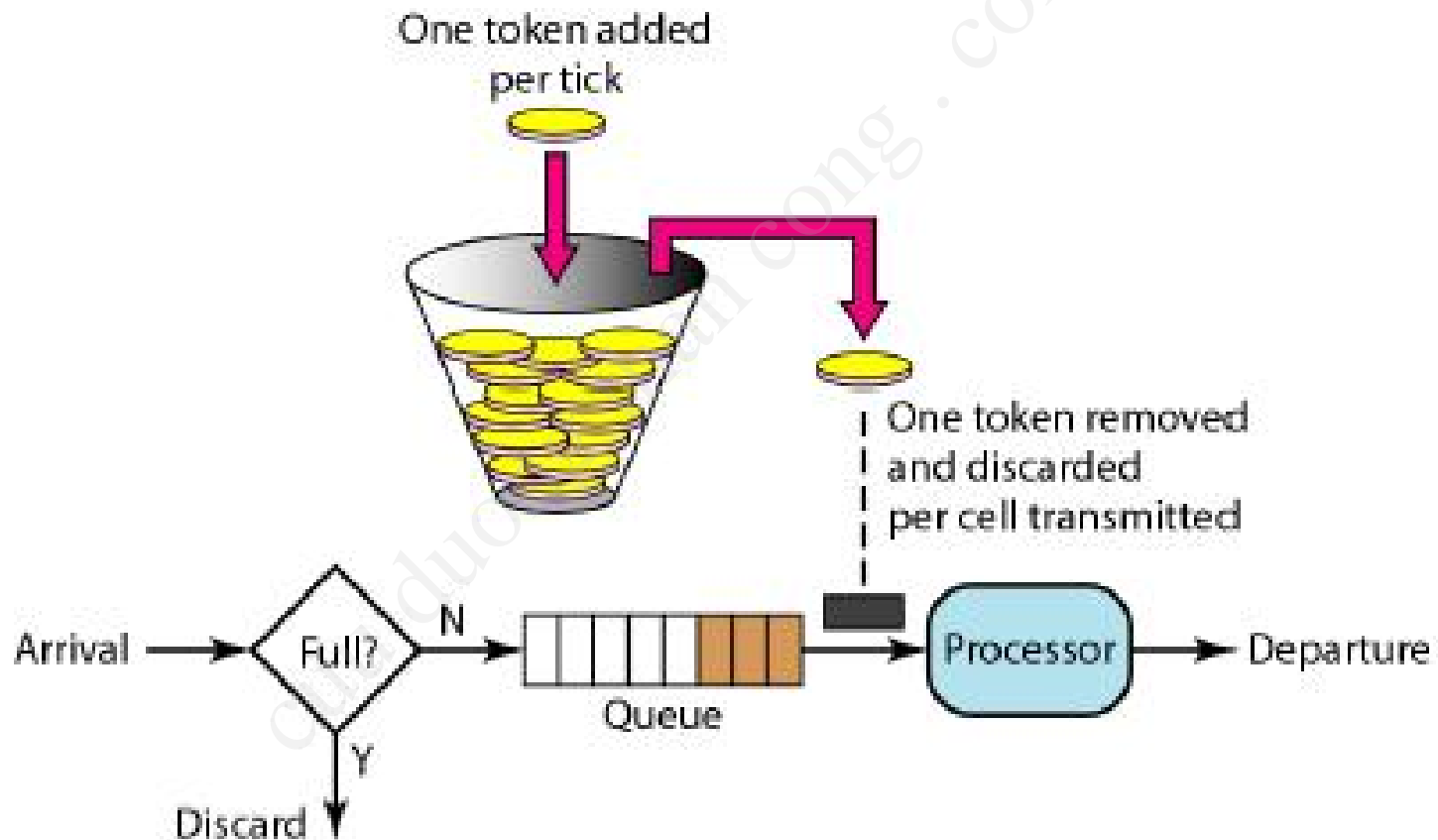
# Open-loop congestion control

- Thuật toán thùng rò (Leaky Bucket)



# Open-loop congestion control

- Thuật toán Token Bucket



# Close-loop congestion control

---

- **Phản hồi ẩn (implicit feedback):**
  - bên phát sử dụng time-out để xác định liệu có xảy ra tắc nghẽn hay không, ví dụ TCP
- **Phản hồi hiện (explicit feedback):**
  - một số bản tin tường minh được gửi đến nguồn phát
- **Điều khiển theo tốc độ**
  - điều khiển một cách trực tiếp tốc độ truyền tại phía gửi (nguồn gửi tin)
- **Điều khiển theo kích thước cửa sổ**
  - điều khiển gián tiếp tốc độ truyền thông qua việc thay đổi kích thước cửa sổ

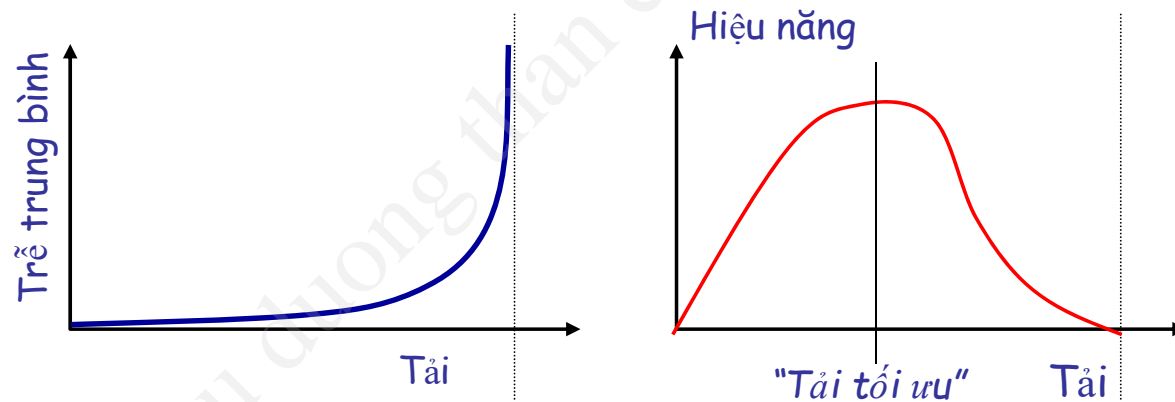
# Close-loop congestion control

---

- Các bước điều khiển vòng đóng
  - Bước một: theo dõi hệ thống để phát hiện tắc nghẽn xảy ra khi nào và ở đâu
  - Bước hai: nơi phát hiện ra tắc nghẽn cần phải chuyển thông tin về sự tắc nghẽn đến những nơi có thể phản ứng lại
  - Bước ba: điều chỉnh lại hệ thống để sửa chữa sự cố

