



Němeček Vladimír
NET-SYSTÉM Liberec , CCNA/CCNP

Quality of Service v IP sítích

Proč IP QoS?

- Aplikace X běží pomalu !!!
- Video broadcast občas stránkuje!
- Telefonní volání přes IP nejsou lepší než přes satelit!
- Telefonní volání přes IP má špatnou kvalitu!
- Platební transakce přes ATM jsou nespolehlivé !!
- ...

Protože ...

- Aplikace X běží pomalu !!! (nedostatek **BANDWIDTH**)
 - Video broadcast občas stránkuje!(**DELAY** se přechodně zvětšuje – **JITTER**)
 - Telefonní volání přes IP nejsou lepší než přes satelit! (velké zpoždění **DELAY**)
 - Telefonní volání přes IP má špatnou kvalitu! (mnoho volání najednou – **ADMISSION CONTROL**)
 - Platební transakce přes ATM jsou nespolehlivé! (mnoho **DROPS** paketů)
 - ...

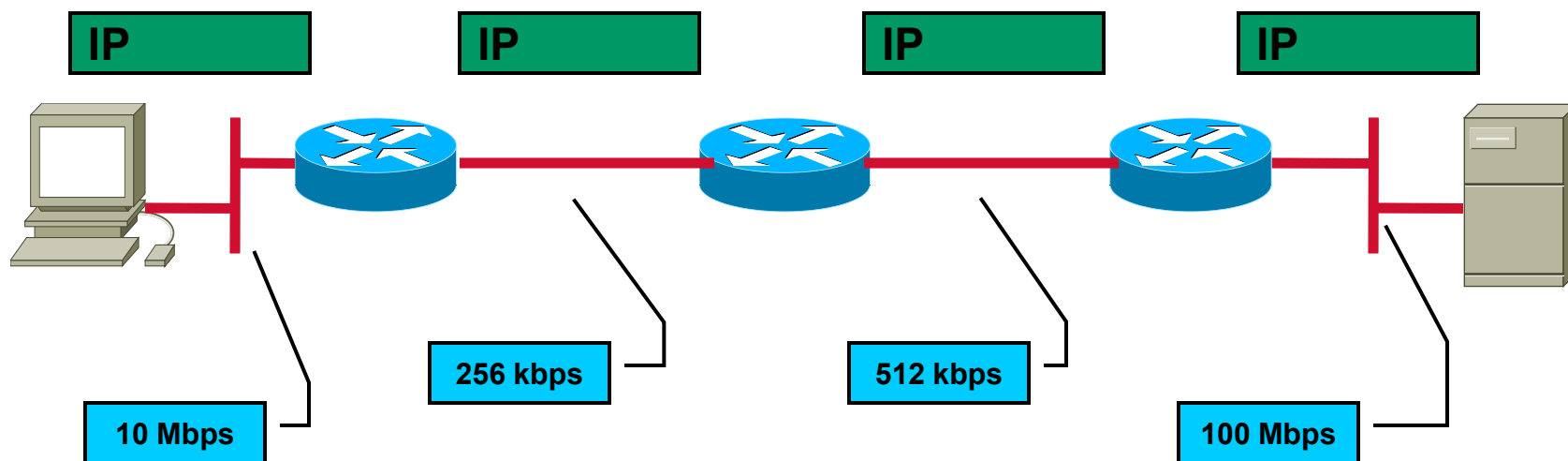
Co je příčinou ...

- **Nedostatek bandwidth** – mnoho různých provozů bojuje o limitované množství pásma (bandwidth)
- **Příliš velké zpoždění** – pakety procházejí síťovými zařízeními a linkami a tím se zvyšuje celkové zpoždění (delay)
- **Proměnné zpoždění** – někdy příležitostný provoz dočasně zvýší zpoždění
- **Drops** – paket je velmi často zahozen když je linka nebo prvek přetížen

QoS: Popis BW, Delay, Jitter a Loss

- Bandwidth
- Delay
- Jitter
- Loss

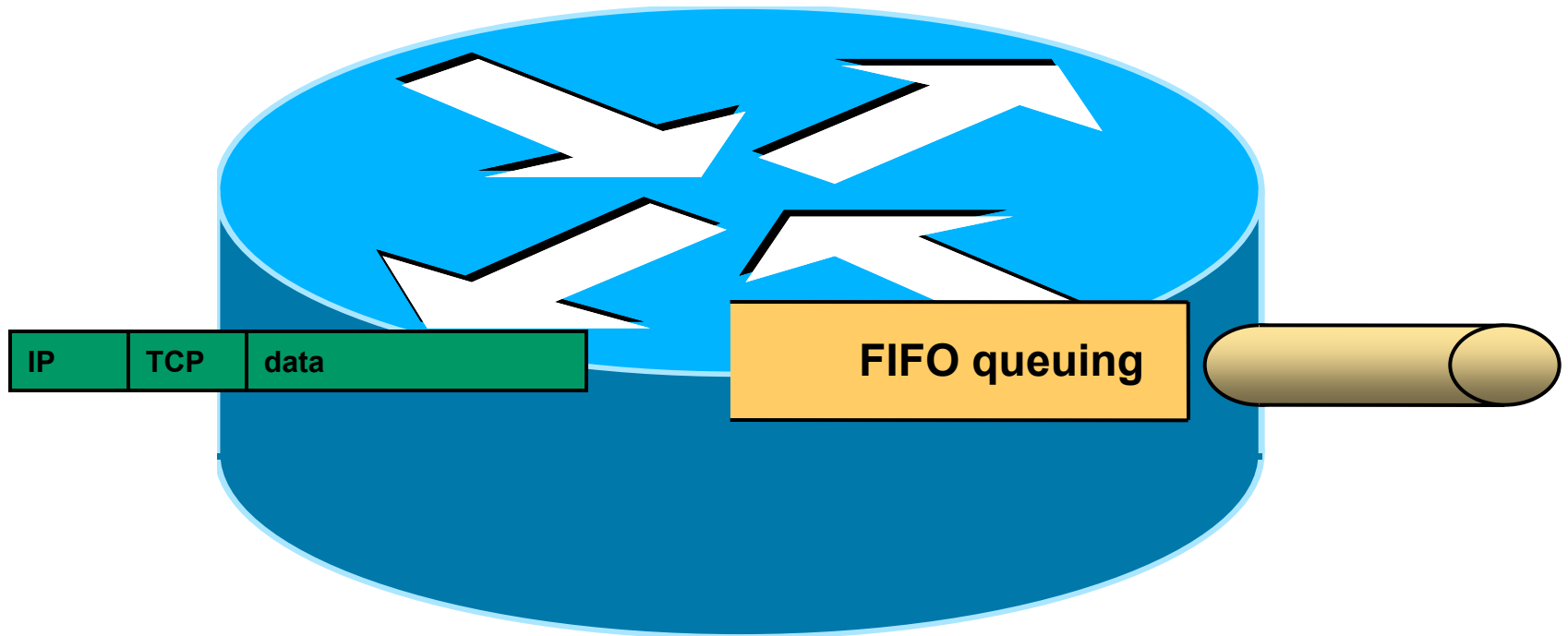
Dostupný Bandwidth



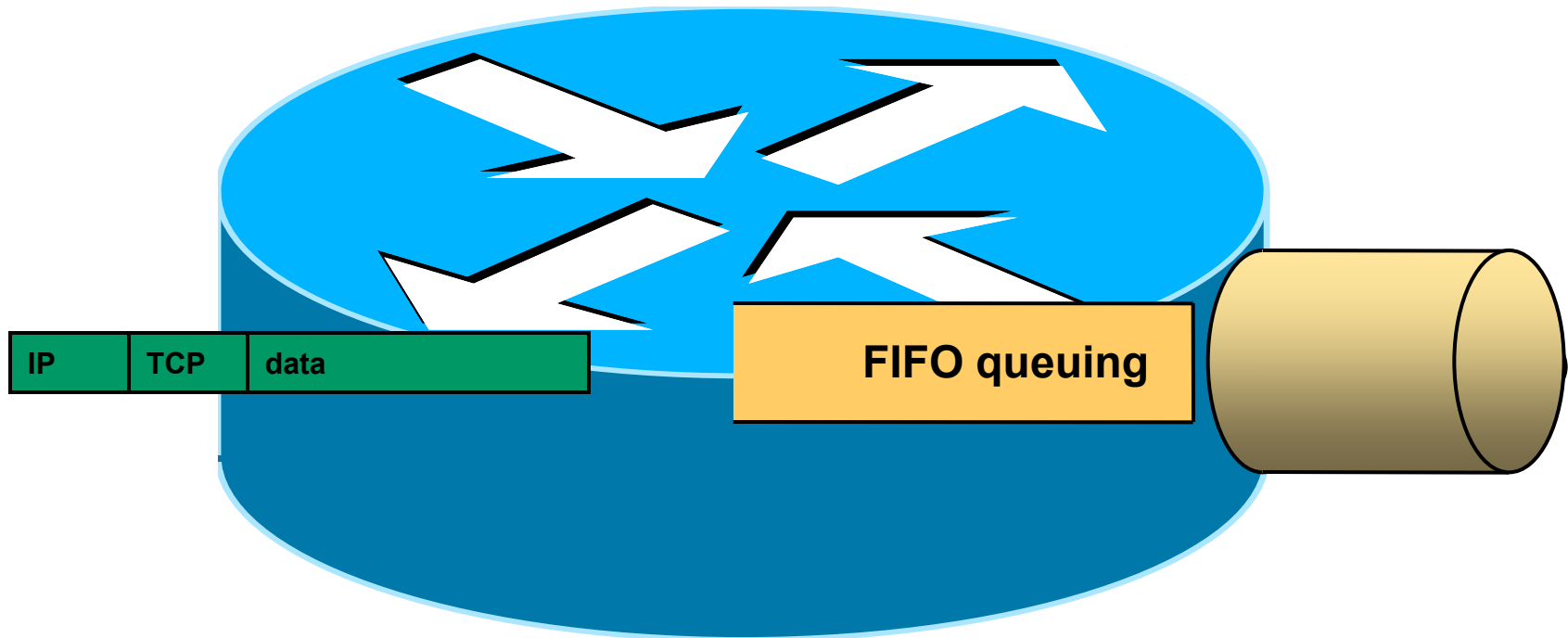
•Maximum dostupné bandwidth je ekvivalentní bandwidth nejslabší linky $BW_{max} = \min(10M, 256k, 512k, 100M) = 256k$

•Pokud více toků o stejný bandwidth mívá to za následek velkou ztrátu bandwidth pro každou z jednotlivých aplikací $BW_{avail} = BW_{max} / Flows$

Jak uvolnit pásmo ?

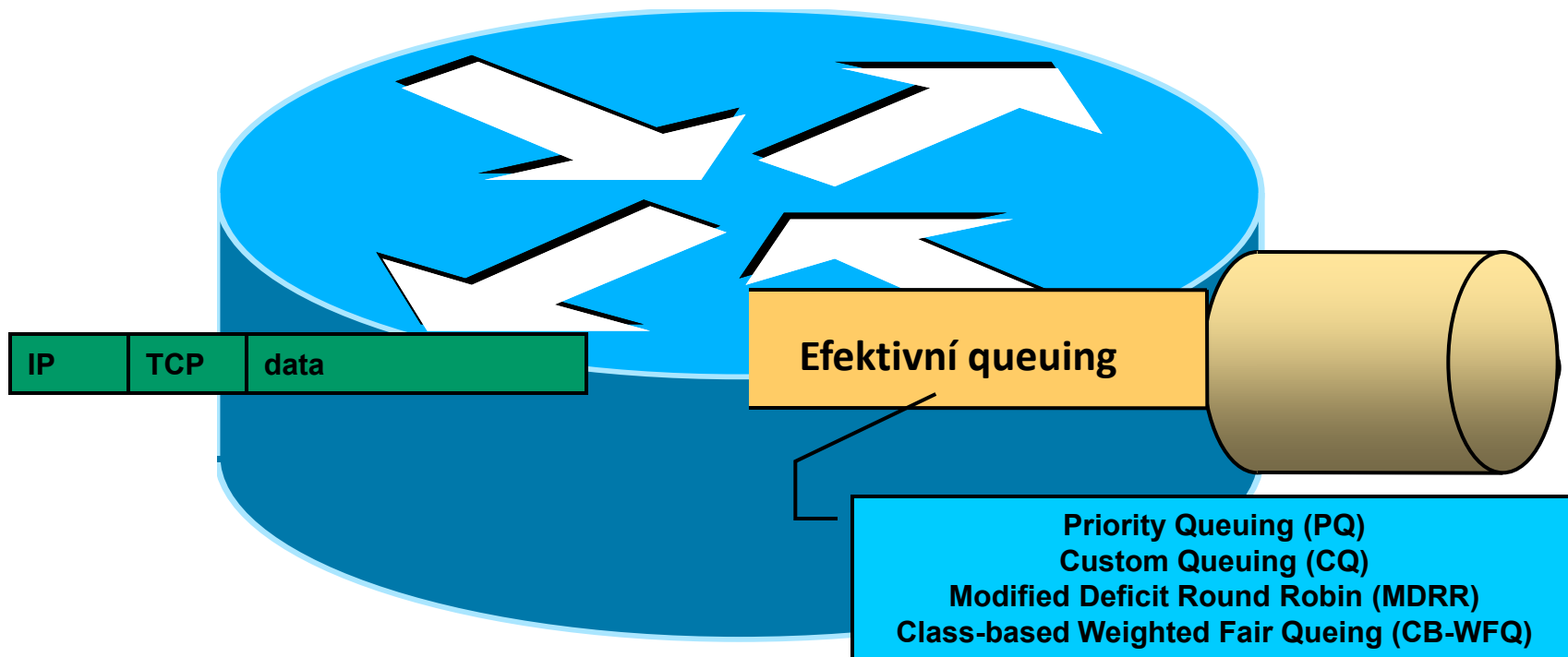


Jak uvolnit pásmo ?



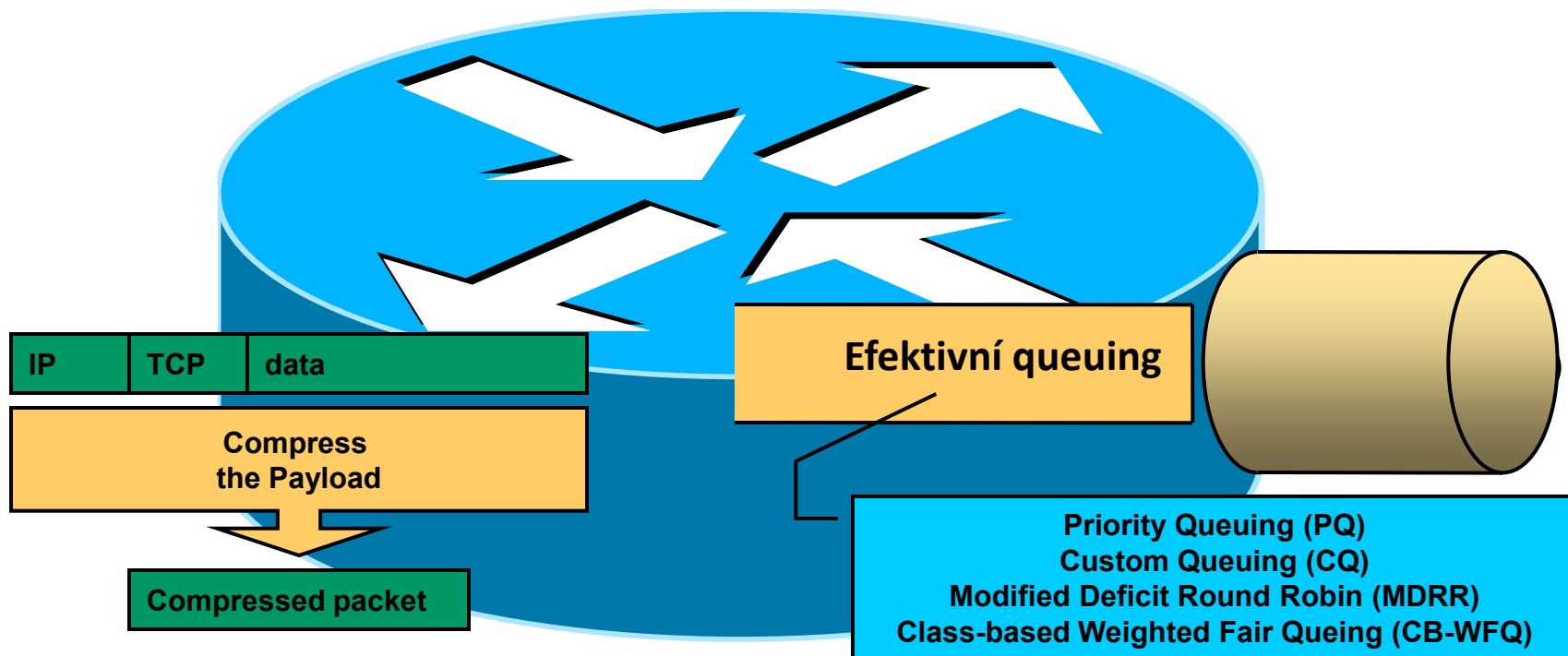
- **Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!**

Jak uvolnit pásmo ?



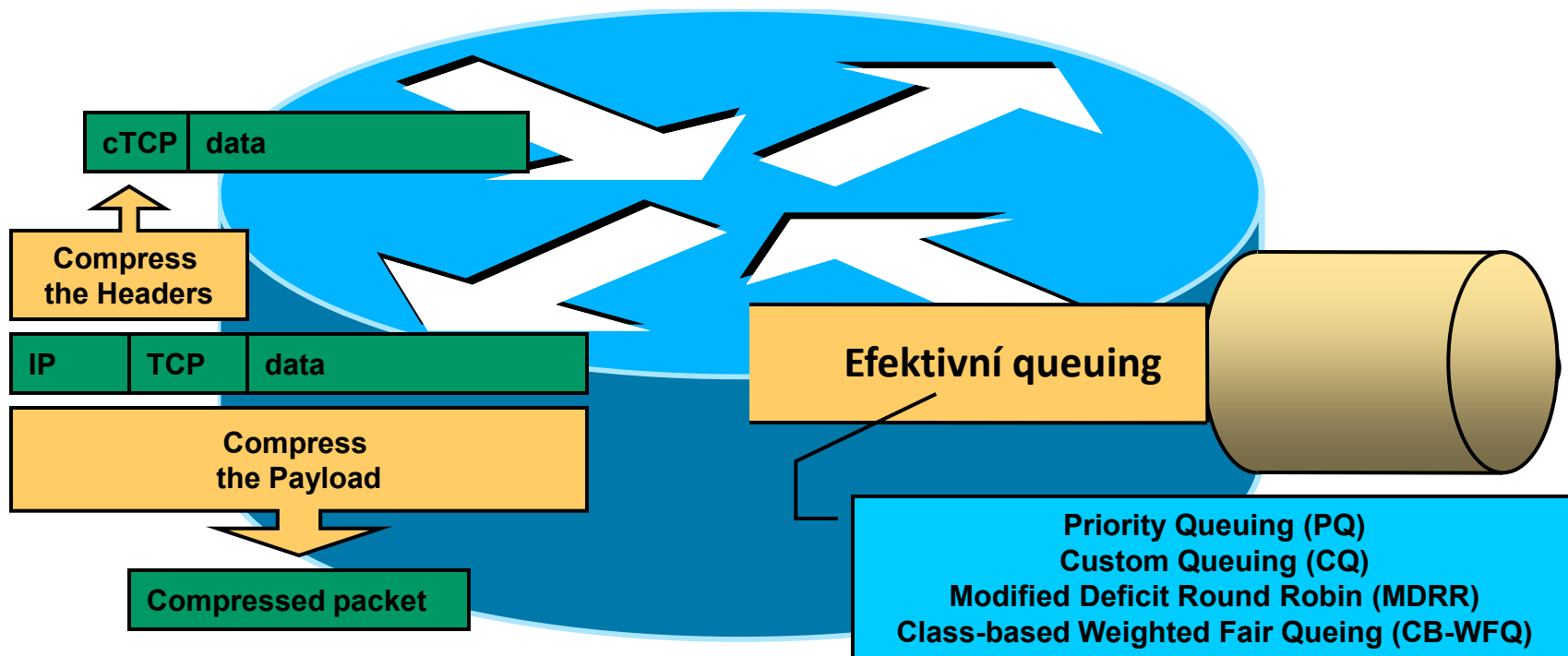
- **Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!**
- **Vezmi pásmo méně důležitým aplikacím !!**

Jak uvolnit pásmo ?



