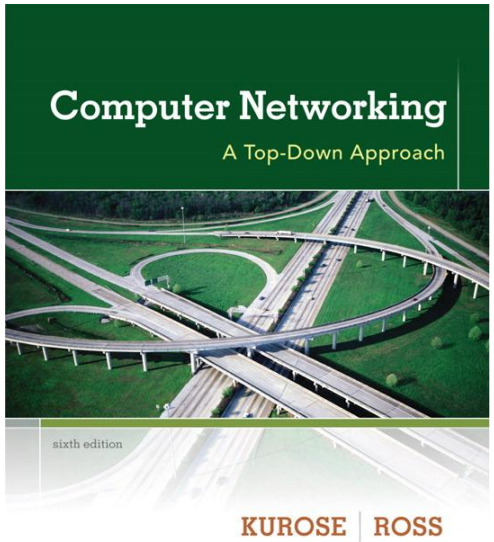
Chương 3
Tầng Vận chuyển (Transport layer)



A note on the use of these ppt slides:

We're making these slides freely available to all (faculty, students, readers). They're in PowerPoint form so you see the animations; and can add, modify, and delete slides (including this one) and slide content to suit your needs. They obviously represent a *lot* of work on our part. In return for use, we only ask the following:

- If you use these slides (e.g., in a class) that you mention their source (after all, we'd like people to use our book!)
- If you post any slides on a www site, that you note that they are adapted from (or perhaps identical to) our slides, and note our copyright of this material.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

Computer Networking: A Top Down Approach
6th edition
Jim Kurose, Keith Ross
Addison-Wesley
March 2012

Chương 3: Tầng Vận chuyển

Mục tiêu:

- Hiểu về các nguyên lý đằng sau các dịch vụ tầng Vận chuyển:
  - multiplexing/demultiplexing
  - Truyền dữ liệu tin cậy
  - Điều khiển luồng (flow control)
  - Điều khiển tắc nghẽn (congestion control)
- Tìm hiểu về các giao thức tầng Vận chuyển trên Internet:
  - UDP: vận chuyển phi kết nối
  - TCP: vận chuyển tin cậy hướng kết nối (connection-oriented reliable transport)
  - Điều khiển tắc nghẽn TCP

Chương 3: Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

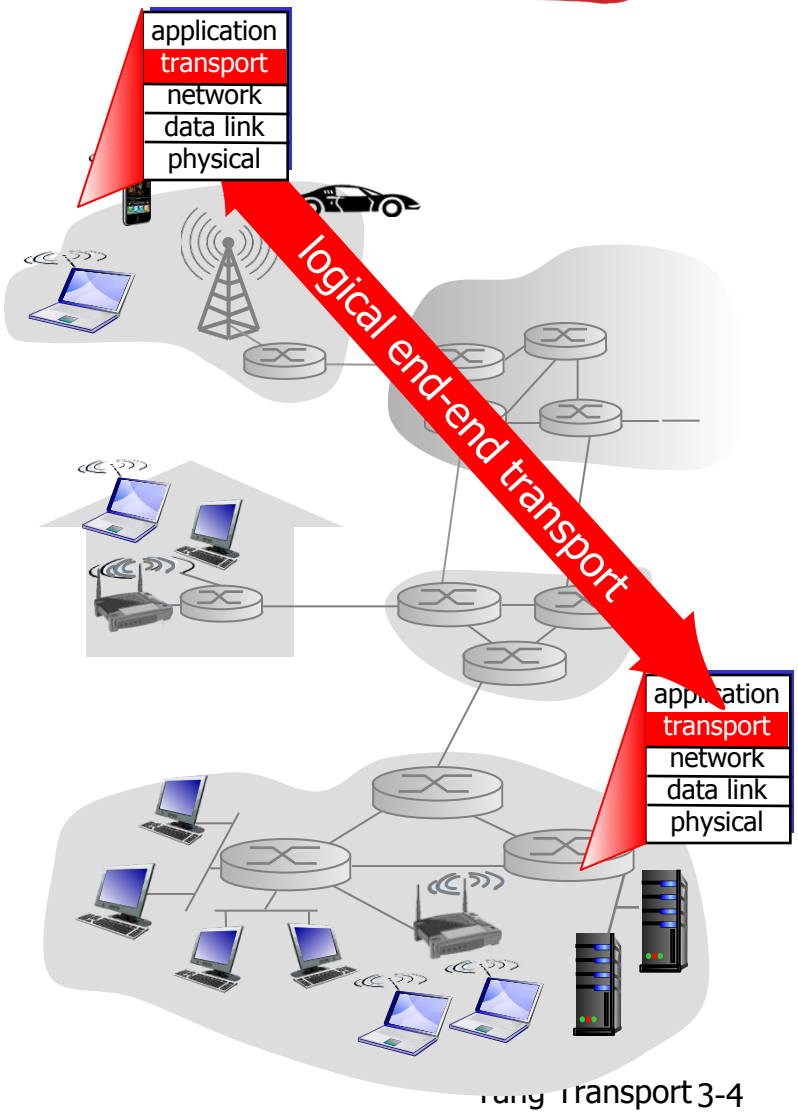
- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

Các giao thức và dịch vụ tầng Vận chuyển

- Cung cấp *truyền thông logic* giữa các tiến trình ứng dụng đang chạy trên các host khác nhau
- Các giao thức (protocol) chạy trên các hệ thống đầu cuối
  - Phía gửi: chia nhỏ các thông điệp (message) ứng dụng thành các *segments*, sau đó chuyển các segments này cho tầng Mạng
  - Phía nhận: tái kết hợp các segments thành các thông điệp (message), các thông điệp này được chuyển lên tầng Ứng dụng
- Có nhiều hơn 1 giao thức tầng Vận chuyển dành cho các ứng dụng
  - Internet: TCP và UDP



Quan hệ giữa Tầng Vận chuyển và tầng Mạng

- *Tầng Mạng:* truyền thông logic giữa các host
- *Tầng Vận chuyển:* truyền thông logic giữa các tiến trình
  - Dựa trên dịch vụ tầng Mạng

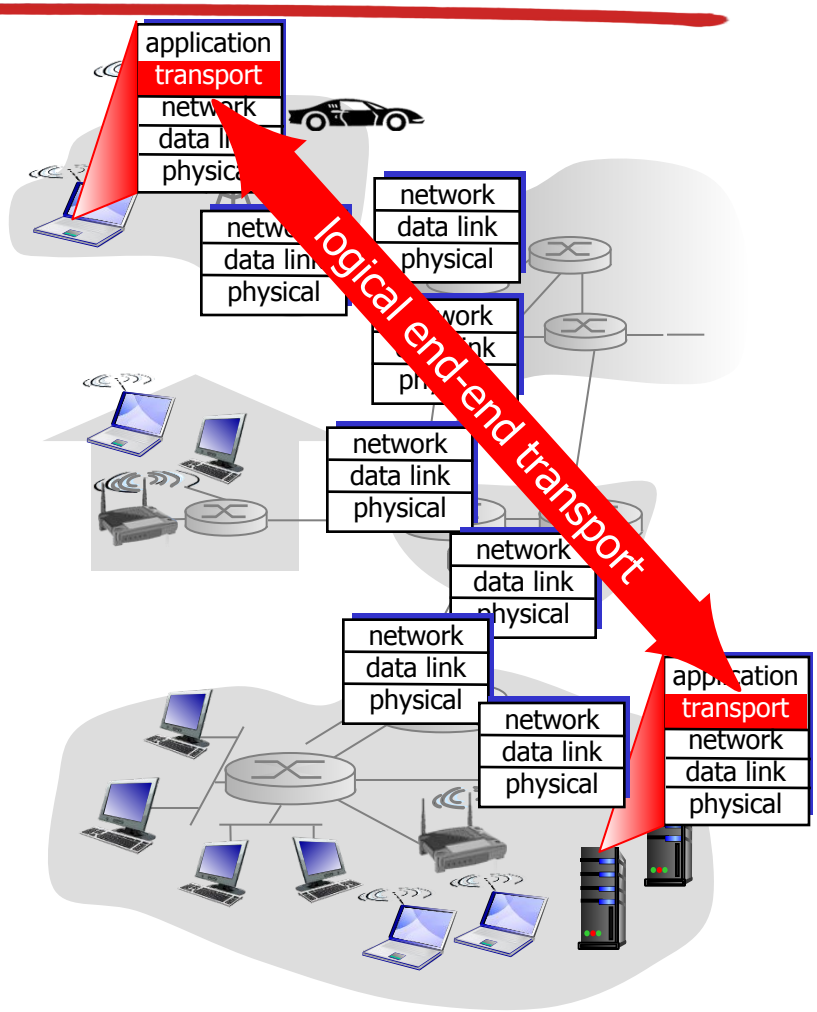
Tình huống tương tự:

12 đứa trẻ ở nhà Ann gửi những bức thư đến 12 đứa trẻ ở nhà Bill:

- hosts = nhà
- Các tiến trình (processes) = những đứa trẻ
- Thông điệp tầng Ứng dụng = các bức thư trong các phong bì
- Giao thức tầng Vận chuyển = Ann and Bill
- Giao thức tầng Mạng= dịch vụ bưu điện

Các giao thức tầng Vận chuyển trên Internet

- Tin cậy, truyền theo thứ tự (TCP)
  - Điền khiển tắc nghẽn
  - Điều khiển luồng
  - Thiết lập kết nối
- Không tin cậy, truyền không theo thứ tự: UDP
  - Không rườm rà, "nỗ lực tốt nhất" (best-effort)
- Không có các dịch vụ:
  - Bảo đảm độ trễ
  - Bảo đảm băng thông



Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

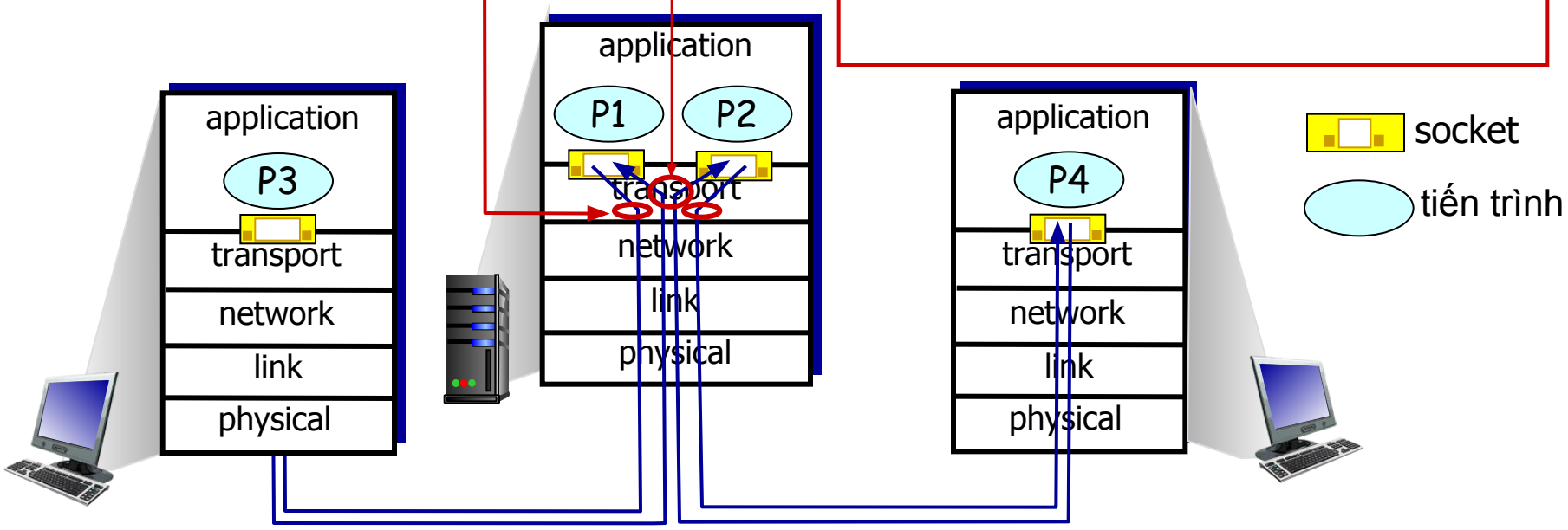
Multiplexing/demultiplexing

Multiplexing tại bên gửi:

xử lý dữ liệu từ nhiều socket, thêm thông tin header về tầng Vận chuyển vào segment (được sử dụng sau cho demultiplexing)

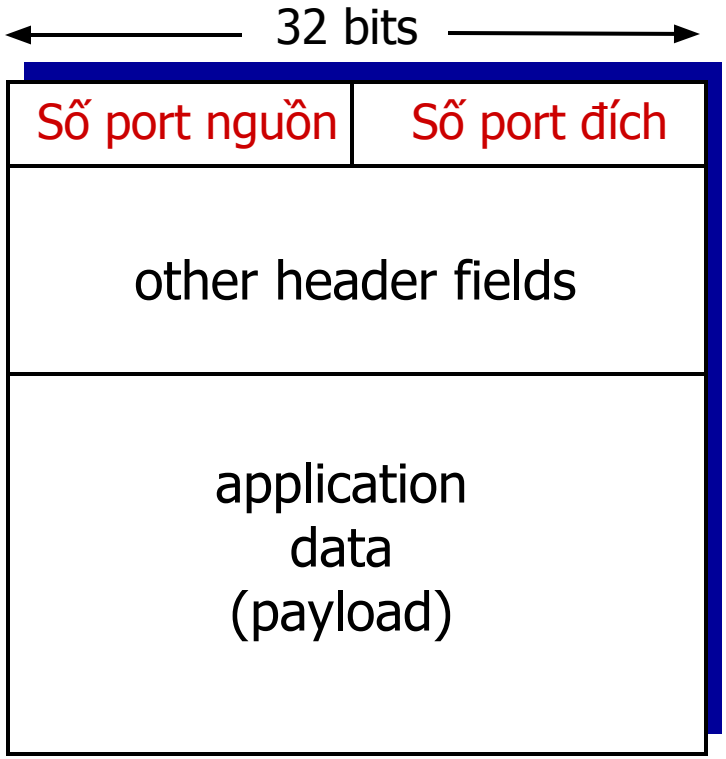
demultiplexing tại bên nhận:

sử dụng thông tin trong header để chuyển segment vừa nhận vào đúng socket



demultiplexing làm việc như thế nào

- host nhận các gói dữ liệu (datagram) IP
  - Mỗi gói dữ liệu có địa chỉ IP nguồn và đích
  - Mỗi gói dữ liệu mang một segment tầng Vận chuyển
  - Mỗi segment có số port nguồn và đích
- host dùng các địa chỉ IP và số port để gởi segment đến socket thích hợp



Định dạng segment TCP/UDP

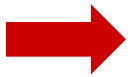
Demultiplexing không kết nối

- *Ôn lại:* socket đã tạo có số port của host cục bộ (host-local port #) :

DatagramSocket mySocket1 = new DatagramSocket(12534);

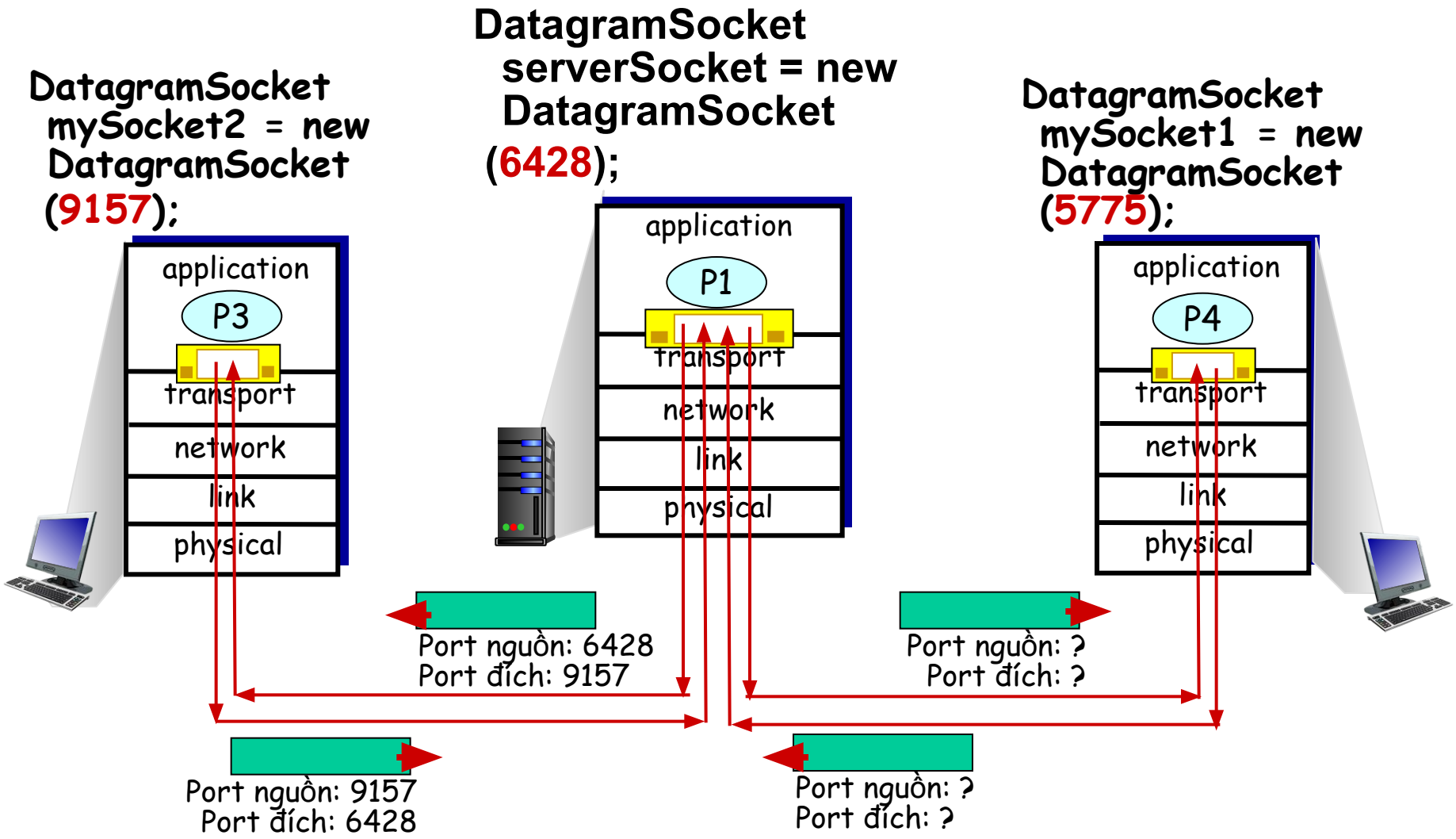
- *Ôn lại:* khi tạo gói dữ liệu (datagram) để gởi vào đến socket UDP socket, phải xác định
  - Địa chỉ IP đích
  - Số port đích

- Khi host nhận segment UDP :
  - Kiểm tra số port đích trong segment
  - Đưa segment UDP đến socket có số port đó



Các gói dữ liệu IP với cùng số port đích, nhưng khác địa chỉ IP nguồn và/hoặc khác số port nguồn sẽ được chuyển đến cùng socket tại máy đích

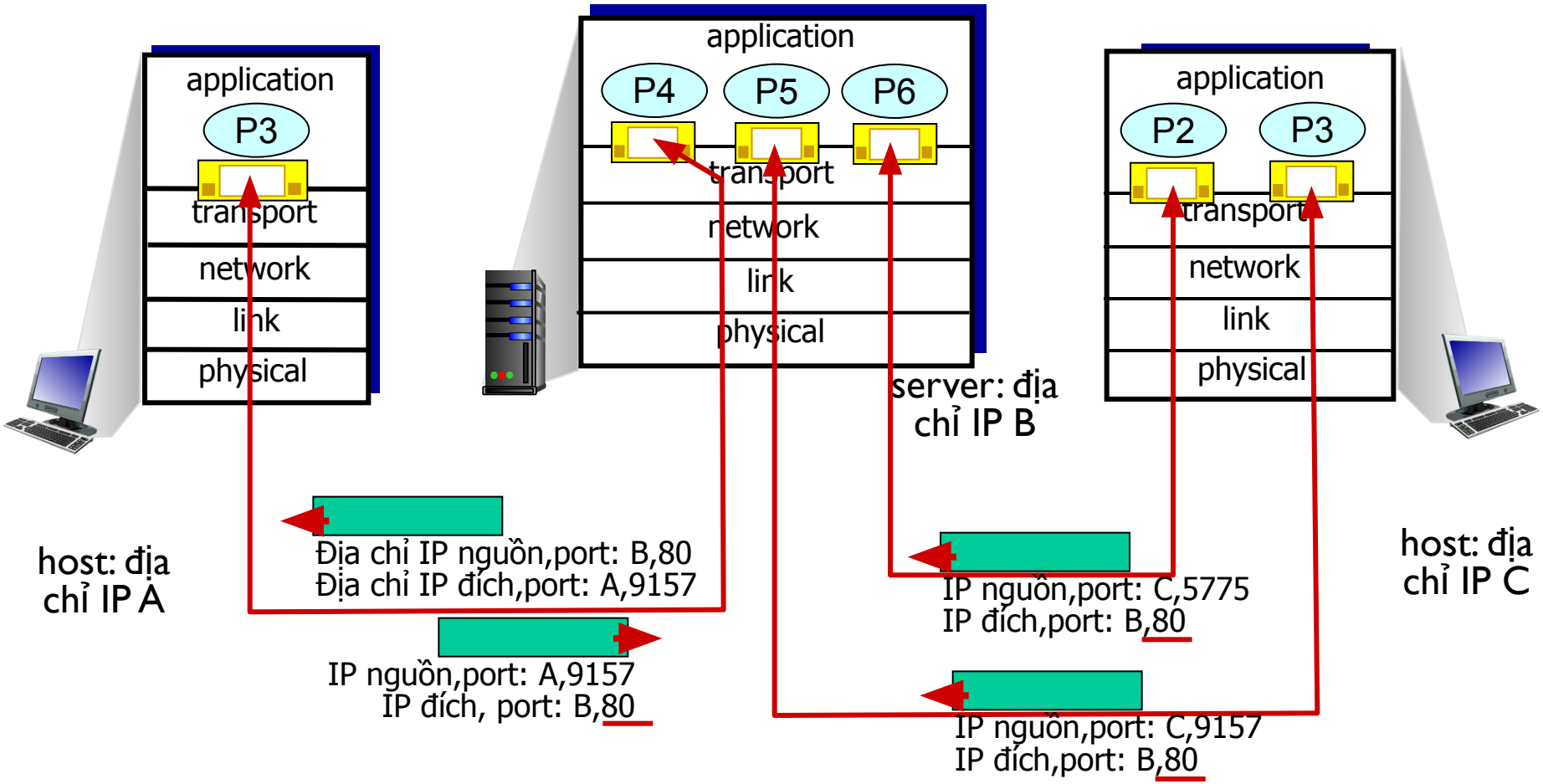
Demultiplexing không kết nối: ví dụ



Demux hướng kết nối

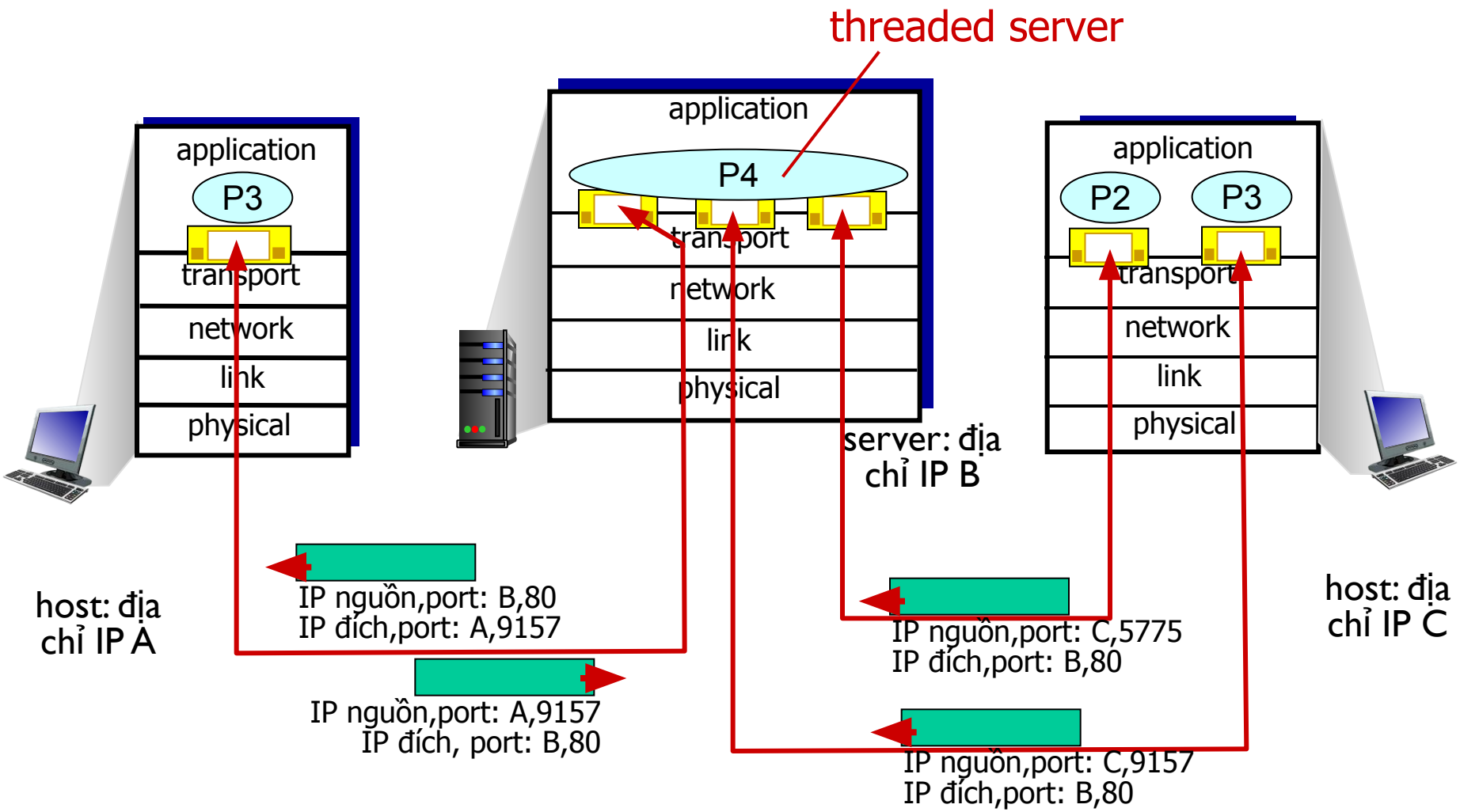
- Socket TCP được xác định bởi 4 yếu tố:
  - Địa chỉ IP nguồn
  - Số port nguồn
  - Địa chỉ IP đích
  - Số port đích
- demux: nơi nhận dùng tất cả 4 giá trị trên để điều hướng segment đến socket thích hợp
- host server có thể hỗ trợ nhiều socket TCP đồng thời:
  - Mỗi socket được xác định bởi bộ 4 của nó
- Các web server có các socket khác nhau cho mỗi kết nối từ client
  - Kết nối HTTP không bền vững sẽ có socket khác nhau cho mỗi yêu cầu

Demultiplexing hướng kết nối: ví dụ



Ba segment, tất cả được đưa đến địa chỉ IP: B,
Port đích: 80 được demultiplex đến các socket khác nhau

Demultiplexing hướng kết nối: ví dụ



Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

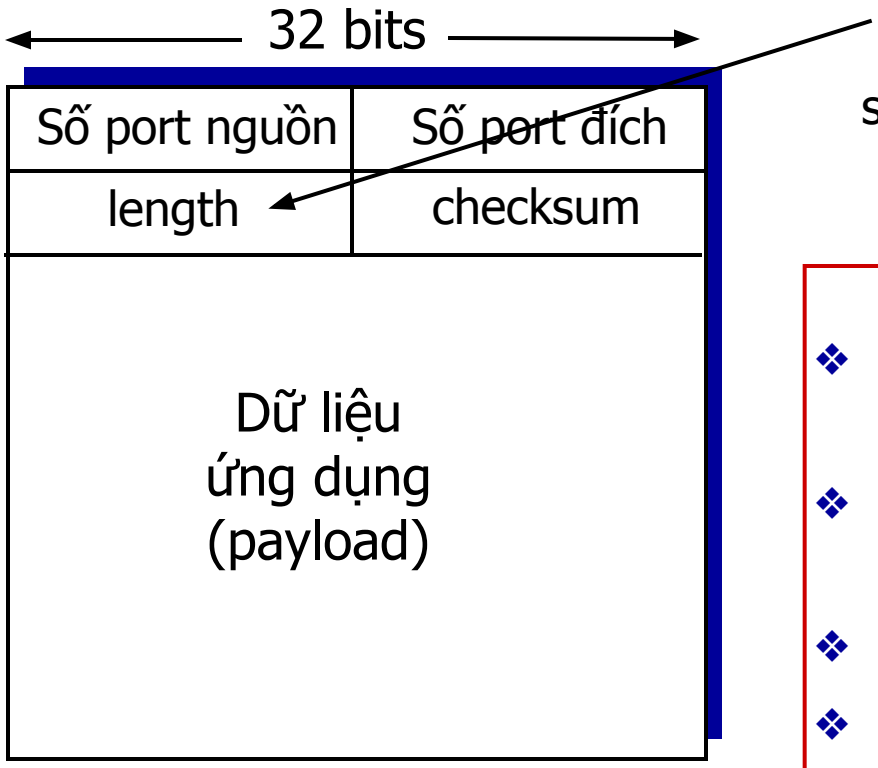
3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

UDP: User Datagram Protocol [RFC 768]

- "đơn giản," "bare bones" là giao thức thuộc tầng Vận chuyển
- Dịch vụ "best effort" ("nỗ lực tốt nhất"), các segment UDP có thể bị:
  - Mất mát
  - Vận chuyển không theo thứ tự đến ứng dụng đích
- *Connectionless (phi kết nối):*
  - Không bắt tay giữa bên nhận và gửi UDP
  - Mỗi segment UDP được xử lý độc lập

- Ứng dụng UDP:
  - Các ứng dụng đa phương tiện trực tuyến (chịu mất mát(loss tolerant), (cần tốc độ) (rate sensitive))
  - DNS
  - SNMP
- Truyền tin cậy trên UDP:
  - Thêm độ tin cậy tại tầng Ứng dụng
  - Phục hồi lỗi tại các ứng dụng cụ thể!

