画像情報特論 (2)

- TCP/IP
  - インターネットプロトコル (IP)
  - Network-Assisted QoS
  - TCP (Transport Control Protocol)
  - UDP (User Datagram Protocol)

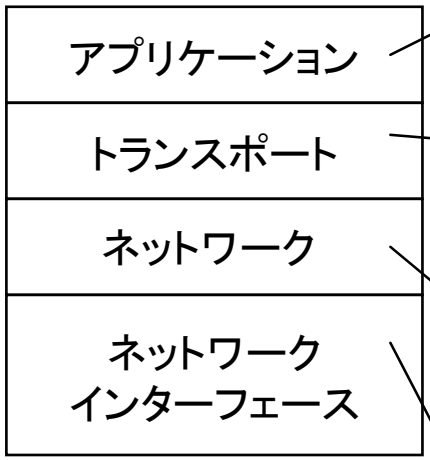
情報理工学専攻　甲藤二郎
E-Mail: katto@waseda.jp

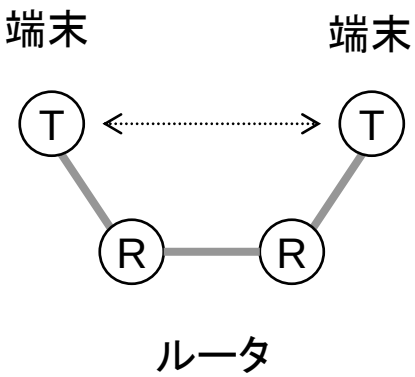
IP

(Internet Protocol)

プロトコルスタッ

プロトコルスタック





アプリケーション

HTTP, RTSP, FTP, Telnet, ...

RTP: 実時間メディア用途

端末・端末間

TCP: 誤り訂正、順序制御、フロー制御 … 信頼性重視

UDP: オーバーヘッド少 … 低遅延、高速性重視

端末・ルータ間、ルータ・ルータ間

IP: 経路制御、フラグメンテーション

ICMP: エラー通知

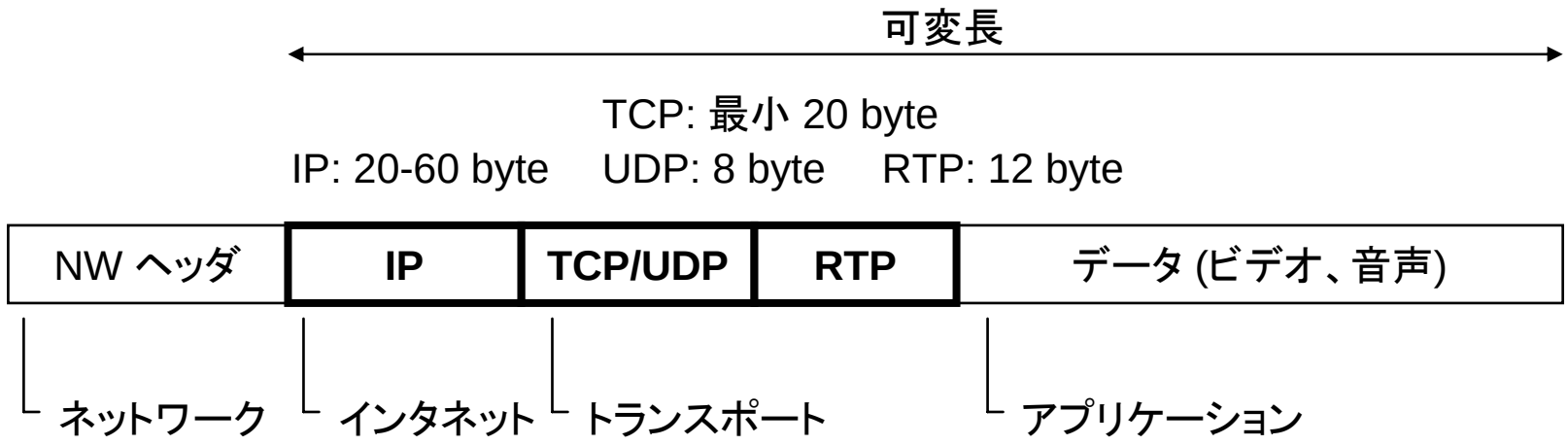
IGMP: マルチキャスト (mbone)

個別リンク

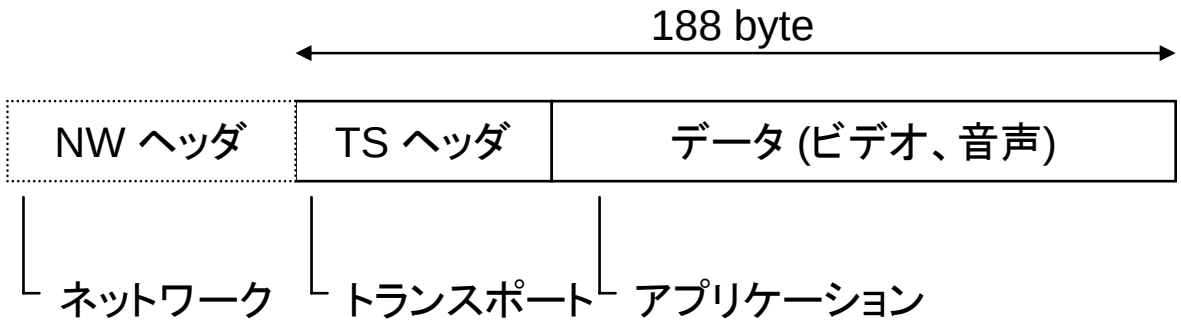
イーサーネット, PPP, X.25, ATM, …

IP データグラム

IP データグラム

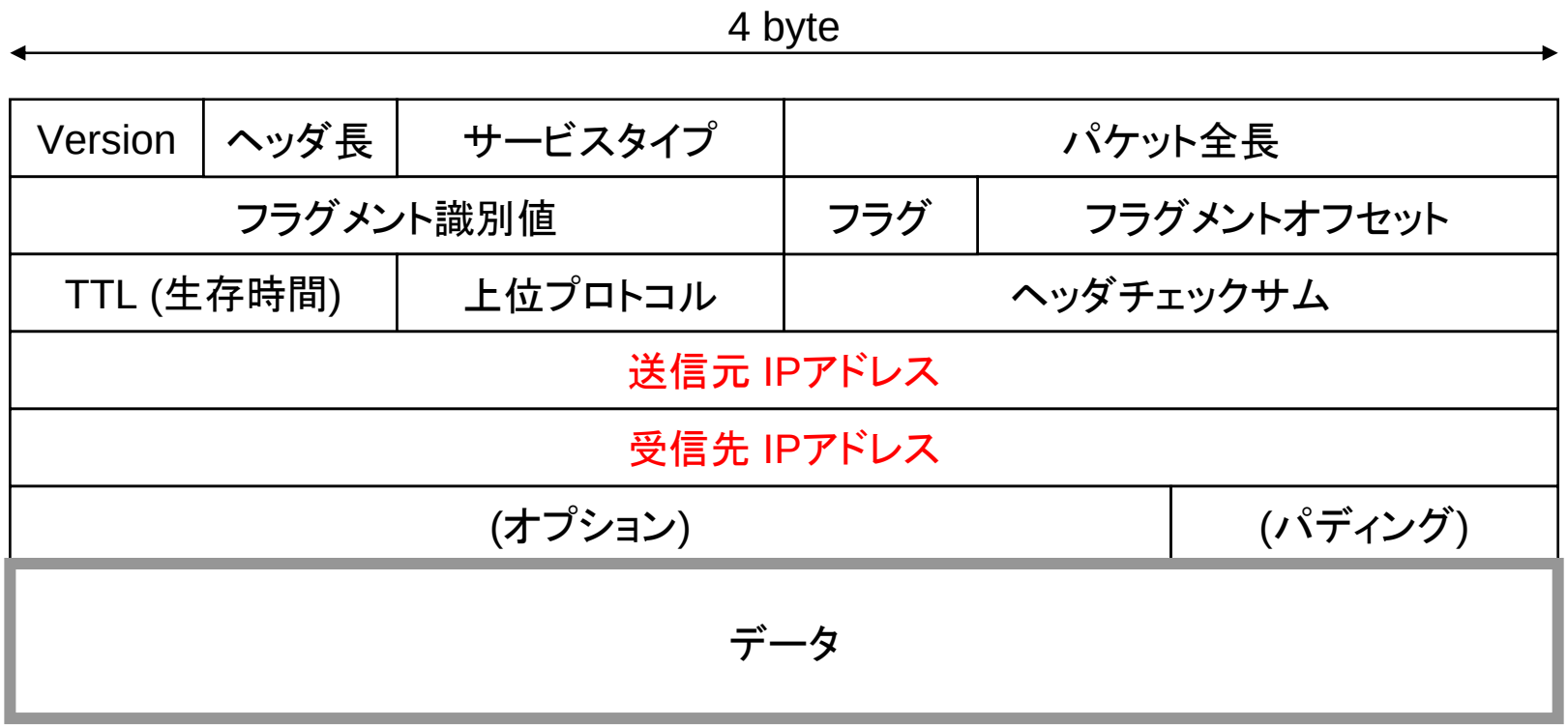


cf. MPEG-2 トランスポートストリーム (ITU-T H.222)



IPv4 ヘッダ

IPv4ヘッダ



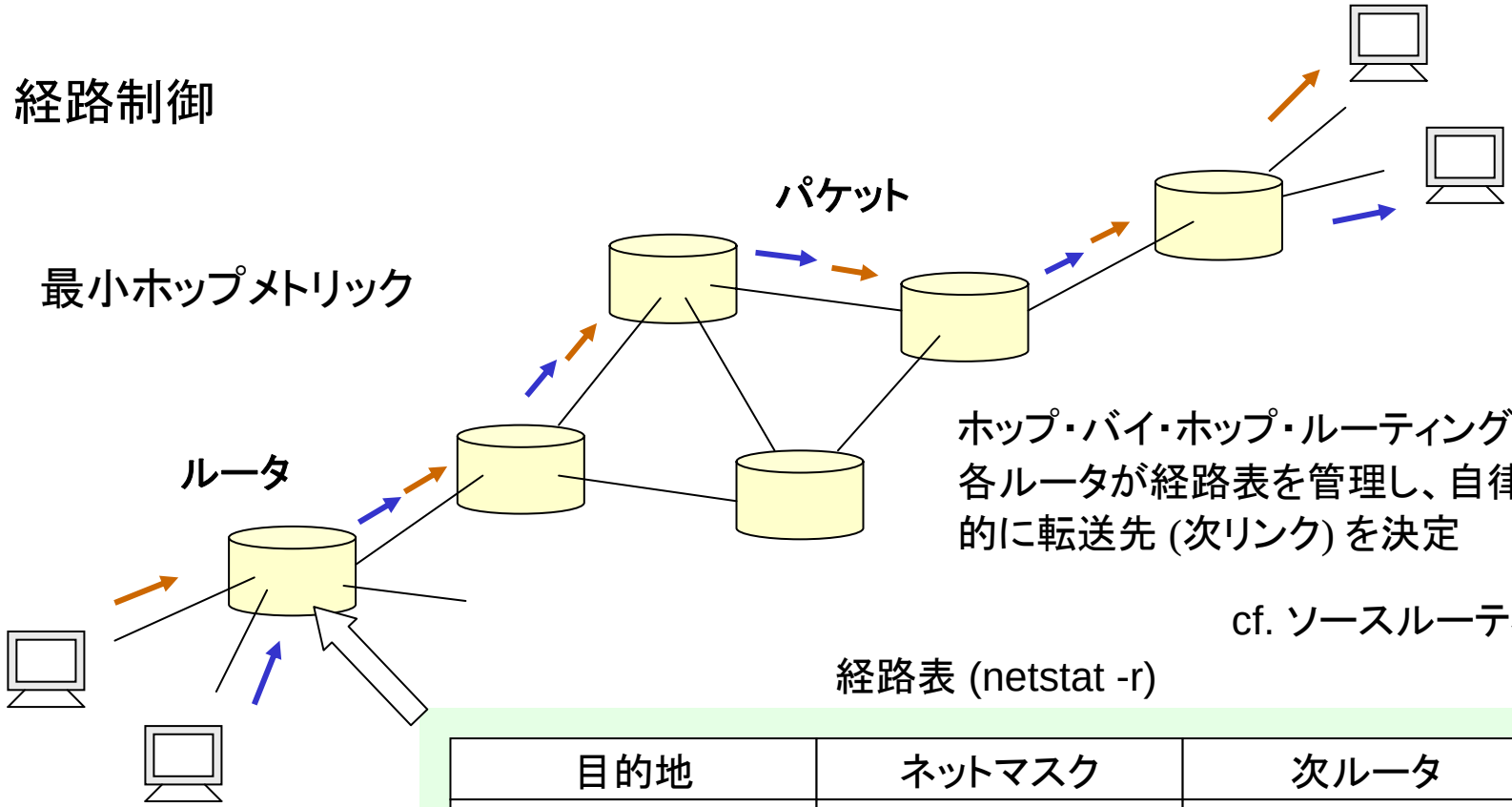
パケット長: データのフレーミング (可変長)

TTL: パケット生存時間 (ルータのホップ数)

IPアドレス: インタネット全体で固有のアドレス。ARP によって MACアドレスに変換される (Ethernet の場合)

IP の機能

- 経路制御



ホップ・バイ・ホップ・ルーティング：
各ルータが経路表を管理し、自律分散的に転送先 (次リンク) を決定

cf. ソースルーティング

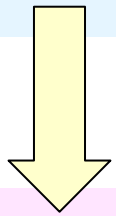
経路表 (netstat -r)

目的地	ネットマスク	次ルータ
133.9.2.x	255.255.255.192	133.9.1.a
133.9.3.x	255.255.255.192	133.9.1.b
133.9.4.x	255.255.255.192	133.9.1.c
.....		
default	0.0.0.0	133.9.1.d

IPの欠

- 蓄積交換 (store and forward) 故に、パケット転送時間の増大 (**delay**)、転送時間の揺らぎ (**jitter**)、パケット廃棄の発生 (**packet loss**) 等の問題は避けられない。