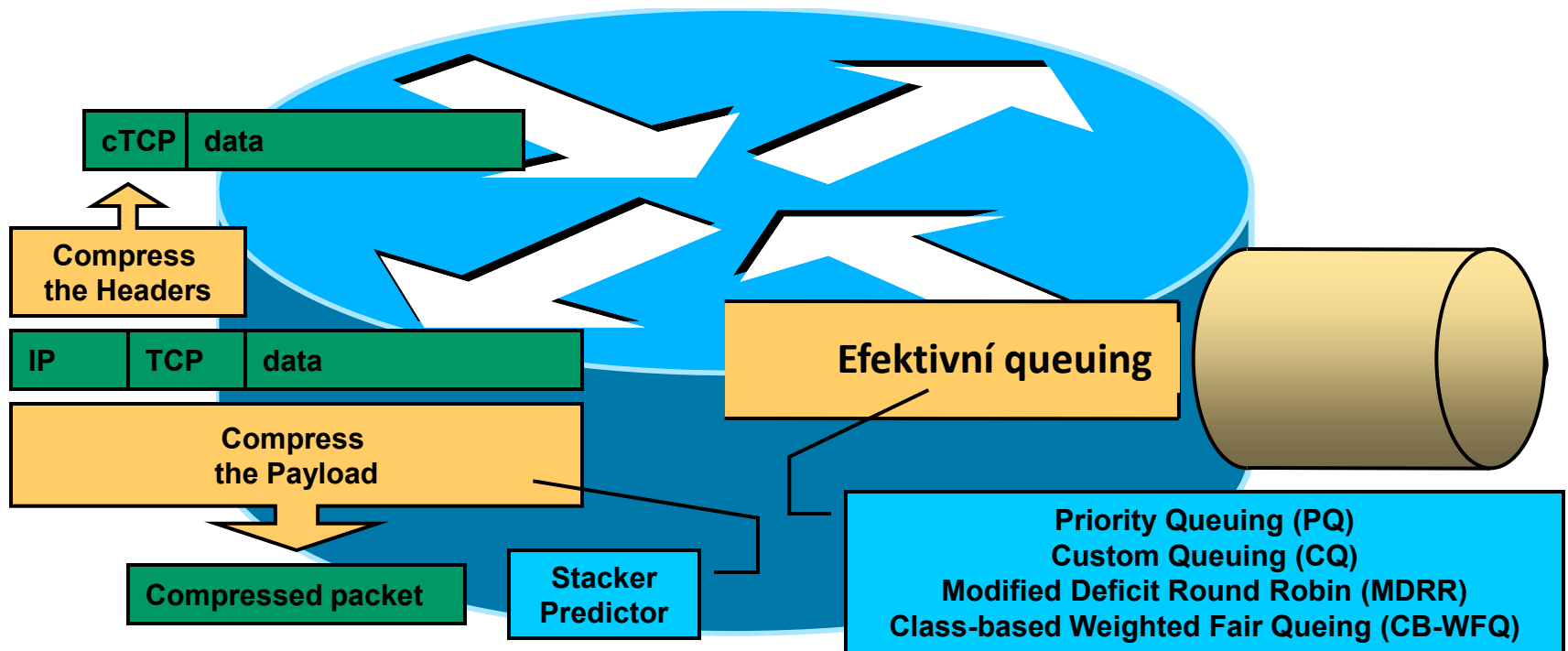
- **Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!**
- **Vezmi pásmo méně důležitým aplikacím !!**
- **Kompresuj payload v L2 rámcích !**

Jak uvolnit pásmo ?



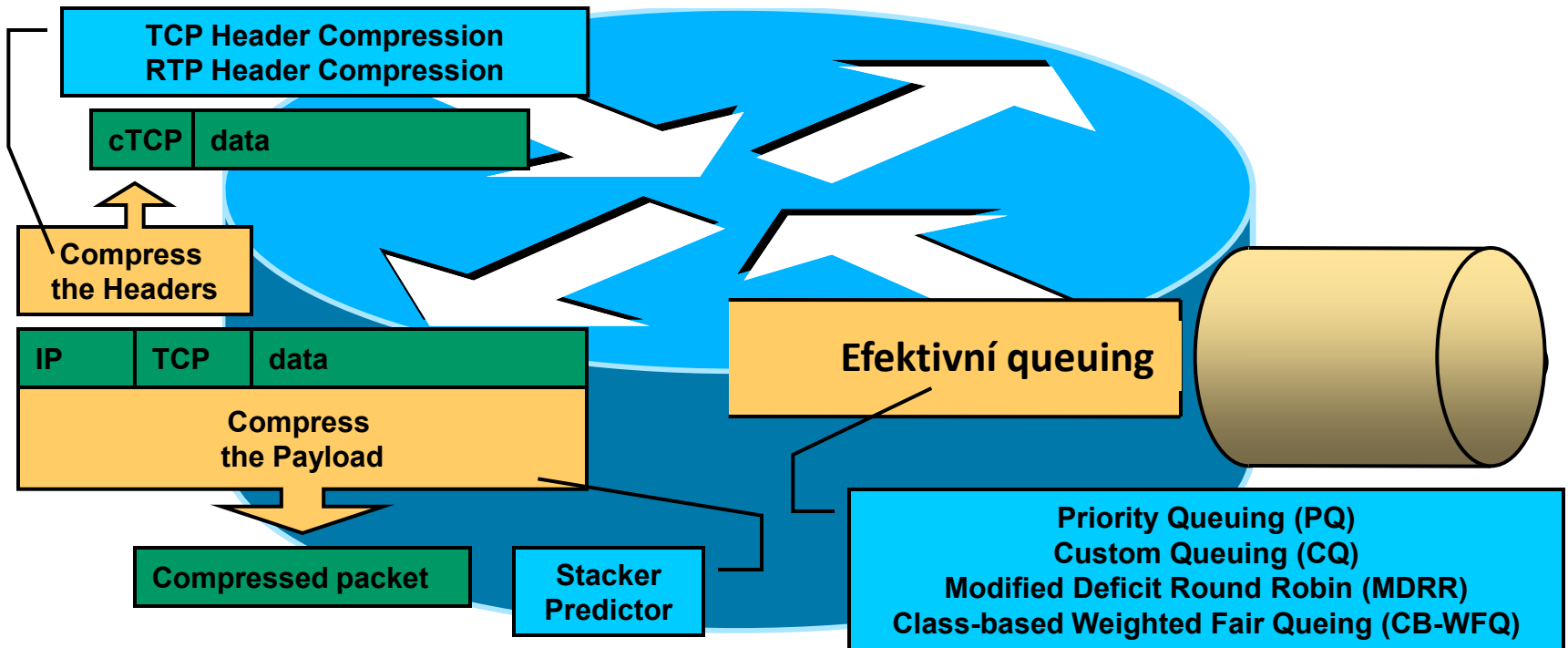
- **Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!**
- **Vezmi pásmo méně důležitým aplikacím !!**
- **Kompresuj payload v L2 rámcích !**
- **Kompresuj hlavičku v IP paketech !**

Jak uvolnit pásmo ?



- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!
- Vezmi pásmo méně důležitým aplikacím !!
- Kompresuj payload v L2 rámcích !
- Kompresuj hlavičku v IP paketech !

Jak uvolnit pásmo ?

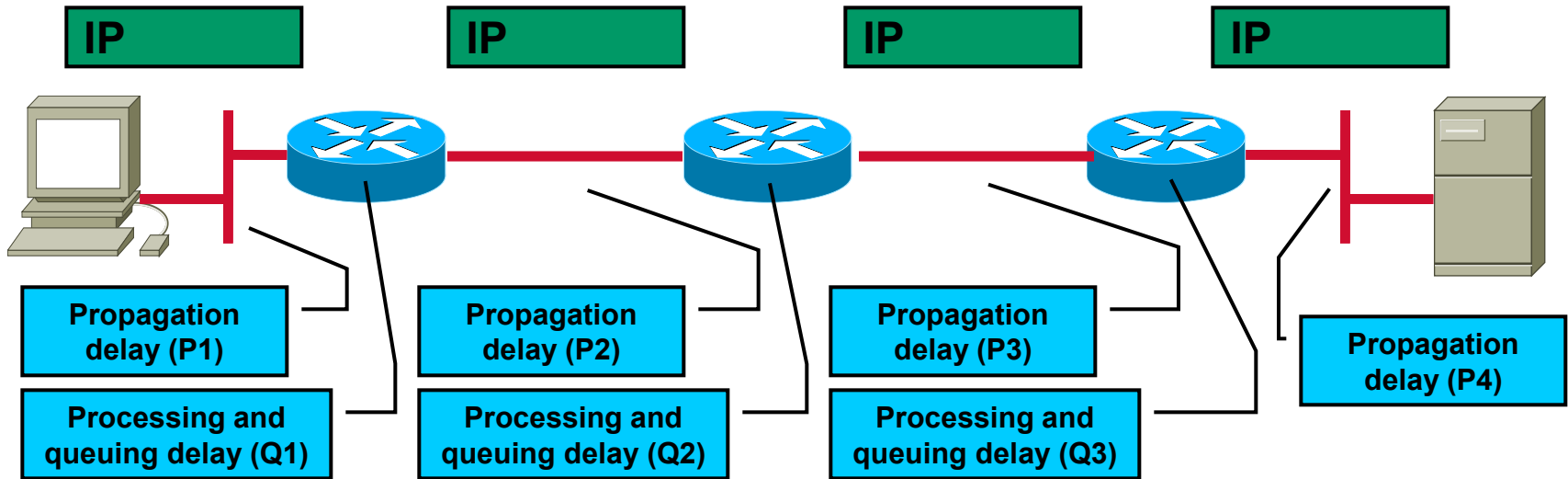


- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!
- Vezmi pásmo méně důležitým aplikacím !!
- Kompresuj payload v L2 rámcích !
- Kompresuj hlavičku v IP paketech !

QoS: Popis BW, Delay, Jitter a Loss

- Bandwidth
- Delay
- Jitter
- Loss

Zpoždění - Delay



$$\text{Delay} = S1+P1 + F1+Q1 + S2+P2 +F2+ Q2 + S3+P3+F3+Q3 \dots\dots = X \text{ ms}$$

- End-to-end zpoždění je sumou serializace(S), propagace(P), processing/forwarding(F), queue delay(Q),shaping(SH) delay,network delay(N),codec delay(C) a compression (CO) delay na cestě paketu

Zpoždění - Delay

Některá druhy zpoždění jsou **fixní**:

– **Serialize** = bits sent / link speed

- Např. Client posílá data serveru o velikosti 125 bytu.
- 125 byte=1000 bitů
- Serializační zpoždění(S_d) na FastEthernetu je
 - $S_d = 1000 / 100.000.000 = 0.01$ milisekund
- Serializační zpoždění(S_d) na lince 128Kbit/s je
 - $S_d = 1000 / 128.000 = 7.8$ milisekund
- Pokud je paket velký 1500bytů je na lince 128Kbit/s
 - $S_d = 93$ milisekund

(pozor na rozdíl bandwidth a block rate !)

Zpoždění – Delay fixní

- **Propagační delay (Pd)** je čas, za jaký se dostane jeden bit z jedné strany linky na druhou.
 - Pro elektrický kabel:
 - $Pd = \text{délka kabelu (m)} / 2.1 \times 100.000.000 \text{ (m/s)}$
 - Pro optický kabel:
 - $Pd = \text{délka kabelu (m)} / 3.0 \times 100.000.000 \text{ (m/s)}$
 - Např. 5km metalické linky má Pd= 0.024 milisekund
 - 1000km metalické linky má Pd= 4.8 milisekund
 - **Codec delay (Cd)** je čas za který je realizováno vzorkování řeči na paket.
 - Typicky **160 byte** Voice Payload na G.711 má Cd=20ms, **20 byte** Voice Payload na G.729 má Cd=20ms. Nelze jej ovlivnit.

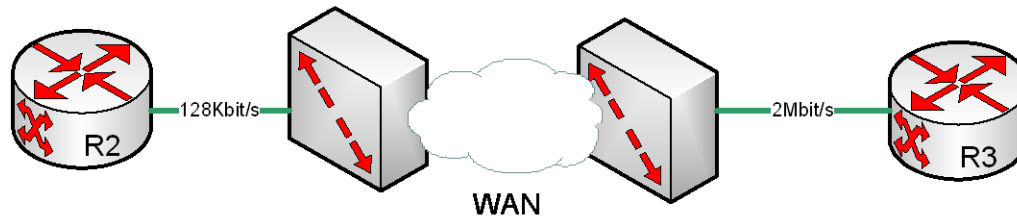
Zpoždění – Delay proměnné

- **Queuing delay (Q_d)** je zpoždění proměnné velikosti a vzniká naplněním paketů do fronty na odchozí interface. Je úzce svázáno s S_d a tím s rychlostí linky.
 - Např. 4 pakety o velikosti 1500 bytů mají odejít Serial interface o rychlosti 56 Kbit/s na vzdálenost 1000km z R1 do R2. Než odejde prvních 1500 byte ostatní musí čekat S_d . Poslední paket musí tedy čekat 3x S_d 1500 bytového paketu ($S_d=214\text{ms}$, $P_d=4.8\text{ms}$)
 - $Q_d=3 \times S_d= 214 \times 3 = 642 \text{ ms}$
 - Pokud to vidím z **pohledu R2** pak ten musí čekat :
 - $Q_d= 4 \times S_d + P_d = 4 \times 214 + 4.8 = 860.8 \text{ ms}$

Zpoždění – Delay proměnné

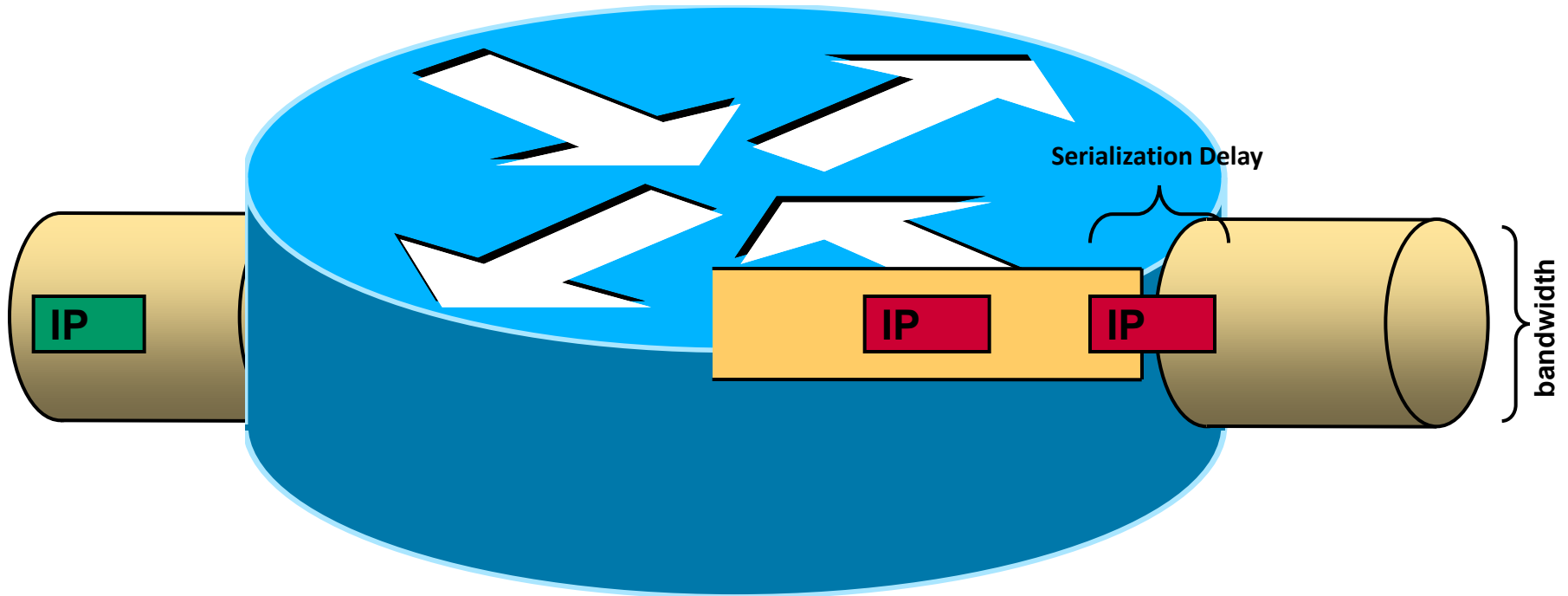
- **Forwarding/ processing delay (F_d)** je zpoždění proměnné velikosti popisující za jakou dobu je paket přicházející do vstupního interface přemístěn do výstupní fronty na příslušný výstupní interface.
- **Shapping delay (Sh_d)** je zpoždění proměnné velikosti, které může a nemusí být implementováno. Shapping je implementován pro případ, kdy provoz překročí určitý stanovený kontrakt. Tento problém může nastat např. když je přístupová rychlost (AR) 128 Kbit/s, CIR je 64 Kbit/s a Bc je 12 Kbit/s. Router vždy posílá bity na fyzické rychlosti AR a shapping dělá to, že router **záměrně zpomaluje posílání paketů** tak, aby byl zachován průměr okolo CIR.