# Chống tắc nghẽn trong TCP

- Nguyên tắc
  - Timeout
  - 3dupack
- Hoạt động



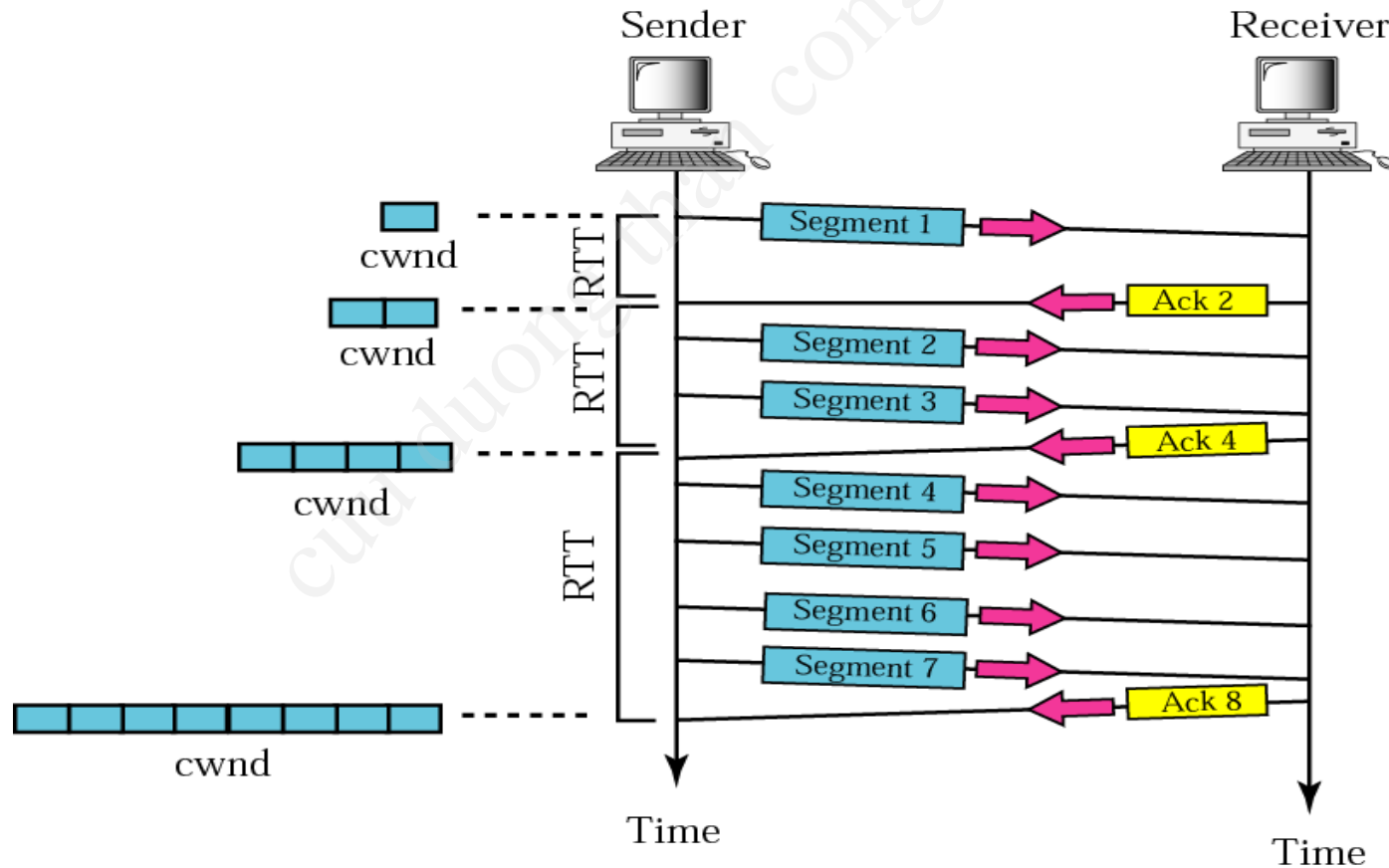
$$\text{Window} = \min\{\text{ReceiveWindow}, \text{CongestionWindow}\}$$