- パケットの到着順序が逆転することもある (順序制御)。



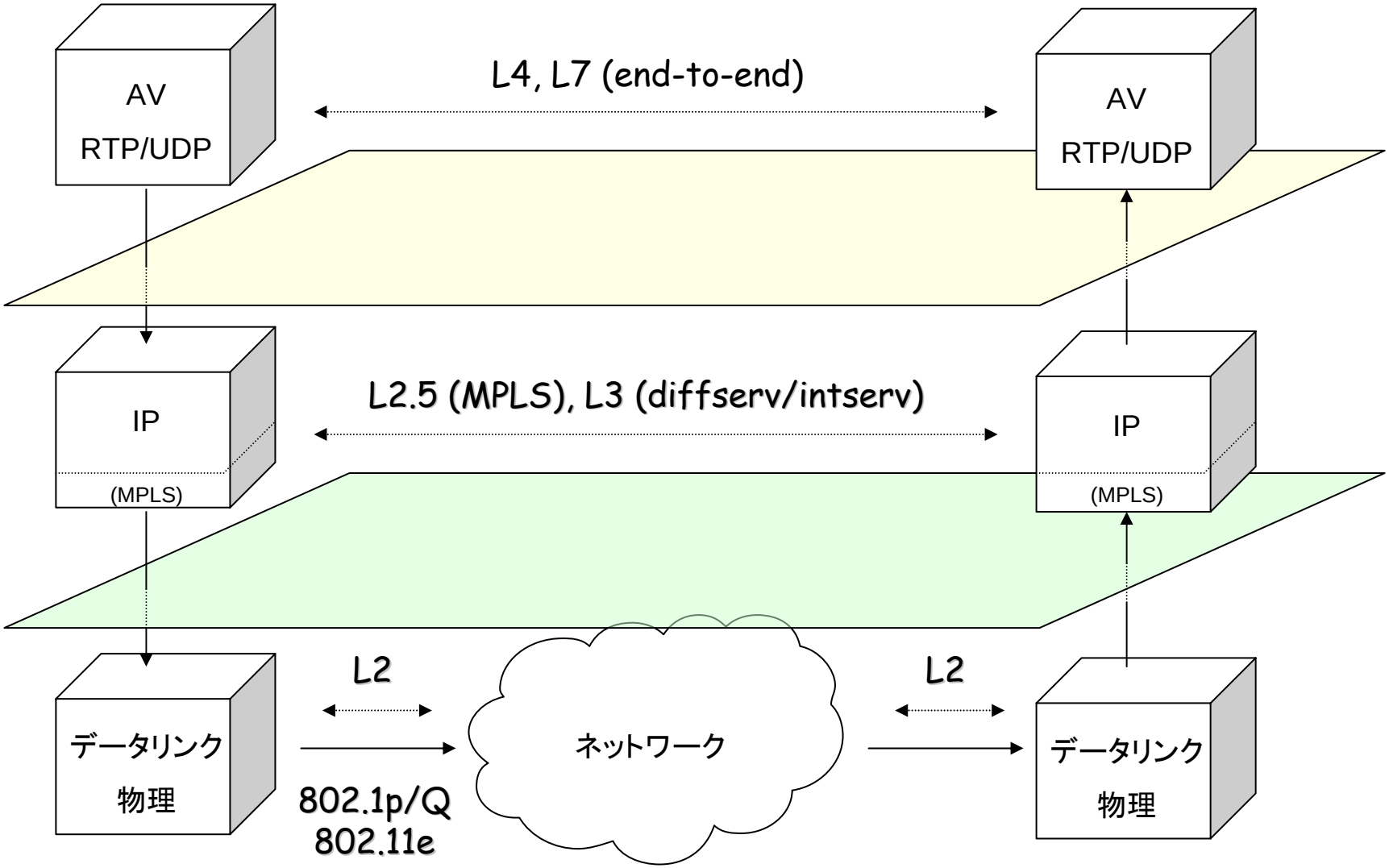
インターネットでもある程度の品質保証 (QoS 保証) を実現したい。

→ Network-Assisted QoS、および End-to-End QoS

Network Assisted QoS

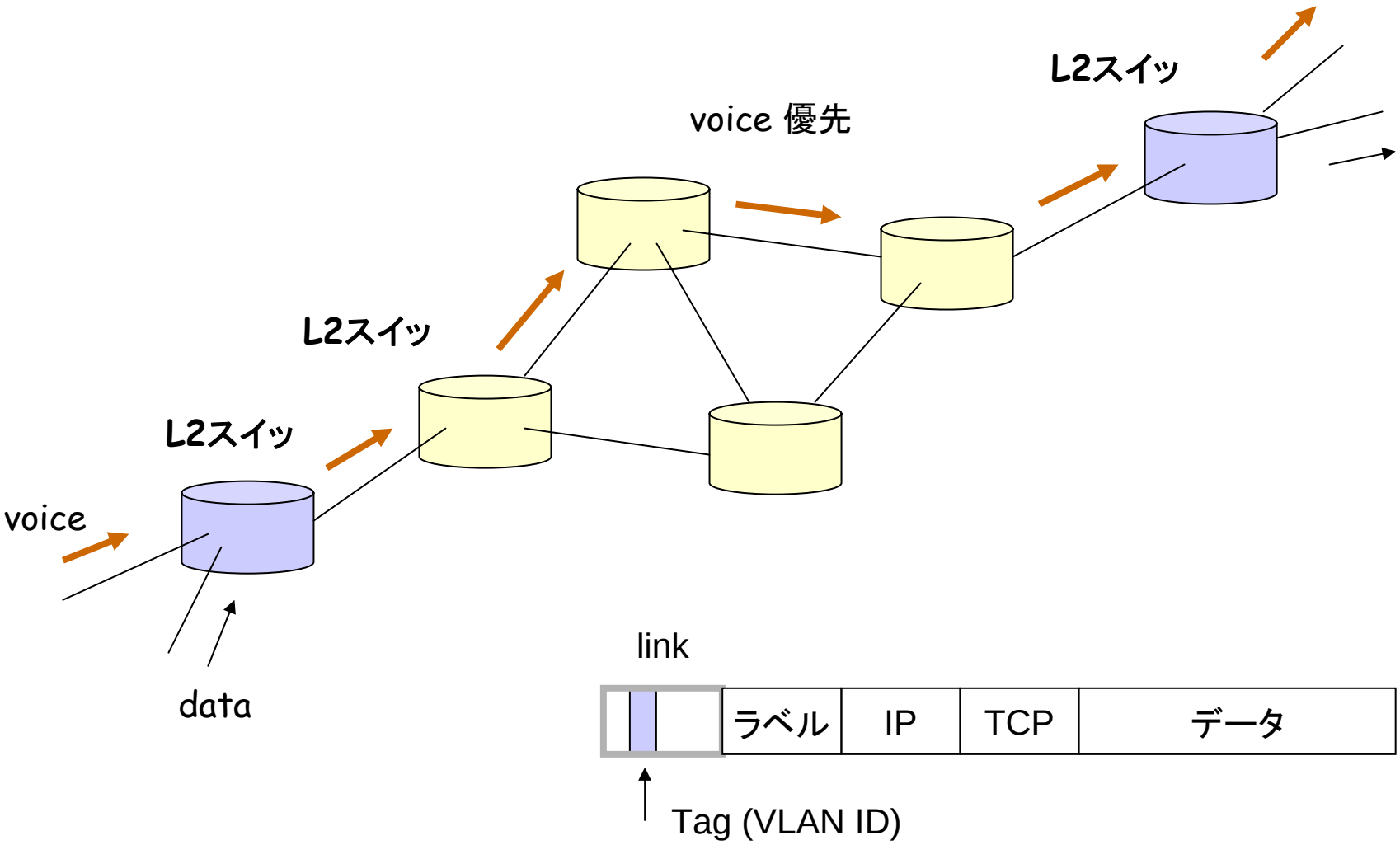
MPLS、Diffserv、トラヒックシェイピング、RSVP

インターネット


AV
RTP/UDP
L4, L7 (end-to-end)
AV
RTP/UDP
IP
(MPLS)
L2.5 (MPLS), L3 (diffserv/intserv)
IP
(MPLS)
データリンク
物理
L2
802.1p/Q
802.11e
ネットワーク
L2
データリンク
物理

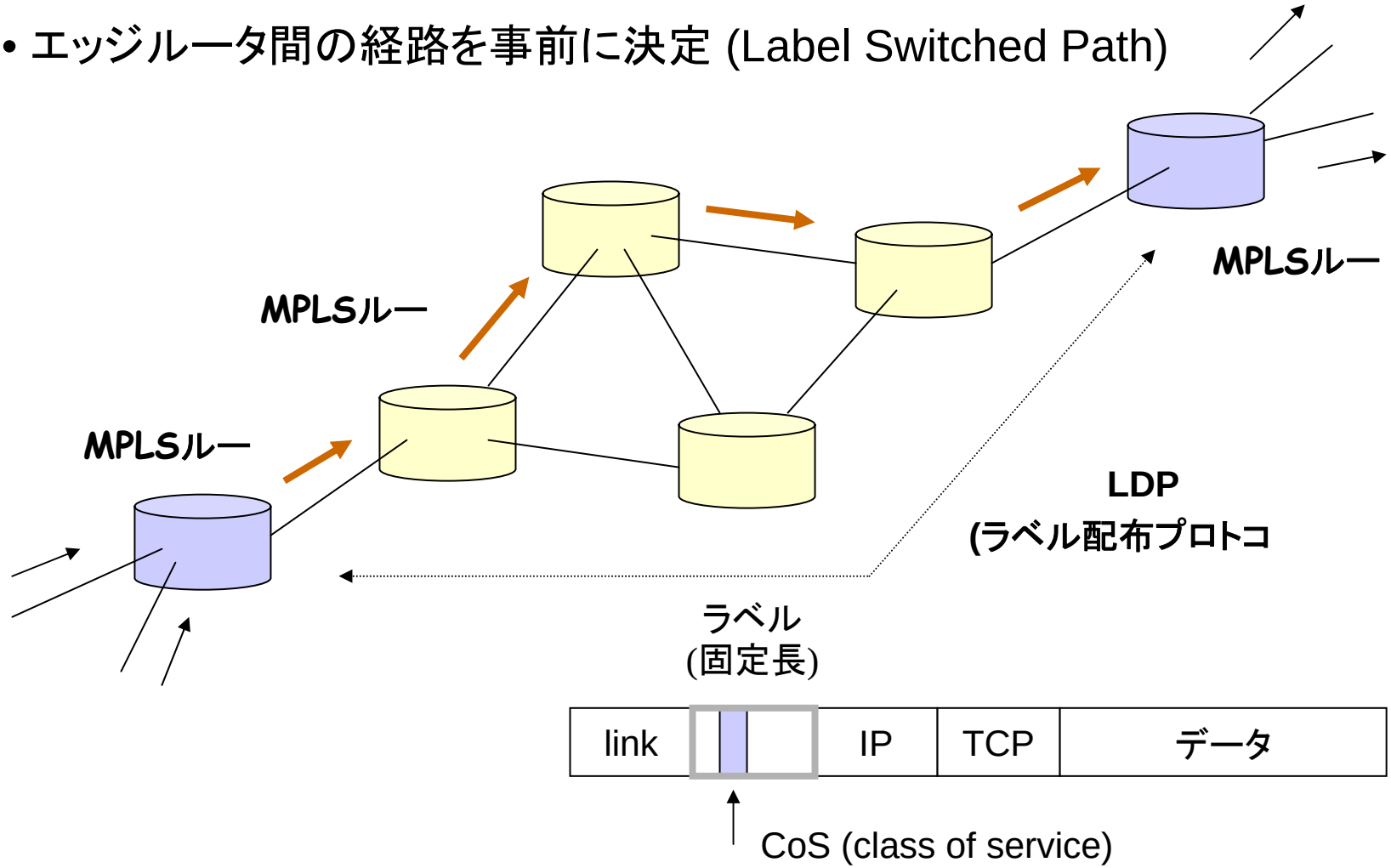
IEEE 802.1p/Q

- Tag を用いたリンク毎の優先制御



MPLS (ラベル・スイッチン

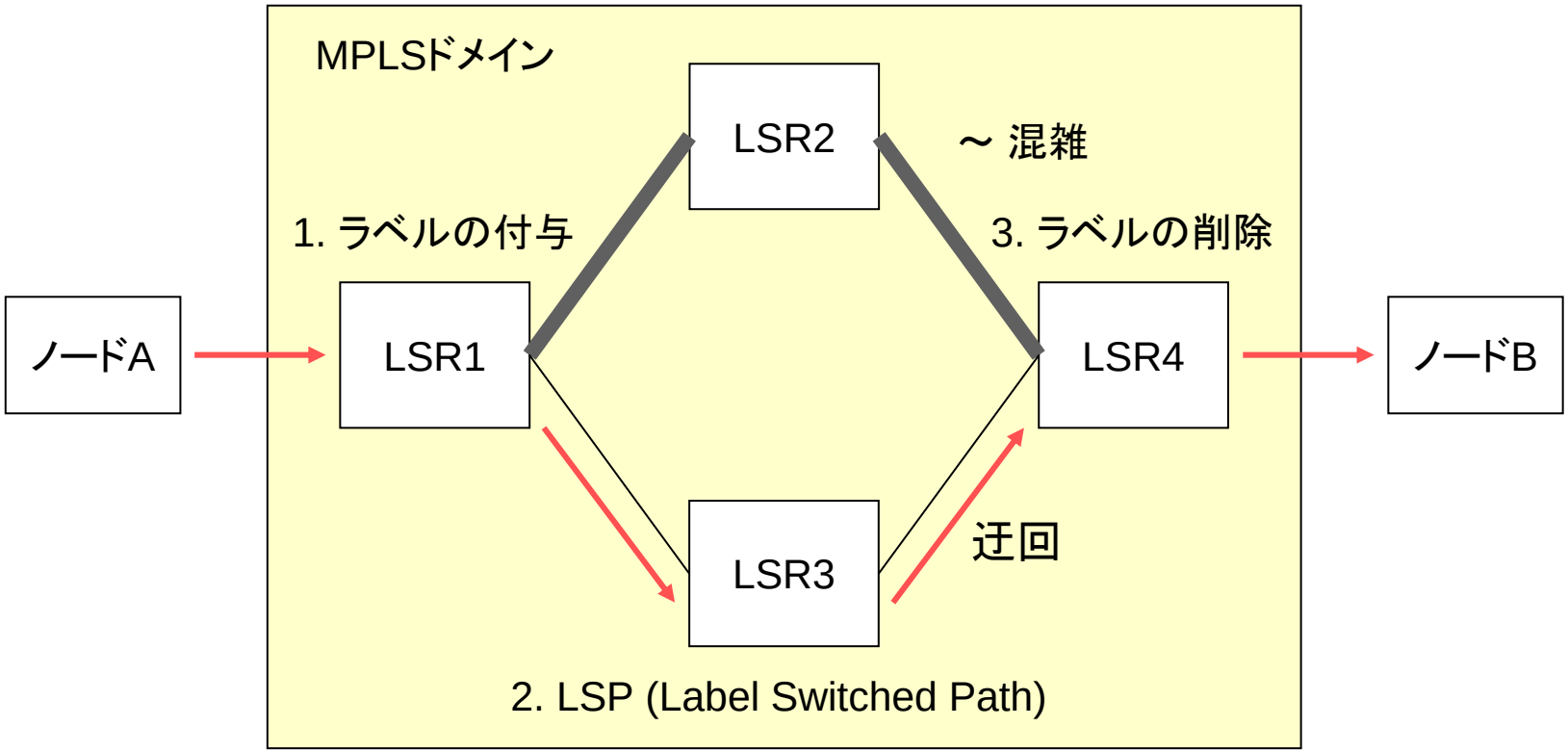
- 固定長ラベルによるハードウェアスイッチング
- エッジルータ間の経路を事前に決定 (Label Switched Path)



