

Primjena protokola BGP koristeći koncept programski upravljanih mreža

Bušić, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:446247>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-27**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 822

**PRIMJENA PROTOKOLA BGP KORISTEĆI KONCEPT
PROGRAMSKI UPRAVLJANIH MREŽA**

Tin Bušić

Zagreb, lipanj 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 822

**PRIMJENA PROTOKOLA BGP KORISTEĆI KONCEPT
PROGRAMSKI UPRAVLJANIH MREŽA**

Tin Bušić

Zagreb, lipanj 2023.

Zagreb, 10. ožujka 2023.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 822

Pristupnik: **Tin Bušić (0036518735)**
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul: Računarstvo
Mentor: prof. dr. sc. Željko Ilić

Zadatak: **Primjena protokola BGP koristeći koncept programski upravljanih mreža**

Opis zadatka:

Internet se sastoji od mnogo međusobno povezanih grupa mrežnih usmjeritelja (engl. routers) koji se nazivaju autonomnim sustavima. Protokol usmjeravanja BGP (engl. Border Gateway Protocol) služi za komunikaciju tj. razmjenu informacija i dostupnosti između autonomnih sustava. Ipak, BGP ima sigurnosnu ranjivost zbog poteškoća autentikacije između različitih autonomnih sustava. Vaš je zadatak analizirati protokol usmjeravanja BGP s posebnim naglaskom na rješavanje problema autentikacije pomoću koncepta programski upravljanih mreža (engl. Software Defined Networks). Svu potrebnu literaturu i uvjete za rad osigurat će Vam Zavod za telekomunikacije.

Rok za predaju rada: 9. lipnja 2023.

Sadržaj

1.	Uvod u protokol BGP i programski upravljane mreže	1
1.1.	Definicija protokola BGP	1
1.2.	Funkcionalnost i karakteristike protokola BGP	1
2.	Koncept programski upravljanih mreža (SDN)	3
2.1.	Definicija i principi	3
2.2.	Arhitektura SDN-a	4
2.3.	Prednosti i primjena SDN-a	5
2.4.	Integracija BGP-a i SDN-a	6
3.	Primjene protokola BGP u programski upravljanim mrežama.....	8
3.1.	Centralizirano upravljanje mrežom.....	8
3.2.	Dinamičko prilagođavanje mreže	8
3.3.	Optimizacija mrežnih resursa	8
3.4.	Automatsko konfiguriranje i upravljanje BGP peering vezama	9
3.5.	Dinamičko upravljanje BGP rutama.....	9
3.6.	Poboljšanje sigurnosti mreže	10
3.7.	Primjeri primjene i stvarni slučajevi	10
3.8.	Primjena protokola BGP koristeći koncept SDN-a u velikim mrežama.....	10
3.9.	Primjeri optimizacije mrežnih resursa kroz kombinaciju BGP-a i SDN-a.....	11
3.10.	Poboljšanje sigurnosti mreže pomoću BGP-a i SDN-a	11
3.11.	Budućnost	11
	Sažetak	13
	Summary	14
	Zaključak.....	15
	Literatura.....	16
	Skraćenice	17

1. Uvod u protokol BGP i programski upravljane mreže

U današnjem digitalnom dobu, mreže su postale ključni element za povezivanje korisnika i organizacija diljem svijeta. Upravljanje mrežama i osiguravanje pouzdane razmjene podataka postali su ključni izazovi za IT stručnjake. U tom kontekstu, protokol BGP (*Border Gateway Protocol*) i koncept programski upravljanih mreža dobivaju sve veću pažnju kao potencijalna rješenja za poboljšanje performansi i skalabilnosti mrežnih sustava.

1.1. Definicija protokola BGP

Protokol BGP je standardizirani protokol koji upravlja kako se paketi usmjeravaju između mreža kroz razmjenu informacija o usmjeravanju i dostupnosti među rubnim usmjerivačima. Koristi se za komunikaciju između autonomnih sustava (AS) što je prikazano na slici (Slika 1).

Autonomni sustav je skup mreža kojima upravlja jedna uprava ili davatelj usluga poput ISP-a (*Internet Service Provider*).

Protokol BGP predstavlja vitalnu komponentu internetskog rutiranja između autonomnih sustava. On omogućuje razmjenu informacija o rutiranju između različitih mrežnih domena i autonomnih sustava kako bi se pravilno usmjerio promet. BGP se koristi za odabir najbolje putanje za preusmjeravanje paketa preko različitih mrežnih točaka i osigurava pouzdanu i efikasnu razmjenu podataka.

Ovaj protokol ima svoje specifičnosti, poput upotrebe složenih pravila usmjerenosti i izmjene informacija o mrežnim rutama.

