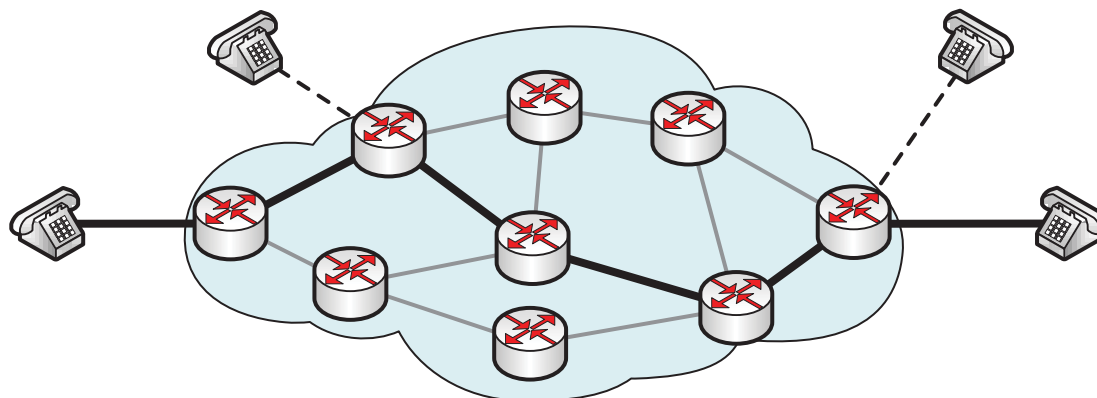


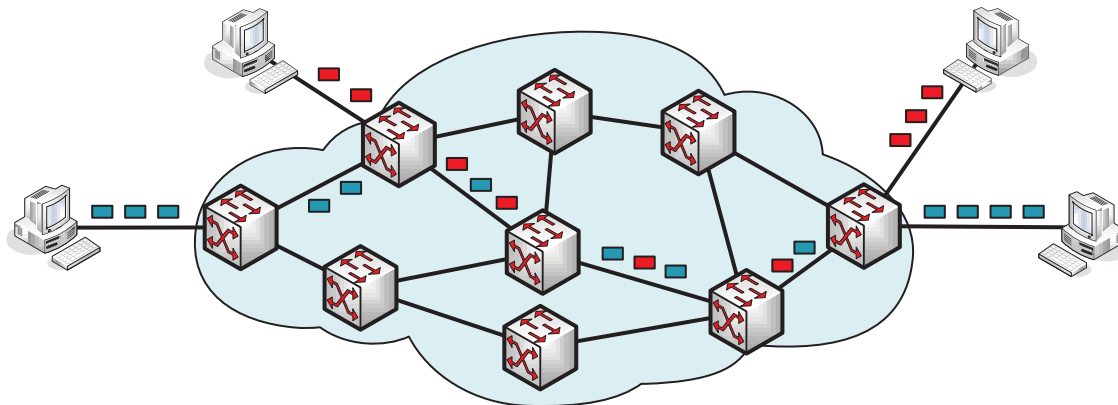
Razvoj računarskih komunikacija

- **Circuit Switching** – „komutacija kola“, „svičovanje veze“:
 - Rezervisane veze
 - Trajno ili po potrebi (ustpostavljanje)
 - Komunikacija „s-kraja-na-kraj“ (*end-to-end*)
- Problemi:
 - Neekonomično
 - Zauzeto i kada se ne koristi
 - Neskálabilno



Svičovanje paketa

- **1961:** Kleinrock – „*Queueing theory*“, Teorija redova čekanja
 - Matematička osnova koja pokazuje efikasnost komunikacije u manjim nezavisnim celinama
- **1965:** Paul Baran (US), Donald Davies (UK):
***Packet Switching* – „Svičovanje paketa“**
 - Podela podataka na manje pakete koji se nezavisno prenose preko mreže, bez prethodno uspostavljene veze s-kraja-na-kraj
 - Deljenje komunikacionih resursa, veća iskorišćenost, fleksibilnost...



ARPANET

- **1969:** ARPANET - *Advanced Research Projects Agency, Department of Defense*
 - Prva računarska mreža sa svičovanjem paketa
 - Povezivanje univerziteta i istraživačkih organizacija u SAD
 - 15 lokacija (čvorova)
 - Organizacija
 - radna grupa (*Network Working Group*),
 - Tehnička specifikacija
 - *Request for Comments* (RFC) dokumenti (u početku neformalni, kasnije u formi standarda, preporuka i pojašnjenja)
 - Prvi mrežni protokol - *NCP Network Control Protocol*
- **1971:** Cyclades, Francuska

Standardizacija

- **1972:** *International Network Working Group (INWG)*
 - Zalagali se za svičovanje paketa
 - Radikalna ideja, suprotno interesima telekom industrije i računarskih giganata (IBM)
- **1974:** Vint Cerf and Robert Kahn
 - “A Protocol for Packet Network Intercommunication,” IEEE Transactions on Communications
 - Osnovni principi: minimalizam, *best-effort* (nema garancije), decentralizovana kontrola
- **1974:** IBM uspostavlja SNA (*System Network Architecture*), prete ga ostali proizvođači (DEC – DECnet, Novell NetWare...)
- **1975:** INWG podnosi tehnički predlog protokola međunarodnoj organizaciji sa standarde u telekomunikacijama – CCITT (ITU-T)
 - Predlog odbijen pod uticajem monopolističke telekom industrije
 - Obrazloženje: „riskantan i netestiran“



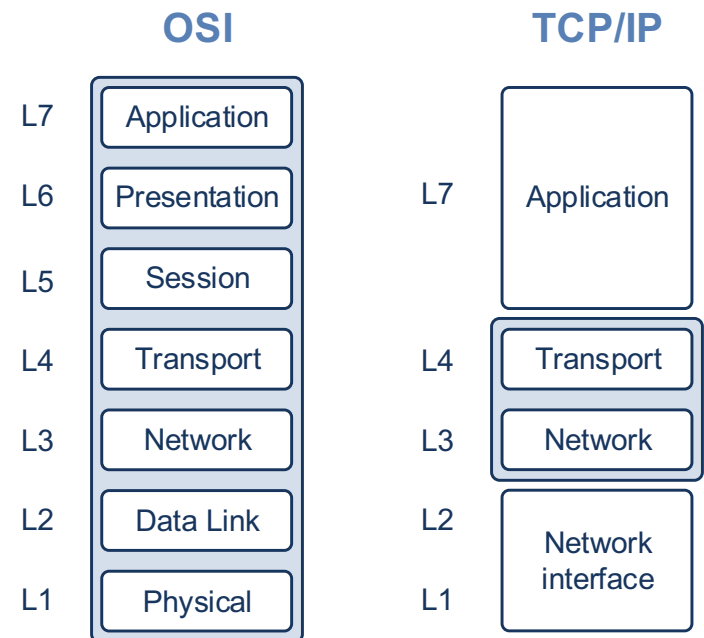
ISO OSI

- **1977:** OSI - *Open System Interconnection*, unutar međunarodne organizacije za standarde ISO (*International Organization for Standardization*)
 - Priključila se većina članova INWG, osim Vint Cerf koji je prešao u ARPA
 - Zadatak
 - Donošenje međunarodnog standarda za računarske komunikacije
 - Konglomerat renomiranih istraživača, telekomunikacione i računarske industrije (IBM)
 - Principi:
 - Otvorenost – komunikacija nezavisna od proizvođača uređaja
 - Modularnost – kompleksan problem je podeljen u manje celine



TCP/IP

- **1980:** U.S. Department of Defense objavljuje “Standards for the Internet Protocol and Transmission Control Protocol”
 - **TCP/IP**
- **1982:** Eksterni protokol rutiranja
 - **EGP** (*Exterior Gateway Protocol*)
- **1983:** Protokol za razrešavanje IP adresa i naziva
 - **DNS** (*Domain Name System*)

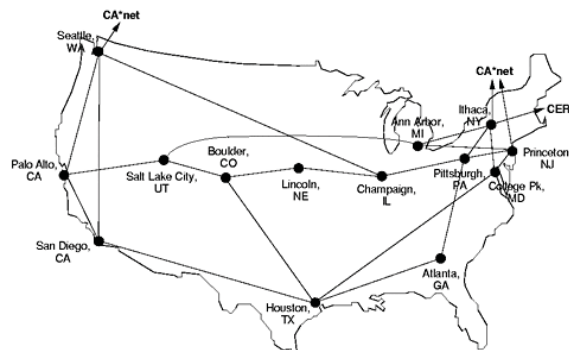
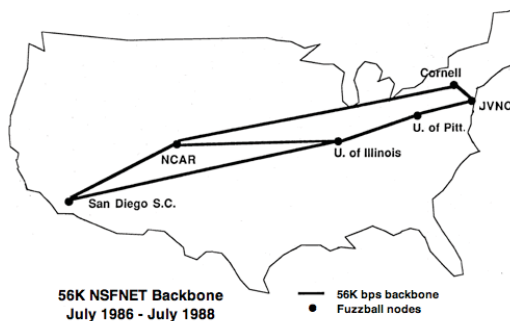


Rat između OSI i TCP/IP

- **1.1.1983:** U.S. Department of Defense
 - Odluka o korišćenju TCP/IP u ARPANET - *“Birth of the Internet”*
- **May 1983:** Objavljivanje standarda “ISO 7498:
 - „*The Basic Reference Model for Open Systems Interconnection*”
OSI referentni model
- **1985:** *U.S. National Research Council* preporučuje da *Department of Defense* postepeno pređe sa TCP/IP na OSI standard
- **1988:** *U.S. Department of Commerce* naložio vladinim ustanovama prelazak na OSI do avgusta 1990.
- **Kraj 80-tih:** Naznake neostvarenih očekivanja
 - Brian Carpenter, *“Is OSI Too Late?”*
 - Louis Pouzin, „*Ten Years of OSI—Maturity or Infancy?*”

NSFnet

- **1985:** NSF – *National Science Foundation*
 - Preuzima finansiranje ARPANET mreže
- **1986:** NSFnet projekat
 - Nova mreža istraživačke zajednice za pristup super-računarskim centrima
 - Troslojna arhitektura na bazi TCP/IP
 - Kičma - 6 super-računarskih centara, 56kbps
 - Regionalni centri
 - Lokalni kampusi
 - Integrisano sa ARPANET mrežom



Internetworking

- **Kraj 80-tih:**
 - „Internetworking“ => „Internet“
 - međusobno povezivanje različitih mreža u SAD
 - Povezivanje sa akademskim i istraživačkim mrežama u Evropi i Aziji
 - Pojava komercijalnih provajdera
 - Novi interni rutinški protokoli – RIP, OSPF, IS-IS
- **1989:** Tačke za razmenu saobraćaja – *Internet Exchange Points*
 - Vladina mreža u SAD – FIX (*Federal Internet Exchange*) na istočnoj i zapadnoj obali (FIX-E, FIX-W)
- **1991:** Komercijalni provajderi razmenjuju saobraćaj
 - CIX (*Commercial Internet Exchange*)
- **1992:** Kongres SAD odobrava NFS povezivanje NSFnet i komercijalnih provajdera
- **1995:** BGP rutinški protokol
 - NSFnet menja prethodni EGP i prelazi na BGP rutinški protokol
 - Formalno prestaje finansiranje projekata NSFnet

Današnji Internet

- Distribuirana arhitektura
 - BGP (verzija 4) protokol rutiranja
 - Veliki broj autonomnih sistema, ravnopravnih u tehničkom smislu
- Internet servis provajderi (ISP)
 - Provajderi prvog nivoa, globalni provajderi (*Tier 1*)
 - Globalni provajderi, mali broj
 - Međusobno besplatno razmenjuju saobraćaj
 - Naplaćuju zakup provajderima drugog nivoa – globalno povezivanje
 - Čine neformalnu kičmu Interneta
 - Provajderi drugog nivoa, regionalni provajderi (*Tier 2*)
 - Plaćaju zakup provajderima prvog nivoa (tranzit)
 - Mogu da besplatno razmenjuju saobraćaj u sa drugim provajderima
 - Provajderi trećeg nivoa, pristupni provajderi (*Tier 3*)
 - Plaćaju zakup provajderima drugog nivoa (tranzit)
 - Povezuju krajnje korisnike

Današnji Internet

- Provajderi sadržaja
 - Google, Facebook, Microsoft, Netflix...
 - Sopstvene mreže povezanih data-centara na svim kontinentima
- Provajderi distribucije sadržaja (CDN - *Content Delivery Network*)
 - Veliki broj servera za distribuciju sadržaja (video, audio)
 - Vlasnici sadržaja – TV i radio kanali, novinske kompanije itd.
 - Krajnjim korisnicima se sadržaj isporučuje sa najbližeg servera
 - Kompanija Akamai – preko 200.000 servera u 120 zemalja
- Posledice:
 - Preko 70% saobraćaja na Internetu je video sadržaj
 - Sadržaj „blizu“ korisnika – lokalna isporuka
 - Smanjena zarada i uticaj klasičnih Internet provajdera