Zpoždění – Delay proměnné

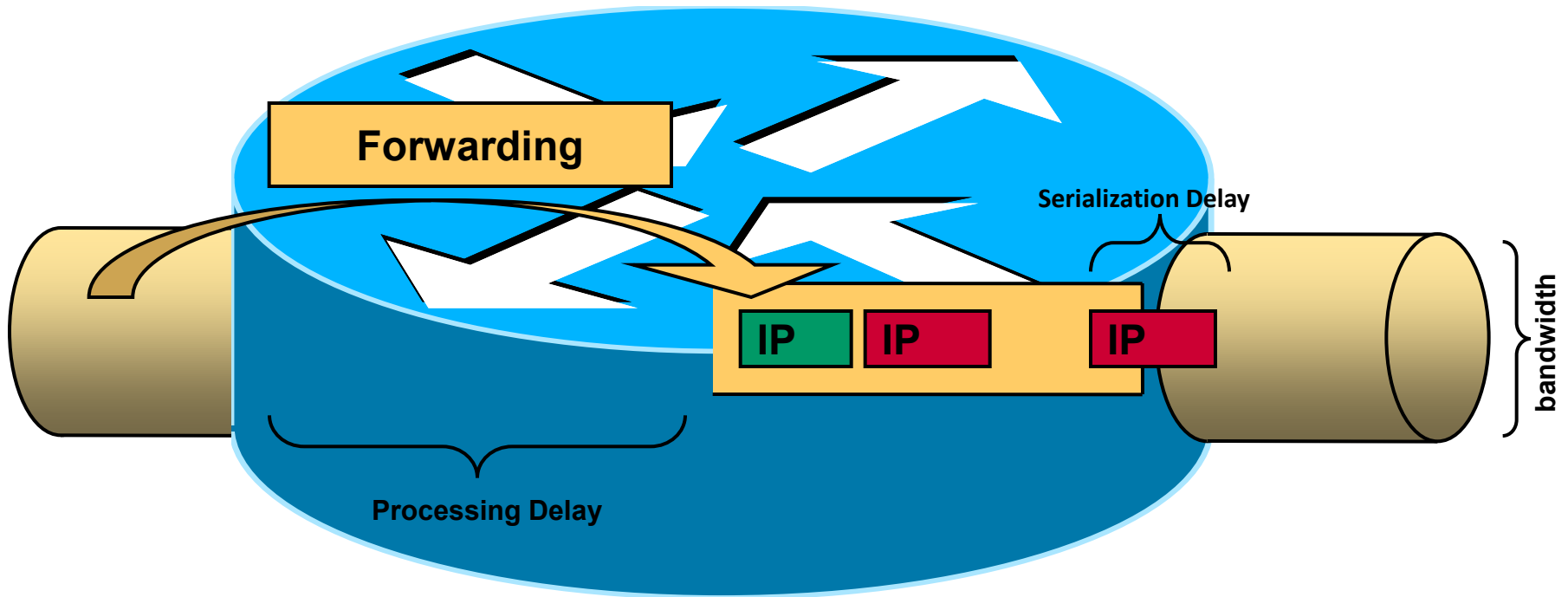


- **Network delay (Nd)** je zpoždění proměnné velikosti, které je realizováno v poskytovatele přenosových služeb. Na obr. jsou routery R2 a R3 připojeny přes WAN síť poskytovatele. Mohu pouze spočítat S_d na vstupu do WAN a S_d na výstupu z WAN což je u $S_{d_R2} = 1500 * 8 / 128000 = 94\text{ms}$, u $S_{d_R3} = 1500 * 8 / 2048000 = 5.8\text{ms}$
- Celkem tedy 99.8 ms.
- WAN je nutno ošetřit na základě SLA s poskytovatelem.

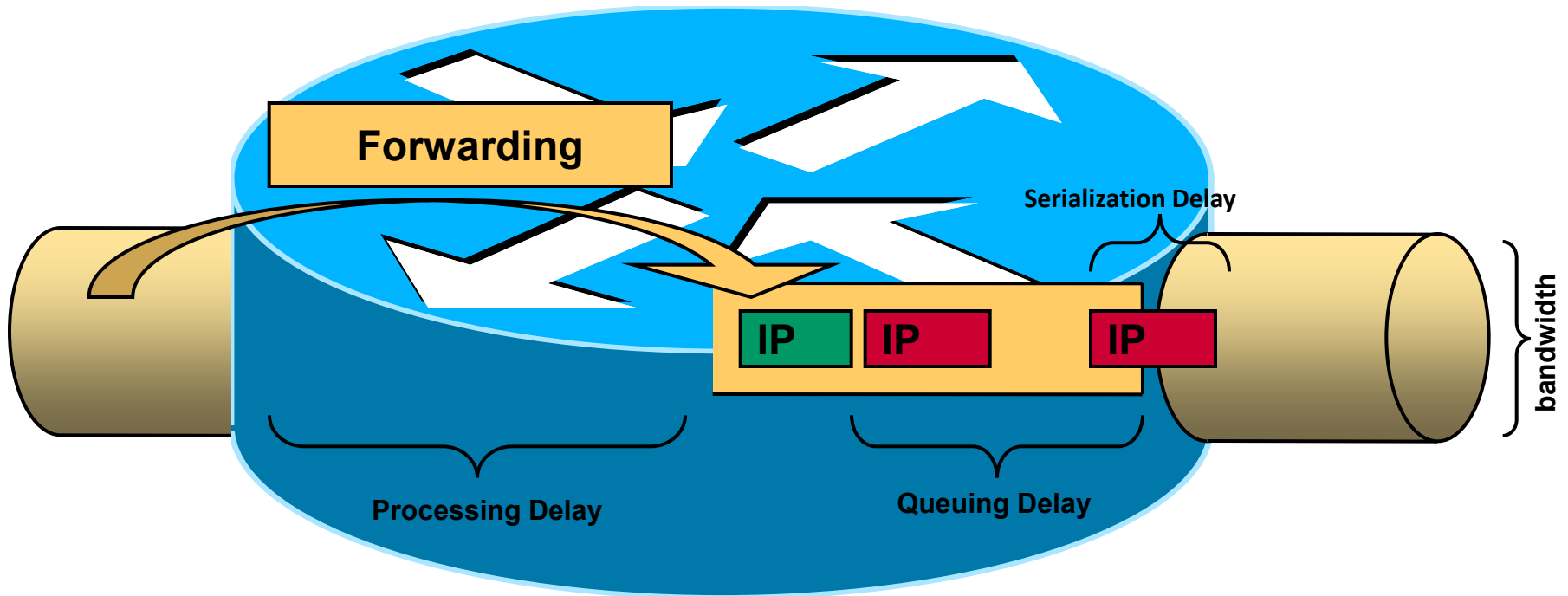
Shrnutí problematiky zpoždění



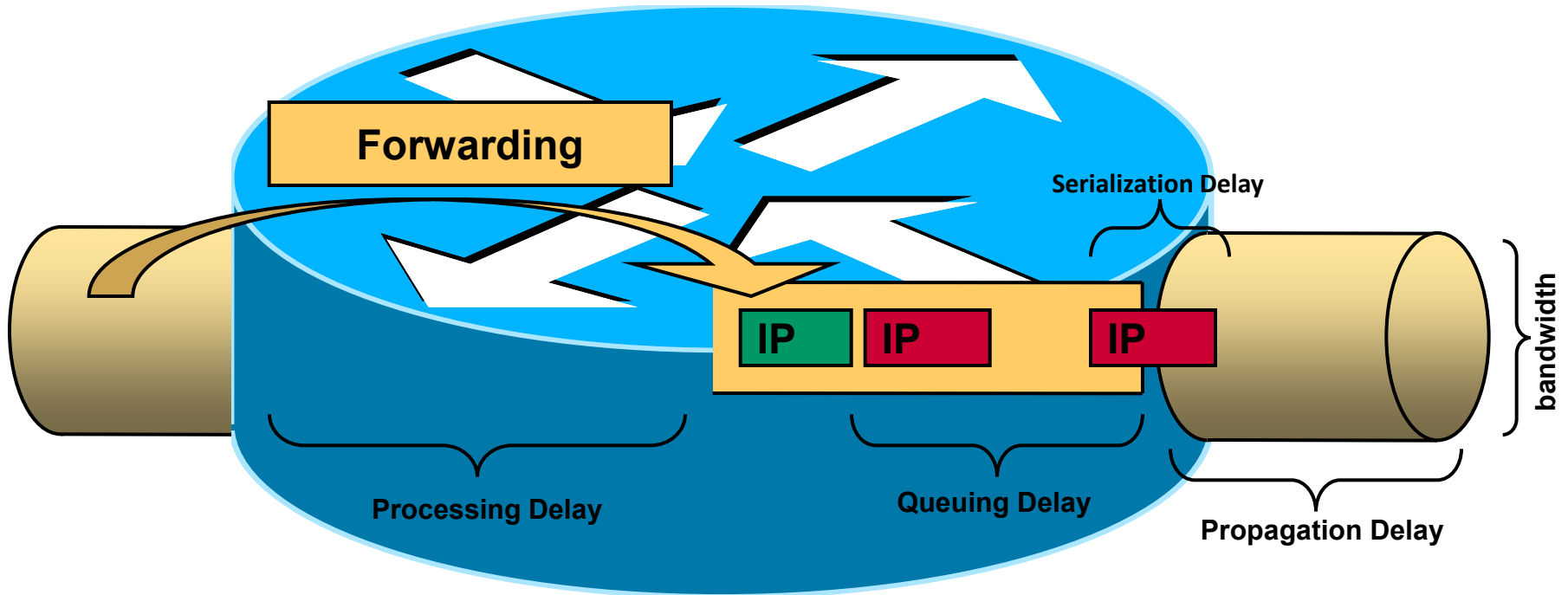
Shrnutí problematiky zpoždění



Shrnutí problematiky zpoždění



Shrnutí problematiky zpoždění



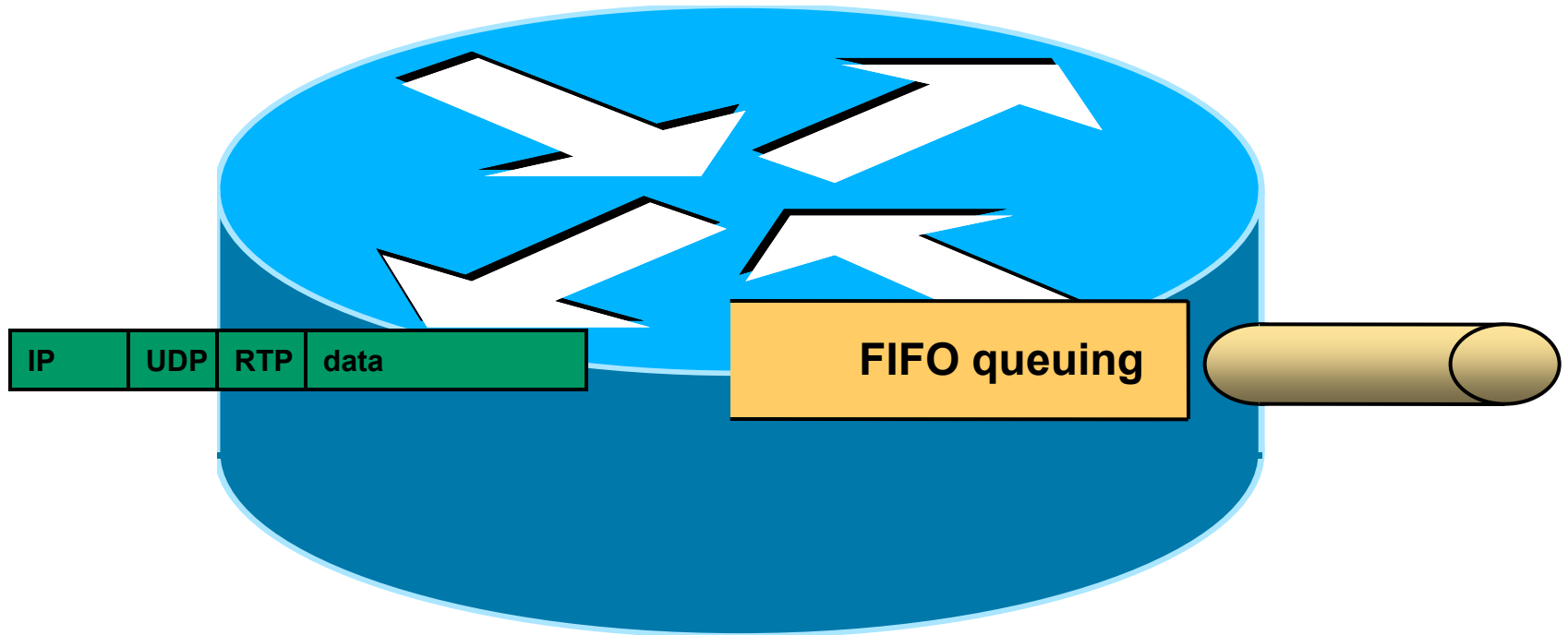
Nástroje na optimalizaci zpoždění

- Nejlepším nástrojem je ... **více pásma !!!**
 - Bohužel více pásma snižuje pouze serializační zpoždění ale neřeší vše. Může pouze zamaskovat další problémy.
- Další nástroje:
 - **Queuing (řízený)** – více výstupních front s prioritou pro určitý provoz a ošetřených pomocí různých algoritmů
 - **Fragmentace a interleaving** – z důvodu serializace mohou velké pakety (1500byte) bránit odchodu malých paketů, typických pro VoIP. Proto jsou před stupeň do front fragmentovány a pak zařazeny do příslušné fronty.

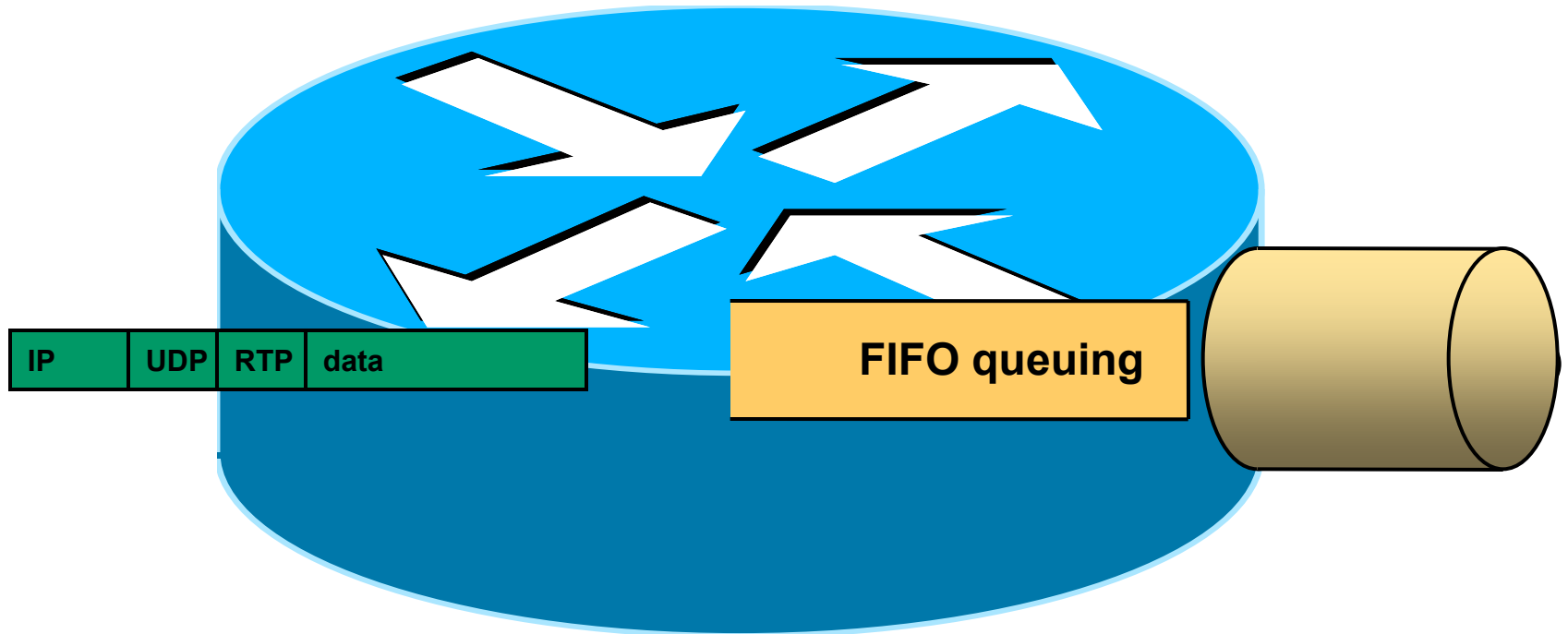
Nástroje na optimalizaci zpoždění

- **Kompresie paketů** – provádí se z důvodu snížení velikosti vstupního paketu před umístěním do výstupní fronty. Např. velikost 1500byte je možné kompresovat na 750byte. Redukuje se tak serializační zpoždění ale **zvyšuje** se tedy **processing time** pro kompresi a dekompresi paketů.
- **Traffic shapping** – jde o uměle zvýšené zpoždění paketu pro redukci zahozených paketů uvnitř přenosové sítě např. Frame Relay nebo ATM

Jak redukovat zpoždění?

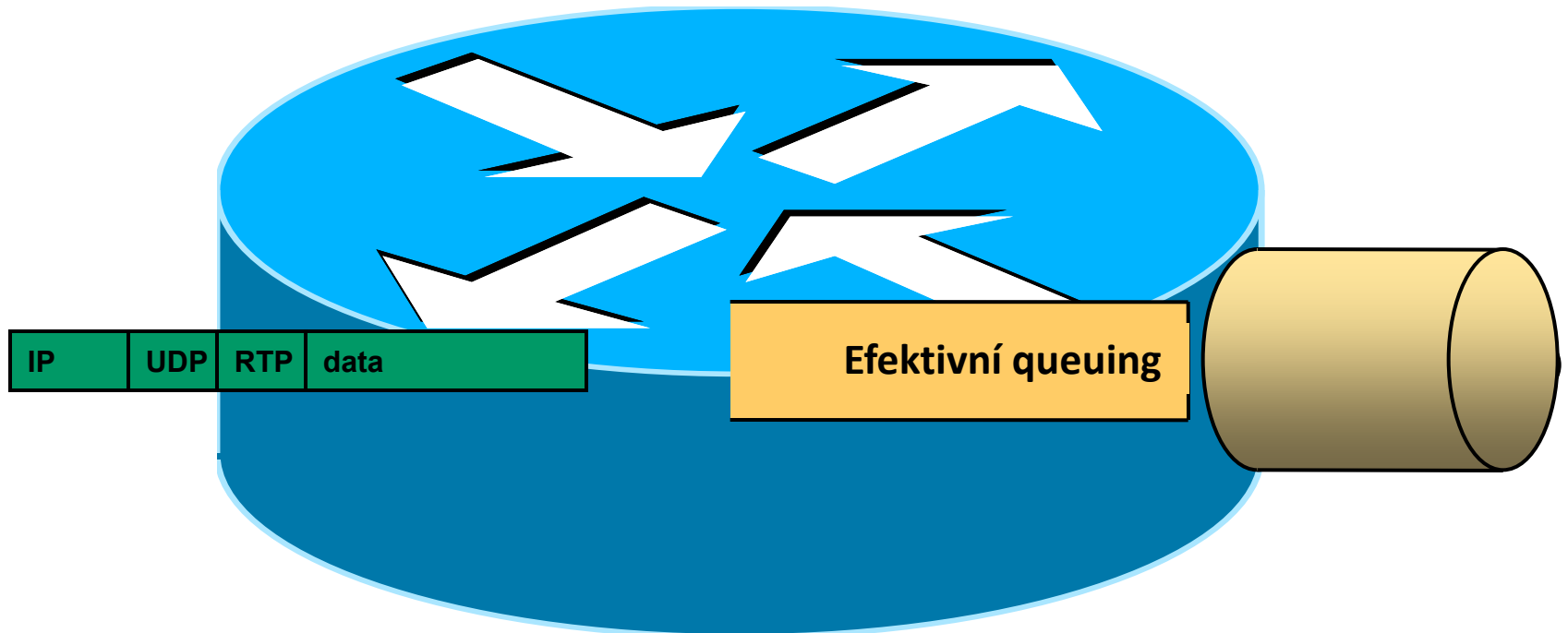


Jak redukovat zpoždění?