Multi-Protocol Label Switching

MPLSのトラヒック・エンジニアリン

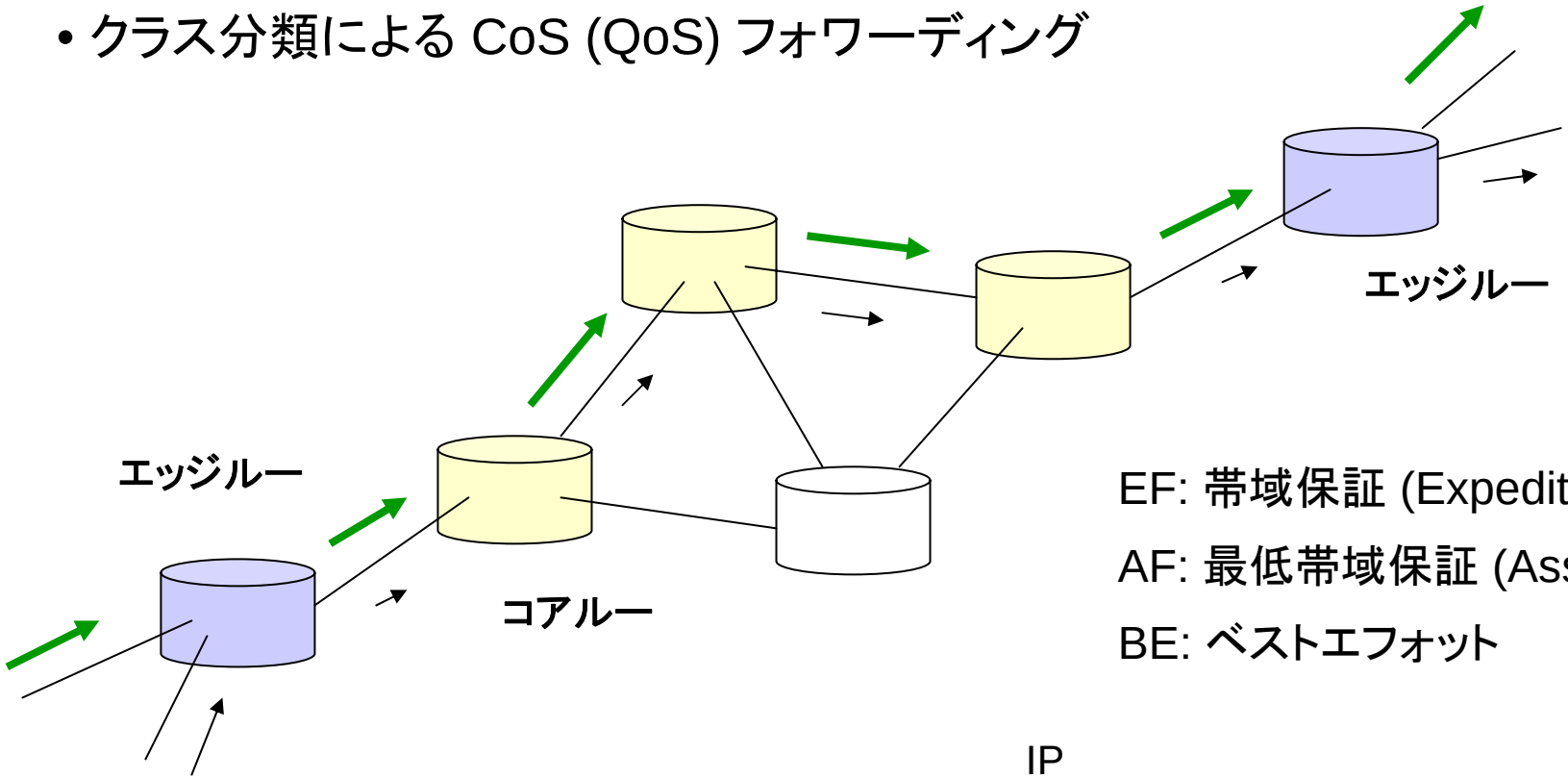
- 最小ホップ数以外のメトリックの活用



トラヒックエンジニアリング：負荷分散、高速迂回、…

Diffserv (differentiated services)

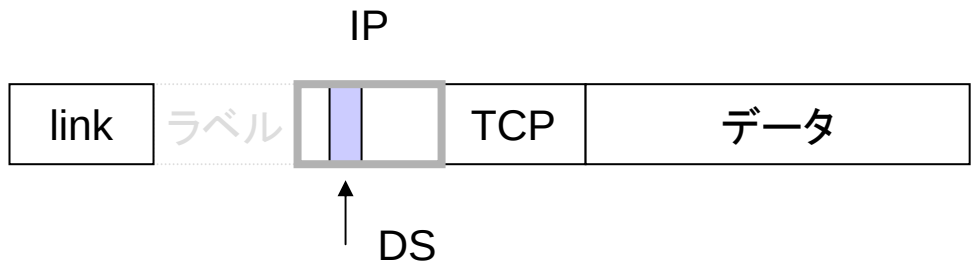
- IP ヘッダの TOS フィールドの再定義 → DS フィールド
- クラス分類による CoS (QoS) フォワーディング



EF: 帯域保証 (Expedited)

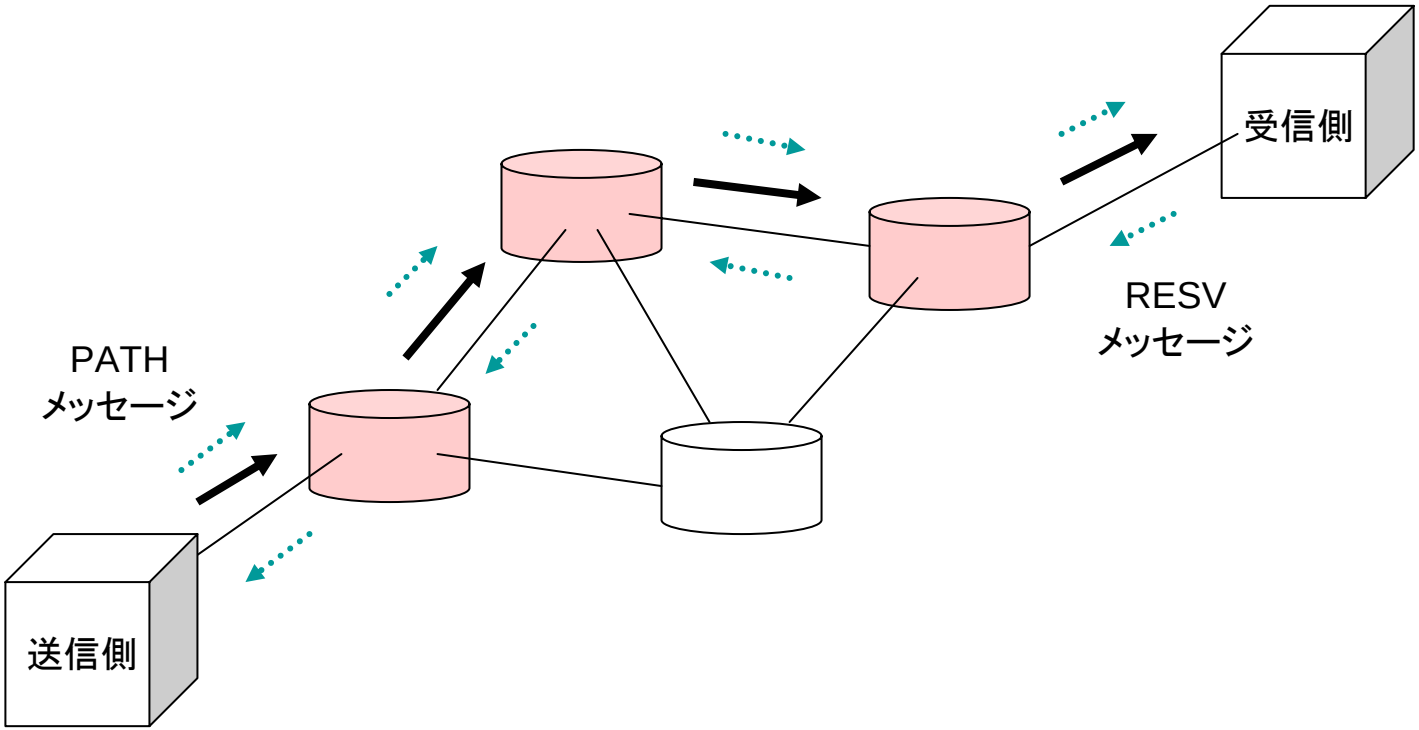
AF: 最低帯域保証 (Assured)

BE: ベストエフォット



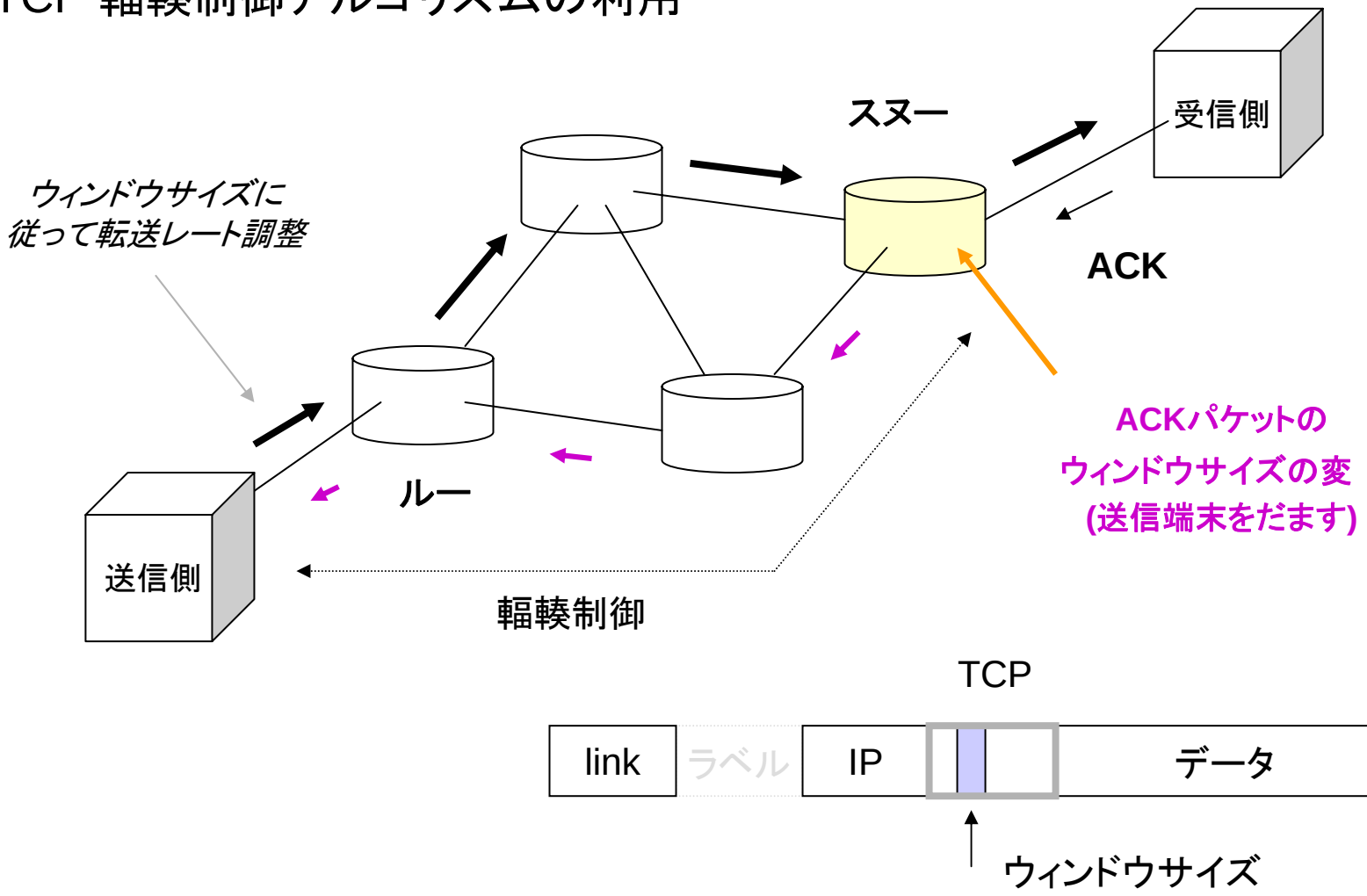
RSVP (intserv)