Organizacija Interneta

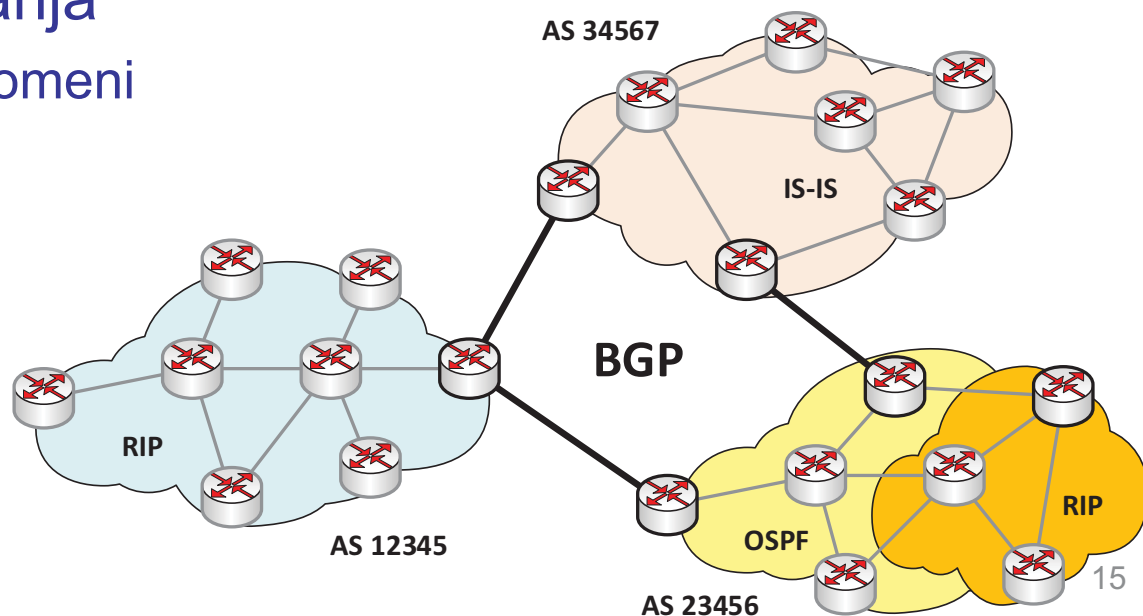
- IETF - *Internet Engineering Task Force* (1986)
 - Proizašao iz *International Network Working Group* (INWG)
 - Skup neformalnih radnih grupa, otvorene za svakoga
 - Donosi standarde i preporuke u vidu RFC dokumenata (*Request for Comments*)
- IRTF - *Internet Research Task Force* (1989)
 - Radne grupe za istraživanje
- ISOC - *Internet SOCIety* (1992)
 - Privatna neprofitna organizacija
 - Finansirana kroz članstvo (preko 100.000 članova, kompanije i pojedinci)
 - Obuhvata IETF i IRTF

Organizacija Interneta

- IANA - *Internet Assigned Numbers Authority* (1988)
 - Dodeljuje IP adrese, numeraciju protokola, brojeve autonomnih sistema, Top-Level DNS domene itd.
 - Distribuirano na 5 kontinenata – Regionalni Internet Registari
RIR - Regional Internet Registry:
 - RIPE - *Réseaux IP Européens*
 - ARIN - *American Registry for Internet Numbers*
 - APNIC – *Asia Pacific Network Informations Centre*
 - LACNIC – *Latin American and Caribbean IP Address Registry*
 - AfriNIC – *African RIR*
- ICANN - *Internet Corporation for Assigned Names and Numbers* (1998)
 - Privatna neprofitna organizacija
 - Obuhvata IANA

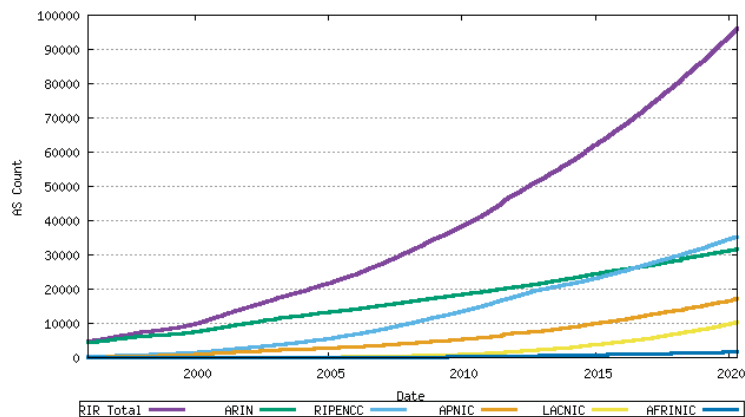
Interni i eksterni protokoli rutiranja

- Interni protokoli rutiranja nisu skalabilni:
 - Veliki broj pod mreža unutar jedne zajedničke mreže (autonomnog sistema)
 - Nestabilnost – svaka promena se propagira
 - Problem konvergencije – do nekoliko sekundi nekoliko stotina sekundi
 - Izračunavanje metrike i ruta
 - Pojedinačne mreže u routing tabelama
- Eksterni protokoli rutiranja
 - Različiti administrativni domeni
 - Politike filtriranja i balansiranja saobraćaja
 - Netehnički (komercijalni) kriterijum za izbor ruta

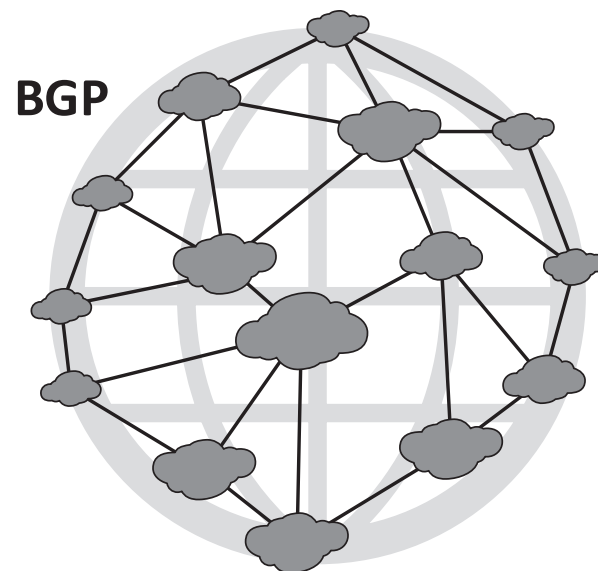


BGP - *Border Gateway Protocol*

- BGP verzija 4, RFC 1655 (1994), RFC 4271 (2006)
- Razmenu ruta između autonomnih sistema
 - Mreže provajdera, kompanija, organizacija, univerziteta itd.
- Autonomni sistemi se označavaju brojevima
 - Inicijalno 2 bajta (do 65,535)
 - Prošireno na 4 bajta, RFC 4893 (2007), RFC 6793 (2012)
- Brojevi autonomnih sistema se moraju registrovati
 - AS brojevi od 64,512 do 65,535 su rezervisani za privatno korišćenje

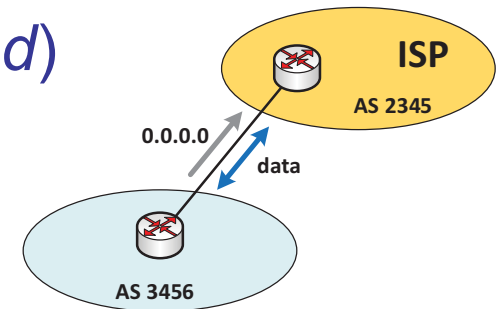


<http://www.potaroo.net/tools/asn32/>

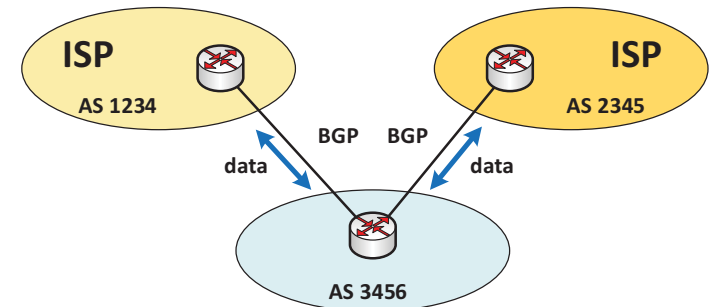


Tipovi autonomnih sistema

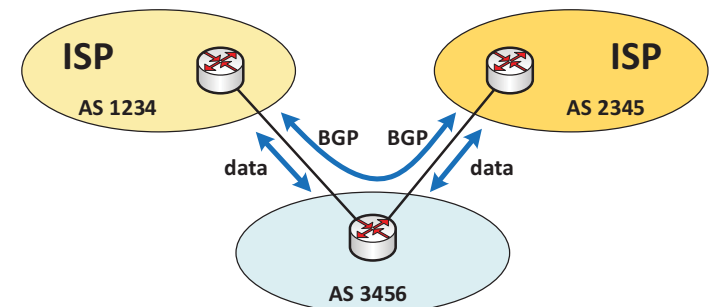
- AS sa jednom vezom (*Stub, Single-Homed*)



- Netranzitni AS sa više veza (*Multi-Homed Non-Transit*)

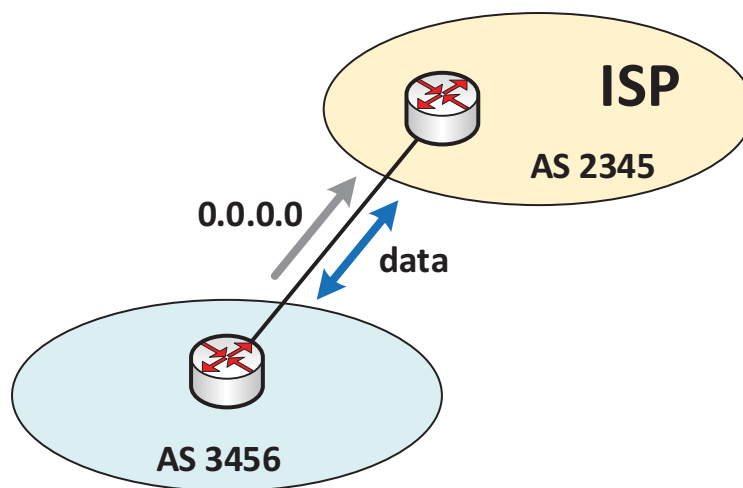


- Tranzitni AS sa više vaza (*Multi-Homed Transit*)



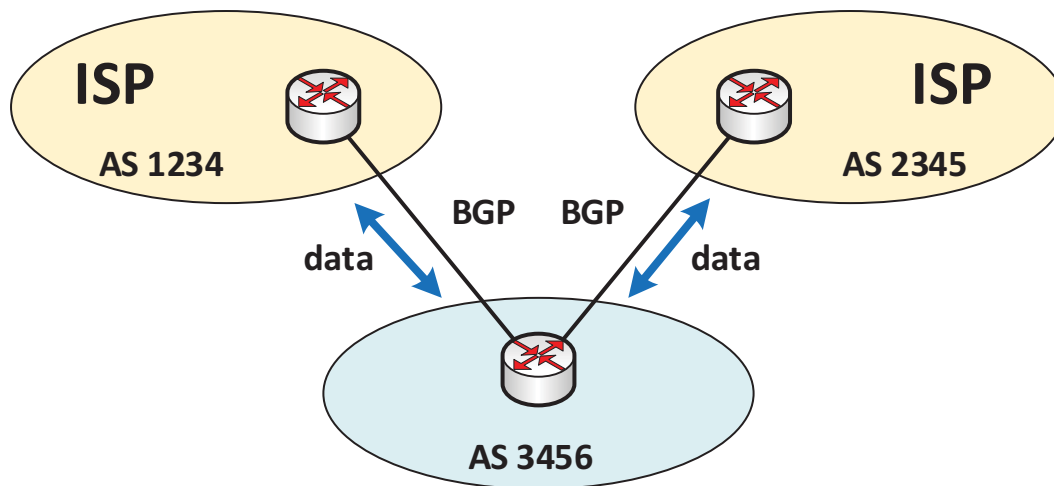
AS sa jednom vezom

- Autonomni sistem ima samo jednu vezu sa provajderom:
- Rutiranje može da se organizuje na više načina:
 - Regularna BGP veza
 - Interni protokol rutiranja integrisan sa mrežom provajdera
 - Difoltna ruta – najefikasnije rešenje



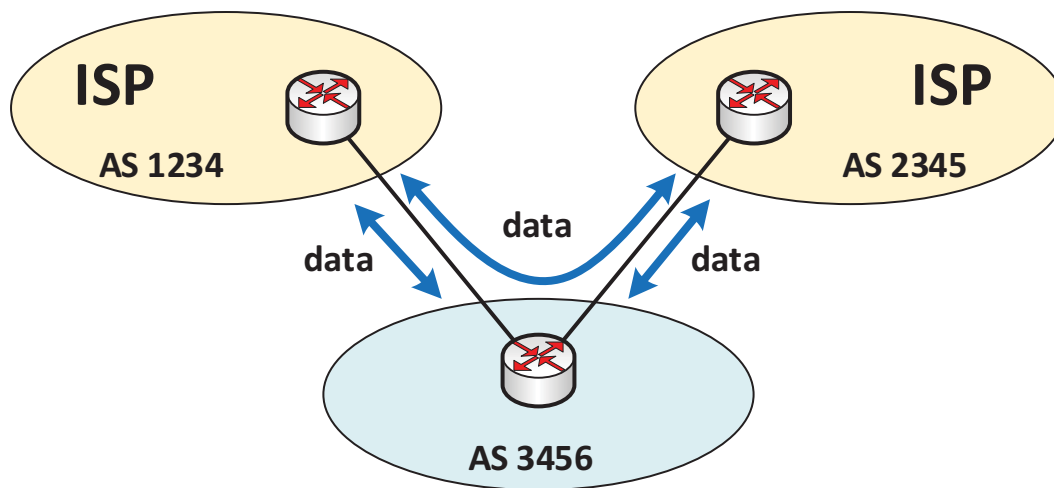
Netranzitni AS sa više veza

- Autonomni sistem je povezan na više različitih provajdera
- „Netranzitni“ – ne oglašavaju se rute dobijen od drugih AS-ova
 - Zabranjuje se da saobraćaj iz jednog ISP prolazi kroz AS do drugog ISP
 - Tehničko-komercijalni razlozi – veze koristi i plaća AS samo za svoje potrebe
- Potrebno je koristiti BGP
 - Difoltna ruta nije efikasna



Tranzitni AS sa više veza

- Autonomni sistem je povezan na više različitih provajdera
- „Tranzitni“ – oglašavaju se rute dobijen od drugih AS-ova
 - Kroz AS se dozvoljava prolazak saobraćaja drugih autonomnih sistema
 - Saobraćaj iz jednog ISP prolazi kroz AS do drugog ISP
- Neophodno je koristiti BGP



BGP – karakteristike

- BGP v4 - aktuelna verzija RFC 1772 (1995)
 - *Distance-Vector* protokol rutiranja
 - Broj autonomnih sistema na između dve tačke – broj koraka (*Hop-Count*)
 - Mehanizam sprečavanja petlji u rutiranju – niz AS na putanji
 - Uvodi dodatna pravila za regulisanje dolaznog i odlaznog saobraćaja
 - Dolazni saobraćaj (sa Interneta) – zavisi od načina oglašavanje IP mreže iz AS
 - Odlazni saobraćaj – zavisi od ruta koje se prihvate od povezanih AS-ova (ISP)
 - CIDR (*Classless Inter-Domain Routing*)
 - IP adresa i maska – *Network-Layer Reachability Information* (NLRI)
- *Multiprotocol Extensions for BGP-4*, RFC 2283 (1998)
 - Proširenje na druge protokole – IPv6, VPN, *Multicast* itd.