Rwnd bên thu

Cwnd bên phát

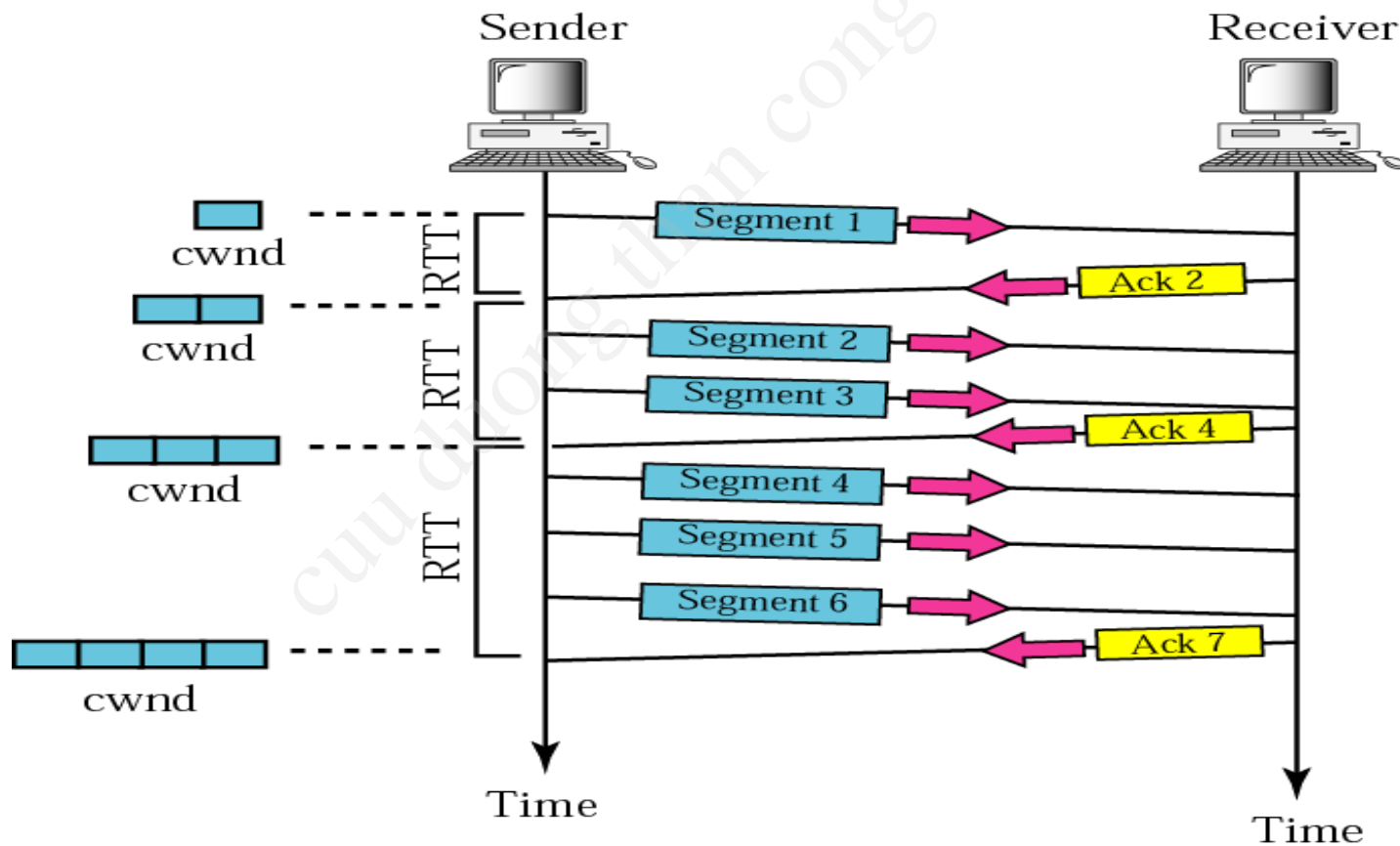
# Slow Start

- Giai đoạn khởi đầu chậm SS (Slow Start)
  - $Cwnd := 1 \text{ MSS}$  (Maximum Segment Size)
  - Nhận được ACK  $\rightarrow Cwnd := Cwnd * 2$



# Congestion Avoidance

- Giai đoạn chống tắc nghẽn CA (Congestion Avoidance)
  - $Cwnd := Cwnd + 1$  sau mỗi RTT không có lỗi cho đến khi có nghẽn



