

IoT mrežni nivo

Sadržaj

- Prednosti IP protokola
- Potrebe za optimizacijom
- Optimizacija IP za potrebe IoT

Prednosti IP protokola

Uvod

- ❑ Jedna od ključnih razlika između IT i OT je životni vijek tehnologija i uređaja
- ❑ Industrija počiva na laganim evolutivnim koracima pri čemu su industrijski procesi najvažniji za razvoj kompanije
- ❑ Jedan od načina garancije dugog trajanja je definisanje višenivovske arhitekture poput one koju ima tridesetogodišnji IP
- ❑ IP je do sada pokazao da može prihvatiti male i velike evolutivne promjene, uz stabilno povezivanje milijardi korisnika.
- ❑ Korišćenje IP ne znači da će IoT infrastruktura zasnovana na njemu biti javno dostupna već da će većina kritičnih mreža ostati privatne ili visoko osigurane (banke, vojska, policija,...)

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

- ❑ Otvoreni standardi
- ❑ Svestranost
- ❑ Sveprisutnost
- ❑ Skalabilnost
- ❑ Upravlјivost i velika sigurnost
- ❑ Stabiliteta i izdržljivost
- ❑ Veliki broj korisnika
- ❑ Inovativnost

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Otvoreni standardi

- Za razliku od OT koje karakterišu zatvorena i privatna rješenja, IoT kreira novu paradigmu u kojoj uređaji, aplikacije i korisnici imaju na raspolaganju veliki broj uređaja i funkcionalnosti sa garantovanom interoperabilnošću, sigurnošću i upravljivošću.
- Ovo je sve bazirano na otvorenim standardizovanim rješenjima.
- Uloga IETF-a je neprikosnovena i pored velikog broj drugih tijela za standardizaciju koja su aktivna u IoT

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Svestranost

- Veliki broj tehnologija pokriva oblast pristupnih mreža
- Dodatni protokoli i tehnologije su razvijeni za transport IoT podataka preko okosnice i data centra
- Nijedna postojeća tehnologija, uključujući Ethernet, WiFi i 4G, ne zadovoljava sve potrebe
- Višenivovska TCP/IP arhitektura može da podrži velike promjene koje se dešavaju na fizičkom nivou i nivou linka
- IP je idealno dugoročno rješenje za razvoj IoT bez zahtjeva za izmjene

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Sveprisutnost

- Sve nedavne verzije OS (TinyOS, Contiki,...) posjeduju integrisani *dual IP stack* (IPv4 i IPv6)
- Mnoga industrijska OT rješenja su nadograđena tako da funkcionišu preko IP
- IPv4 dominira ali su IPv6 nadogradnje su sve češće
- IP pruža široku podršku različitim IoT rješenjima i industrijskim vertikalama

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Skalabilnost

- IP je detaljno testiran na Internetu
- Milioni uređaja uspješno koriste IP arhitekturu
- Dodavanje milijardi IoT uređaja može zahtijevati nova implementaciona i optimizaciona pravila
- Slično se već desilo sa integracijom govornih i video terminala

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Upravljivost i velika sigurnost

- Dosadašnja implementacija IP donosi dragocjena iskustva u razumijevanju mrežnih menadžment i sigurnosnih protokola, mehanizama i sredstava
- Postojeća menadžment i sigurnosna sredstva se lako mogu adaptirati
- Ne treba zaboraviti da i pored visoke sigurnosti IP protokola i dalje postoje veliki izazovi u domenu osiguravanja čvorišta ograničenih resursa, podrške starih OT protokola i skaliranja operacija.

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Stabilnosti i izdržljivost

- IP posjeduje veliku bazu znanja i kritičnu infrastrukturu poput finansijskih ili bezbjedonosnih mreža
- IP podržava kritične servise, poput govora i videa, koji su već izazvali jednu njegovu tranziciju
- Veliki ekosistem stručnjaka koji mogu pomoći brzom razvoju IoT sistema

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Veliki broj korisnika

- Tržište koje targetira IoT već je dobro poznato sa Internetom
- Pristup IoT korisnicima će biti zasnovan na širokopojasnim i mobilnim bežičnim infrastrukturama
- Lepeza korisničkih uređaja se kreće od pametnih telefona do PC računara
- IP je zajednički protokol za široku bazu korisnika.