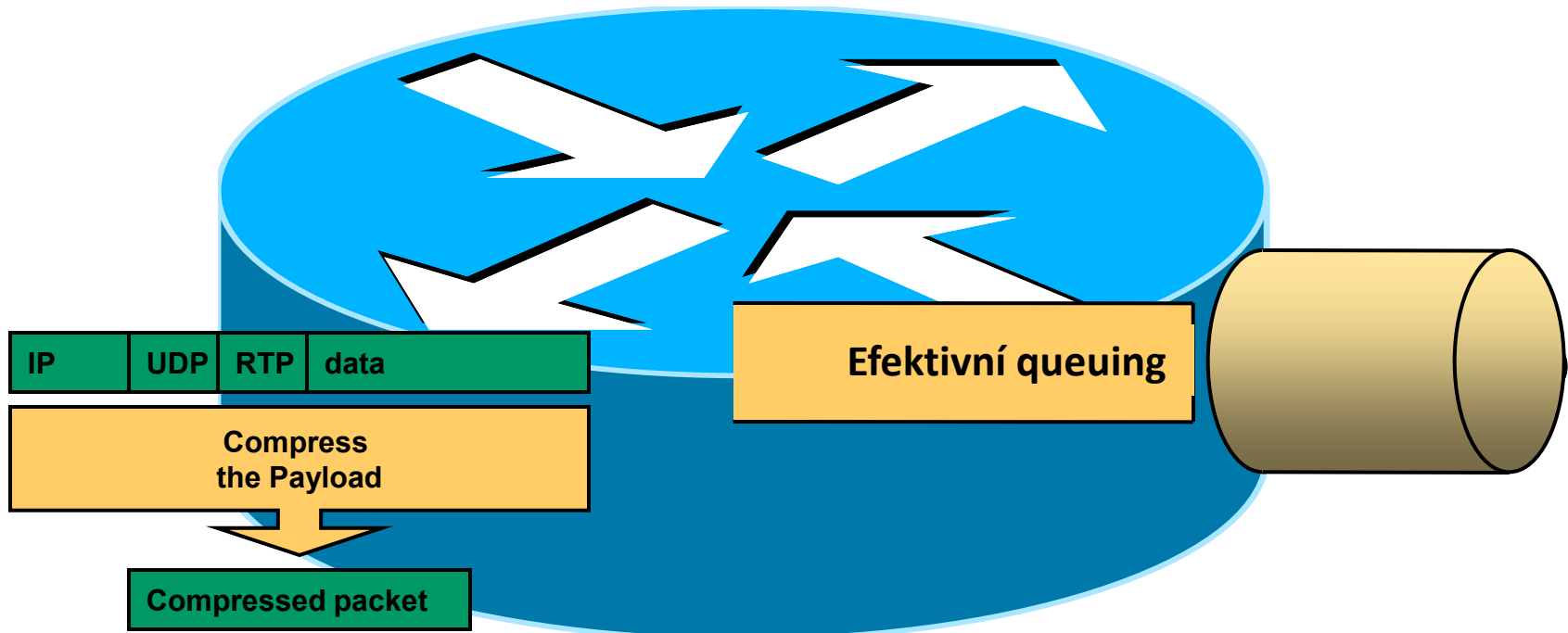
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!

Jak redukovat zpoždění?



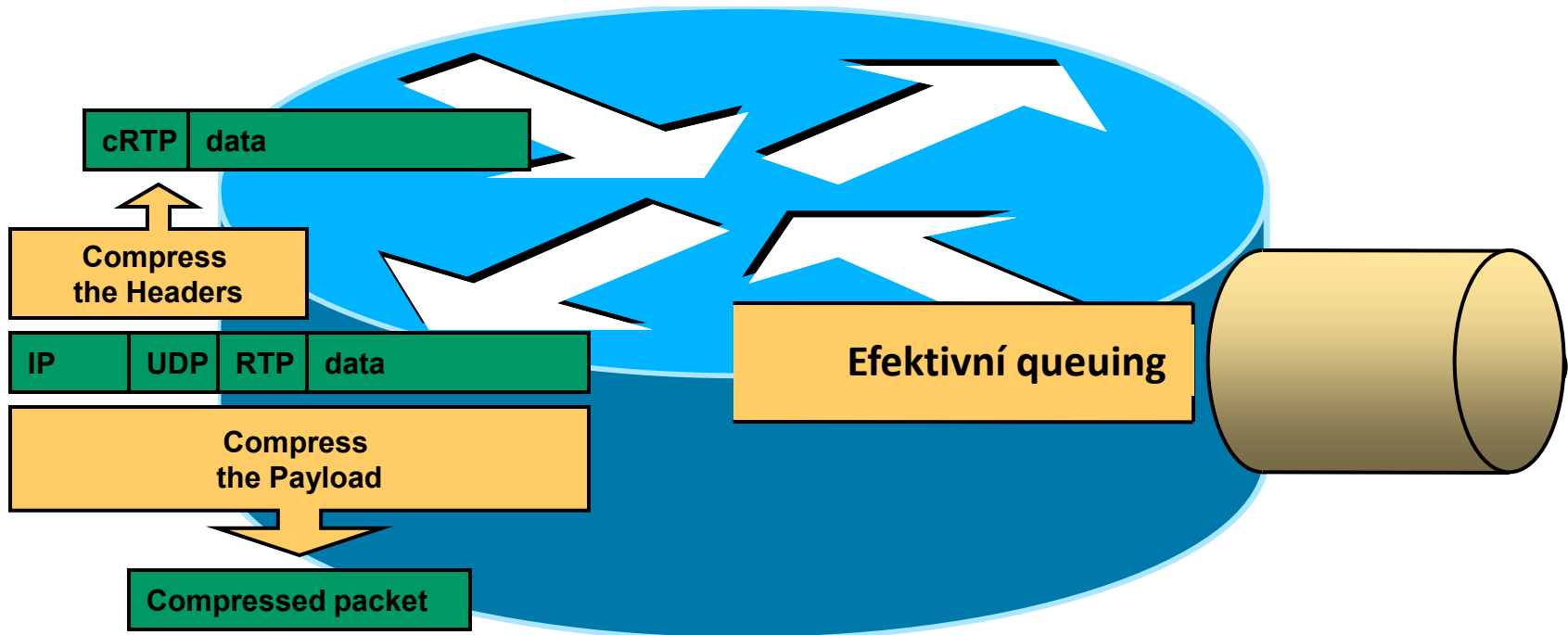
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!
- **Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !**

Jak redukovat zpoždění?



- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!!.
- Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !
- Komprese I2 rámců (to ale vezme čas).

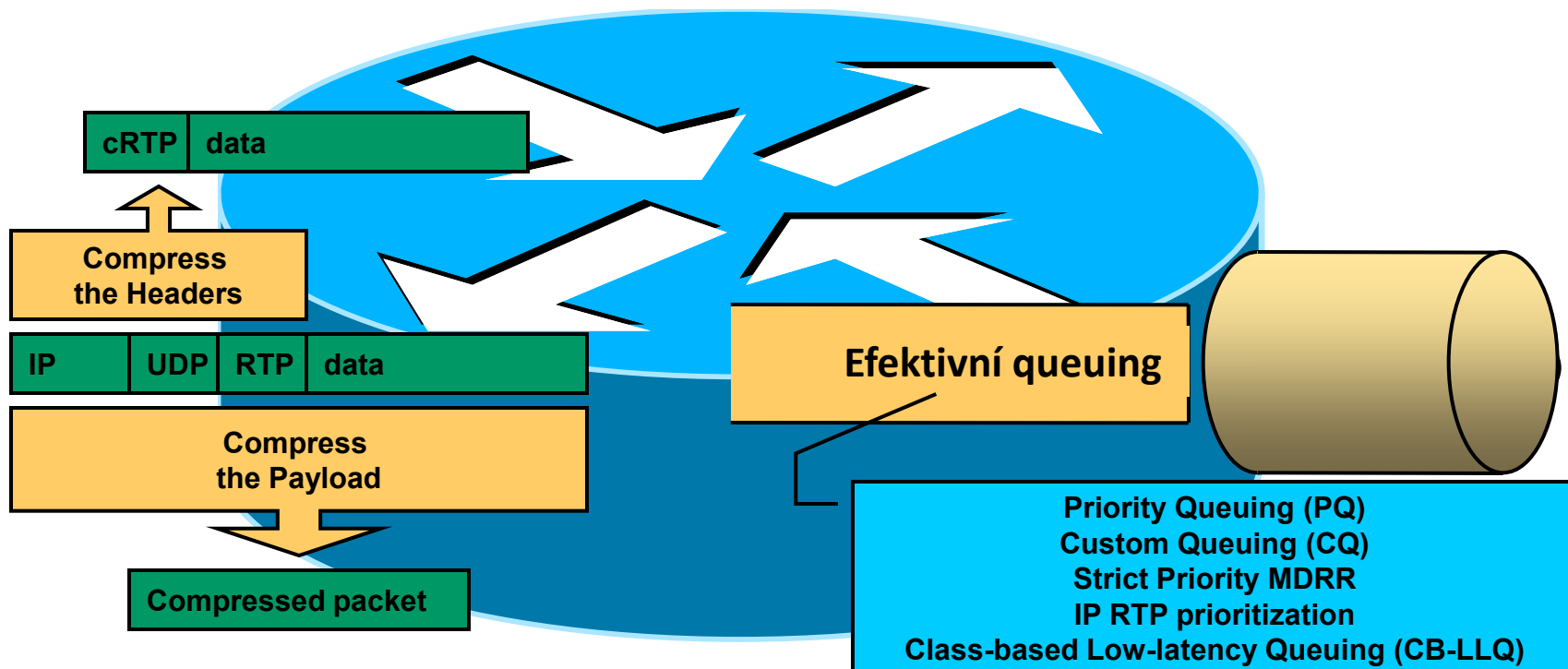
Jak redukovat zpoždění?



– Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!..

- Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !
- Kompresi l2 rámců (to ale vezme čas).
- Kompresi hlaviček L3 vrstvy !

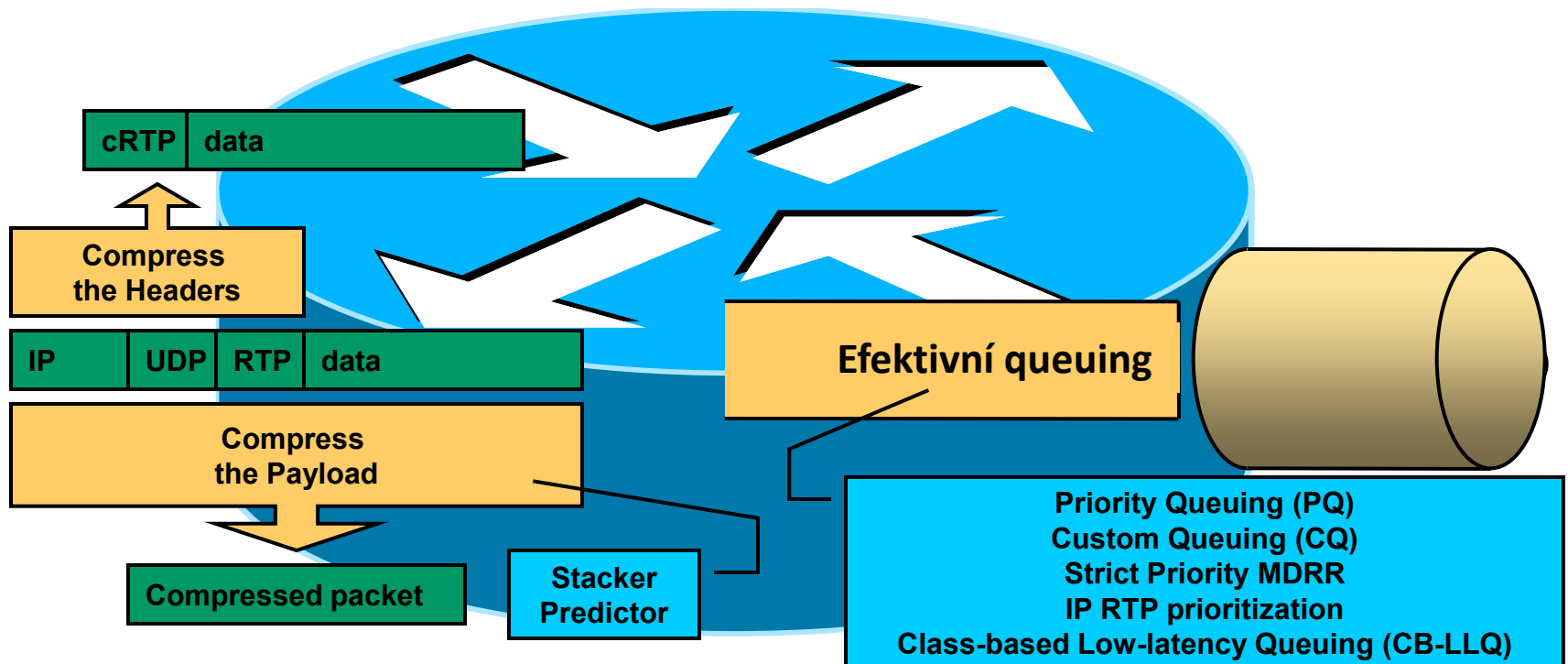
Jak redukovat zpoždění-nástroje?



– Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!...

- Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !
- Kompresi l2 rámců (to ale vezme čas).
- Kompresi hlaviček L3 vrstvy !

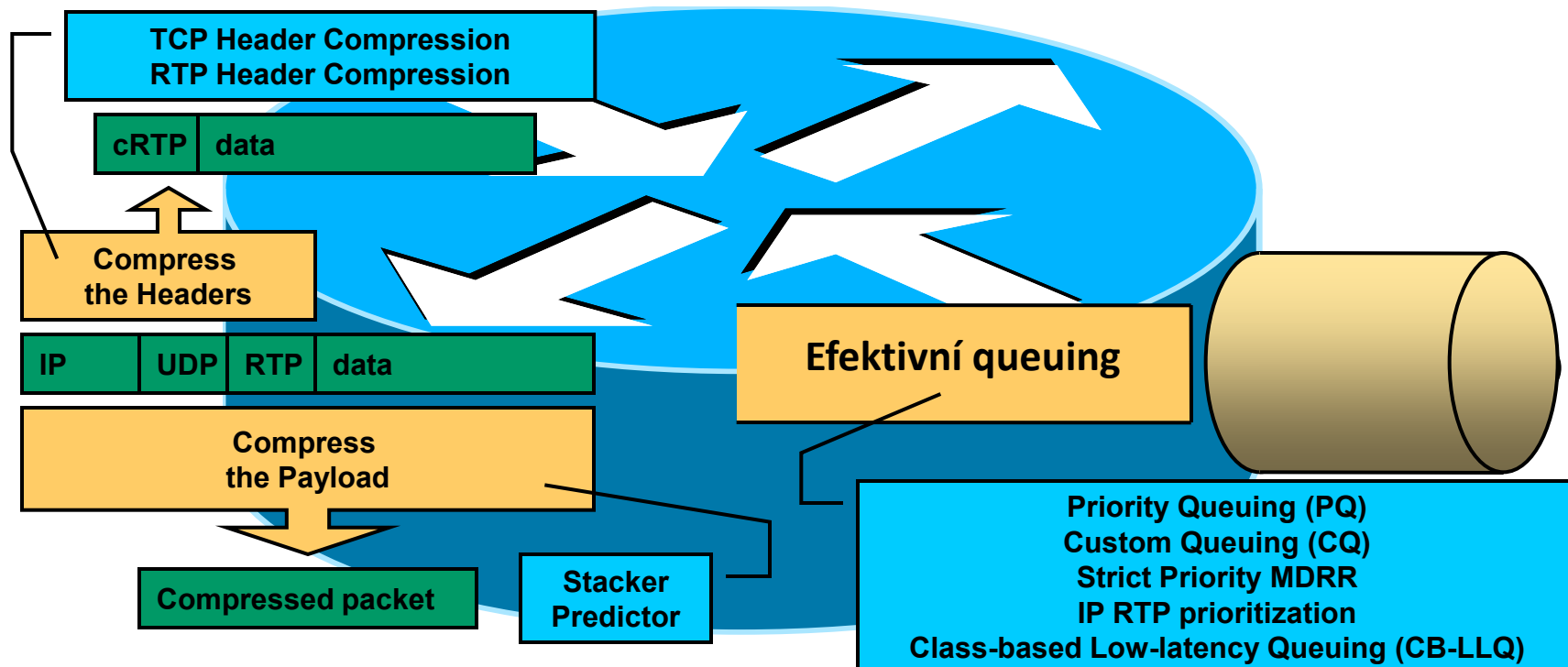
Jak redukovat zpoždění - nástroje?



– Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!..

- Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !
- Kompresí l2 rámců (to ale vezme čas).
- Kompresí hlaviček L3 vrstvy !

Jak redukovat zpoždění - nástroje?



– Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!..

- Forwarding „zajímavých“ paketů jako prvních !
- Kompresí l2 rámců (to ale vezme čas).
- Kompresí hlaviček L3 vrstvy !

QoS: Popis BW, Delay, Jitter a Loss

- Bandwidth
- Delay
- Jitter
- Loss

Jitter - problematika

- **Jitter** – je definován jako kolísání v „běžném“ zpoždění (delay) při průchodu přes síť od „zkušnostního“ chování sítě. Toto chování nemusí mít vliv na datově orientované aplikace ale může mít vliv na kvalitu digitalizovaného hlasu .
- Např. hlasové pakety jsou očekávány každých 20 ms (isochronous traffic). Pokud dojde následující paket přijde za 30 ms pak 10 ms je jitter.
- Nástroje pro ošetření Jitteru jsou shodné s Delay

QoS: Popis BW, Delay, Jitter a Loss

- Bandwidth
- Delay
- Jitter
- Loss

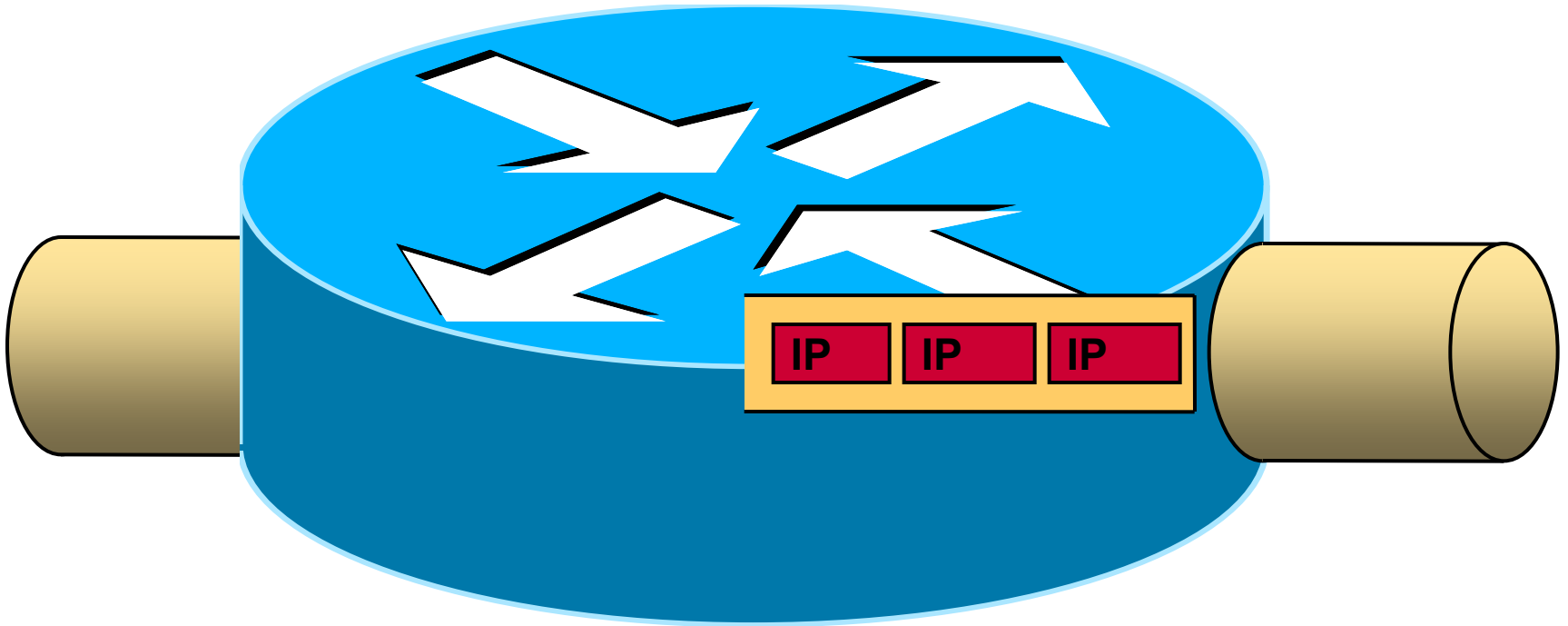
Loss - problematika

- **Packet loss** - běžně nastává když výstupní fronta je plná . Např. když PC pošle 50 paketů v posloupnosti za sebou o velikosti 1500 bytů a router R1 má k dispozici pouze hloubku fronty na 40 paketů
- Dalším běžný problém je když linka je z nějakého důvodu zahlcena
- Někdy je to důvod ke změně nastavení bufferů nebo upgrade hardware (input drop, ignore, overrun, no buffer, ...).