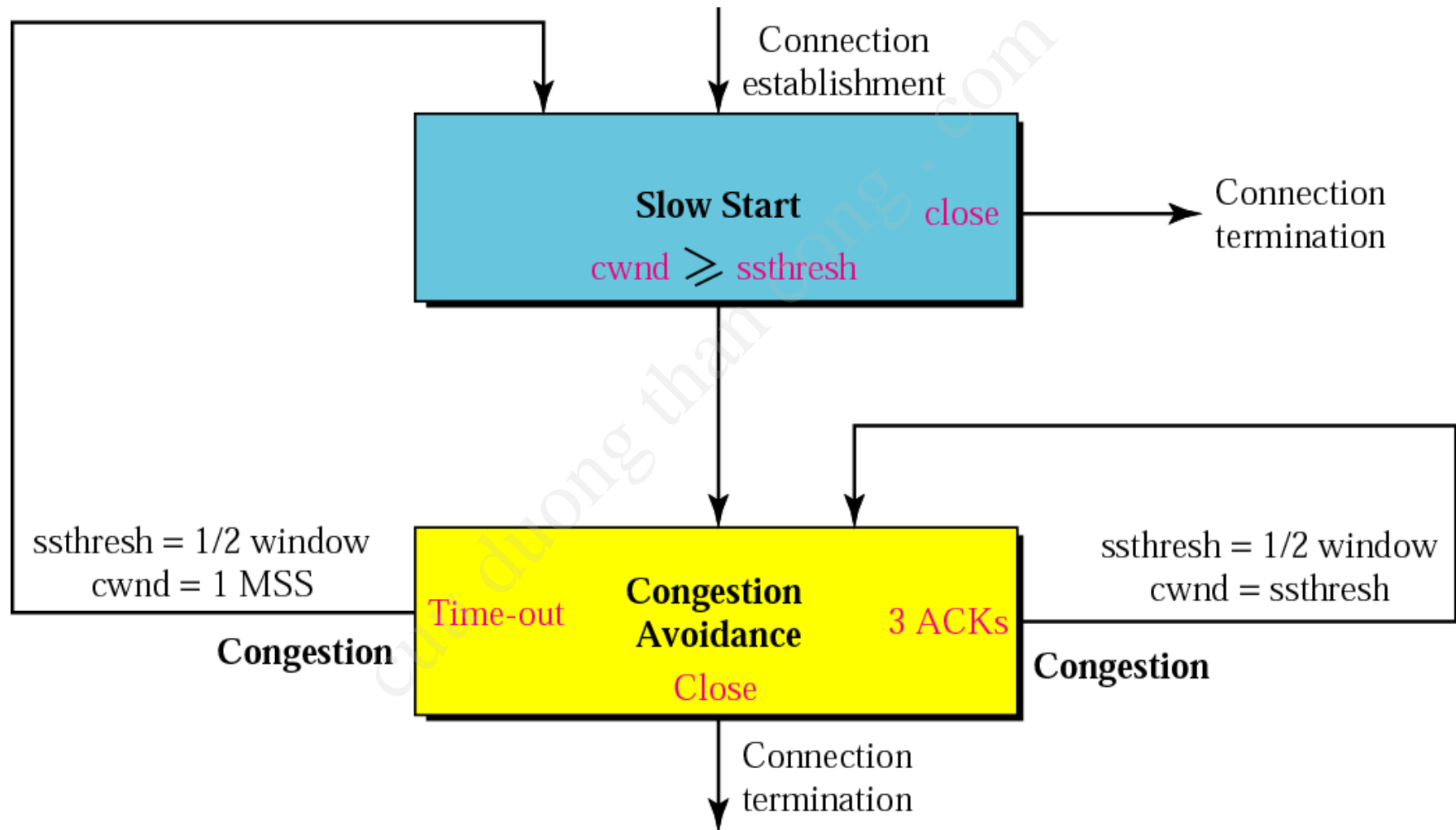


# Congestion Avoidance

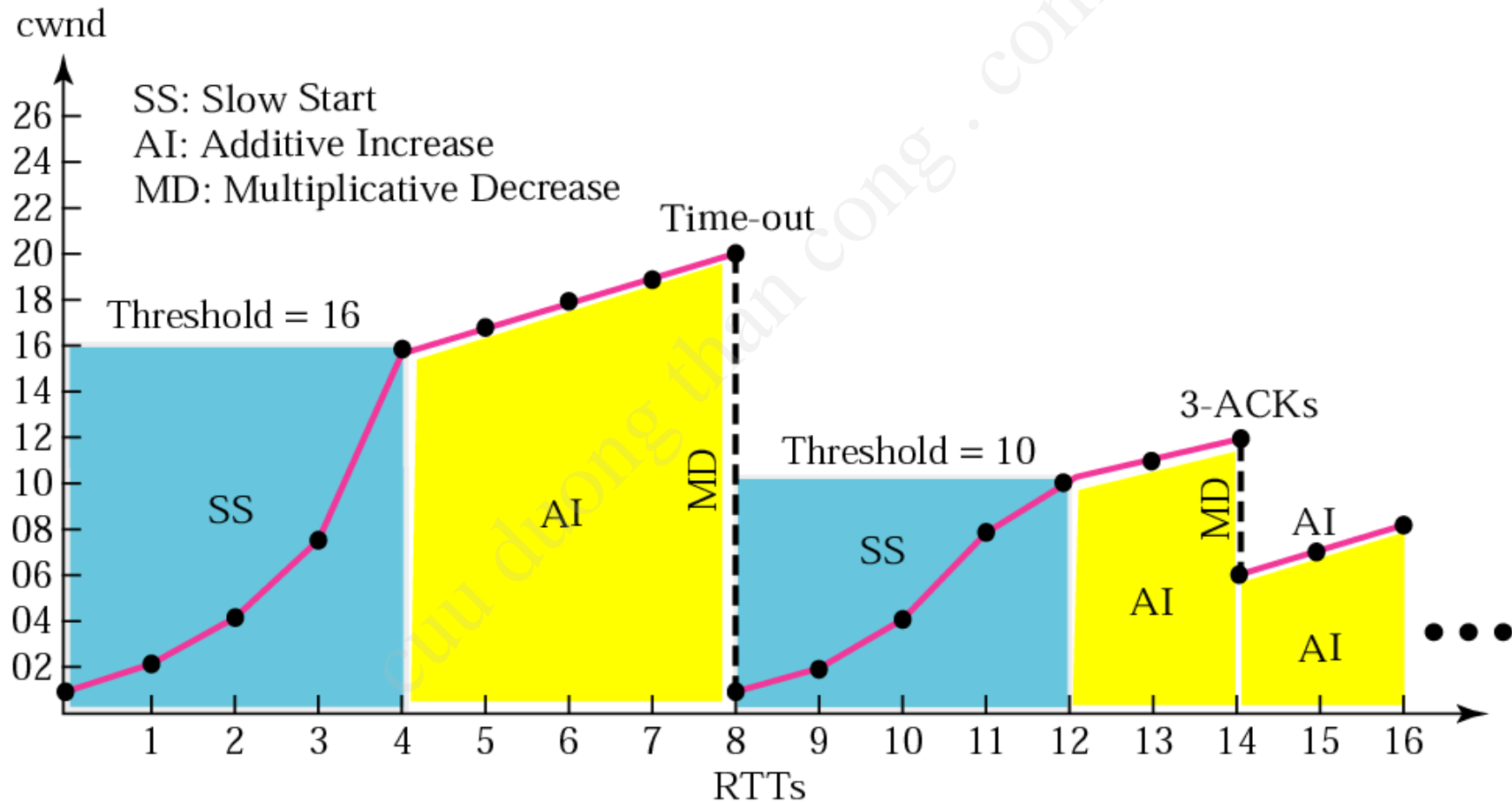
---

- Dấu hiệu tắc nghẽn:
  - $RTT > \text{Timeout}$  mà không nhận được ACK
    - $ssthresh := Cwnd/2$  (giảm theo cấp số nhân)
    - $Cwnd := 1$
    - TCP chuyển về trạng thái slow start (SS)
  - Nhận được 3 Ack (báo nhận lặp)
    - Đặt ngưỡng  $ssthresh$  xuống còn một nửa giá trị hiện tại của  $Cwnd$ :  $ssthresh := cwnd/2$
    - Đặt  $Cwnd$  bằng  $\frac{1}{2}$  giá trị hiện tại:  $Cwnd := Cwnd/2$
    - TCP quay lại trạng thái chống tắc nghẽn (CA)