- ルータ間のメッセージ交換による帯域確保
- スケーラビリティ (大規模化) に問題

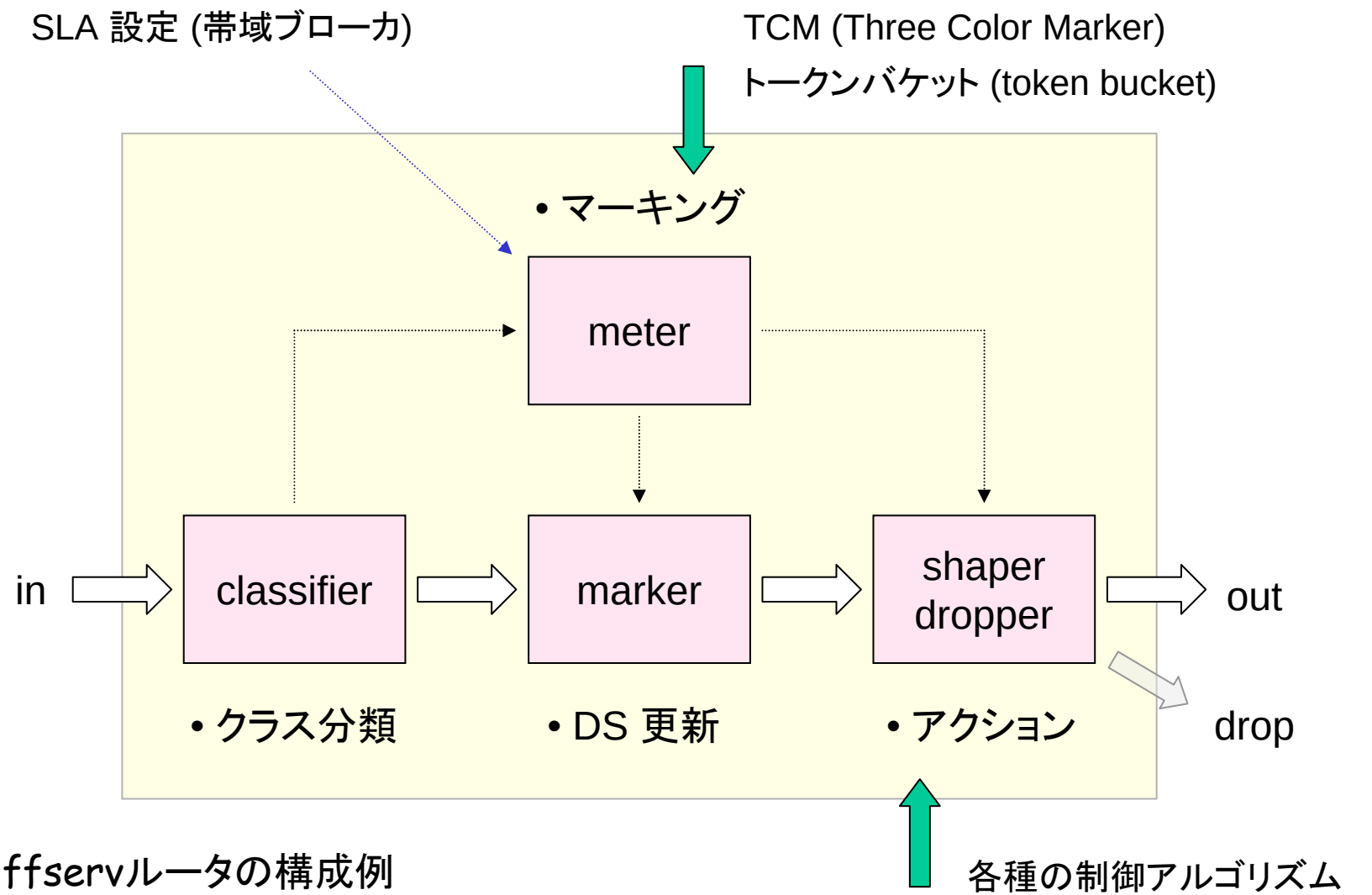


TCP スヌーピン

- ルータによる TCP ヘッダのスヌーピング (L4-Switch)
- TCP 輻輳制御アルゴリズムの利用



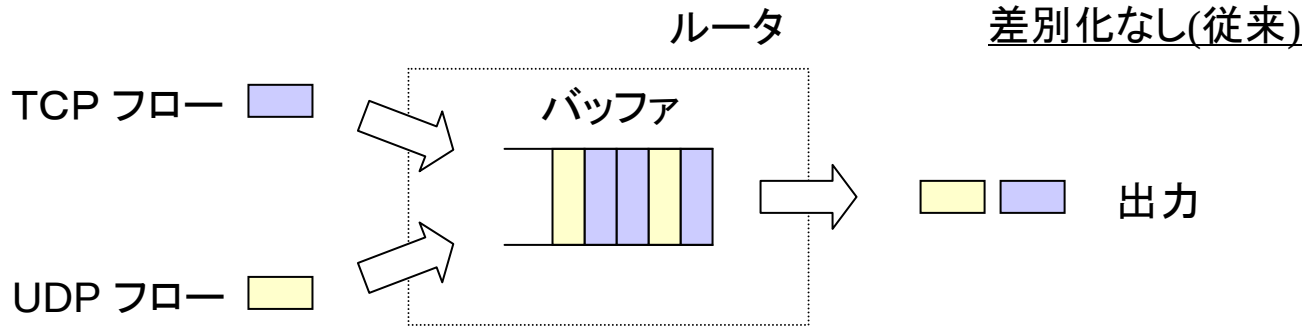
フローの差別化



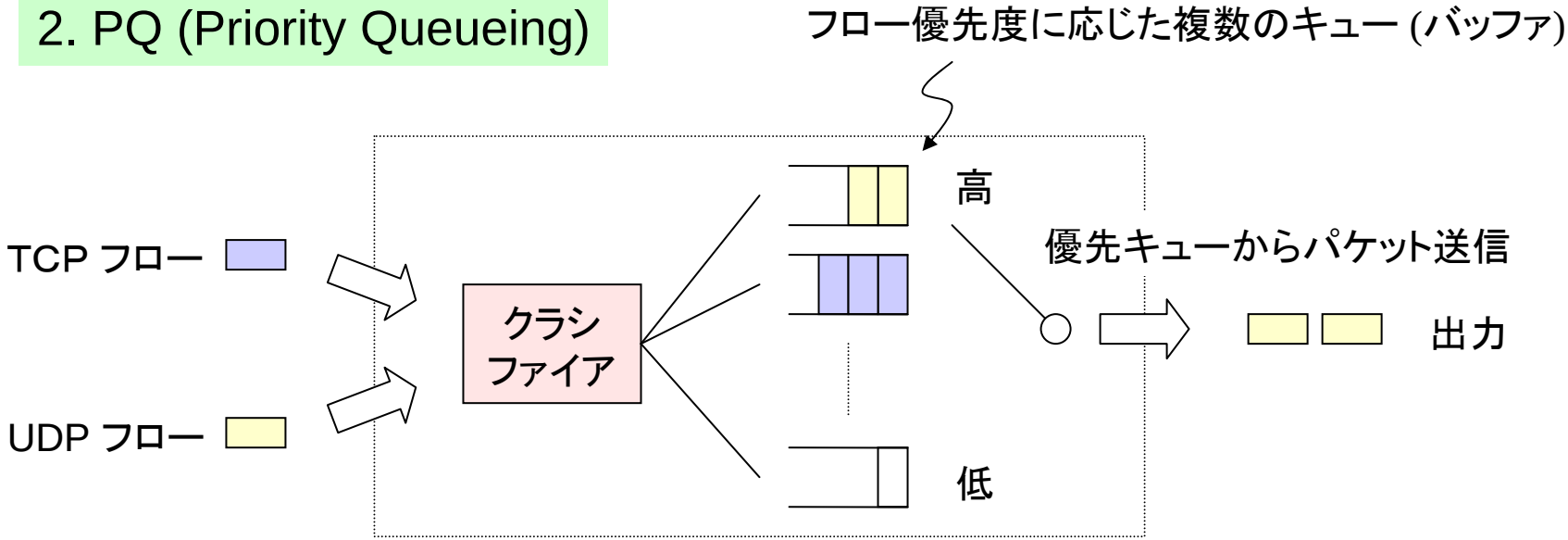
Diffservルータの構成例

フローの差別化

1. FIFO (First-In First-Out)

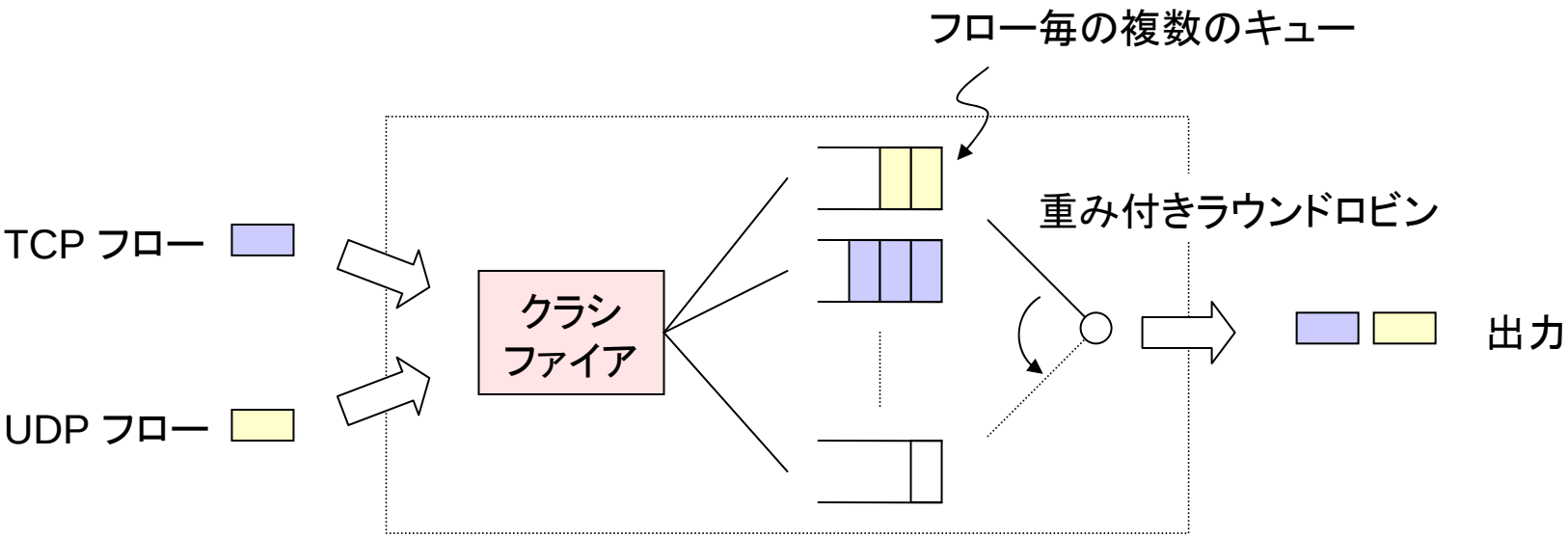


2. PQ (Priority Queueing)



フローの差別化

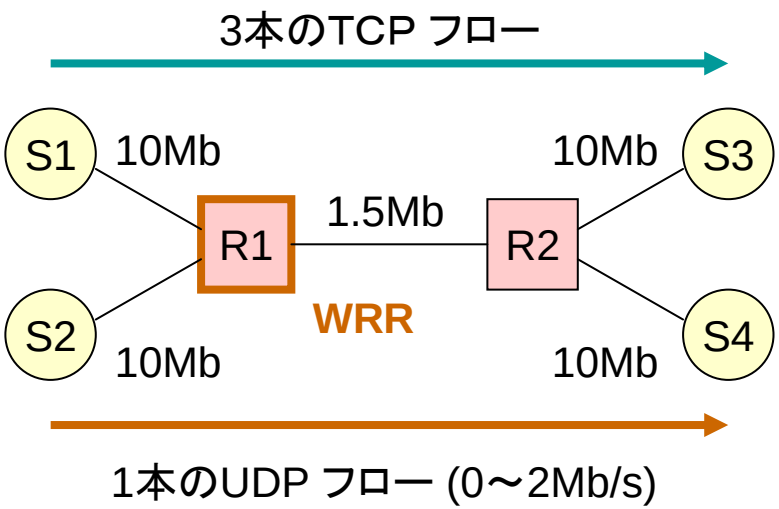
3. WRR (Weighted Round Robin)



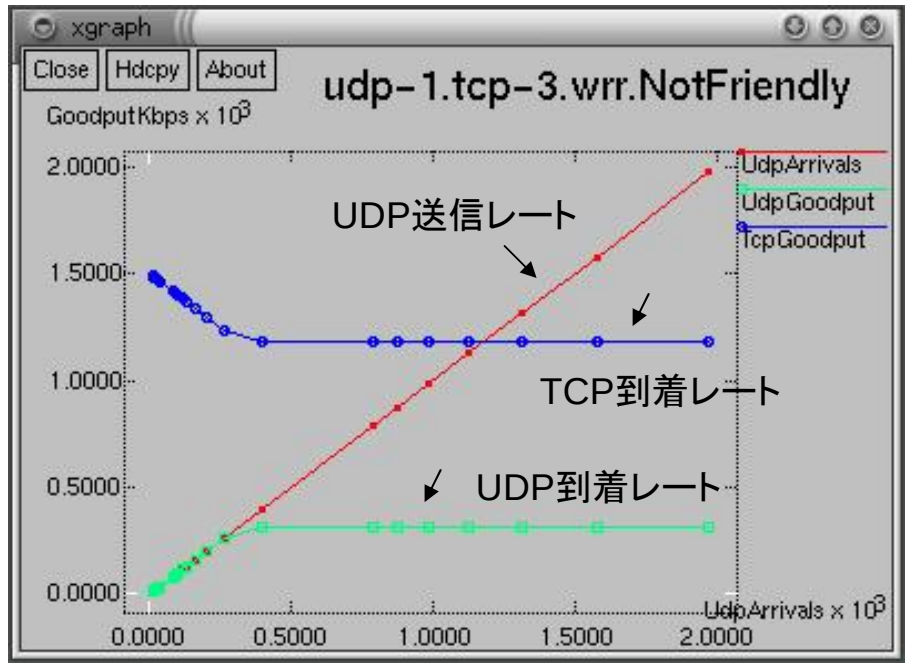
- PQ: 優先キューが空になるまで非優先パケットは送出されない (欠点)
- WRR: 既定の個数のパケットを送出すると非優先パケットを送出する (改善)

フローの差別化

- WRR の効果



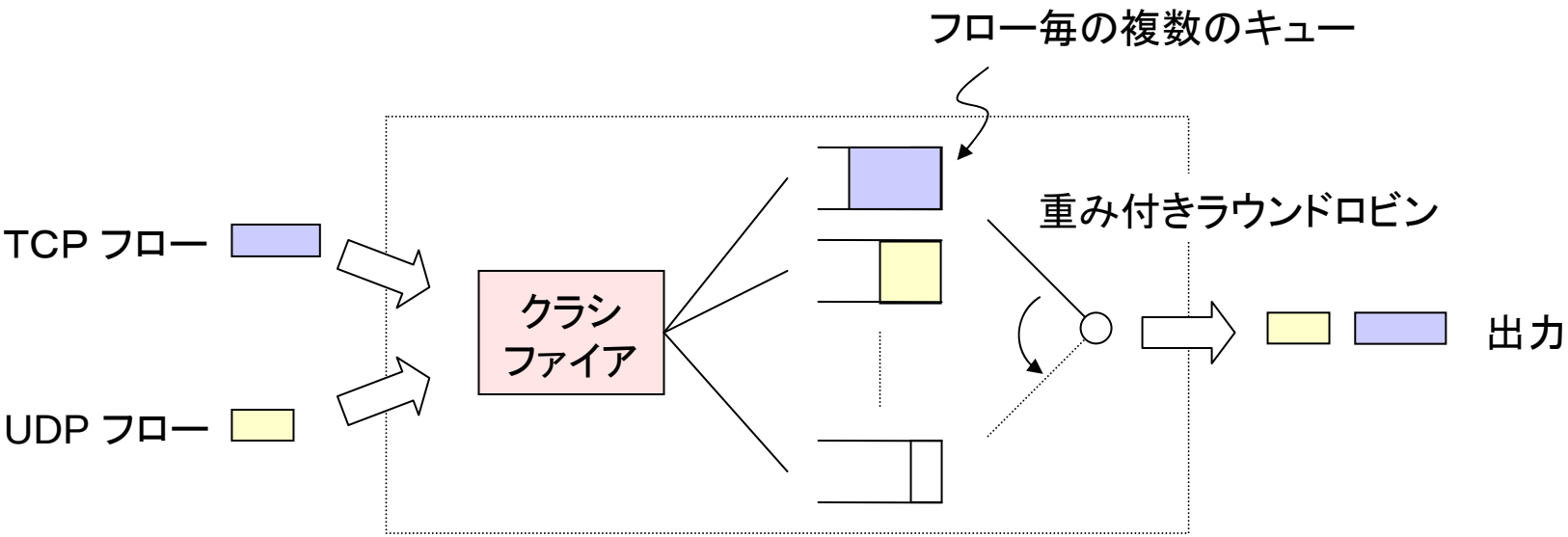
3本のTCPフローと1本のUDPフローがほぼ均等に帯域をシェアしている。
クラス許容量を超えたUDPは廃棄。



ネットワークシミュレータ

フローの差別化

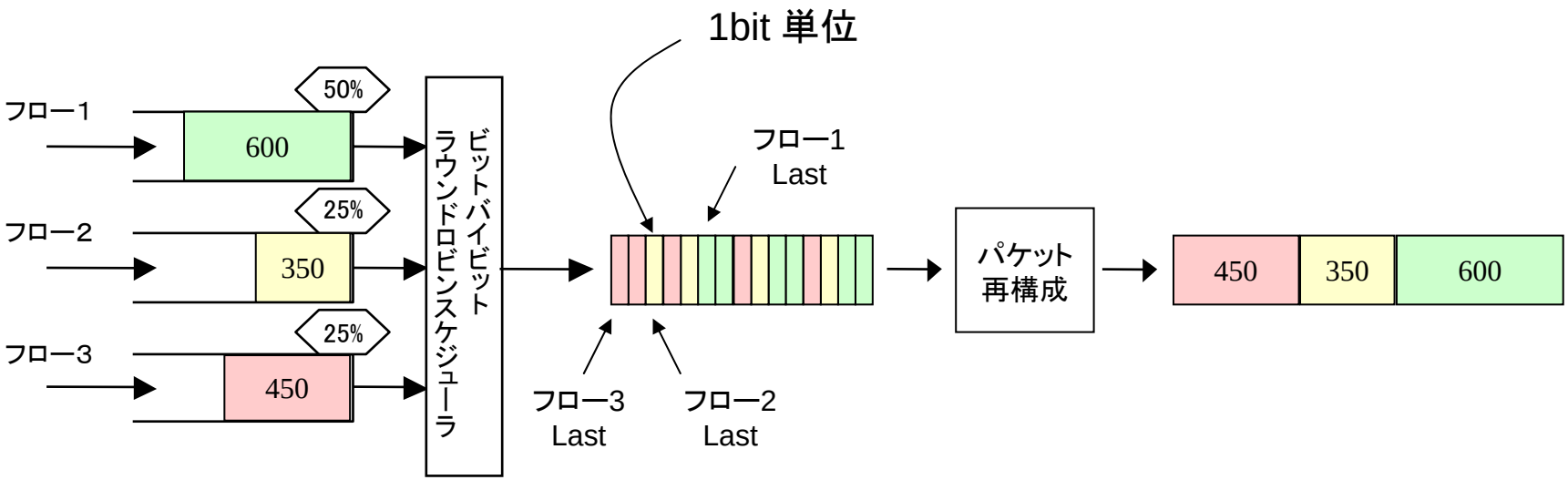
4. DRR (Deficit Round Robin)



- WRR: 可変長パケットが来ると、長いパケットが優先 (欠点)
- DRR: パケットの「個数」ではなく、「バイト数」で重み付け (改善)

フローの差別化

5. WFQ (Weighted Fair Queuing)

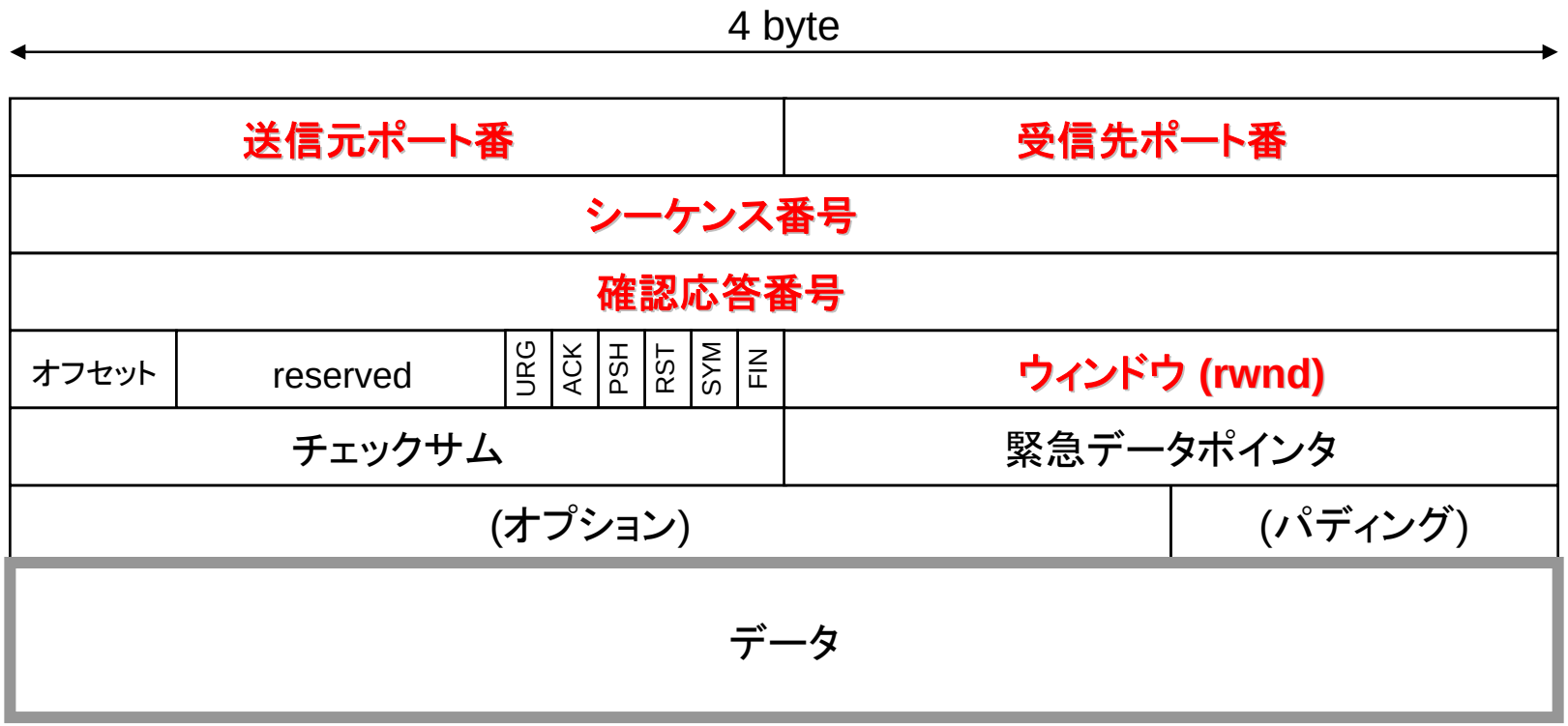


- WRR/DRR:「個数/帯域幅」は weighted fair だが、「到着時間」は not fair
- WFQ:「帯域幅」だけではなく、「到着時間」も weighted fair

TCP

Transport Control Protocol

TCP ヘッ



ポート番号: アプリケーションの識別

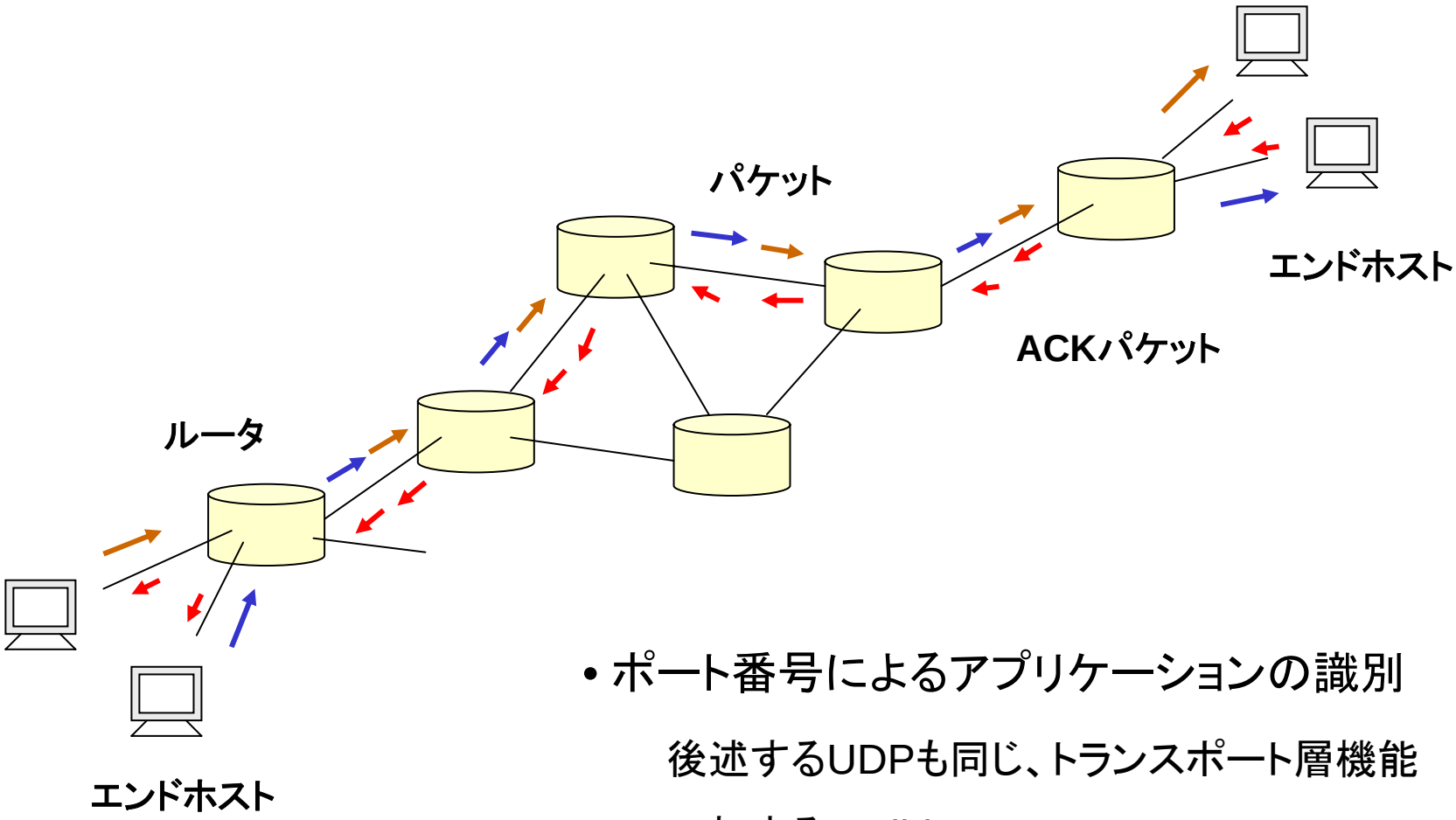
シーケンス番号: パケット廃棄、順序逆転を検出 (バイト単位でカウント)

確認応答番号: 次パケットで受信予定のシーケンス番号、あるいは重複 ACK の通知

ウィンドウ: 受信者が求める最大セグメントサイズ

TCP の機

- End-to-End の確認応答による誤り制御とフロー制御



- ポート番号によるアプリケーションの識別

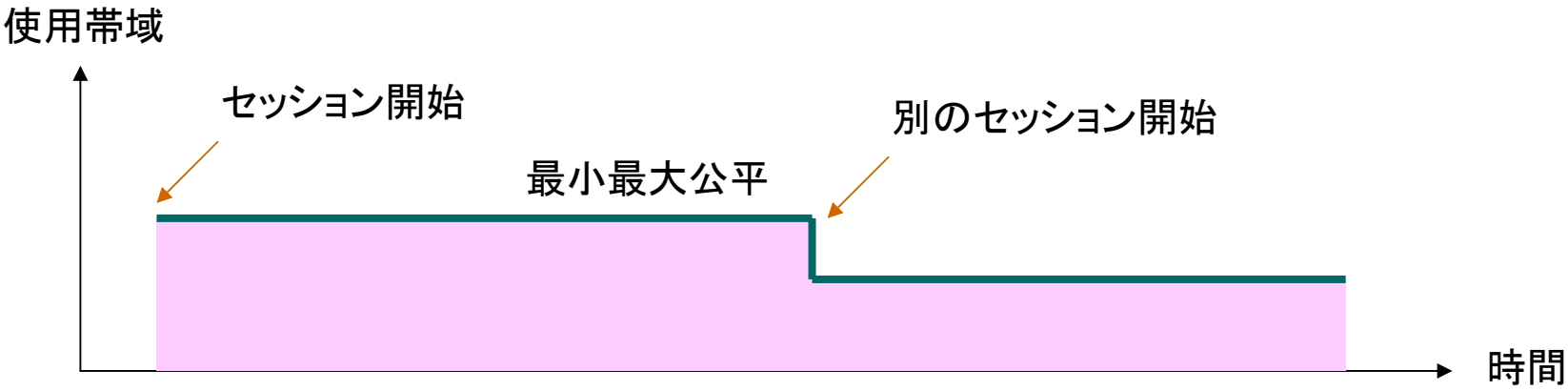
  後述するUDPも同じ、トランスポート層機能

  いわゆる well-known port

TCPにおけるフロー制

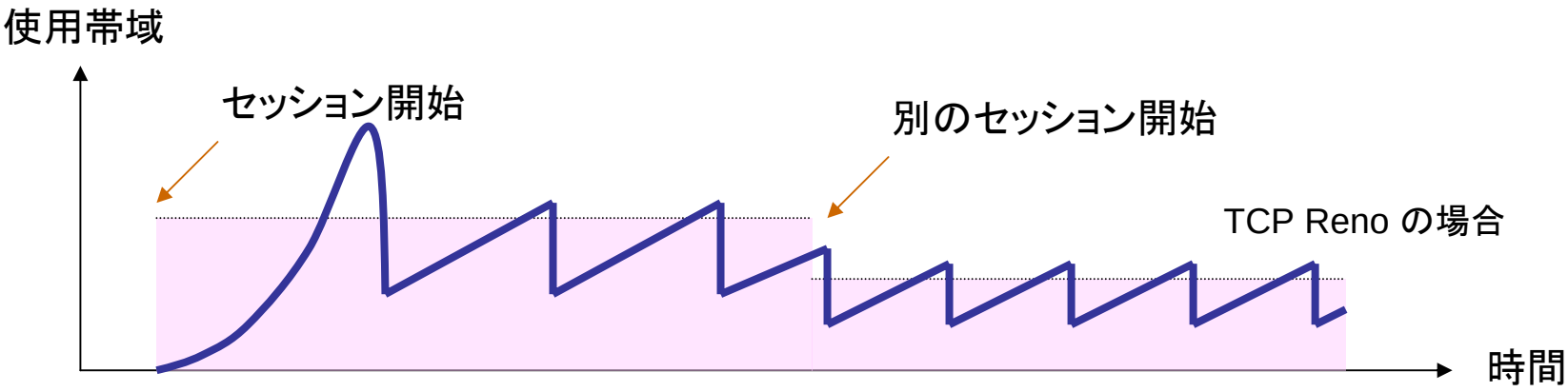
理想:

＊集中型の帯域管理装置 (電話に近い)



TCP: スロースタート + ふくそう回避

＊端末毎の分散制御



いろいろな

	要点
TCP Tahoe	スロースタート + ふくそう回避 + 高速再送
TCP Reno	Tahoe + 高速回復
TCP Vegas	RTT (round trip delay) ベースのふくそう制御
TCP SACK	Reno + 選択的再送 (selective repeat)

- スロースタート: slow start
- ふくそう回避: congestion avoidance
- 高速再送: fast retransmission
- 高速回復: fast recovery

＊ 広く用いられているのは TCP Reno 系 (SACKを含む)

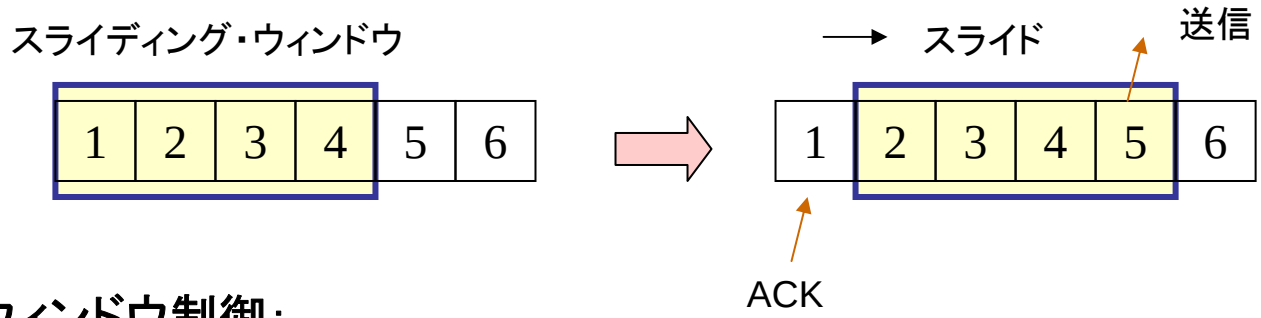
古典的な

- **Go-Back-N ARQ (スライディング・ウィンド**

  送信者は ACK を待たずに N 個のパケットを送信する

  受信者が ACK を返すとウィンドウがスライドして次パケットが送出される

  しばしば n 個のパケット毎に1つの ACK を返す (累積応答)



- **ウィンドウ制御**:

  rwnd: 広告ウィンドウ (advertizement window)

  受信者が要求するセグメント (パケット) サイズ、あるいは受信可能なセグメントサイズを通知し、スライディングウィンドウ (送信パケット数) を制御

欠点: ボトルネックリンクに非常に弱い

TCP Tahoe (1)

- **送信側パラメータを三つ追**

  cwnd: ふくそうウィンドウ (congestion window: 初期値1)

  ssthresh: スロースタートとふくそう回避のモード選択閾値 (初期値大)

  tcprecvthresh: 高速再送を行う重複ACK数 (通常は3)

- **スロースタート (指数増加: スループット探索モー**

  if (cwnd < ssthresh)

  --- ACK 毎にパケットを2個送出 ---

  cwnd += 1;

- **ふくそう回避 (加法増加: スループット安定モー**

  else if (cwnd >= ssthresh)

  --- ACK 毎にパケットを1個送出、cwnd 個送出後1個追加 ---

  cwnd += 1/cwnd;

V.Jacobson: “Congestion Avoidance and Control,” SIGCOM’88.

TCP Tahoe (2)

- 二通りのパケット廃棄の検

  (1) 重複 ACK の受信 (TCP ヘッダの ACK ナンバが更新されない場合)

  (2) タイムアウト (ACK が返って来ない場合)

- 高速再送 (軽いふくそ

  ACK が返って来るということは深刻なふくそうではない (仮定)

  if (重複 ACK 数 == tcprecvthresh)

  --- パケットを再送 ---

  ssthresh = cwnd/2; cwnd = 1; ⇐ スロースタートから再 (ssthresh > cwnd)

- タイムアウト値の更新 (重いふくそ

  タイムアウトが起こるということは深刻なふくそう (仮定)

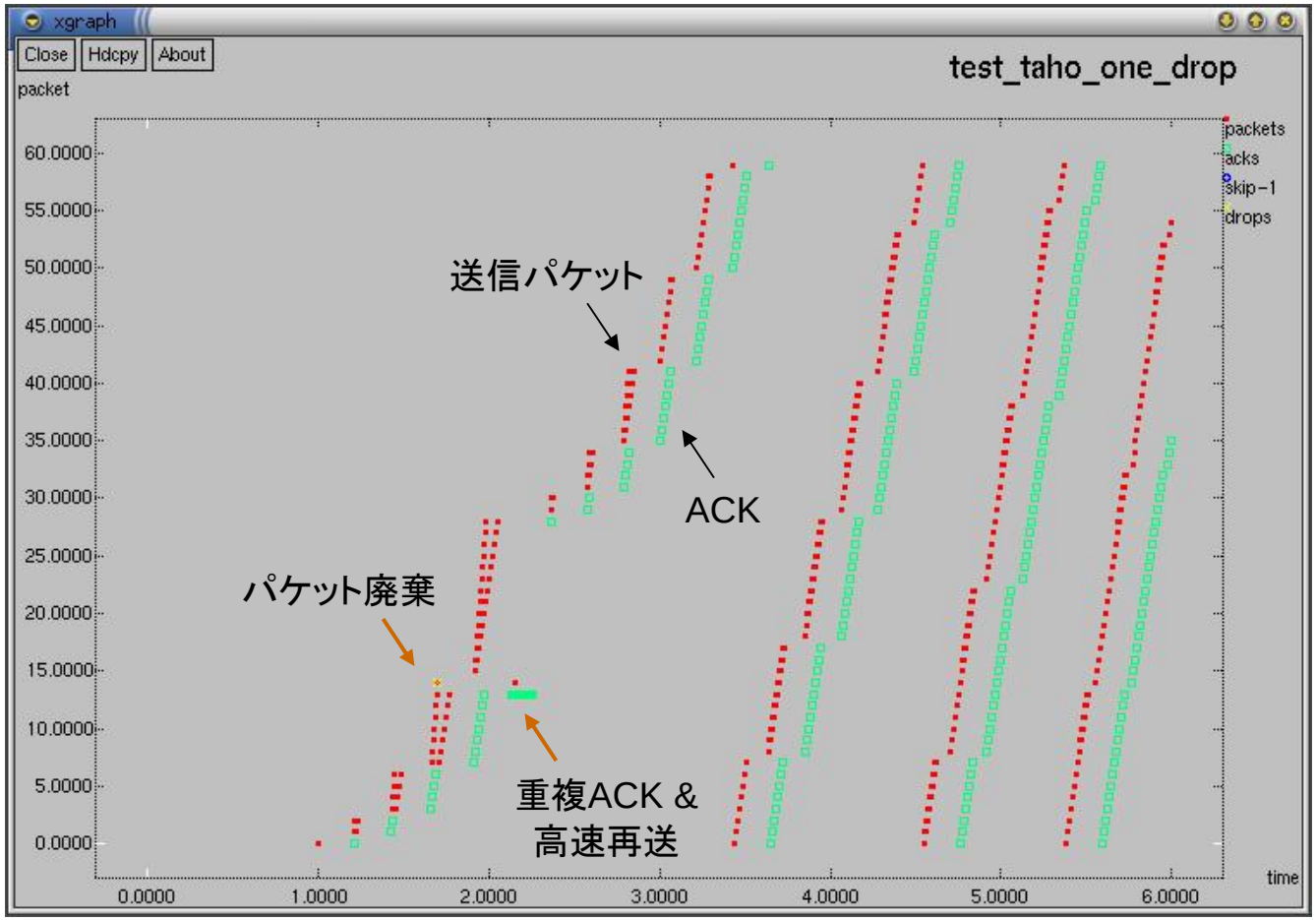
  if (タイムアウト)

  --- パケットを再送 ---

  timeout *= 2; ⇐ 指数的バックオ

TCP Tahoe (3)

パケット数



時間

スロースタート(1)　スロースタート(2)　ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

TCP Reno (1)

- **Tahoe の問題**

  高速再送後、スロースタートに戻る必要は無い

  パケット廃棄前の cwnd の値は安全 (仮定：現在の cwnd の半分)

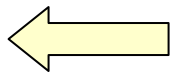
- **高速回復**：

  if (重複 ACK 数 == tcprecvthresh)

  --- パケットを再送 (高速再送) ---

  ssthresh = cwnd/2;

  cwnd = cwnd/2 + tcprecvthresh;

  ふくそう回避モードから再開
  (ssthresh < cwnd)

  安全な値

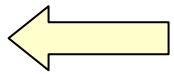
  重複 ACK 分 (ACK が正しく返っている)

  if (重複 ACK 数 > cwnd/2)

  --- 重複 ACK 毎に新しいパケットを一つ送信 ---

  if (再送パケットの確認応答)

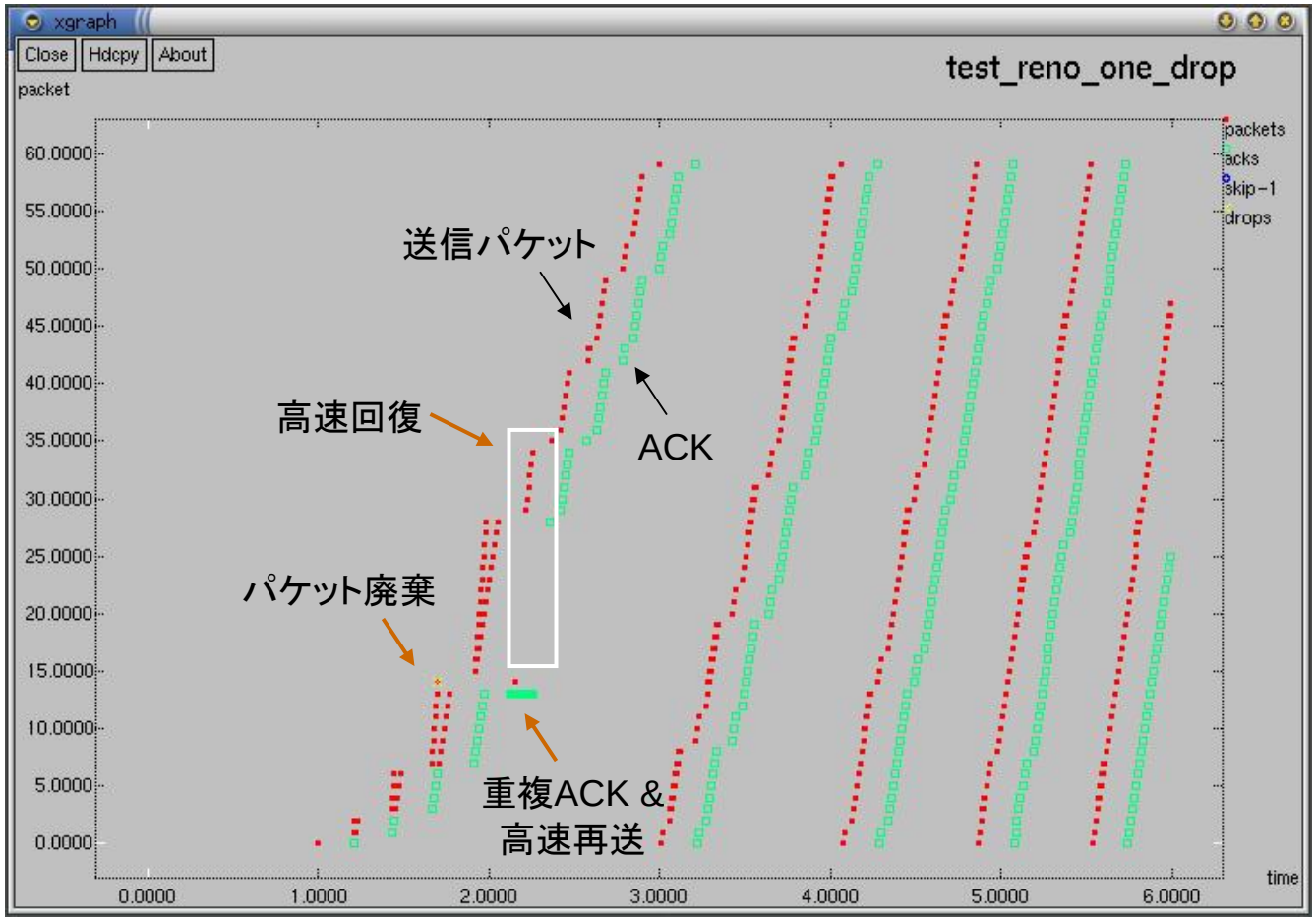
  cwnd = ssthresh;

  通常のふくそう回避

TCP Reno (2)

パケット数



時間

スロースタート　高速回復　ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

TCP Vegas (1)

- **Reno の問題**

  故意にパケット廃棄を発生させて最適なスループットを探っている。

  パケット廃棄を起こさなければ、スループットはもっと上がるはず。

- **ラウンドトリップ遅延 (RTT) に基づくふくそう回**

$$Diff = \frac{cwnd}{RTT\_\min} - \frac{cwnd}{RTT\_current}$$

最大送信レート　　実際の送信レート

ネットワーク内バッファの見積も (未到達セグメント量)

$$cwnd = \begin{cases} cwnd + 1 & (Diff < \alpha) \\ cwnd & (otherwise) \\ cwnd - 1 & (Diff > \beta) \end{cases}$$