BGP – princip rada

- **BGP Speaker**

- Router koji ima pokrenut BGP protokol

- **BGP Peers** (BGP susedi)

- Dva rutera koja komuniciraju preko BGP protokola
- Komunikacija preko TCP protokola, port 179
- Ne moraju da budu direktni susedi

- **Ulazna obrada**

- Selektivno prihvatanje i obrada ruta od BGP suseda

- **BGP tabela** – podaci prihvaćeni od BGP suseda

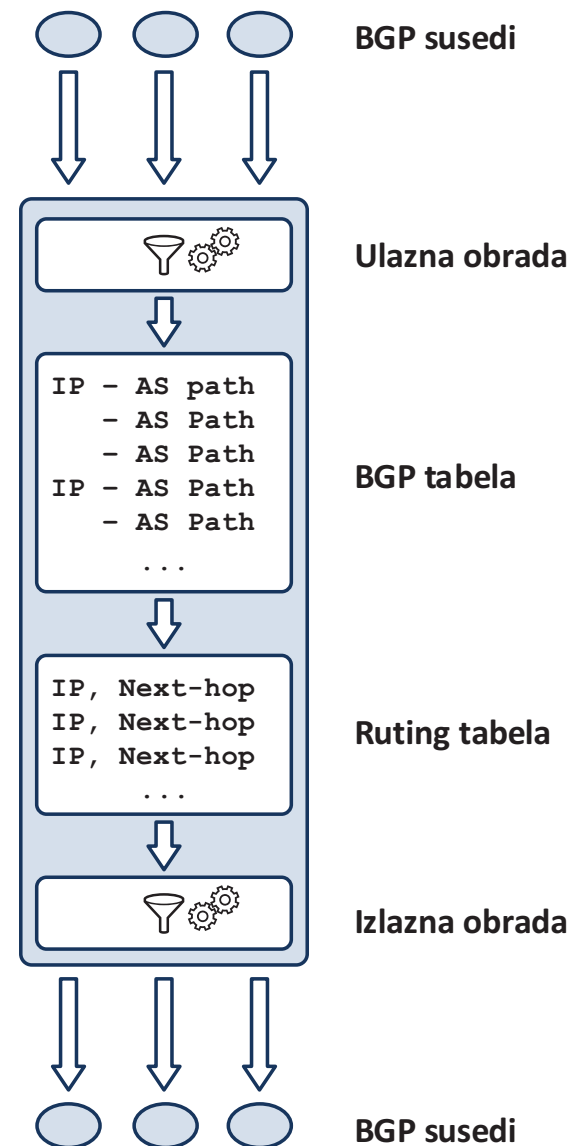
- IP mreže (NLRI) i sve putanje koje vode do njih
 - Zaštita od petlji pri rutiranju
- Ostali atributi za odlučivanje izbora najbolje rute

- **Ruting tabela**

- Samo jedna najbolja ruta za svaku mrežu

- **Izlazna obrada**

- Selektivna obrada i oglašavanje ruta BGP susedima



BGP – Tipovi poruka

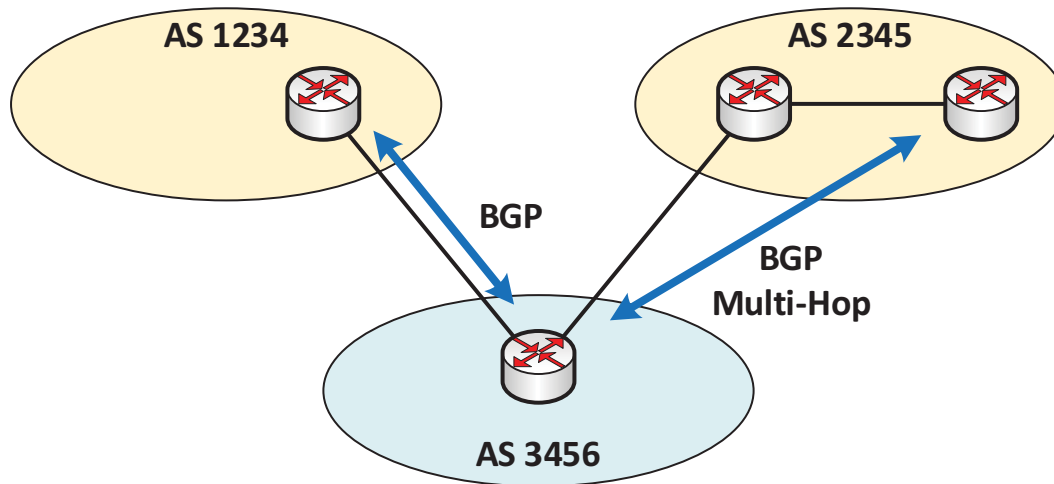
- **Open** poruka – uspostavljanje veze
 - Sadrži sledeće podatke:
 - BGP version number (4)
 - AS broj rutera koji šalje *Open* poruku
 - *Hold Time* – vreme za koje se smatra da je veza otvorena ako ne stižu *Keepalive* poruke za održavanje veze
 - *Router ID* – identifikacija rutera koji šalje *Open* poruku
 - IP adresa interfejsa koji šalje *Open* poruku
- **Keepalive** poruka – održavanje veze
 - Periodično slanje praznih BGP poruka (samo BGP zaglavlja)
 - *Keepalive* interval – trećina vremena *Hold-Time* intervala ($Hold\ Time/3$)
 - Veza se prekida ako ne stignu 3 *Keepalive* poruke
- **Notification** poruka – ukazivanje na grešku
 - Ako postoji greška pri uspostavljanju veze ili tokom rada
 - Izaziva prekid veze – ponovno slanje *Open* poruke

BGP – Tipovi poruka

- **Update** poruka – razmena atributa
 - Sadrži:
 - *Prefix* – adresa IP mreže (NLRI)
 - *AS-path* – niz AS brojeva na putu do navedene IP mreže
 - *Atributs* – ostale informacije kojima se specificira način tretiranja date rute
 - Razmena ruta samo po potrebi:
 - BGP ruteri čuvaju broj verzije BGP ruting tabele susednih rutera
 - Broj verzije se inkrementira prilikom svake promene (ubacivanje ili izbacivanje rute)
 - Ako nema nikakvih promena razmenjuju se *Keepalive* poruke
 - Razmenjuju se nove rute i povučene (obrisane) rute

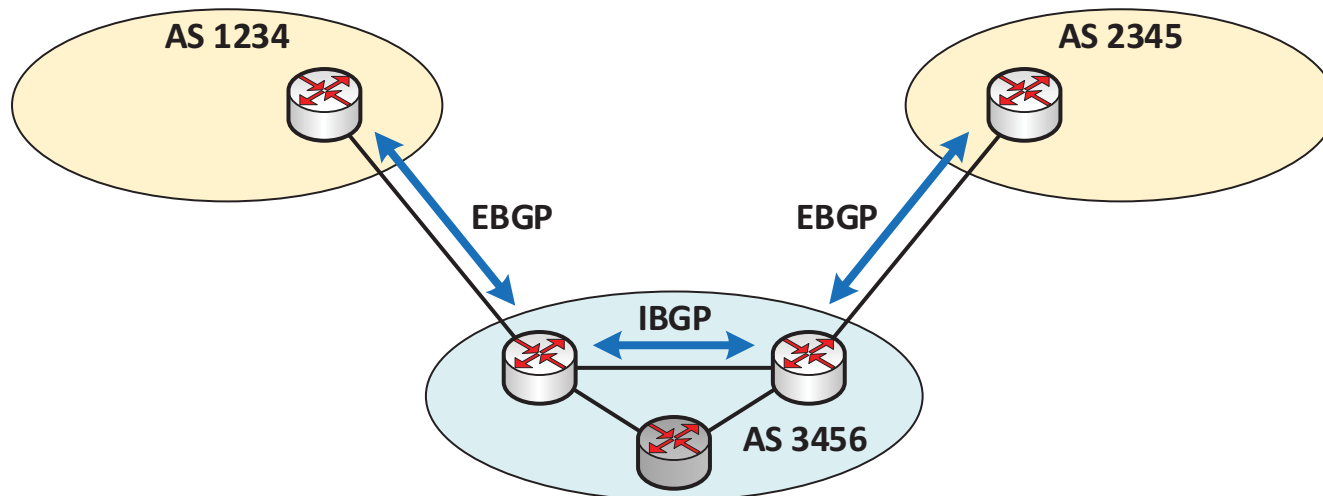
Vrste BGP veza

- Uspostavljanje veze preko TCP
 - BGP susedi ne moraju da budu direktno povezani
- **Vrste BGP veza prema fizičkoj povezanosti:**
 - Direktne BGP veze – podrazumevana veza između dva rutera
 - Indirektne BGP veze – *Multi-Hop* opcija
 - Posebno se navodi tačan broj koraka između rutera
 - Proverava se broj koraka preko TTL polja – mora da bude 255-n (RFC 7454)



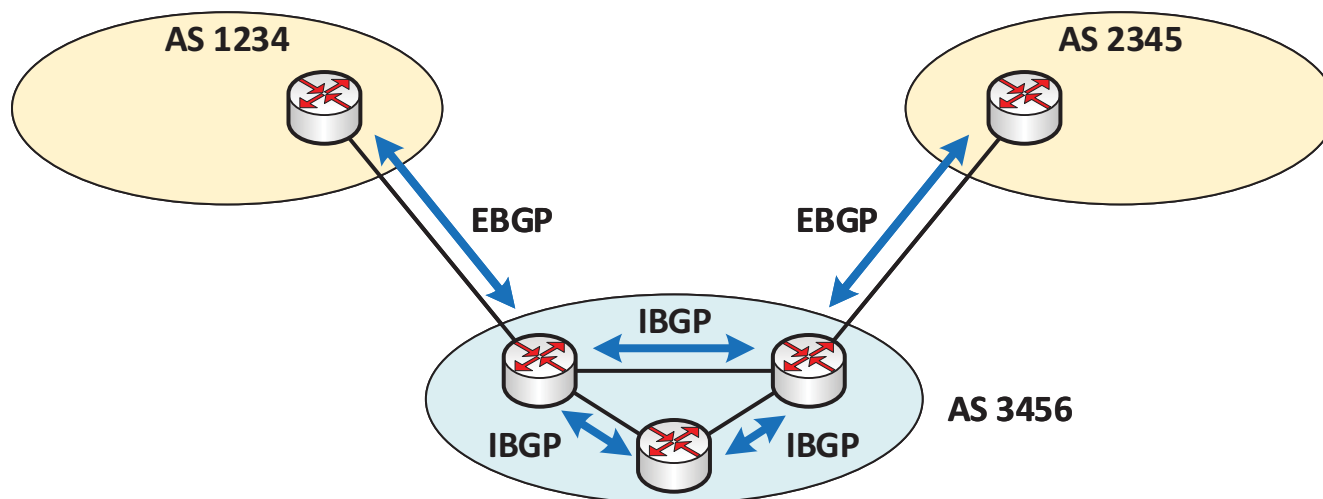
Vrste BGP veza

- **Vrste BGP veza u odnosu na AS:**
 - **Eksterni BGP – EBGP**
 - Između rutera u različitim autonomnim sistemima
 - Razmena ruta između različitih autonomnih sistema
 - **Interni BGP – IBGP**
 - Između rutera u istom autonomnom sistemu
 - Potrebno za ostvarivanje veza sa drugim AS sa različitih geografskih lokacija
 - Razmena spoljašnjih ruta unutar autonomnog sistema



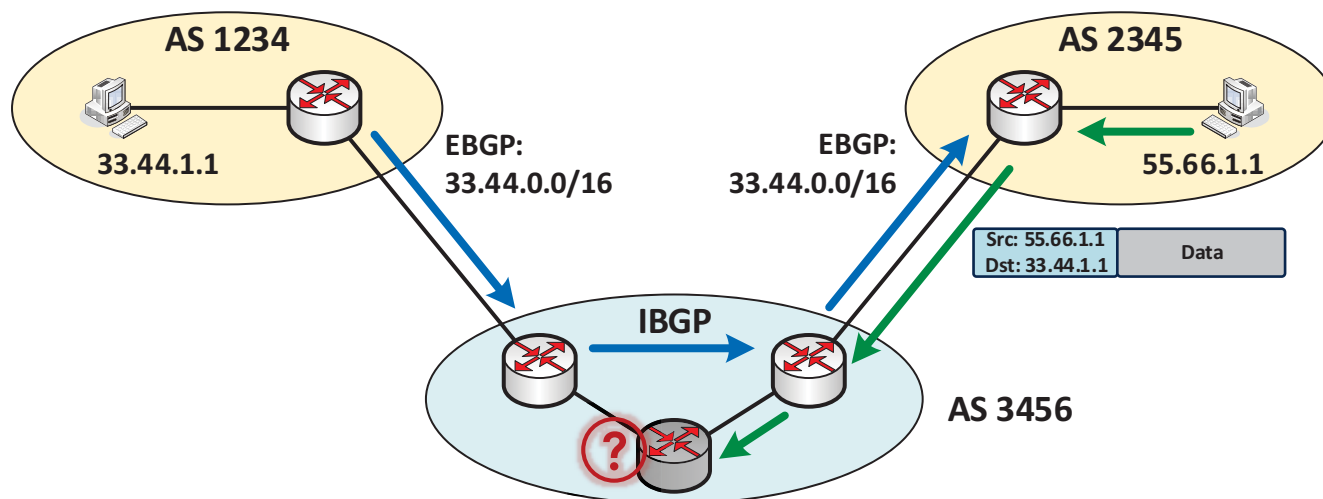
IBGP – kontinuitet unutar AS

- Problem kod IBGP:
 - Kako koristiti *AS-path* za detektovanje petlji unutar AS?
- Rešenje:
 - Rute dobijene preko IBGP se ne prenose drugim IBGP susedima
- Posledica:
 - Svi BGP ruteri unutar AS moraju da budu BGP susedi
 - Potpuni graf povezanosti