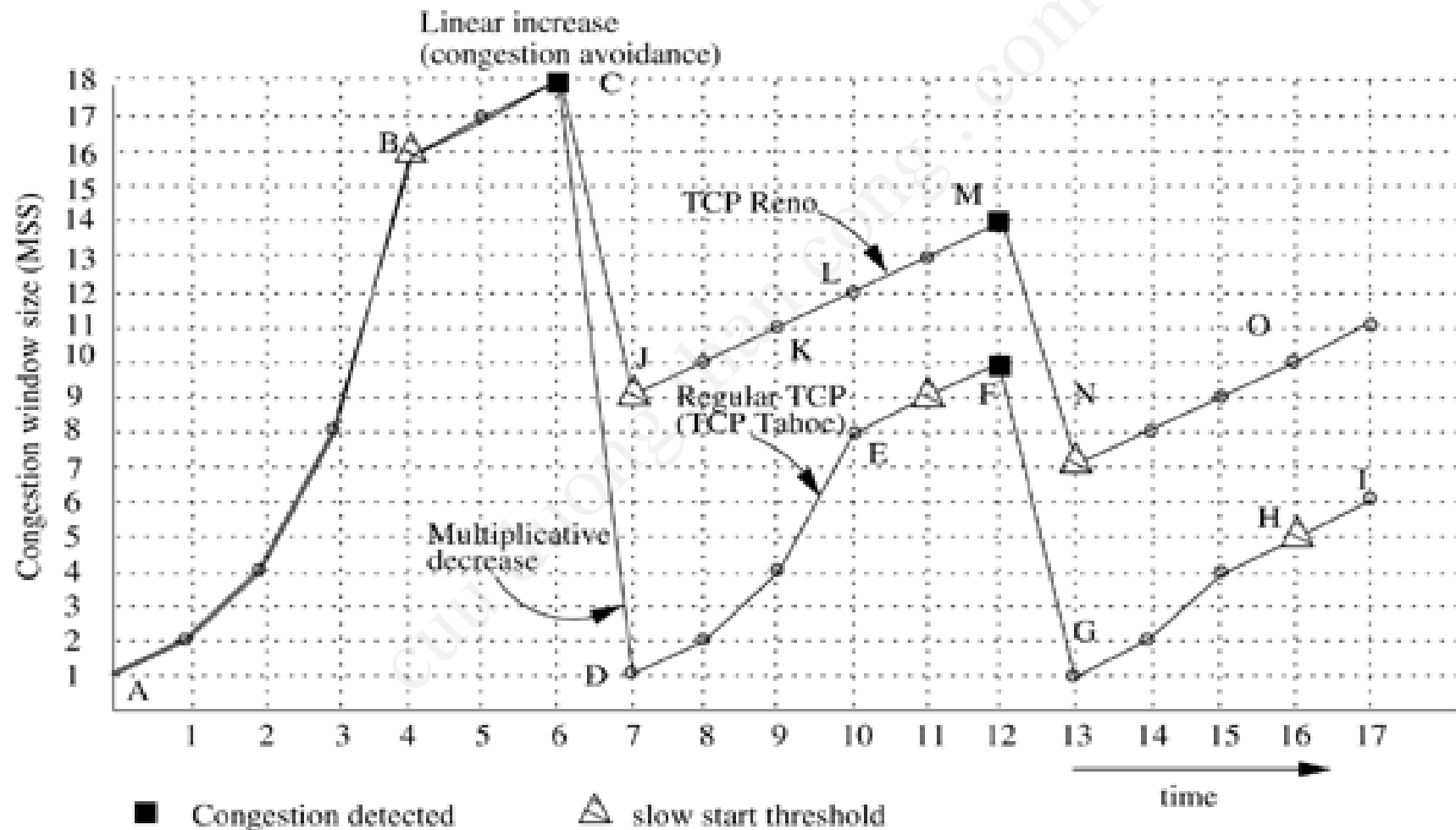
# TCP Congestion control



# Ví dụ

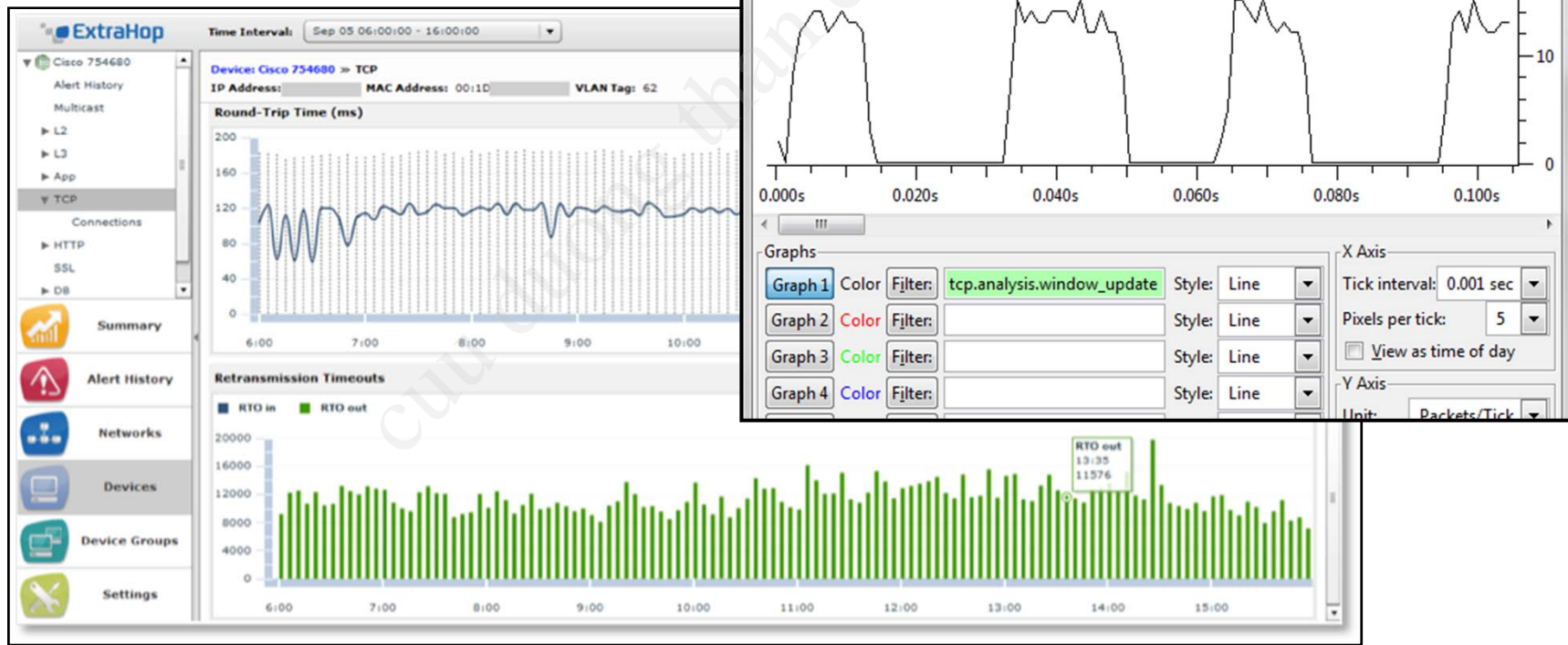


# TCP Tahoe and Reno



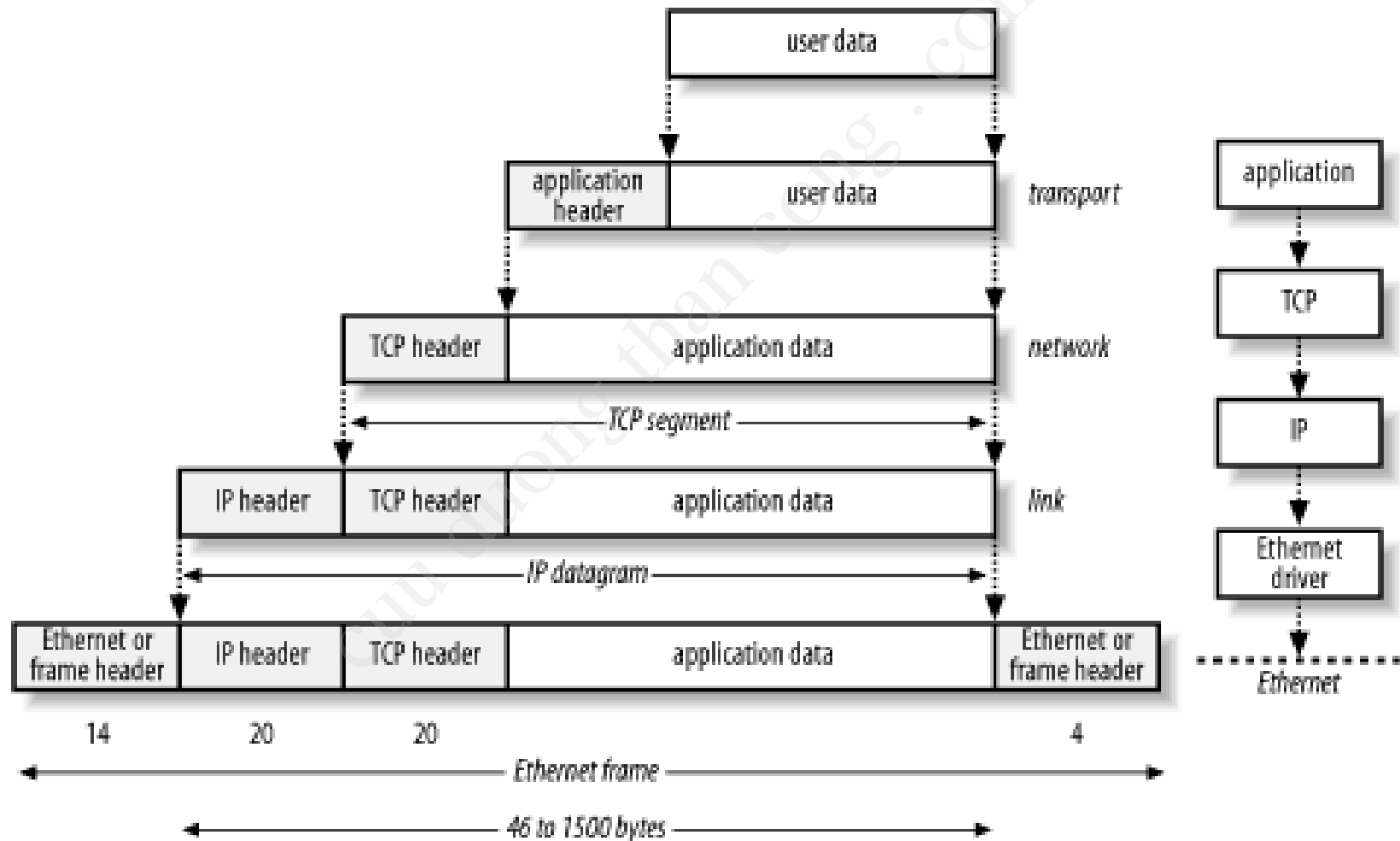
# TCP Performance problems

- So sánh TCP trên Windows với MacOSX
  - Hệ thống WIFI
  - Data message: 100KB



