Primjena programski upravljenih mreža u mobilnim mrežama 5G

Ljubić, David

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:168:184084

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**

Repository / Repozitorij:

FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repozitory

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1324

PRIMJENA PROGRAMSKI UPRAVLJENIH MREŽA U MOBILNIM MREŽAMA 5G

David Ljubić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1324

PRIMJENA PROGRAMSKI UPRAVLJENIH MREŽA U MOBILNIM MREŽAMA 5G

David Ljubić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Zagreb, 4. ožujka 2024.

ZAVRŠNI ZADATAK br. 1324

Pristupnik:	**David Ljubić (0036531501)**
Studij:	Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo
Modul:	Računarstvo
Mentor:	prof. dr. sc. Željko Ilić

Zadatak: **Primjena programski upravljenih mreža u mobilnim mrežama 5G**

Opis zadatka:

Mobilne mreže pete generacije uvode mnoga arhitekturalna rješenja koja doprinose izgradnji bržih, svestranijih i fleksibilnijih mreža. Programsko upravljanje mrežom (engl. Software-Defined Networks) je paradigma koja odvaja kontrolne i podatkovne tokove, centralizira upravljanje mrežom i daje mogućnost programiranja same mreže. Primjena SDN-a moguća je u različitim segmentima mobilnih mreža. Vaš je zadatak istražiti koncept programski upravljanih mreža te njihovu primjenu unutar mobilnih mreža 5G s posebnim osvrtom na primjenu u jezgrenom (engl. core) dijelu mreže. Svu potrebnu literaturu i uvjete za rad osigurat će Vam Zavod za telekomunikacije.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.

Mentor: prof. dr. sc. Željko Ilić

Voditelj rada: prof. dr. sc. Željko Ilić

Sadržaj

Uvod.....1

1. Arhitektura 5G mreže.....2

1.1. Jezgrena mreža.....2

1.2 Radijska pristupna mreža.....3

2. Programski upravljanje mrežom.....6

2.1. Tradicionalno upravljanje mrežom u odnosu na programsko.....7

2.2. Arhitektura programski upravljane mreže.....8

2.2.1. Kontrolna ravnina.....8

2.2.2. Sučelje Southbound.....8

2.2.3. Aplikacijska ravnina.....9

2.2.4. Sučelje Northbound.....9

2.2.5. Infrastrukturna ravnina.....9

2.3. Prednosti i nedostatci SDN-a.....9

2.4. Moguće primjene SDN-a.....10

3. Integracija SDN-a u mobilnim mrežama 5G.....12

3.1. Ključni izazovi.....12

3.2. Raslojavanje mreže.....13

3.2.1. Virtualizacija mrežnih funkcija.....13

3.3. Ponuđena rješenja.....14

3.4. Raslojavanje mreže za upravljanje mrežnim prometom.....22

3.5. Uloga pozicije kontrolera za skalabilnu kontrolnu ravninu.....23

Zaključak.....25

Literatura.....26

Skraćenice.....31

Uvod

Konstantan i ubrzan razvoj mobilnih mreža je doveo do razvoja mobilnih mreža pete generacije (skr. 5G). Značajno poboljšanje u brzini prijenosa podataka je samo jedno od korisnih stvari koje je 5G omogućio. Upravljanje 5G mrežom postaje sve kompliciranije zbog povećanja broja korisnika, pa samim time i podataka koje ti korisnici generiraju. Za daljnji razvoj mobilnih mreža potrebno je unaprijediti metode upravljanja mrežom, da one postanu jednostavnije i bolje prilagodljive na nove zahtjeve na sustav i nove zahtjeve korisnika. Rješenje koje je sve popularnije je programsko upravljanje mrežom (engl. *Software-Defined Networking*, skr. SDN). Centralizirana kontrolna ravnina SDN-a može pojednostaviti upravljanje složenim 5G mrežama, čineći ih agilnijima i lakšima za upravljanje. Razdvajanjem kontrolne i podatkovne ravnine, SDN omogućuje učinkovitije skaliranje mrežnih resursa. Istraživanje integracije SDN-a u 5G mreže ključno je za potpuno iskorištavanje potencijala 5G tehnologije i rješavanje njezinih trenutnih ograničenja.

1. Arhitektura 5G mreže

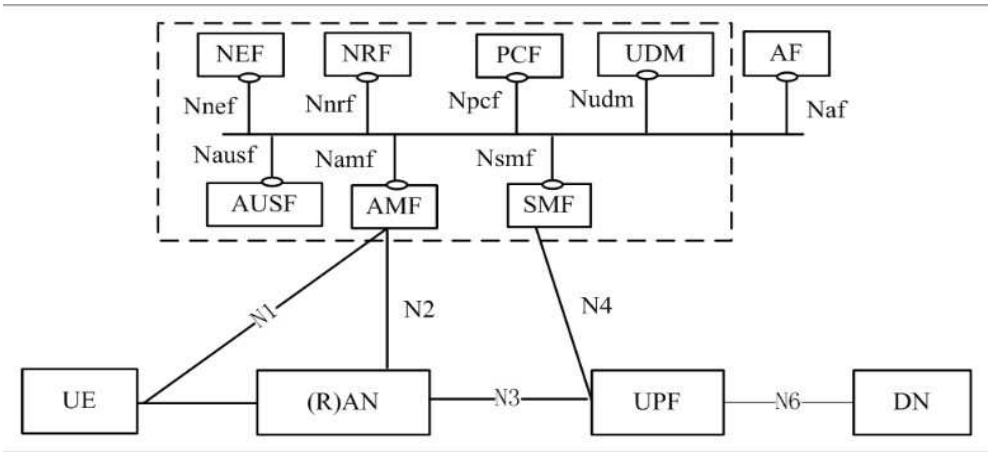
Arhitektura mreže 5G dijeli se na dva dijela:

- jezgrenu mrežu (engl. *5G Core Network*, skr. 5GCN)
- radijsku pristupnu mrežu (engl. *Radio Access Network*, skr. RAN)

1.1. Jezgrena mreža

Najvažnije karakteristike 5G jezgrene mreže su fleksibilnost, modularnost, skalabilnost i automatizacija [1]. Iako mreža i dalje obavlja osnovne funkcije prijenosa govora i podataka, broj mrežnih elemenata i njihove uloge su promijenjene. To je posljedica različitih zahtjeva koje postavljaju nove vrste usluga, uključujući kašnjenje, brzinu i druge mrežne parametre. Jezgrena mreža je potpuno neovisna o vrsti uređaja i načinu pristupa. Osim novog radijskog sučelja NR, moguće je povezivanje putem starijeg LTE (engl. *Long Term Evolution*) standarda, kao i drugih pristupnih metoda poput Wi-Fi-ja [1]. Interackija između elemenata u mreži može se prikazati na dva načina. Jedan je arhitektura temeljena na uslugama (engl. *service-based*), a drugi komunikacija od točke to točke (engl. *point-to-point*) [2]. Point-to-point arhitektura je tradicionalni pristup u mobilnim mrežama, on opisuje komunikaciju između dva čvora putem definiranih protokola i sučelja. Takav pristup nam se pokazuje problematičan ukoliko je broj sučelja, čvorova u mreži prevelik. Broj međuovisnosti raste i promjene na jednom sučelju bi mogle uzrokovati promjene na drugim sučeljima, što bi otežalo promjena sustava, primjerice dodavanje novih elemenata u mrežu. Potrebno je da daljnji razvoj 5G mreže bude što lakši, da ona bude dinamičnija i lako prilagodljiva, pošto je namijenjena za širok spektar različitih usluga. Arhitektura zasnovana na uslugama (engl. *Service-based Architecture*, skr. SBA) je koncept koji se koristi u razvoju računalnih programa. Ideja je da se proizvod rastavi na više komponenti koje su međusobno povezane, i kroz interakciju daju konačan rezultat. Svaka komponenta pritom pruža jednu ili više usluga drugim komponentama. Temelj razvoja mrežnih funkcija u 5G je sličan po principu. Po specifikacijama, svaki NF pruža jednu ili više usluga (engl. *NF services*), koje mogu koristiti drugi NF-ovi ili vanjske aplikacije. Osnovne karakteristike NF usluga su jednostavnost, modularnost i fleksibilnost. Usluge koje

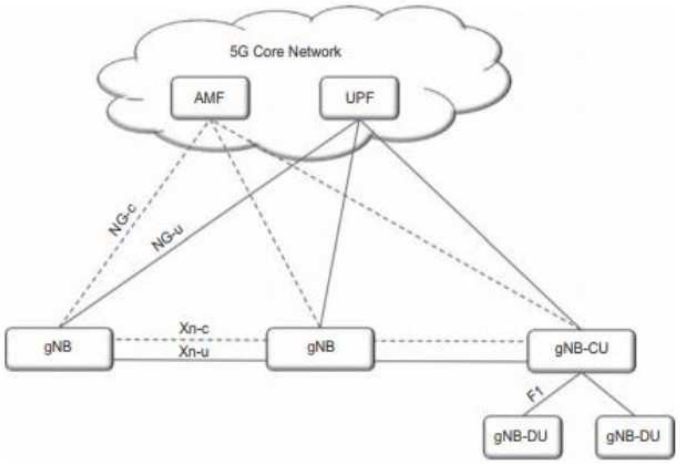
pojedini NF nudi su poznate drugim NF-ovima, i oni im mogu pristupati putem definiranih standardiziranih sučelja, odnosno API-ja (engl. Application Programming Interface), koristeći zajednički protokol, čime se eliminiraju posebni protokoli za pojedine elemente kontrolne ravnine [2]. Arhitektura temeljena na uslugama je primijenjena u kontrolnoj ravnini 5G jezgrene mreže, dok se u korisničkoj ravnini koristi prikaz *point-to point (Sl. 1).*



Sl. 1: Arhitektura temeljena na uslugama 5G jezgrene mreže [36]

1.2 Radijska pristupna mreža

U RAN mreži odvija se komunikacija između krajnjih uređaja (engl. *User Equipment*, skr. UE) i baznih stanica. Bazne stanice se u 5G mreži nazivaju gNB (engl. *Next Generation NodeB*), a sučelje između njih i UE označava se s NR (engl. *New Radio*) [3]. Arhitektura RAN mreže prikazana je na slici (Sl. 2).