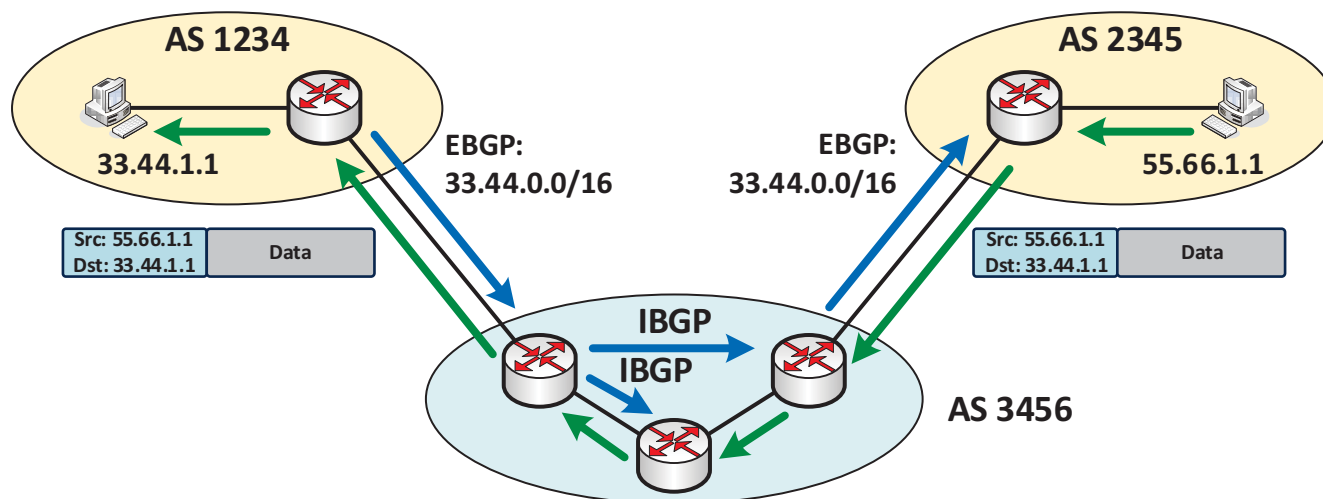
IBGP - Sinhronizacija unutar AS

- Problem kod IBGP:
 - *Multi-Hop* IBGP veza u tranzitnom AS
- Sinhronizacija
 - Sve rute koje se prosleđuju EBGP susedu, moraju da budu poznate preko internih protokola rutiranja – sinhronizovane unutar AS-a
 - Da drugi ne-BGP ruteri mogu da prenose tranzitni saobraćaj kroz AS



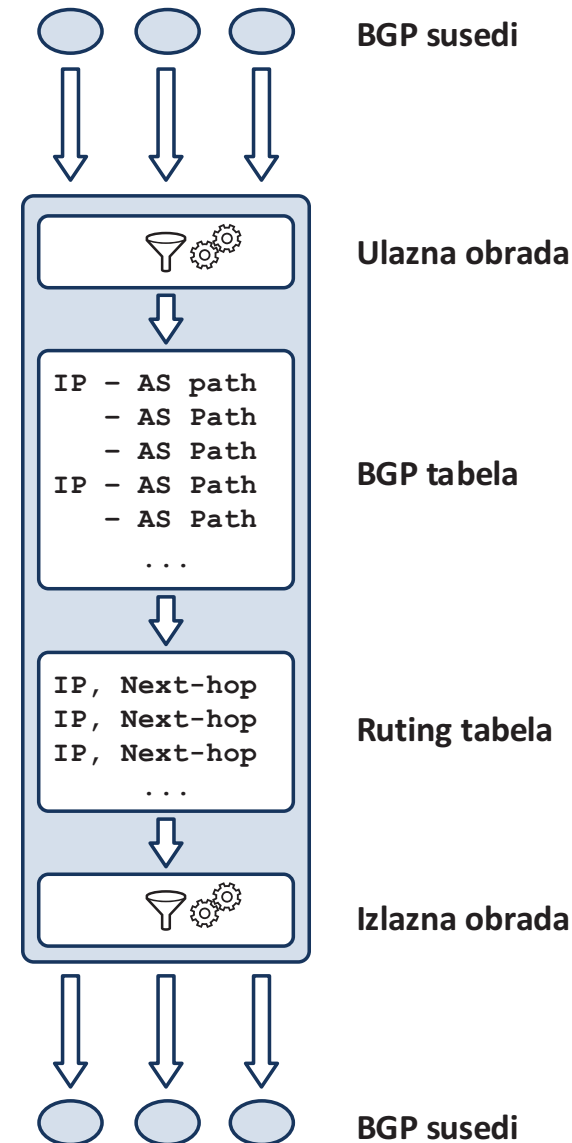
IBGP - Sinhronizacija unutar AS

- Rešenje za sinhronizaciju
 - Redistribucija svih BGP ruta u interni protokol rutiranja (IGP)
 - Loše – veliki broji BGP ruta,
 - Isključena sinhronizacija i potpun IBGP graf povezanosti svih rutera unutar AS na putanji tranzitnog saobraćaja
 - Problem skalabilnost IBGP – broj veza raste sa kvadratom IBGP rutera



BGP atributi

- BGP atributi
 - Dodatne informacije u *Update* porukama koje opisuju rute i utiču na saobraćaj
- Ulazna i izlazna obrada ruta
 - Filtriranje ruta (*Update* poruke)
 - Menjanje pojedinih atributa
- Kontrola saobraćaja
 - Ulazna obrada ruta
 - Selektivno prihvatanje ruta i izmena atributa
 - Utiče se na odlazni saobraćaj
 - Izlazna obrada ruta
 - Izmjena atributa i selektivno oglašavanje ruta
 - Utiče se na dolazni saobraćaj

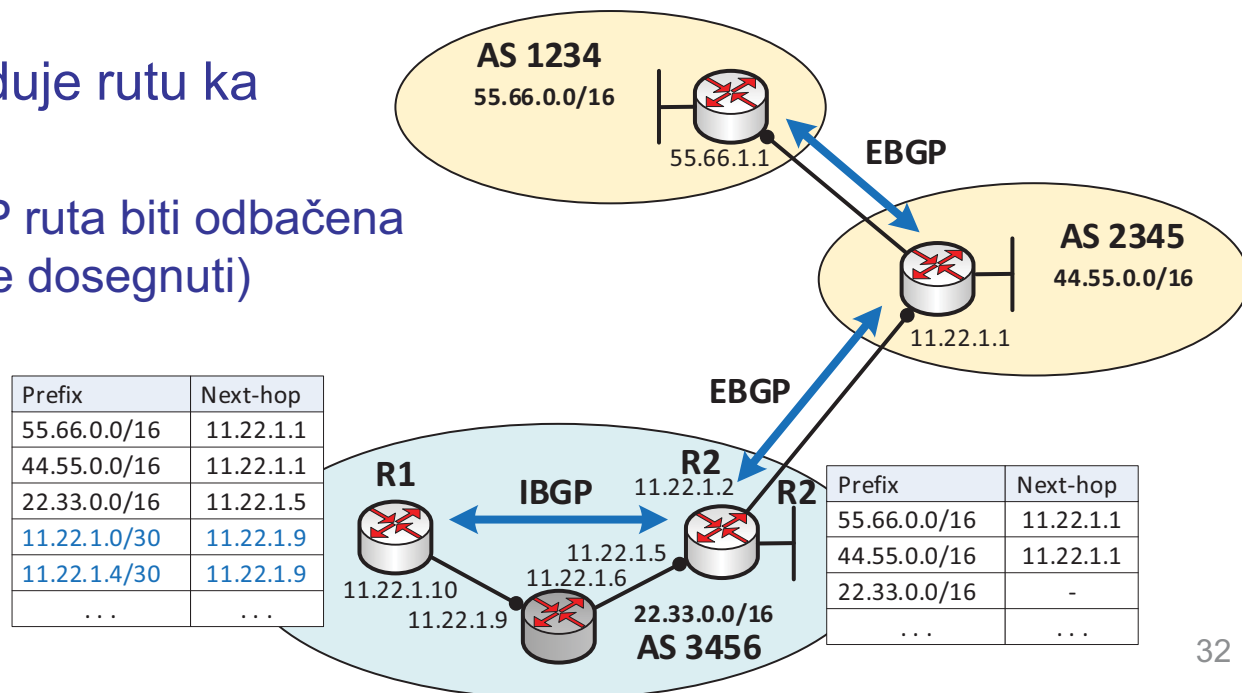


Vrste BGP atributa

- **Dobro poznati** – moraju biti podržani u BGP implementaciji
 - **Obavezni** – sadržani u svakoj ruti (***Well-Known Mandatory***)
 - **Neobavezni** – dodaju se prema potrebi (***Well-Known Discretionary***)
- **Opcioni** – ne moraju biti podržani svakoj u BGP implementaciji
 - **Prenosivi** – ako su sadržani u ulaznim rutama, prenose se i u oglašenim rutama (***Optional Transitive***)
 - **Neprenosivi** – ako su sadržani u ulaznim rutama, ne prenose se u oglašenim rutama (***Optional Non-Transitive***)

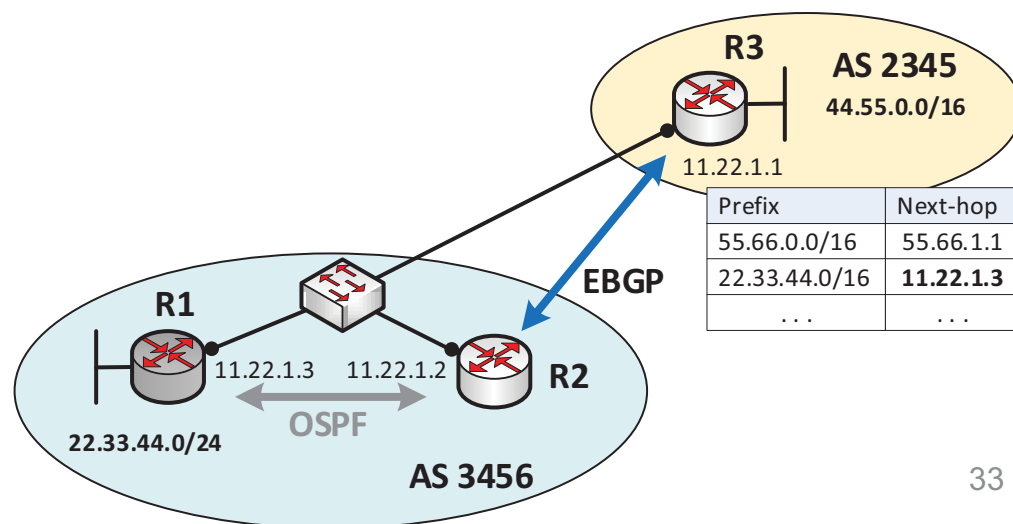
Next Hop atribut

- *Next Hop* – Dobro poznat obavezan atribut
 - IP adresa rutera koji vodi ka oglašenoj ruti
 - EBGP - IP adresa EBGP suseda koji je oglasio datu rutu
 - IBGP
 - Ako je ruta došla iz drugog AS – IP adresa EBGP rutera iz drugog AS (nepromenjen se prenosi unutar AS)
 - Ako je ruta originalno oglašena unutar AS – IP adresa rutera koji je oglasio datu rutu
- Ruter mora da poseduje rutu ka *Next Hop* adresi
 - U suprotnom će BGP ruta biti odbačena (jer se ne zna kako je dosegnuti)



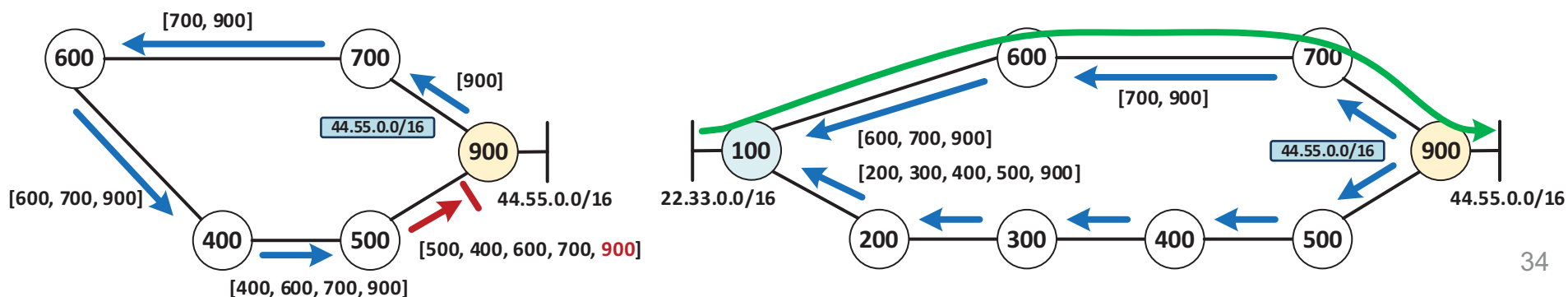
Next Hop atribut

- Izuzetak za *multi-access* segmente (Ethernet)
 - Oglašavanje IP mreže čije putanje vode preko rutera koji deli segment sa BGP ruterima
- Primer
 - BGP ruter R2 oglašava rutu 22.33.44.0/24 BGP ruteru R3
 - *Next Hop* = 11.22.1.3 (adresa rutera R1, a ne adresa rutera R2)
 - Iako R1 ne učestvuje u BGP, ruter R2 prepoznaje da njegova adresa može direktno da se koristi za *Next Hop*