# TCP Performance problems

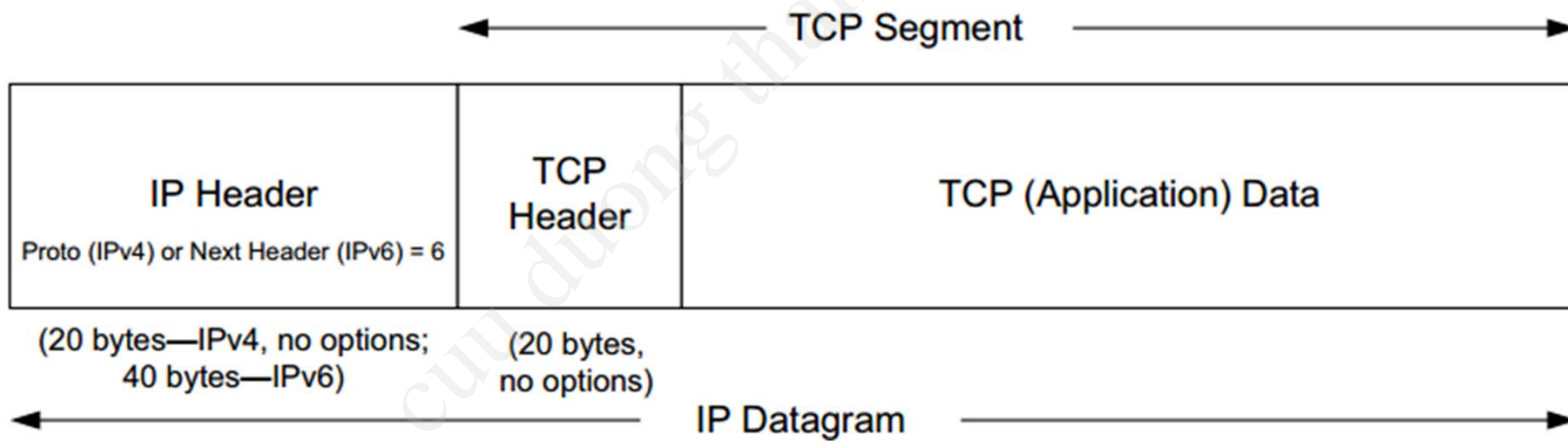
- TCP/IP Data Encapsulation



# TCP Performance problems

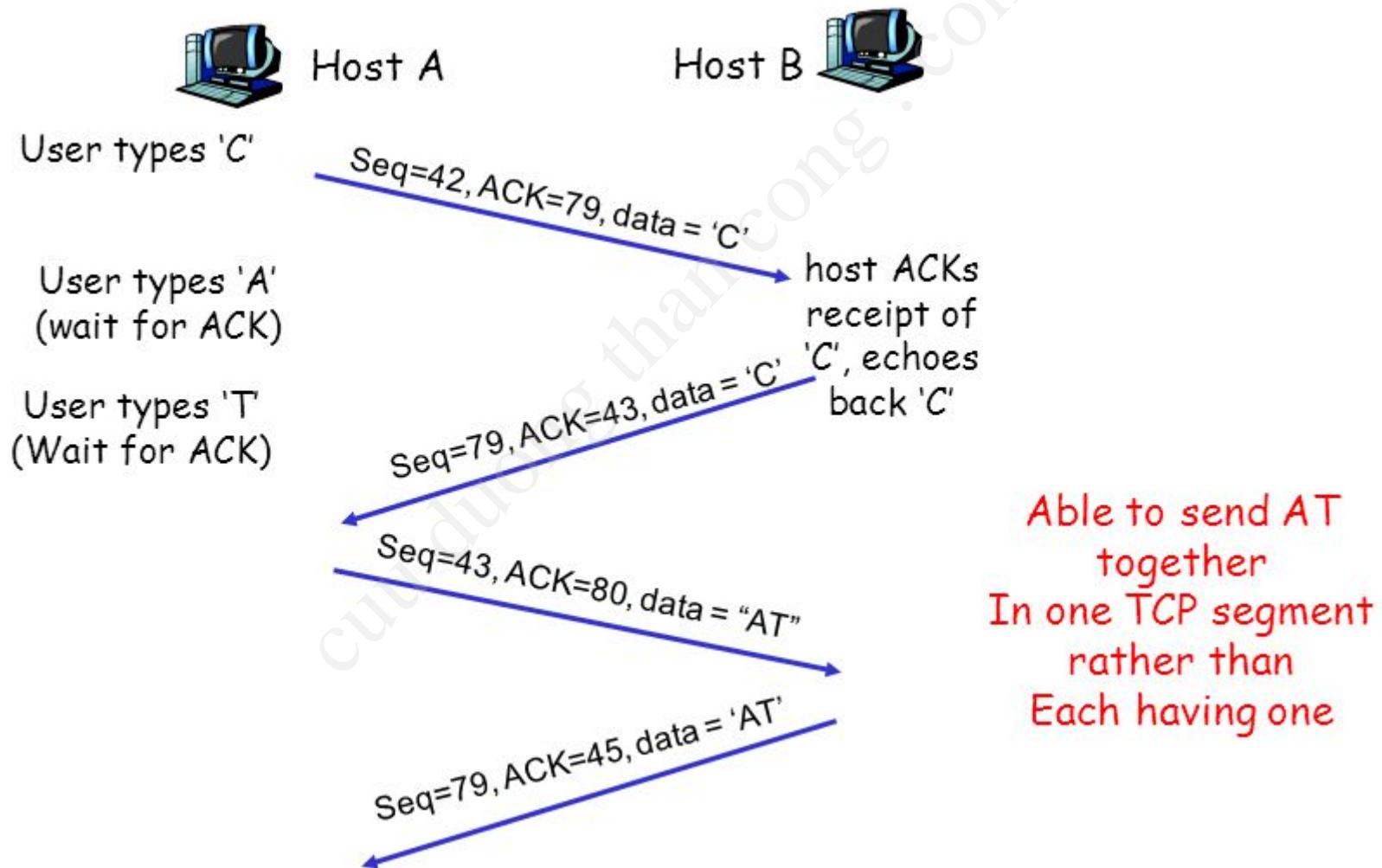
## ■ TCP Segment

- MSS:  $576 - 40 = 536$  (mặc định, X25)
- MSS:  $1500 - 40 = 1460$  (Ethernet)