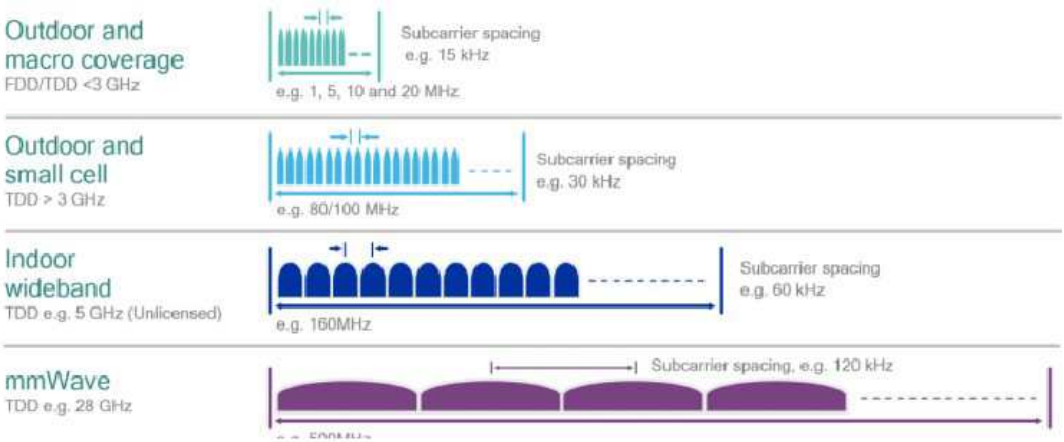


Sl. 2: Arhitektura 5G radijske pristupne mreže [3]

Sučelje između baznih stanica gNB i jezgrenog dijela mreže označava se na NG, a dijeli se na korisničku ravninu (engl. *user plane*) i kontrolnu ravninu (engl. *control plane*). To je sučeljeje neovisno o načinu pristupa uređaja na mrežu. Međusobna komunikacija čvorova gNB omogućuje mobilnost korisnika, što podrazumijeva prekapčanje (engl. *handover*) i prosljeđivanje paketa [3]. Osnovne zadaće čvora gNB uključuju upravljanje radijskim resursima na razini jedne ili više ćelija, uspostavu veze s UE, te prosljeđivanje podataka do odgovarajućih čvorova u jezgrenoj mreži [3]. Predviđena je mogućnost raspodijeljene implementacije čvora gNB. On se tada dijeli na centralni dio koji se označava gNB-CU (engl. *Central Unit*), koji je povezan s jednim ili više čvorova gNB-DU (engl. *Distributed Unit*) putem sučelja F1. Značajna promjena u radijskom dijelu 5G mreže u usporedbi s LTE-om je upotreba mnogo šireg frekvencijskog spektra. Koriste se dva odvojena frekvencijska pojasa (engl. *Frequency Range*, skr. FR) [3]:

- Pojas nižih frekvencija (FR1), koji obuhvaća sve frekvencijske pojaseve korištene u postojećim sustavima, kao i nove pojaseve do 6 GHz;
- Pojas visokih frekvencija (FR2), koji uključuje frekvencije iznad 24 GHz, koje se do sada nisu koristile.

FR2 predstavlja područje tzv. milimetarskih valova, što omogućuje postizanje potrebnih brzina i kapaciteta mreže. Međutim, valovi na visokim frekvencijama su podložniji smetnjama iz okoline, zbog čega se koriste u manjim ćelijama. Radi kompatibilnosti s postojećim LTE sustavima, osnovni razmak podnosioca iznosi 15 kHz. U LTE mreži taj je razmak bio fiksan, dok je u 5G mreži razmak podnosioca skalabilan i ovisi o frekvenciji, kako je prikazano na slici (Sl. 3).



Sl. 3: Skalabilni razmak podnosioca ovisno o frekvencijskom pojasu [37]

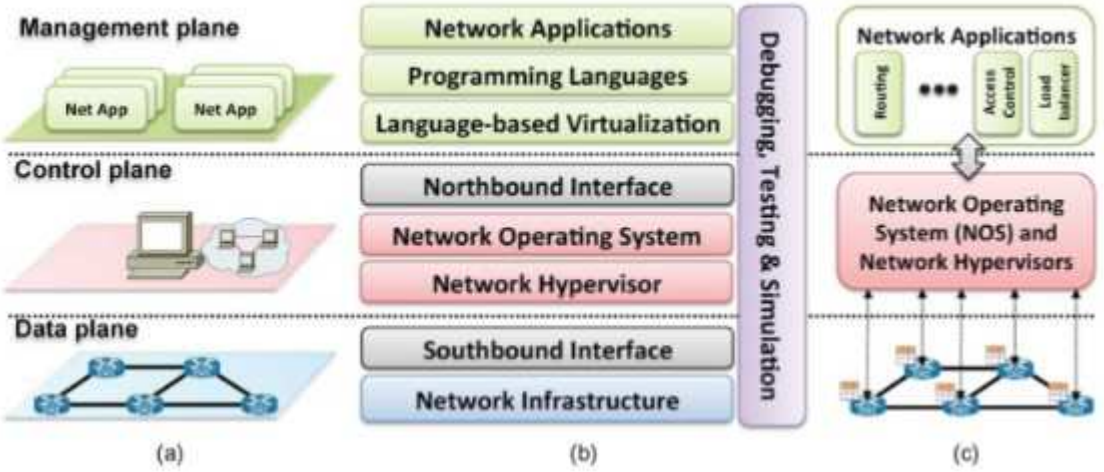
Koriste se modulacijski postupci iz OFDM skupine modulacija, koji su već prisutni u LTE i Wi-Fi tehnologijama. Bolja spektralna efikasnost i veći kapacitet postižu se upotrebom mMIMO (engl. *massive Multiple-Input-Multiple-Output*) tehnike. Za razliku od klasičnih MIMO implementacija koje koriste 2 ili 4 antene, mMIMO koristi znatno veći broj antena za prijem i slanje signala, čime se povećava kapacitet mreže [3].

2. Programski upravljanje mrežom

Programski upravljanje mrežom je drugačiji i moderniji pristup mrežnoj arhitekturi od tradicionalnog. On podrazumijeva konfiguriranje mreže, ali i krajnjih uređaja u mreži korištenjem računalnih programa. Mreža i uređaji u mreži su upravljani koristeći centralizirani pristup, što znači da aplikacije koriste otvorena programska sučelja [4].

Programski upravljanje mrežom se temelji na razdvajanju mreže na tri dijela po funkcionalnosti (Sl. 4):

- Podatkovni dio (engl. *Data Plane*)
- Kontrolni dio (engl. *Control Plane*)
- Upravljački dio (engl. *Management plane*)

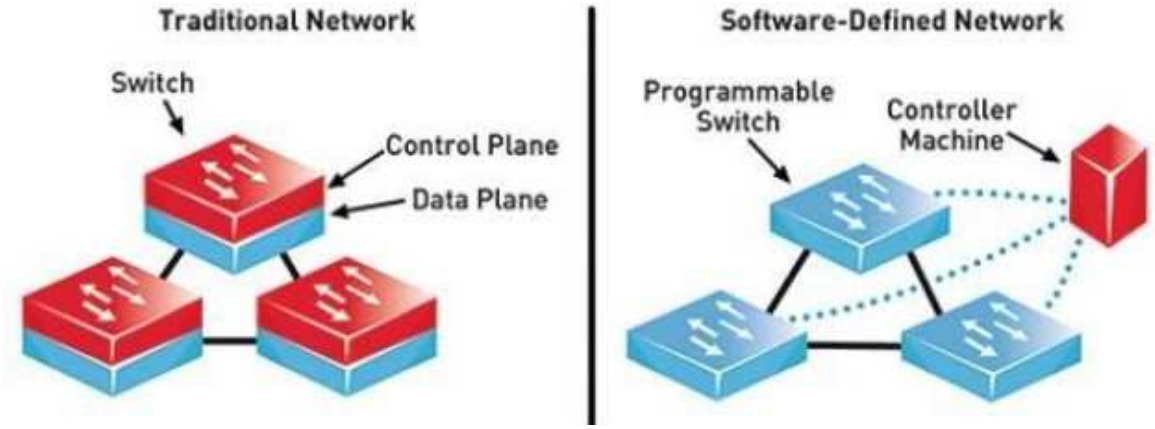


Sl. 4: SDN u slojevima, podslojevima i dizajn arhitekture [4]

Podatkovni dio odnosi se na uređaje odgovorne za prosljeđivanje podatkovnih tokova, kontrolni dio čine kontroleri zaduženi za upravljanje uređajima podatkovnog sloja, a upravljački dio se sastoji od aplikacija za nadzor i podešavanje kontrolne funkcionalnosti. Dakle, mrežno pravilo se definira u upravljačkom dijelu, kontrolni dio primjenjuje pravilo, a podatkovni dio ga izvršava pravilnim upravljanjem mrežnim prometom.

2.1. Tradicionalno upravljanje mrežom u odnosu na programsko

Za kontrolnu ravninu, tradicionalno umrežavanje implementira distribuiranu paradigmu. Za svaki mrežni uređaj, protokoli kao što su ARP, STP, OSPF, EIGRP, BGP i drugi rade neovisno [5]. Ovi mrežni uređaji se povezuju, ali nijedan centralizirani uređaj ne upravlja cijelom mrežom [6]. Najveća razlika između tradicionalnog umrežavanja i SDN-a je ta što je tradicionalno umrežavanje temeljeno na hardveru, dok je SDN obično temeljen na softveru [7]. Upravo zbog toga, SDN je svestraniji, pomažući korisnicima da bolje kontroliraju i lakše upravljaju resursima daljinski u kontrolnoj ravnini [8]. Razlika je prikazana na slici (Sl. 5):