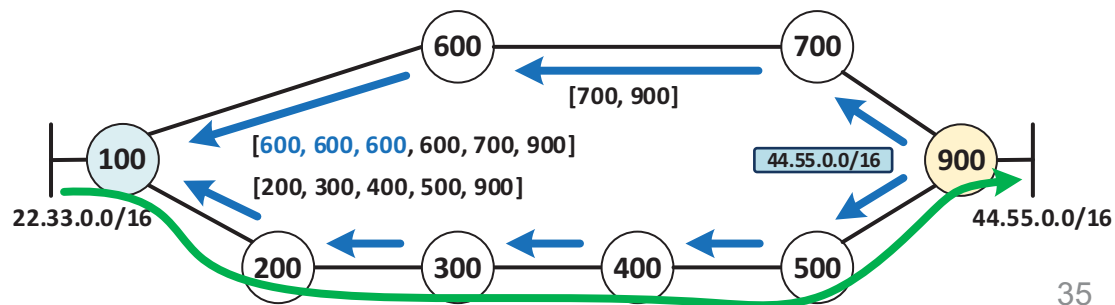
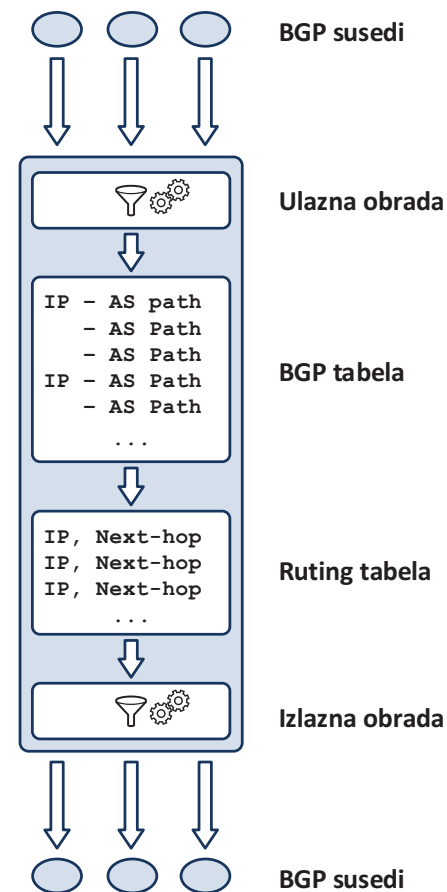
AS Path atribut

- **AS Path** – Dobro poznat obavezni atribut
 - Lista AS brojeva – putanja do oglašene rute
 - Oglašavanje rute EBGP susedu
 - Dodaje se broj pripadajućeg AS
 - Oglašavanje rute IBGP susedu
 - Atribut ostaje nepromenjen
 - Propagacija (oglašavanje) rute kroz Internet
 - Formira se lista brojeva koji vode do pridružene IP mreže
- Namena:
 - Zaštita od petlji pri rutiranju
 - Ruta se odbacuje ako *AS Path* atribut na ulaznu sadrži pripadajući AS
 - Osnovna metrika za odlučivanje koja je ruta najbolja – najkraća putanja



AS Path atribut

- Obrada ruta – izmena pojedinih atributa
- **AS Path Prepending**
 - Dodavanje AS brojeva u AS Path atribut
- Primer
 - Kontrola saobraćaja od AS 100 do AS 900
 - Dodavanje AS 600 u AS Path atribut
 - Na ulasku u AS 100
 - Ulazna obrada ruta – utiče se na odlazni saobraćaj
 - Na izlasku iz AS 600
 - Izlazna obrada ruta – utiče se na dolazi saobraćaj (saobraćaj iz AS 100 u AS 600)

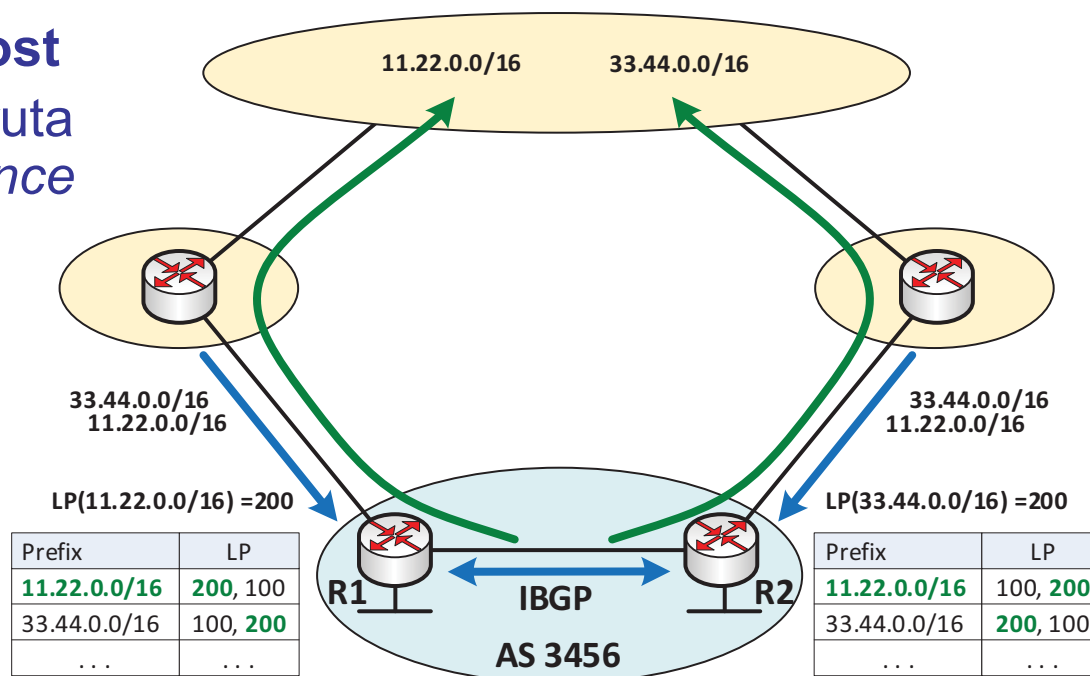


Origin Atribut

- Dobro poznat obavezan atribut (WMA)
- *Origin* atribut govori o poreklu rute (prefiksa)
 - **IGP** (0)
 - Ruta je izvorno nastala unutar BGP protokola (`network` komanda)
 - **EGP** (1)
 - Ruta je dobijena iz EGP (ranija verzija eksternog protokola), danas se ne koristi
 - **Incomplete** (2)
 - Ruta je dobijena redistribucijom u BPG
- Koristi se u izboru najbolje rute:
 - **Manja vrednost – veći prioritet**
 - Originalne BGP rute imaju veći prioritet u odnosu na rute nastale redistribucijom

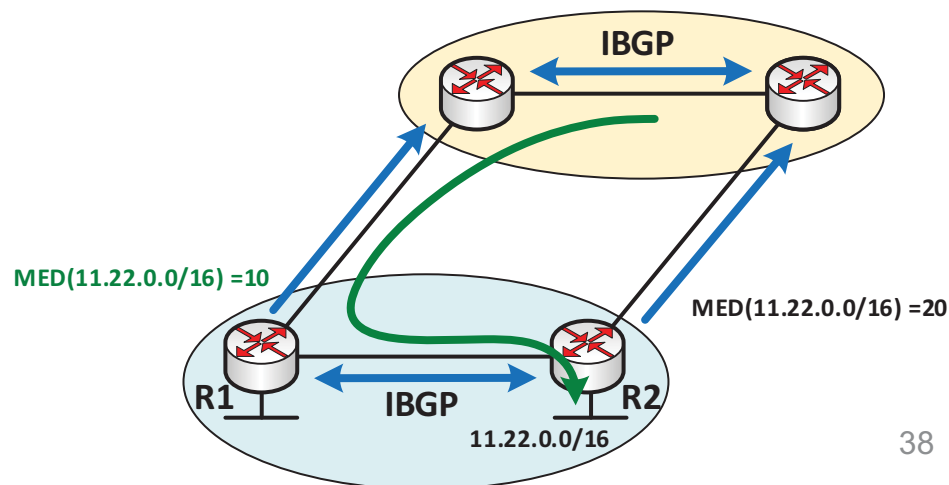
Local Preference Atribut

- Dobro poznat neobavezan atribut (WDA)
- Dodeljuje se ruti na ulasku u AS
 - Utiče na izlazni saobraćaj iz AS
- **Lokalni atribut za jedan AS**
 - Razmenjuje se unutar AS putem IBGP
 - Ne prenosi se putem EBGP (nije tranzitivan)
- **Označava prioritet rute**
 - **Veća vrednost ima prednost**
 - U rutingu tabelu se ubacuje ruta koja ima veći *Local Preference*
 - Difoltna vrednost je 100



MED Atribut

- MED – *Multiple Exit Discriminator (Metric)*
 - Opcioni netranzitivni atribut (ONTA)
 - Kada uđe u AS, ne napušta ga
- **Dodeljuje se rutama koje izlaze iz AS-a**
 - **Kontrolirše dolazni saobraćaj** (kada ima više veza između dva AS-a)
 - Obaveštava susedne AS o željenom dolaznom linku
- Kada se prenese u susedni AS, propagira se unutar AS-a preko IBGP
- Ima smisao metrike
 - **Niža vrednost ima prednost**



Proces izbora najbolje rute

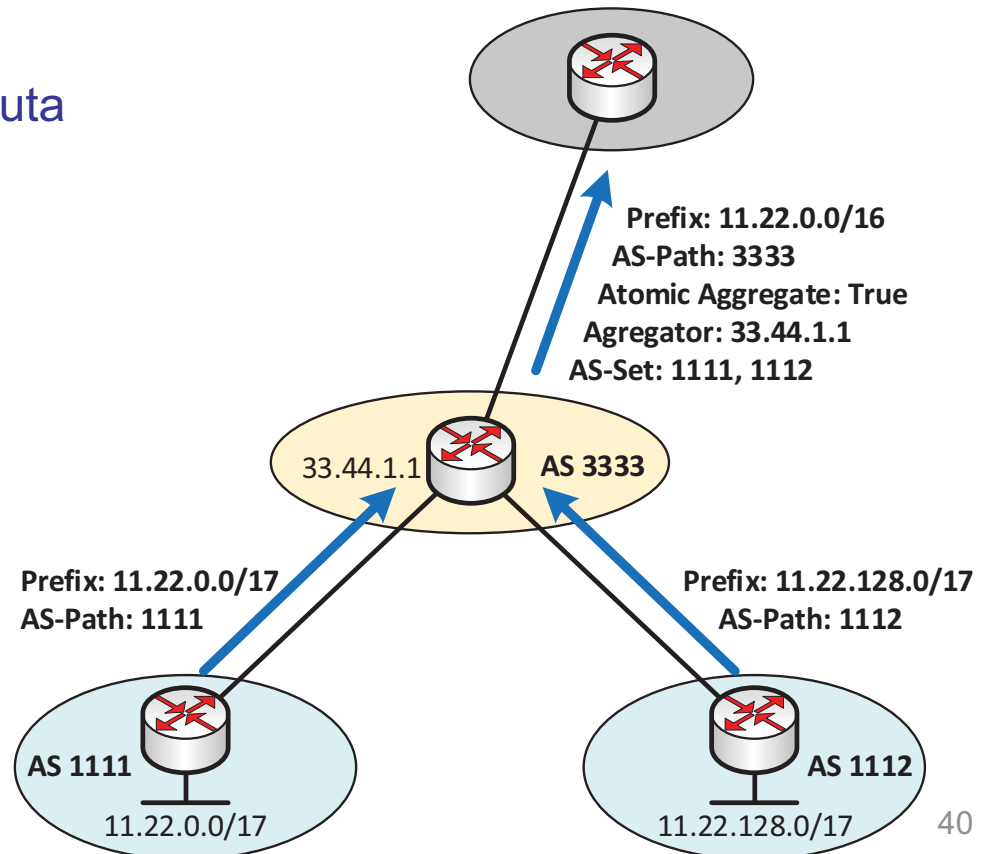
Izbor najbolje rute za jednu IP mrežu

1. Ako *Next Hop* atribut ne postoji u ruting tabeli, ruta se odbacuje
2. **Bira se ruta sa najvećom vrednošću *Local Preference* atributa**
3. **Bira se ruta sa kraćim *AS Path* atributom**
4. Bira se ruta sa nižom vrednošću *Origin* atributa (IGP < EGP < Incomplete)
5. **Bira se rutu sa nižom vrednošću *MED* atributa**
6. Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP u odnosu na rute dobijene preko IBGP
7. Bira se ruta sa nižom IGP metrikom do BGP *Next Hop* adrese
8. Bira se ruta koja je dobijena ranije (prva koja je stigla u ruter)
9. Bira se ruta dobijena od rutera sa nižom vrednosti *Router ID*
10. Bira se putanja sa nižom vrednošću dužine klastera
11. Bira se ruta dobijena od suseda sa nižom adresom

Samo jedna (najbolja) ruta se upisuje u ruting tabelu

Agregacija ruta

- Tri atributa za agregaciju – dobro poznati neobavezni (WDA)
 - **Atomic Aggregate**
 - Označava da li je izvršena agregacija - *True* ili *False*
 - **Aggregator**
 - *Router ID* rutera koji je izvršio agregaciju
 - **AS Set**
 - Skup AS brojeva iz *AS Path* atributa koji su se izgubili pri agregaciji