UDP: segment header



Định dạng segment UDP

Độ dài được tính bằng byte của segment UDP, bao gồm cả header

Tại sao có UDP?

- Không thiết lập kết nối (có thể gây ra độ trễ)
- Đơn giản: không trạng thái kết nối tại nơi gửi và nhận
- Kích thước header nhỏ
- Không điều khiển tắc nghẽn: UDP có thể gửi dữ liệu nhanh như mong muốn

UDP checksum

Mục tiêu: dò tìm "các lỗi" (các bit cờ được bật) trong các segment đã được truyền

bên gửi:

- Xét nội dung của segment, bao gồm các trường của header, là chuỗi các số nguyên 16-bit
- checksum: tổng bù 1 của các chuỗi số 16 bit trong nội dung segment
- Bên gửi đặt giá trị checksum vào trường checksum UDP

bên nhận:

- Tính toán checksum của segment đã nhận
- Kiểm tra giá trị trên có bằng với giá trị trong trường checksum hay không:
  - NO – có lỗi xảy ra
  - YES – không có lỗi. *Nhưng có thể còn lỗi khác nữa không?* Xem phần sau….

Internet checksum: ví dụ

Ví dụ: cộng 2 số nguyên 16 bit

	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
bit dư	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
tổng	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
checksum	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1

Lưu ý: khi cộng các số, bit nhớ ở phía cao nhất cần được thêm vào kết quả

Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

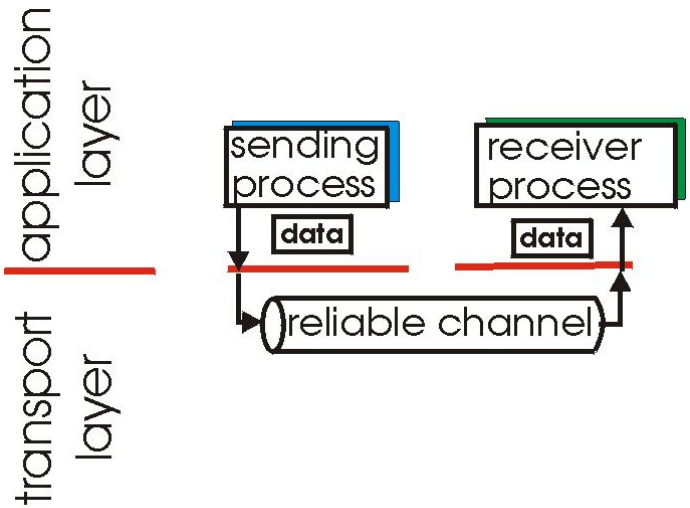
- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

Các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

- Quan trọng trong các tầng Ứng dụng, Vận chuyển và Liên kết dữ liệu
  - Top 10 danh sách các chủ đề mạng quan trọng

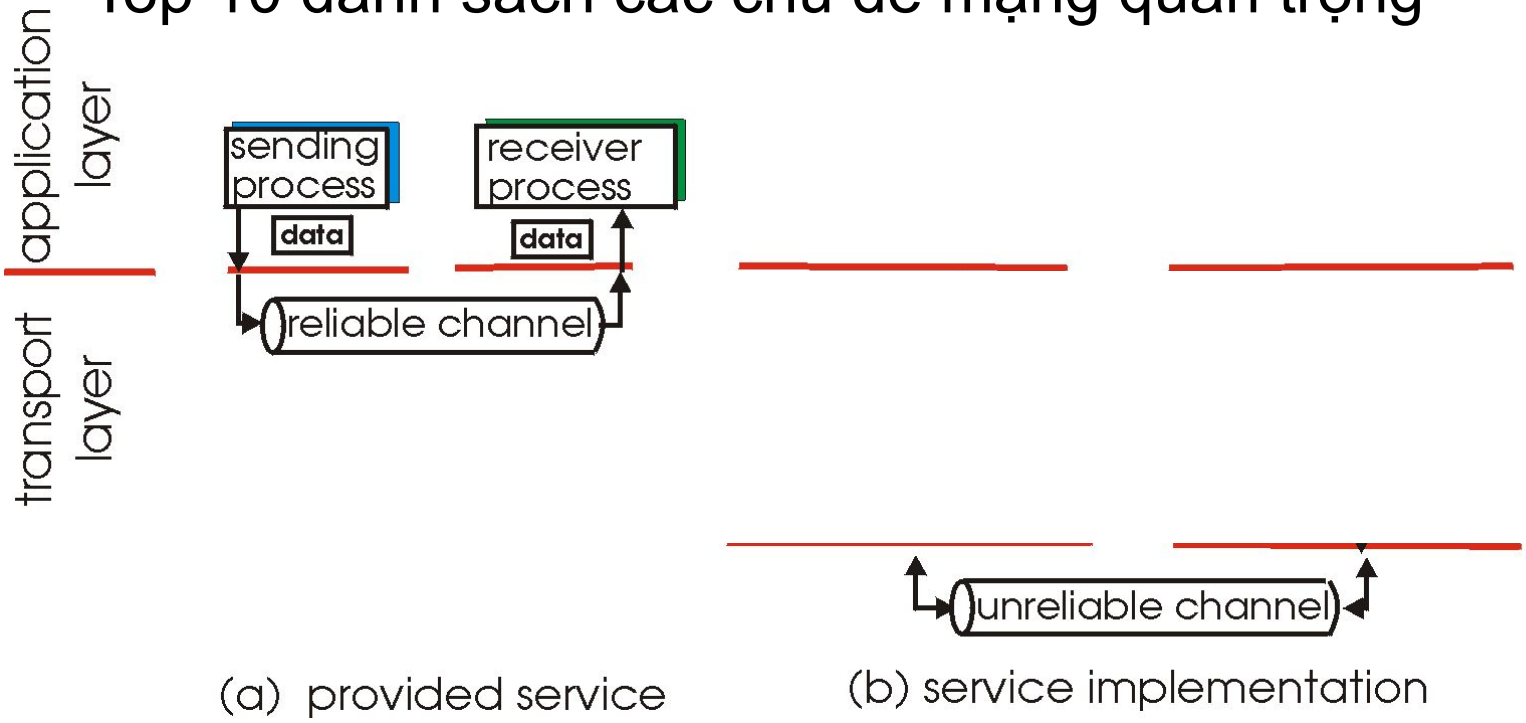


(a) provided service

- Các đặc điểm của kênh truyền không tin cậy sẽ xác định sự phức tạp của giao thức truyền dữ liệu (data transfer protocol) (rdt)

Các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

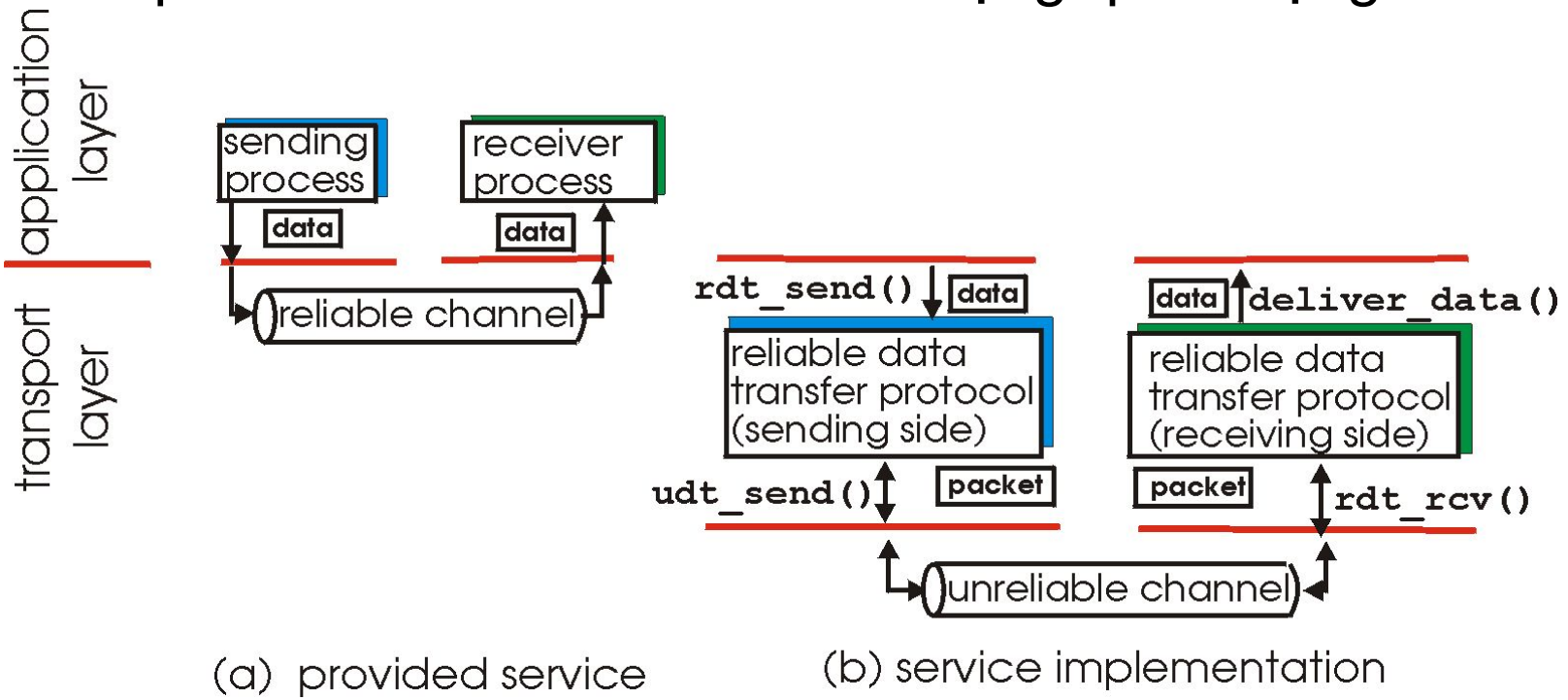
- Quan trọng trong các tầng Ứng dụng, Vận chuyển và Liên kết dữ liệu
  - Top 10 danh sách các chủ đề mạng quan trọng



- Các đặc điểm của kênh truyền không tin cậy sẽ xác định sự phức tạp của giao thức truyền dữ liệu (data transfer protocol) (rdt)

Các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

- quan trọng trong các tầng Ứng dụng, Vận chuyển và Liên kết dữ liệu
  - Top 10 danh sách các chủ đề mạng quan trọng

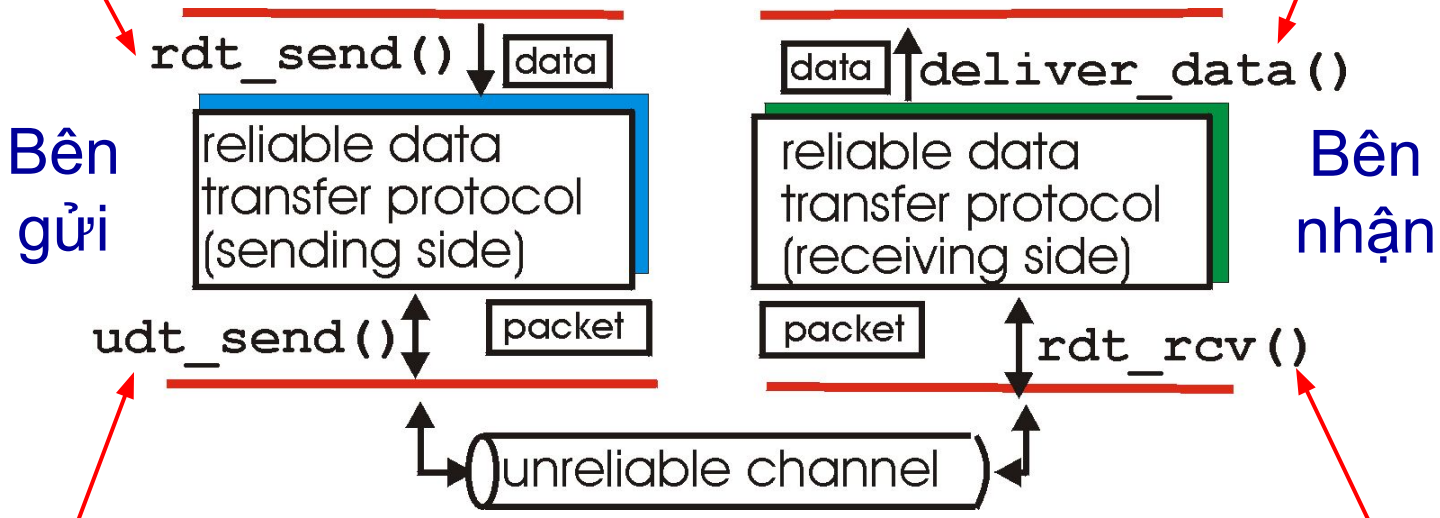


- Các đặc điểm của kênh truyền không tin cậy sẽ xác định sự phức tạp của giao thức truyền dữ liệu (data transfer protocol) (rdt)

Truyền dữ liệu tin cậy: bắt đầu

rdt_send(): được gọi bởi tầng trên, (tầng Ứng dụng). Chuyển dữ liệu cần truyền đến tầng Ứng dụng bên nhận

deliver_data(): được gọi bởi **rdt** để chuyển dữ liệu đến tầng cao hơn



udt_send(): được gọi bởi rdt, để truyền các gói trên kênh không tin cậy đến nơi nhận

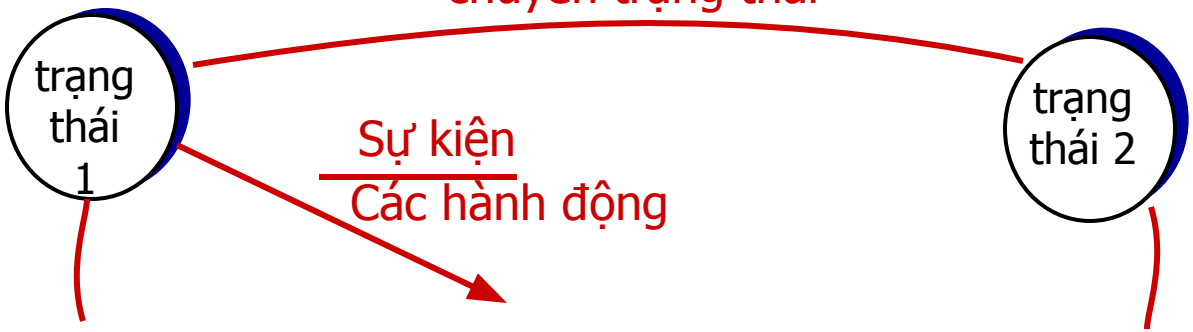
rdt_rcv(): được gọi khi gói dữ liệu đến kênh của bên nhận

Truyền dữ liệu tin cậy: bắt đầu

Chúng ta sẽ:

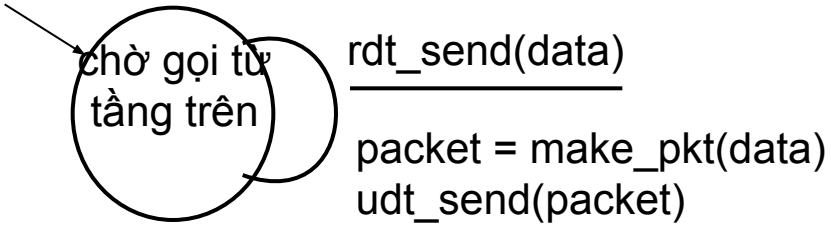
- Từng bước phát triển truyền dữ liệu tin cậy (rdt) bên phía người gửi và nhận
- Chỉ xem xét chuyển dữ liệu theo 1 hướng
  - Nhưng điều khiển thông tin sẽ theo cả 2 hướng!
- Sử dụng finite state machines (FSM) để xác định bên gửi và nhận

Trạng thái: khi ở "trạng thái" này thì trạng thái kế tiếp được xác định duy nhất bởi sự kiện kế tiếp

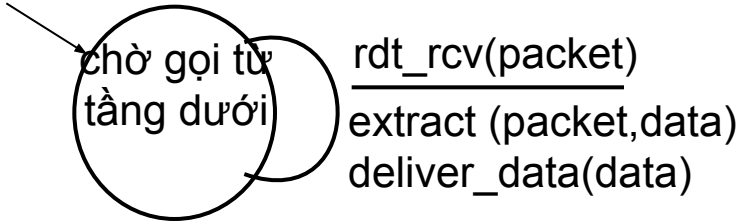


rdt1.0: truyền tin cậy trên 1 kênh tin cậy

- Kênh cơ bản tin cậy hoàn toàn (underlying channel perfectly reliable)
  - không có bit lỗi
  - không mất mát gói
- Các FSMs riêng biệt cho bên gửi và nhận:
  - Bên gửi gửi dữ liệu vào kênh cơ bản (underlying channel)
  - Bên nhận đọc dữ liệu từ kênh cơ bản (underlying channel)



bên gửi



bên nhận

rdt2.0: kênh với các lỗi

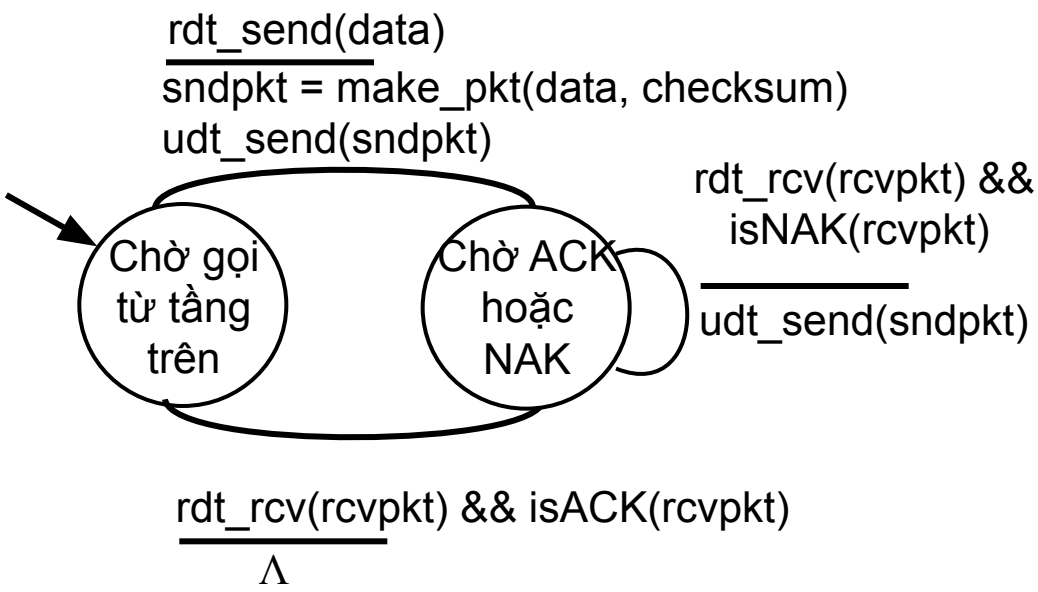
- Kênh cơ bản có thể đảo các bit trong packet
  - checksum để kiểm tra các lỗi
- *Câu hỏi*: làm sao khôi phục các lỗi:

Làm thế nào để con người phục hồi "lỗi" trong cuộc trò chuyện?

rdt2.0: kênh với các lỗi

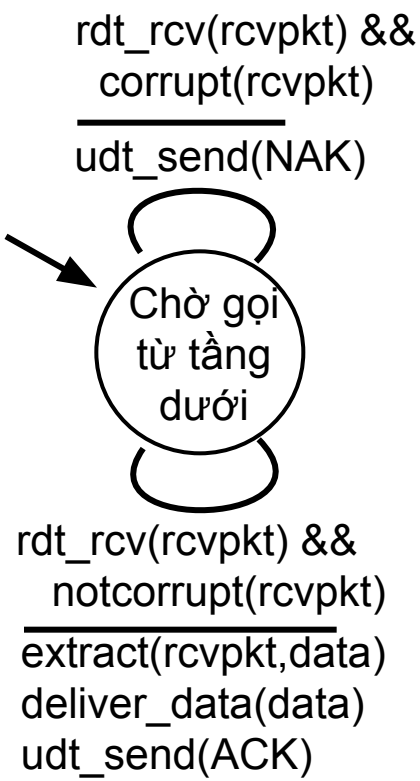
- Kênh cơ bản có thể đảo các bit trong packet
  - checksum để kiểm tra các lỗi
- *Câu hỏi*: làm sao khôi phục các lỗi:
  - *acknowledgements (ACKs):* bên nhận thông báo cho bên gửi rằng packet được nhận thành công (OK)
  - *negative acknowledgements (NAKs):* bên nhận thông báo cho bên gửi rằng packet đã bị lỗi
  - Bên gửi truyền lại gói nào được xác nhận là NAK
- Các cơ chế mới trong **rdt2.0** (sau **rdt1.0**):
  - Phát hiện lỗi
  - Phản hồi: các thông điệp điều khiển (ACK,NAK) từ bên nhận đến bên gửi

rdt2.0: đặc điểm kỹ thuật FSM

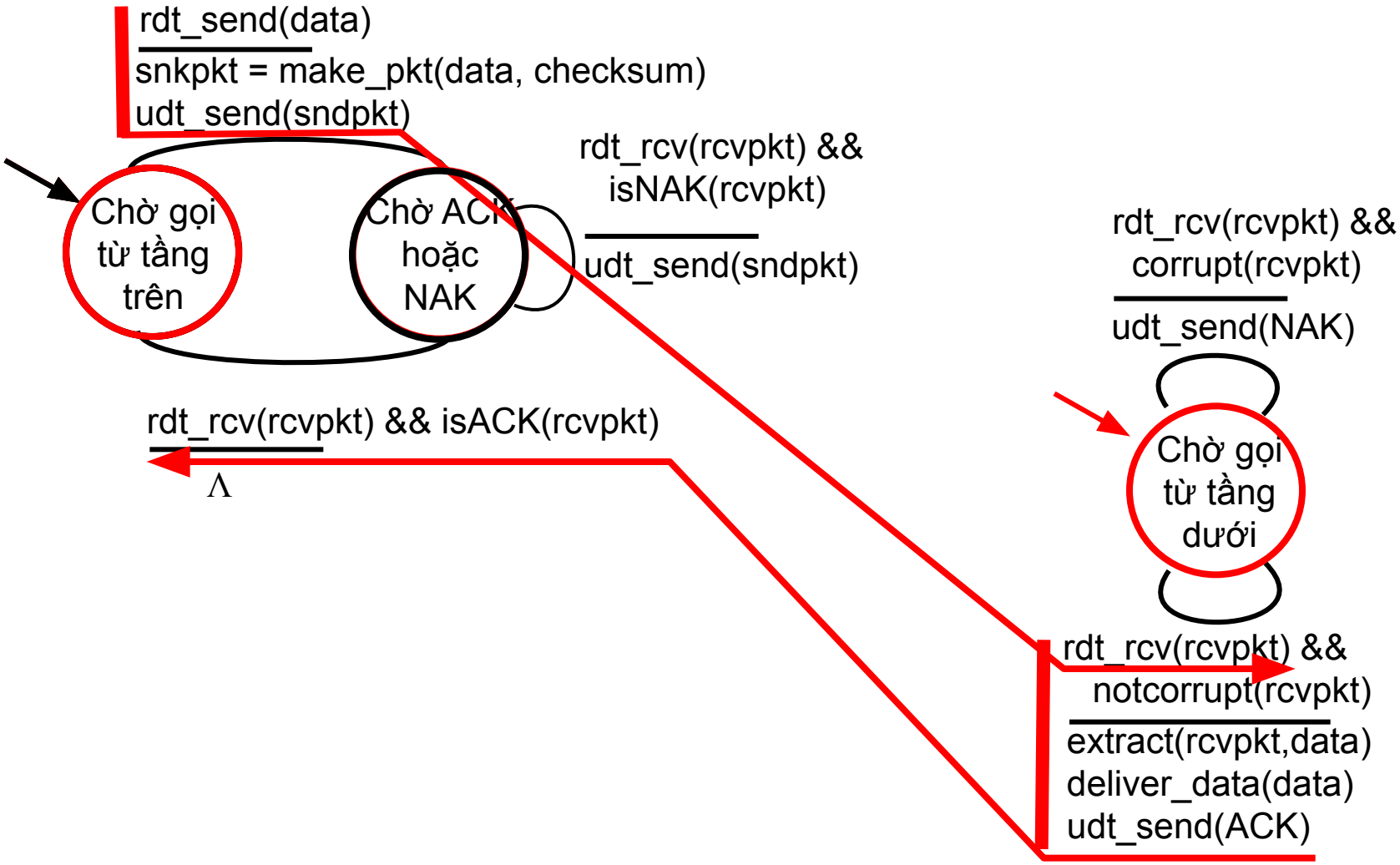


Bên gửi

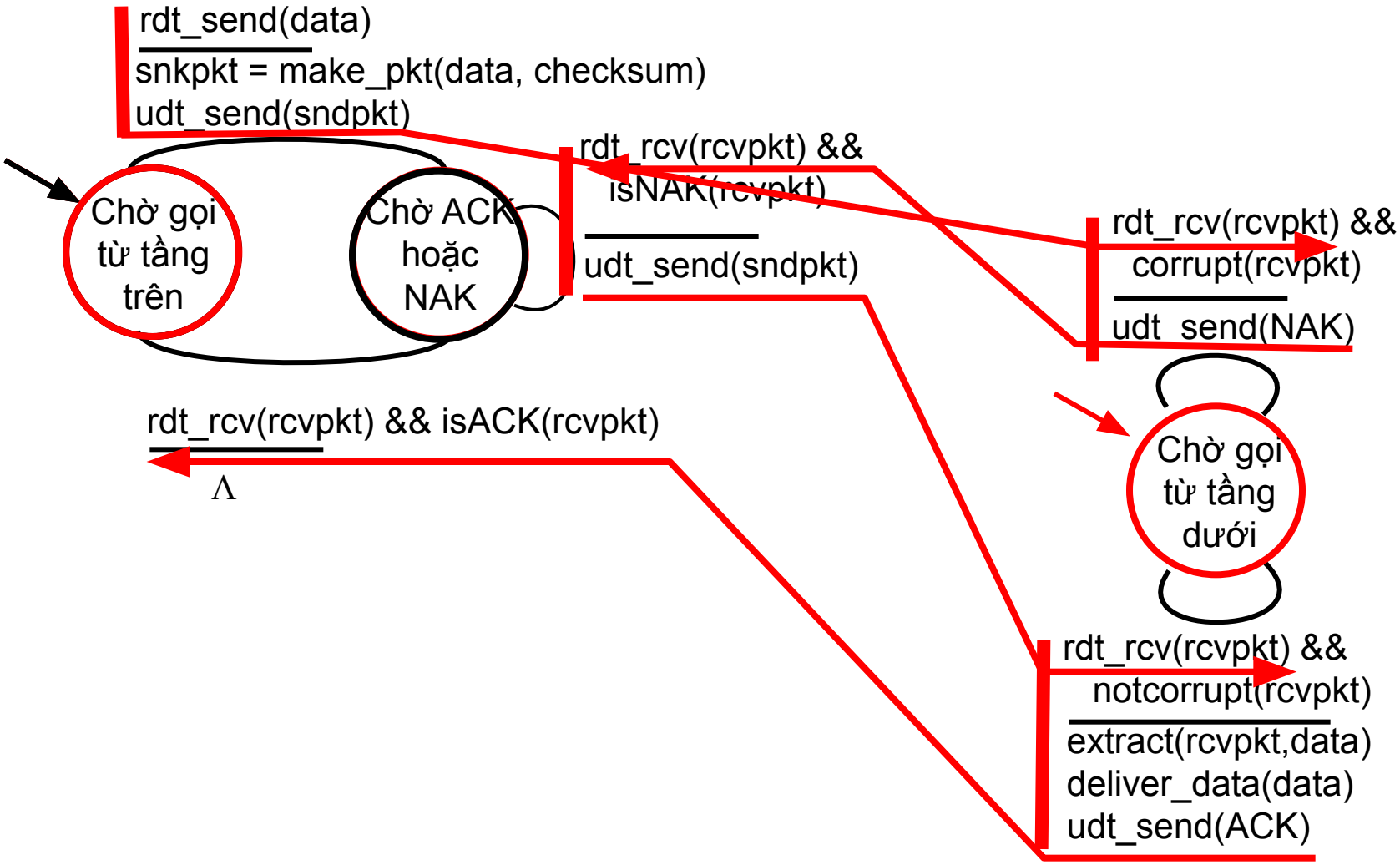
Bên nhận



rdt2.0: hoạt động khi không lỗi



rdt2.0: hoạt động khi có lỗi



rdt2.0 có lỗ hổng nghiêm trọng!

Điều gì xảy ra nếu ACK/NAK bị hỏng?