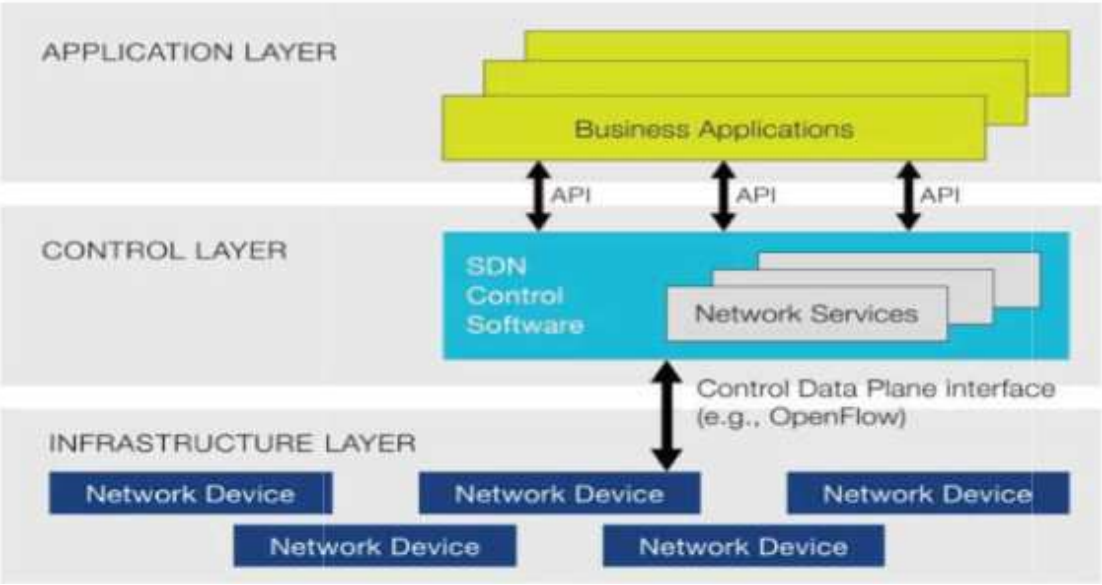


Sl. 5: Tradicionalna mreža u odnosu na programski upravljanu mrežu [6]

Tradicionalne mreže koriste komutatore, usmjeritelje i druge fizičke komponente za stvaranje veza i rad mreže. Sučelje Northbound koje komunicira s API-jima koristi se u SDN kontrolerima. Zbog ove povezanosti, programeri uređaja, umjesto korištenja protokola potrebnih za konvencionalno umrežavanje, mogu izravno programirati mrežu [6]. Tradicionalne mreže koriste ugrađuju sve podatkovne ravnine i kontrolne ravnine u jednu fizičku jedinicu, a zatim za dijeljenje njihovih kapaciteta, povećavaju količinu prometa i opterećenja procesora i memorije. Odvajanje kontrolnih ravni i podatkovnih ravni u SDN-u može se lako nadzirati i upravljati od strane kontrolera i mreže kako bi se donijele bolje odluke i na taj način omogućilo mreži da se bolje konfigurira s manjim prometnim opterećenjem [6].

2.2. Arhitektura programski upravljane mreže

Arhitektura SDN-a objašnjava kako SDN funkcionira na različitim razinama i osigurava stabilnost i pouzdanost programa. Za programski definirano umrežavanje postoje prvenstveno tri sloja: aplikacijski sloj, podatkovna sloj i kontrolni sloj. Dva sučelja od kojih se sastoji SDN podrazumijeva jednno između Southbound API-ja (npr. OpenFlow) i drugo između aplikacijskog sloja API-ja i kontrolnog sloja Northbound API-ja, kao što je prikazano na slici (Sl. 6) [9].



Sl. 6: Centralizacija kontrolnog dijela (ravnine) [9]

2.2.1. Kontrolna ravnina

Kontrolna ravnina se može definirati kao kontrolni sloj. Obuhvaća niz programski baziranih kontrolera (engl. *SDN controllers*) koji pružaju centralizirani kontrolni mehanizam putem dobro definiranog API-ja za nadzor prosljeđivanja u mreži [10]. Kontrolna ravan sastoji se od tri osnovna sloja: sloj uređaja, sloj mrežnog operativnog sustava i sloj mrežne apstrakcije.

2.2.2. Sučelje Southbound

Za povezivanje sa SDN kontrolerom i mrežnim komutatorima (engl. *switch*) i usmjeriteljima (engl. *router*) koriste se Southbound API-ji. U ovom sučelju najčešći protokol je protokol OpenFlow [10].

2.2.3. Aplikacijska ravnina

Aplikacijski sloj sastoji se od jednog ili više programa, od kojih svaki ima isključivu moć nad jednim ili više SDN kontrolera izloženih kolekciji resursa – dijelu SDN arhitekture, koja se sastoji od programa koji implementira mrežne usluge isporučene korisnicima ili uređajima. Kako bi postigli apstraktni globalni pogled na mrežu koju koriste i izrazili mrežnu aktivnost koja im je potrebna u tom trenutku, aplikacije se povezuju sa SDN kontrolerom putem API-ja (Northbound sučelje) [10].

2.2.4. Sučelje Northbound

Odnos između aplikacija i SDN kontrolera su Northbound API-ji. Aplikacije trebaju obavijestiti mrežu što im je potrebno, a te usluge mogu biti pružene od strane mreže ili prenijeti ono što mreža ima [11].

2.2.5. Infrastrukturna ravnina

Infrastrukturna ravnina je također poznata kao podatkovni sloj ili podatkovna ravan. Poput fizičkog sloja OSI modela, sastoji se od mrežnih komponenti koje komuniciraju s podatkovnim prometom, kao fizički i virtualni strojeva. To je SDN ravan koja je odgovorna za fizičko prosljeđivanje paketnih okvira putem protokola koje koristi kontrolna ravan od ulaznog do izlaznog sučelja [12].

2.3. Prednosti i nedostatci SDN-a

Glavna prednost SDN-a je ta da se mreža može lako programirati i tako lako kontrolirati putem kontrolera, umjesto zasebnih komutatora. Iz toga slijedi da nam je hardver jeftiniji i jednostavniji, komutatori su jeftiniji jer trebaju samo podatkovnu ravninu. Programi se pišu za kontroler, pa je ostvarena neovisnost o proizvođaču mrežne opreme. Još jedna velika prednost SDN-a je pružanje bolje sigurnosti, kontroler može nadzirati promet i primjenjivati sigurnosna pravila, primjerice ukoliko kontroler otkrije sumnjivu aktivnost u mrežnom prometu, može preusmjeriti ili odbaciti pakete.

Mogući nedostatci SDN-a proizlaze iz centralizirane kontrole. Ovisnost mreže o centraliziranoj kontroli znači da imamo jednu točku slabosti. Ukoliko kontroler ne radi

ispravno, funkcionalnost cijele mreže je narušena. Također, upotreba SDN-a u velikim razmjerima još nije dobro definirana i istražena.

2.4. Moguće primjene SDN-a

Razdvajanjem kontrolnog i podatkovnog sloja se pružaju lakše upravljačke mogućnosti, jednostavniji razvoj mrežnih servisa i protokola te izbacivanje složenih posredničkih uređaja iz mreže. Stoga programski upravljane mreže imaju primjenu u širokom spektru mrežnih okolina.

U poduzećima obično postoji potreba za velikim mrežama sa specifičnim sigurnosnim zahtjevima uz osiguravanje određene razine performansi. Različiti dijelovi poduzeća, a i različite vrste poduzeća, mogu imati sasvim drugačije mrežne zahtjeve. Na primjer u fakultetskom okruženju postoji velik broj korisničkih uređaja koji su privremeno spojeni i nisu upravljani od strane fakulteta, što predstavlja problem za sigurnost i alokaciju mrežnih resursa. Korištenje programski upravljane mreže u takvom okruženju može povećati sigurnost u mreži i pojednostaviti upravljanje sigurnošću, jer na brojim pristupnim čvorovima nisu potrebni posrednički uređaji poput vatrozida (engl. *firewall)*, već takva kontrola može ugraditi u svaki pristupni SDN komutator. U nekim slučajevima je na fakultetima potrebno osigurati i potporu za eksperimentalne protokole i testiranja mreža, što se također može ostvariti programski upravljanom mrežom.

Današnje manje mreže, poput kućnih mreža i onih u malim poduzećima, postaju sve složenije i korisnici zahtijevaju veću razinu sigurnosti uz veće upravljačke mogućnosti. Mreže s niskom razinom sigurnosti su česte mete zloćudnog programa (engl. *malware*), što uz probleme s mrežnim postavkama može dovesti do problema s poslovanjem. Programski upravljane mreže nude mogućnosti snimanja prometa mreže za lakše traženje grešaka, korištenje tuđih usluga upravljanja mrežom putem aplikacija i lakše upravljanje mrežom putem centraliziranog pogleda za naprednije korisnike manjih mreža. Uz to je moguća izrada aplikacija za detekciju anomalija u mreži, koje pružatelju mrežnih usluga omogućuju lakši uvid u stanje i probleme mreža klijenata.

Primjena SDN-a u mobilnim mrežama, poput 4G i 5G, također donosi brojne prednosti. Omogućuje fleksibilno i dinamično upravljanje mrežom, što je ključno za optimizaciju performansi i resursa u mobilnim mrežama s visokim prometom. Sigurnost mreže koju donosi je u mobilnim mrežama također važna, SDN poboljšava sigurnost mreže jer

centralizirani kontroler može efikasno nadzirati promet, otkriti anomalije i primijeniti sigurnosna pravila u realnom vremenu. Omogućuje bržu implementaciju novih usluga i aplikacija jer se mrežna infrastruktura može programirati i prilagođavati bez potrebe za fizičkim izmjenama hardvera. U konačnici, SDN smanjuje operativne troškove jer pojednostavljuje upravljanje mrežom i omogućuje automatizaciju mnogih rutinskih zadataka, poput konfiguracije mrežnih uređaja i ažuriranja softvera.

3. Integracija SDN-a u mobilnim mrežama 5G

Mobilne mreže pete generacije donose sa sobom mnoštvo poboljšanja u odnosu na prethodne generacije mobilnih mreža, uključujući veću brzinu prijenosa podataka, smanjeno kašnjenje u mreži (engl. *latency)* i povećanu pouzdanost. Istovremeno, tehnologija SDN omogućuje veću fleksibilnost i dinamičnost upravljanja mrežom putem centralizirane kontrole i programabilnosti mrežnih elemenata. Integracija SDN-a u 5G mreže pruža niz prednosti, uključujući mogućnost dinamičnog dijeljenja mrežnih resursa, poboljšano upravljanje kvalitetom usluge (engl. *Quality of Service*, skr. *QoS*), te optimizacija upravljanja prometom. Ove funkcionalnosti su ključne za podršku različitih aplikacija i usluga koje 5G mreže omogućuju, od autonomnih vozila do pametnih gradova i industrijske automatizacije.

3.1. Ključni izazovi

Mobilne mreže 5G su transparentnije, skalabilnije i naprednije od prethodnih generacija, ali više se ne temelje na tehnologiji preusmjeravanja i komutiranja [13]. Usprkos mogućnostima, postoje i inherentni problemi s 5G bežičnim mrežama. Bežično umrežavanje suočava se s nizom novih tehnologija i nesigurnih modela [14]. Primjenjive mreže mogu se sastojati od međusobno povezanih računala krajnjih korisnika, brojnih modula, raznih strojeva, senzora i aktuatora s milijardama korisnika na mreži kako bi se omogućila analitika velikih podataka (engl. *Big Data*). Zahtjevi za implementacijom potrebni za ispunjavanje budućih 5G mreža su, posljedično, ravnopravnost među potrošačima u područjima koje opslužuju univerzalni sustavi, smanjenje kašnjenja u mreži, poboljšana pouzdanost i potrošnja energije [15].