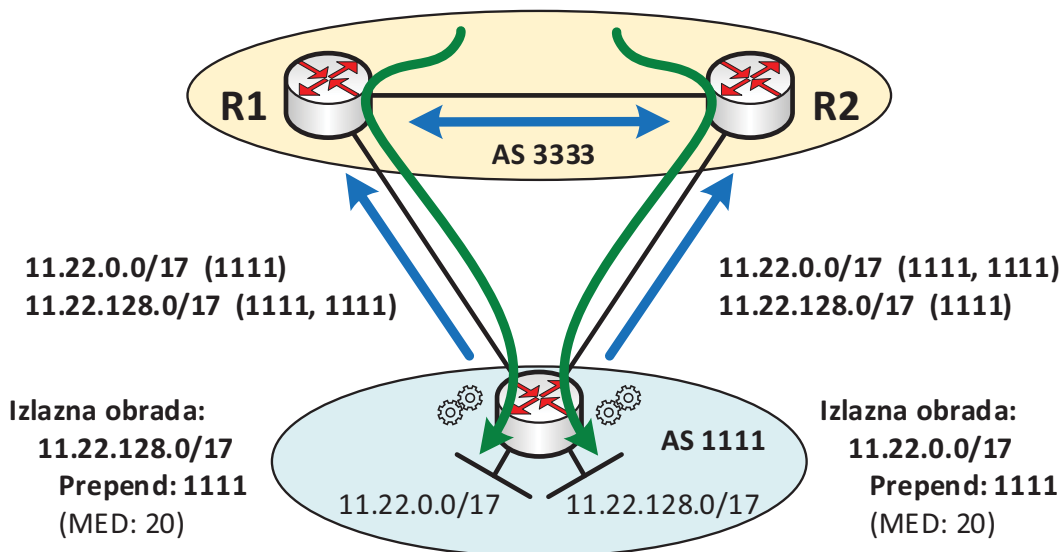


Označavanje ruta

- **Community** – opcioni tranzitivni atribut
 - Služi za označavanje ruta (tagovanje, markiranje), obično pri oglašavanju
 - Omogućava da udaljeni ruteri prepoznaju rutu i sprovode određene akcije
 - Predstavlja vrednost od 4 bajta
 - Uobičajen način označavanja – „AS:N“
 - AS – broj autonomnog sistema
 - N – izabrana celobrojna vrednost
- Predefinisane vrednosti
 - 0xFFFFFFFF01 – „*No Export*“
 - Ne oglasiti eBGP susedima
 - 0xFFFFFFFF02 – „*No Advertise*“
 - Ne oglasiti nikome

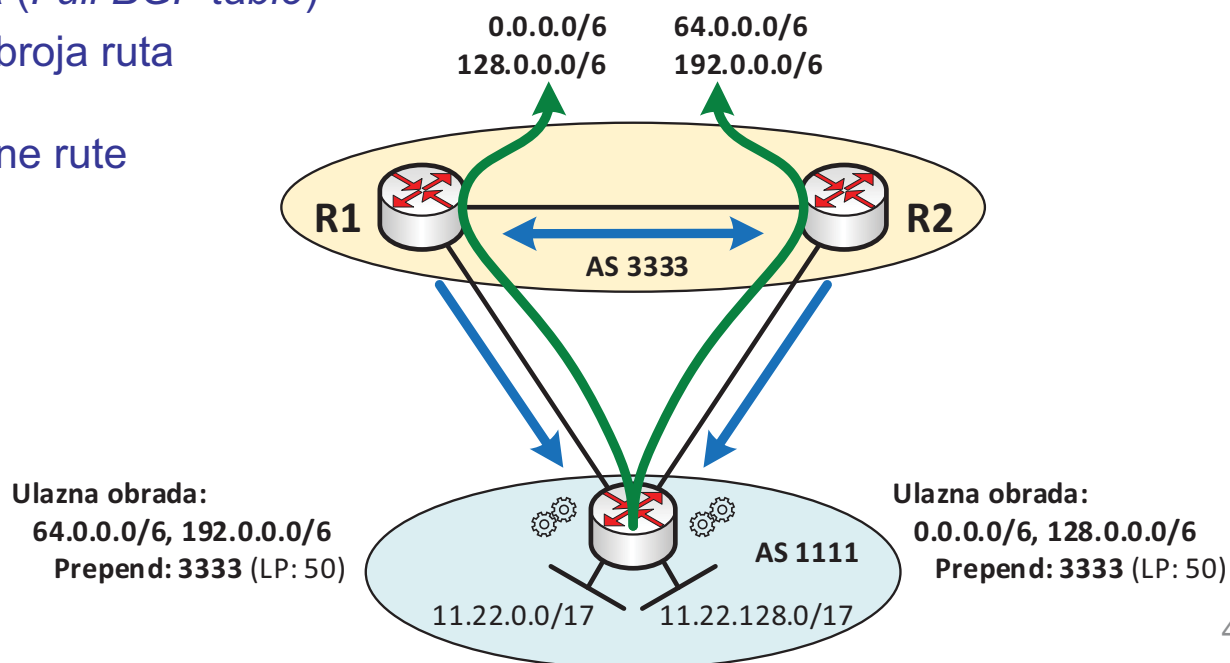
Primer – jedan provajder

- Jedna veza samo sa jednim provajderom
 - BGP nije neophodan – može se koristiti difoltna ruta
- Više veza samo sa jednim provajderom
 - BGP se može koristiti za balansiranje saobraćaja
 - **Balansiranje dolaznog saobraćaja**
 - Podela sopstvenih IP mreža na dva adresna bloka
 - Oglašavanje adresnih blokova sa različitim atributima
 - *AS Path Prepending*
 - *MED*



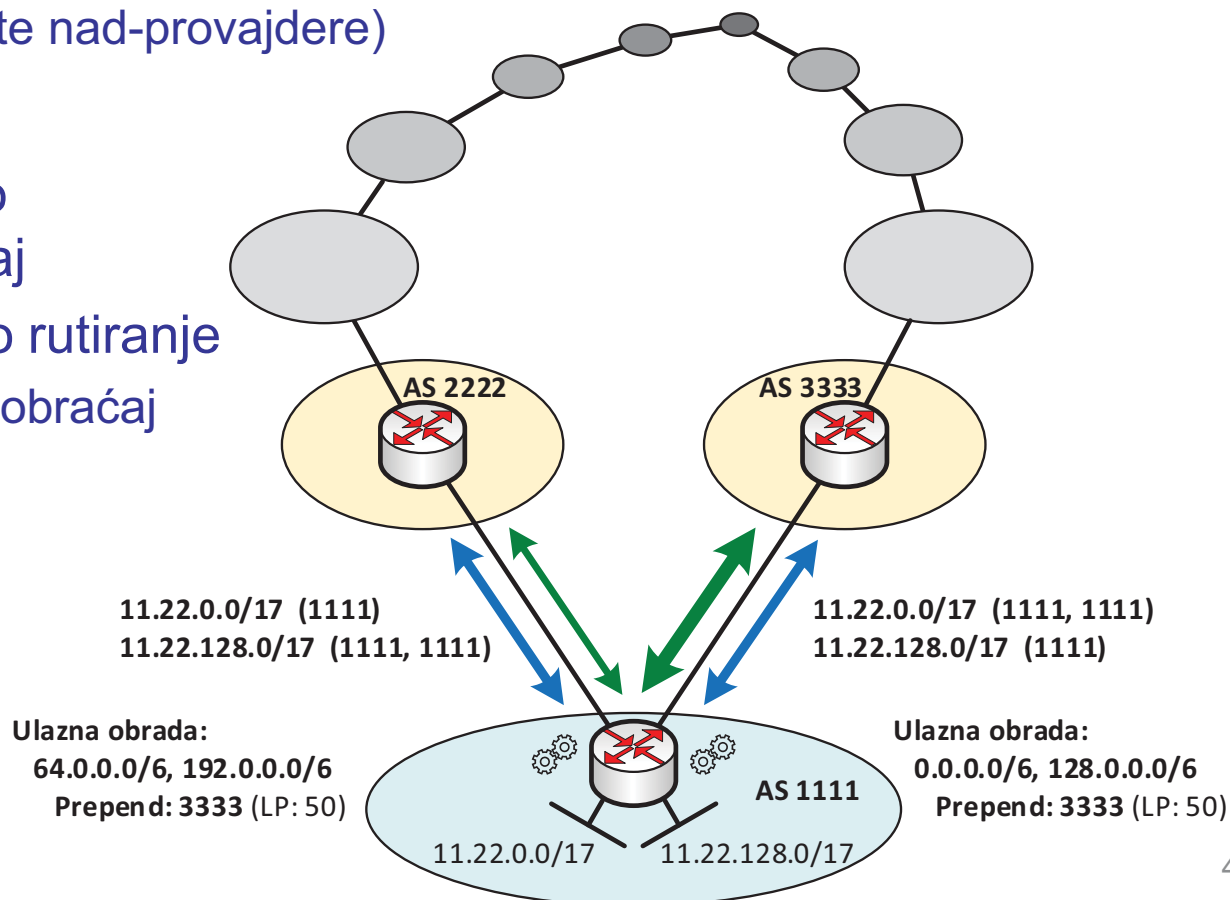
Primer – jedan provajder

- Više veza samo sa jednim provajderom
 - **Balansiranje odlaznog saobraćaja**
 - Podela celokupnog IP adresnog prostora na više blokova
 - Prihvatanje različitih adresnih blokova uz promenu atributa
 - *AS Path Prepending*
 - *Local Preference*
 - Mogućnosti
 - Učitavanje svih ruta (*Full BGP table*)
 - Učitavanje manjeg broja ruta (*Partial BGP table*) i postavljanje defoltne rute



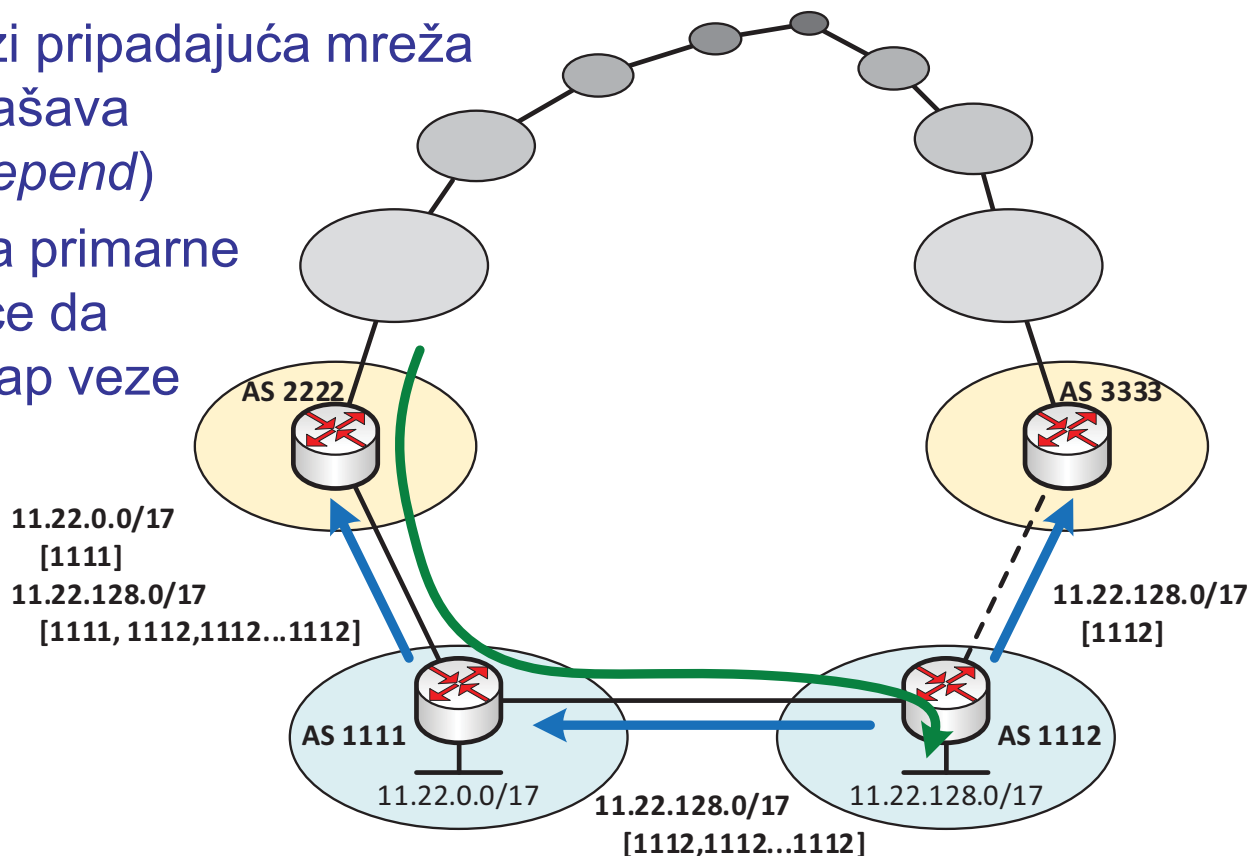
Primer – više provajdera

- Veze sa više provajdera
 - **Balansiranje odlaznog i dolaznog saobraćaja**
 - Sprovodi se slično kao u slučaju jednog provajdera
 - Efikasnije je ako su provajderi „udaljeni“ jedni od drugih (povezani na različite nad-provajdere)
- Problemi
 - Ne može se idealno balansirati saobraćaj
 - Moguće asimetrično rutiranje
 - Odlazni i dolazni saobraćaj se prenosi po različitim linkovima



Tranzitni saobraćaj za bekap vezu

- Autonomni sistemi mogu jedan drugom da omoguće bekap vezu u slučaju prekida primarne veze
 - Prema drugom AS-u se oglašava pripadajuća mreža sa *AS Path Prepend* – veći broj AS brojeva
 - Na primarnoj vezi pripadajuća mreža se regularno oglašava (bez *AS Path Prepend*)
 - U slučaju prekida primarne veze saobraćaj će da dolazi preko bekap veze