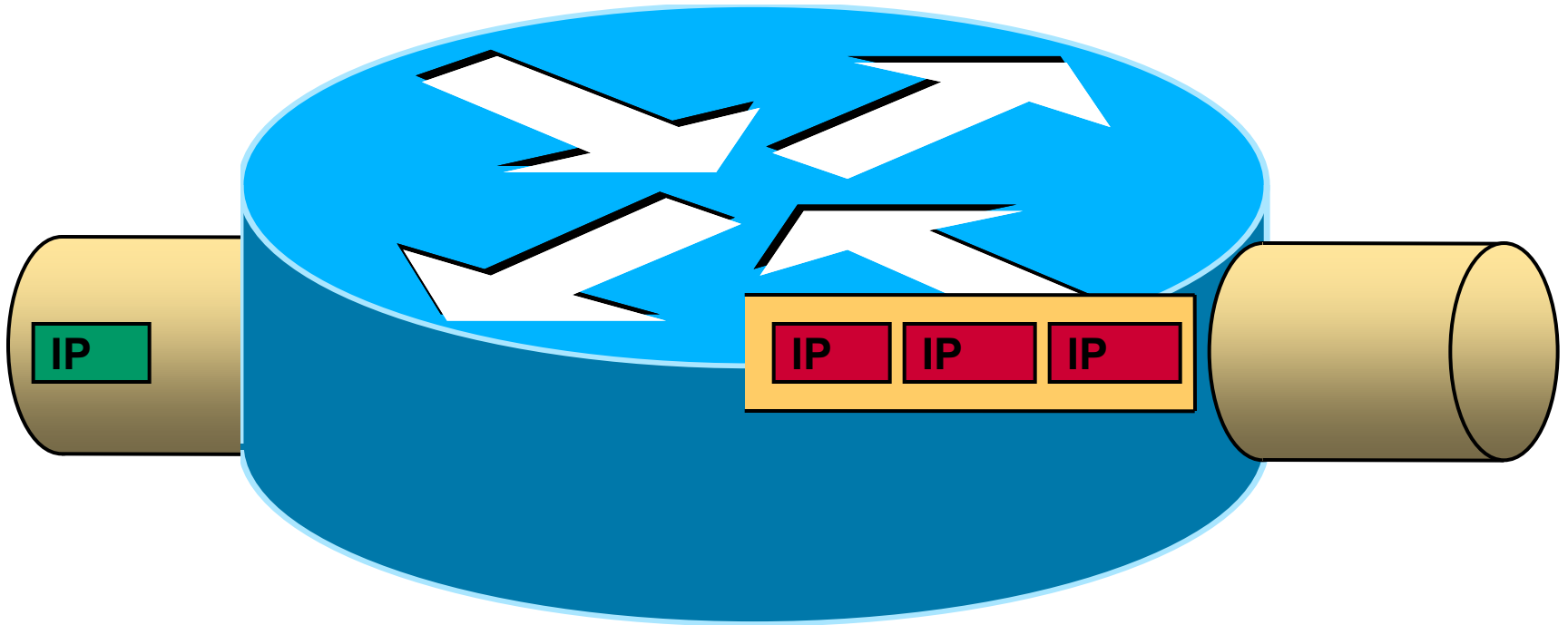
Loss - problematika

- Pro VoIP: lidské ucho detekuje už ztrátu 10ms v hlasu, posluchač může rozumět i při malé ztrátě paketů. CISCO DSP předpokládá ztrátu voice paketů do 30ms např.v G.729 kodeku. Defaultně každý voice packet obsahuje 20ms hlasu. Pokud 2 po sobě jdoucí pakety jsou ztraceny nemůže DSP znovu obnovit hlas a posluchač to může vnímat jako ticho.
- Datové spoje: u TCP je použita obnova požadavků na zaslání dat

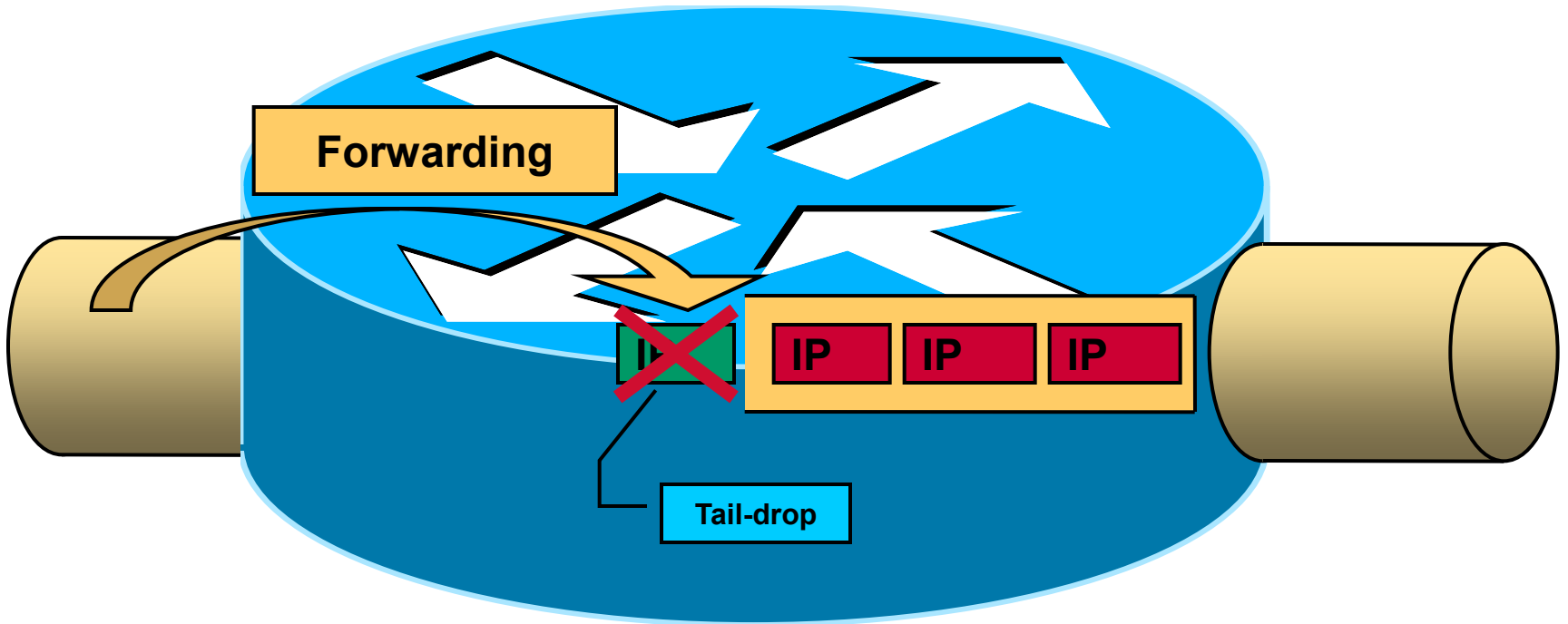
Packet Loss



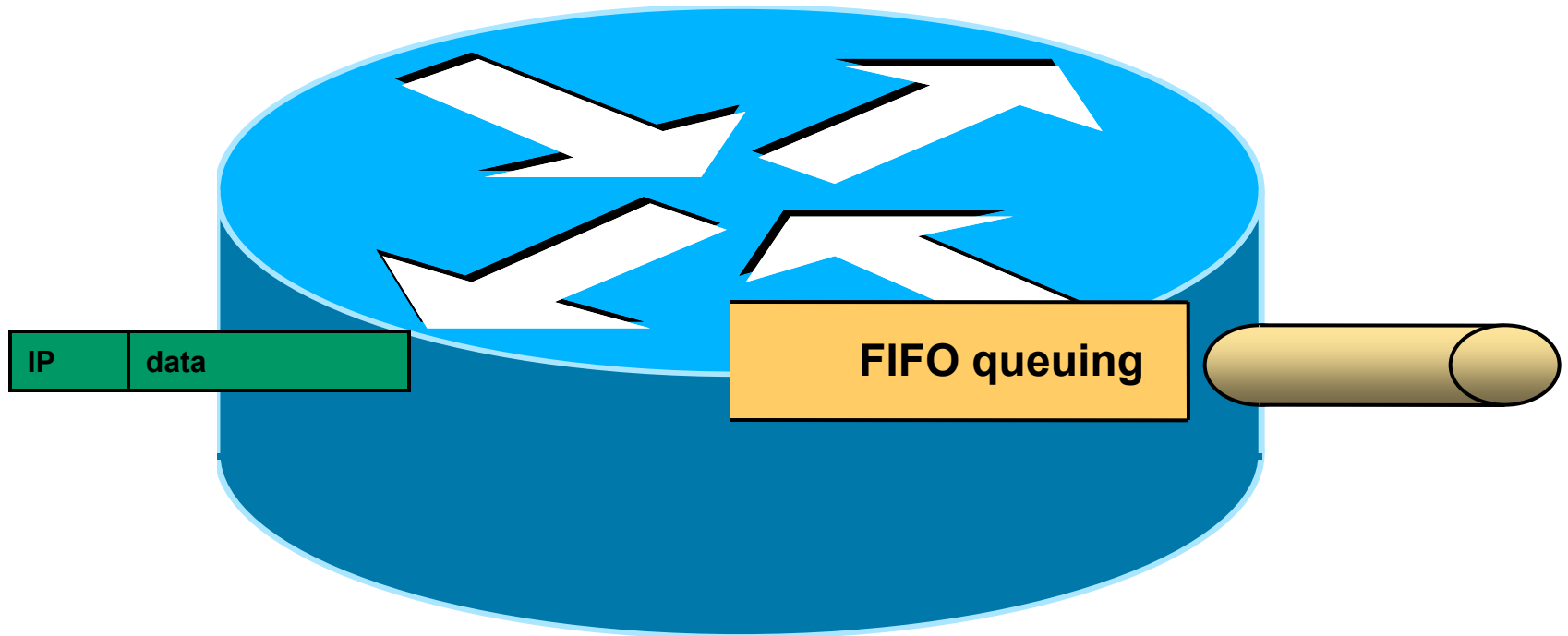
Packet Loss



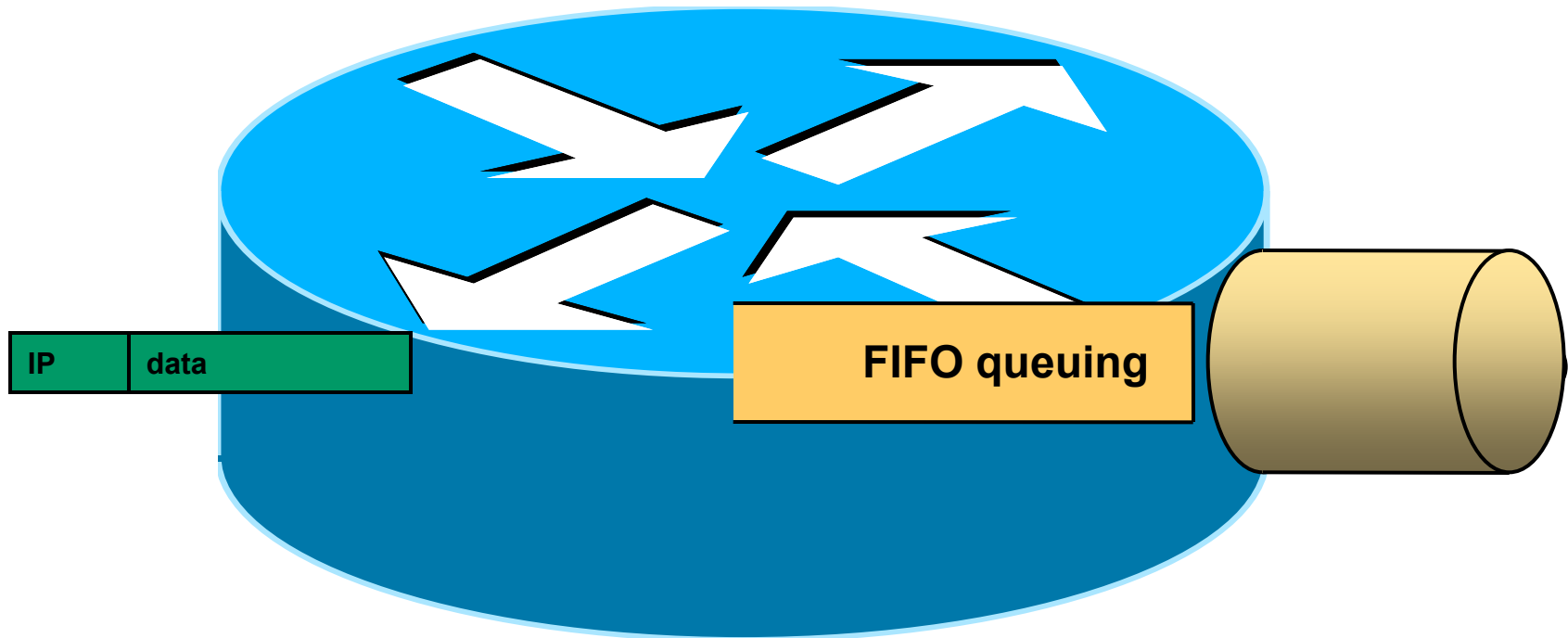
Packet Loss



Jak předcházet ztrátě paketů?

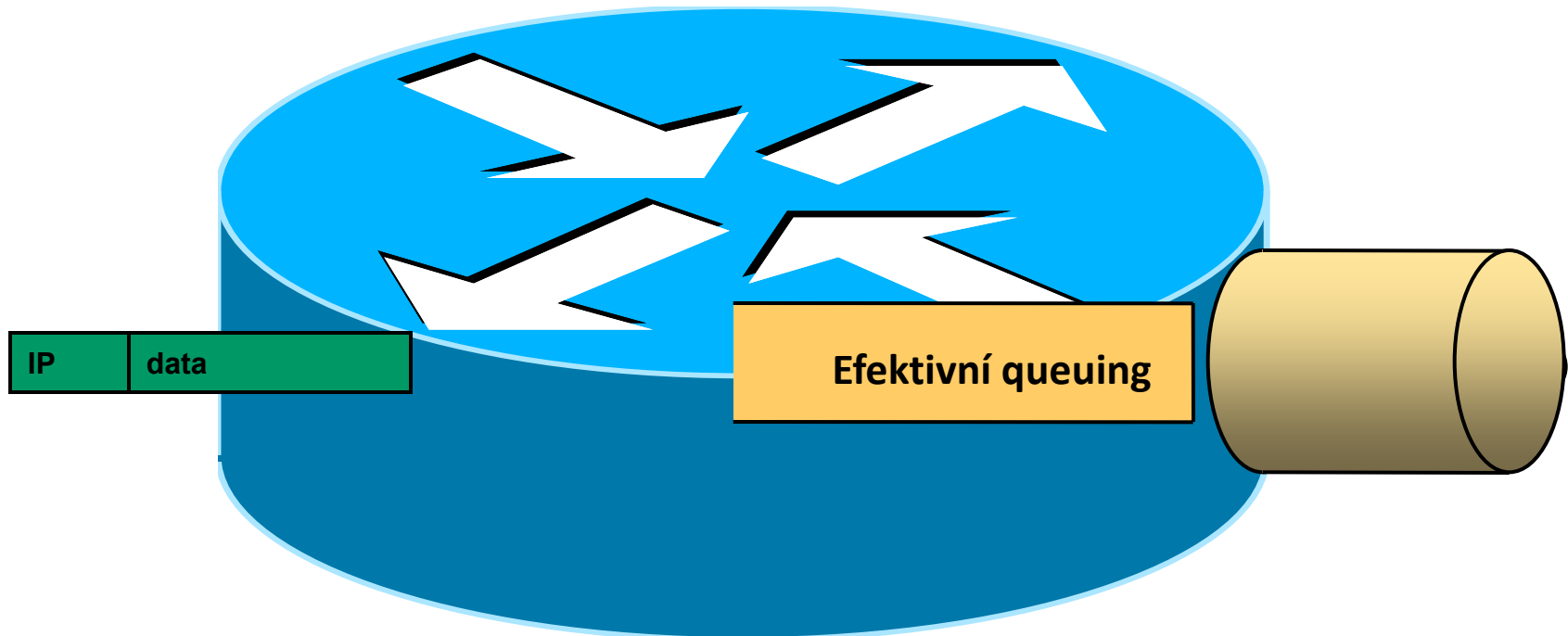


Jak předcházet ztrátě paketů?



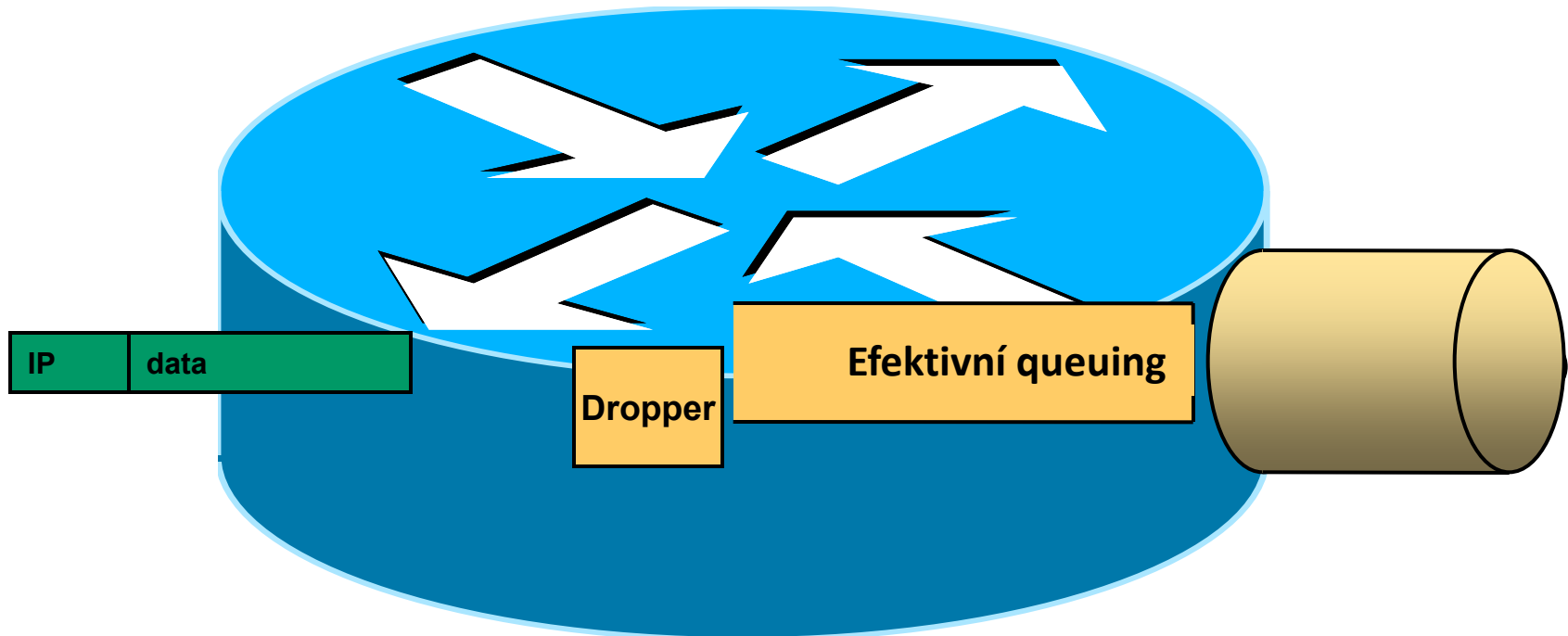
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!