Višestruko povezivanje (engl. *multi-homing*) također je veliki problem u mobilnim mrežama. Višestruko povezivanje osigurava da je krajnji uređaj istovremeno povezan na nekoliko mreža kako bi korisnici mogli lako prelaziti između bežičnih usluga i infrastrukture različitih pružatelja usluga [16]. Planirana arhitektura razvija se korištenjem SDN-a kako bi se mnoge značajke pristupnika premjestile s kućnog pristupnika na programski definirano proizvodno okruženje. Više od 1000 ugrađenih mobilnih uređaja bit

će povezano na sve vrste različitih i prilagođenih mreža i usluga temeljenih na internetu u budućnosti. Specifikacije za kvalitetu usluge su različite. Očekuje se veliki pomak u mobilnim mrežama u sljedećih 10 godina.

Nadalje, fokus brojnih istraživačkih projekata tijekom godina bio je na energetskoj učinkovitosti; tema 5G mobilnih mreža ostaje otvorena. Tehnologije SDN-a bi trebale drastično smanjiti troškove rada cijele mreže, hardvera i aplikacija. Primjerice, ako se mrežne komponente zaustave dok su neaktivne, ili se brzine veze modificiraju da budu što niže, a dodaju se i novi energetski svjesni protokoli za preusmjeravanje [17]. Potreba za oporavkom mreže od kvara prilikom promicanja automatskog otkrivanja topologije značajan je problem koji treba riješiti u stvaranju energetski svjesnog protokola. Optimalno upravljanje resursima i poboljšana mrežna učinkovitost stoga su važni dizajnerski prioriteti koji zadovoljavaju kriterije za heterogene uređaje i mreže u budućim 5G mrežama.

Jedan od koncepta koji bi mogao pružiti odgovore na ova pitanja jest raslojavanje mreže (engl. *network slicing*) [18].

3.2. Raslojavanje mreže

Koristeći raslojavanje mreže, jedna fizička 5G mreža mora biti podijeljena u više izoliranih logičkih mreža različitih veličina i struktura posvećenih različitim vrstama usluga. Prema izvješću Globalnog sustava za mobilne komunikacije (engl. *Global System for Mobile Communications*, skr. GSMA) [19], raslojavanje mreže je integralna komponenta za otključavanje prilika za poduzeća u iznosu do 300 milijardi dolara do 2025. godine za 5G eru. Dijeljenje mreže će pružiti operaterima mogućnosti stvaranja različitih razina usluga za različite industrijske poglede, omogućujući im prilagodbu njihovih operacija. Međutim, jedno od značajnih pitanja je kako zadovoljiti zahtjeve različitih pogleda preko 5G mreža. Koncept koji se nalaže je raslojavanje mreže koristeći SDN virtualizaciju mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualization*, skr. NFV).

3.2.1. Virtualizacija mrežnih funkcija

Kao vrlo komplementaran SDN-u, NFV učinkovito apstrahira mrežne funkcionalnosti i implementira ih u softver. Na taj način, mrežne funkcije, npr. odluke o preusmjeravanju, mogu se odvojiti od lokalnih uređaja i implementirati na udaljenim poslužiteljima ili u oblaku (engl. *cloud*). I SDN i NFV su zajedno korisni, ali nisu ovisni jedan o drugome. Konkretno, mrežna funkcija može biti virtualizirana i implementirana bez potrebe za SDN-

om i obratno. Potencijalno, NFV donosi mnoge koristi, od smanjenja troškova do velike raznolikosti otvorenosti sustava. Prvo, NFV smanjuje troškove poslovanja, potrošnju kapitala i potrošnju energije konsolidacijom opreme i iskorištavanjem ekonomije razmjera IT (engl. *Information Technology*) industrije. Nadalje, povećava brzinu izlaska na tržište minimiziranjem tipičnog ciklusa inovacija mrežnih operatora. Treće, NFV omogućuje korištenje jedne platforme za različite aplikacije i korisnike, što omogućuje široku raznolikost ekosustava i potiče otvorenost.

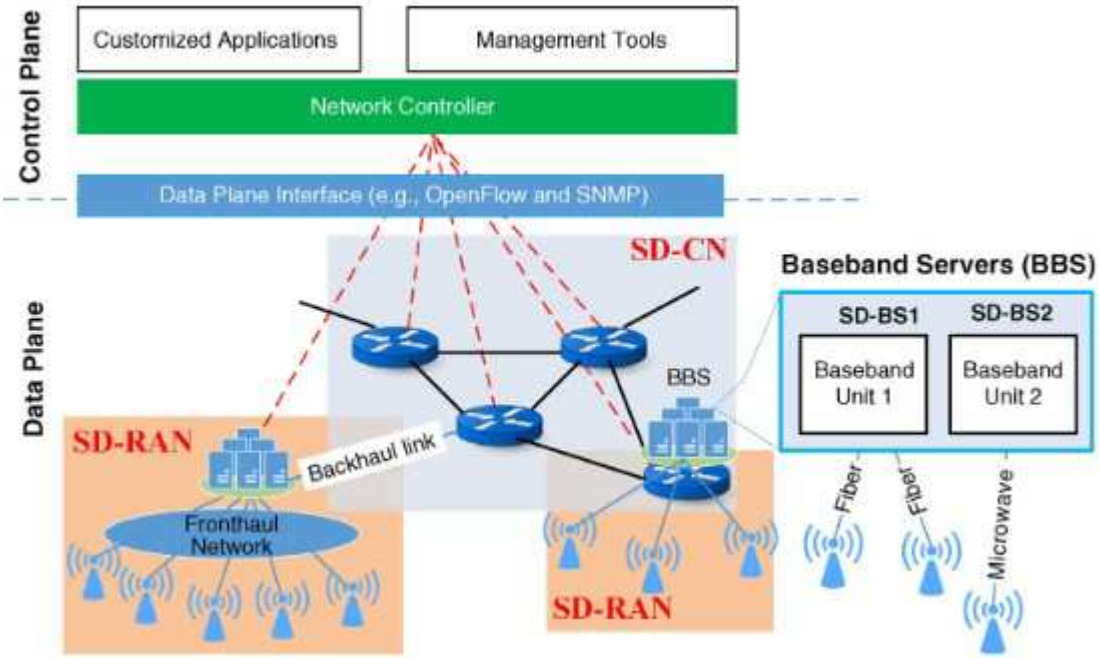
Dosad, nekoliko rješenja koristi ove koncepte u većoj ili manjoj mjeri te uvodi integrirane arhitekture bežičnih programski upravljanih mreža (engl. *Wireless Software-Defined Networks*, skr. *W*-SDN) za 5G mobilne sustave.

3.3. Ponuđena rješenja

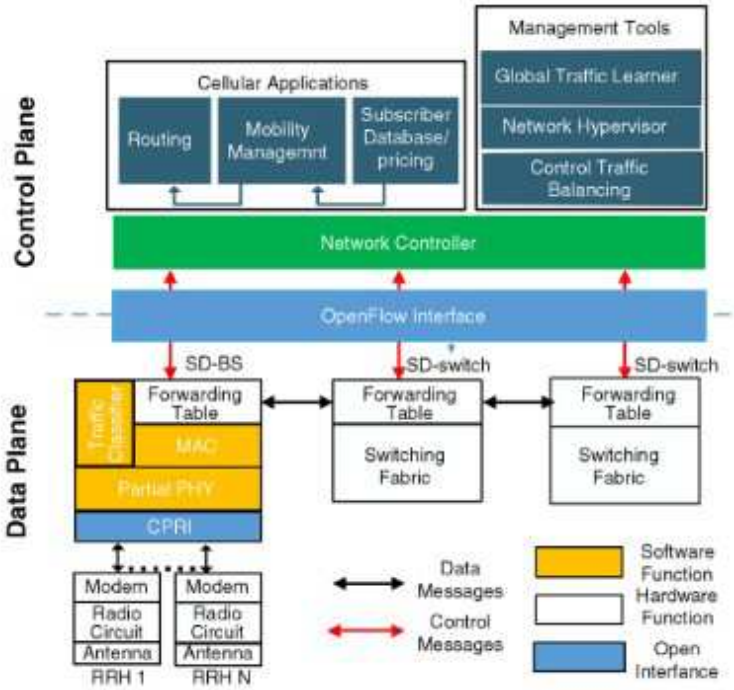
Na temelju glavnih karakteristika SDN-a, rad [20] je modelirao arhitekturu sustava na način da SDN kontroler dinamički prilagođava širinu pojasa za svaku radijsku pristupnu točku (engl. *Radio Access Point*, skr. RAP) prema baznoj jedinici (engl. *Baseband Unit*, skr. BBU). Stoga, SDN kontroler pruža fleksibilno upravljanje i odabir usmjeritelja za sve veze radijske pristupne mreže s jezgrenom mrežom, pri čemu je jezgrena mreža SDN kontrolera sastavljena od dva glavna dijela, kao jedinstveni kontrolni entitet (engl. *unified control entity*, skr. UCE) i jedinstveni podatkovni pristupnik (engl. *unified data gateway*, skr. UDW). Uloga UCE-a je definirati kontrolna pravila kao što su entitet za upravljanje mobilnošću (engl. *mobility management entity*, skr. MME), kontrolna ravnina pristupnika usluga (engl. *service gateway control plane*, skr. SGW-C) i kontrolna ravnina pristupnika podatkovne mreže (engl. *packet data network gateway control plane*, skr. PGW-C). S druge strane, UDW određuje pravila za prosljeđivanje podataka kao što su podatkovna ravnina pristupnika usluga (engl. *service gateway data plane*, skr. SGW-D) i podatkovna ravnina pristupnika podatkovne mreže (engl. *packet data network gateway data plane*, skr. PGW-D). Stoga, moramo jamčiti stabilnu vezu između svakog korisnika i udaljene pristupne točke tako da ovaj rad pokušava dizajnirati radijski protokol koji nam pruža potrebnu međusobnu povezanost između podatkovne ravnine i kontrolne ravnine.