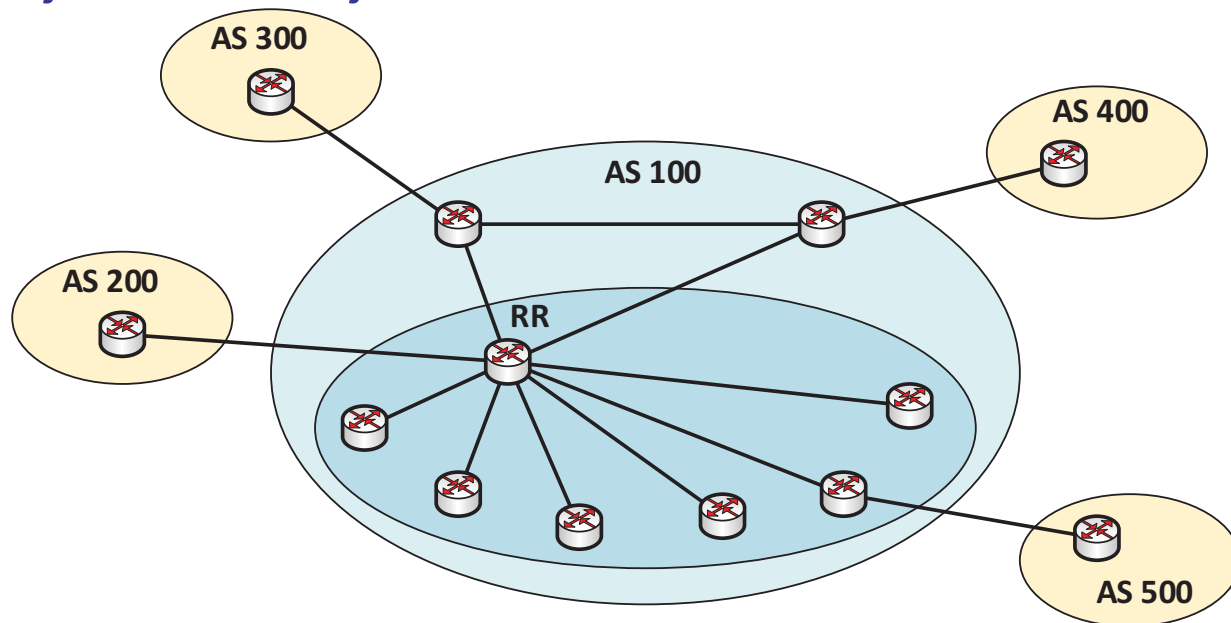


IBGP skalabilnost

- EBGP:
 - Globalno posmatrano, ceo AS predstavlja jednu tačku
- IBGP:
 - Unutar AS-a se ne menja *AS Path* atribut
 - *AS Path* ne može da se koristi za otklanjanje petlji unutar AS-a
 - Rute dobijene putem IBGP ne prosleđuju se drugim IBGP susedima!
 - Posledica
 - Mora da postoji potpun graf povezanosti IBGP suseda – ukupno $n(n-1)/2$
 - Neskalabilno - ograničen broj IBGP rutera u jednom AS-u
 - Rešenje – segmentacija IBGP funkcionalnosti unutar AS-a
 - *Route Reflector* – Reflektor ruta
 - *Confederation* – Konfederacije

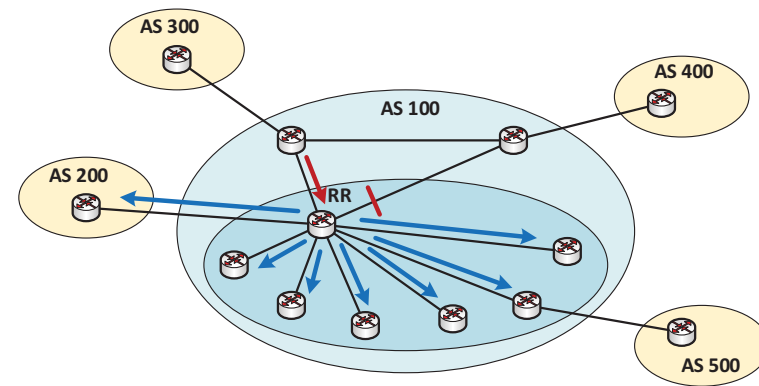
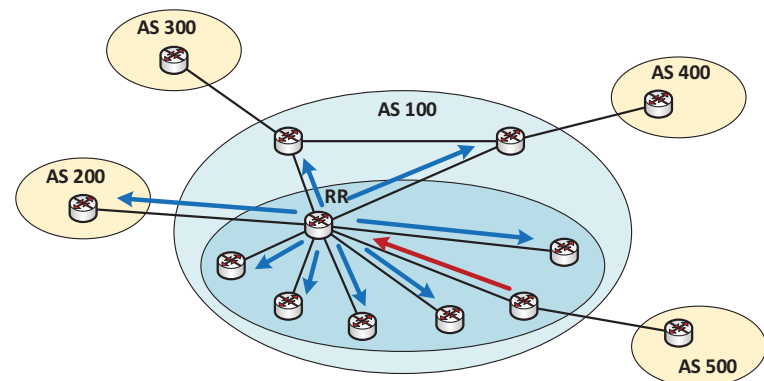
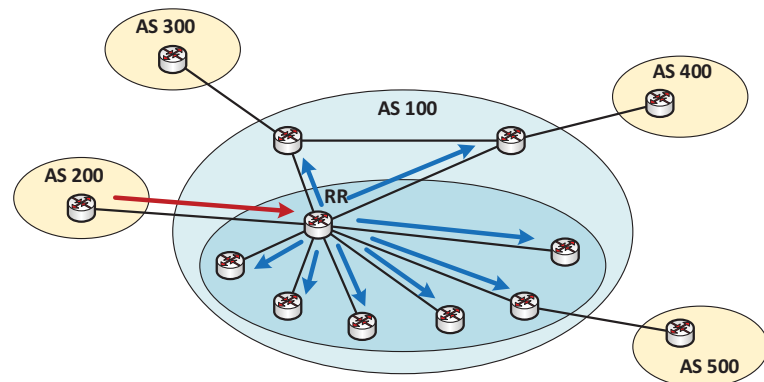
Reflektor ruta

- *Route Reflector* – Reflektor ruta (klasterizacija)
 - Izdvajanje određenog broja IBGP rutera u tzv. klaster (*cluster*)
 - Reflektor ruta (RR) – centralni uređaj u klasteru
 - Klijenti – ostali IBGP ruteri u klasteru – direktni IBGP susedi sa RR
 - Ceo klaster simulira rad jednog IBGP rutera
 - Unutar klastera RR prenosi rute između klijenata („reflektuje rute“)
 - RR gradi susedstvo sa ostalim IBGP ruterima koji nisu u klasteru
 - Klaster ima svoju identifikaciju, tzv. *Cluster ID* – obično IP adresa od RR



Reflektor ruta

- Princip rada RR kada dobije rutu (*Update* poruka)
 - Ako je ruta dobijena od EBGP suseda
 - Ruta se prosleđuje svim susedima (klijentima i ostalim IBGP i EBGP ruterima)
 - Ako je ruta dobijena od klijenta iz klastera
 - Ruta se prosleđuje svim susedima (klijentima, i ostalim IBGP i EBGP ruterima)
 - Ako je ruta dobijena od IBGP suseda koji nije klijent
 - Ruta se prosleđuje samo klijentima u klasteru i EBGP susedima

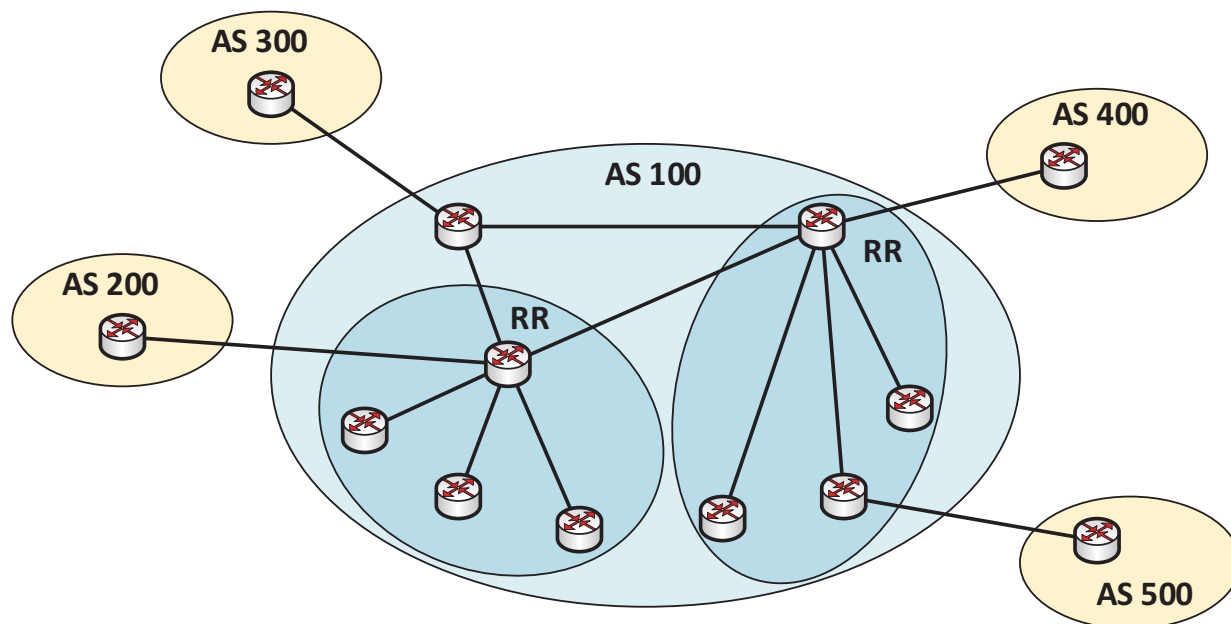


Reflektor ruta

- Redundantnost – obično dva RR u klasteru
 - Svi klijenti uspostavljaju susedstvo sa oba RR u klasteru
 - Može i indirektno susedstvo, ali ne preko drugog RR, jer se gubi redundantnost
- Problem
 - Prosleđivanje ruta između dva RR može da stvori petlju pri rutiranju
- Rešenje – dodatni atributi
 - *Originator ID*
 - *Router ID* od rutera koji je poslao rutu
 - *Cluster List*
 - Niz identifikatora klastera unutar AS-a (slično *AS Path* atributu)
 - RR pri oglašavanju rute dodaje identifikaciju klastera u listu
 - Ruta se odbacuje ako se prepozna identifikator pripadajućeg klastera

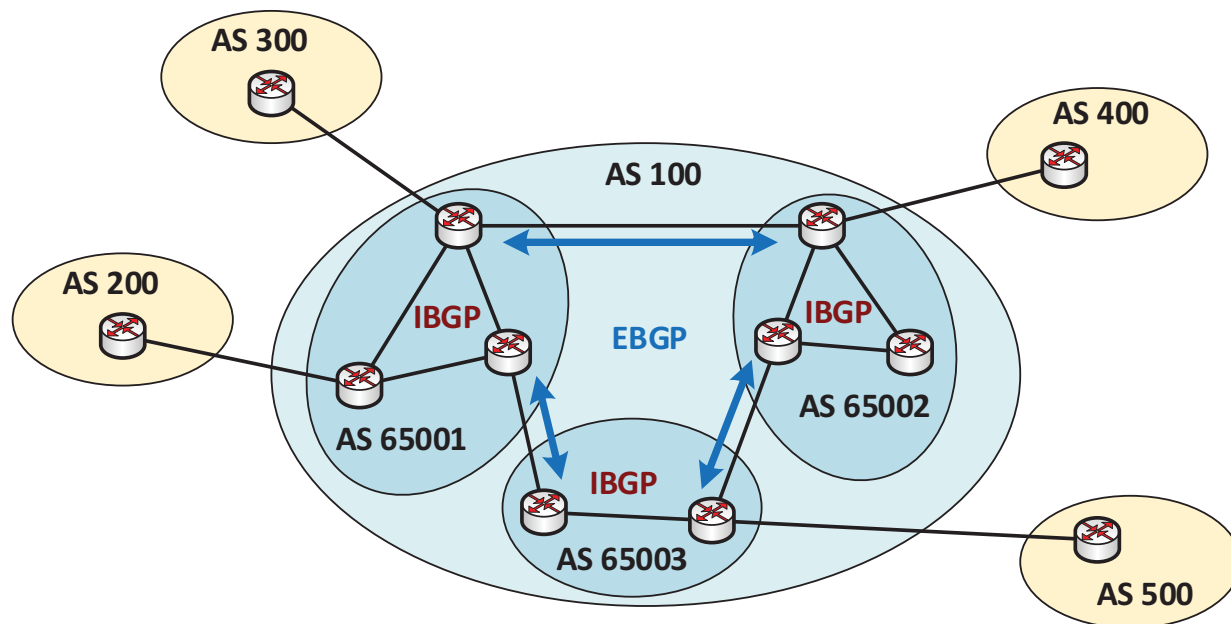
Reflektor ruta

- Više klastera u jednom AS-u
 - Svaki klaster radi nezavisno
 - Međusobno su povezani svako-sa-svima
 - Dodatno omogućava skalabilnost i fizičko grupisanje IBGP rutera



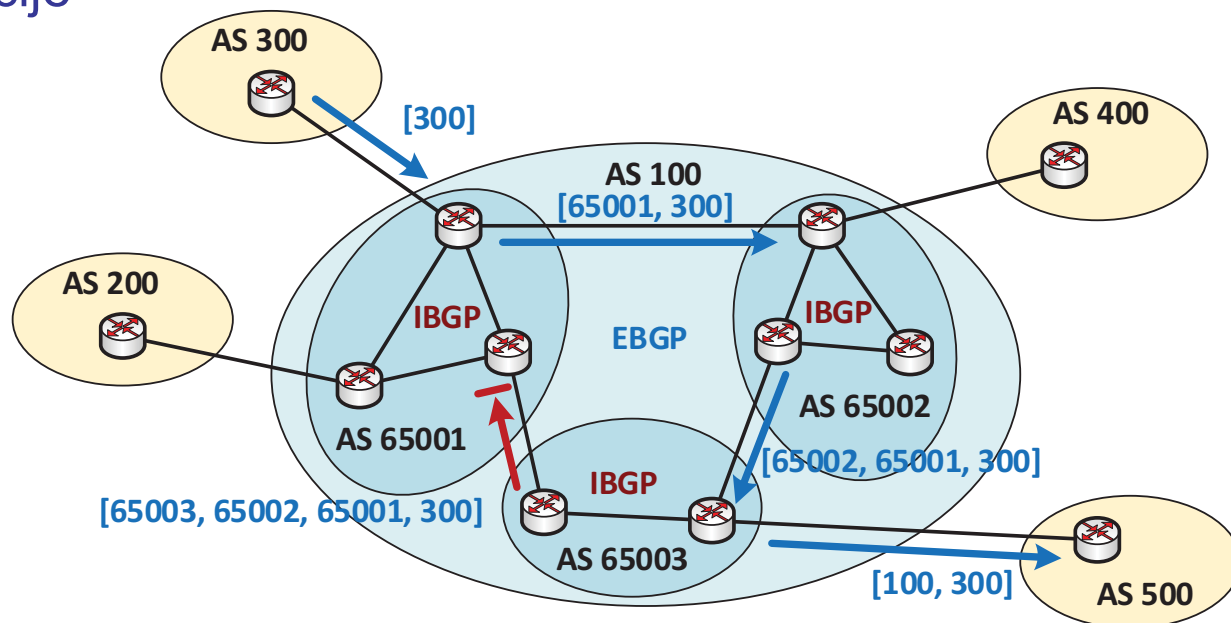
Konfederacije

- Konfederacija
 - AS se deli na više manjih delova, tzv. pod-AS (*Sub-AS*)
 - Pod-AS koristi tzv. privatne identifikatore – opseg od 64512 do 65535
 - Unutar pod-AS se koristi IBGP
 - **Između pod-AS se koristi EBGP, ali je prenos atributa kao kod IBGP**
 - Prenose se *Local Preference*, MED i drugi netranzitivni atributi