Jak předcházet ztrátě paketů?



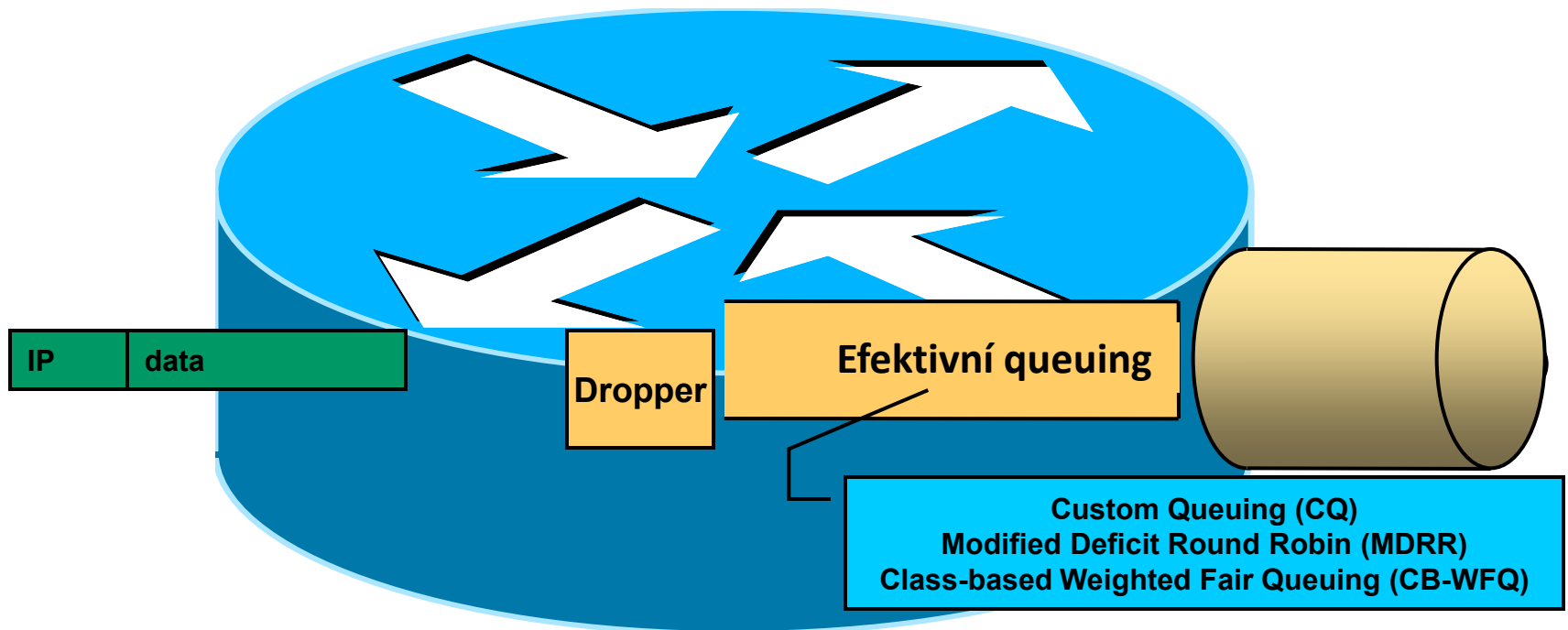
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!!.
- **Garantování potřebného pásma pro aplikace „citlivé“ na ztrátu paketů!**

Jak předcházet ztrátě paketů?



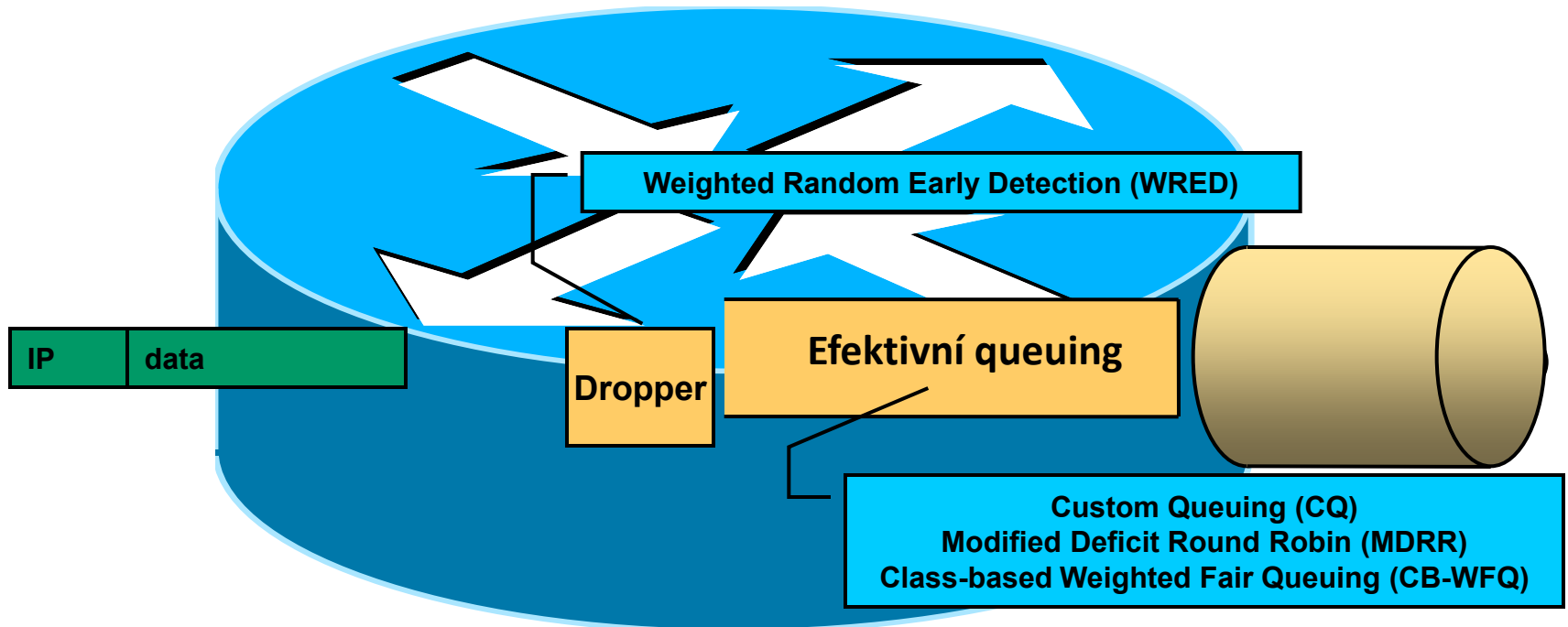
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!!.
- **Garantování potřebného pásma pro aplikace „citlivé“ na ztrátu paketů!**
- **Preventivním zahazováním paketů aplikací které jsou na to méně citlivé a tak zajistit ochranu proti zahlcení !**

Jak předcházet ztrátě paketů- nástroje?



- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!
- **Garantování potřebného pásma pro aplikace „citlivé“ na ztrátu paketů!**
- **Preventivním zahazováním paketů aplikací které jsou na to méně citlivé a tak zajistit ochranu proti zahlcení !**

Jak předcházet ztrátě paketů- nástroje?



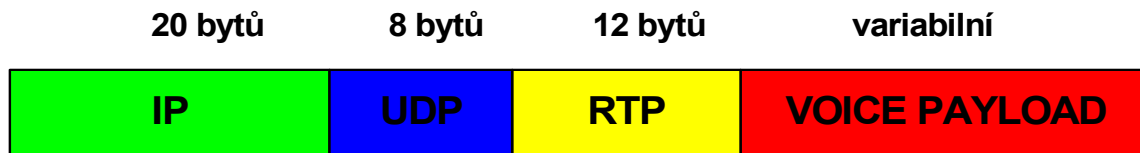
- Zvýšení kapacity linky . Dobré řešení ale drahé !!!!!.
- **Garantování potřebného pásma pro aplikace „citlivé“ na ztrátu paketů!**
- **Preventivním zahazováním paketů aplikací které jsou na to méně citlivé a tak zajistit ochranu proti zahlcení !**

Charakteristika voice přenosů

- **Voice traffic – VoIP, VoFR, VoATM**

- Začíná signalizací (TCP)

- Následuje RTP stream (UDP na portech 16384-32767)



- **Voice payload - G.711 má 160 bytů, G.729 má 20 bytů (CISCO defaultně generuje každých 20ms vzorek digitálně zpracovaného hlasu)**

Charakteristika voice přenosů

- **Voice bandwidth** – závisí na několika faktorech
 - Na **kodeku** – G.711 (64Kbit/s) ,G.729 (8Kbit/s)
 - Na **packet overhead** – IP/UDP/RTP
 - Na **data-link framing** – závisí jaká L2 je použita (PPP,HDLC,ATM,FR,IEEE 802.2)
 - Na **compression** – VAD, L2 a L3 kompresi (payload L2 a hlavičky L3)

Charakteristika voice přenosů

Požadavky na přenosové pásmo základních kodeků včetně L2 header

CODEC	Header Type and Size						
	Ethernet 14 Bytes	PPP 6 Bytes	ATM 53-Byte Cells with a 48-Byte Payload	Frame Relay 4 Bytes	MLPPP 10 Bytes	MPLS 4 Bytes	WLAN 24 Bytes
G.711 at 50.0 pps	85.6 kbps	82.4 kbps	106.0 kbps	81.6 kbps	84.0 kbps	81.6 kbps	89.6 kbps
G.711 (SRTP) at 50.0 pps	87.2 kbps	84.0 kbps	106.0 kbps	83.2 kbps	85.6 kbps	83.2 kbps	N/A
G.711 at 33.3 pps	78.4 kbps	76.3 kbps	84.8 kbps	75.7 kbps	77.3 kbps	75.7 kbps	81.1 kbps
G.711 (SRTP) at 33.3 pps	79.5 kbps	77.4 kbps	84.8 kbps	76.8 kbps	78.4 kbps	76.8 kbps	N/A
G.729A at 50.0 pps	29.6 kbps	26.4 kbps	42.4 kbps	25.6 kbps	28.0 kbps	25.6 kbps	33.6 kbps
G.729A (SRTP) at 50.0 pps	31.2 kbps	28.0 kbps	42.4 kbps	27.2 kbps	29.6 kbps	27.2 kbps	N/A
G.729A at 33.3 pps	22.4 kbps	20.3 kbps	28.3 kbps	19.7 kbps	21.3 kbps	19.7 kbps	25.1 kbps
G729A (SRTP) at 33.3 pps	23.5 kbps	21.4 kbps	28.3 kbps	20.8 kbps	22.4 kbps	20.8 kbps	N/A

Charakteristika voice přenosů

•Voice delay

- Konstantní zpoždění není problém pokud je podle ITU G.114 mezi 0-150ms (myslí se jedním směrem), CISCO doporučuje 0-200ms, ITU G.114 považuje zpoždění 150-400 jako možné ale jde o degradovanou službu
- Zpoždění nad 400 ms je dle ITU G.114 neakceptovatelné

Charakteristika voice přenosů

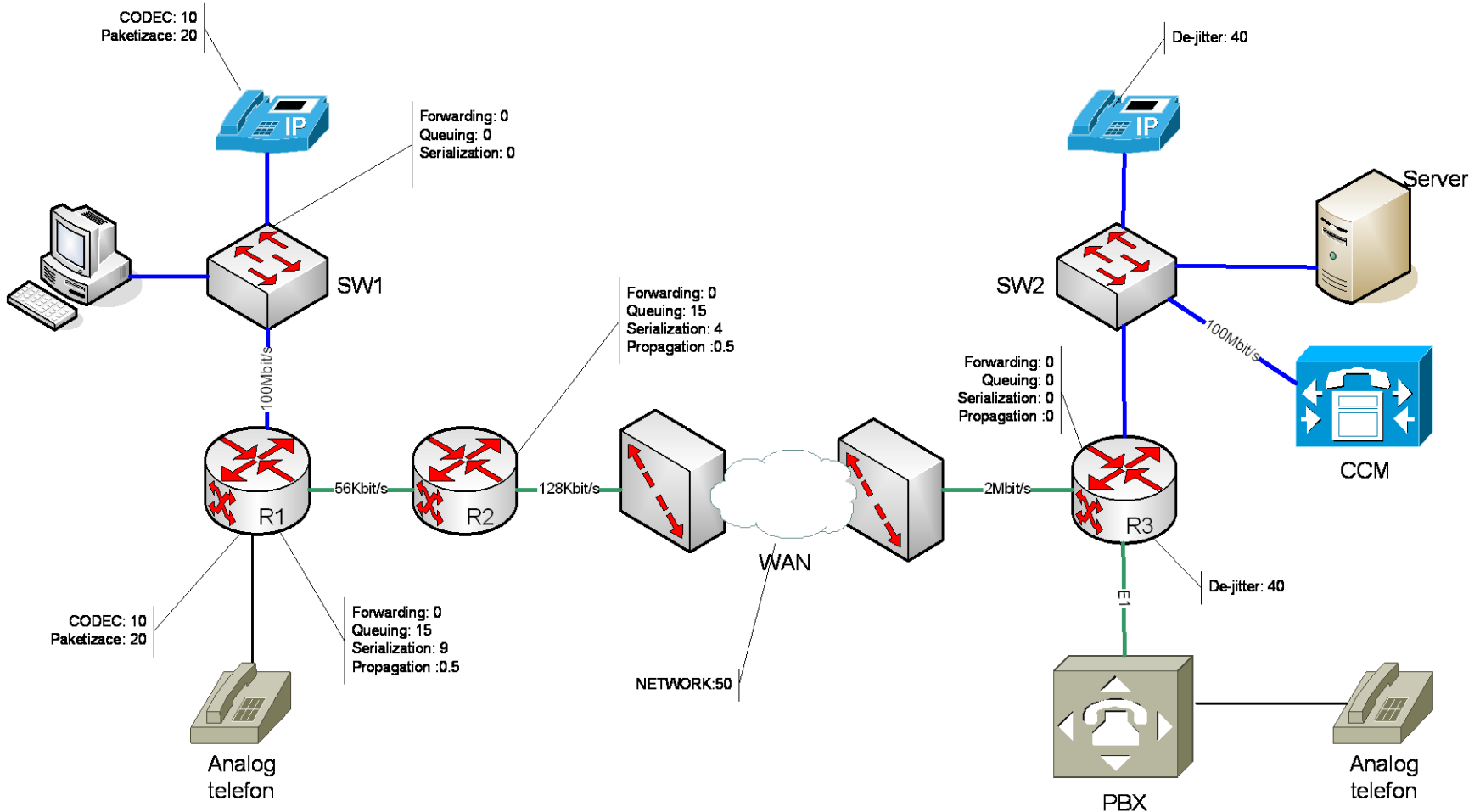
- Mimo dříve popsaného fixního a variabilního zpoždění (popsané dříve) má voice delay ještě dalších specifické komponenty:
 - **Packetization delay** – IP telefon nebo Gateway musí shromáždit defaultně 20ms hovoru a pak může vytvořit příslušný voice payload.
 - **Codec delay** - je čas kdy proces konvertuje analogový signál do jeho digitálního ekvivalentu. Pro příklad G.729 zpracovává najednou vždy 10ms analogového hlasu.
 - Look-ahead – zpoždění při prediktivním kodeku – typicky 5 ms

Charakteristika voice přenosů

- Obě zpoždění se částečně překrývají. Dohromady vezmou kolem 30 ms
 - **De-jitter Buffer Delay(jitter buffer)** – nastává v síťové infrastruktuře .
 - Dokáže adaptovat hlasový provoz jako kontinuální v případě, že nastane v síti jitter.
 - Je možné jej nastavovat staticky nebo dynamicky.
 - Typicky je to v CISCO 40ms (2 x 20ms voice payload)

Charakteristika voice přenosů

Celkové zpoždění pro voice paket jdoucí z leva do prava:
Total delay= 164 ms



Jak implementovat QoS?

- **Best effort** – no QoS is applied to packets (default behavior)
- **Integrated Services** model – applications signal to the network that they require special QoS
- **Differentiated Services** model – the network recognizes classes that requires special QoS

Otázky ?

Děkuji za pozornost .

Integrated Services Model

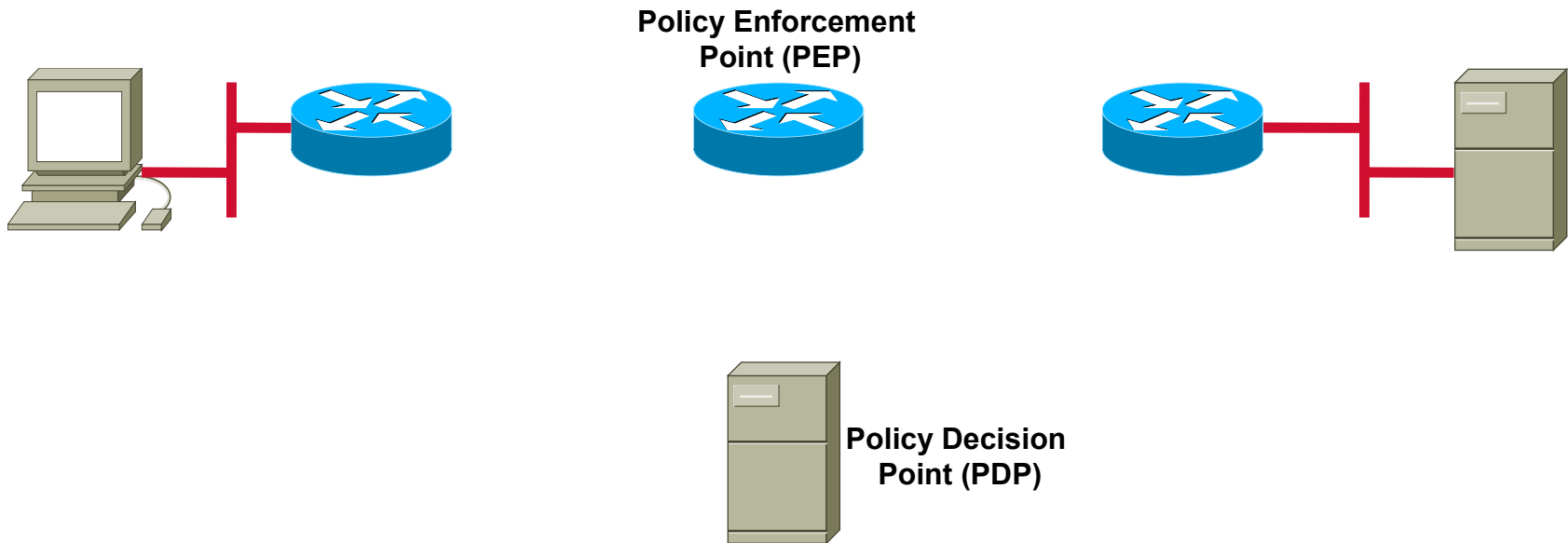
Integrated Services

- The Internet was initially based on a **best-effort** packet delivery service
- Today's Internet carries many more different applications than 20 years ago
- Some applications have special bandwidth and/or delay requirements
- The **Integrated Services** model (RFC1633) was introduced to guarantee a predictable behavior of the network for these applications
- QoS End-to-End
- Pro zajištění přenosu je používán CAC