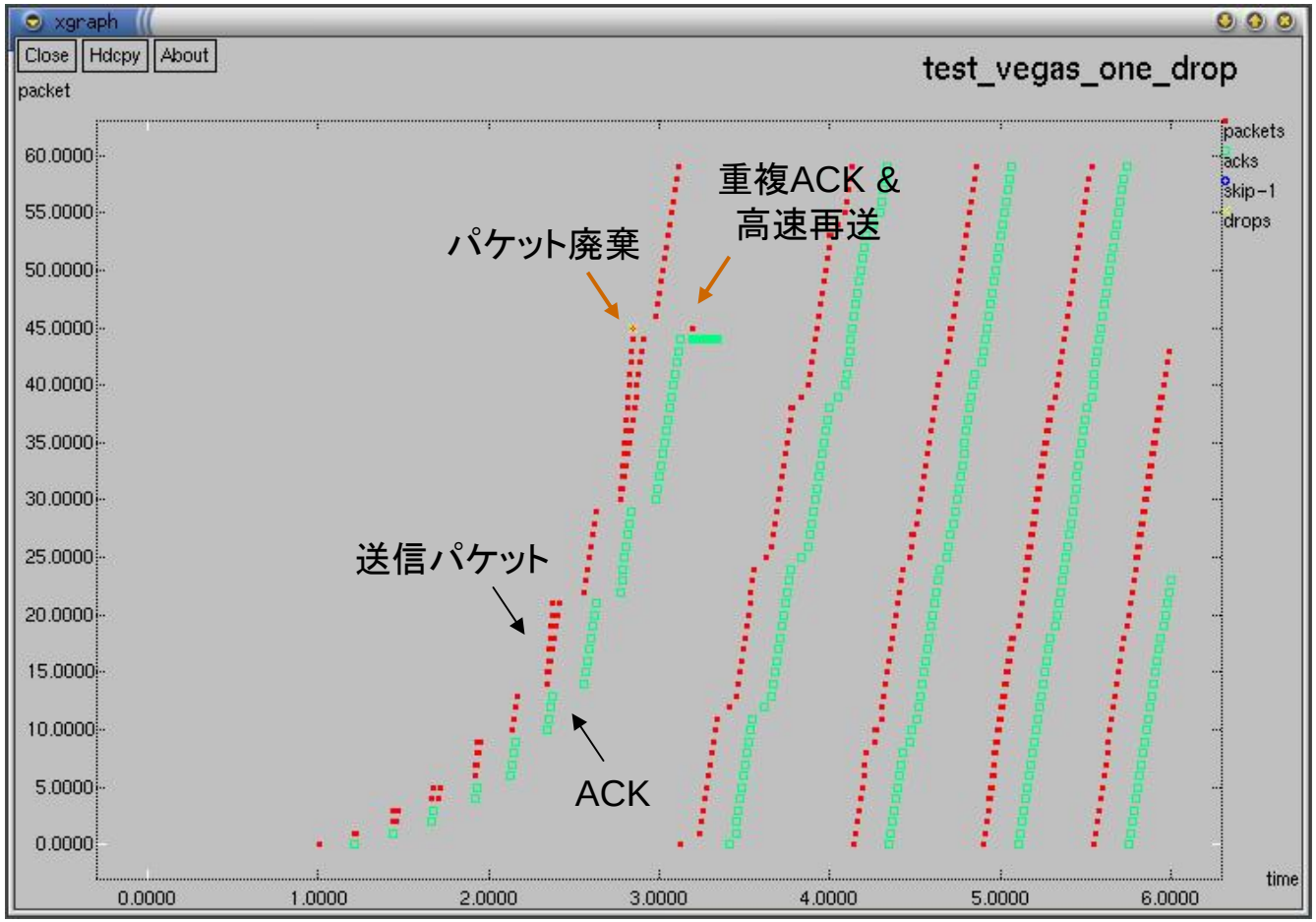
ネットワーク内バッファの使用量 一定になるように制御

一定時間毎 (≒RTT) に cwnd の値を更新

- **ラウンドトリップ遅延 (RTT) に基づくスロースタート:**

TCP Vegas (2)

パケット数



時間

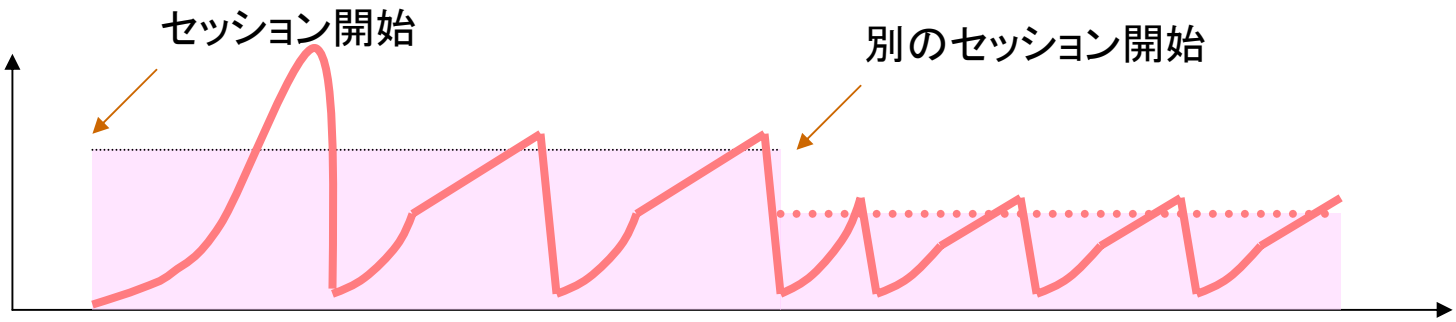
スロースタート

ふくそう回避

NS (Network Simulator) によるシミュレーション例

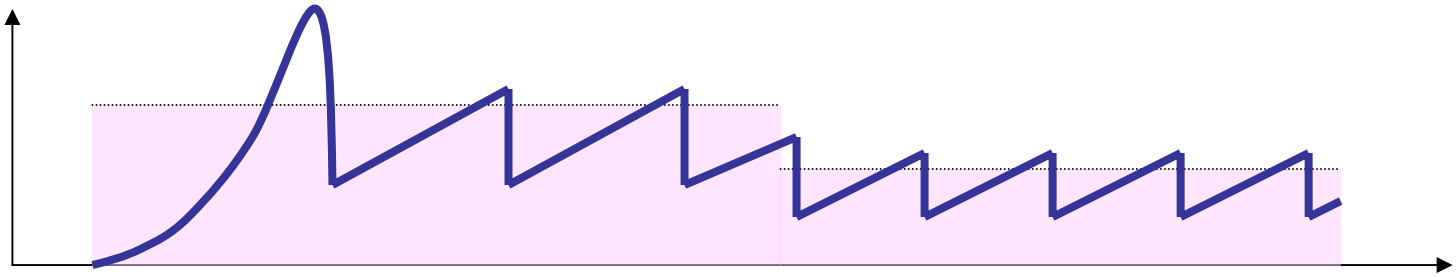
直感的な比較

Tahoe



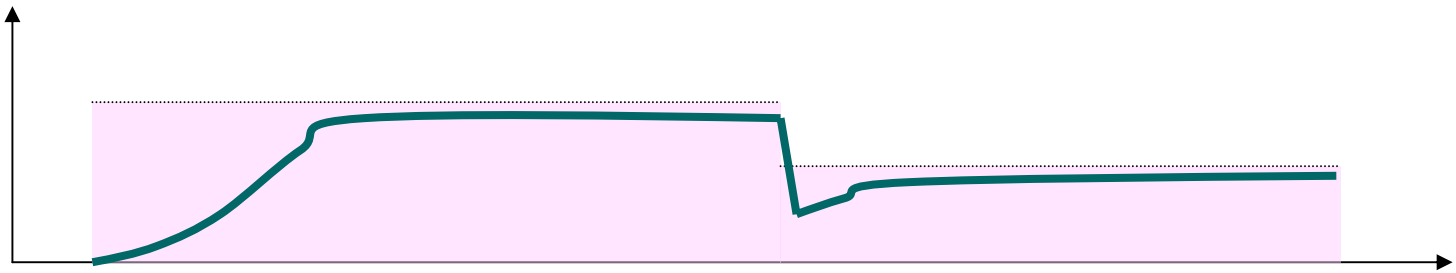
廃棄が起きたら ssthresh を半分にして slow start から再開

Reno



廃棄が起きても重複 ACK を受け取ったら congestion avoidance から再開

Vegas

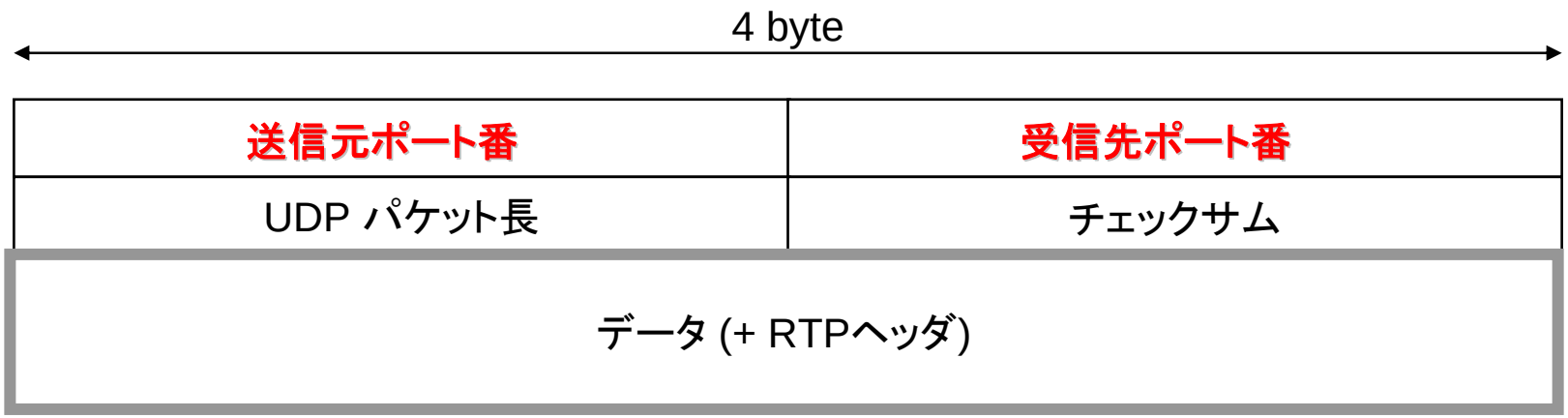


RTT をモニタしながら廃棄が起きないように cwnd を制御

UDP

User Datagram Protocol

UDP ヘッダ



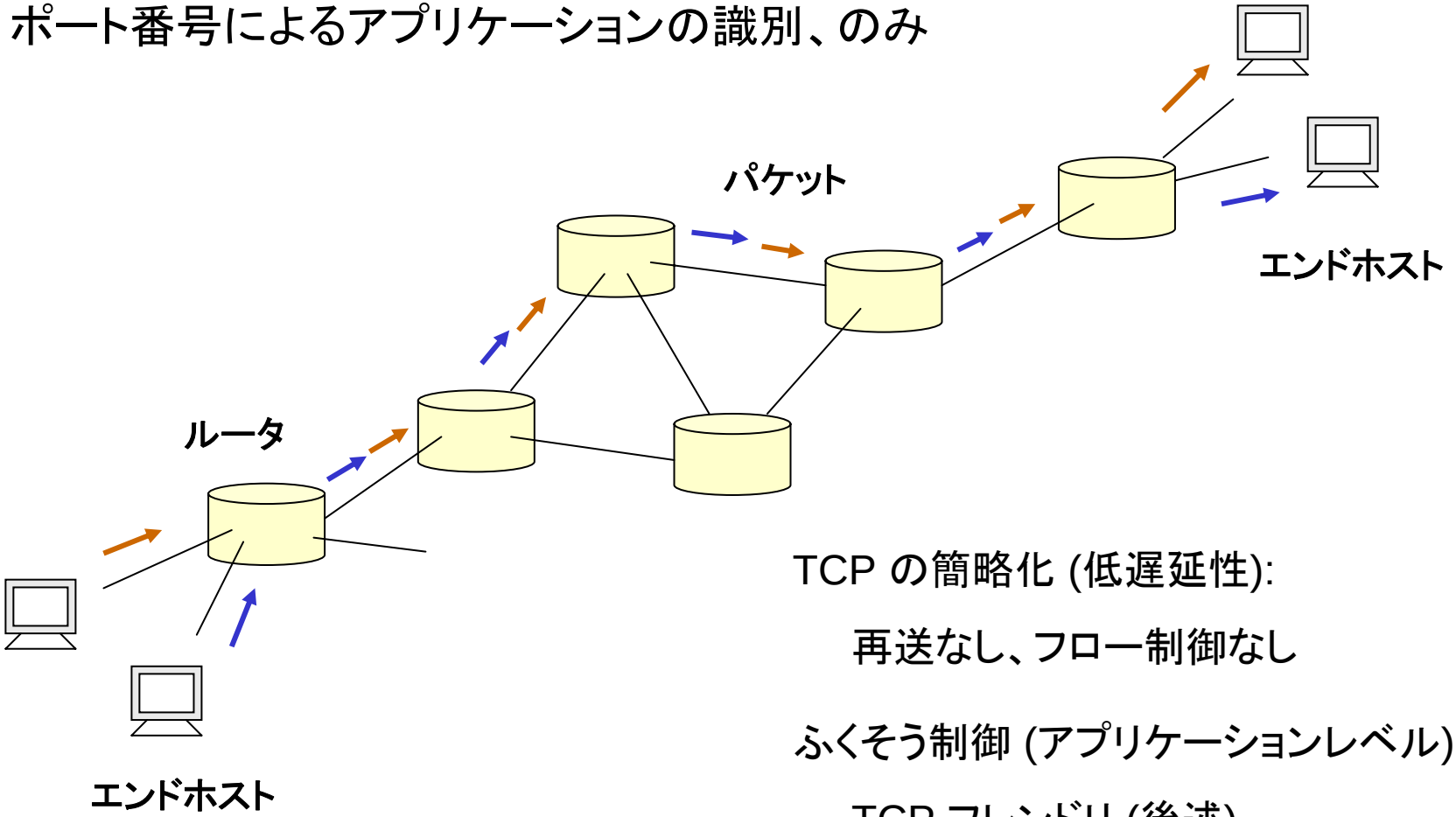
ポート番号：　　アプリケーションの識別

パケットの紛失、重複、順序逆転などについてまったく関知しない

→ アプリケーションで対処

UDP の機能

- ポート番号によるアプリケーションの識別、のみ



TCP の簡略化 (低遅延性):

再送なし、フロー制御なし

ふくそう制御 (アプリケーションレベル):

TCP フレンドリ (後述)