Konfederacije

- Prenošenje *AS Path* atributa
 - Unutar posmatranog AS, između pod-AS
 - Dodaju se privatni AS brojevi – zaštita od petlji
 - Na izlasku iz AS
 - Brišu se svi privatni AS brojevi
- Unutrašnja organizacija AS-a nevidljiva prema spolja
 - Funkcionalnost je ista bez obzira da li se koristi IBGP ili ne, sa ili bez RR ili konfederacije

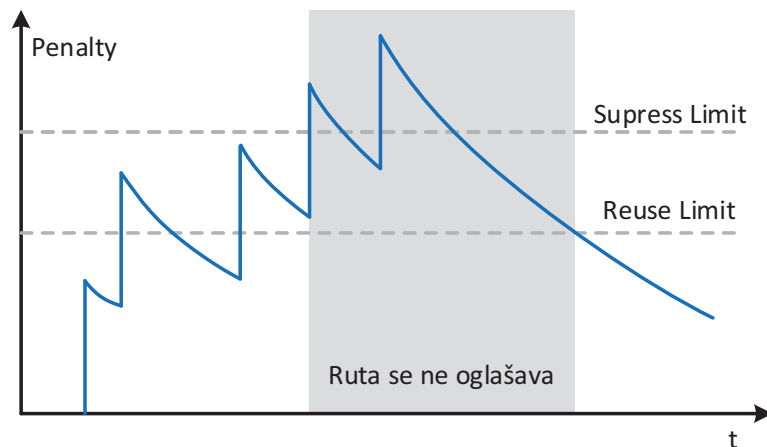


Proces izbora najbolje rute

- Sa konfederacijam se modifikuje proces izbora najbolje rute
 - Menja se pravilo broj 6:
 - „Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP u odnosu na rute dobijene preko IBGP“
 - Novo pravilo:
 - „Prednost se daje ruti dobijenoj preko EBGP od spoljašnjih AS, a zatim ruti dobijenoj preko EBGP od drugo pod-AS (unutar konfederacije), u odnosu na rute dobijene preko IBGP“

Ograničavanje čestih promena

- BGP rute propagiraju po celom Internetu i utiču na rad svih BGP rutera
 - Česte promene nisu poželjne i treba ih sprečiti
- *Route Flap Damping* – zaštita od česti promena (RFC 2439)
 - Svakoј ruti se dodeljuje tzv. *Penalty*
 - Inicijalna vrednost je 0
 - Kada se ruta promeni (promeni se bilo koji atribut):
 - *Penalty* se povećava za određenu vrednost
 - Kada nema promena rute za fiksno definisano vreme (*Half Life*):
 - *Penalty* se smanjuje na polovinu vrednosti („vreme polu-raspada“)
- Dve granične vrednosti:
 - *Supress Limit* – gornja granica
 - Kada *Penalty* pređe preko – početak suspenzije
 - Ruta se više ne oglašava drugim ruterima
 - *Reuse Limit* – donja granica
 - Kada *Penalty* padne ispod – kraj suspenzije
 - Ruta se ponovo oglašava drugim ruterima



Multiprotocol BGP

- Originalni BGP (v4) – samo za IPv4 adrese
- *Multiprotocol Extensions for BGP-4* (RFC 2283, 1998; RFC 4760, 2007)
 - Omogućava prenos ruta i atributa drugih protokola – IPv4
- Novi atributi:
 - *Multiprotocol Reachable NLRI* – adrese koje oglašavaju
 - *Address Family Identifier* – vrsta adrese, 2 bajta
 - *Length of Next Hop Network Address*, 1 bajt
 - NLRI – mrežna adresa koja se oglašava
 - *Length* – dužina maske, 1 bajt
 - *Prefix* – vrednost mrežne adrese
 - *Next Hop*
 - *Multiprotocol Unreachable NLRI* – adrese (rute) koje se brišu
 - *Address Family Identifier* – vrsta adrese, 2 bajta
 - *Withdrawn Routes NLRI* – lista adresa koje se brišu, varijabilna dužina

Komande za uvid u stanje BGP procesa

- Pregled sumarnih BGP podataka, uključujući i susede

```
cisco6509#show ip bgp summary
```

```
BGP router identifier 147.91.0.112, local AS number 13092
BGP table version is 7948641, main routing table version 7948641
231996 network entries using 26215548 bytes of memory
916880 path entries using 44010240 bytes of memory
166184/40989 BGP path/bestpath attribute entries using 16618400 bytes of memory
149650 BGP AS-PATH entries using 5010050 bytes of memory
719 BGP community entries using 54846 bytes of memory
1 BGP extended community entries using 24 bytes of memory
11 BGP route-map cache entries using 352 bytes of memory
0 BGP filter-list cache entries using 0 bytes of memory
BGP using 91909460 total bytes of memory
230725 received paths for inbound soft reconfiguration
BGP activity 461155/219523 prefixes, 3578344/2640492 paths, scan interval 60 secs
```

Neighbor	V	AS	MsgRcvd	MsgSent	TblVer	InQ	OutQ	Up/Down	State/PfxRcd
147.91.0.3	4	13092	33130	44767	7948641	0	0	3w1d	14
147.91.8.77	4	6701	36200	33085	7948623	0	0	3w1d	83
160.99.1.12	4	13303	32342	33593	7948623	0	0	05:19:26	1
195.111.106.254	4	1955	1427338	32729	7948623	0	0	1w1d	945683
195.178.34.57	4	8400	2337131	33086	7948623	0	0	3w1d	940074
195.178.35.17	4	8400	0	0	0	0	0	never	Idle
195.251.4.45	4	34771	1042768	33245	7948623	0	0	1w0d	230296

Komande za uvid u stanje BGP procesa

- Pregled BGP tabele

```
cisco6509#show ip bgp
```

```
BGP table version is 5011434, local router ID is 147.91.0.112
```

```
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,  
               S Stale
```

```
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
```

Network	Next Hop	Metric	LocPrf	Weight	Path
* 0.0.0.0	195.178.34.57	150		0	8400 8400 i
*>	195.178.35.17			0	8400 8400 i
*> 3.0.0.0	195.178.35.7			0	8400 8400 702 703 80 i
*	195.178.34.57	150		0	8400 8400 702 703 80 i
*	195.251.4.44			0	34771 5408 20965 3356 701 703 80 i
* 4.0.0.0	195.178.34.57	150		0	8400 8400 5400 3356 i
*	195.178.35.17			0	8400 8400 5400 3356 i
*>	195.251.4.44			0	34771 5408 20965 3356 i
* 4.23.84.0/22	195.178.34.57	150		0	8400 8400 5400 6461 20171 i
*>	195.178.35.17			0	8400 8400 5400 6461 20171 i
*	195.251.4.44			0	34771 5408 20965 1299 6461 20171 i
* 4.23.112.0/22	195.178.34.57	150		0	8400 8400 5400 174 21889 i
*>	195.178.35.17			0	8400 8400 5400 174 21889 i
*	195.251.4.44			0	34771 5408 20965 1299 174 21889 i
* 4.23.180.0/24	195.178.34.57	150		0	8400 8400 5400 6128 30576 i
*>	195.178.35.17			0	8400 8400 5400 6128 30576 i
*	195.251.4.44			0	34771 5408 20965 1299 6128 30576 i

Pomoćni alati - *Looking Glass*

- **Looking Glass** – uvid u stanje na udaljenim ruterima
- Spisak podržanih sajtova: <http://traceroute.org/#Looking%20Glass>

- Primeri:

- <http://bgp.he.net/>
- <http://integra.net/lg/>
- <http://lg.telekom.rs>
- <http://lg.eastlink.ca/>
- <http://lg.enta.net/>
- <http://lg.df.ru/>
- <http://merry.netsys.more.net/lg/index.cgi>
- <http://lg.lan.switch.ch/lg/lg.cgi>
- <http://lg.gin.ru/lg/>
- https://www.pch.net/tools/looking_glass

The screenshot shows the BT Global Services Looking Glass website. The header includes the BT logo and navigation links: Home, BT Global Services, Tools, Network Information, Looking Glass, and IP Performance. The main content area is titled "Looking Glass" and "BT Global Services: Looking Glass". It contains a welcome message and a list of tools to choose from: Ping, Nslookup, IP Route, BGP Dampened-Paths, BGP Network (selected), BGP AS path quote-regex, Traceroute, Dig, BGP Summary, BGP Flap-Statistics, BGP AS path regex, and BGP Neighbours. There are "SUBMIT" and "RESET" buttons. A footer note states: "Please be aware that the use of these tools will be strictly monitored by BT Global Services personnel. Please see the BT Global Services Acceptable Use Policy for further details."

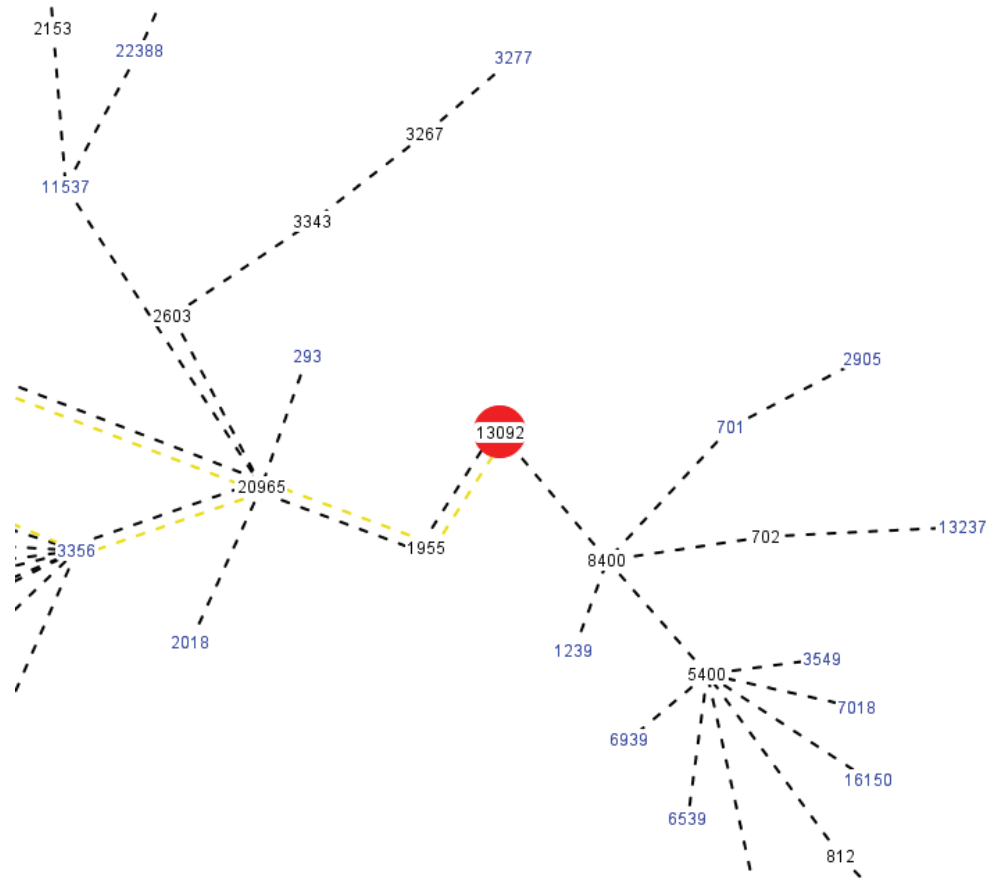
The screenshot shows the results of a BGP Network query on the BT Global Services Looking Glass website. The query details are: Router: Austria - t2s1.at-vie, Address: 147.91.0.0. The results display the BGP routing table entry for 147.91.0.0/17, version 27825410, with 2 available paths. The output includes the originator, cluster list, and community information for the selected path.

Query:	BGP Network
Router:	Austria - t2s1.at-vie
Address:	147.91.0.0

BGP routing table entry for 147.91.0.0/17, version 27825410
Paths: (2 available, best #2)
Multipath: eBGP
Advertised to update-groups:
1
8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.32 (166.49.166.32)
Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal
Community: 5400:49
Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.32, 166.49.166.64
8400 8400 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092 13092
166.49.166.73 (metric 156) from 166.49.166.65 (166.49.166.65)
Origin IGP, metric 0, localpref 190, valid, internal, best
Community: 5400:49
Originator: 166.49.166.73, Cluster list: 166.49.166.65

Pomoćni alati - BGPlay

- Aplikacija za praćenje BGP podataka tokom vremena
 - Ostvaruje komunikaciju sa BGP ruterom
 - Prikuplja rute i prati promene
 - Daje grafički prikaz AS topologije tokom vremena



Literatura

- Sam Halabi
“Internet Routing Architectures”,
Cisco Press
- Pavle Vuletić
„Računarske mreže 2“
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu