

Mrežni sloj: upravljačka ravnina

Predavanje 7 • kolegij Računalne mreže

doc. dr. sc. Sandi Baressi Šegota

Fakultet informatike Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli

Sadržaj predavanja

- 1 Upravljačka ravnina i usmjeravanje
- 2 Algoritmi usmjeravanja
- 3 Usmjeravanje na Internetu
- 4 SDN, ICMP i upravljanje
- 5 Sažetak

Upravljačka ravnina i usmjeravanje

Ishodi učenja

Nakon ovog predavanja moći ćete:

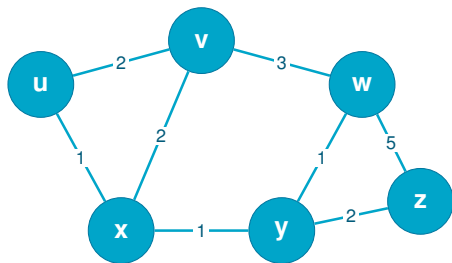
- objasniti zadaću **upravljачke ravnine**;
- primijeniti **Dijkstrin** (link-state) algoritam;
- objasniti **distance-vector** usmjeravanje;
- razlikovati **OSPF** (intra-AS) i **BGP** (inter-AS);
- opisati **SDN** upravljачku ravninu i **ICMP**.

Uloga upravljačke ravnine

- **računa** tablice prosljeđivanja u ruterima
- odgovara na pitanje: *kojim putem* do odredišta?
- dva pristupa: **po ruteru** (klasično) i **SDN** (centralizirano)

Mreža kao graf

- **čvorovi** = ruteri
- **bridovi** = linkovi s *cijenom*
- cilj: **najjeftiniji put**



Dva pristupa upravljačkoj ravnini

Po ruteru

Svaki ruter **sam** računa, razmjenjujući informacije sa susjedima.

SDN

Centralni kontroler računa i postavlja tablice u uređaje.

Algoritmi usmjeravanja

Što predstavlja cijena linka?

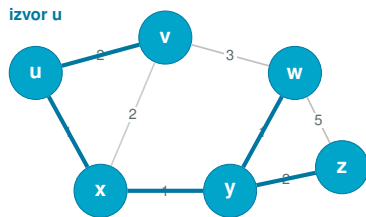
- može biti **1** po skoku (broj skokova)
- ili obrnuto proporcionalna **propusnosti**
- ili odražavati **kašnjenje** / opterećenje

Posljedica

Izbor metrike **oblikuje** putove koje algoritam bira.

Link-state: Dijkstra

- svaki ruter zna **cijelu** topologiju
- računa **najkraće putove** do svih
- gradi *stablo najkraćih putova*



podebljano: stablo najkraćih putova od u

Dijkstra: ideja algoritma

- 1 skup „riješениh” čvorova $N' = \{u\}$
- 2 za svaki čvor: procjena udaljenosti $D(v)$
- 3 odaberi **najbliži** nesiješeni čvor, dodaj u N'
- 4 **ažuriraj** udaljenosti susjeda, ponavlja

Rezultat

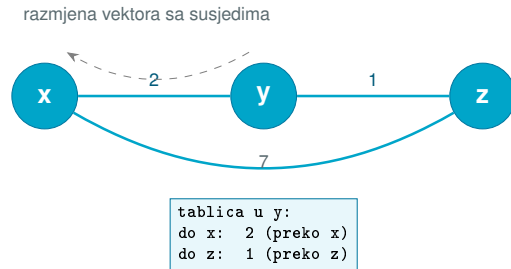
Za svaki čvor: najjeftiniji put i prvi skok $\Rightarrow$ tablica prosljeđivanja.

Dijkstra: primjer (izvor u)

korak	riješeno / najbliži
0	{u}
1	dodaj x (D=1)
2	dodaj v (D=2)
3	dodaj y (preko x, D=2)
4	dodaj w (preko y, D=3)
5	dodaj z (preko y, D=4)

Distance-vector: Bellman-Ford

- ruter zna samo **susjede** i cijene do njih
- razmjenjuje **vektore udaljenosti**
- $D_x(y) = \min_v \{c(x, v) + D_v(y)\}$



Distance-vector: kako se širi

- svaki čvor povremeno šalje svoj vektor susjedima
- susjed **ažurira** vlastite procjene
- promjene se šire dok se ne **ustali** (konvergencija)

Distance-vector: primjer

- čvor x zna: $c(x, y) = 2$, $c(x, z) = 7$
- od y primi: $D_y(z) = 1$
- ažurira: $D_x(z) = \min\{7, 2 + 1\} = 3$ (preko y)

Poanta

Bolja procjena stiže od susjeda i **širi se** dalje kroz mrežu.

Problem: brojanje do beskonačnosti

- „loše vijesti putuju sporo”
- nakon prekida cijena raste **malim** koracima
- ublažavanja: **poisoned reverse**, ograničenje broja skokova

Link-state vs Distance-vector

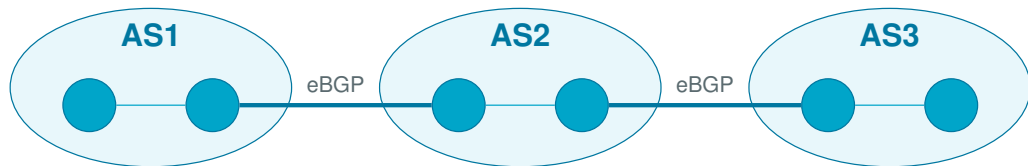
Link-state	Distance-vector
poznata cijela topologija	poznati samo susjedi
Dijkstra	Bellman-Ford
brza konvergencija	moguć count-to-infinity
više poruka (flooding)	manje poruka

Usmjeravanje na Internetu

Zašto hijerarhija?

- Internet ima **stotine milijuna** rutera — jedan algoritam ne skalira
- svaka organizacija želi **autonomiju** u politici
- rješenje: **autonomni sustavi (AS)**

Autonomni sustavi (AS)



- **unutar** AS-a: intra-AS protokol (npr. OSPF)
- **između** AS-ova: inter-AS protokol (BGP)

Intra-AS: OSPF

- **link-state** protokol (Dijkstra) unutar AS-a
- ruteri emitiraju stanje svojih linkova (flooding)
- podrška za **područja** (areas), autentikaciju

Alternativa

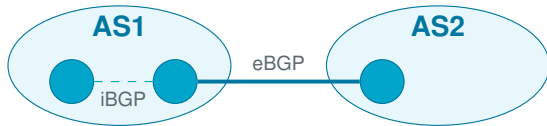
RIP je stariji **distance-vector** intra-AS protokol.

OSPF: značajke

- **područja** (areas) smanjuju opseg preplavljanja i tablica
- **granični** ruteri povezuju područja s okosnicom
- podrška za **autentikaciju** i višestruke metrike

Inter-AS: BGP

- „ljepilo” Interneta
- **eBGP** između AS-ova, **iBGP** unutar
- oglašava **dosežnost** prefiksa i *put* (AS-path)



oglas: „do prefiksa P, put = AS2 ...”

BGP: rute i politika

- ruta = prefiks + atributi (**AS-path**, sljedeći skok)
- izbor rute ovisi o **poslovnoj politici**, ne samo duljini
- primjer: preferiraj rutu preko *korisnika*, izbjegni skupu

eBGP i iBGP

- **eBGP** — sesija *između* rubnih rutera dvaju AS-ova; uči vanjske prefikse
- **iBGP** — distribuira te naučene rute *unutar* AS-a
- svi ruteri u AS-u tako dobiju dosljednu sliku vanjskih odredišta

BGP i poslovni odnosi

- **korisnik–pružatelj**: korisnik plaća tranzit
- **peer–peer**: besplatna razmjena vlastitog prometa
- politika: oglašavaj rute tako da **ne** plaćaš tuđi tranzit

Zaključak

BGP odluke su podjednako **ekonomske** koliko i tehničke.

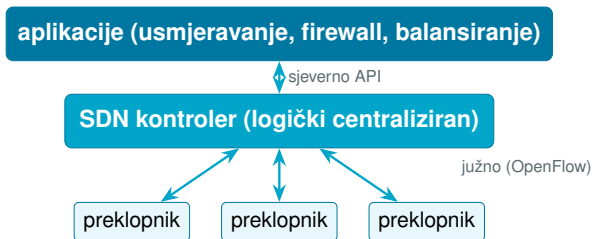
Hot-potato usmjeravanje

- kad više izlaza vodi do odredišta. . .
- odaberi onaj s **najmanjom** unutarnjom cijenom
- „riješi se paketa što prije” (najbliži izlaz)

SDN, ICMP i upravljanje

SDN upravljačka ravnina

- **centralni** kontroler
- **sjeverno API**: aplikacije
- **južno API**: OpenFlow prema uređajima



Zašto SDN?

- **fleksibilnost**: mreža programirljiva softverom
- **globalni** pogled olakšava optimizaciju
- odvaja „mozak” (kontroler) od „mišića” (uređaji)

OpenFlow: tablice tokova

- kontroler puni **tablice tokova** u preklopticima
- svaki unos: **uvjet** (polja paketa) → **akcija**
- akcije: proslijedi, odbaci, prepisi, pošalji kontroleru

ICMP

- prenosi **kontrolne** i *pogreške* poruke
- „odredište nedostupno”, „vrijeme isteklo”
- nosi se *unutar* IP paketa



ICMP prenosi kontrolne/pogreške poruke (u IP paketu)

ping i traceroute

- **ping**: echo request/reply — provjera dostupnosti
- **traceroute**: šalje pakete s rastućim **TTL**
- svaki ruter na „0” vraća *TTL exceeded* $\Rightarrow$ otkriva put

ICMP: tipovi poruka

- `echo request/reply` (tip 8/0) — ping
- `destination unreachable` (tip 3)
- `time exceeded` (tip 11) — TTL istekao (traceroute)

Sigurnost usmjeravanja

- **BGP hijacking**: lažno oglašavanje tuđih prefiksa
- posljedice: preusmjeravanje ili „gutanje” prometa
- zaštita: filtriranje, **RPKI** (provjera podrijetla ruta)

Upravljanje mrežom

- nadzor uređaja: stanje, promet, kvarovi
- protokol **SNMP** (agent + upravitelj)
- baza podataka **MIB** s upravljanim objektima

Sažetak

Ključne poruke

- upravljačka ravnina **računa** tablice prosljeđivanja
- **link-state** (Dijkstra) i **distance-vector** dva su pristupa
- Internet je hijerarhijski: **OSPF** unutar, **BGP** između AS-ova
- BGP bira rute po **politici**, ne samo duljini
- **SDN** centralizira upravljanje; **ICMP** nosi kontrolne poruke

Sljedeće predavanje

Podatkovni sloj i lokalne mreže: Ethernet, preklopnici, VLAN.

Pitanja za provjeru

- Koja je razlika između link-state i distance-vector pristupa?
- Što gradi Dijkstrin algoritam?
- Zašto Internet koristi autonomne sustave?
- Po čemu BGP bira rutu ako ih ima više?
- Kako traceroute otkriva put pomoću TTL-a?

Hvala na pažnji!

Pitanja i rasprava

doc. dr. sc. Sandi Baressi Šegota • FIPU