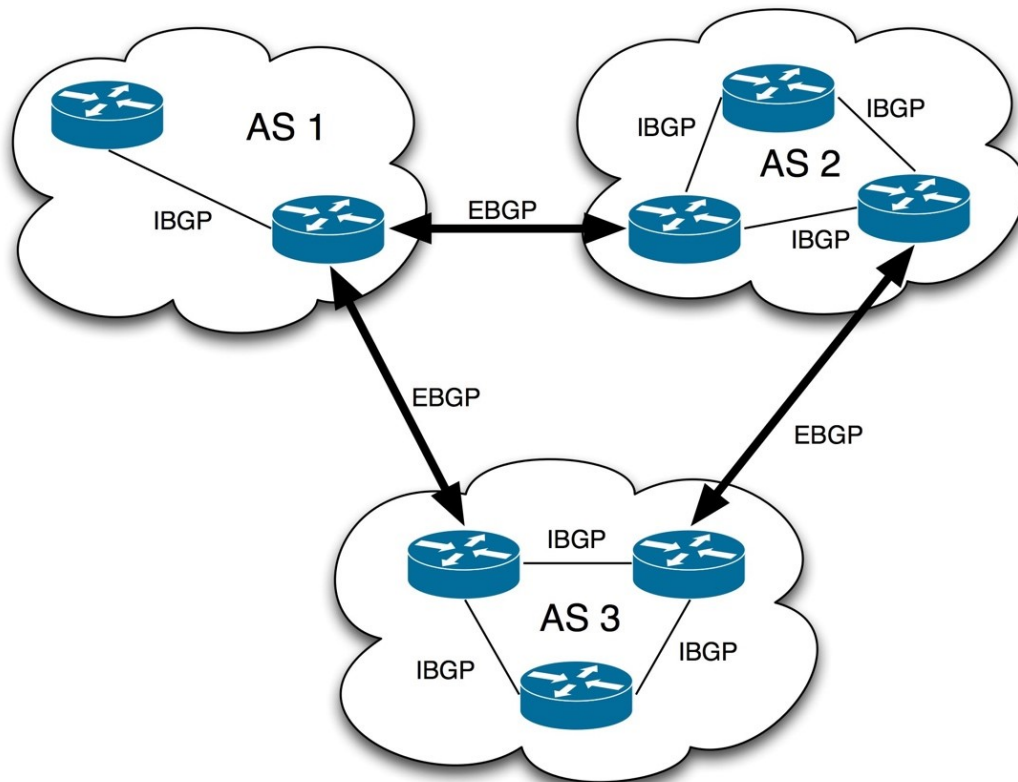
1.2. Funkcionalnost i karakteristike protokola BGP

Ovdje su neke od glavnih funkcionalnosti i karakteristika protokola BGP:

- Pouzdanost pri razmjeni informacija:
 - BGP je dizajniran da bude izuzetno pouzdan prilikom razmjene informacija o mrežnim putevima između različitih autonomnih sustava. On koristi TCP (*Transmission Control Protocol*) kao pouzdanu transportnu vezu, što osigurava da se informacije sigurno dostave i da se održava integritet podataka.
- Putanje i odlučivanje o najboljem putu:
 - BGP koristi složeni algoritam odlučivanja o najboljem putu (*path selection algorithm*) kako bi odredio najbolji put za slanje podataka prema određenoj destinaciji. Taj algoritam uzima u obzir različite metrike, kao što su udaljenost,

brzina veze, politike rutiranja i kvaliteta usluge (QoS), kako bi odabrao optimalnu putanju za slanje podataka.

- Rutiranje *Policy-based*:
 - Jedna od ključnih karakteristika BGP-a je mogućnost implementacije rutiranja *policy-based*. To znači da administratori mreže mogu postaviti politike rutiranja koje će utjecati na putanje koje se koriste za slanje podataka. Ove politike mogu uključivati preferiranje određenih veza, izbjegavanje određenih putanja ili kontrolu protoka podataka na temelju različitih parametara.



Slika 1. Upotreba protokola BGP u autonomnim sustavima [1]

2. Koncept programski upravljanih mreža (SDN)

Koncept programski upravljanih mreža (SDN - *Software Defined Networking*) predstavlja inovativni pristup u oblasti mrežnog upravljanja i konfiguracije. Tradicionalni mrežni modeli oslanjaju se na zatvorene, hardverske uređaje za obavljanje upravljačkih funkcija, što često rezultira ograničenom skalabilnošću, kompleksnošću konfiguracije i nedovoljnom fleksibilnošću u odgovoru na promjene u zahtjevima mreže.

2.1. Definicija i principi

SDN predstavlja novi pristup upravljanju mrežnim infrastrukturama koji se temelji na razdvajanju upravljačke logike mreže od samih mrežnih uređaja. SDN mijenja tradicionalni način upravljanja mrežama, omogućujući veću fleksibilnost, kontrolu i automatizaciju.

U SDN-u, upravljačka logika je centralizirana u entitet poznat kao "kontrolni ravnatelj" (*controller*). Kontrolni ravnatelj je softverska aplikacija koja ima cjelovit uvid u mrežnu topologiju, promet i stanje mreže. Umjesto da svaki mrežni uređaj donosi lokalne odluke o usmjeravanju i obradi prometa, kontrolni ravnatelj donosi odluke i distribuira ih mrežnim uređajima. Principi SDN-a uključuju:

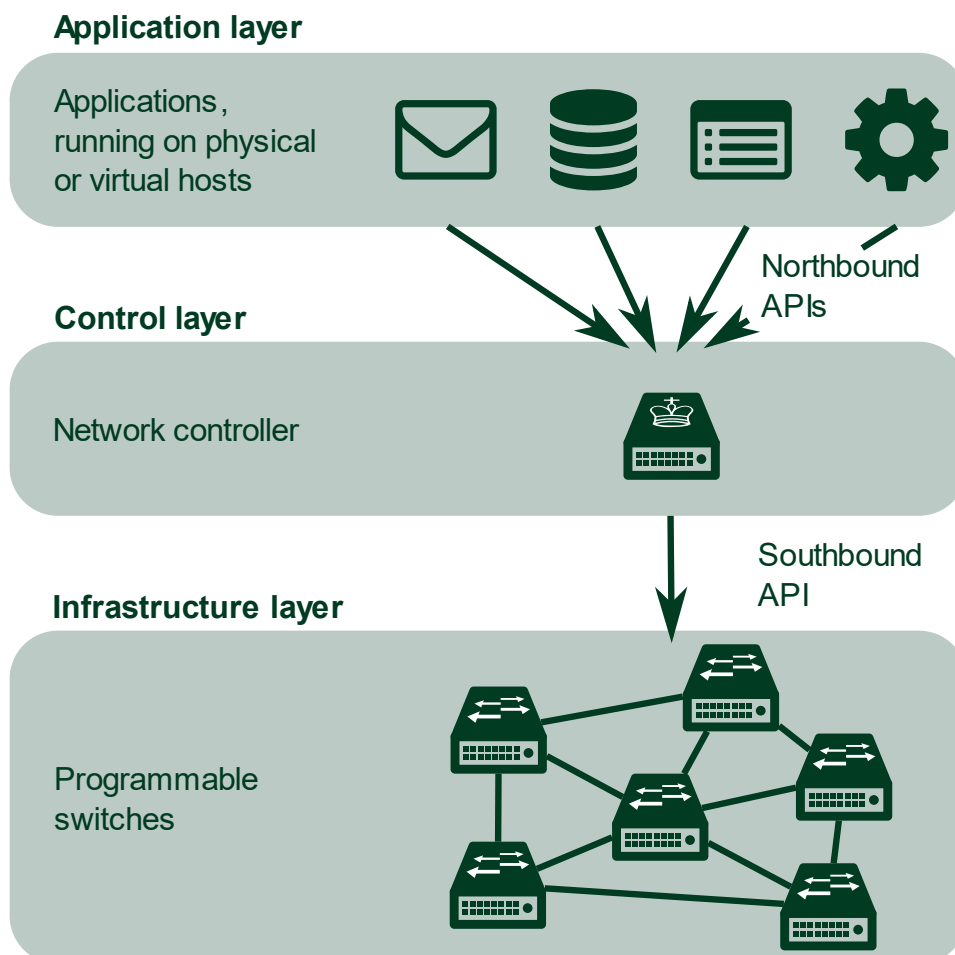
- Centralizacija upravljanja:
 - U SDN-u, upravljačka logika se centralizira u kontrolnom ravnatelju, što omogućuje jedinstvenu kontrolnu točku za upravljanje cijelom mrežom. To olakšava konfiguriranje, nadzor i dijagnostiku mreže, jer se promjene mogu primijeniti na sve uređaje iz jednog mjesta.
- Odvajanje upravljačke logike od mrežnih uređaja:
 - SDN razdvaja upravljačku logiku od samih mrežnih uređaja poput prekidača i usmjerivača. Mrežni uređaji postaju "uređaji za prosljeđivanje" (*forwarding devices*) koji slijede upute i donose odluke koje im šalje kontrolni ravnatelj. Ovo odvajanje omogućuje veću fleksibilnost, skalabilnost i brže inovacije u mrežnom okruženju.
- Programabilnost:
 - SDN omogućuje programabilnost mreže putem otvorenih sučelja i API-ja (*Application Programming Interface*). To znači da se upravljačka logika može programirati i prilagoditi specifičnim potrebama mreže. Upravitelji mreže mogu pisati aplikacije i algoritme koji rade s kontrolnim ravnateljem kako bi postigli željene funkcionalnosti i prilagodili mrežu prema specifičnim zahtjevima.

- Centralizirana vizija mreže:
 - Kontrolni ravnatelj u SDN-u ima cjelovit uvid u mrežnu topologiju, promet i stanje mreže. To omogućuje bolje nadziranje i dijagnostiku mreže, optimizaciju prometa, rješavanje problema i implementaciju sigurnosnih politika.

SDN donosi brojne prednosti u odnosu na tradicionalne mreže, kao što su veća fleksibilnost, brža implementacija promjena, bolja skalabilnost, poboljšana sigurnost i veća kontrola nad mrežnim prometom. Primjena SDN-a može biti raznovrsna, od podatkovnih centara do širokopojasnih mreža i bežičnih mreža.

2.2. Arhitektura SDN-a

Arhitektura programski upravljanih mreža (SDN) sastoji se od nekoliko ključnih komponenti koje omogućuju centraliziranu kontrolu i upravljanje mrežom, prikazano kao na slici (Slika 2).



Slika 2. Arhitektura programski upravljanih mreža (SDN) [2]

Glavne komponente arhitekture SDN-a su:

- Kontrolni ravnatelj (*Controller*):
 - Kontrolni ravnatelj je srce SDN arhitekture. To je softverska aplikacija ili entitet koji upravlja i nadzire cijelu mrežu. Kontrolni ravnatelj komunicira s preostalim komponentama i ima uvid u sve mrežne elemente kao što su usmjerivači, prekidači i ostali uređaji. On prima informacije o mrežnom stanju i donosi odluke o tome kako upravljati prometom u mreži.
- Logička centralizacija (*Logical Centralization*):
 - SDN arhitektura teži prema logičkoj centralizaciji mrežne kontrole. To znači da se upravljačka logika mreže centralizira u kontrolnom ravnatelju umjesto da bude distribuirana na svakom pojedinom mrežnom uređaju. Ova centralizirana kontrola omogućuje fleksibilnost, brzu promjenu i dinamičko upravljanje mrežnim prometom.
- Prijenosni protokol (*Southbound Protocol*):
 - Prijenosni protokol koristi se za komunikaciju između kontrolnog ravnatelja i mrežnih uređaja poput usmjerivača i prekidača. Najpoznatiji prijenosni protokol koji se koristi u SDN arhitekturi je *OpenFlow*. *OpenFlow* omogućuje kontrolnom ravnatelju da definira i upravlja putanjama prometa u mreži.
- Sučelje za upravljanje (*Northbound Interface*):
 - Sučelje za upravljanje koristi se za komunikaciju između kontrolnog ravnatelja i aplikacija ili servisa koji žele upravljati mrežom. Ovo sučelje omogućuje vanjskim entitetima da programski upravljaju mrežom i koriste informacije o mrežnom stanju.

2.3. Prednosti i primjena SDN-a

Programski upravljane mreže (SDN) donose niz prednosti i otvaraju nove mogućnosti za upravljanje mrežama. Neki od ključnih razloga za primjenu SDN-a su:

- Fleksibilnost i dinamičko upravljanje:
 - SDN omogućuje brzo prilagođavanje mrežnih resursa i promjenu putanja prometa. Kontrolni ravnatelj omogućuje centralizirano upravljanje mrežom, što olakšava dinamičko optimiziranje i preraspodjelu prometa prema promjenjivim uvjetima.
- Jednostavnije upravljanje:
 - SDN pojednostavljuje upravljanje mrežom jer se upravljačka logika centralizira. To omogućuje jednostavnije konfiguriranje, nadzor i dijagnostiku mreže.

- Efikasnije iskorištavanje resursa:
 - SDN omogućuje optimizaciju mrežnih resursa putem inteligentnog upravljanja prometom. To dovodi do boljeg iskorištavanja propusnosti, smanjenja zagušenja i povećanja ukupne učinkovitosti mreže.
- Primjena u virtualiziranim okruženjima:
 - SDN se često koristi u virtualiziranim okruženjima poput data centara. Omogućuje efikasno upravljanje mrežom u virtualnim okolinama, omogućavajući brzo uspostavljanje i konfiguriranje virtualnih mrežnih segmenata.

SDN se primjenjuje u raznim područjima, uključujući data centre, kampus mreže, pristupne mreže, širokopojasne mreže i mobilne mreže. Osim toga, SDN se sve više koristi u kontekstu *Internet of Things* (IoT) i 5G mreža radi pružanja fleksibilnog i skalabilnog upravljanja mrežom [7].

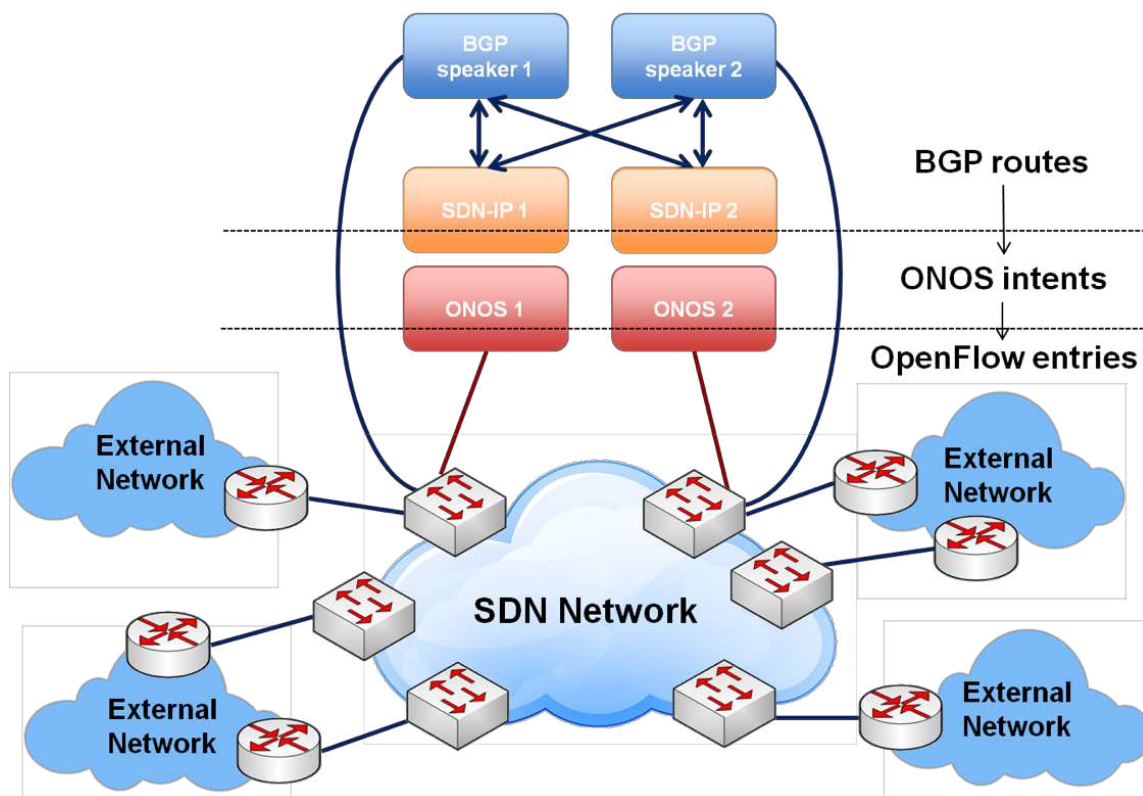
2.4. Integracija BGP-a i SDN-a

Integracija protokola BGP i SDN-a omogućava napredno upravljanje mrežnim prometom i rutiranjem što je prikazano na slici (Slika 3). BGP je najčešće korišten protokol za razmjenu informacija o rutama između autonomnih sustava (AS) na internetu [8].

Integracija BGP-a i SDN-a omogućuje kontrolnom ravnatelju da ima uvid u BGP rute i dinamički donosi odluke o tome kako usmjeriti promet. Kontrolni ravnatelj može primijeniti politike usmjeravanja, optimizirati putanje prometa i izvršavati druge napredne funkcije upravljanja mrežom. Ova integracija pruža fleksibilnost i granularnu kontrolu nad mrežnim prometom, čime se poboljšava ukupna performansa i sigurnost mreže.

Integracija BGP-a i SDN-a također omogućuje bolje iskorištavanje mrežnih resursa i bolju optimizaciju prometa. Kontrolni ravnatelj može donositi odluke o usmjeravanju temeljene na stvarnom stanju mreže, trenutnom opterećenju i drugim faktorima, čime se osigurava efikasnija upotreba mrežnih resursa.

Ukratko, integracija BGP-a i SDN-a omogućuje napredno upravljanje mrežnim prometom, optimizaciju usmjeravanja i bolje iskorištavanje mrežnih resursa. Ova kombinacija pruža mogućnosti za napredno upravljanje mrežama u složenim i dinamičkim okruženjima.



Slika 3. Integracija BGP-a i SDN-a [3]

3. Primjene protokola BGP u programski upravljanim mrežama

Primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama donosi brojne prednosti i primjene u centraliziranom upravljanju mrežom, dinamičkom prilagođavanju mreže, optimizaciji mrežnih resursa, automatskom konfiguriranju i upravljanju BGP *peering* vezama, dinamičkom upravljanju BGP rutama te poboljšanju sigurnosti.

3.1. Centralizirano upravljanje mrežom

Primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama omogućuje centralizirano upravljanje mrežom putem kontrolnog ravnatelja. Kontrolni ravnatelj ima pregled nad svim mrežnim uređajima i usmjerava promet na temelju globalnog pregleda mreže. Ova primjena omogućuje brzo i jednostavno konfiguriranje i upravljanje mrežnim usmjeravanjem. Centralizirano upravljanje omogućuje efikasno otkrivanje i rješavanje problema u mreži, kao i bolju kontrolu nad protokom podataka.

3.2. Dinamičko prilagođavanje mreže

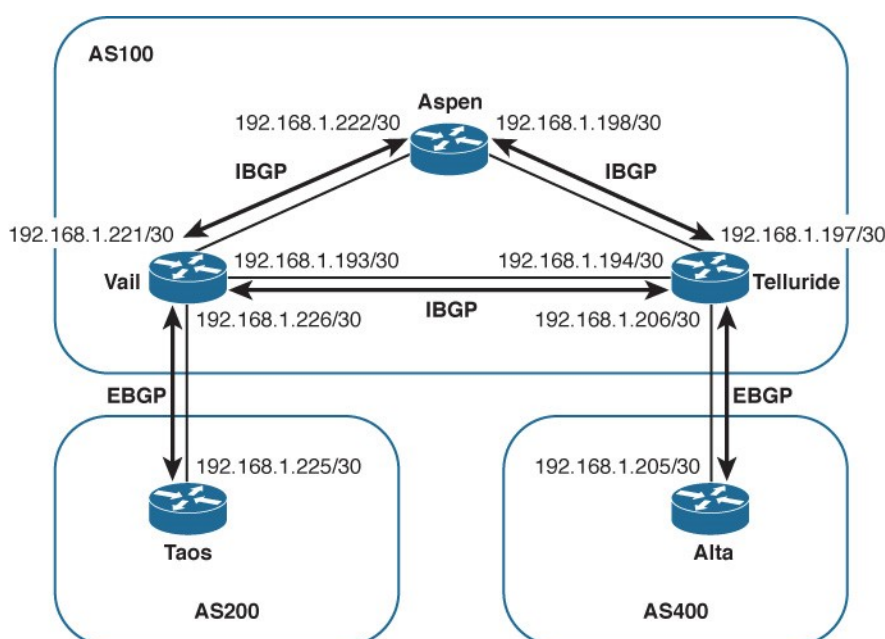
Integracija protokola BGP u programski upravljane mreže donosi dinamičko prilagođavanje mreže promjenjivim uvjetima. Kontrolni ravnatelj može primiti informacije o promjenama u mreži putem protokola BGP i na temelju tih informacija donositi odluke o usmjeravanju. To omogućuje brzu reakciju na promjene u mreži, kao što su povećanje ili smanjenje prometa, pomicanje resursa ili pojave novih mrežnih putova. Dinamičko prilagođavanje mreže osigurava optimizirano usmjeravanje prometa i efikasniju iskorištenost mrežnih resursa.

3.3. Optimizacija mrežnih resursa

Primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama omogućuje optimizaciju mrežnih resursa. Kontrolni ravnatelj ima globalni pregled mreže, uključujući topologiju i stanje veza. Na temelju ovih informacija, kontrolni ravnatelj može donositi odluke o usmjeravanju koje osiguravaju optimalno korištenje raspoloživih mrežnih resursa. To uključuje usmjeravanje prometa putem najučinkovitijih puteva, izbjegavanje preopterećenih veza i balansiranje opterećenja između različitih putova. Optimizacija mrežnih resursa pruža bolju iskoristivost kapaciteta mreže i poboljšava performanse komunikacije.

3.4. Automatsko konfiguriranje i upravljanje BGP peering vezama

Primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama omogućuje automatsko konfiguriranje i upravljanje BGP peering vezama, prikazano na slici (Slika 4). BGP *peering* veze uspostavljaju se između različitih autonomnih sustava (AS) radi razmjene informacija o rutiranju. U programski upravljanim mrežama, kontrolni ravnatelj može dinamički upravljati konfiguracijom i uspostavom BGP peering veza. To uključuje automatsko otkrivanje susjednih uređaja, uspostavu *peeringa* i konfiguriranje parametara veze. Ova primjena pojednostavljuje postupak konfiguriranja BGP peering veza i smanjuje mogućnost ljudske pogreške, poboljšavajući time efikasnost i pouzdanost mreže.



Slika 4. Primjer uparivanja putem iBGP-a [4]

3.5. Dinamičko upravljanje BGP rutama

Integracija protokola BGP u programski upravljane mreže omogućuje dinamičko upravljanje BGP rutama. BGP koristi složene algoritme za odabir najboljeg puta za usmjeravanje prometa. U programski upravljanim mrežama, kontrolni ravnatelj ima pregled nad svim dostupnim rutama i može donositi odluke o usmjeravanju na temelju različitih kriterija, kao što su propusnost, kašnjenje ili politike rutiranja. Dinamičko upravljanje BGP rutama omogućuje prilagodbu mreže promjenjivim uvjetima i optimizaciju usmjeravanja prometa kako bi se postigla bolja propusnost, manje kašnjenje ili veća učinkovitost.

3.6. Pобољшanje sigurnosti mreže

Integracija protokola BGP u programski upravljane mrežama pruža mogućnosti za poboljšanje sigurnosti mreže [6]. Kontrolni ravnatelj može analizirati promet i otkrivati potencijalne sigurnosne prijetnje na temelju informacija dobivenih putem BGP protokola. Na temelju tih informacija, mogu se donositi odluke o filtriranju ili preusmjeravanju prometa kako bi se spriječile ili ublažile sigurnosne prijetnje. Pored toga, programski upravljane mreže omogućuju brzo implementiranje sigurnosnih politika i pravila na razini mreže, čime se povećava zaštita mreže od napada i neovlaštenog pristupa.

Primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama donosi niz prednosti u učinkovitosti, skalabilnosti i sigurnosti mreže. Kombinacija BGP protokola i programskog upravljanja otvara vrata za napredne i inteligentne mrežne arhitekture koje se mogu prilagoditi promjenjivim uvjetima i zahtjevima korisnika. Ova integracija je ključna za daljnji razvoj i optimizaciju modernih mreža.

3.7. Primjeri primjene i stvarni slučajevi

Kombinacija protokola BGP i SDN-a donosi brojne primjene i stvarne slučajeve korištenja u optimizaciji mrežnih resursa, sigurnosti mreže i upravljanju velikim mrežama [9]. Ova integracija omogućuje organizacijama da postignu veću kontrolu, fleksibilnost i sigurnost u upravljanju svojim mrežama, što je ključno u suvremenim dinamičnim mrežnim okruženjima.

3.8. Primjena protokola BGP koristeći koncept SDN-a u velikim mrežama

Protokol BGP i koncept programski upravljanih mreža (SDN) mogu biti izuzetno moćan tandem u upravljanju velikim mrežama. SDN pruža centralizirano upravljanje i kontrolu nad mrežom, dok BGP omogućuje razmjenu informacija o rutiranju između autonomnih sustava (AS). Ova kombinacija omogućuje primjenu BGP protokola u SDN okruženju kako bi se ostvarilo efikasno i fleksibilno upravljanje velikim mrežama.

Primjer takve primjene može biti u velikom podatkovnom centru (*datacentru*) ili u mreži pružatelja usluga. Koristeći SDN kontroler, moguće je centralizirano konfigurirati BGP peering veze između različitih autonomnih sustava, bez potrebe za ručnim konfiguriranjem svakog uređaja pojedinačno. SDN kontroler također pruža mogućnost praćenja i upravljanja prometom na temelju globalnog pregleda mreže, što omogućuje efikasno iskorištavanje raspoloživih resursa i optimizaciju performansi.

3.9. Primjeri optimizacije mrežnih resursa kroz kombinaciju BGP-a i SDN-a

Kombinacija protokola BGP i SDN-a omogućuje naprednu optimizaciju mrežnih resursa. SDN kontroler ima pregled nad cijelom mrežom, uključujući topologiju, stanje veza i dostupne puteve. Na temelju tih informacija, SDN kontroler može donositi odluke o usmjeravanju prometa putem najefikasnijih i optimalnih puteva.

Primjer optimizacije mrežnih resursa može biti balansiranje opterećenja prometa. SDN kontroler može analizirati promet na različitim mrežnim putovima i donijeti odluke o preusmjeravanju prometa kako bi se postigla ravnoteža opterećenja. To može uključivati preusmjeravanje prometa na manje opterećene veze ili distribuciju prometa na više puteva kako bi se postigla bolja propusnost i izbjegla preopterećenja.

3.10. Poboljšanje sigurnosti mreže pomoću BGP-a i SDN-a

Integracija protokola BGP i SDN-a pruža napredne mogućnosti za poboljšanje sigurnosti mreže. SDN kontroler ima mogućnost analize prometa i otkrivanja potencijalnih sigurnosnih prijetnji. Na temelju tih informacija, mogu se primjenjivati sigurnosne politike i mehanizmi kako bi se spriječili napadi na BGP rutiranje.

Primjer primjene sigurnosnih mehanizama može biti filtriranje prometa. SDN kontroler može provjeravati autentičnost ruta i valjanost BGP poruka kako bi se spriječio pristup nesigurnim ili nepoželjnim rutama. Također, SDN kontroler može primjenjivati sigurnosne politike kako bi se filtrirao promet s nepoželjnih izvora ili odredišta, povećavajući tako sigurnost mreže.

3.11. Budućnost

Izazovi i budućnost korištenja protokola BGP u programski upravljanim mrežama predstavljaju važne teme u razvoju i evoluciji mrežnih tehnologija. Iako BGP ima ključnu ulogu u rutiranju na internetu, njegovo korištenje u programski upravljanim mrežama može se suočiti s određenim izazovima [9]. Evo nekoliko izazova i aspekata budućnosti korištenja protokola BGP u programski upravljanim mrežama:

- Skalabilnost:
 - BGP je razvijen za upotrebu u velikim mrežama i može se suočiti s izazovima skalabilnosti u okruženjima s visokim prometom i brojem mrežnih uređaja. U budućnosti, razvoj skalabilnih mehanizama za upravljanje i rast mreže bit će

važan kako bi se osigurala učinkovita primjena BGP-a u programski upravljanim mrežama.

- Automatizacija i orkestracija:
 - Programski upravljane mreže temelje se na konceptu automatizacije i orkestracije, što omogućuje centralizirano upravljanje i konfiguriranje mreže putem kontrolera. Budućnost korištenja BGP-a u programski upravljanim mrežama uključuje razvoj alata i mehanizama za automatizaciju konfiguracije, upravljanje i optimizaciju BGP protokola kako bi se olakšalo implementiranje i upravljanje mrežom.
- Sigurnost:
 - Sigurnost je ključan aspekt u mrežnim okruženjima, a to vrijedi i za upotrebu BGP-a u programski upravljanim mrežama [6]. Budućnost korištenja BGP-a uključuje razvoj i primjenu naprednih sigurnosnih mehanizama za zaštitu od napada na BGP rutiranje, kao i provođenje sigurnosnih politika i pravila na razini mreže radi sprječavanja sigurnosnih prijetnji.
- Integracija s drugim tehnologijama:
 - Budućnost korištenja BGP-a u programski upravljanim mrežama također uključuje integraciju s drugim tehnologijama i protokolima, poput SDN-a, NFV-a (Network Function Virtualization) i segmentiranja mreže (*network slicing*). Ova integracija omogućuje veću fleksibilnost, prilagodljivost i optimizaciju mrežnih usluga.
- Povećanje performansi i efikasnosti:
 - Budućnost korištenja BGP-a u programski upravljanim mrežama također će se usredotočiti na povećanje performansi i efikasnosti mreže. To može uključivati optimizaciju algoritama rutiranja, primjenu tehnika za balansiranje opterećenja, brže otkrivanje i reagiranje na promjene u mreži te optimizaciju iskorištenosti mrežnih resursa.

Ukratko, izazovi i budućnost korištenja protokola BGP u programski upravljanim mrežama uključuju skalabilnost, automatizaciju, sigurnost, integraciju s drugim tehnologijama te povećanje performansi i efikasnosti. Učinkovito savladavanje tih izazova i daljnji razvoj BGP-a u programski upravljanim mrežama omogućit će organizacijama veću kontrolu, fleksibilnost i napredne mogućnosti upravljanja mrežom.

Sažetak

Protokol BGP je ključni protokol za rutiranje na internetu, a njegova primjena u programski upravljanim mrežama, posebno u kombinaciji s konceptom SDN-a donosi brojne prednosti i primjere primjene.

U programski upravljanim mrežama, primjena protokola BGP omogućuje centralizirano upravljanje mrežom putem kontrolnog ravnatelja, što pruža brzo konfiguriranje i upravljanje mrežnim usmjeravanjem. Također, integracija BGP-a donosi dinamičko prilagođavanje mreže promjenjivim uvjetima, optimizaciju mrežnih resursa i poboljšanje sigurnosti mreže.

Konkretni primjeri primjene BGP-a u programski upravljanim mrežama uključuju:

Primjenu BGP-a koristeći koncept SDN-a u velikim mrežama, što omogućuje fleksibilno upravljanje mrežom i učinkovito iskorištenje resursa.

Optimizaciju mrežnih resursa kroz kombinaciju BGP-a i SDN-a, što uključuje usmjeravanje prometa putem najučinkovitijih puteva, izbjegavanje preopterećenih veza i balansiranje opterećenja između različitih putova.

Poboljšanje sigurnosti mreže uz pomoć BGP-a i SDN-a, što obuhvaća analizu prometa, otkrivanje sigurnosnih prijetnji i implementaciju sigurnosnih politika radi zaštite mreže od napada i neovlaštenog pristupa.

Unatoč prednostima, korištenje protokola BGP u programski upravljanim mrežama suočava se s izazovima. Ti izazovi uključuju skalabilnost, automatizaciju, sigurnost i integraciju s drugim tehnologijama. No, daljnji razvoj BGP-a u programski upravljanim mrežama usmjeren je na rješavanje tih izazova i postizanje veće kontrole, fleksibilnosti i učinkovitosti u upravljanju mrežom.

Ukratko, integracija protokola BGP u programski upravljane mreže, posebno s konceptom SDN-a, donosi brojne prednosti poput centraliziranog upravljanja, dinamičkog prilagođavanja mreže, optimizacije resursa i poboljšanja sigurnosti. Budućnost korištenja BGP-a u programski upravljanim mrežama uključuje rješavanje izazova skalabilnosti, automatizacije, sigurnosti i integracije, te povećanje performansi i efikasnosti mreže.

Summary

The Border Gateway Protocol is a key protocol for routing on the internet, and its application in software-defined networks, particularly in combination with the concept of Software-Defined Networking, brings numerous advantages and use cases.

In software-defined networks, the application of the BGP protocol enables centralized network management through a controller, providing fast configuration and network routing control. Additionally, integrating BGP brings dynamic adaptation to changing network conditions, resource optimization, and improved network security.

Specific examples of BGP application in software-defined networks include:

Applying BGP using the SDN concept in large-scale networks, allowing flexible network management and efficient resource utilization.

Optimizing network resources through the combination of BGP and SDN, involving traffic routing through the most efficient paths, avoiding congested links, and load balancing across different paths.

Enhancing network security with BGP and SDN, encompassing traffic analysis, threat detection, and implementation of security policies to protect the network from attacks and unauthorized access.

Despite its advantages, the use of BGP in software-defined networks faces challenges, including scalability, automation, security, and integration with other technologies. However, further development of BGP in software-defined networks aims to address these challenges and achieve greater control, flexibility, and efficiency in network management.

In summary, integrating the BGP protocol into software-defined networks, particularly with the SDN concept, brings numerous benefits such as centralized management, dynamic network adaptation, resource optimization, and improved security. The future of using BGP in software-defined networks involves tackling scalability, automation, security, and integration challenges, as well as increasing network performance and efficiency.

Zaključak

U cjelini, primjena protokola BGP u programski upravljanim mrežama, posebno u kombinaciji s konceptom SDN-a, donosi brojne prednosti i mogućnosti. Integracija BGP-a u SDN omogućuje centralizirano upravljanje mrežom, brzo konfiguriranje i prilagođavanje mreže promjenjivim uvjetima. Također, optimizacija mrežnih resursa i poboljšanje sigurnosti mreže su ostvarivi uz pomoć BGP-a i SDN-a.

Konkretni primjeri primjene BGP-a u programski upravljanim mrežama obuhvaćaju fleksibilno upravljanje mrežom u velikim mrežama, usmjeravanje prometa putem najučinkovitijih puteva, balansiranje opterećenja i poboljšanje sigurnosti kroz analizu prometa i otkrivanje sigurnosnih prijetnji. Međutim, korištenje protokola BGP u SDN također se suočava s izazovima skalabilnosti, automatizacije, sigurnosti i integracije s drugim tehnologijama.

Unatoč tim izazovima, daljnji razvoj BGP-a u programski upravljanim mrežama usmjeren je na rješavanje navedenih problema i postizanje veće kontrole, fleksibilnosti i učinkovitosti u upravljanju mrežom. Budućnost korištenja BGP-a u programski upravljanim mrežama obuhvaćaju kontinuirani napredak u rješavanju izazova, što će rezultirati poboljšanom skalabilnošću, automatizacijom, sigurnošću i integracijom.

Integracija protokola BGP u programski upravljane mreže uz pomoć SDN-a donosi prednosti kao što su centralizirano upravljanje, dinamičko prilagođavanje mreže, optimizacija resursa i poboljšanje sigurnosti. Budući razvoj BGP-a u programski upravljanim mrežama ima za cilj prevladavanje izazova i ostvarivanje naprednije kontrola, fleksibilnosti i učinkovitosti u upravljanju mrežom.

Literatura

- [1] <https://www.noction.com/blog/bgp-multi-homing-enough-for-network-performance>
- [2] <https://qmonnet.github.io/whirl-offload/2016/07/08/introduction-to-sdn/>
- [3] <https://wiki.onosproject.org/display/ONOS/SDN-IP+Architecture>
- [4] <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2738462&seqNum=3>
- [5] V. Pandey and A. S. Baghel, "Providing end-to-end secure communication in wireless network using BGP routing technique" in *Innovations in Computer Science and Engineering*, Singapore:Springer, pp. 77-86, 2019
- [6] L. Mastilak, M. Galinski, P. Helebrandt, I. Kotuliak and M. Ries, "Enhancing border gateway protocol security using public blockchain", *Sensors*, vol. 20, no. 16, pp. 4482, Aug. 2020.
- [7] N. Cardona, E. Coronado, S. Latré, R. Riggio and J. M. Marquez-Barja, "Software-defined vehicular networking: Opportunities and challenges", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 219971-219995, 2020.
- [8] P. Sermpezis and X. Dimitropoulos, "Can SDN accelerate BGP convergence?—A performance analysis of inter-domain routing centralization", *Proc. IFIP Netw. Conf. (IFIP Netw.) Workshops*, pp. 1-9, Jun. 2017.
- [9] X. Zhao, S. S. Band, S. Elnaffar, M. Sookhak, A. Mosavi and E. Salwana, "The Implementation of Border Gateway Protocol Using Software-Defined Networks: A Systematic Literature Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 112596-112606, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3103241.

Skraćenice

BGP	Border Gateway Protocol
SDN	Software Defined Network
AS	Autonomous System
ISP	Internet Service Provider
iBGP	Internal BGP
eBGP	External BGP
TCP	Transmission Control Protocol
IoT	Internet of Things
NFV	Network Function Virtualization
QoS	Quality of Service
API	Application Programming Interface