- Bên gửi sẽ không biết điều gì đã xảy ra ở bên nhận!
- Không thể đơn phương truyền lại: có thể trùng lặp

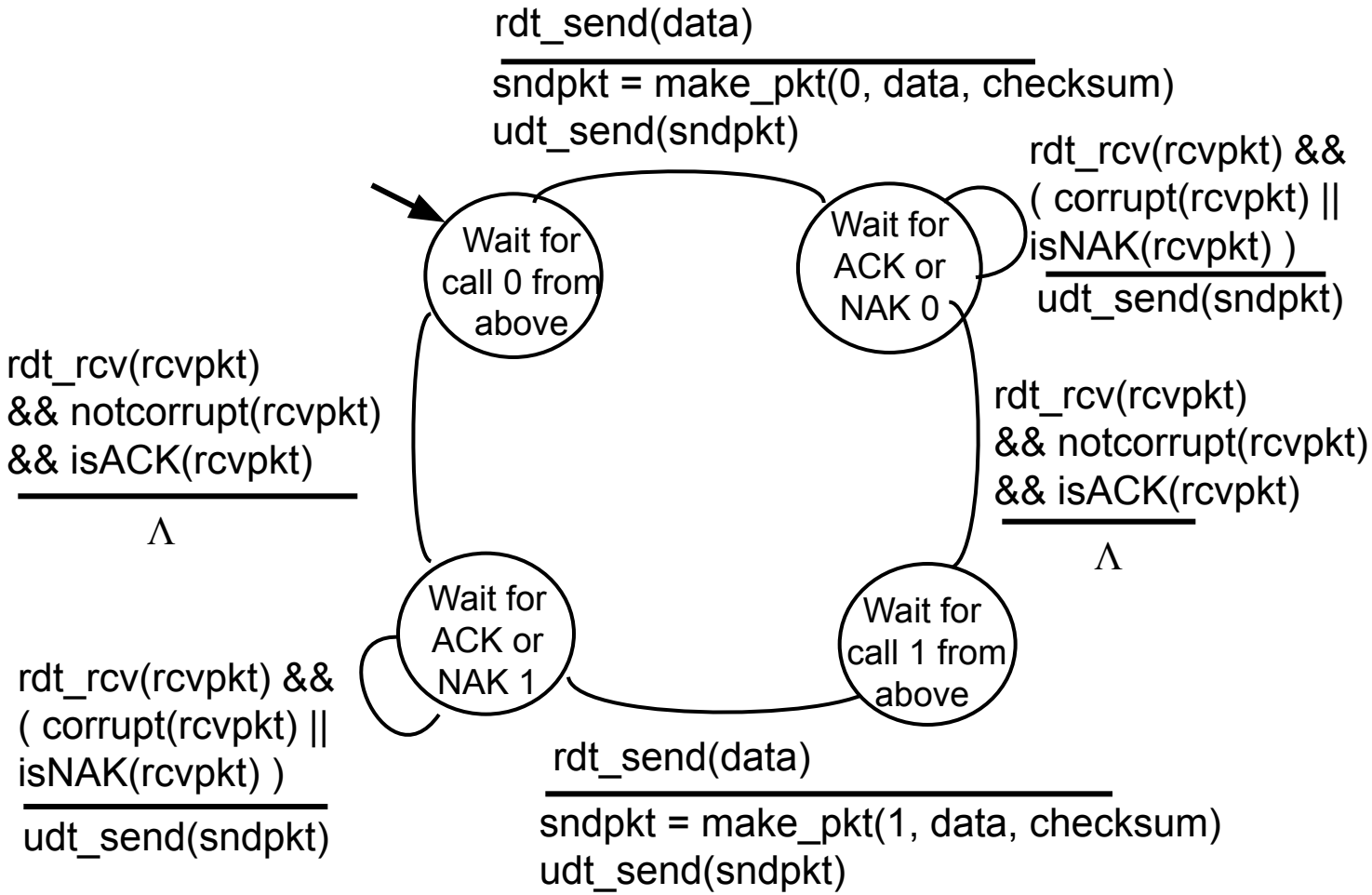
Xử lý trùng lặp:

- Bên gửi truyền lại packet hiện thời nếu ACK/NAK bị hỏng
- Bên gửi thêm *số thứ tự* vào trong mỗi packet *(sequence number)*
- Bên nhận hủy packet bị trùng lặp

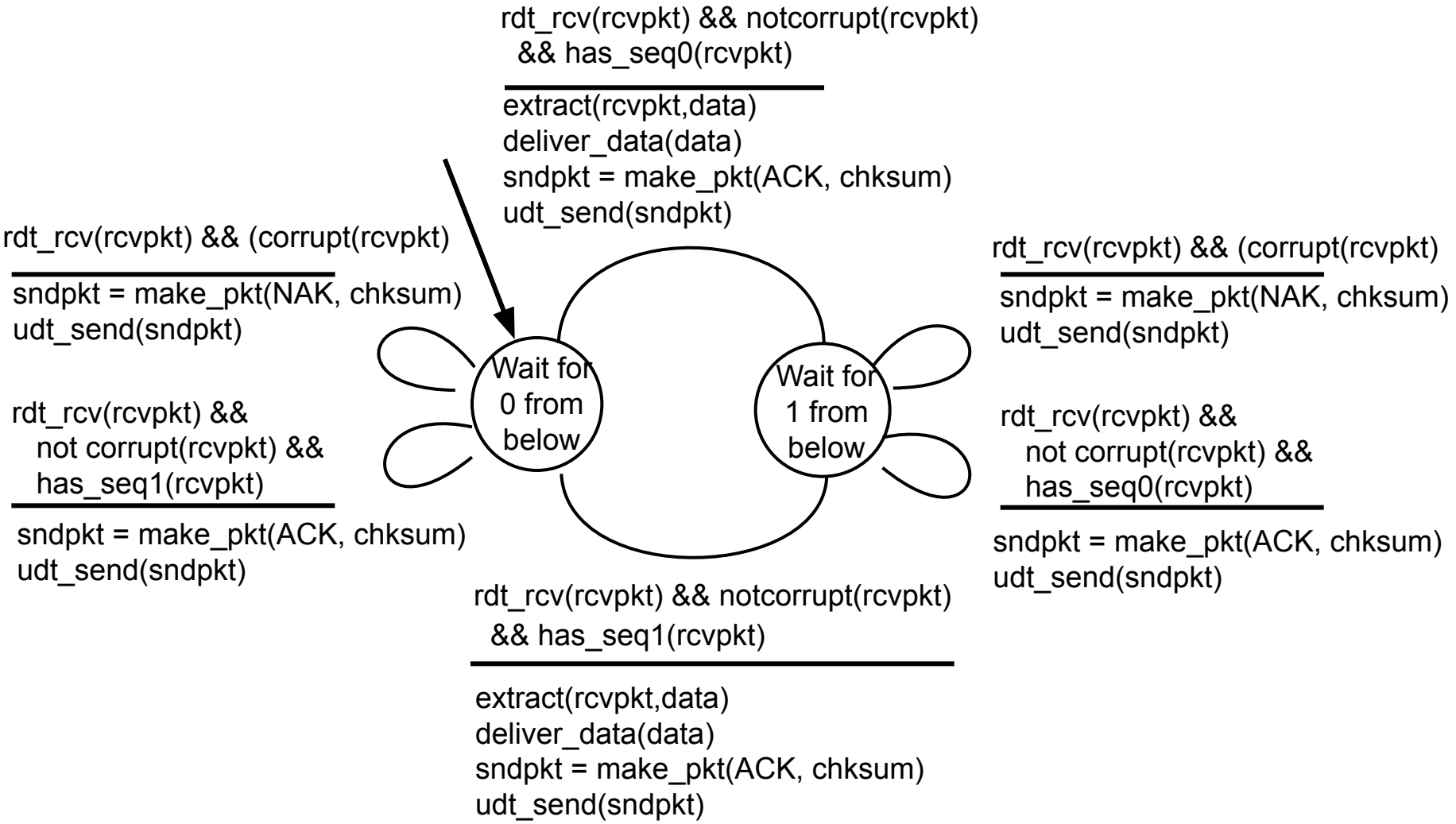
Stop and wait

Bên gửi gửi một packet, sau đó chờ phản hồi từ bên nhận

rdt2.1: bên gửi, xử lý các ACK/NAK bị hỏng



rdt2.1: bên nhận, xử lý các ACK/NAK bị hỏng



rdt2.1: thảo luận

Bên gửi:

- Số thứ tự (seq #) được thêm vào packet
- 2 số thứ tự (0,1) là đủ. Tại sao?
- Phải kiểm tra có hay không ACK/NAK vừa nhận bị hỏng
- Số trạng thái tăng lên 2 lần
  - Trạng thái phải "nhớ" xem packet "mong đợi" có số thứ tự là 0 hay 1

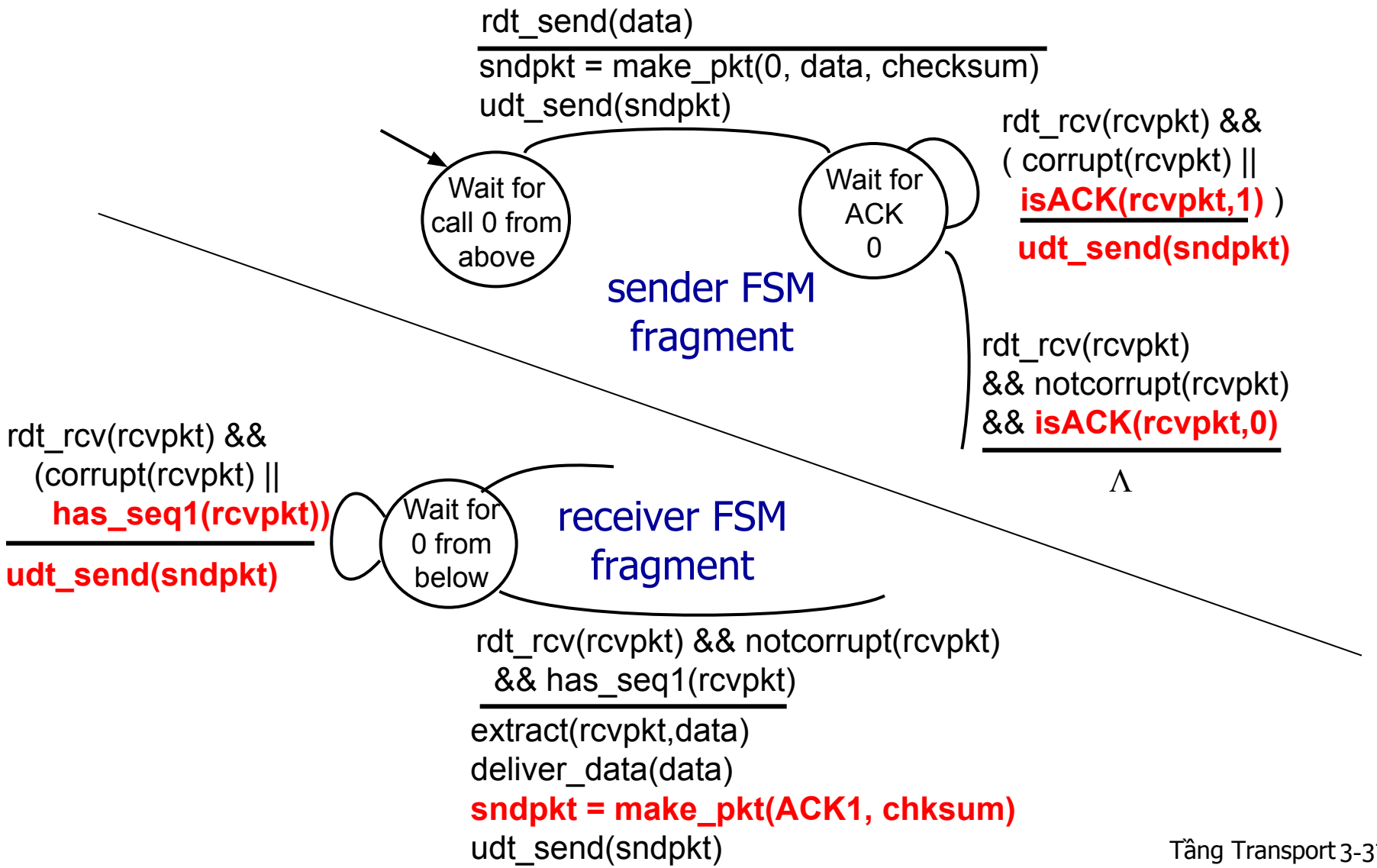
Bên nhận:

- Phải kiểm tra gói vừa nhận có trùng hay không
  - Trạng thái chỉ rõ có hay không 0 hoặc 1 là số thứ tự của gói được mong chờ
- Chú ý: bên nhận có thể không biết ACK/NAK vừa rồi có được bên gửi nhận tốt hay không

rdt2.2: một giao thức không cần NAK

- Chức năng giống như rdt2.1, chỉ dùng các ACK
- Thay cho NAK, bên nhận gởi ACK cho gói cuối cùng được nhận thành công
  - Bên nhận phải ghi rõ số thứ tự của gói vừa được ACK
- ACK bị trùng tại bên gửi dẫn tới kết quả giống như hành động của NAK: *truyền lại gói vừa rồi*

rdt2.2: các phần bên nhận và gửi



rdt3.0: các kênh với lỗi và mất mát

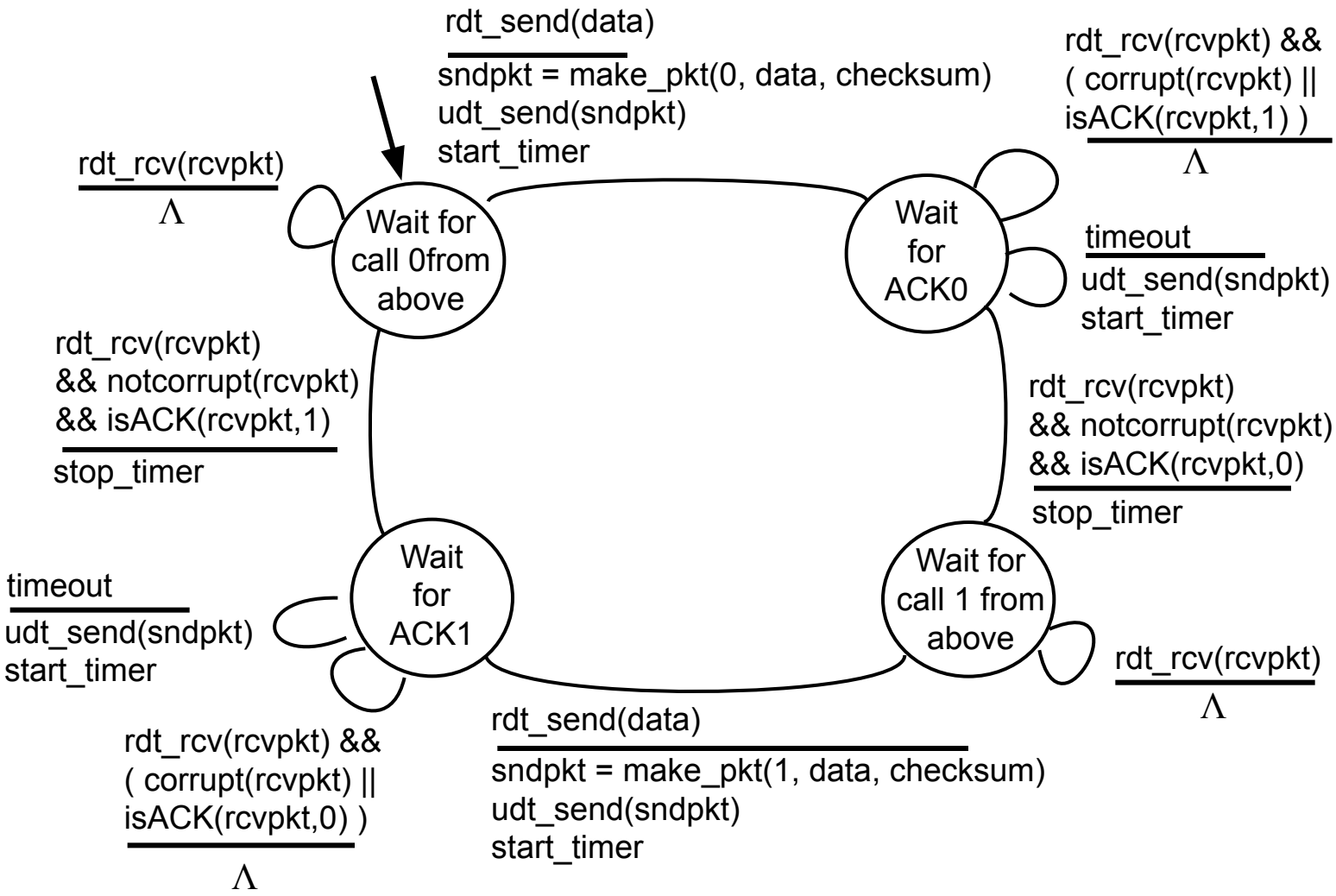
Giả định mới: kênh truyền cũng có thể làm mất gói (dữ liệu, các ACK)

- checksum, số thứ tự, các ACK, việc truyền lại sẽ hỗ trợ… nhưng không đủ

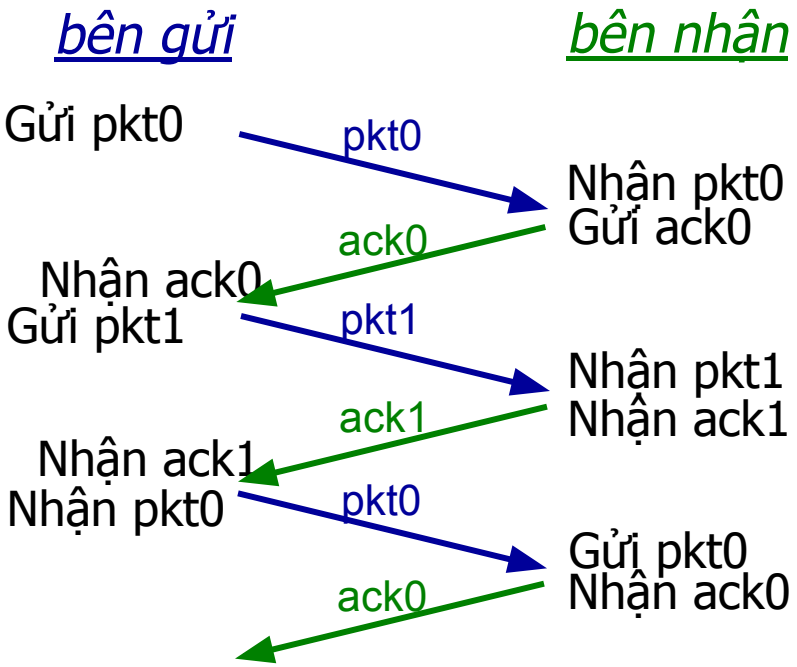
Cách tiếp cận: bên gửi chờ ACK trong khoảng thời gian "hợp lý"

- Truyền lại nếu không nhận được ACK trong khoảng thời gian này
- Nếu gói (hoặc ACK) chỉ trễ (không mất):
  - Việc truyền lại sẽ gây trùng, nhưng số thứ tự đã xử lý trường hợp này
  - Bên nhận phải xác định số thứ tự của gói vừa gửi ACK
- Yêu cầu bộ định thì đếm lùi

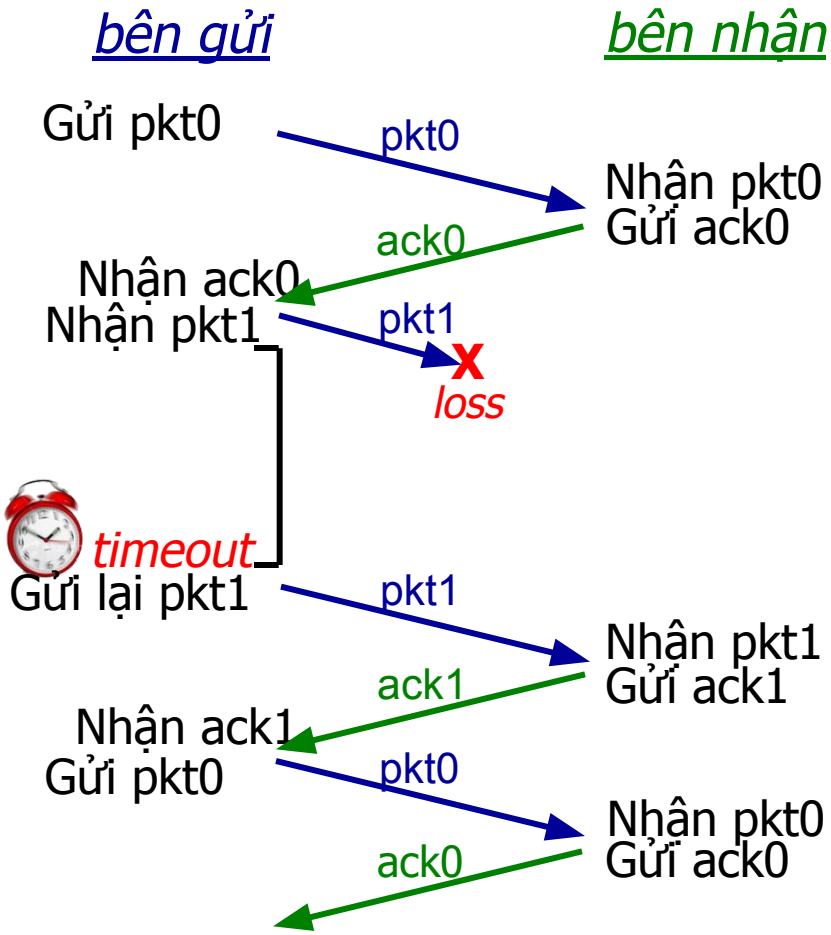
rdt3.0 bên gửi



Hành động của rdt3.0

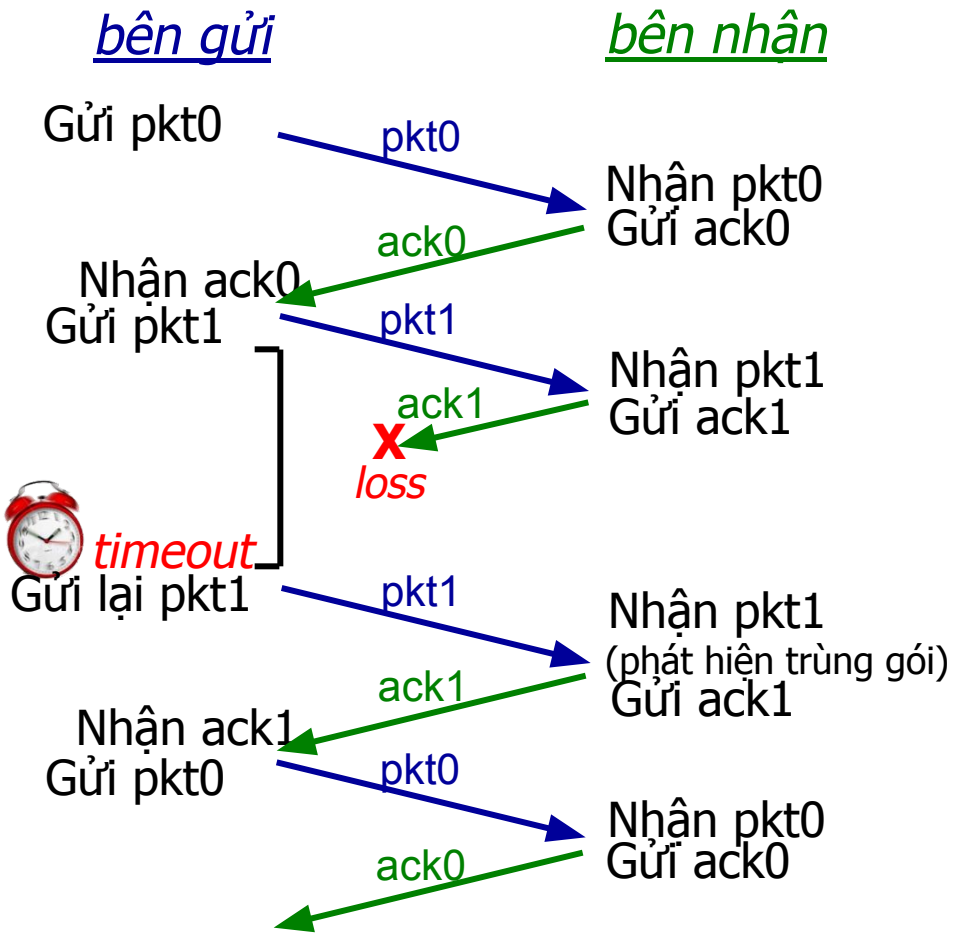


(a) Không mất mát

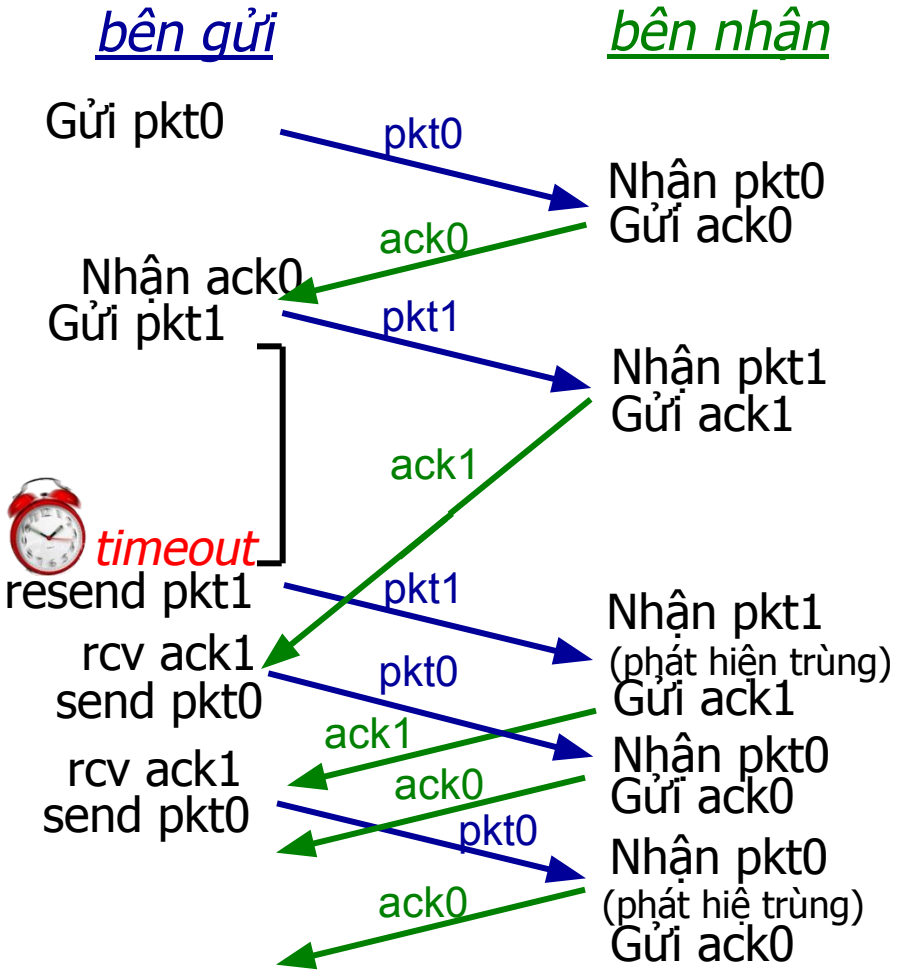


(b) Mất gói

Hành động của rdt3.0



(c) Mất ACK



(d) Thời gian chờ quá ngắn / delayed ACK

Hiệu suất của rdt3.0

- rdt3.0 làm việc được, nhưng đánh giá hiệu suất hơi rắc rối
- Ví dụ: đường link 1 Gbps, trễ lan truyền giữa 2 đầu cuối là 15 ms, gói 8000 bit:

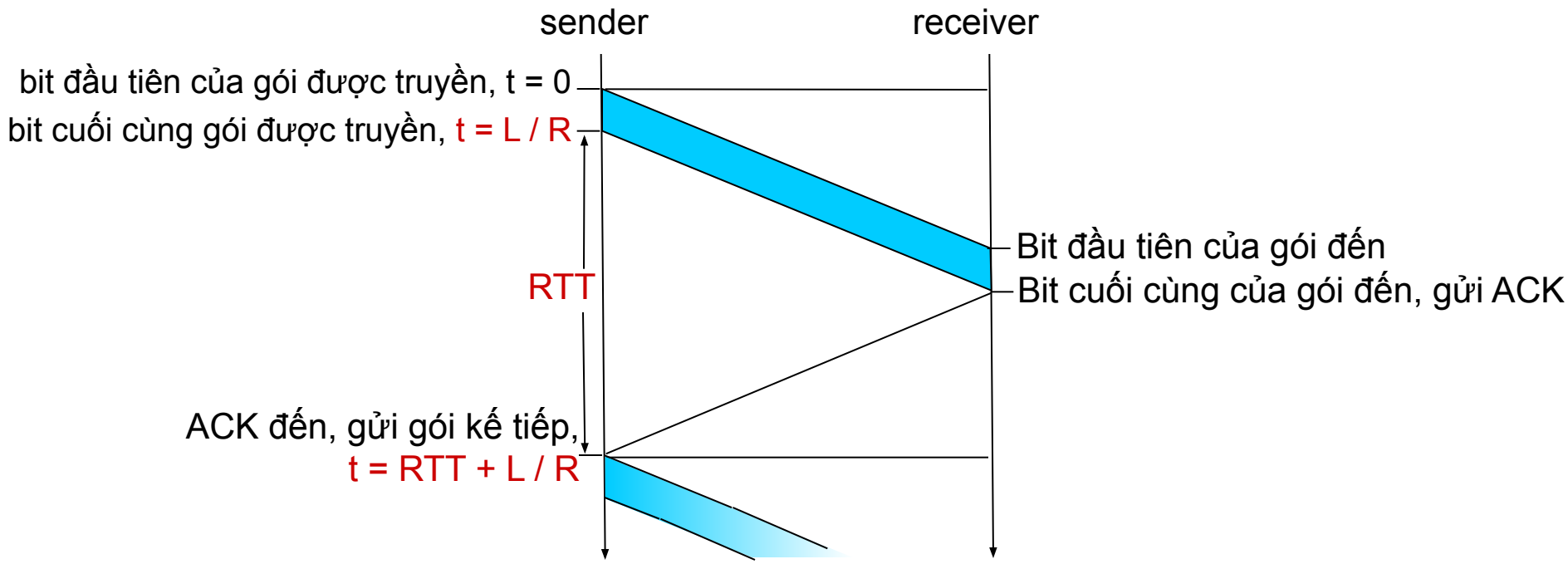
$$D_{truyền} = \frac{L}{R} = \frac{8000\ bits}{10^9\ bits/sec} = 8\ microsecs$$

  - U_{sender}: *utilization* – khoảng thời gian mà bên gửi gửi được dữ liệu

$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

    - Nếu RTT=30 msec, gói 1KB mỗi 30 msec: thông lượng 33kB/sec trên đường link 1Gbps
- Giao thức mạng hạn chế việc sử dụng các tài nguyên vật lý!

rdt3.0: hoạt động "stop-and-wait"

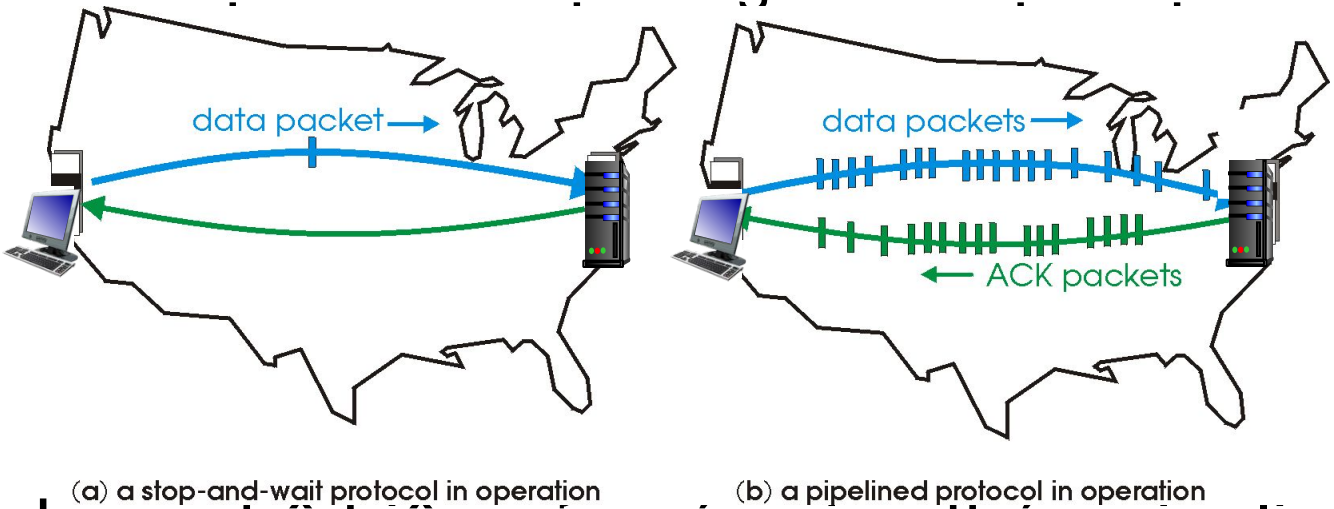


$$U_{sender} = \frac{L/R}{RTT + L/R} = \frac{.008}{30.008} = 0.00027$$

Các giao thức Pipelined

pipelining: bên gửi cho phép gửi nhiều gói đồng thời, không cần chờ báo xác nhận ACK

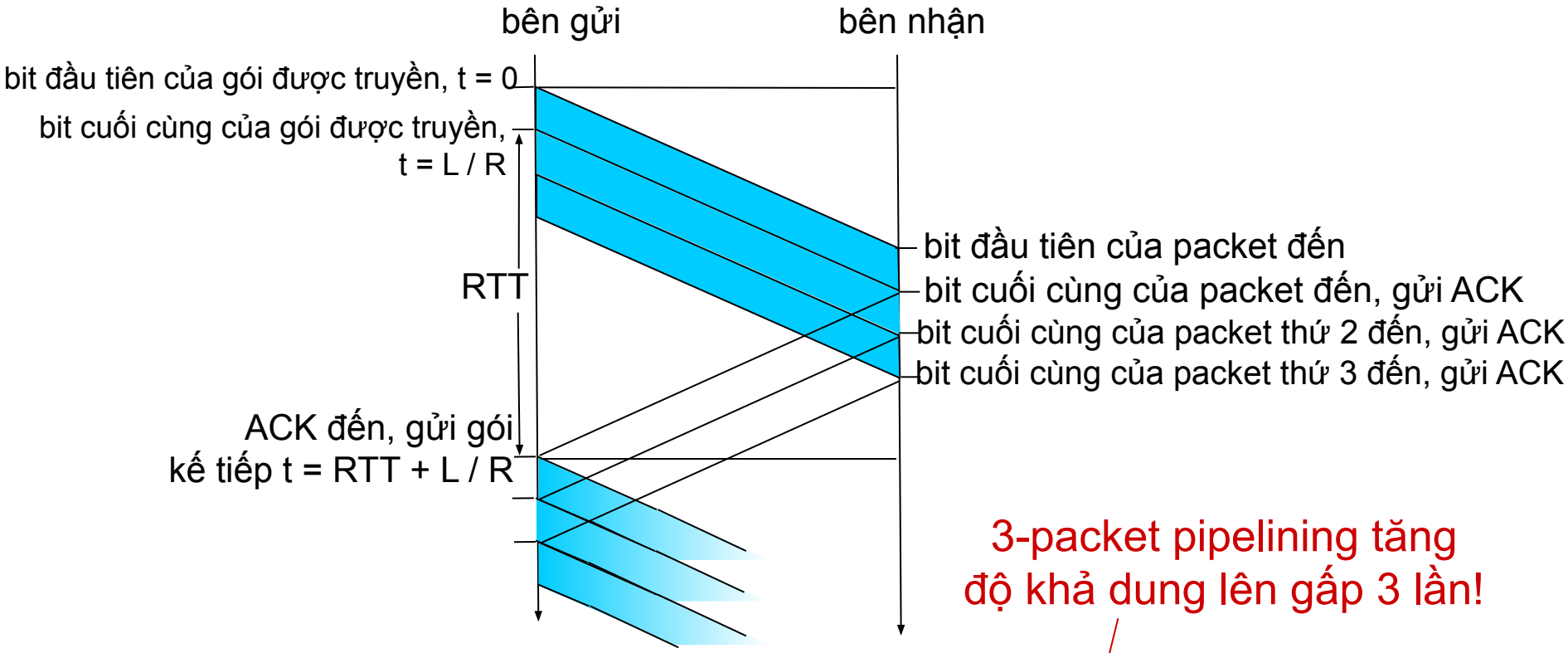
- Dải số thứ tự phải được tăng lên
- Phải có bộ nhớ đệm tại nơi gửi và/hoặc nhận



(a) a stop-and-wait protocol in operation (b) a pipelined protocol in operation

- hai dạng phổ biến của các giao thức pipelined : *go-Back-N, selective repeat (lặp có lựa chọn)*

Pipelining: độ khả dụng tăng



3-packet pipelining tăng độ khả dung lên gấp 3 lần!

$$U_{sender} = \frac{3L / R}{RTT + L / R} = \frac{.0024}{30.008} = 0.00081$$

Pipelined protocols: tổng quan

Go-back-N:

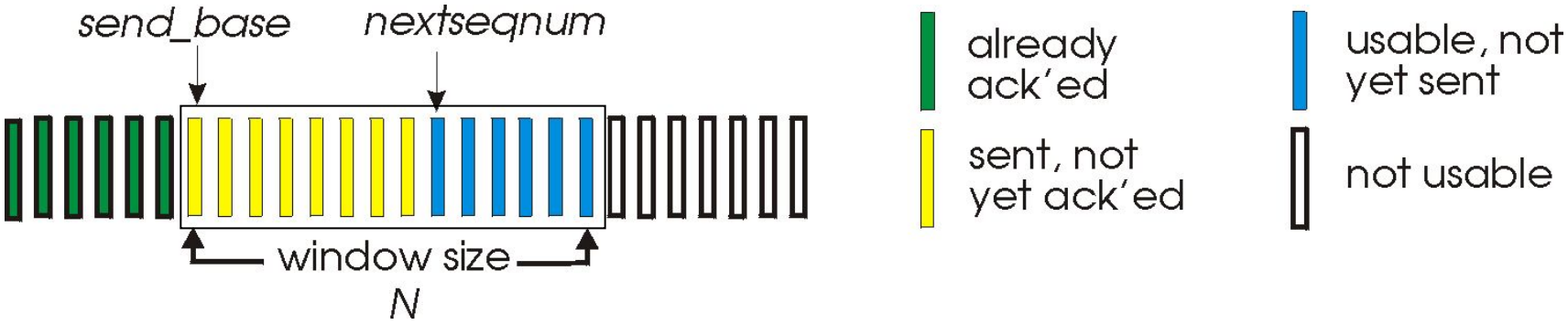
- Bên gửi có thể có đến N packet không cần ACK trong đường ống (pipeline)
- Bên nhận chỉ gởi *cumulative ack (xác nhận tích lũy)*
  - Sẽ không thông báo nhận packet thành công nếu có gián đoạn
- bên gửi có bộ định thì cho packet sớm nhất mà không cần ACK (oldest unacked packet)
  - Khi bộ định thì hết, truyền lại thất cả các packet mà không được ACK

Lặp có lựa chon (Selective Repeat):

- Bên gửi có thể có đến N packet không cần ACK trong đường ống (pipeline)
- Bên nhận gửi rcvr ack riêng biệt (*individual ack)* cho mỗi packet
- Bên nhận duy trì bộ định thì cho mỗi packet không được ACK
  - Khi bộ định thì của packet nào hết hạn, thì chỉ truyền lại packet không được ACK đó

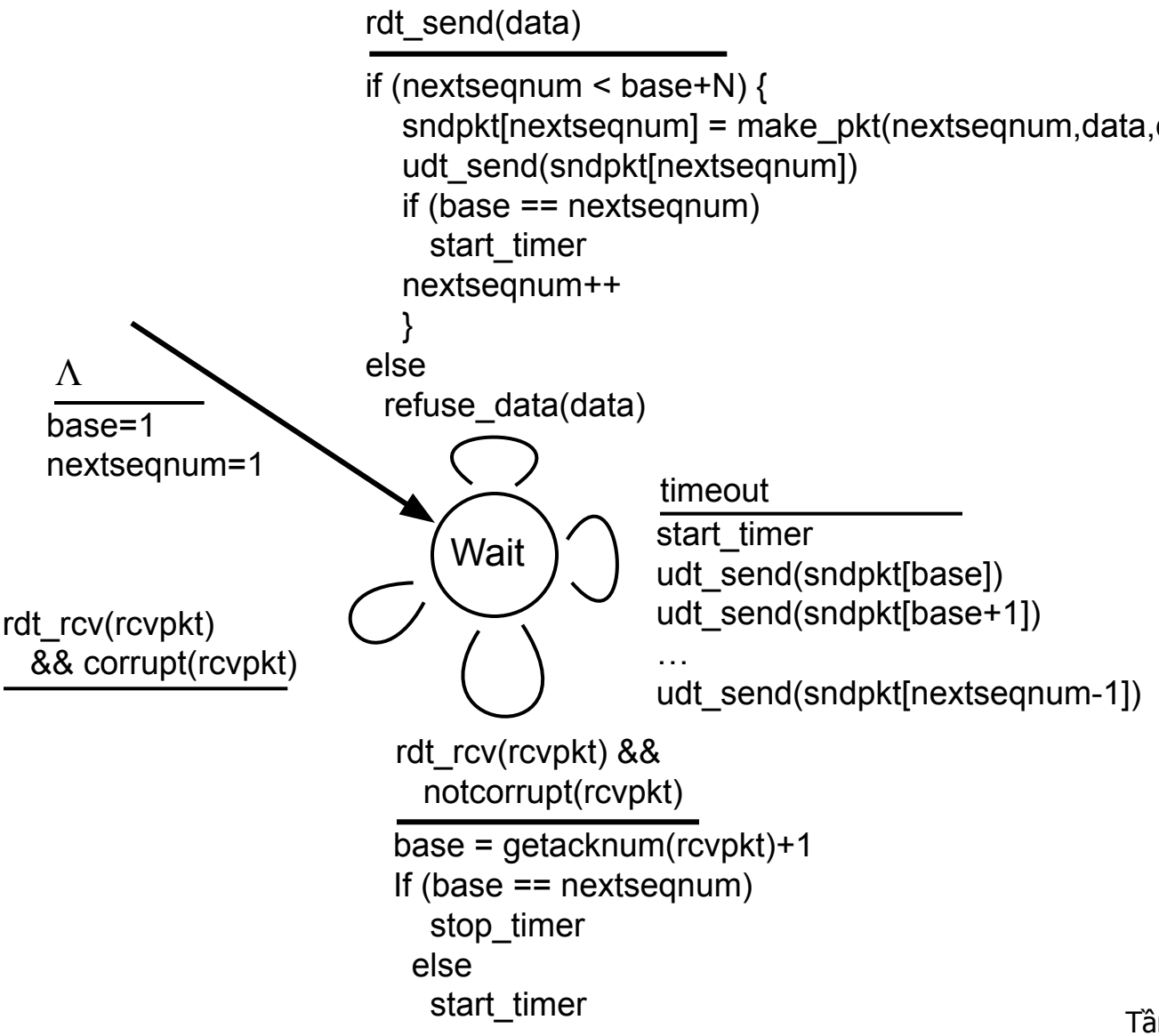
Go-Back-N: bên gửi

- Số thứ tự k-bit trong header của packet
- "cửa sổ"("window") lên đến N gói, cho phép gửi liên tiếp không cần ACK

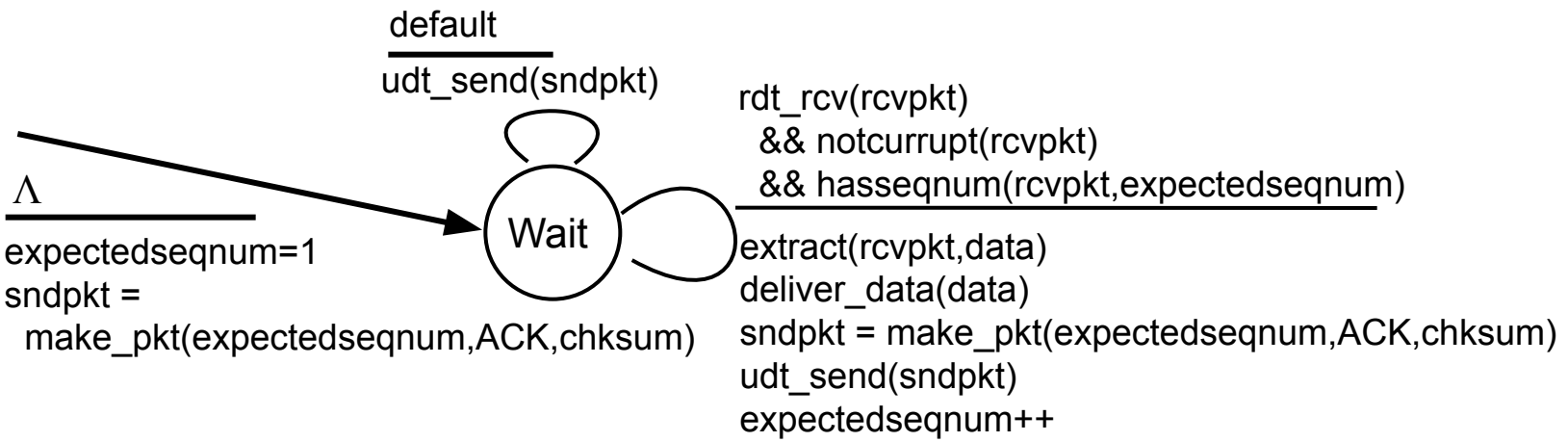


- ACK(n): thông báo nhận tất cả các packet lên đến n, bao gồm n số thứ tự - *"ACK tích lũy"("cumulative ACK")*
  - Có thể nhận ACK trùng (xem bên nhận)
- Định thì cho packet sớm nhất đang trong tiến trình xử lý (oldest in-flight pkt)
- *timeout(n):* truyền lại packet n và tất cả các packet có số thứ tự cao hơn trong cửa sổ (window)

GBN: trạng thái mở rộng tại bên gửi



GBN: trạng thái mở rộng tại bên nhận

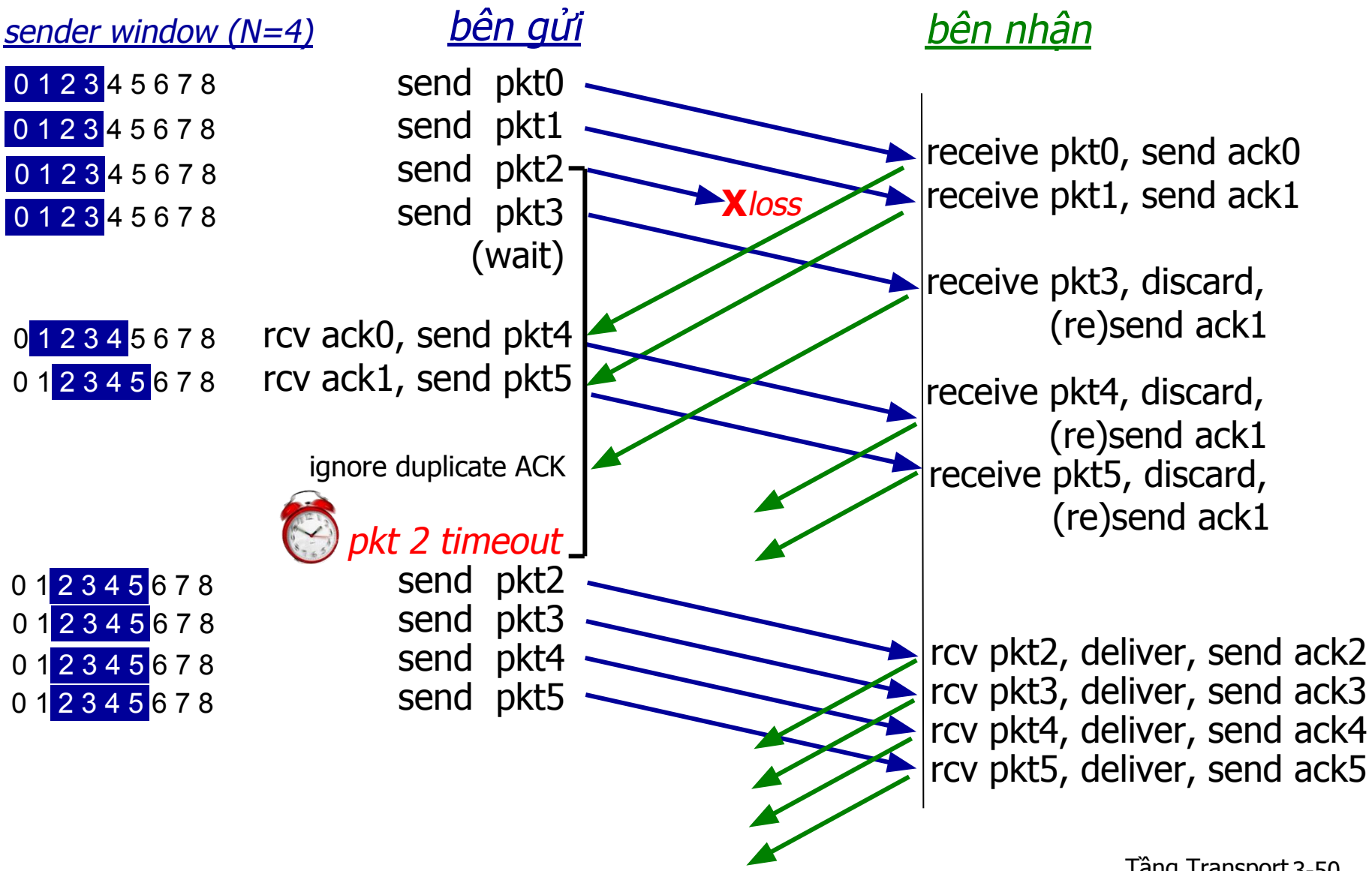


ACK-duy nhất: luôn luôn gửi ACK cho gói đã nhận chính xác, với số thứ tự xếp hạng cao nhất (highest *in-order* seq #)

- Có thể sinh ra các ACK trùng nhau
- Chỉ cần nhớ **expectedseqnum**

- Packet không theo thứ tự(out-of-order pkt):
  - hủy (discard): *không giữ trong bộ đệm bên nhận!*
  - Gửi lại ACK với số thứ tự xếp hạng cao nhất

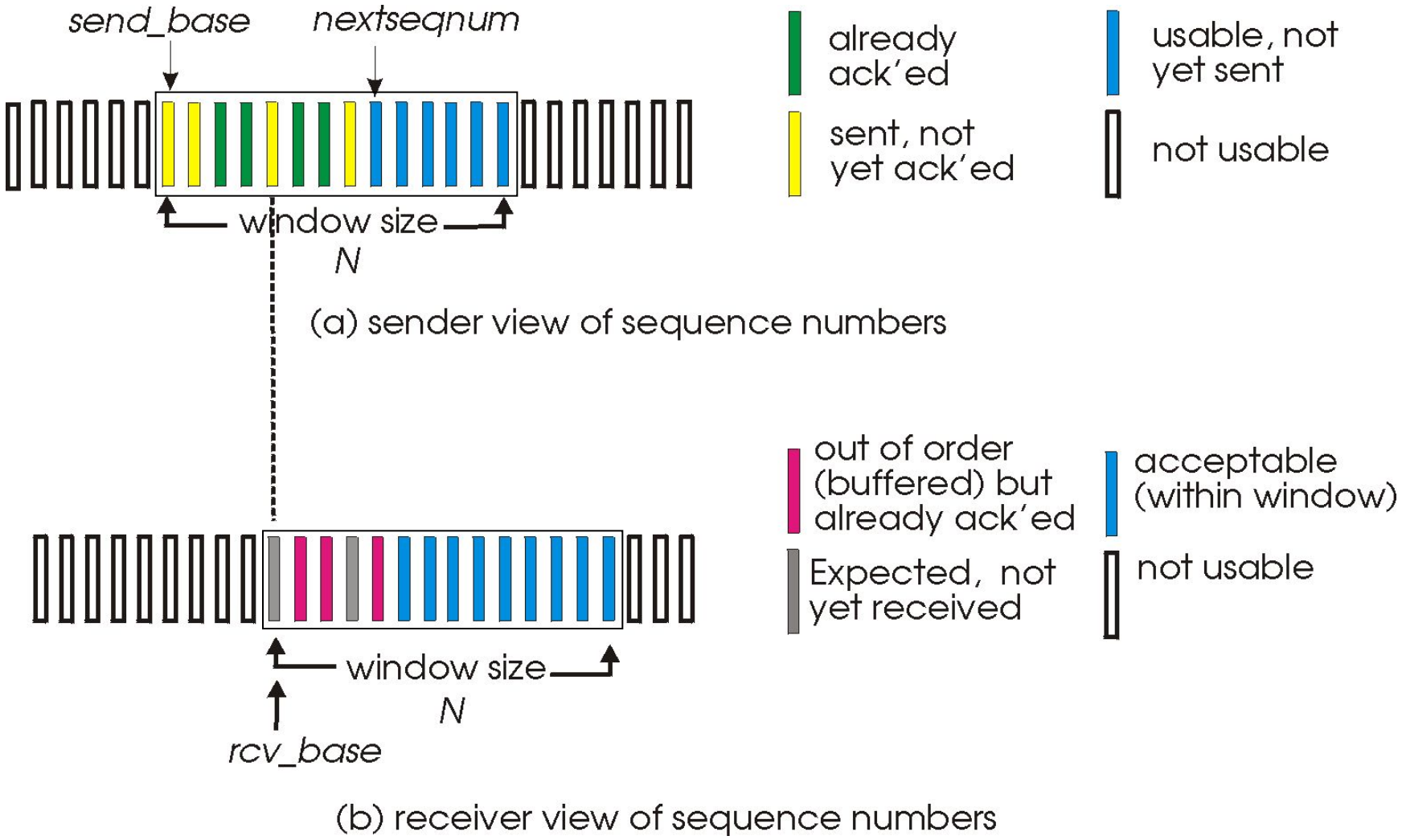
Hoạt động GBN



Lặp có lựa chọn (Selective repeat)

- Bên nhận thông báo đã nhận đúng tất cả từng gói một
  - Đệm các gói, khi cần thiết
- Bên gửi chỉ gửi lại các gói nào không nhận được ACK
  - Bên gửi đếm thời gian cho mỗi gói không có ACK
- Cửa sổ bên gửi (sender window)
  - *N* số thứ tự liên tục
  - Hạn chế số thứ tự các gói không có phản hồi ACK

Lặp có lựa chọn: cửa sổ bên gửi và nhận



Lặp có lựa chọn

Bên gửi

Dữ liệu từ tầng trên:

- Nếu số thứ tự kế tiếp sẵn sàng trong cửa sổ, gửi gói

timeout(n):

- Gửi lại packet n, khởi động lại bộ đếm thời gian

ACK(n) trong [sendbase,sendbase+N]:

- Đánh dấu packet n là đã được nhận
- Nếu gói chưa ACK có n nhỏ nhất, thì dịch chuyển cửa sổ base đến số thứ tự chưa ACK kế tiếp

Bên nhận

Gói n trong [rcvbase, rcvbase+N-1]

- Gửi ACK(n)
- Không thứ tự: đệm
- Đúng thứ tự: chuyển dữ liệu lên tầng trên (cả các gói đã đệm, có thứ tự), dịch chuyển cửa sổ đến ô nhớ chờ gói chưa nhận kế tiếp

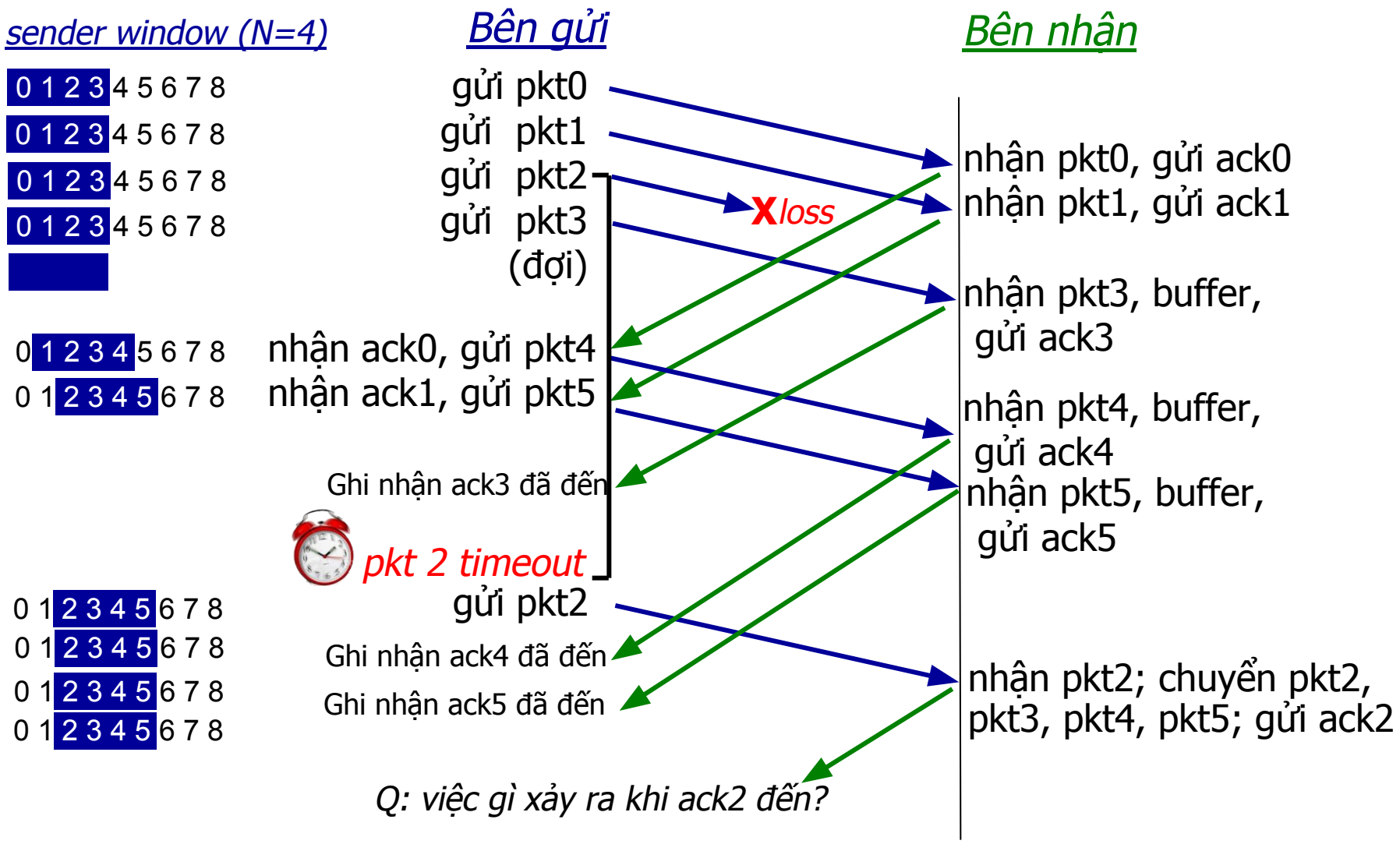
Packet n trong [rcvbase-N,rcvbase-1]

- ACK(n)

Ngược lại:

- Bỏ qua

Hành động của lặp lại có lựa chọn

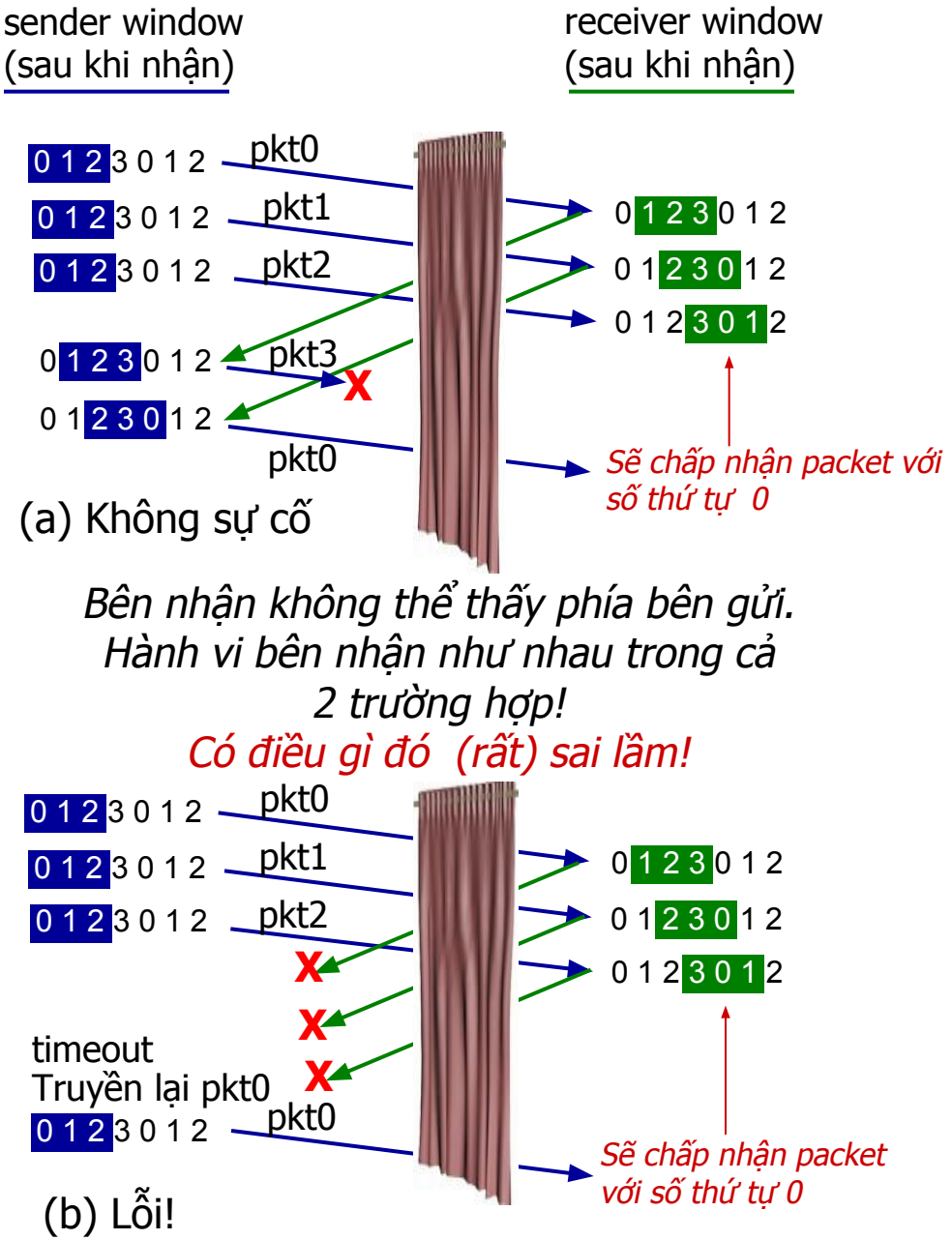


Lặp có lựa chọn: tình huống khó giải quyết

Ví dụ:

- Số thứ tự: 0, 1, 2, 3
- Kích thước cửa sổ=3
- Bên nhận không thấy sự khác nhau trong 2 tình huống!
- Dữ liệu trùng lặp được chấp nhận như dữ liệu mới (b)

Q: quan hệ giữa dãy số thứ tự và kích thước cửa sổ để tránh vấn đề (b)?



Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

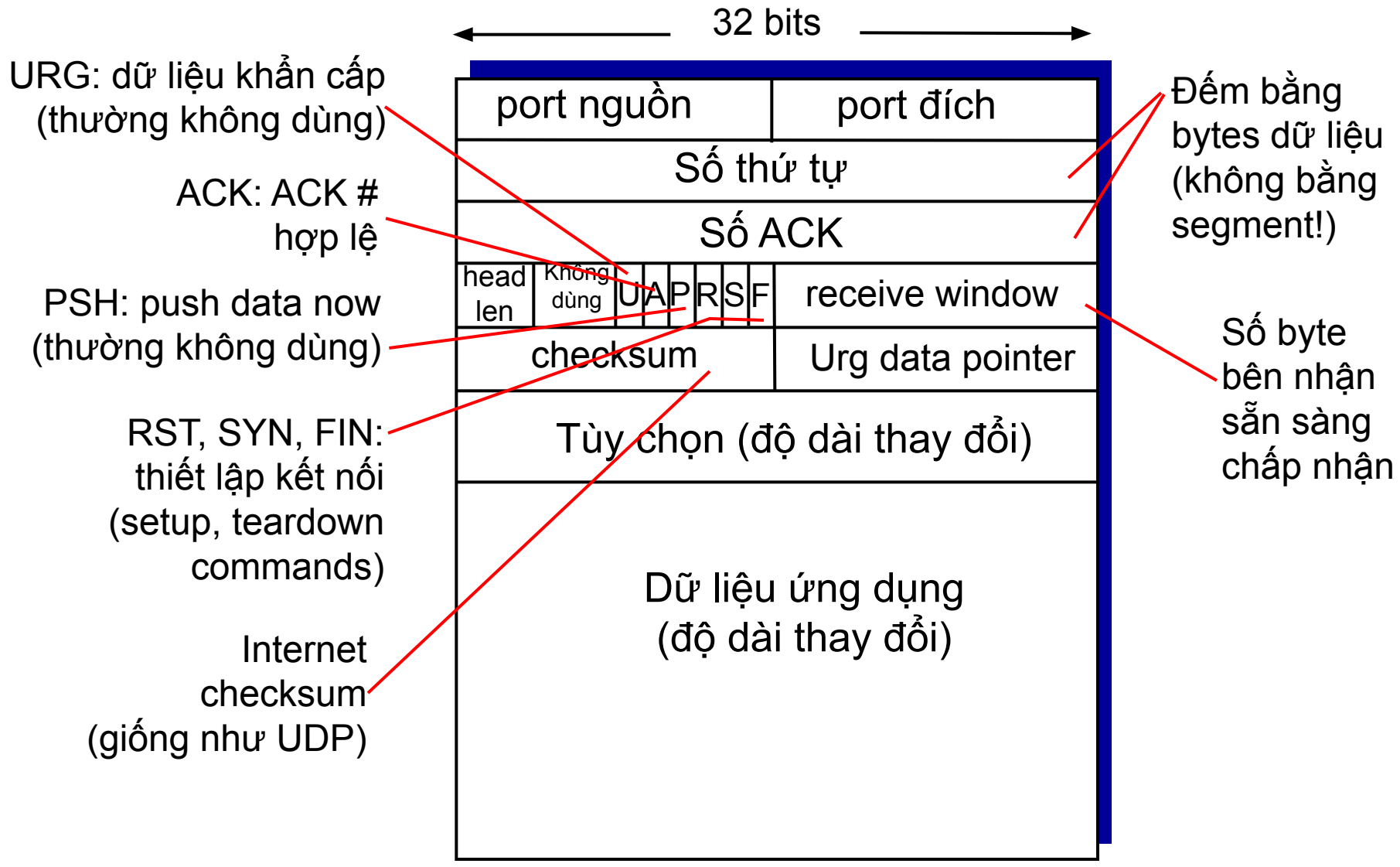
3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

TCP: tổng quan RFCs: 793,1122,1323, 2018, 2581

- point-to-point:
  - Một bên gửi, một bên nhận
- Tin cậy, luồng byte theo thứ tự (in-order *byte steam):*
  - Không "ranh giới thông điệp" ("message boundaries")
- pipelined:
  - Điều khiển luồng và tắc nghẽn của TCP thông qua việc thiết lập kích thước cửa sổ (window size)
- Dữ liệu full duplex:
  - Luồng dữ liệu đi 2 chiều trong cùng 1 kết nối
  - MSS: kích thước tối đa của gói tin (maximum segment size)
- Hướng kết nối:
  - Bắt tay (trao đổi các thông điệp điều khiển) khởi tạo trạng thái bên gửi và nhận trước khi trao đổi dữ liệu
- Điều khiển luồng:
  - Bên gửi sẽ không làm tràn bộ đệm bên nhận

Cấu trúc segment TCP



Số thứ tự TCP và ACK

Các số thứ tự:

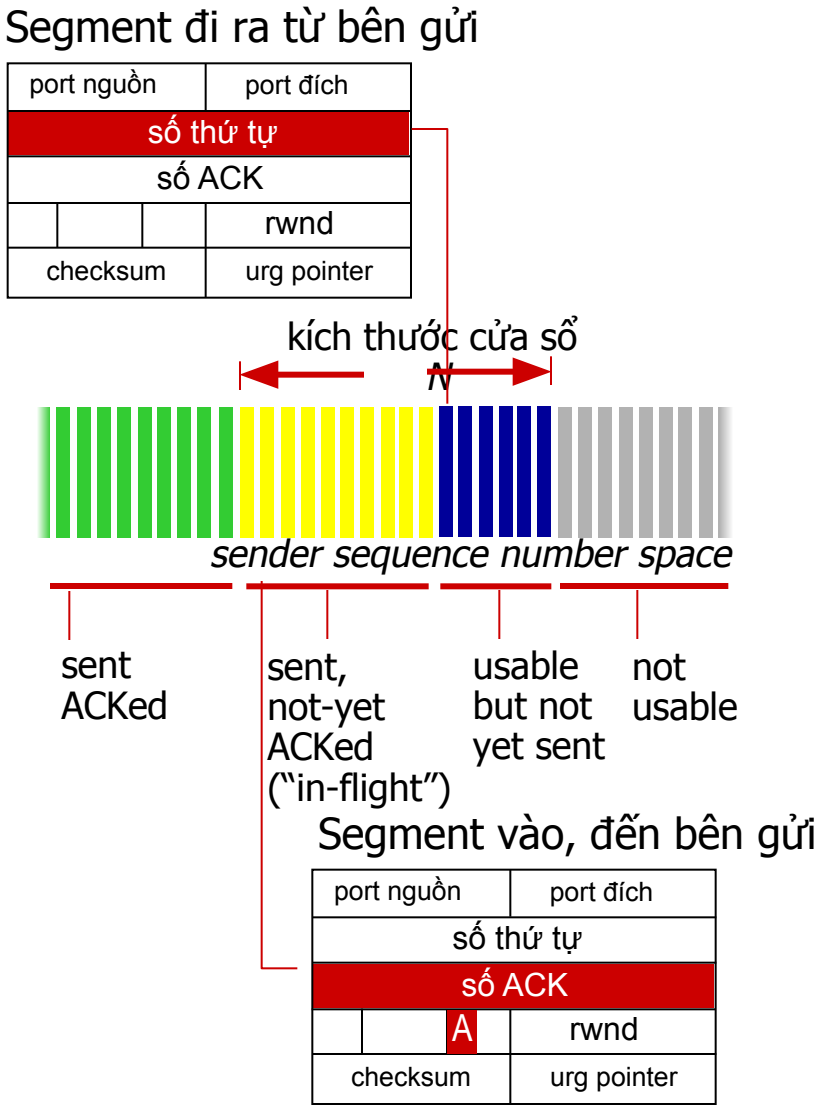
- Dòng byte "đánh số" byte đầu tiên trong dữ liệu của segment

Các ACK:

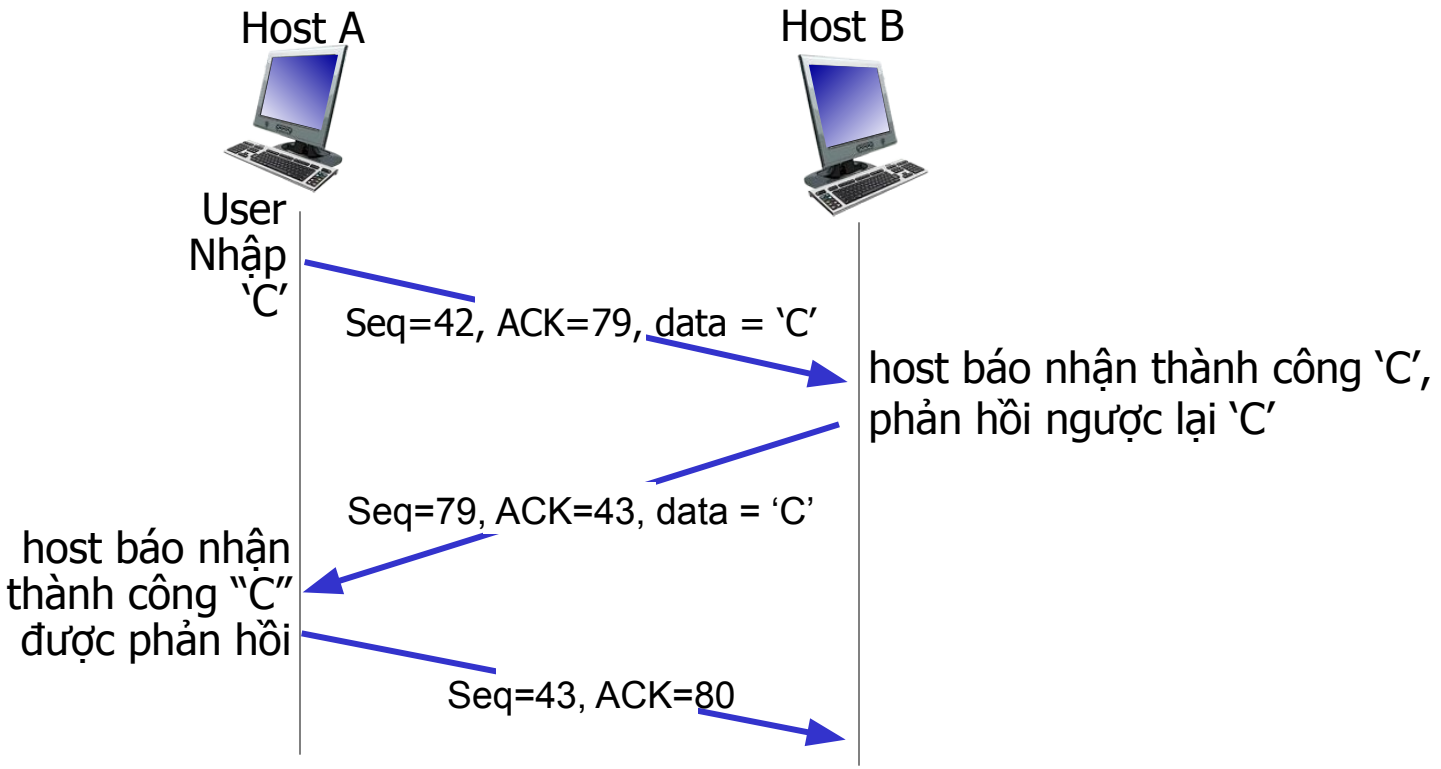
- số thứ tự của byte kế tiếp được mong đợi từ phía bên kia
- ACK tích lũy

Hỏi: làm thế nào để bên nhận xử lý các segment không theo thứ tự

- Trả lời: TCP không đề cập, tùy thuộc người thực hiện



Số thứ tự TCP và ACK



Tình huống telnet đơn giản

TCP round trip time và timeout

Hỏi: làm cách nào để thiết lập giá trị TCP timeout?

- Dài hơn RTT
  - Nhưng RTT thay đổi
- *Quá ngắn:* timeout sớm, truyền lại không cần thiết
- *Quá dài:* phản ứng chậm đối với việc mất mát gói

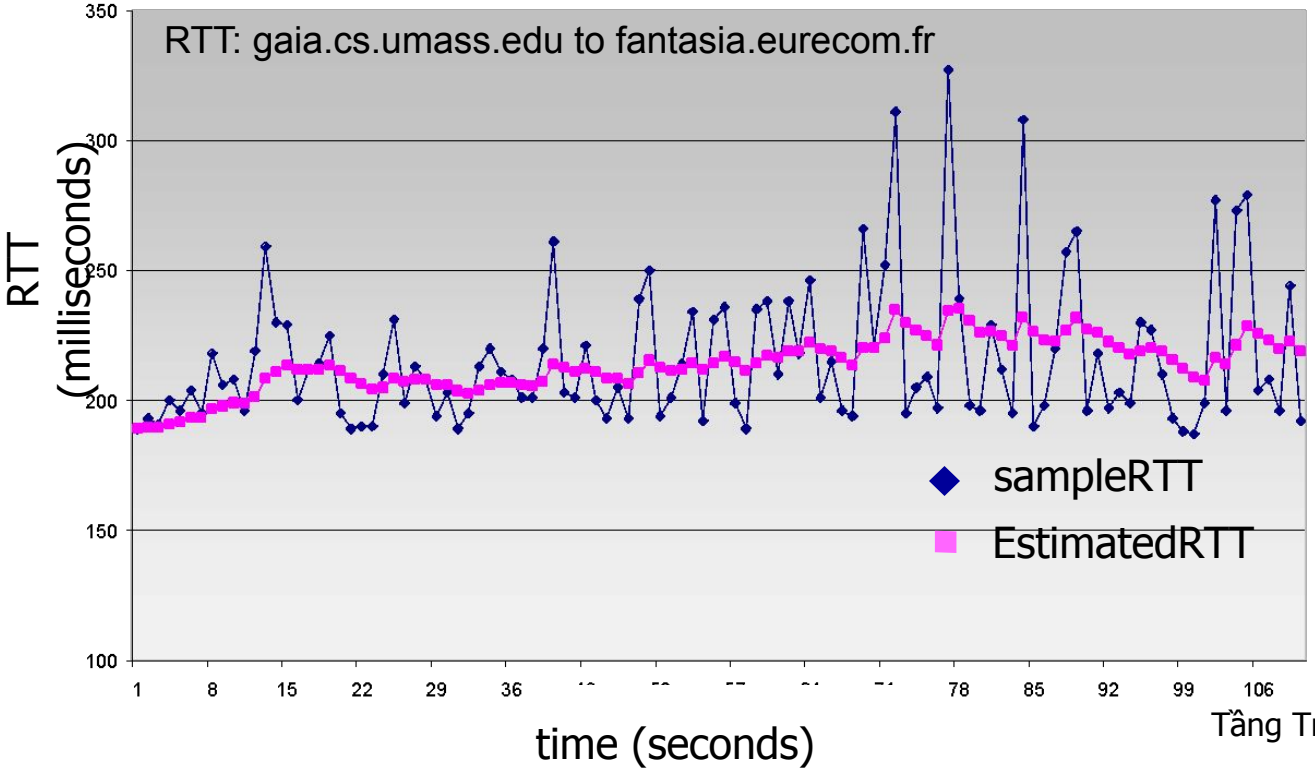
Q: làm cách nào để ước lượng RTT?

- **SampleRTT**: thời gian được đo từ khi truyền segment đến khi báo nhận ACK
  - Lờ đi việc truyền lại
- **SampleRTT** sẽ thay đổi, muốn RTT được ước lượng "mượt hơn"
  - Đo lường trung bình của một số giá trị vừa xảy ra, không chỉ **SampleRTT** hiện tại

TCP round trip time và timeout

EstimatedRTT = (1- α)*EstimatedRTT + α*SampleRTT

- Đường trung bình dịch chuyển hàm mũ (exponential weighted moving average)
- ảnh hưởng của mẫu đã xảy ra sẽ làm giảm tốc độ theo cấp số nhân
- typical value: **α =** 0.125



TCP round trip time và timeout

- Khoảng thời gian timeout (timeout interval): **EstimatedRTT** cộng với "biên an toàn"
  - Sự thay đổi lớn trong **EstimatedRTT ->** an toàn biên lớn hơn
- Ước lượng độ lệch SampleRTT từ EstimatedRTT:

```
DevRTT = (1-β)*DevRTT +
                 β*|SampleRTT-EstimatedRTT|

                 (typically, β = 0.25)
```

```
TimeoutInterval = EstimatedRTT + 4*DevRTT
```

estimated RTT

"biên an toàn"

Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

TCP truyền dữ liệu tin cậy

- TCP tạo dịch vụ rdt trên dịch vụ không tin cậy của IP
  - các đoạn (segment) được truyền thông qua kiến trúc đường ống
  - Các ack tích lũy
  - TCP dùng một bộ đếm thời gian truyền lại
- Việc truyền lại được kích hoạt bởi:
  - Sự kiện timeout
  - Các ack bị trùng

Lúc đầu khảo sát TCP đơn giản ở bên gửi:

- Bỏ qua các ack bị trùng
- Bỏ qua điều khiển luồng và điều khiển tắc nghẽn

TCP các sự kiện bên gửi:

Dữ liệu được nhận từ ứng dụng:

- Tạo segment với số thứ tự
- Số thứ tự là số thứ tự của byte dữ liệu đầu tiên trong segment
- Khởi động bộ đếm thời gian nếu chưa chạy
  - Xem bộ định thì như là đối với segment sớm nhất không được ACK
  - Khoảng thời gian hết hạn: **TimeOutInterval**

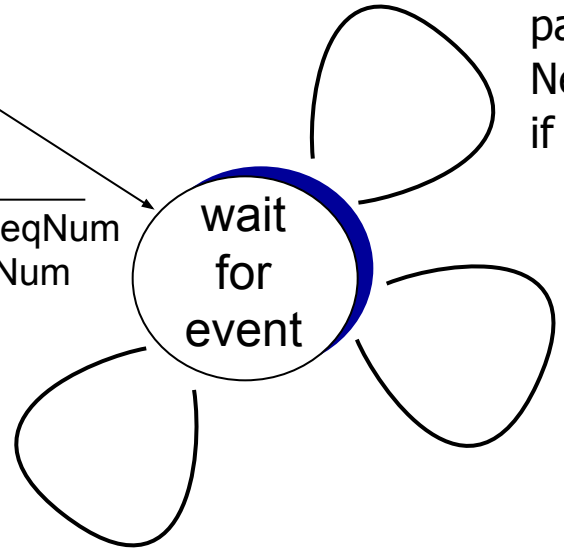
timeout:

- Gửi lại segment nào gây ra timeout
- Khởi động lại bộ đếm thời gian

nhận ack:

- Nếu xác nhận cho các segment không được xác nhận trước đó
  - Cập nhật những gì được biết là đã được nhận thành công
  - Khởi động lại bộ định thì nếu có các segment vẫn chưa được thông báo nhận thành công

TCP bên gửi (đơn giản)



Λ

NextSeqNum = InitialSeqNum
SendBase = InitialSeqNum

Dữ liệu được nhận từ tầng Ứng dụng trên

create segment, seq. #: NextSeqNum
pass segment to IP (i.e., "send")
NextSeqNum = NextSeqNum + length(data)
if (bộ định thì hiện thời không chạy)
    khởi động bộ định thì

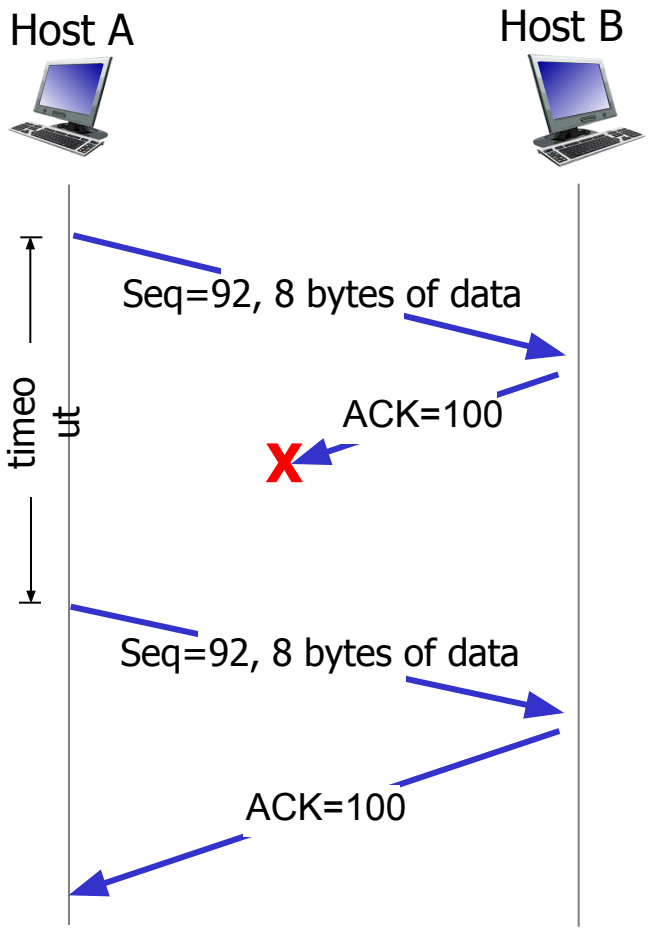
timeout

Truyền lại segment nào chưa
được báo đã nhận thành công với
số thứ tự nhỏ nhất.
Khởi động bộ định thì

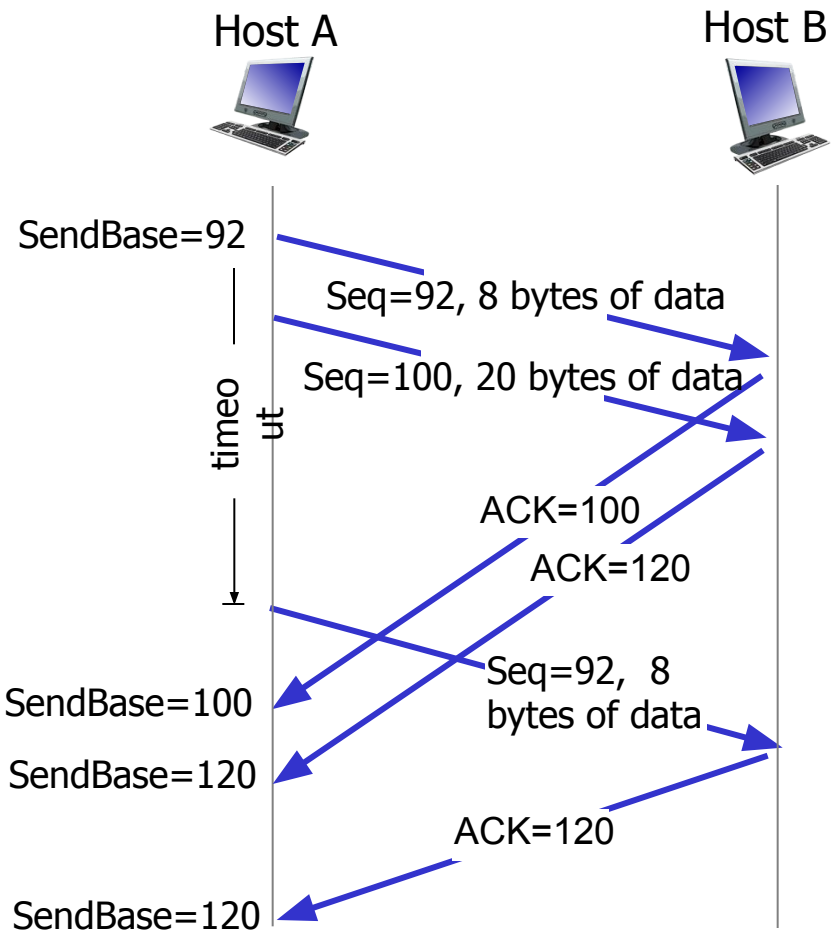
ACK received, with ACK field value y

```
if (y > SendBase) {
   SendBase = y
   /* SendBase–1: last cumulatively ACKed byte */
   if (there are currently not-yet-acked segments)
        start timer
     else stop timer
    }
```

TCP: tình huống truyền lại

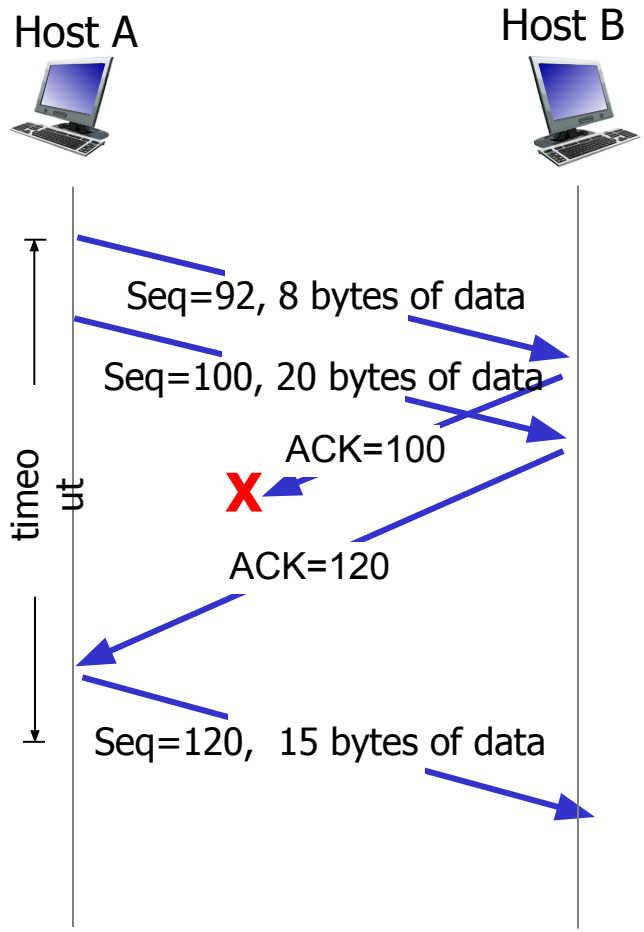


Tình huống mất ACK



Timeout sớm

TCP: tình huống truyền lại



ACK tích lũy

Sự phát sinh TCP ACK [RFC 1122, RFC 2581]

Sự kiện tại bên nhận	*Hành động bên nhận TCP*
segment đến theo thứ tự với số thứ tự được mong đợi. Tất cả dữ liệu đến đã được ACK	Hoãn gửi ACK. Đợi đến 500ms cho segment kế tiếp. Nếu không có segment kế tiếp, gửi ACK
segment đến theo thứ tự với số thứ tự mong muốn. 1 segment khác có ACK đang treo	Lập tức gởi lại một ACK tích lũy, thông báo nhận thành công cho cả segment theo thứ tự
Segment đến không theo thứ tự với số thứ tự lớn hơn số được mong đợi. Có khoảng trống	Lập tức gởi lại ACK trùng, chỉ ra số thứ tự của byte được mong đợi kế tiếp
segment đến lắp đầy từng phần hoặc toàn bộ khoảng trống	Lập tức gửi ACK, với điều kiện là segment đó bắt đầu ngay điểm có khoảng trống

TCP truyền lại nhanh

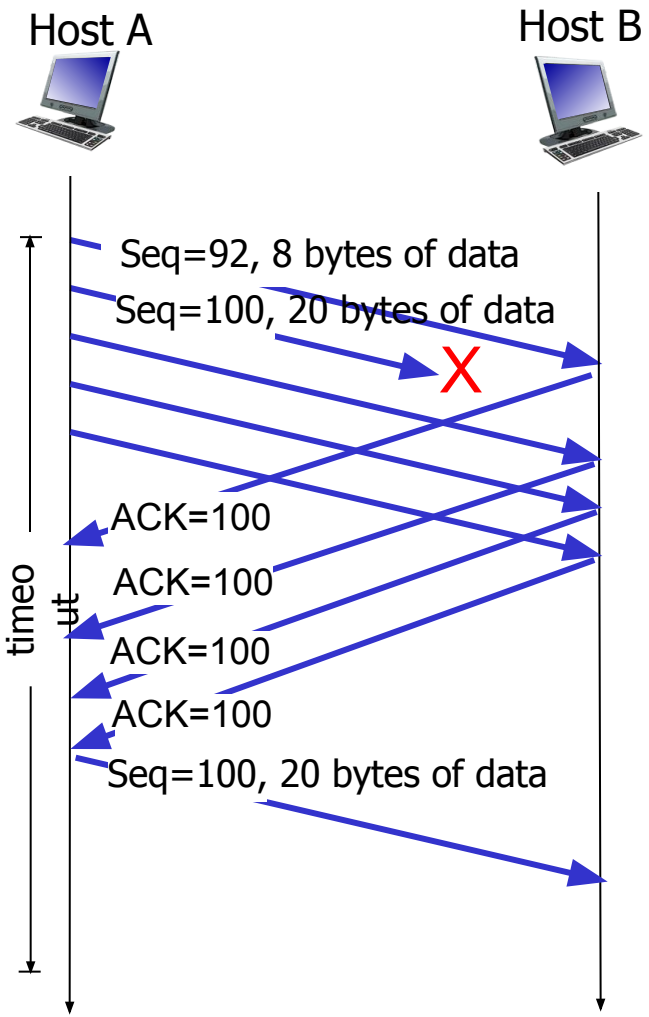
- Chu kỳ time-out thường tương đối dài:
  - Độ trễ dài trước khi gởi lại gói bị mất
- Phát hiện các segment bị mất thông qua các ACKs trùng.
  - Bên gửi thường gửi nhiều segment song song
  - Nếu segment bị mất, thì sẽ có khả năng có nhiều ACK trùng.