# TCP Performance problems

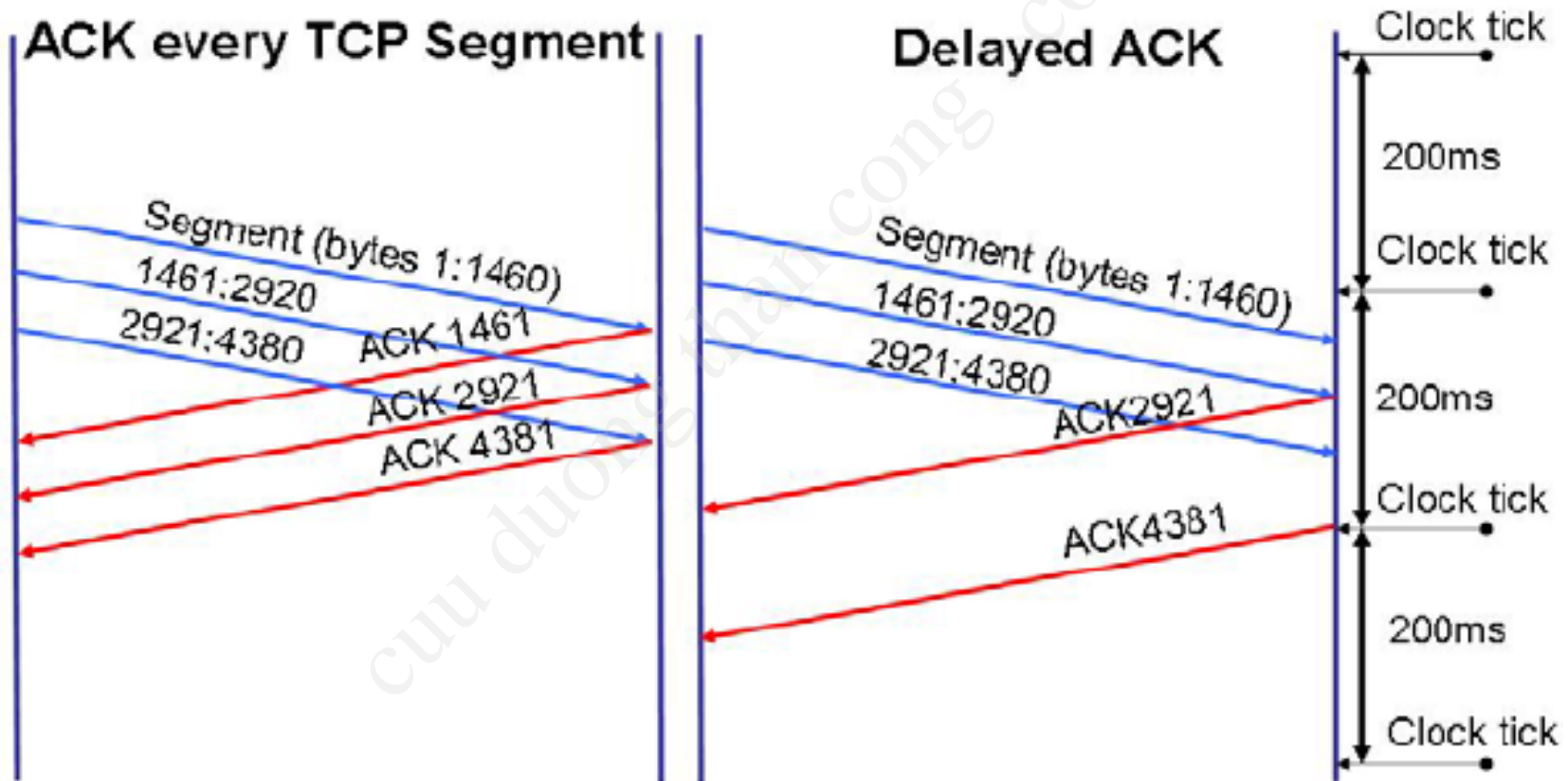
- Nagle's Algorithm





# TCP Performance problems

- Delayed ACK (hồi âm muộn)



# TCP Performance problems

- Timestamp (option)

- Timestamp = 12 byte
- MSS =  $1500 - 52 = 1448$  byte

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1
Type	Code	Checksum	
Identifier		Sequence Number	
Originate Timestamp			
Receive Timestamp			
Transmit Timestamp			

# TCP Performance problems

---

## ■ Windows

- 68 mẫu x 1460 bytes + mẫu 720 bytes (no timestamp)
- Bên gửi gửi đi 68 mẫu (đầy MSS nên gửi ngay), và giữ lại mẫu cuối (720 bytes) chờ hồi âm của mẫu 68
- Bên nhận dùng luật hồi âm kép nên sẽ hồi âm cho các mẫu 2, 4, ..., 68 ngay lập tức, và cuối cùng khi bên gửi nhận được hồi âm của mẫu 68 sẽ gửi ngay mẫu lẻ cuối cùng

## ■ MacOSX

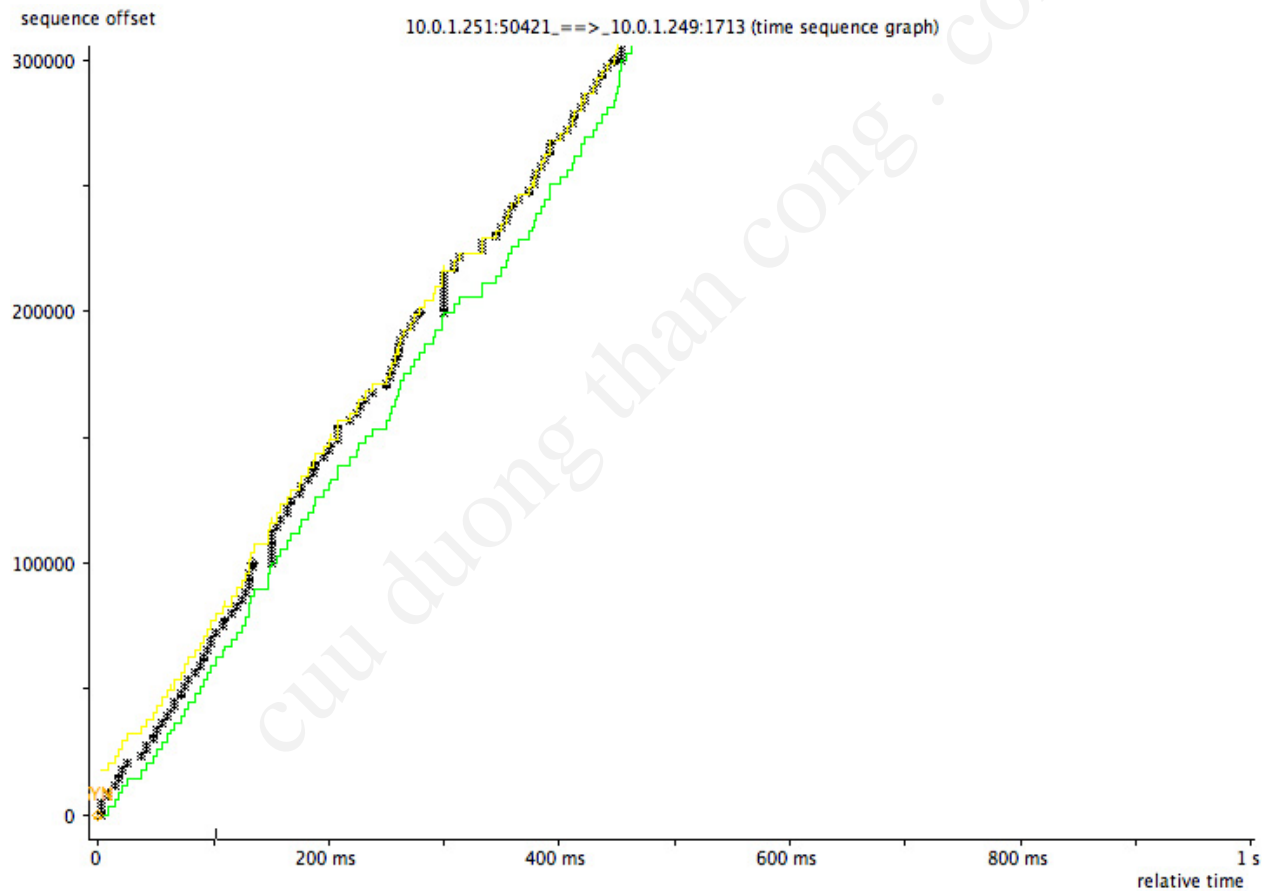
- 69 mẫu 1448 bytes + mẫu 88 bytes (có timestamp)
- Bên gửi gửi đi 69 mẫu (đầy MSS nên gửi ngay), và giữ lại mẫu cuối (88 bytes) chờ hồi âm mẫu 69
- Bên nhận theo luật hồi âm kép, nên sẽ hồi âm cho các mẫu 2, 4, ..., 68 ngay lập tức, nhưng giữ lại không hồi âm mẫu 69 ngay

## ■ Kết quả:

- Cứ mỗi 100KB thì MacOSX bị chậm lại 200ms!

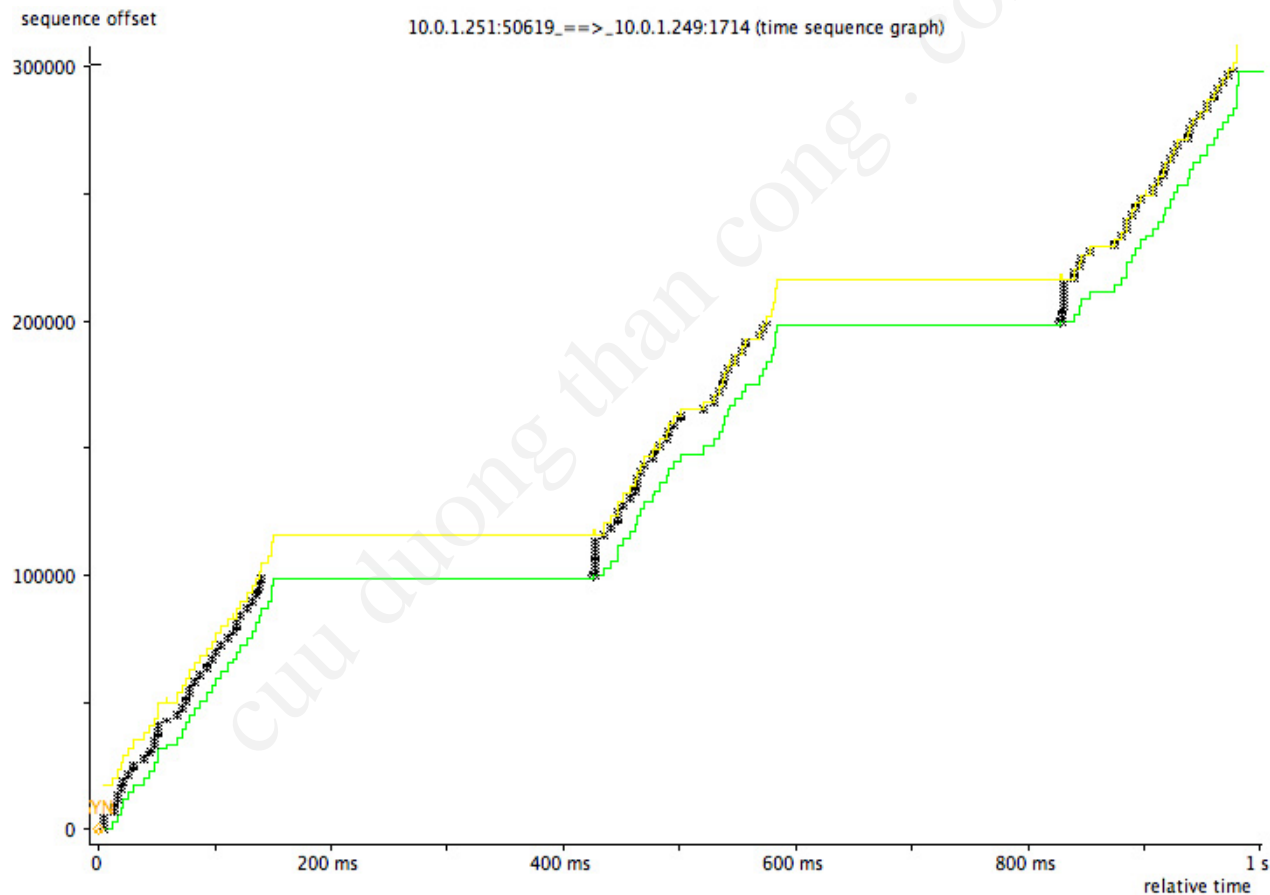
# TCP Performance problems

- Windows



# TCP Performance problems

- MacOSX



# BÀI TẬP

---

- **Bài 1:**

Xét tính hiệu quả của việc sử dụng cơ chế SS với một liên kết có  $RTT=10ms$  và không có tắc nghẽn. Cho biết  $Rwnd = 24\text{ KB}$  và  $MSS = 2\text{ KB}$ . Cần bao nhiêu thời gian trước khi cửa sổ thu đầy đủ có thể được gửi đi?

- **Bài 2:**

Giả sử một kết nối TCP sử dụng cửa sổ tắc nghẽn  $Cwnd = 18\text{ KB}$  thì xảy ra timeout. Tính kích thước cửa sổ nếu 4 lần truyền sau đó đều thành công. Giải thiết kích thước segment tối đa là  $1\text{ KB}$

- **Bài 3:**

A TCP machine is sending full windows of 65,535 bytes over a 1-Gbps channel that has a 10-msec one-way delay. What is the maximum throughput achievable? What is the line efficiency?