Drugo ponuđeno rješenje je SoftAir [21]. To je predložena arhitektura koja podrazumijeva da se kontrolna ravnina sastoji se od alata za upravljanje i optimizaciju mreže i implementirana je na mrežnim poslužiteljima. Podatkovna ravnina sastoji se od programski

definiranih baznih stanica (engl. *software-defined base station*, skr. SD-BS) u RAN-u i programski definiranih komutatora (engl. *software-defined switches*, skr. SD-switches) u jezgrenoj mreži. Kontroler posložuje fizičke, MAC i mrežne funkcije na računalima i u udaljenim podatkovnim centrima. Arhitektura takvog sustava je prikazana na slikama (Sl. 7 i Sl. 8).



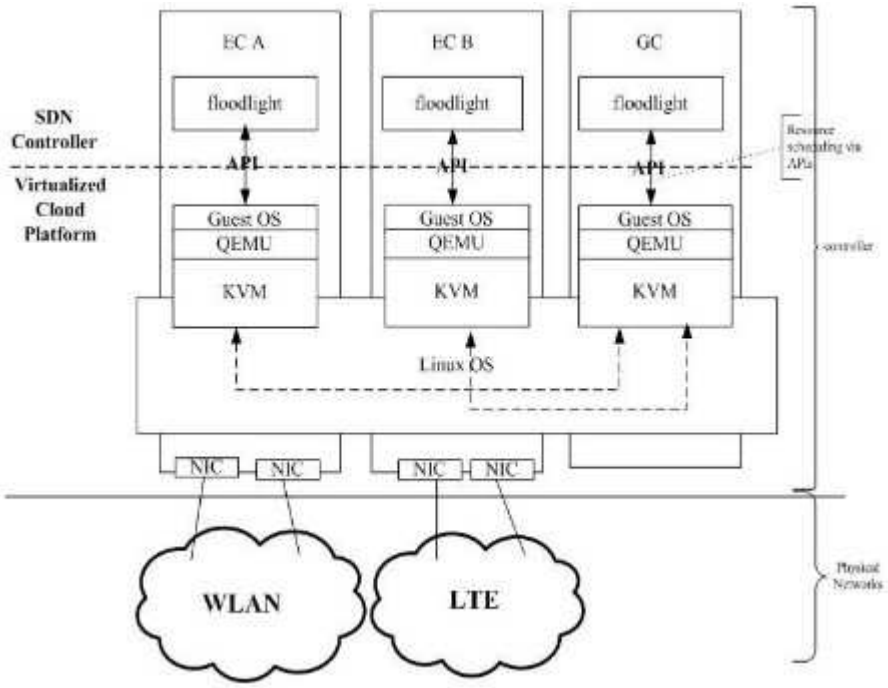
Sl. 7: Arhitektura SoftAir [21]



Sl. 8: Kontrolna i podatkovna ravnina [21]

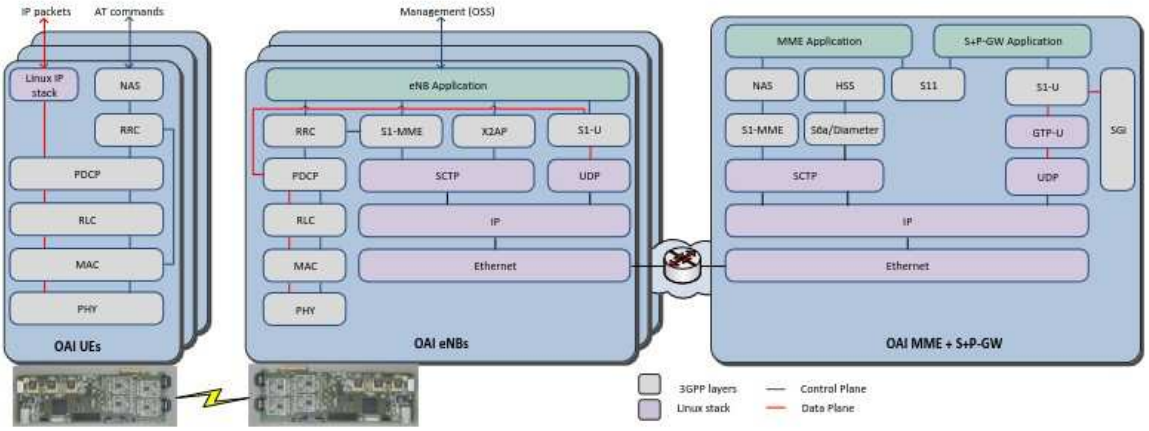
Predložena SoftAir arhitektura nudi pet osnovnih svojstava: (i) programabilnost, tj. SDN čvorovi (npr. SD-BSs i SD-switches) mogu se programirati u hodu dinamičkim povezivanjem s različitim mrežnim resursima i algoritmima za umrežavanje; (ii) kooperativnost, tj. SDN čvorovi mogu biti implementirani i agregirani u podatkovnim centrima za zajedničku kontrolu i optimizaciju kako bi se poboljšala globalna mrežna učinkovitost; (iii) virtualizabilnost, tj. više virtualnih bežičnih mreža može se stvoriti na jednom SoftAir-u, od kojih svaka radi s vlastitim mrežnim protokolima i pritom radi s dodijeljenim mrežnim resursima bez interferencije s drugim pružateljima usluge; (iv) otvorenost, tj. elementi podatkovne ravnine (SD-BSs i SD-switches), imaju uobičajene protokole za podatke i kontrolu, neovisno o različitim tehnologijama drugih proizvođača za preusmjeravanje podataka, primjerice CPRI i OpenFlow, čime se značajno pojednostavljuje praćenje i upravljanje podatkovnom ravninom; i (v) vidljivost, tj. centralizirani kontroleri imaju globalni pregled statusa mreže prikupljenog iz baznih stanica i prekidača.

Rad [22] predlaže novu višerazinsku shemu oblaka kontrolera i mehanizam obrade događaja za programski upravljane bežične mreže za 5G mreže prema OpenFlow standardu, čime se postiže arhitektura usmjerena na korisnika i usluge. Da se ostvari nužan radijski pristup, SDN i NFV zajedno omogućuju prevladavanje izolacije heterogenih radijskih pristupnih mreža poput LTE, Wi-Fi i W-CDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access)*, čime se smanjuje promet u 5G mrežama. Jedan od ključnih izazova za 5G sustave je kvaliteta korisničkog iskustva (engl. *Quality of Experience*, skr. QoE) zbog velikog broja uređaja i raznolikih zahtjeva za propusnost i kašnjenje mreže. Predložena višerazinska arhitektura kontrolere u oblaku (Sl. 9) uključuje rubne kontrolere (engl. *Edge Controller*, skr. EC) i globalne kontrolere (engl. *Global Controller*, skr. GC) kako bi se smanjilo kašnjenje odgovora i uravnotežilo mrežno opterećenje. Arhitektura uključuje dva glavna bloka za obradu: OLAP (engl. *on-line analytical processing*) i OLTP (engl. *on-line transaction processing*). Statistike iz RAN-a prikuplja EC i usmjerava ih prema potrebama QoE. NFV omogućuje rad više virtualnih operatera na istoj infrastrukturi, dok OpenFlow standard omogućuje fleksibilno upravljanje podacima. Cilj je pružiti sveprisutni radijski pristup oblaku za 5G mreže, poboljšati spektralnu učinkovitost i energetsku učinkovitost, te omogućiti neovisnost o vrsti radijske mreže ili operatera.



Sl. 9: Virtualizacija arhitekture kontrolera u oblaku [22]

Rad [23] predstavlja OpenAirInterface (OAI), open-source platformu koja prati 3GPP (engl. *The 3rd Generation Partnership Project*) standarde i koristi SDN. Platforma radi na dvije glavna komponente LTE arhitekture sustava: E-UTRAN i EPC. Predloženi model je vrlo realističan i istražuje sve protokole od fizičkog do mrežnog sloja. Također, OAI ima potencijal postati referentna platforma za evaluaciju razvoja 5G tehnologije pružajući istraživačima jednostavno i brzo okruženje za prototipiranje i testiranje. U shemi OAI-a, slično drugim SDR (engl. *Software-Defined Radio)* pristupima, bazna stanica, pristupne točke, mobilni terminali i jezgrena mreža realizirani su putem programske radijske točke povezane s glavnim poslužiteljem za obradu. Štoviše, OAI je jedino SDR rješenje koje pruža potpunu programsku implementaciju svih elemenata 4G LTE arhitekture sustava. Mrežna konfiguracija prikazana je na slici (Sl. 10).



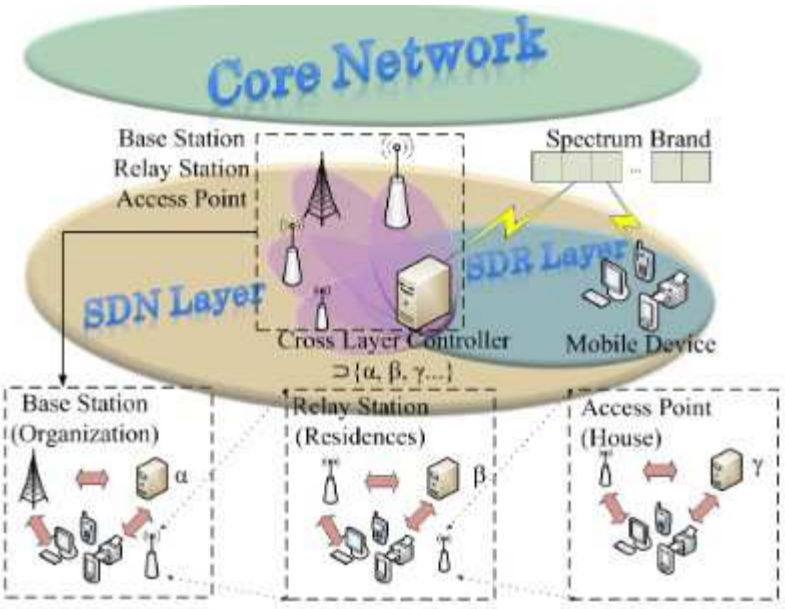
Sl. 10: Mrežna konfiguracija OpenAirInterface [23]

Ukratko, postoje dvije jedinstvene značajke OAI platforme. Prvo, to je open-source programska implementacija 4G mobilnog sustava u stvarnom vremenu koja prati 3GPP LTE standarde i može se koristiti za eksperimentiranje i demonstracije u zatvorenom ili otvorenom prostoru. Drugo, ima ugrađenu mogućnost emulacije koja omogućuje ponovljive i skalabilne eksperimente u kontroliranom laboratorijskom okruženju kao i u stvarnim praktičnim uvjetima, poštujući vremenska ograničenja okvira.

U radu [24] raspravlja se o tome da današnji Internet uglavnom koristi samo jedan jedini put između dviju komunikacijskih točaka, a paketno komutirane mreže su temelj infrastrukture komunikacije. Očito je da korištenje samo jednog puta ne pruža dovoljno sigurnosti za komunikaciju s niskom stopom gubitka, uglavnom zato što je ranjivo na manipulacije, štoviše, možemo postići veću propusnost koristeći komunikaciju pomoću više puteva. Također, za velike udaljenosti, situacija postaje lošija, posebno zbog dugog kašnjenja koje se može izbjeći. Ovaj rad koristi mreže usmjerene na kod i pokušava postići veću propusnost, otpornost, sigurnost i niska kašnjenja. Nadalje, usmjeritelj na putu može koristiti različite mrežne kodove na temelju situacije u mreži. Predložena metoda je obećavajući način za mreže s gubicima. Predložena shema omogućuje dinamičku dodjelu distribuiranih oblaka na vrhu svakog usmjeritelja i postavlja oblak blizu korisnika, čime se smanjuje kašnjenje u mreži. Stoga operacije usmjerene na kod preko SDN komponenti poboljšavaju performanse.

U radu [25] predložena je shema preko slojeva koja kombinira karakteristike SDR-a i SDN-a. S obzirom na činjenicu da će se spektri i širina pojasa 5G tehnologije suočiti s neizbježnim izazovima u budućnosti zbog velikog broja različitih i nepredvidivih klijenata,

integracija između frekvencijskog spektra i širine pojasa bit će neizbježna tema. Kombiniranje SDR-a i SDN-a bilo bi najbolje rješenje za ovu integraciju. Međutim, teško je razmjenjivati informacije između njih jer pripadaju različitim slojevima. Stoga, glavni doprinos u tom radu je dizajniranje mehanizma integracije preko slojeva kako bi se kombinirale prednosti integracije SDN-a i SDR-a. Rad tvrdi da je suživot SDR-a i SDN-a ključan, i da se najbolji učinak može postići samo uz međusobnu suradnju. Arhitektura koja kombinira ova dva sloja prikazana je na slici (Sl. 11).



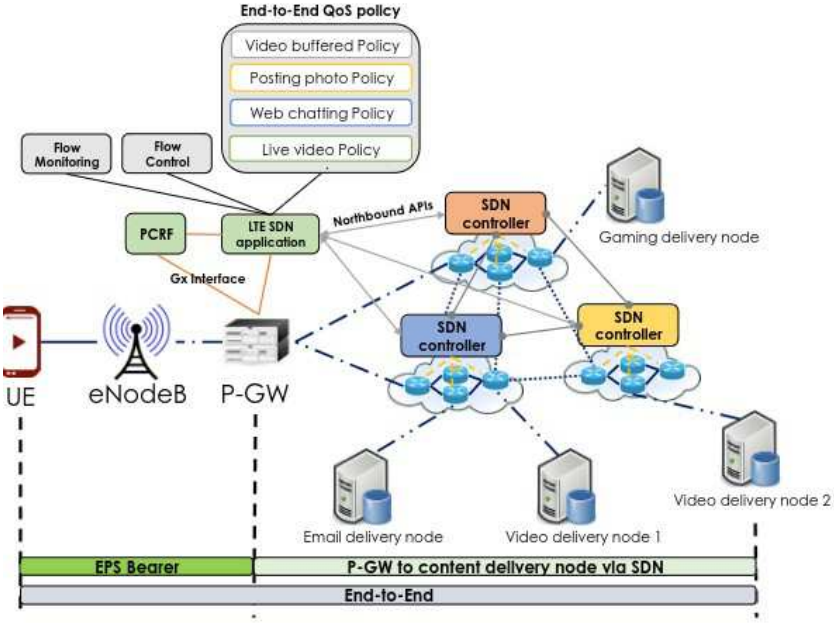
Sl. 11: Kombinirana arhitektura SDR-a i SDN-a [25]

Resursi spektra i mrežni resursi su uglavnom slični, i oba imaju specifično područje odgovornosti. Programski definirani pristup je odgovarajuća metoda za stvaranje tablica usmjeravanja, rukovanja, mehanizama certifikacije, itd. Tijekom slanja paketa, ovi mehanizmi šalju zahtjeve i signalne poruke, što troši širinu pojasa. Štoviše, s povećanjem virtualnih lokalnih mreža (engl. *Virtual Local Area Network*, skr. VLAN), učinkovitost pretvorbe starih i novih L2 domena će se smanjiti. Sloj SDR sadrži sve uređaje koji mogu pristupiti radiju. Percepcija SDR-a se provodi na terminalu, i ne može upravljati korištenjem spektra. Stoga, učinkovito korištenje i prebacivanje kanala nije moguće, i treba postojati centralizirani čvor. Administrativna komponenta se koristi kao mjerilo za određivanje frekvencijskog pojasa ili za izbjegavanje smetnji. Predloženi kontroler preko slojeva zna tko je poslao zahtjev za korištenje frekvencijskog spektra; stoga, može lako odrediti je li uređaj ovlašten. Ovo može izbjeći mnoge slučajeve ilegalnog pristupa

spektralnim resursima, i omogućuje praćenje svih korisnika frekvencija i smetnji. Ovaj rad predlaže ponovno korištenje spektra kako bi se smanjio protok prometa za neke specifične frekvencije, što može dovesti do značajnog poboljšanja u 5G mreži i omogućiti više uređaja da imaju visoku kvalitetu usluga. Suradnja između SDN-a i SDR-a omogućuje da SDR ima pristup rezultatima praćenja frekvencijskog spektra ili prebacivanju pojaseva, dok SDN može koristiti uvjete frekvencijskog spektra koje pruža SDR, kada se politika promijeni. Stoga predložena arhitektura prelazi SDN sloj i SDR sloj. Glavna komponenta predložene arhitekture je kontroler preko slojeva, koji ima administrativna pravila za nadzor i donošenje ispravnih odluka. Također, shema koristi jedinicu u kontroleru koja donosi odluke na temelju kompromisa između primljenih informacija iz oba sloja. Svaki put kada korisnici žele pristupiti spektralnim resursima, trebaju zatražiti od kontrolera preko slojeva dostupnost pojasa. Nakon potvrde autorizacije korisnika, kontroler preko slojeva istražuje informacije o prometu za traženi pojas i dopušta pristup ili predlaže prebacivanje na bolji pojas. Štoviše, na temelju dinamičkog mrežnog okruženja, kontroler se može prilagoditi na temelju korištenja spektra i općih mrežnih uvjeta. Stoga, suradnja ova dva sloja može rezultirati boljim planiranjem i performansama.

Rad [26] predlaže novu shemu za pametnu isporuku protoka podataka. U predloženoj shemi, kada se kvaliteta usluge u mreži procjenjuje na temelju statusa mreže koji pružaju SDN kontroleri, SDN aplikacija šalje zahtjev kontrolerima. Kontroleri tada analiziraju uvjete u mreži, poput propusnosti i stopa gubitka paketa, kako bi pronašli točku na kojoj je došlo do zagušenja ili uskog grla. Nakon toga, za rješavanje zagušenja, SDN kontroler prvo određuje QoS budžet, kao što je maksimalna dopuštena količina kašnjenja paketa po segmentu mreže. Na temelju pravila mreže, SDN kontroleri određuju jesu li dopušteni bilo kakvi alternativni putevi usmjeravanja. Također, kontroler može dinamički ažurirati putanje usmjeravanja između WAN (engl. *Wide Area Network*) usmjeritelja u mreži ovisno o situaciji. Osim toga, može dodijeliti drugi čvor za isporuku sadržaja klijentu kako bi se osigurala veća mrežna učinkovitost. Ovaj rad predlaže izgradnju svijesti o aplikacijama, dijeljenjem LTE QoS parametara s SDN kontrolerima koji imaju poteškoća s implementacijom svijesti o aplikacijama. S LTE QoS parametrima, SDN kontroler može pružiti točniji i dosljedniji end-to-end QoS, što rezultira mrežom potpuno svjesnom aplikacija. Nadalje, u LTE-u se QoS i QoE faktori mogu procijeniti korištenjem DPI. DPI pruža inspekciju od četvrtog do sedmog sloja, što omogućuje ne samo svijest o kontekstu

već i izvlačenje meta podataka i drugih podataka koji se koriste za izračunavanje statistike mrežnih performansi za svaki protok. Shema mreže prikazana je na slici (Sl. 12).



Sl. 12: Mreža bazirana na SDN-u za isporuku pametnog sadržaja putem LTE-a [26]

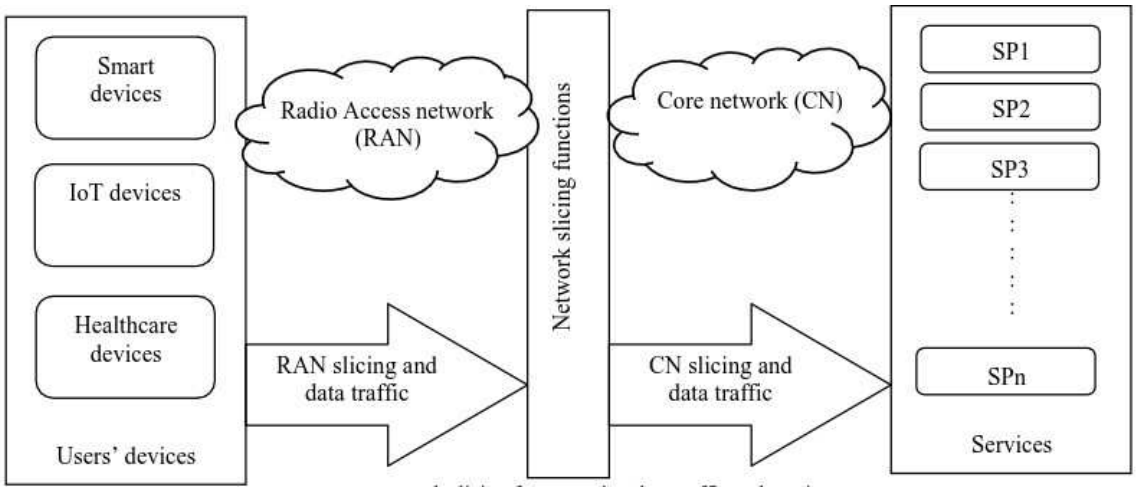
Rad [27] predlaže shemu pod nazivom SoftRAN, koja je centralizirana arhitektura kao alternativa distribuiranoj kontrolnoj ravnini slična SDN arhitekturi. Ona uzima sve bazne stanice u jednoj geografskoj zoni, koje su samo radijski elementi s malo kontrolne logike, kao jednu virtualnu veliku baznu stanicu. Ovim radijskim elementima upravlja logički centralizirani element koji donosi odluke kontrolne ravnine za sve radijske elemente u toj geografskoj zoni. Stoga se ovaj logički centralizirani entitet naziva kontrolerom velike bazne stanice. Kontroler održava cjelokupni pregled radijske pristupne mreže i pruža okvir na kojem se mogu implementirati kontrolni algoritmi.

Rad [28] koristi SDN shemu za smanjenje kašnjenja pri prosljeđivanju podataka u mreži. Budući da SDN kontroler može upravljati s više eNodeB-ova preko OpenFlow protokola, može poslati bilo kakvo ažuriranje za nova pravila prosljeđivanja, što rezultira time da mreža može ukloniti poruke upravljanja između eNodeB-ova. Također, krajnja točka slanja podataka može se temeljiti na skupu unaprijed definiranih pravila, QoS-a ili statusa mreže, što opet može pomoći mreži da ukloni poruke između eNodeB-ova i MME-a. Na kraju, protok podataka ide preko podatkovne ravnine na temelju odluke donesene na kontroleru za krajnju točku. Kao što gore navedeni rad navodi: prema industrijskim standardima,

kašnjenje pri prebacivanju trebalo bi idealno biti 0,7 sekundi, kada su uključene i faze planiranja i izvršenja. U najgorem slučaju, može se prihvatiti kašnjenje do dvije minute tijekom prebacivanja između 3G i LTE mreža. Korištenjem SDN arhitekture, politika ili podatkovni put trebaju biti definirani preko OpenFlow protokola, a vrijeme obrade za bilo koju OpenFlow poruku značajno se smanjuje, što rezultira smanjenjem kašnjenja pri prebacivanju za otprilike 30 posto i omogućava brže prebacivanje.

3.4. Raslojavanje mreže za upravljanje mrežnim prometom

Pružatelji usluga poboljšavaju usluge prema preferencijama korisnika putem RAN-a, dostupnosti funkcija mrežnog raslojavanja i CN-a (engl. *core network)*. Kada imamo veliki broj korisnika i njihovih uređaja koji pokušavaju dobiti jednu uslugu u isto vrijeme, pristup toj specifičnoj usluzi bit će težak jer će povezivanje s uslugom biti odgođeno, a brzina prijenosa podataka će se smanjiti. Novi algoritmi raslojavanja ovise o funkcijama mrežnog raslojavanja, koje utječu na brzinu prijenosa podataka, kašnjenje i povezivost. Slika (Sl. 13) prikazuje raslojavanje mreže za upravljanje prometom podataka, što poboljšava pristup uslugama. Prema mrežnom raslojavanju, moguće je definirati klase usluga pri radijskom i krajnjem korisniku pristupom resursima pružatelja usluga. Pružatelji usluga (SP1, SP2,..., SPn) isporučuju usluge putem RAN-a i CN-a s odgovarajućim raslojavanjem, koje ostvaruje QoS. Na taj način, transport ima određenu autonomiju od radija kako bi organizirao svoje interne resurse u uslugama i izložio ih u odgovarajućim slojevima, a transport može dinamički preuređivati promet [29].



Sl. 13: Raslojavanje mreže za upravljanje mrežnim prometom [38]

Unatoč mnogim aspektima alokacije resursa, slojevi podržavaju virtualizaciju mrežnih resursa ovisnih o SDN-u, što omogućuje pružateljima usluga da dinamički dijele fizičke resurse s programabilnim pristupom. Potpuna arhitektura mrežnog raslojavanja 5G fokusira se na alokaciju fizičkih resursa na virtualne slojeve. SDN može lako upravljati svim radnjama alokacije resursa za središnje slojeve jer SDN može vrlo precizno upravljati mobilnošću u raslojenim mrežama. Također, dizajn arhitekture raslojenih mreža za 5G mrežu temelji se na kontroli programskog hardvera i fizičke infrastrukture. Slojevi mreže moraju dijeliti iste mrežne resurse, a fizička infrastruktura će se dijeliti između svih slojeva, ali će raditi odvojeno kao izolirana mreža.

Mrežne usluge trebale bi biti dostupne kad god i gdje god korisnici žele upravljati svojim podacima putem resursa koji se koriste između korisnika i pružatelja usluga. Dakle, pružatelji usluga trebali bi osigurati da su sve njihove ponuđene mrežne usluge (osjetljive i kritične usluge temeljene na 5G slojevima) dostupne tijekom vremena kada ih korisnici trebaju. Ovdje vremenska složenost utječe na vrijeme usluge, što ovisi o vremenu rada ili zastoja mrežnih usluga koje utječu na resurse.

Provođenje slojeva od krajnjeg do krajnjeg sloja predstavlja značajan izazov s raslojenom mrežom u 5G. Prema svojoj funkcionalnosti, trebalo bi biti trivijalno generiranje slojeva putem učinkovitog raslojavanja i mapiranja. Međutim, trebalo bi također biti prilagodljivo i omogućiti implementaciju usluga, ali ne bi trebalo biti ograničeno. Ovo je veliki izazov za nužno fleksibilno provođenje od krajnjeg do krajnjeg sloja. Drugim riječima, neuspjeh provođenja sloja zbog ograničene funkcionalnosti u virtualizaciji [30]. Adaptivno raslojavanje mreže s višestrukom implementacijom na više lokacija u 5G jezgrenim mrežama poboljšava funkcionalnosti korištene u algoritmu mrežnog raslojavanja [31].

3.5. Uloga pozicije kontrolera za skalabilnu kontrolnu ravninu

S ekstenzivnom mrežom u 5G, centralizirani pristup kontrolera u SDN-u ima ograničenja vezana uz performanse i skalabilnost. Nekoliko istraživanja zagovara korištenje i postavljanje više kontrolera kako bi se poboljšala skalabilnost u SDN-u. Problem postavljanja kontrolera (engl. *Controller Placement Problem*, skr. CPP) postaje veći izazov, osobito kada mrežni čvorovi i kontroleri imaju određene ograničavajuće parametre kao što su kašnjenje, mrežno opterećenje i udaljenost. Problem postavljanja kontrolera

potrebno je kritički ispitati kako bi se osigurale učinkovite performanse mreže i skalabilnost. U velikim mrežama sa značajnim kašnjenjem, postavljanje kontrolera ograničava odgovor kontrolera na radnje u stvarnom vremenu koje osjeća podatkovna ravnina [32].

Postoji nekoliko povezanih radova o postavljanju kontrolera u SDN-u [32] [33]. Većina rješenja predloženih u literaturi oslanja se na topologiju i nisu skalabilna kako se broj povećava. Prvi predstavljen rad [32] d o CPP-u je procijenio minimalan broj kontrolera i njihova postavljanja u SDN-u. Svrha nije bila identificirati optimalne pozicije s minimalnim kašnjenjem, već pružiti početno istraživanje važnog arhitektonskog problema koji ostaje otvoren za daljnja istraživanja.

U radu [33] predstavljeni su učinci broja i lokacije kontrolera u SDN-u uzimajući u obzir učinkovitost SDN CP-a. Rad pokazuje ravnotežu između pouzdanosti i kašnjenja. Autori su uvjereni da postavljanje znatno manjeg broja kontrolera smanjuje učinkovitost. Predstavljena su četiri algoritma za postavljanje kontrolera kako bi se maksimizirala pouzdanost postavljanja kontrolera.

Radovi [32] i [33] uzimaju u obzir lokaciju komutatora kako bi dobili optimalan broj kontrolera i njihove odgovarajuće lokacije. Međutim, ignoriraju utjecaj skalabilnosti u rješavanju međukontrolerskih efekata. Rad [34] proširuje prethodne radove uzimajući u obzir nekoliko parametara kao što su međukontrolersko kašnjenje, balansiranje opterećenja između kontrolera i povezanost između ravnina za optimalno postavljanje kontrolera. Razvijen je algoritam nazvan POCO koji optimizira CP, uzimajući u obzir više metrika relevantnih za otpornost SDN-a.

U radu [35] riješeni su složeni CPP putem cjelobrojne linearne optimizacije koristeći zasebnu strategiju. Predložen je algoritam koji smanjuje vrijeme protoka prilagođavanjem broja i pozicije kontrolera.

Zaključak

Primjena programski upravljanih mreža u 5G mobilnim mrežama može značajno poboljšati performanse i skalabilnost mreža. Pregled arhitekture 5G mreža te analiza ključnih karakteristika i prednosti SDN-a pokazuje da ova tehnologija nudi fleksibilnost i dinamičko upravljanje resursima koje je potrebno za podršku naprednih funkcionalnosti 5G mreža.

Integracija SDN-a s 5G uključuje nekoliko ključnih izazova, uključujući raslojavanje mreže, virtualizaciju mrežnih funkcija (NFV), upravljanje prometom i problem postavljanja kontrolera. Rješavanje ovih izazova omogućuje smanjenje kašnjenja, poboljšanje učinkovitosti mreže te dinamičko prilagođavanje mrežnim uvjetima i zahtjevima korisnika.

Predložena rješenja u radu, kao što su adaptivno raslojavanje mreže i višekriterijsko klasteriziranje za postavljanje kontrolera, pokazala su se učinkovitim u poboljšanju raspodjele čvorova i upravljanju prometom u gustim mrežama koje se očekuju u 5G scenariju.

Zaključno, kombinacija SDN-a i 5G mreža predstavlja ključni korak prema budućim naprednim mobilnim mrežama koje će omogućiti brže, sigurnije i fleksibilnije usluge korisnicima. Ova integracija ne samo da povećava kapacitet i pouzdanost mreža, već i otvara put za nove inovacije i aplikacije u svijetu mobilnih komunikacija.

Literatura

[1] CHANDRAMOULI D., LIEBHART R., PIRSKANEN J., 5G for the Connected World, John Wiley & Sons, Inc., 2019.

[2] BROWN G., Service-based Architecture for 5G Core Networks, Huawei Technologies Co. Ltd., https://www.3g4g.co.uk/5G/5Gtech_6004_2017_11_Service-Based-Architecture-for-5G-Core-Networks_HR_Huawei.pdf

[3] DAHLMAN E., PARKVALL S., SKÖLD J., 5G NR: The next generation wireless access technology, Academic Press, 2018.

[4] Diego Kreutz, Fernando M.V. Ramos, Paulo Esteves Verissimo, Christian Esteve Rothenberg, Siamak Azodolmolky, i Stee Uhlig. Software-defined networking: A comprehensive survey. Proceedings of the IEEE, 103(1):14–76, January 2015.

[5] Zebari RR, Zeebaree S, Jacksi K, Shukur HM. E-business requirements for flexibility and implementation enterprise system: A review. International Journal of Scientific & Technology Research. 2019;8:655-660

[6] Prajapati A, Sakadasariya A, Patel J. Software defined network: Future of networking. In 2018 2nd International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). 2018;1351-1354.

[7] Alzakholi O, Shukur H, Zebari R, Abas S, Sadeeq M. Comparison among cloud technologies and cloud performance. Journal of Applied Science and Technology Trends. 2020;1:40-47.

[8] Xu H, Huang H, Chen S, Zhao G, Huang L. Achieving high scalability through hybrid switching in software-defined networking. IEEE/ACM Transactions on Networking. 2018;26:618-632.

[9] Elazim NMA, Sobh MA, Bahaa-Eldin AM. Software defined networking: attacks and countermeasures. in 2018 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES). 2018;555-567

[10] Huang H, Yin H, Min G, Jiang H, Zhang J, Wu Y. Data-driven information plane in software-defined networking. IEEE Communications Magazine. 2017;55:218-224.

[11] Abdulraheem AS, Salih AA, Abdulla AI, Sadeeq MA, Salim NO, Abdullah H, et al. Home automation system based on IoT; 2020.

[12] Deepak Singh Rana SAD, Sushil Kumar Chamoli. Software defined networking (SDN) challenges, issues and Solution. International Journal of Computer Sciences and Engineering. 2019;7:884-889.

[13] W. H. Chin, Z. Fan and R. Haines, "Emerging technologies and research challenges for 5G wireless networks", IEEE Wireless Communications, vol. 21, no. 2, pp. 106-112, 2014.

[14] N. Alliance, "5G white paper", Next generation mobile networks white paper, 2015.

[15] M. Liyanage, A. Gurtov and M. Ylianttila, Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE Network Architecture, John Wiley & Sons, 2015.

[16] P. Nikander, A. Gurtov and T. R. Henderson, "Host identity protocol (HIP): Connectivity mobility multi-homing security and privacy over IPv4 and IPv6 networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 12, no. 2, pp. 186-204, 2010.

[17] M. Jarschel and R. Pries, "An openflow-based energy-efficient data center approach", Proceedings of the ACM SIGCOMM 2012 conference on Applications technologies architectures and protocols for computer communication, pp. 87-88, 2012.

[18] J. Ordonez-Lucena, P. Ameigeiras, D. Lopez, J.J. Ramos-Munoz, J. Lorca, J. Folgueira, Network slicing for 5G with SDN/NFV: concepts, architectures, and challenges, IEEE Commun. Mag. 55 (5) (2017) 80–87.

[19] Kelvin Q., Michelle Z., GSMA - Network Slicing Use Case Requirements – White Paper, February, 2018, [Online]. https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/07/Network-Slicing-Use-Case-Requirements-fixed.pdf

[20] Zheng Ma, ZhengQuan Zhang, ZhiGuo Ding, PingZhi Fan, HengChao Li, ”Key techniques for 5G wireless communications: network architecture, physical layer, and MAC layer perspectives”, Science China Information Sciences, Springer , April 2015, Volume 58, Issue 4, pp 1-20.

[21] Ian F. Akyildiz, Pu Wang, Shih-Chun Lin, ”SoftAir: A software defined networking architecture for 5G wireless systems”, Computer Netwworkins, Elsevier , 2015.

[22] Guolin Sun, Feng Liu, Junyu Lai, and Guisong Liu, ”Software Defined Wireless Network Architecture for the Next Generation Mobile Communication: Proposal and Initial Prototype”, Journal of Communications, December 2014.

[23] Navid Nikaein, Mahesh K. Marina, Saravana Manickam, Alex Dawson, ”OpenAirInterface: A Flexible Platform for 5G Research”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review , v.44 n.5, October 2014.

[24] ND Szabo, F Nemeth, B Sonkoly, A Gulyas, FHP Fitzek, ” Towards the 5G Revolution: A Software Defined Network Architecture Exploiting Network Coding as a Service”, Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication, August 2015.

[25] H. Hung Cho, C. F Lai, TK Shih, H. C Chao, ”Integration of SDR and SDN for 5G”, IEEE Access, vol. 2, pp. 1196?1204, 2014.

[26] Hyunwoo Nam, Doru Calin, Henning Schulzrinne, ”Intelligent Content Delivery over Wireless via SDN”, IEEE WCNC , 2015.

[27] Aditya Gudipati , Daniel Perry , Li Erran Li , Sachin Katti, ”SoftRAN: software defined radio access network”, Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Hot topics in software defined networking, August 2013.

[28] Rafat Jahan, ”Unlocking the True Potential of 5G: Techniques for Latency Reduction”, White Paper, TCS’ Telecom Business Unit, 2015.

[29] Daifallah Alotaibi, Vijey Thayananthan, and Javad Yazdani, „The 5G network slicing using SDN based technology for managing network traffic”, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921021050?ref=cra_js_challenge&fr=RR-1

[30] Santos, Joao F., Wei Liu, Xianjun Jiao, Natal V. Neto, Sofie Pollin, Johann M. Marquez-Barja, Ingrid Moerman, and Luiz A. DaSilva. "Breaking Down Network Slicing: Hierarchical Orchestration of End-to-End Networks." IEEE Comm. Magazine 58, no. 10 (2020): 16-22.

[31] Vittal, Shwetha, Mohit Kumar Singh, and A. Antony Franklin. "Adaptive Network Slicing with Multi-Site Deployment in 5G Core Networks." In 2020 6th IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft), pp. 227-231. IEEE, 2020.

[32] B. Heller, R. Sherwood and N. McKeown, "The controller placement problem", *Proceedings of the first workshop on Hot topics in software defined networks*, pp. 7-12, 2012.

[33] Y. Hu, W. Wendong, X. Gong, X. Que and C. Shiduan, "Reliability-aware controller placement for software-defined networks", *Integrated Network Management (IM 2013) 2013 IFIP/IEEE International Symposium on*, pp. 672-675, 2013.

[34] D. Hock, M. Hartmann, S. Gebert, M. Jarschel, T. Zinner and P. Tran-Gia, "Pareto-optimal resilient controller placement in SDN-based core networks", *Teletraffic Congress (ITC) 2013 25th International*, pp. 1-9, 2013.

[35] M. F. Bari et al., "Dynamic controller provisioning in software defined networks", Network and Service Management (CNSM) 2013 9th International Conference on, pp. 18-25, 2013

[36] 3GPP TS 23.501 V15.4.0, Technical Specification Group Services and System Aspects, System Architecture for the 5G System (Release 15), prosinac 2018.

[37] Qualcomm Technologies, Inc, Making 5G NR a reality, prosinac 2016. https://www.qualcomm.com/media/documents/files/whitepaper-making-5g-nr-a-reality.pdf

[38] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050921021050?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=89201e755b4c248e

Primjena programski upravljanih mreža u mobilnim mrežama 5G

Sažetak

Ovaj rad istražuje integraciju programski upravljanih mreža s 5G mobilnim mrežama, s ciljem poboljšanja performansi i skalabilnosti mreže. Rad započinje pregledom arhitekture 5G mreža te prelazi na detaljnu analizu SDN-a, uključujući njegove ključne karakteristike i prednosti. Integracija SDN-a s 5G obuhvaća nekoliko izazova, kao što su raslojavanje mreže, virtualizacija mrežnih funkcija (NFV), upravljanje prometom te problem postavljanja kontrolera. Glavni rezultat istraživanja pokazuje da kombinacija SDN-a i 5G može značajno poboljšati učinkovitost mreže, smanjiti kašnjenje te omogućiti dinamičko upravljanje resursima. Ova integracija predstavlja ključni korak prema budućem napretku mobilnih mreža koje se neprestano razvijaju.

Ključne riječi: 5G, mobilne mreže, programski upravljana mreža, SDN, kontroler, raslojavanje mreže, virtualne mrežne funkcije , VNF, problem postavljanja kontrolera

Application of Software-Defined Networks in 5G Mobile Networks

Abstract

This paper explores the integration of Software-Defined Networks with 5G mobile networks, aiming to enhance network performance and scalability. The paper begins with an overview of 5G network architecture and then proceeds with a detailed analysis of SDN, including its key characteristics and advantages. The integration of SDN with 5G encompasses several challenges, such as network slicing, network function virtualization (NFV), traffic management, and the controller placement problem. The main finding of the research shows that the combination of SDN and 5G can significantly improve network efficiency, reduce latency, and enable dynamic resource management. This integration represents a crucial step towards the future advancement of continuously evolving mobile networks.

Keywords: 5G, mobile networks, software-defined network, SDN, controller, network slicing, NFV, Controller Placement Problem

Skraćenice

5G	*Fifth generation mobile networks*
SDN	Software-Defined Networking
5GCN	*5G Core Network*
RAN	*Radio Access Network*
LTE	*Long Term Evolution*
SBA	*Service-Based Architecture*
API	*Application Programming Interface*
UE	*User Equipment*
gNB	*Next Generation NodeB*
gNB-CU	*Next Generation NodeB – Central Unit*
gNB-DU	*Next Generation NodeB – Distributed Unit*
FR	*Frequency Range*
mMIMO	*Multiple-Input-Multiple-Output*
QoS	*Quality of Service*
GSMA	*Global System for Mobile Communications*
NFV	*Network Function Virtualization*
IT	*Information Technology*
W-SDN	*Wireless Software-Defined Networking*
RAP	*Radio Access Point*
BBU	*Baseband Unit*
UCE	*Unified Control Entity*
UDW	*Unified Data Gateway*
MME	*Mobility Management Entity*
SGW-C	*Service Gateway Control Plane*
PGW-C	*Packet Data Network Gateway Control Plane*
SGW-D	*Service Gateway Data Plane*
PGW-D	*Packet Data Network Gateway Data Plane*
SD-BS	*Software-Defined Base Station*
SD-switches	*Software-Defined Switches*
W-CDMA	*Wideband Code Division Multiple Access*

QoE	*Quality of Experience*
EC	*Edge Controller*
GC	*Global Controller*
3GPP	*3rd Generation Partnership Project*
SDR	*Software-Defined Radio*
VLAN	*Virtual Local Area Network*
WAN	*Wide Area Network*
CN	*Core Network*
CPP	*Controller Placement Problem*