低遅延 (UDP) ⟺ 信頼性 (TCP)

UDPのまとめ

- **再送を行なわない信頼性のないデータ転送**:

  転送遅延は抑えられる。

  → 遅延に敏感な IP 電話にとっては大きな利点。ACK 爆発が発生しないため、マルチキャストにも適している。

- **アプリケーションレベルの誤り制御とふくそう制御 (アダプテーション)**:

  パケット廃棄やネットワークの輻輳に対して UDP は何も行なわないため、アプリケーションレベルで対処する必要がある。

  → 再同期 (パケット廃棄対策)、TCP フレンドリ (輻輳制御)、信頼性マルチキャスト (NACK あるいは FEC)、等

TCP と UDP：まと

インターネット電話	TCP	UDP
メディア情報	△	◎
制御情報	◎	△

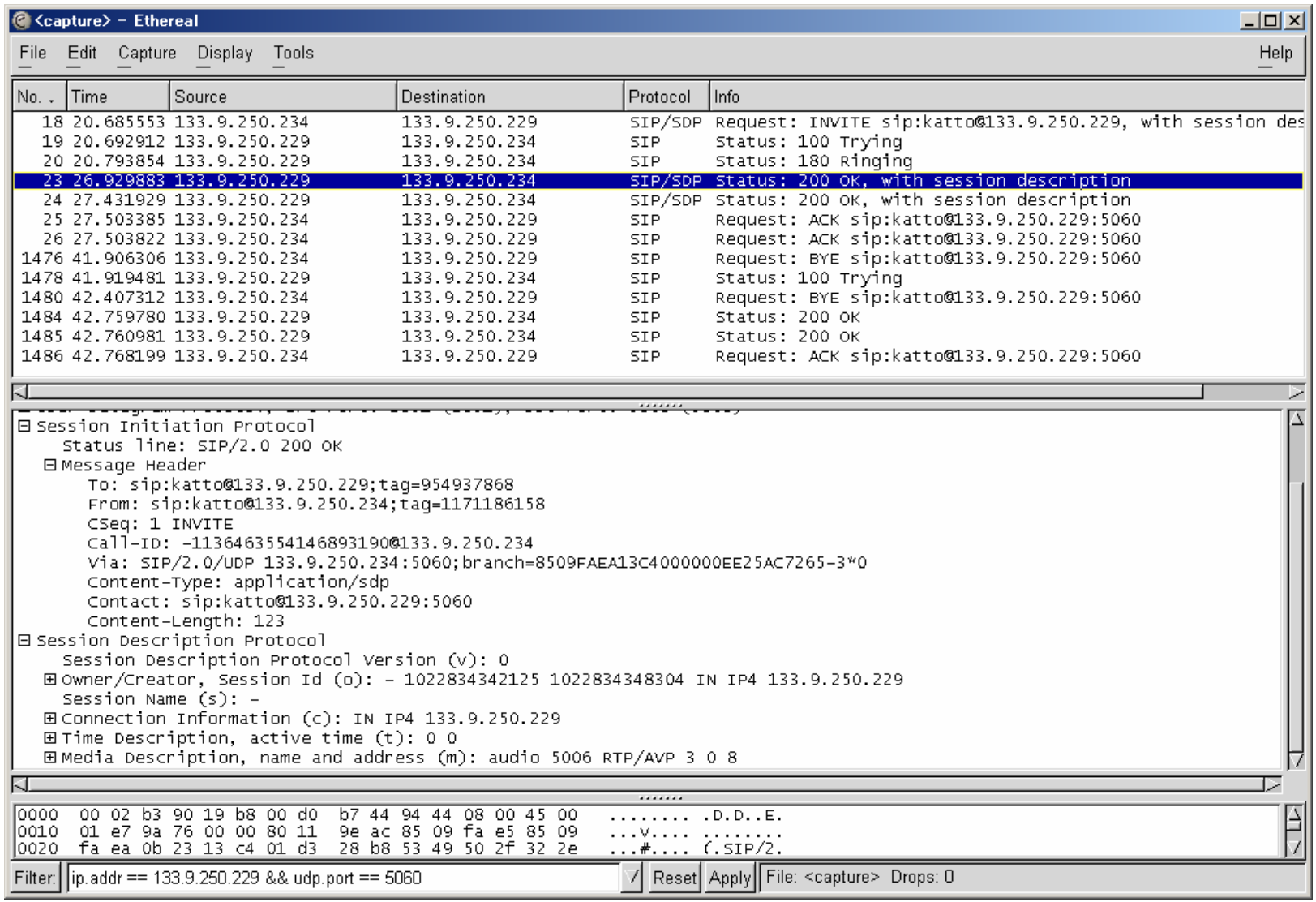
インターネット放送	TCP	UDP
オンデマンド放送	○	○
ライブ放送	×	◎
マルチキャスト	×	◎ (クラスD)
制御情報	◎	○ (カルーセル)

低遅延性と信頼性のトレードオフ

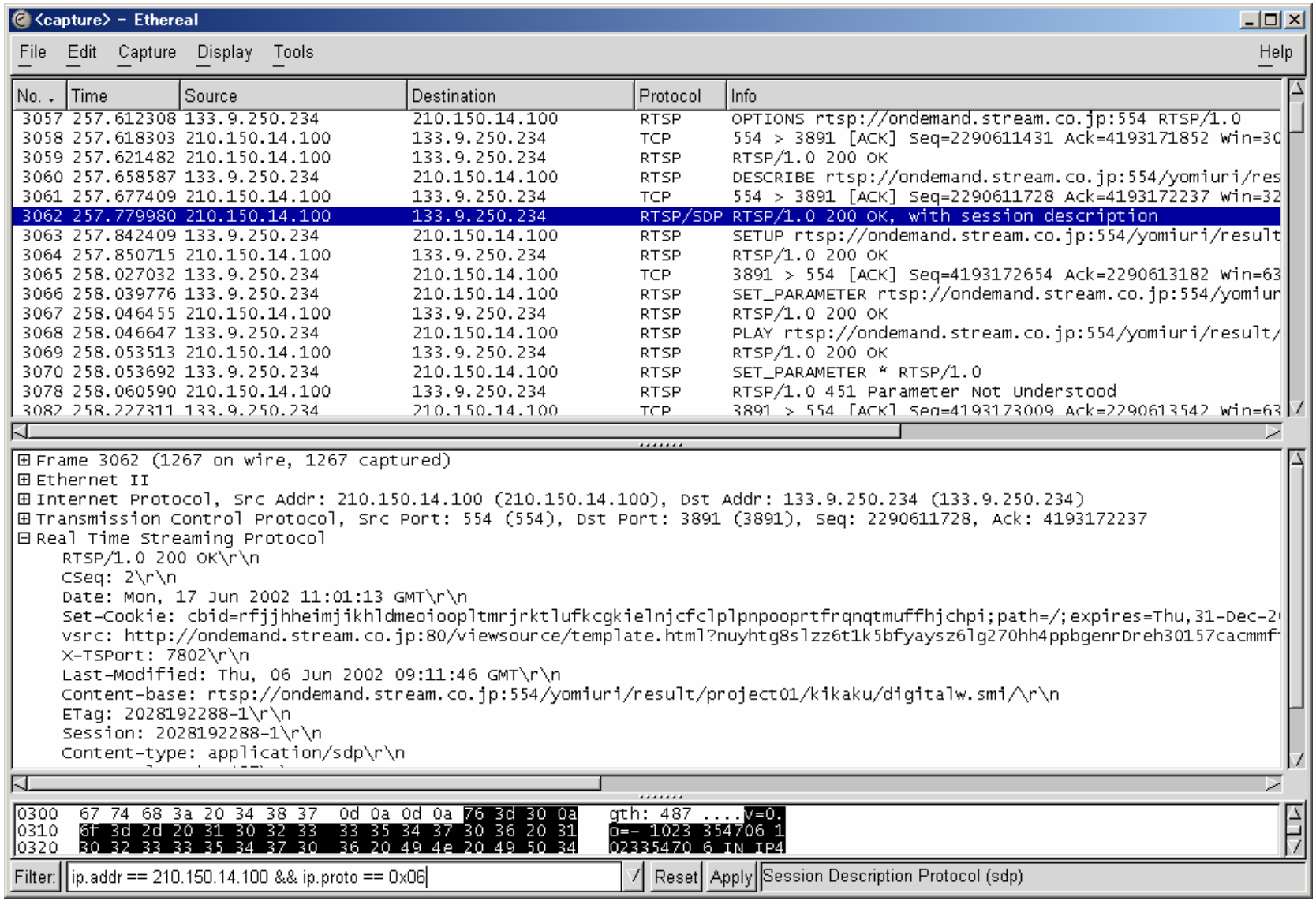
Ethereal / Wireshark

パケットキャプチャツール

SIPの実


<capture> – Ethereal
File Edit Capture Display Tools Help
No. Time Source Destination Protocol Info
18 20.685553 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP/SDP Request: INVITE sip:katto@133.9.250.229, with session des
19 20.692912 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP Status: 100 Trying
20 20.793854 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP Status: 180 Ringing
23 26.929883 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP/SDP Status: 200 OK, with session description
24 27.431929 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP/SDP Status: 200 OK, with session description
25 27.503385 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP Request: ACK sip:katto@133.9.250.229:5060
26 27.503822 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP Request: ACK sip:katto@133.9.250.229:5060
1476 41.906306 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP Request: BYE sip:katto@133.9.250.229:5060
1478 41.919481 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP Status: 100 Trying
1480 42.407312 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP Request: BYE sip:katto@133.9.250.229:5060
1484 42.759780 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP Status: 200 OK
1485 42.760981 133.9.250.229 133.9.250.234 SIP Status: 200 OK
1486 42.768199 133.9.250.234 133.9.250.229 SIP Request: ACK sip:katto@133.9.250.229:5060
Session Initiation Protocol
Status line: SIP/2.0 200 OK
Message Header
To: sip:katto@133.9.250.229;tag=954937868
From: sip:katto@133.9.250.234;tag=1171186158
CSeq: 1 INVITE
Call-ID: -1136463554146893190@133.9.250.234
Via: SIP/2.0/UDP 133.9.250.234:5060;branch=8509FAEA13C4000000EE25AC7265-3*0
Content-Type: application/sdp
Contact: sip:katto@133.9.250.229:5060
Content-Length: 123
Session Description Protocol
Session Description Protocol Version (v): 0
Owner/Creator, Session Id (o): - 1022834342125 1022834348304 IN IP4 133.9.250.229
Session Name (s): -
Connection Information (c): IN IP4 133.9.250.229
Time Description, active time (t): 0 0
Media Description, name and address (m): audio 5006 RTP/AVP 3 0 8
0000 00 02 b3 90 19 b8 00 d0 b7 44 94 44 08 00 45 00 ..... .D.D..E.
0010 01 e7 9a 76 00 00 80 11 9e ac 85 09 fa e5 85 09 ...v.... .....
0020 fa ea 0b 23 13 c4 01 d3 28 b8 53 49 50 2f 32 2e ...#.... (.SIP/2.
Filter: ip.addr == 133.9.250.229 && udp.port == 5060
Reset Apply File: <capture> Drops: 0

RTSPの実


<capture> – Ethereal
File Edit Capture Display Tools Help
No. Time Source Destination Protocol Info
3057 257.612308 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP OPTIONS rtsp://ondemand.stream.co.jp:554 RTSP/1.0
3058 257.618303 210.150.14.100 133.9.250.234 TCP 554 > 3891 [ACK] Seq=2290611431 Ack=4193171852 Win=3C
3059 257.621482 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP RTSP/1.0 200 OK
3060 257.658587 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP DESCRIBE rtsp://ondemand.stream.co.jp:554/yomiuri/res
3061 257.677409 210.150.14.100 133.9.250.234 TCP 554 > 3891 [ACK] Seq=2290611728 Ack=4193172237 Win=32
3062 257.779980 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP/SDP RTSP/1.0 200 OK, with session description
3063 257.842409 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP SETUP rtsp://ondemand.stream.co.jp:554/yomiuri/result
3064 257.850715 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP RTSP/1.0 200 OK
3065 258.027032 133.9.250.234 210.150.14.100 TCP 3891 > 554 [ACK] Seq=4193172654 Ack=2290613182 Win=63
3066 258.039776 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP SET_PARAMETER rtsp://ondemand.stream.co.jp:554/yomiur
3067 258.046455 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP RTSP/1.0 200 OK
3068 258.046647 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP PLAY rtsp://ondemand.stream.co.jp:554/yomiuri/result/
3069 258.053513 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP RTSP/1.0 200 OK
3070 258.053692 133.9.250.234 210.150.14.100 RTSP SET_PARAMETER * RTSP/1.0
3078 258.060590 210.150.14.100 133.9.250.234 RTSP RTSP/1.0 451 Parameter Not Understood
3082 258.227311 133.9.250.234 210.150.14.100 TCP 3891 > 554 [ACK] Seq=4193173009 Ack=2290613542 Win=63
Frame 3062 (1267 on wire, 1267 captured)
Ethernet II
Internet Protocol, Src Addr: 210.150.14.100 (210.150.14.100), Dst Addr: 133.9.250.234 (133.9.250.234)
Transmission Control Protocol, Src Port: 554 (554), Dst Port: 3891 (3891), Seq: 2290611728, Ack: 4193172237
Real Time Streaming Protocol
RTSP/1.0 200 OK\r\n
CSeq: 2\r\n
Date: Mon, 17 Jun 2002 11:01:13 GMT\r\n
Set-Cookie: cbid=rfjjhheimjikhldmeoioopltmrjrktlufkcgkielnjcfclplpnpooprtfrqnqtmuffhjchpi;path=/;expires=Thu,31-Dec-2
vsrc: http://ondemand.stream.co.jp:80/viewsource/template.html?nuyhtg8slzz6t1k5bfyaysz6lg270hh4ppbgenrDreh30157cacmmf
X-TSPort: 7802\r\n
Last-Modified: Thu, 06 Jun 2002 09:11:46 GMT\r\n
Content-base: rtsp://ondemand.stream.co.jp:554/yomiuri/result/project01/kikaku/digitalw.smi/\r\n
ETag: 2028192288-1\r\n
Session: 2028192288-1\r\n
Content-type: application/sdp\r\n
0300 67 74 68 3a 20 34 38 37 0d 0a 0d 0a 76 3d 30 0a gth: 487 ....v=0.
0310 6f 3d 2d 20 31 30 32 33 33 35 34 37 30 36 20 31 o=- 1023 354706 1
0320 30 32 33 33 35 34 37 30 36 20 49 4e 20 49 50 34 02335470 6 IN IP4
Filter: ip.addr == 210.150.14.100 && ip.proto == 0x06
Reset Apply Session Description Protocol (sdp)