TCP truyền lại nhanh

Nếu bên gửi nhận 3 ACK của cùng 1 dữ liệu ("3 ACK trùng"), thì gửi lại segment chưa được ACK với số thứ tự nhỏ nhất

- Có khả năng segment không được ACK đã bị mất, vì thế không đợi đến thời gian timeout

TCP truyền lại nhanh



Truyền lại nhanh sau khi
bên gửi nhận 3 lần ACK bị trùng

Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

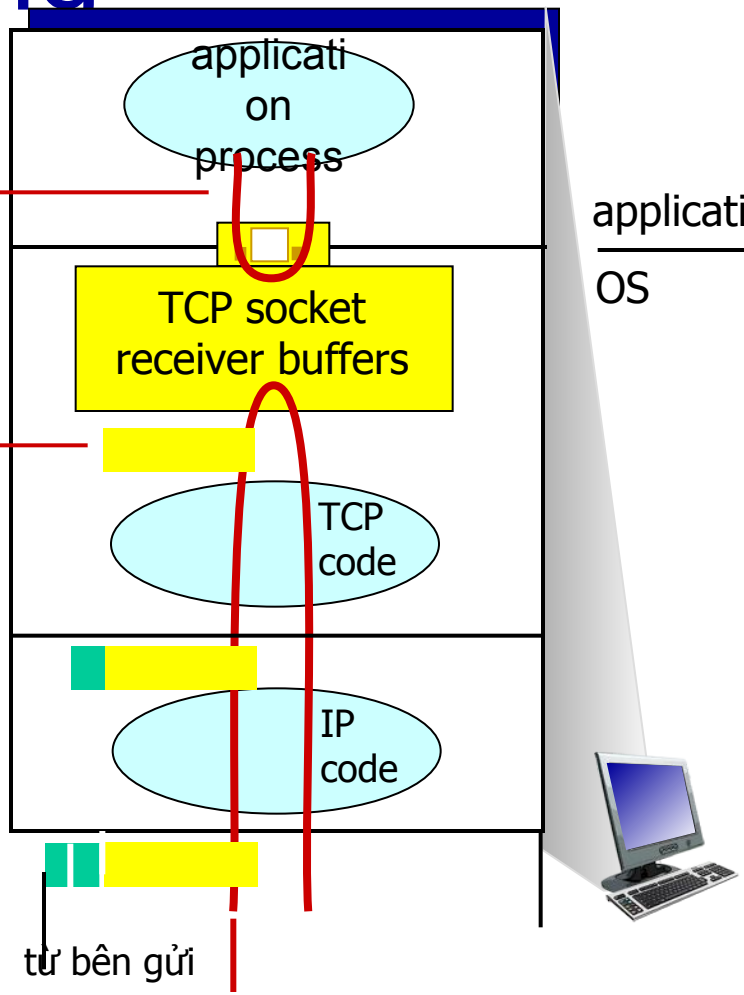
3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

TCP điều khiển luồng

Ứng dụng có thể loại bỏ dữ liệu từ các bộ nhớ đệm socket TCP

....

... chậm hơn TCP bên nhận đang cung cấp (bên gửi đang gửi)



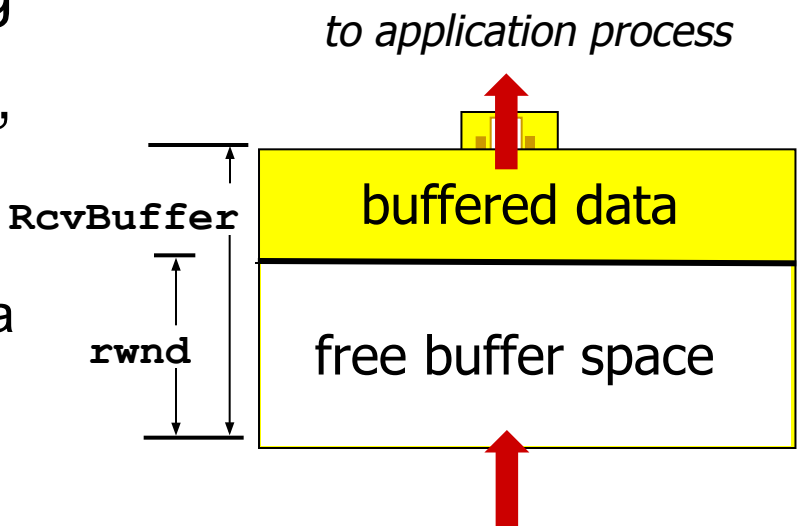
Chồng giao thức bên nhận

Điều khiển luồng

bên nhận kiểm soát bên gửi, để bên gửi sẽ không làm tràn bộ nhớ đệm của bên nhận bởi truyền quá nhiều và quá nhanh

TCP điều khiển luồng

- Bên nhận "thông báo" không gian bộ nhớ đệm còn trống bằng cách thêm giá trị **rwnd** trong TCP header của các segment từ bên nhận đến bên gửi
  - Kích thước của **RcvBuffer** được thiết đặt thông qua các tùy chọn của socket (thông thường mặc định là 4096 byte)
  - Nhiều hệ điều hành tự động điều chỉnh **RcvBuffer**
- Bên gửi giới hạn khối lượng dữ liệu gửi mà không cần ACK bằng giá trị **rwnd** của bên nhận
- Bảo đảm bộ đệm bên nhận sẽ không bị tràn



Bộ đệm phía bên nhận

Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

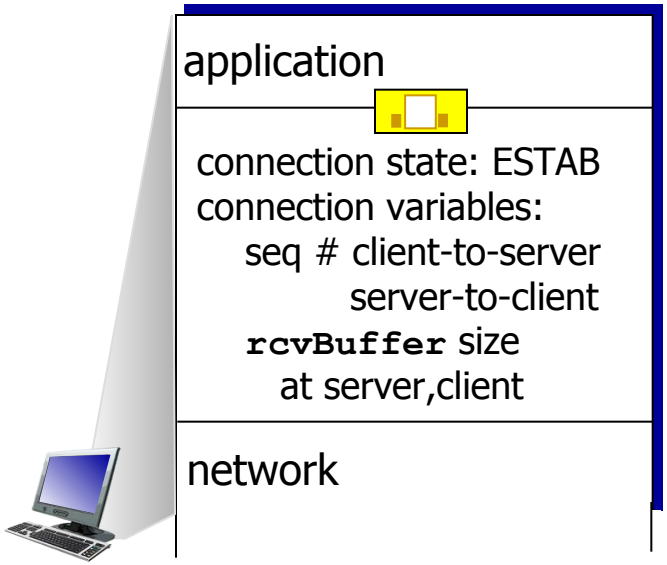
3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

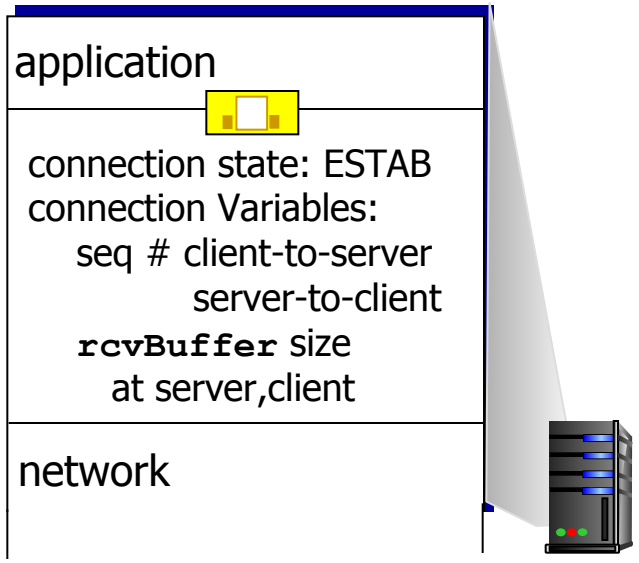
3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

Quản lý kết nối (Connection Management)

Trước khi trao đổi dữ liệu, bên gửi và nhận "bắt tay nhau" :

- Đồng ý thiết lập kết nối (mỗi bên biết bên kia sẵn sàng để thiết lập kết nối)
- Đồng ý các thông số kết nối



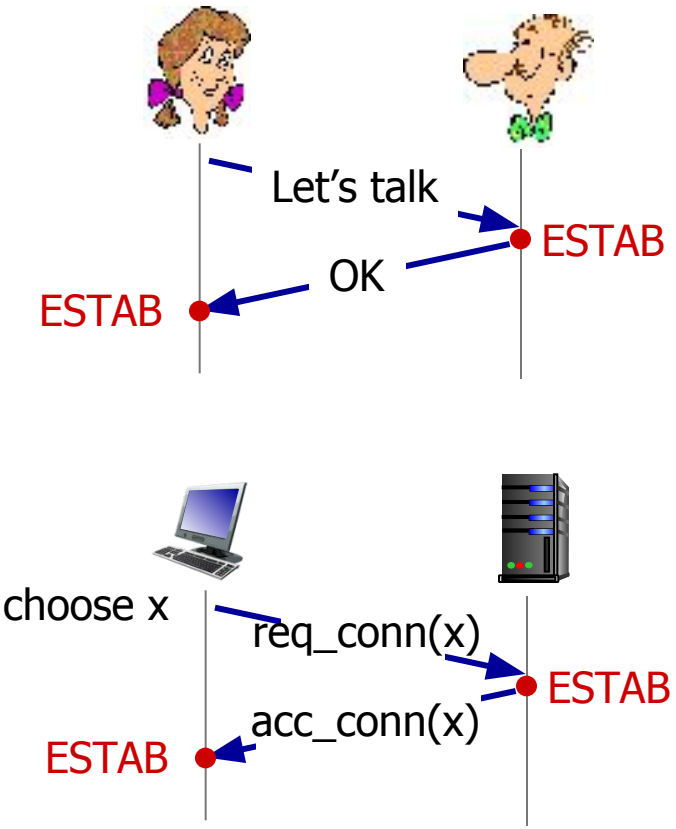



```
Socket clientSocket =
  newSocket("hostname","port
   number");
```

```
Socket connectionSocket =
   welcomeSocket.accept();
```

Đồng ý thiết lập kết nối

Bắt tay 2 lần (2-way handshake):

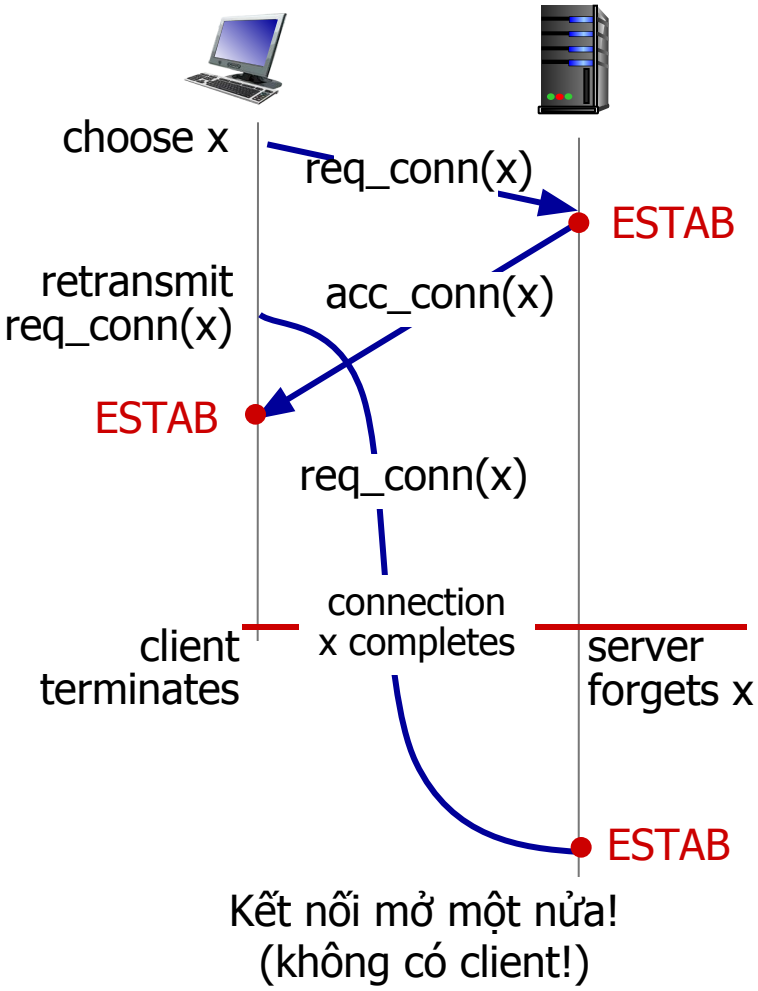


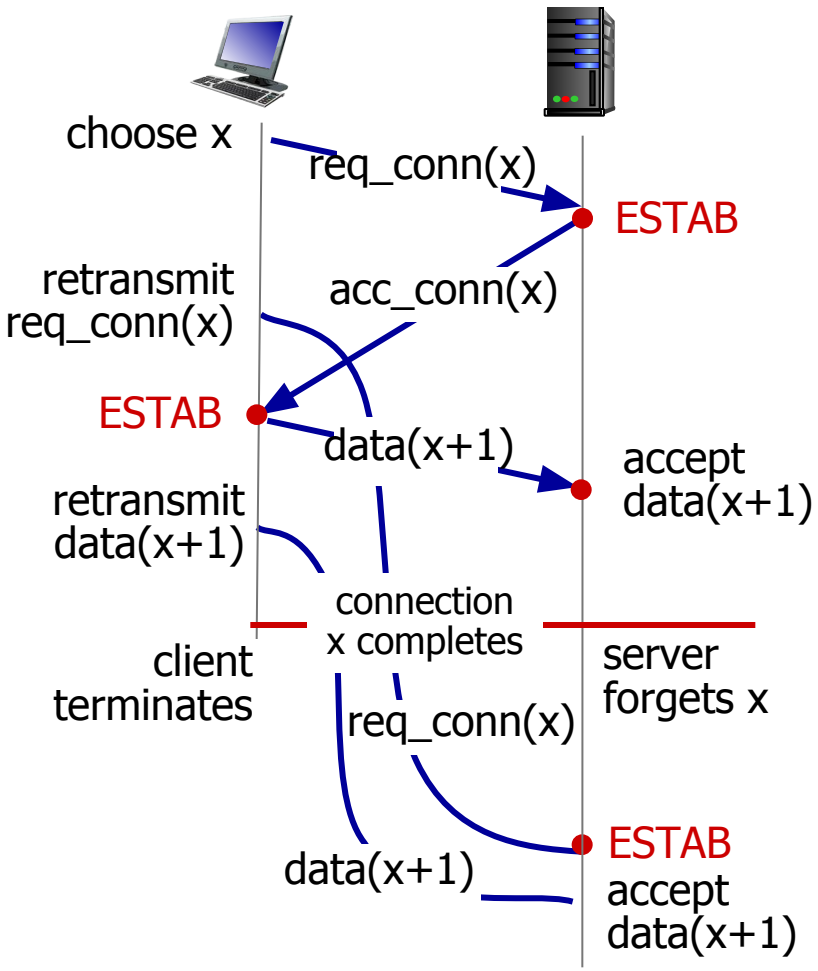
Hỏi: bắt tay 2 lần sẽ luôn luôn hoạt động trong mạng hay không?

- Độ chậm trễ biến thiên
- Các thông điệp được truyền lại (như req_conn(x)) vì mất thông điệp
- Sắp xếp lại thông điệp
- Không thể "thấy" phía bên kia

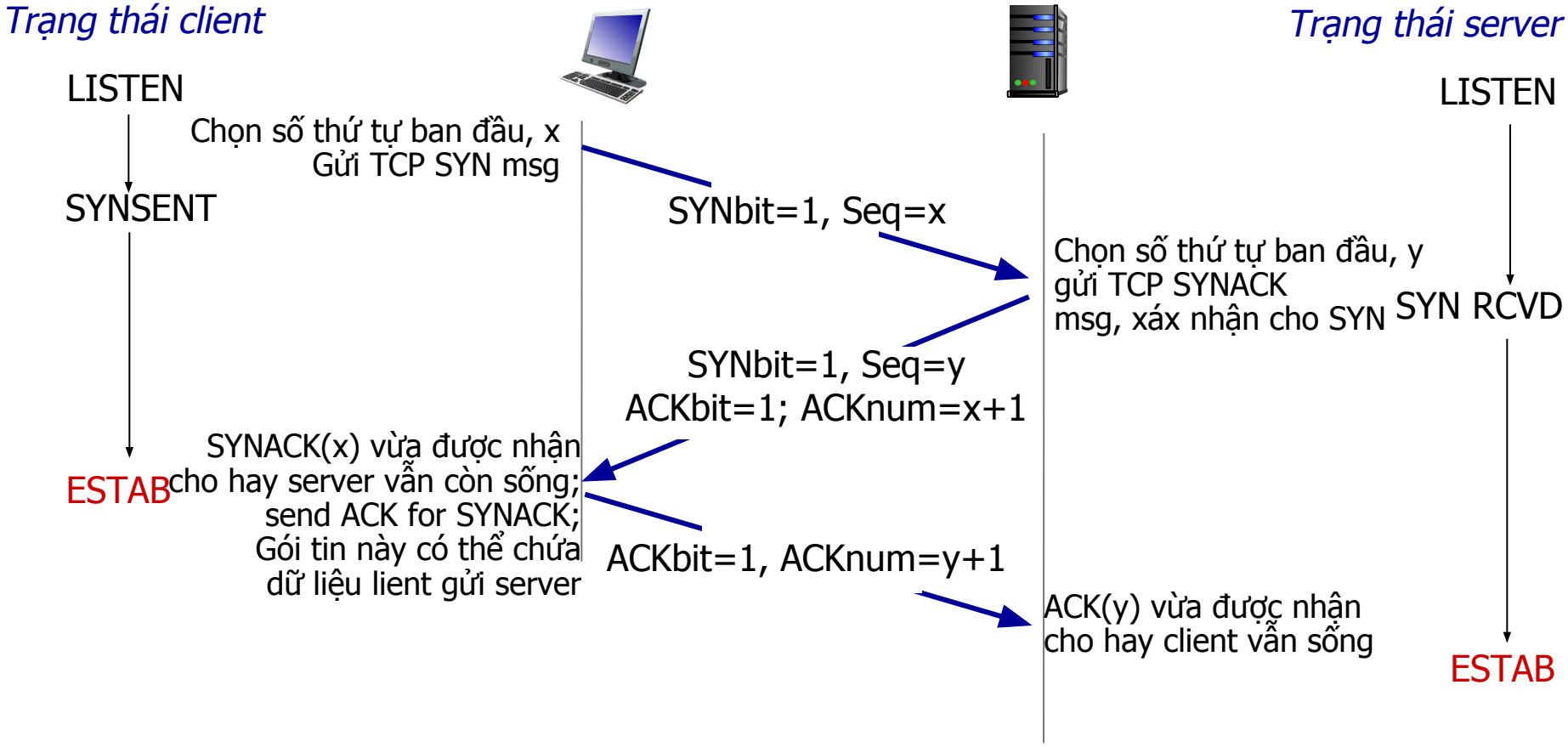
Đồng ý thiết lập kết nối

Các tình huống thất bại khi bắt tay 2 lần:

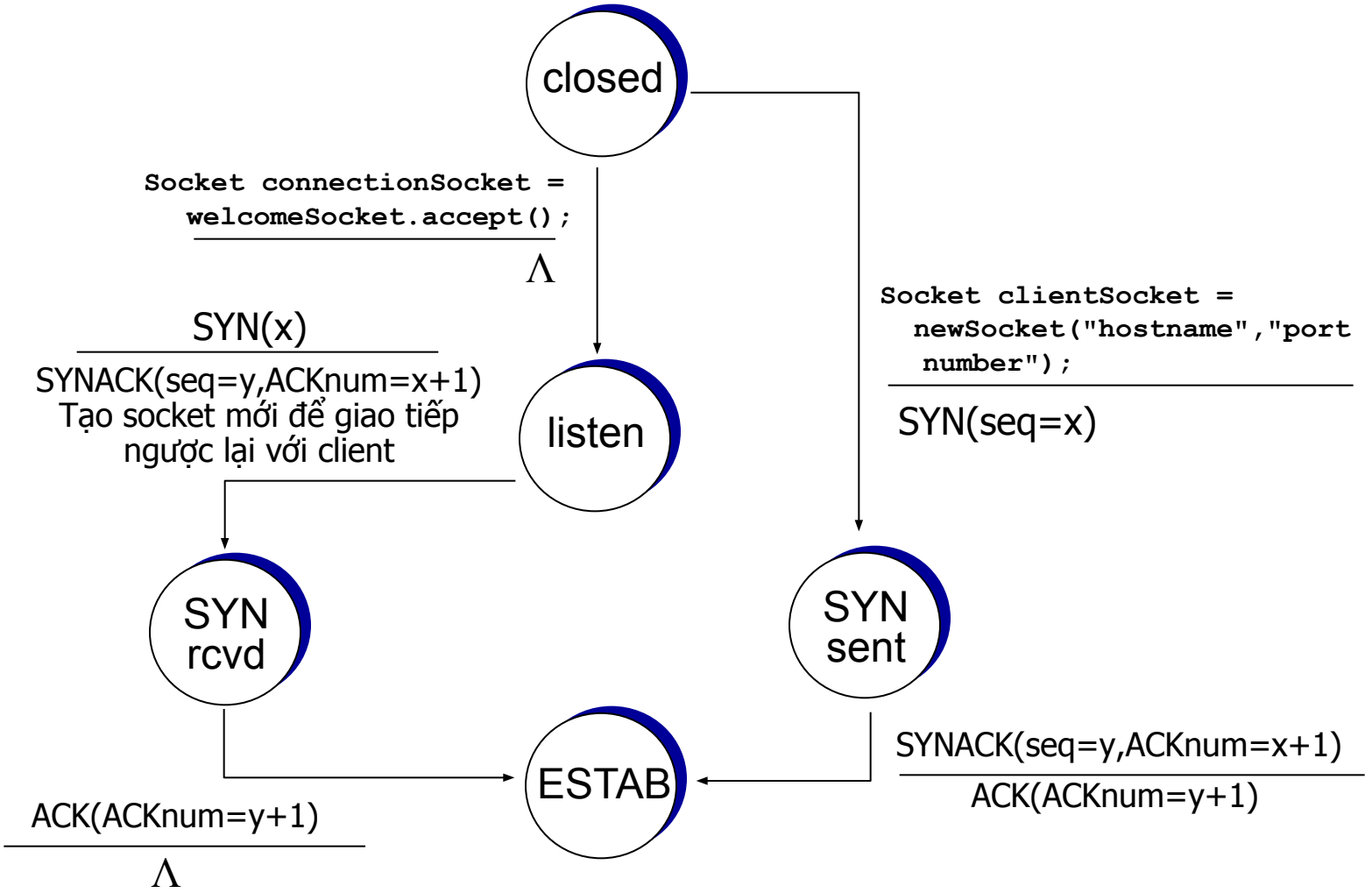




TCP bắt tay 3 lần (3-way handshake)



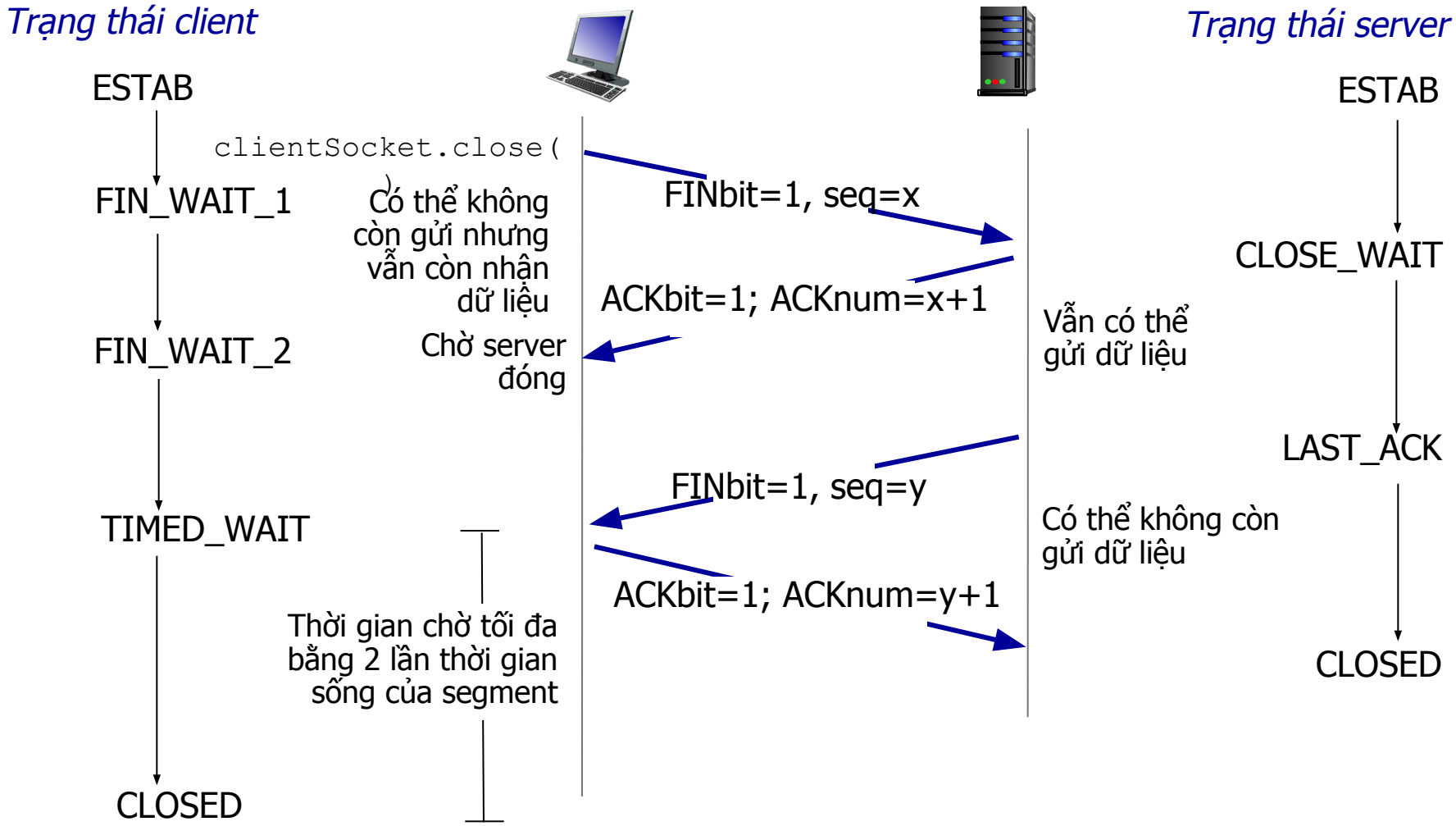
TCP bắt tay 3 lần: FSM



TCP: đóng kết nối

- Mỗi bên client và server sẽ đóng kết nối bên phía của nó
  - Gởi TCP segment với FIN bit = 1
- Phản hồi bằng ACK cho FIN vừa được nhận
  - Khi nhận FIN, ACK có thể được kết hợp với FIN của nó
- Các trao đổi FIN đồng thời có thể được sử dụng

TCP: đóng kết nối



Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

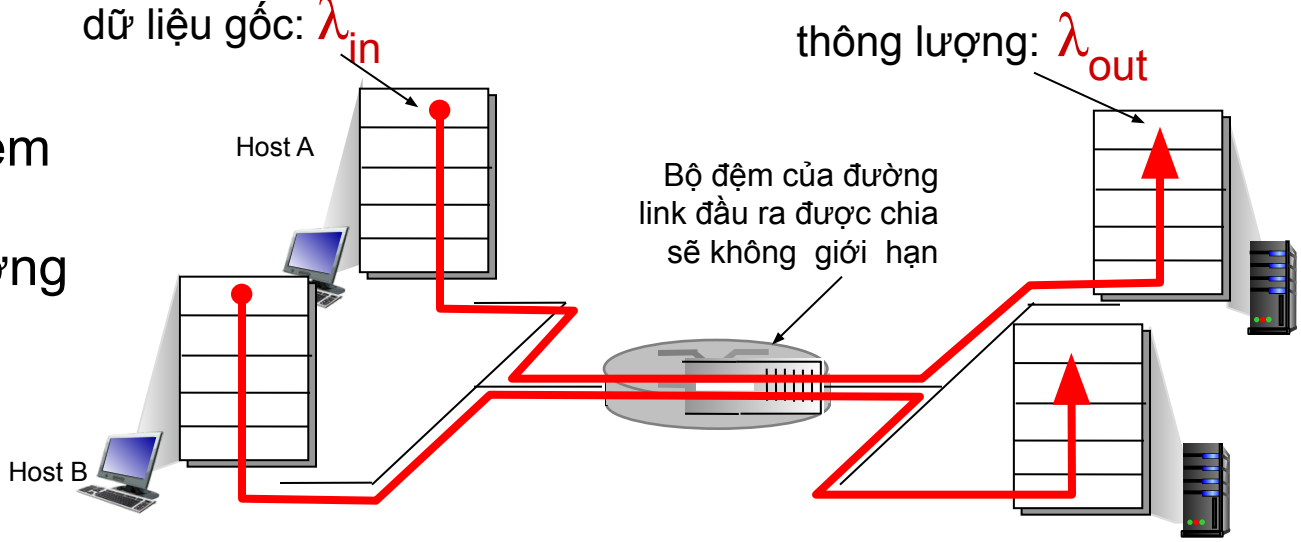
Các nguyên lý điều khiển tắc nghẽn (congestion control)

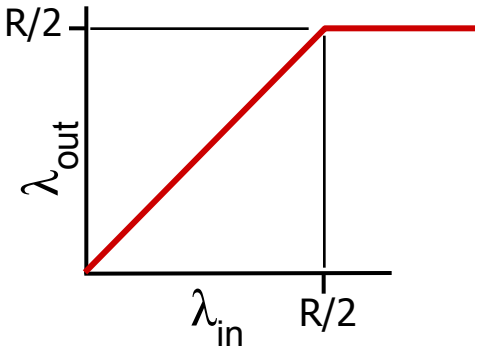
Tắc nghẽn:

- "quá nhiều nguồn gửi quá nhiều dữ liệu với tốc độ quá nhanh vượt quá khả năng xử lý của *mạng*"
- Khác với điều khiển luồng (flow control)!
- Các biểu hiện:
  - Mất gói (tràn bộ đệm tại các router)
  - Độ trễ lớn (xếp hàng trong các bộ đệm của router)
- 1 trong 10 vấn đề khó khăn!

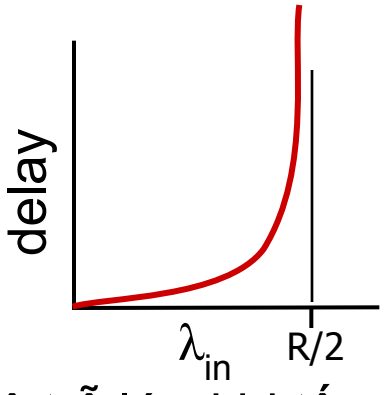
Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 1

- 2 gửi, 2 nhận
- 1 router, các bộ đệm không giới hạn
- Khả năng của đường link đầu ra: R
- Không truyền lại





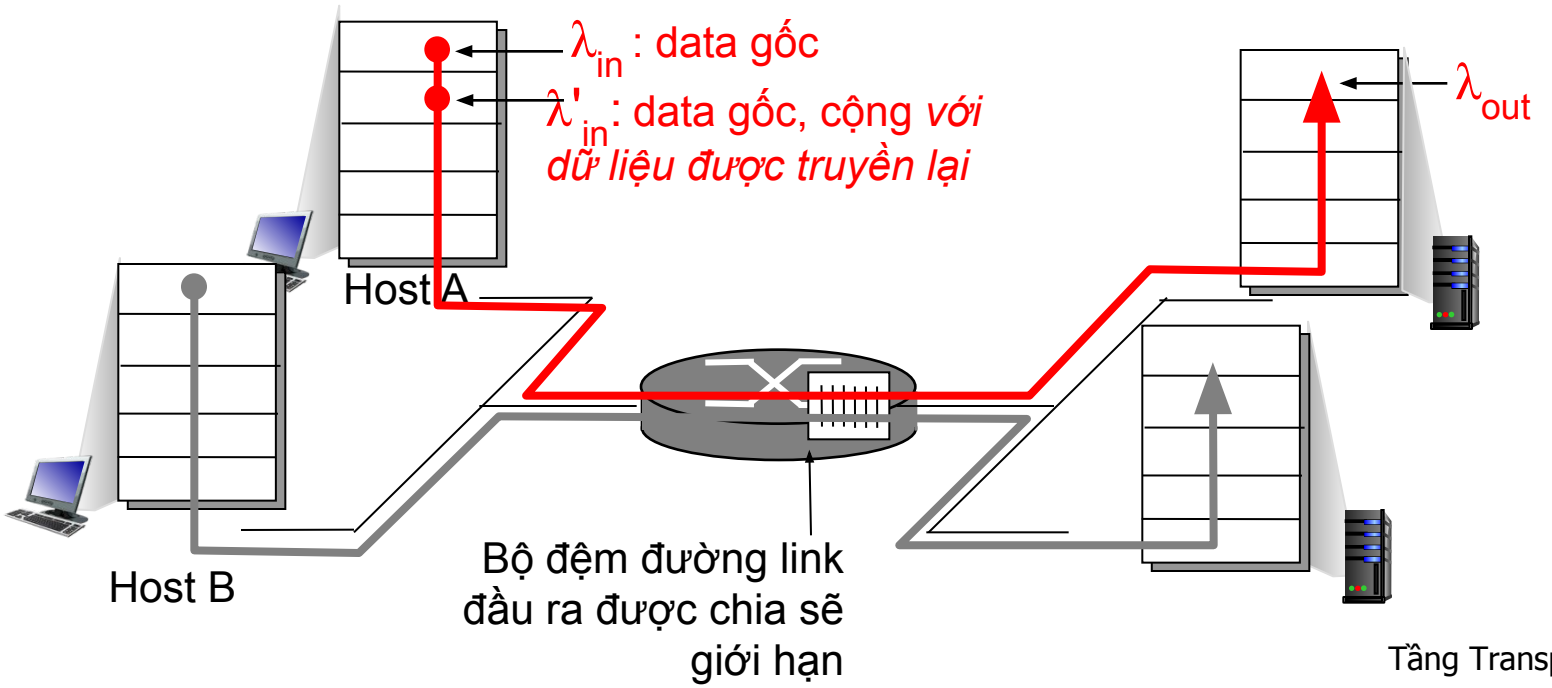
- Thông lượng lớn nhất của mỗi kết nối: R/2



- Độ trễ lớn khi tốc độ đến, l_{in}, tiếp cận khả năng đáp ứng của mạng

Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

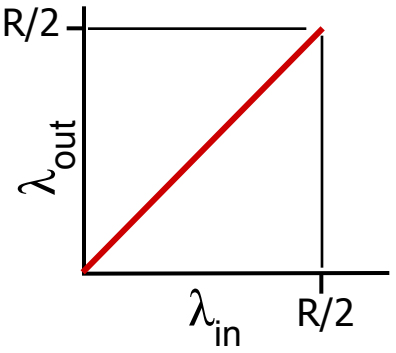
- 1 router, các bộ đệm có giới hạn
- bên gửi truyền lại các packet bị hết thời gian chờ
  - input tầng Ứng dụng = output tầng Ứng dụng: $l_{in} = l_{out}$
  - input tầng Vận chuyển bao gồm *việc truyền lại*: $l'_{in} \geq l_{in}$

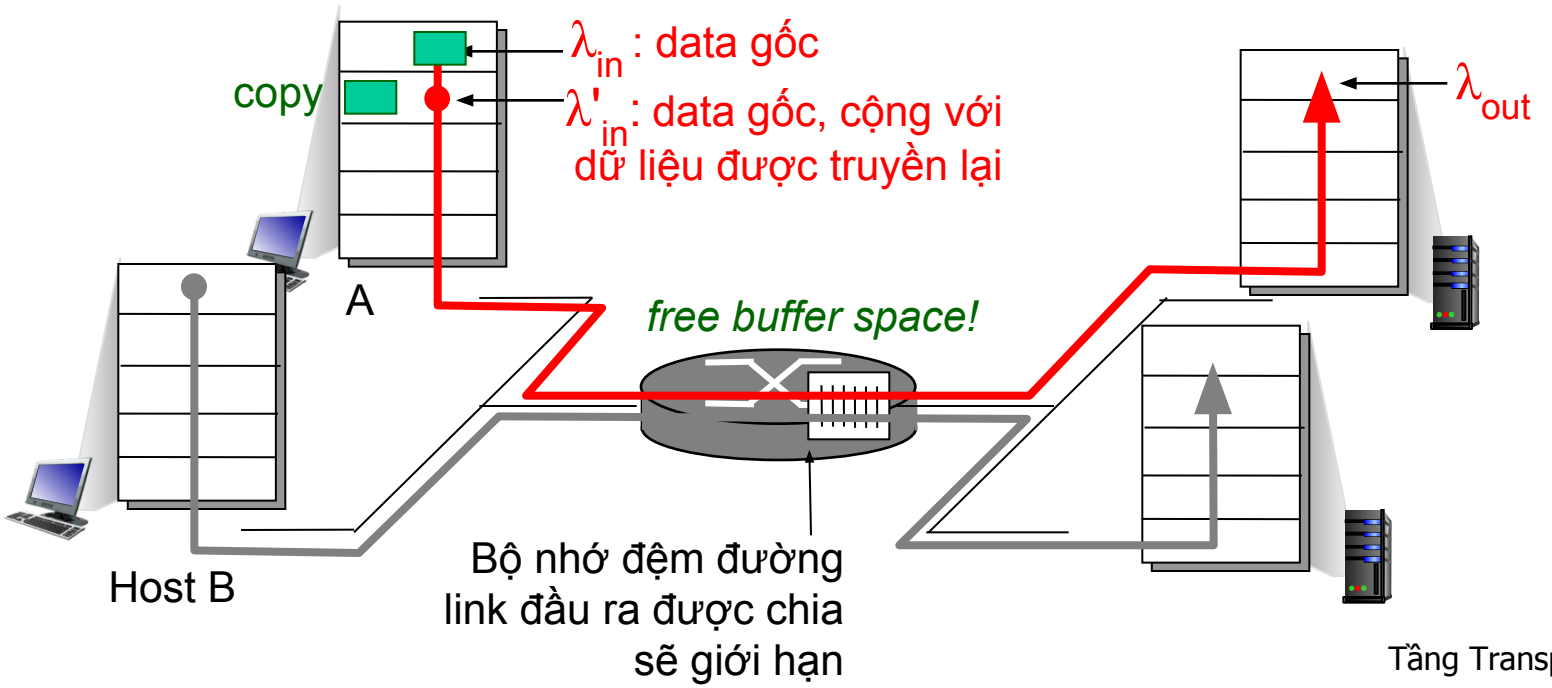


Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

Lý tưởng hóa: kiến thức hoàn hảo

- Bên gửi chỉ gửi khi bộ nhớ đệm của router sẵn sàng

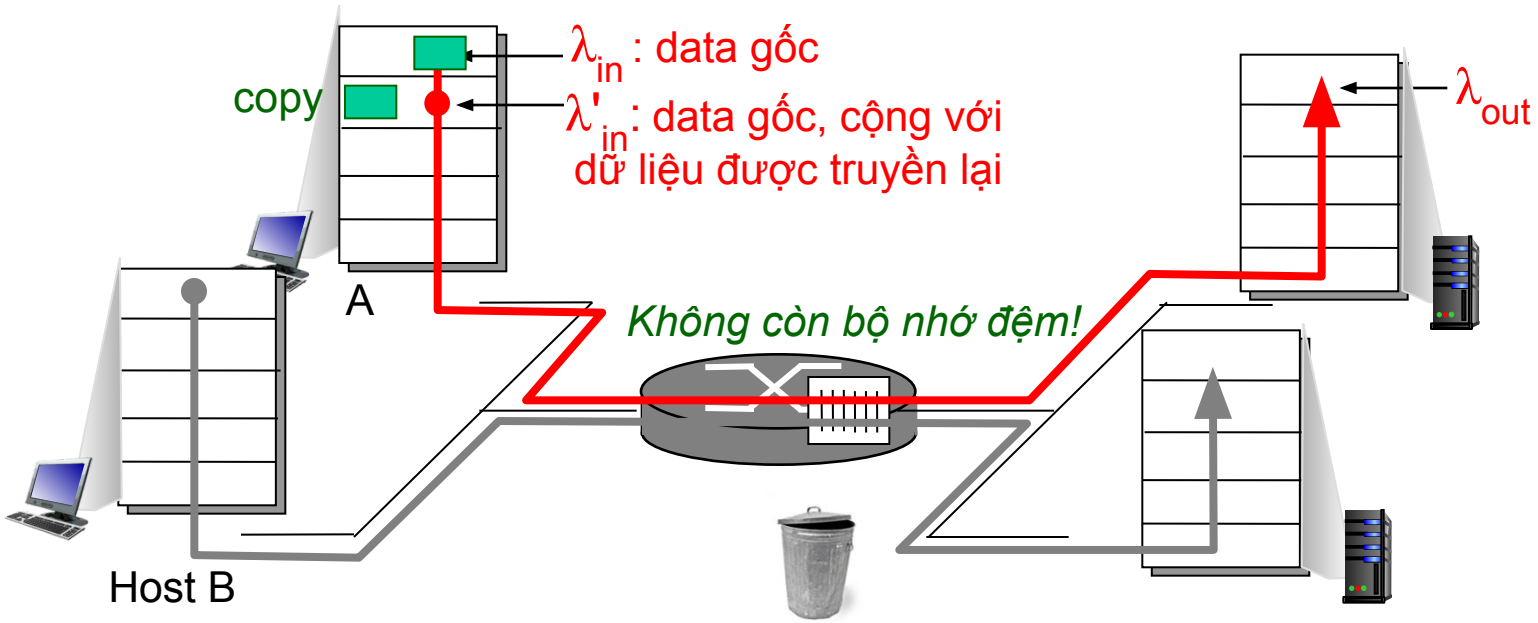




Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

Lý tưởng hóa: các packet có thể bị mất hoặc bị loại bỏ tại router bởi vì bộ nhớ đệm bị đầy

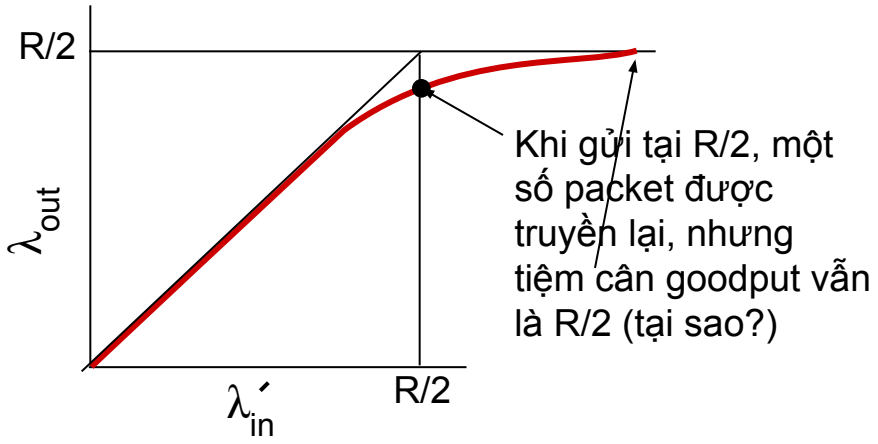
- Bên gửi chỉ gởi lại các gói đã bị mất

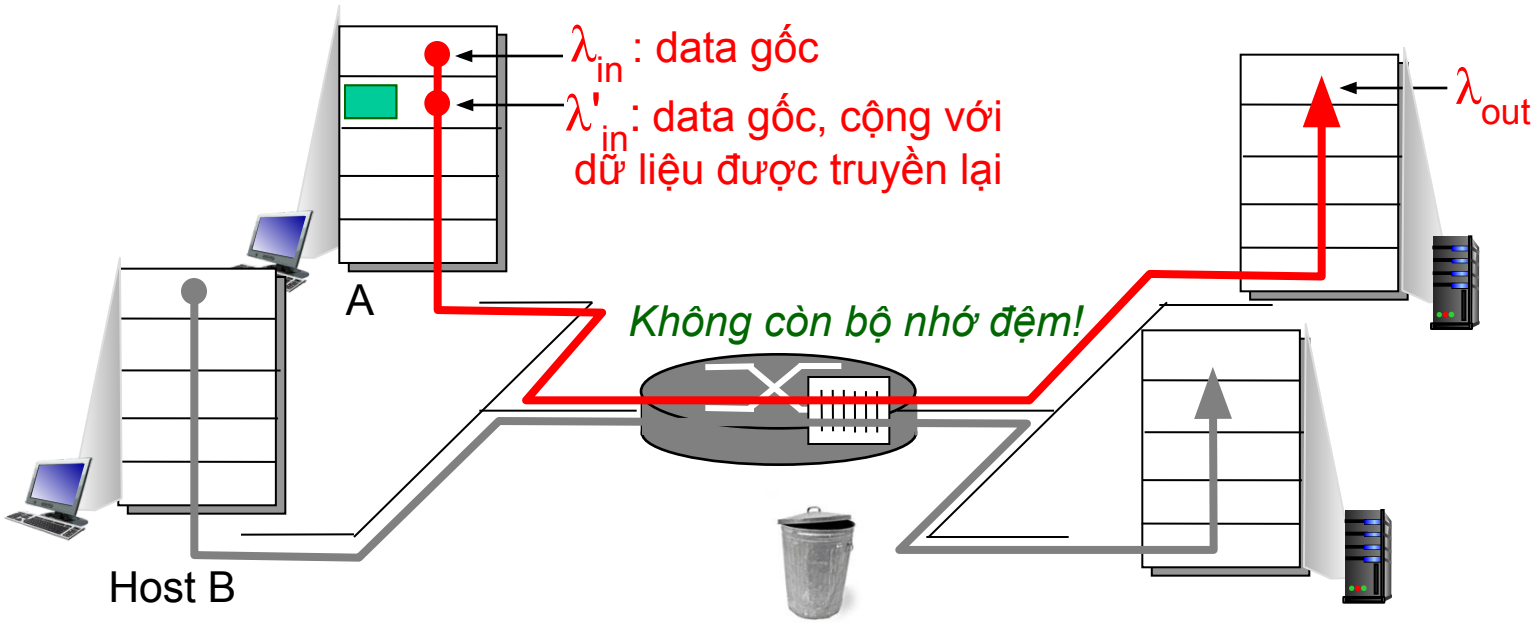


Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

Lý tưởng hóa: các packet có thể bị mất hoặc bị loại bỏ tại router bởi vì bộ nhớ đệm bị đầy

- Bên gửi chỉ gởi lại các gói đã bị mất

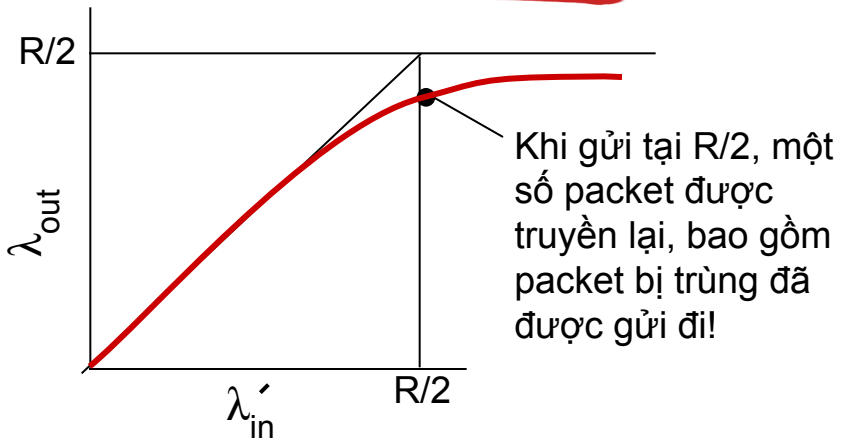


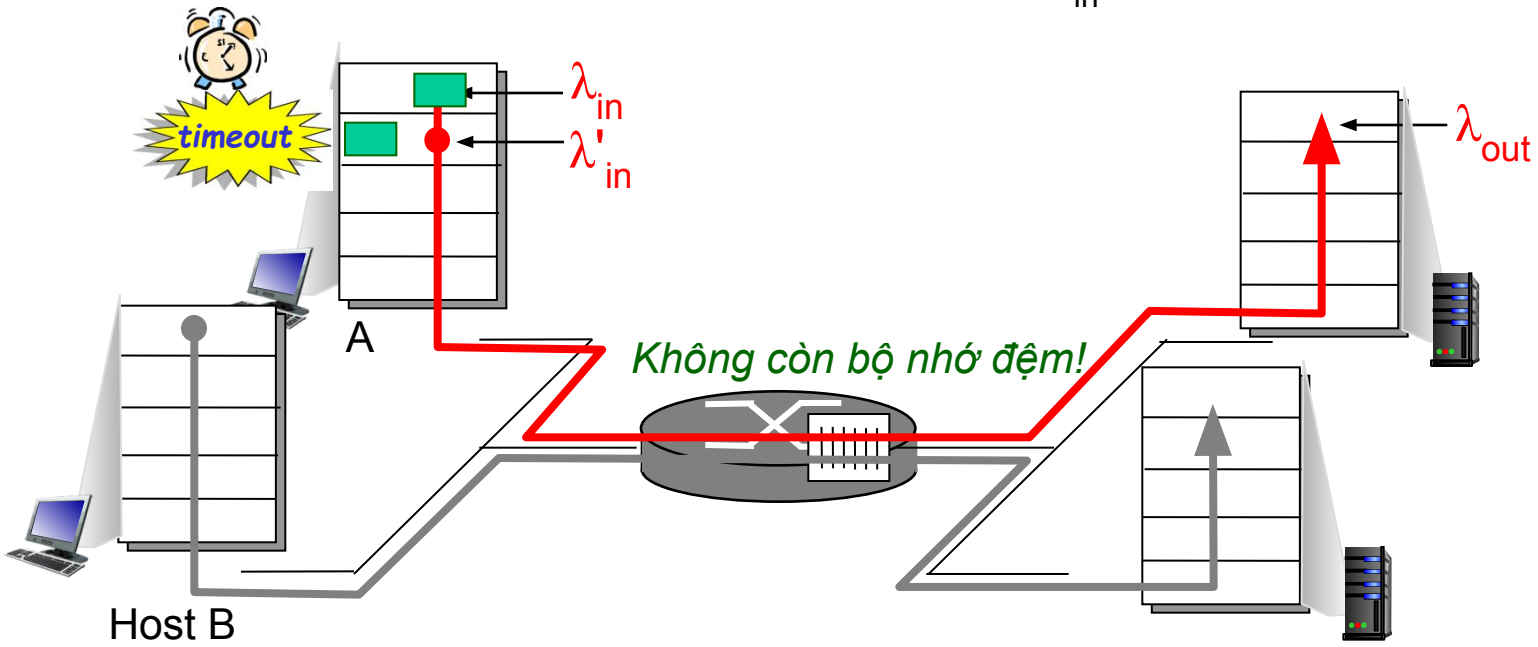


Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

Thực tế: trùng lặp

- Các packet có thể bị mất , bị bỏ tại router bởi vì bộ nhớ đệm đầy
- Thời gian time out bên gửi hết sớm, gởi 2 bản giống nhau, cả 2 đều được gửi đi

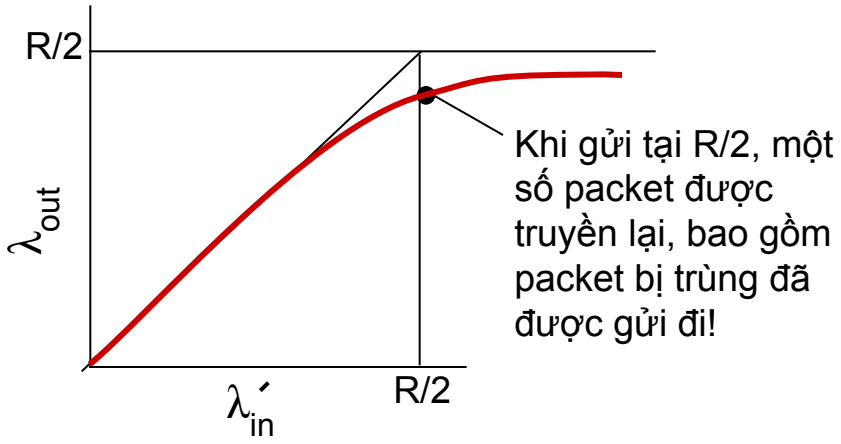




Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 2

Thực tế: trùng lặp

- Các packet có thể bị mất , bị bỏ tại router bởi vì bộ nhớ đệm đầy
- Thời gian time out bên gửi hết sớm, gởi 2 bản giống nhau, cả 2 đều được gởi đi



"chi phí" của tắc nghẽn:

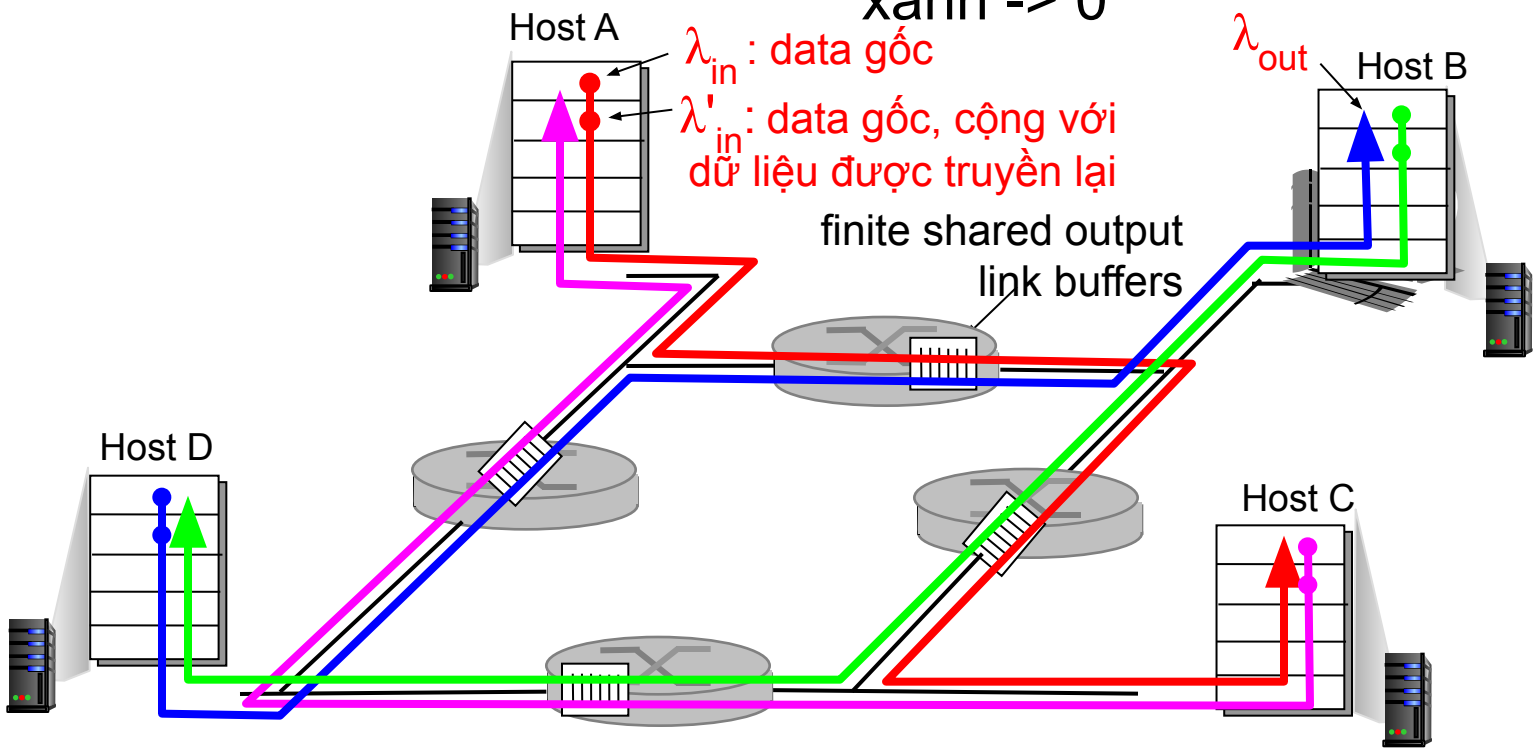
- Nhiều việc hơn (truyền lại) cho "goodput"
- Truyền lại không cần thiết: đường truyền mang nhiều bản sao của gói
  - Giảm goodput

Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 3

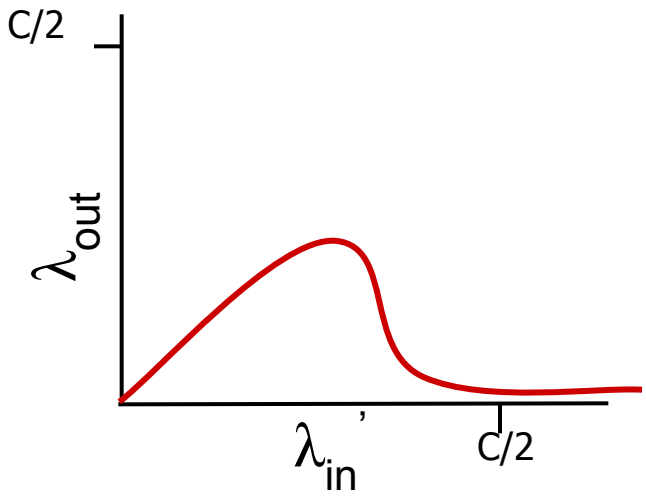
- 4 người gởi
- Các đường qua nhều hop
- timeout/truyền lại

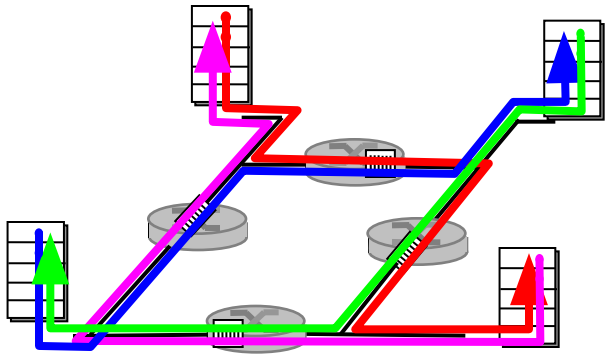
Hỏi: cái gì xảy ra khi I_{in} và I_{in}' tăng?

TL: khi I_{in}' màu đỏ tăng, tất cả packet màu xanh đến tại hàng đợi phía trên bị loại bỏ, thông lượng màu xanh -> 0



Nguyên nhân/Hệ quả của tắc nghẽn: tình huống 3





"Chi phí" khác của tắc nghẽn

- Khi gói bị loại bỏ, bất kỳ "lưu lượng tải lên (upstream) dùng cho gói đó sẽ bị lãng phí!"

Các phương pháp tiếp cận đối với điều khiển tắc nghẽn

2 phương pháp tiếp cận:

Điều khiển tắc nghẽn end-end :

- Không có phản hồi rõ ràng từ mạng
- Tắc nghẽn được suy ra từ việc quan sát hệ thống đầu cuối có mất mát hoặc bị trễ
- TCP được giao nhiệm vụ xử lý tắc nghẽn

Điều khiển tắc nghẽn có sự hỗ trợ của mạng (network-assisted) :

- Các router cung cấp phản hồi đến các hệ thống đầu cuối
  - Bit đơn chỉ ra tắc nghẽn (SNA, DECbit, TCP/IP ECN, ATM)
  - Tốc độ sẽ gửi của người gửi được xác định rõ ràng

Ví dụ: điều khiển tắc nghẽn ATM ABR

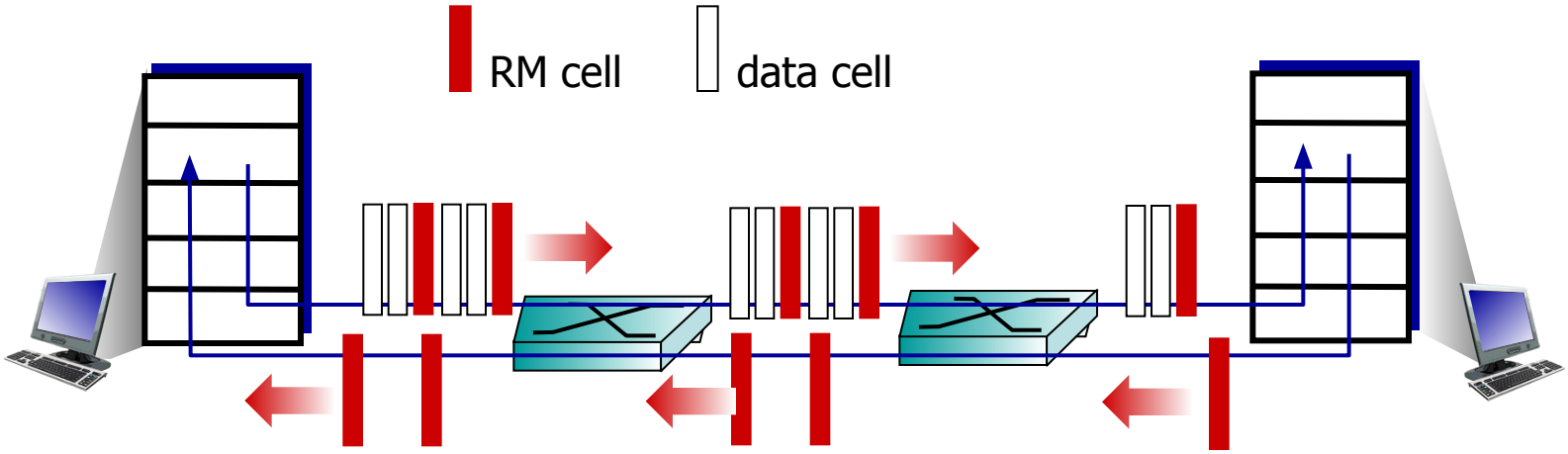
ABR: available bit rate:

- "dịch vụ mềm dẻo"
- Nếu đường gửi "dưới tải":
  - Bên gửi sẽ dùng băng thông trống
- Nếu đường gửi bị tắc nghẽn:
  - Bên gửi sẽ điều tiết với tốc độ tối thiểu được bảo đảm

Các gói RM (resource management cell):

- Được gửi bởi bên gửi, được xen kẽ với các gói dữ liệu
- Các bit trong RM cell được thiết lập bởi các switch
  - *NI bit:* không tăng tốc độ (tắc nghẽn nhẹ)
  - *CI bit:* tắc nghẽn rõ rệt
- Các RM cell được trả về bên gửi từ bên nhận với nguyên vẹn các bit trên

Ví dụ: điều khiển tắc nghẽn ATM ABR



- Trường 2 byte ER (tốc độ tường minh) trong cell RM
  - Switch bị tắc nghẽn có thể giảm giá trị ER trong gói
  - tốc độ gửi do đó có thể được điều tiết cho phù hợp với tốc độ tối đa mà đường truyền hỗ trợ
- Bit EFCI bit trong cell dữ liệu: được thiết lập là 1 tại switch bị tắc nghẽn
  - Nếu gói dữ liệu đứng trước RM cell có bit EFCI bật lên, bên gửi sẽ bật bit CI trong RM cell trả về

Chương 3 Nội dung

3.1 các dịch vụ tầng Vận chuyển

3.2 multiplexing và demultiplexing

3.3 vận chuyển phi kết nối: UDP

3.4 các nguyên lý truyền dữ liệu tin cậy

3.5 vận chuyển hướng kết nối: TCP

- Cấu trúc segment
- Truyền dữ liệu tin cậy
- Điều khiển luồng (flow control)
- Quản lý kết nối

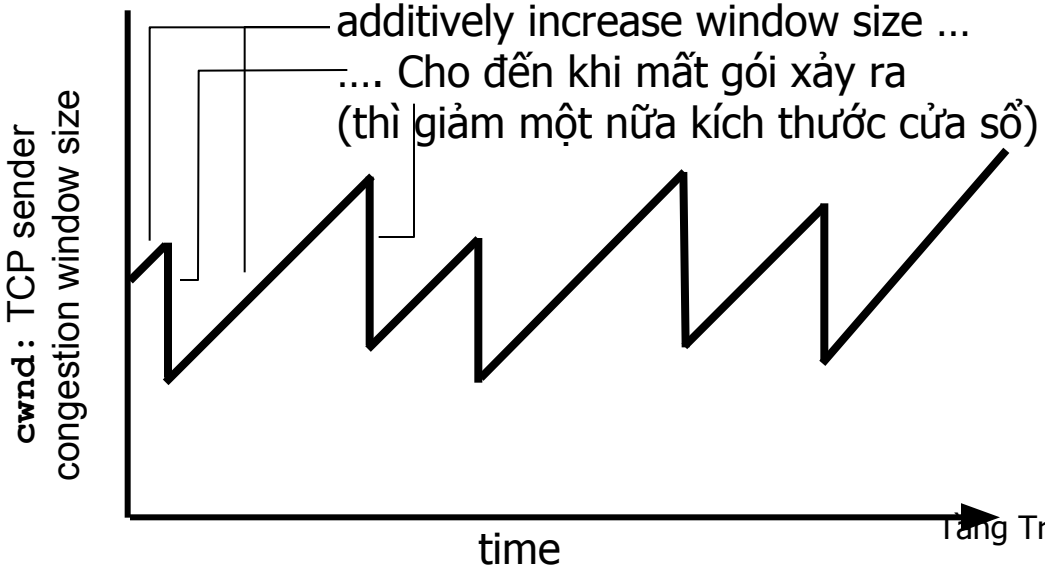
3.6 các nguyên lý về điều khiển tắc nghẽn

3.7 điều khiển tắc nghẽn TCP

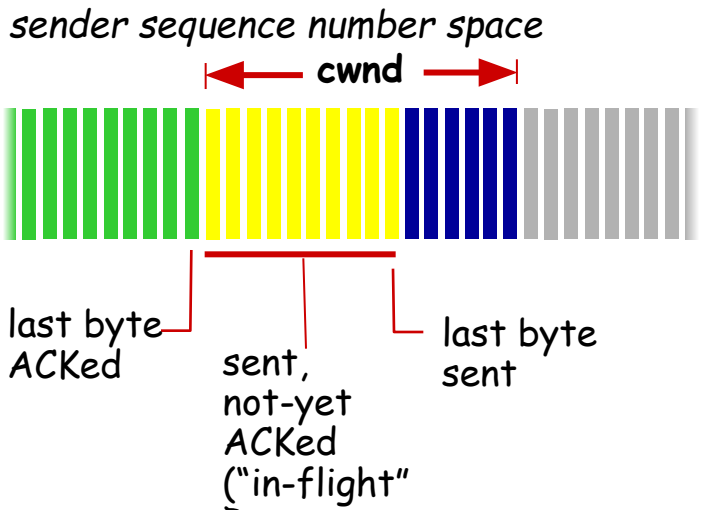
TCP điều khiển tắc nghẽn: tăng theo cấp số cộng, giảm theo cấp số nhân

- *Hướng tiếp cận:* bên gửi tăng tốc độ truyền (kích thước cửa sổ), thăm dò băng thông có thể sử dụng, cho đến khi mất mát gói xảy ra
  - *tăng theo cấp số cộng (additive increase):* tăng **cwnd (congestion window)** lên 1 MSS sau mỗi RTT cho đến khi mất gói xảy ra
  - *giảm theo cấp số nhân (multiplicative decrease)*: giảm một nửa **cwnd** sau khi mất gói xảy ra

AIMD saw tooth behavior: thăm dò băng thông



TCP điều khiển tắc nghẽn: chi tiết



TCP tốc độ gửi:

- *Ước lượng:* khối lượng byte gửi (cwnd) đợi ACK trong khoảng thời gian RTT

- Bên gửi giới hạn truyền tải:

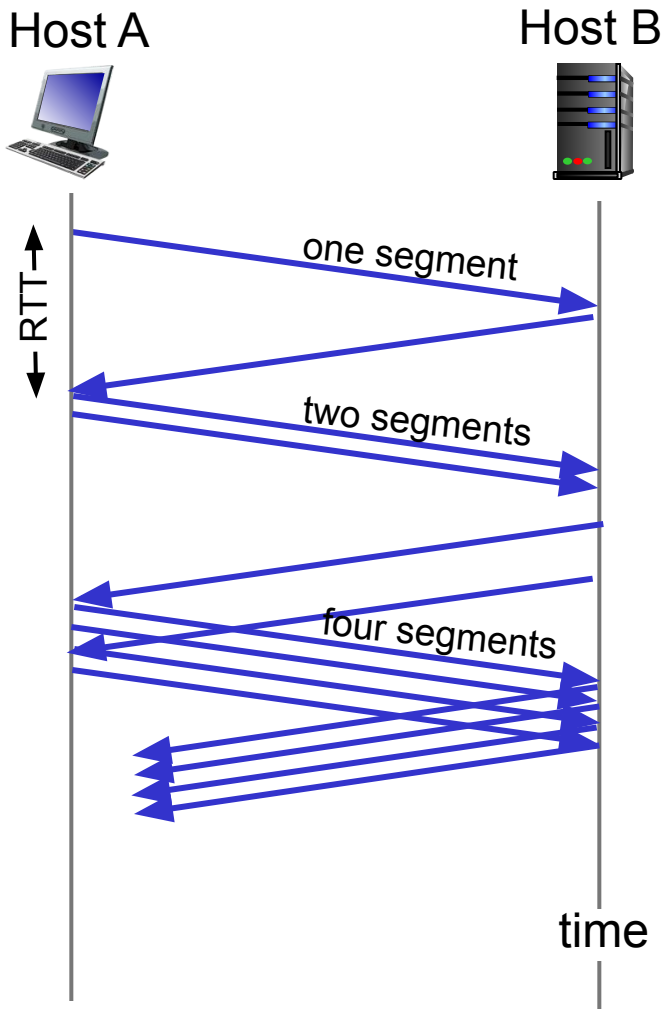
LastByteSent- LastByteAcked ≤ cwnd

$$\text{rate} \approx \frac{\text{cwnd}}{\text{RTT}} \text{ bytes/sec}$$

- **cwnd** thay đổi, chức năng nhận biết tắc nghẽn trên mạng

TCP Slow Start

- Khi kết nối bắt đầu, tăng tốc độ theo cấp số nhân cho đến sự kiện mất gói đầu tiên xảy ra:
  - initially **cwnd** = 1 MSS
  - Gấp đôi **cwnd** mỗi RTT
  - Được thực hiện bằng cách tăng **cwnd** cho mỗi ACK nhận được
- *Tóm lại:* tốc độ ban đầu chậm, nhưng nó sẽ tăng lên theo cấp số nhân



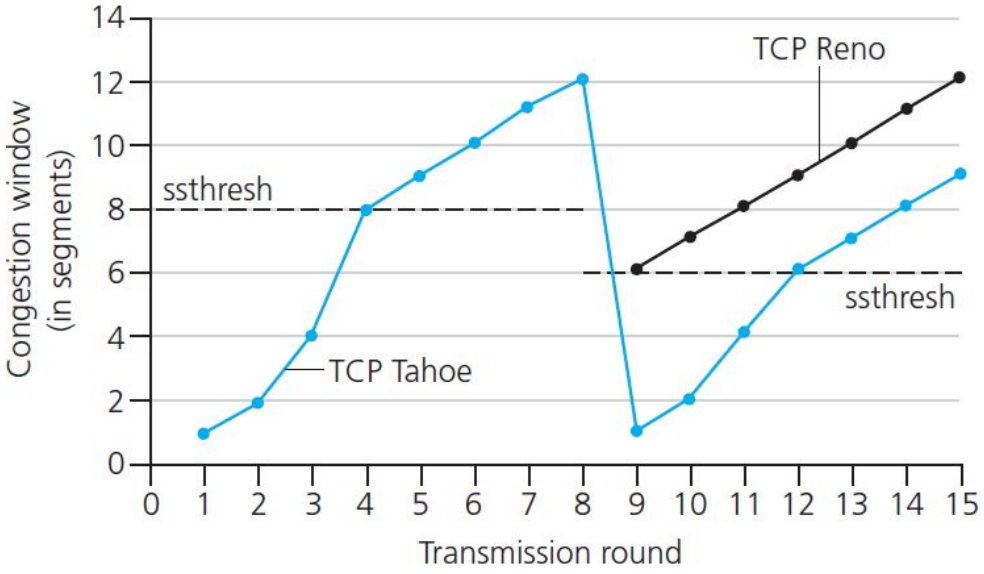
TCP: phát hiện, phản ứng khi mất gói

- Mất gói được chỉ ra bởi timeout:
  - **cwnd** được thiết lập 1 MSS;
  - Sau đó kích thước cửa sổ sẽ tăng theo cấp số nhân (như trong slow start) đến ngưỡng, sau đó sẽ tăng tuyến tính
- Mất gói được xác định bởi 3 ACK trùng nhau: TCP RENO
  - Các ACK trùng lặp chỉ ra mạng vẫn có khả năng truyền
  - **cwnd** bị cắt một nửa sau đó tăng theo tuyến tính
- TCP TAHOE luôn luôn thiết lập **cwnd** bằng 1 (timeout hoặc 3 ack trùng nhau)

TCP: chuyển từ slow start qua CA

Hỏi: khi nào tăng cấp lũy thừa nên chuyển qua tuyến tính?

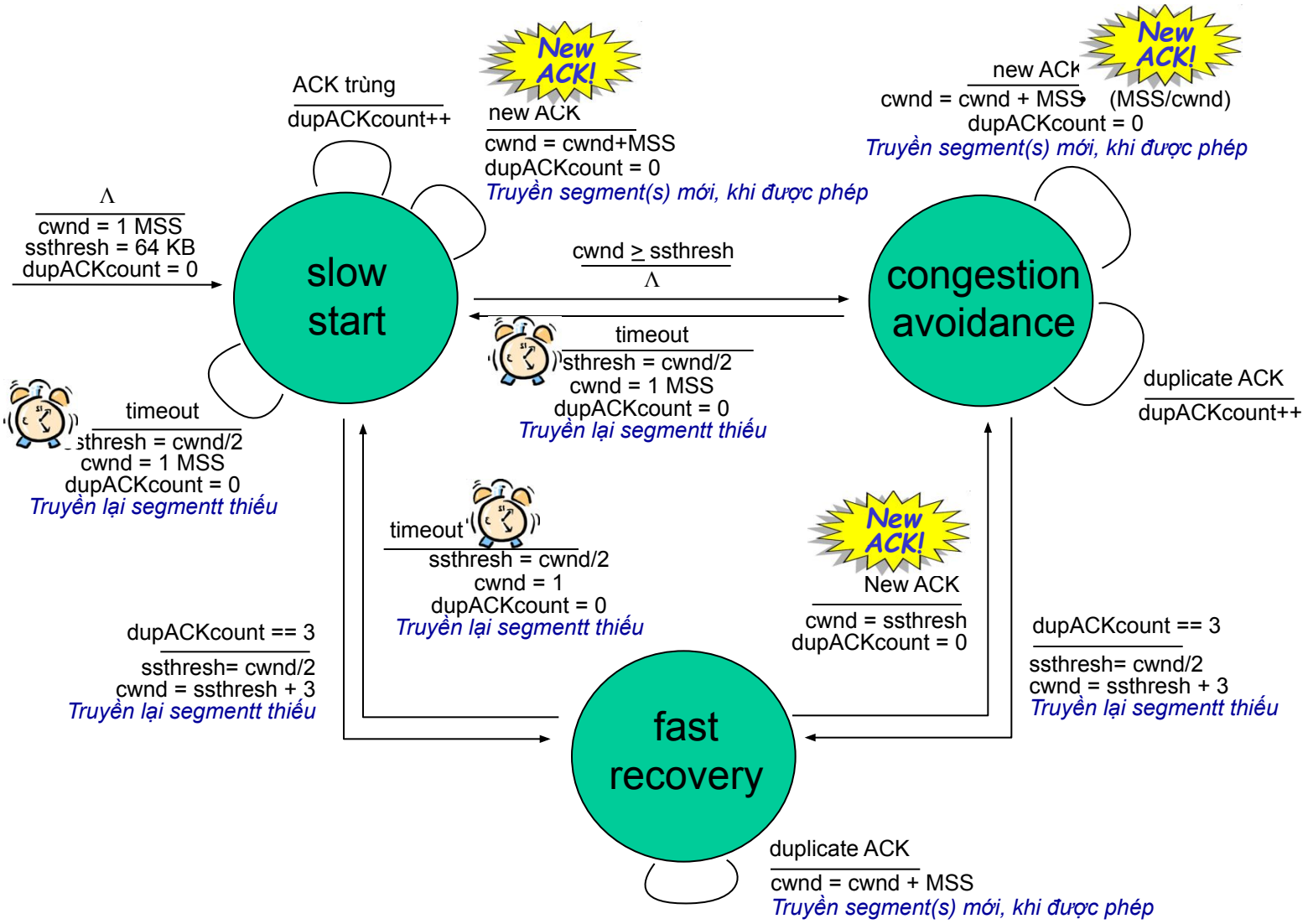
Trả lời: khi **cwnd** được 1/2 giá trị của nó trước thời gian timeout.



Thực hiện:

- **ssthresh** thay đổi
- Khi mất gói, **ssthresh** được thiết lập về chỉ 1/2 của **cwnd** trước khi mất gói

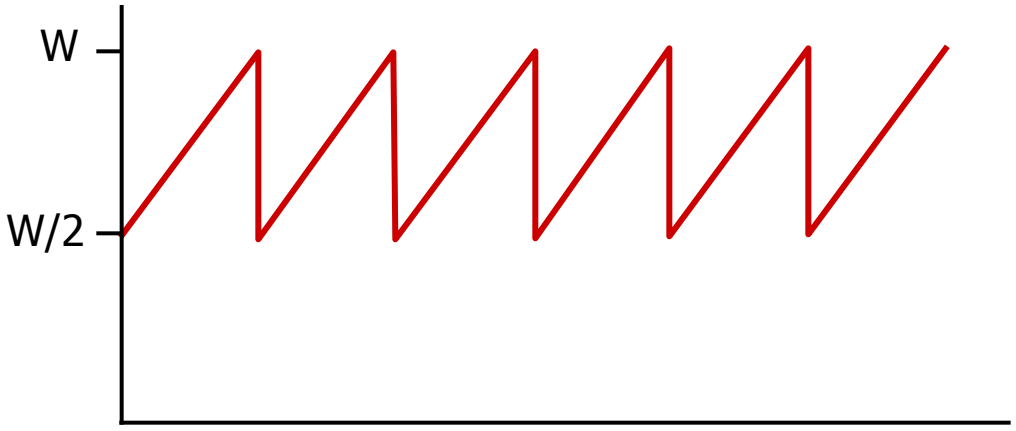
Tóm tắt: TCP điều khiển tắc nghẽn



TCP thông lượng (throughtput)

- Thông lượng trung bình của TCP như là chức năng của kích thước cửa sổ và RTT?
  - Bỏ qua slow start, giả sử dữ liệu luôn luôn được gởi
- W: kích thước cửa sổ (được đo bằng byte) khi mất gói xảy ra
  - Kích thước cửa sổ trung bình (# in-flight bytes) là ¾ W
  - Thông lượng trung bình là 3/4W mỗi RTT

$$\text{avg TCP thruput} = \frac{3}{4}\frac{W}{RTT} \text{ bytes/sec}$$



TCP tương lai: TCP qua "ống lớn và dài"

- Ví dụ: segment 1500 byte, 100ms RTT, muốn thông lượng 10 Gbps
- Kích thước cửa sổ yêu cầu W = 83,333 segment trên đường truyền
- Thông lượng trong các trường hợp mất gói, L [Mathis 1997]:

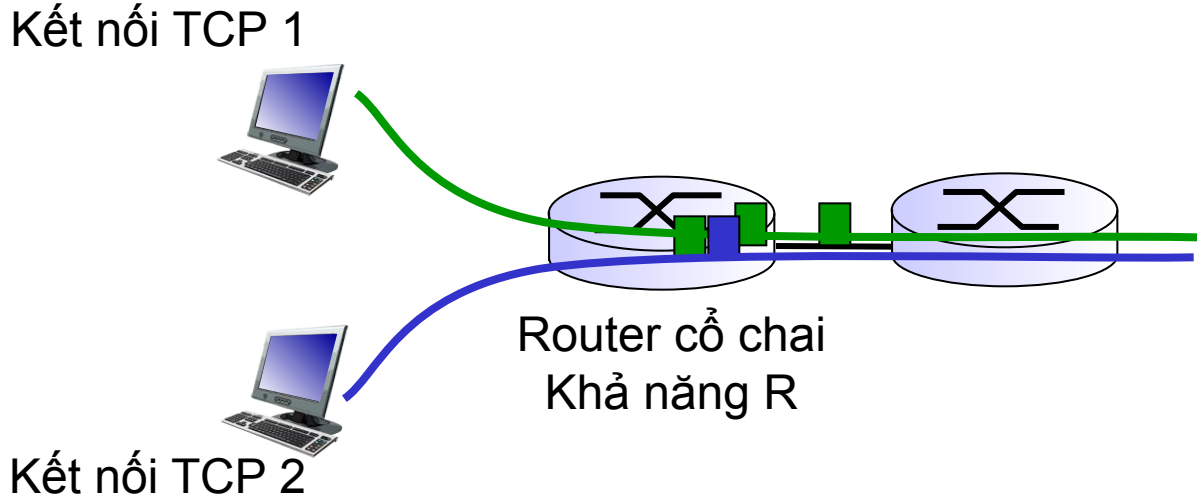
$$\text{TCP throughput} = \frac{1.22 \cdot MSS}{RTT\sqrt{L}}$$

➜ để đạt thông lượng 10 Gbps, cần thì lệ mất gói là $L = 2 \cdot 10^{-10}$ *– một tỷ lệ mất gói rất nhỏ!*

- Phiên bản mới của TCP cho tốc độ cao

TCP Công bằng

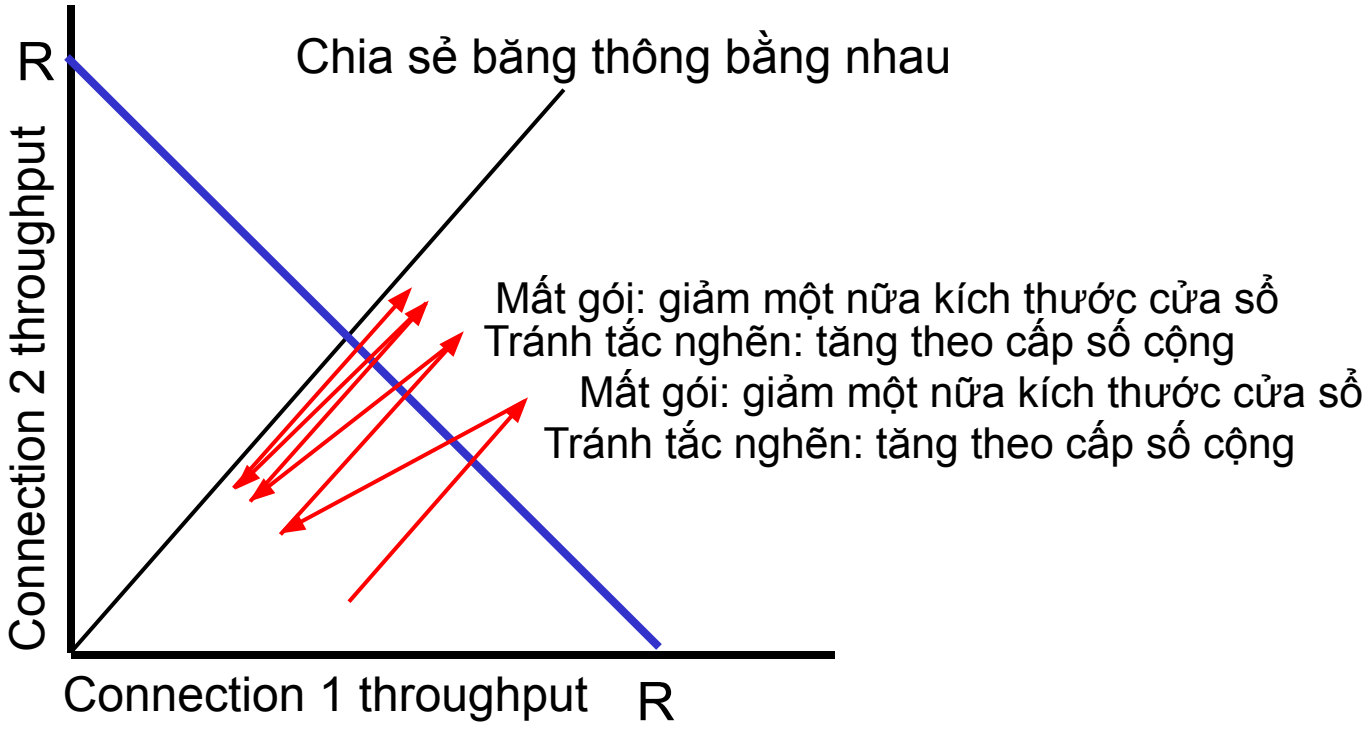
Mục tiêu công bằng: nếu có K session TCP chia sẽ cùng đường link bị bóp cổ chai của băng thông R, thì mỗi phiên nên có tốc độ trung bình là R/K



Tại sao TCP là công bằng?

2 session cạnh tranh nhau:

- Tăng theo cấp số cộng 1, khi thông lượng tăng
- Giảm lưu lượng theo cấp số nhân tương ứng



Công bằng (tt)

Công bằng và UDP

- Nhiều ứng dụng thường không dùng TCP
  - Không muốn tốc độ bị điều tiết do điều khiển tắc nghẽn
- Thay bằng dùng UDP:
  - Truyền audio/video với tốc độ ổn định, chịu được mất gói

Công bằng, các kết nối TCP song song

- ứng dụng có thể mở nhiều kết nối song song giữa 2 host
- Trình duyệt web làm điều này
- Ví dụ: đường link với tốc độ R đang có 9 kết nối:
  - ứng dụng mới yêu cầu mở 1 kết nối TCP, có tốc độ R/10
  - ứng dụng mới yêu cầu mở 11 kết nối TCP, có tốc độ R/2

Chương 3: Tóm tắt

- Các nguyên lý của các dịch vụ tầng Vận chuyển:
  - multiplexing, demultiplexing
  - Truyền dữ liệu tin cậy
  - Điều khiển luồng (flow control)
  - Điều khiển tắc nghẽn (congestion control)
- Khởi tạo và thực hiện trên Internet
  - UDP
  - TCP

Kế tiếp:

- Tìm hiểu xong các vấn đề mạng "biên" (các tầng Ứng dụng, tầng Vận chuyển)
- Chuẩn bị vào phần mạng "lõi"