Integrated Services

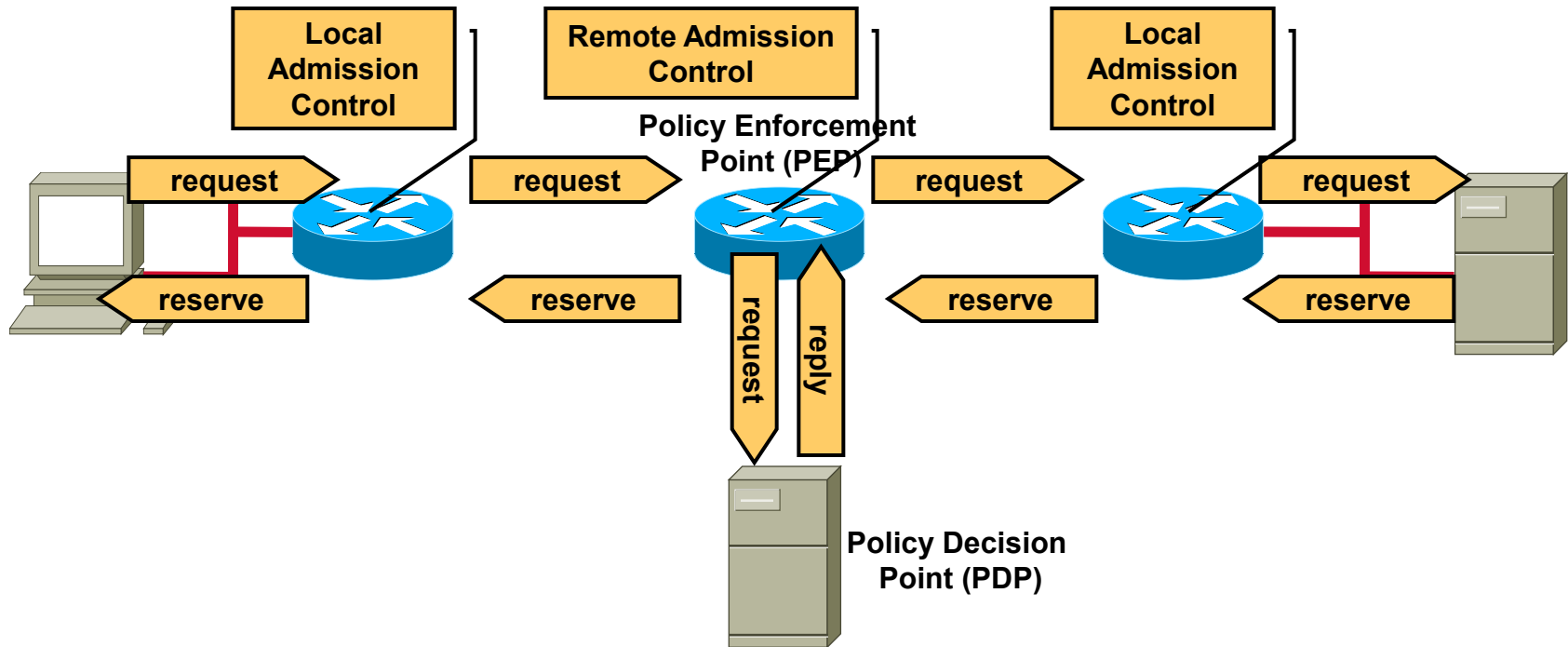
- explicitní rezervace zdrojů sítě (kapacity linek, paměti ve frontách, CPU přepínacích prvků) pro jednotlivé datové toky
- malá škálovatelnost (problém velkého množství toků procházejících páteřními směrovači)
- **Resource Reservation Protocol (RSVP)**
 - základem datový tok, rezervace na celé cestě
 - signalizace mezi příjemcem a aktivními prvky (a aktivními prvky navzájem) proti směru toku
 - distinct a shared reservation
- nutná podpora na koncových stanicích
- přirozené pro spojově orientované sítě (např. ATM), ne paketově orientované

IntServ Building Blocks



- **Resource Reservation** is used to identify an application (flow) and signal if there are enough available resources for it
- **Admission Control** is used to determine if the application (flow) can get the requested resources

IntServ Building Blocks

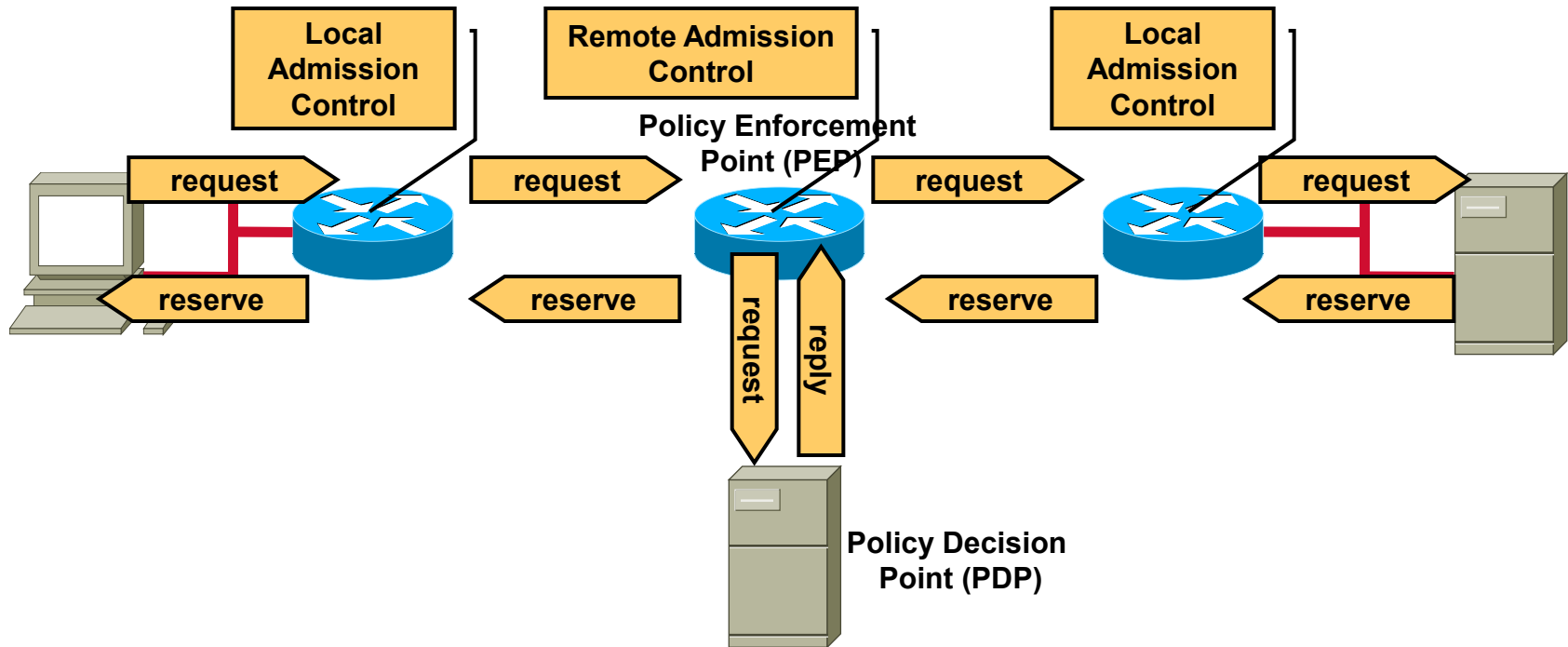


- **Resource Reservation** is used to identify an application (flow) and signal if there are enough available resources for it
- **Admission Control** is used to determine if the application (flow) can get the requested resources

Reservation and Admission Protocols

- The resource **ReSerVation Protocol (RSVP)** was developed to communicate resource needs between hosts and network devices (RFC 2205-2215)
- **Common Open Policy Service (COPS)** was developed to offload admission control to a central policy server (RFC 2748-2753)

IntServ Building Blocks

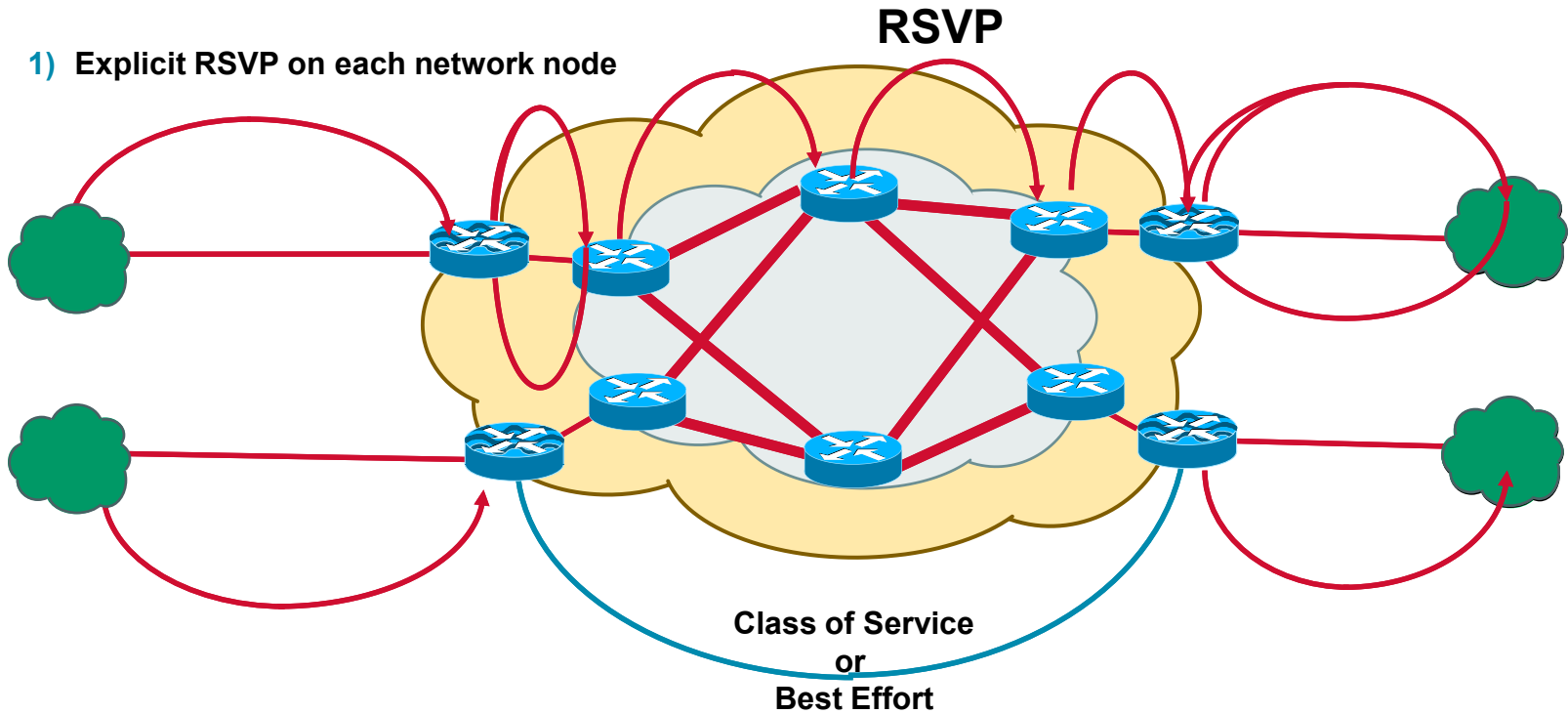


- **Resource Reservation** is used to identify an application (flow) and signal if there are enough available resources for it
- **Admission Control** is used to determine if the application (flow) can get the requested resources

RSVP-enabled Applications

- RSVP is typically used by applications carrying voice or video over IP networks (initiated by a host)
- RSVP with extensions is also used by MPLS Traffic Engineering to establish MPLS/TE tunnels (initiated by a router)
- Často se používá integrace IntServ a DiffServ

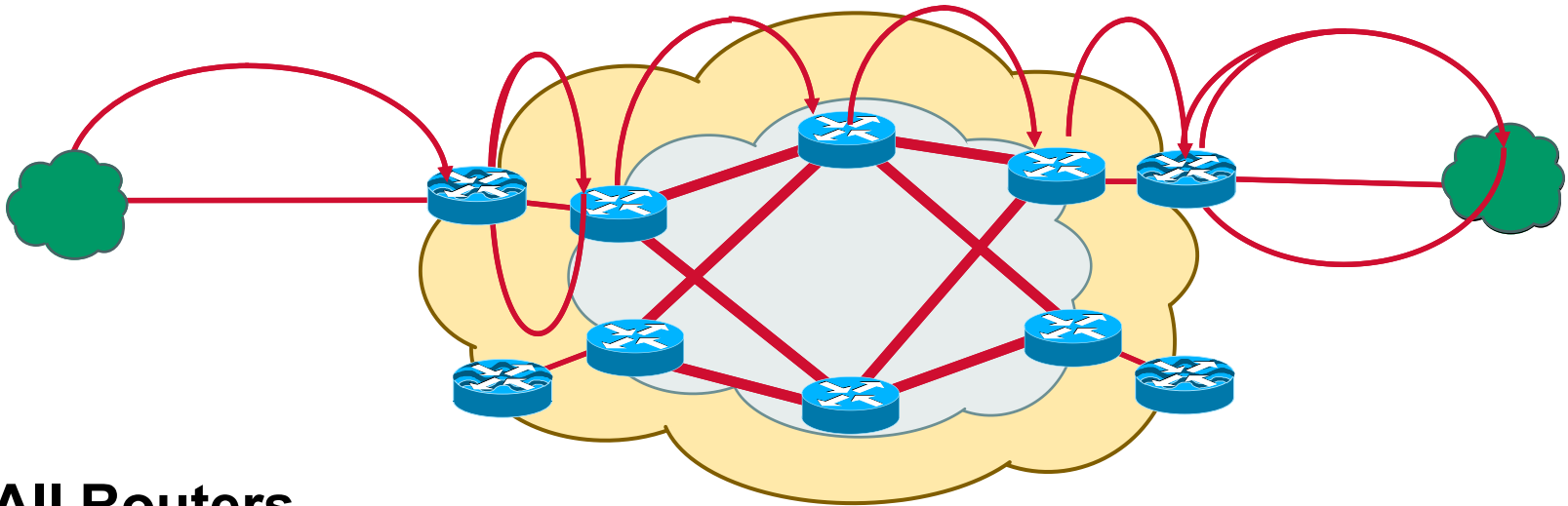
IntServ Implementation Options



- 2) RSVP 'pass-through' and CoS transport**
- map RSVP to CoS at network edge
 - pass-through RSVP request to egress
- 3) RSVP at network edges and 'pass-through' with**
- best-effort forwarding in the core (if there is enough bandwidth in the core)

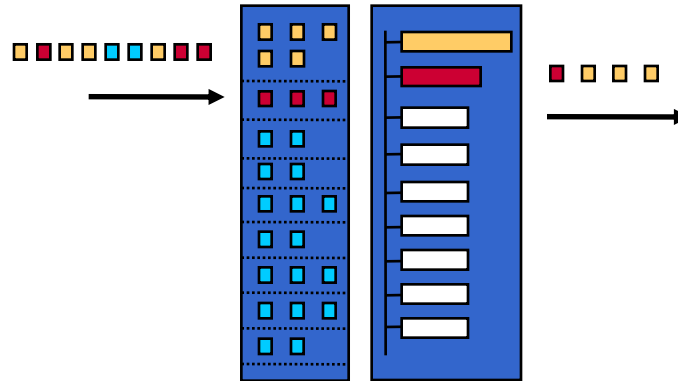
Explicit RSVP Transport IntServ End-to-End

RSVP

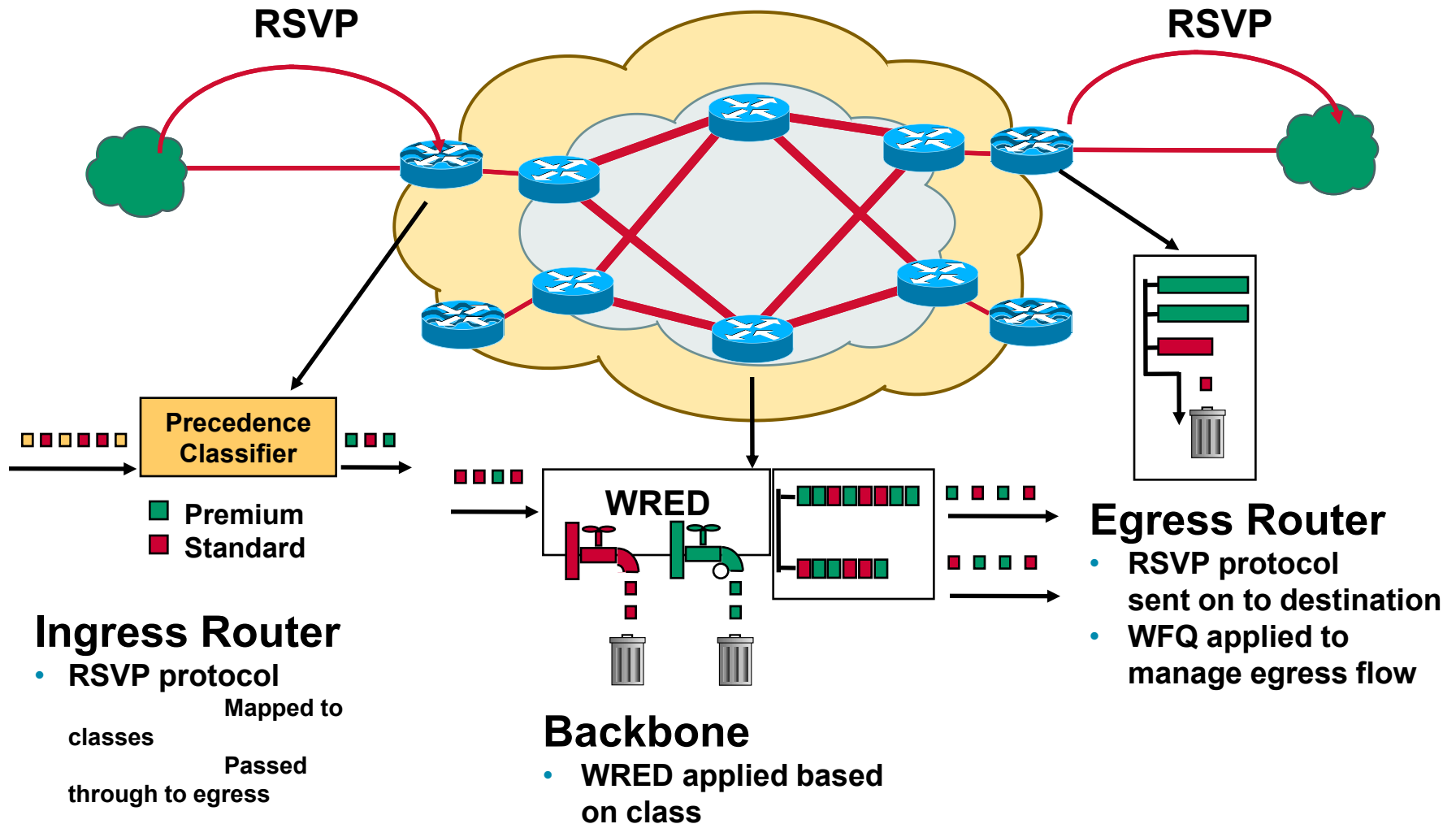


All Routers

- WFQ applied per flow based on RSVP requests



RSVP Pass-Through IntServ - DiffServ Integration



IntServ Support in IOS

- RSVP and Weighted Fair Queuing supported since '95
- RSVP signaling for VoIP calls supported on all VoIP platforms
- IOS supports hop-by-hop and pass-through RSVP
- RSVP-to-DSCP (DiffServ Code Point) mapping (RSVP proxy) in 12.1T

Benefits and Drawbacks of the IntServ Model

+ RSVP benefits:

- Explicit resource admission control (end to end)
- Per-request policy admission control (authorization object, policy object)
- Signaling of dynamic port numbers (for example, H.323)

– RSVP drawbacks:

- Continuous signaling due to stateless architecture
- Not scalable

IntServ Model -příklad

- Konfigurace v CISCO :

- Router(config-if)# ip rsvp bandwidth [*interface-kbps*] [*single-flow-kbps*]
 - *interface-kbps* (nepovinné) šířka pásma (v kbps) která bude na rozhraní maximálně rezervována přes RSVP. Rozsah je od 1 do 10,000,000.
 - *single-flow-kbps* (nepovinné) šířka pásma (v kbps) alokovatelná pro jeden tok. Rozsah je od 1 do 10,000,000.
 - Je závislý na parametru Bandwith na interface
 - Default hodnota je 75% bandwith

Common Open Policy Service

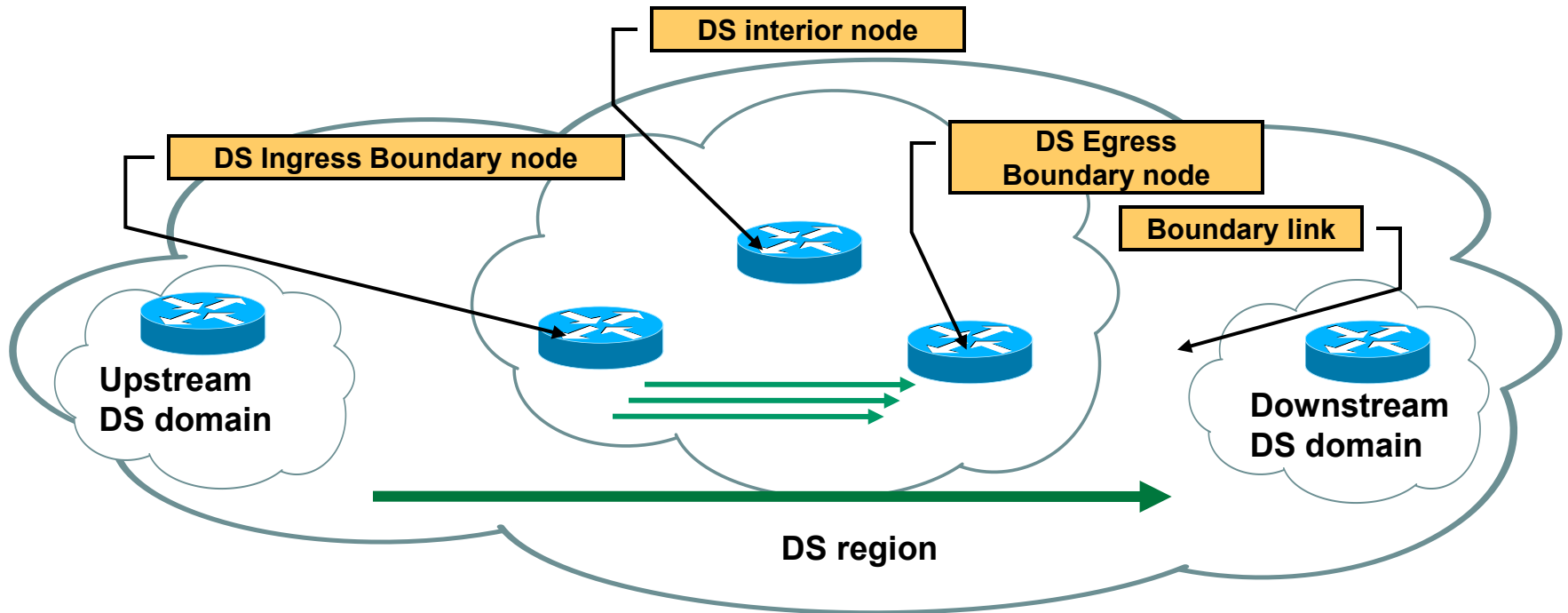
- **Common Open Policy Service (COPS)** provides the following benefits when used with RSVP(umožňuje definovat vstup a cílový trafic):
 - Centralized management of services
 - Centralized admission control and authorization of RSVP flows
- RSVP-based QoS solutions become more scalable

Differentiated Services Model

Differentiated Services Model

- Differentiated Services model describes services associated with traffic classes
- Complex traffic classification and conditioning is performed at network edge resulting in a per-packet Differentiated Services Code Point (DSCP).
- No per-flow/per-application state in the core
- Core only performs simple 'per-hop behavior's' on traffic aggregates
- Goal is Scalability

Topological Terminology



→ Traffic Stream = set of flows

→ Behaviour Aggregate (flows with the same DSCP)

Differentiated Services Model

- Klasifikace provozu do tříd, označování paketů podle třídy
- Definice Per-Hop Behavior (PHB) přepínacích prvků (směrovačů, přepínačů) pro každou třídu
- Počet tříd omezen - dobrá škálovatelnost
- Pouze upřednostnění některých dat (statistická preference), nikoli garance doručení do předvídatelné doby

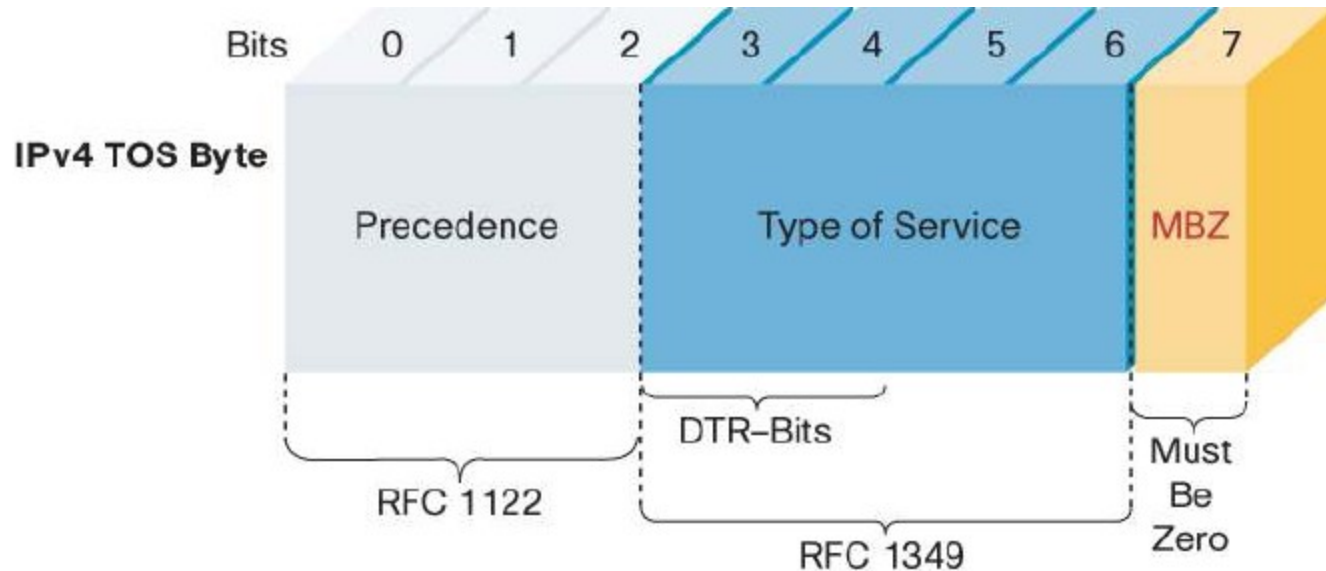
Differentiated Services Model

Klasifikace provozu:

- Klasifikace provozu se děje obvykle na hranicích sítě nebo jejich částí.
- 2. vrstva: 802.1pq (3 bity Class of Service (CoS))
- 3. vrstva: v hlavičce IP paketu 8-bitové pole
 - původně Type of Service (ToS), 8 tříd IP Precedence
 - Nyní předefinované na DSCP (Differentiated Service Code Point)
- mapování mezi CoS (L2) a ToS/DSCP (L3) na routerech

Differentiated Services Model

Original IPv4 ToS byte



Bits (0–2): IP-Precedence Defined

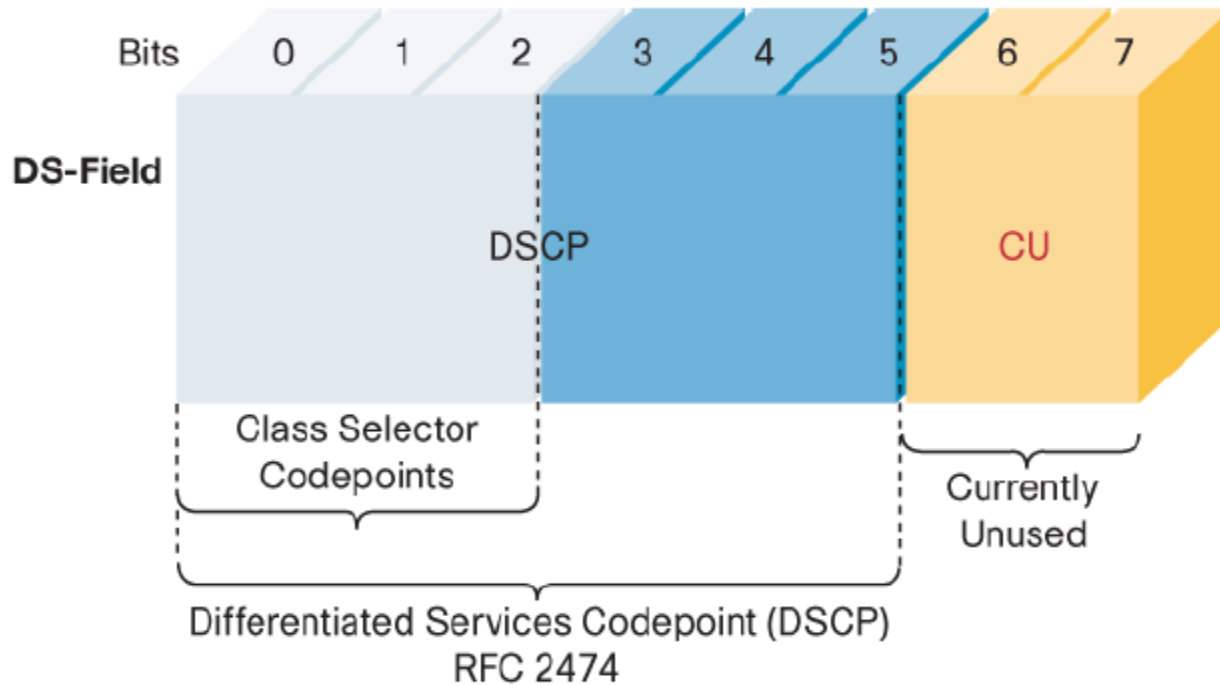
- 111 – Network Control
- 110 – Internetwork Control
- 101 – CRITIC/ECP
- 100 – Flash Override
- 011 – Flash
- 101 – Immediate
- 001 – Priority
- 000 – Routine

Bits (3–6): The Type of Service Defined

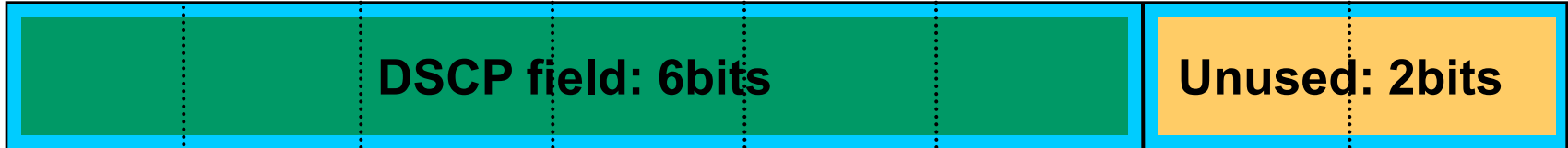
- 0000 – [all normal]
- 1000 – [minimize delay]
- 0100 – [maximize throughput]
- 0010 – [maximize reliability]
- 0001 – [minimize monetary cost]

Differentiated Services Model

DiffSrv Codepoint Field



Packet Header Terminology



Former ToS byte = new DS field

- **DS code point**: a specific value of the DSCP portion of the DS field, used to select a PHB (Per-Hop Behavior; forwarding and queuing method)
- **DS field**: the IPv4 header ToS octet or the IPv6 Traffic Class octet when interpreted in conformance with the definition given in [RFC2474](#). The bits of the DSCP field encode the DS code point, while the remaining bits are currently unused.

Differentiated Services Model

Třídy zpracování paketů ve směrovačích u DiffServ (**Per-Hop Behavior**) :

- **Expedited Forwarding (RFC 2598)**: "virtuální pevná linka", služba konec-konec s malými ztrátami, malým, ale proměnným zpožděním a garantovanou šířkou pásma.

- **Assured Forwarding (RFC 2597)**: 4 třídy (označovány Class Selectorem, 1-4), v každé z nich 3 drop preference (low=1,medium=2,high=3).

Označování: AF_{xy}, x-class selector, y-drop preference. x,y zakódováno v DSCP.

- **Best Effort**

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- aplikují se při zahlcení sítě, jinak představují zbytečnou režii
- cílem je garantovat minimální šířku pásma, maximální zpoždění a minimální jitter

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- **Klasifikace a značkování**
- Řešení zahltění (Congestion Management)
- Předcházení zahltění (Congestion Avoidance)
- Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)
- Fragmentace a interleaving

Klasifikace a značkování

Klasifikace a značkování vstupního provozu

- klasifikace podle informace z L3-L7 (protokolu, IP adres, portů, URL, MIME typu, ...), podle vstupního interface
- klasifikace odesílatelem nebo sítí (NBAR: Network- Based Application Recognition)
- páteřní přepínací prvky klasifikaci provedené na hranici sítě důvěřují

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- Klasifikace a značkování
- Řešení zahltění (Congestion Management)
- Předcházení zahltění (Congestion Avoidance)
- Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)
- Fragmentace a interleaving

Řešení zahltění (Congestion Management)

- Přiřazení tříd provozů do front (explicitní přiřazení + default fronta) a různé režimy obsluhy front (výběru dalšího paketu pro odesílání na výstupní linku).
- Cílem rozbíjení shluků paketů (packet trains).

Řešení zahltění (Congestion Management)

Základní režimy obsluhy front:

- FIFO
- Priority Queuing (PQ) - absolutní priority (výběr z prioritnější fronty, dokud není prázdná)
- Custom Queuing (CQ) - proporcionální cyklické přidělování kapacity každé třídě provozu (round robin)

Řešení zahltění (Congestion Management)

Základní režimy obsluhy front (pokr.):

- Weighted Fair Queuing (WFQ) - automatické třídění do toků a cyklická obsluha každého toku, preference interaktivního provozu, zohlednění IP precedence.
- Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ) - rozdělování do uživatelem definovaných tříd, nad nimi pak WFQ
- Low-Latency Queuing (LLQ) - WFQ + fronta s absolutní prioritou, střídání mezi cyklem WFQ a prioritní frontou

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- Klasifikace a značkování
- Řešení zahltění (Congestion Management)
- **Předcházení zahltění (Congestion Avoidance)**
- Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)
- Fragmentace a interleaving

Předcházení zahlcení (Congestion Avoidance)

- Standardní technika při přeplnění front: **tail drop**.
- Problém **globální synchronizace** v TCP
- Řešení :
 - RED - Random Early Discard
 - WRED - Weighted RED
 - RED slouží pouze pro TCP (!)
 -

Předcházení zahlcení (Congestion Avoidance)

- WRED - Weighted Random Early Discard
 - při zaplnění fronty nad určitou hranici se začínou pakety se vzrůstající pravděpodobností zahazovat
 - slow start všech spojení nenastane při tail drop, u některých spojení dříve od RED
 - weighted RED - přednostně se zahazují pakety s nižší prioritou (pravděpodobnost zahození (drop) ovlivňuje nejen míra naplnění fronty, ale i priorita paketu)
 - Konfigurace WRED: pro každou třídu provozu se definuje:
 - minimální délka fronty pro zahájení zahazování
 - maximální přípustná délka fronty (nad ní zahazováno vše)

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- Klasifikace a značkování
- Řešení zahltění (Congestion Management)
- Předcházení zahltění (Congestion Avoidance)
- **Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)**
- Fragmentace a interleaving

Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)

Traffic Shaping

- ochrana před shluky přesahujícími dohodnutou šířku pásma k poskytovateli (Committed Information Rate-CIR)
- důležité pokud fyzická rychlost rozhraní přesahuje CIR některého virtuálního okruhu

Traffic Policing

- podle dohodnutého CIR (příp. EIR)
- leaky-bucket algoritmus

Mechanismy řízení QoS v DiffServ

- Klasifikace a značkování
- Řešení zahltění (Congestion Management)
- Předcházení zahltění (Congestion Avoidance)
- Tvarování provozu (Traffic Shaping a Policing)
- Fragmentace a interleaving

Fragmentace a interleaving

- na pomalých linkách (typ. pod 768 kbps), na nichž je serializační zpoždění významné
- při provozu interaktivních aplikací (aby se jejich pakety dostaly s přijatelným zpožděním a jitterem mezi velmi dlouhé pakety)
- řeší se fragmentací dlouhých paketů

Operátory pro klasifikaci provozu a QoS policy akce

Match Conditions Keyword: Class-Map	Policy Actions Keyword: Policy-Map		
Classification	Pre-Queuing	Queuing and Scheduling	Post-Queuing
Classify Traffic	Immediate Actions	Congestion Management and Avoidance	Link Efficiency Mechanisms
Match one or more attributes (partial list): <ul style="list-style-type: none"> • Access Control List (ACL) • COS • Differentiated Services Code Point (DSCP) • Input-interface • Media Access Control (MAC) address • Packet length • Precedence • Protocol • VLAN 	<ul style="list-style-type: none"> • Mark (set QoS values) • Police • Drop • Count • Estimate bandwidth 	<ul style="list-style-type: none"> • Queue-limit • Random-detect • Bandwidth • Fair-queue • Priority • Shape 	<ul style="list-style-type: none"> • Compress header • Fragment • (link fragmentation and interleaving, Layer 2)

Jak implementovat QoS v CISCO?

Typický příklad pro hlasovou aplikaci (LLQ):

Klasifikace

```
access-list 100 permit udp any any range 16384 32000
```

```
access-list 101 permit tcp any any eq 1720
```

```
access-list 102 permit tcp any any eq 80
```

```
access-list 103 permit tcp any any eq 23
```

```
class-map match-all voip
```

```
    match access-group 100
```

```
class-map match-all voip-control
```

```
    match access-group 101
```

```
class-map match-all data1
```

```
    match access-group 102
```

```
class-map match-all data2
```

```
    match access-group 103
```

Jak implementovat QoS v CISCO?

Typický příklad pro hlasovou aplikaci (pokr.):

Definice police mapy se jménem llq

```
policy-map llq
  class voip
    priority 32
  class voip-control
    bandwidth 8
  class data1
    bandwidth 64
  class data2
    bandwidth 32
  class class-default
    fair-queue !
```

Aktivace na interface s encapsulací HDLC :

```
interface Serial1/0
bandwidth 256
Service-policy output llq
```

Jak implementovat QoS v CISCO?

Aktivace na Multilink interface s PPP, fragmentací a interleave:

```
interface Multilink7
bandwidth 768
ip address 10.10.10.10 255.255.255.0
ip tcp header-compression iphc-format
service-policy output llq
 no cdp enable
ppp multilink
ppp multilink fragment-delay 10
ppp multilink interleave
multilink-group 7 ip rtp header-compression iphc-format
!
interface Serial4/0:0
bandwidth 768
no ip address encapsulation ppp
no fair-queue
ppp multilink multilink-group 7
```

Nejčastější model