Prednosti IP protokola

Ključne prednosti

□ Inovativnost

- IP je nosilac inovacija
- Podrška za širok dijapazon aplikacija (WWW, društvene mreže, e-commerce,...)
- Podrška evoluciji terminala sa PC na thin klijente povezane na cloud.

Prednosti IP protokola

Prihvatanje ili adaptacija IP?

- ❑ Adaptacija podrazumijeva postojanje gateway-a nivoa aplikacija koji bi obavljali translaciju IP nivoa i ne-IP nivoa
 - ZigBee je baziran na ne-IP steku između uređaja i ZigBee gateway-u koji prosleđuje saobraćaj aplikacionom serveru onabljajući translacije između ZigBee i IP protokol steka
- ❑ Prihvatanje predstavlja zamjenu ne-IP nivoa IP nivoima uz pojednostavljenje implemetacije i funkcionisanja
 - U industrijskom sektoru noviji serijski protokoli integrišu Ethernet i IP
- ❑ IP polako počinje da dominira u IoT svijetu
- ❑ *Supervisory control and data acquisition (SCADA)* aplikacije su tipični primjeri vertikalnih tržišta koji podržavaju i prihvatanje i adaptaciju IP

Prednosti IP protokola

Prihvatanje ili adaptacija IP?

- Faktori koji određuju izbor modela
 - Bidirekcionni (potreban IP) ili jednodirekcionni tokovi podataka (nije potreban IP sem u slučaju na primjer potrebe automatske nadogradnje i ažuriranja softvera)
 - Zaglavlje IP protokol steka je za neke aplikacije preveliko pa ako je prijeko potrebno neophodna je njegova optimizacija
 - Model saobraćajanog toka koji je kod IoT najčešće komunikacija između uređaja i malog broja aplikacija može zahtijevati adaptaciju i prihvatanje
 - Raznovrsnost mrežnih tehnologija zahtijeva razmatranje integracije i koegzistencije postojećih tehnologija i novih aplikacija

Potreba za optimizacijom

Optimizacija je obavezna na različitim nivoima IP protokol steka zbog potreba integracije i IoT ograničenja

- ❑ Ograničenja čvorišta
- ❑ Ograničenja mreža
- ❑ IP verzije

Potreba za optimizacijom

Ograničenja čvorišta

- ❑ Postoji više klasa IoT uređaja koji su ili nijesu slični sa PC računarima
- ❑ Ukoliko IoT čvorište komunicira preko nepouzdanog puta to dovodi, čak i u slučaju pune implementacije IP steka do ograničene ili nepredvidljive propusnosti
- ❑ Potrošnja energije je veoma bitan faktor jer npr. Ethernet, Wi-Fi i celularne tehnologije nijesu optimalne za baterijski napajane uređaje
- ❑ Zato se prilikom evaluacije adaptacije ili prihvatanja IP modela IoT čvorišta klasifikuju na tri grupe
 - Uređaji koji imaju limitirane resurse, komuniciraju s vremena na vrijeme slanjem male količine podataka i imaju ograničene zaštitne i menadžment sposobnosti (model IP adaptacije)
 - Uređaji sa dovoljno napajanja i kapaciteta za implementaciju smanjenog IP steka ili ne-IP steka (oba modela)
 - Uređaji koji su slični PC računarima (model prihvatanja)

Potreba za optimizacijom

Ograničenja mreže

- ❑ Danas dominira brza telekomunikaciona infrastruktura koja nije pogodna za neke IoT uređaje ograničene napajanjem i nivoom emitovane snage
- ❑ *Low-power and Lossy networks (LLN)*
- ❑ IETF's *Routing over Low-Power and Lossy Networks (RoLL)* radna grupa za razvoj IPv6 RPL protokola
- ❑ Na nivou linka ograničenja LLN mreža su niske emisije snage, male brzine prenosa i varijabilna vjerovatnoća uspješnog prenosa paketa koje izazivaju veliko kašnjenje, malu propusnost i veliku vjerovatnoća gubitaka

Potreba za optimizacijom

IP verzije

□ IPv4

- Nedovoljan broj adresa
- Prisutan u postojećim mrežama

□ IPv6

- Nosi veliki broj prednosti

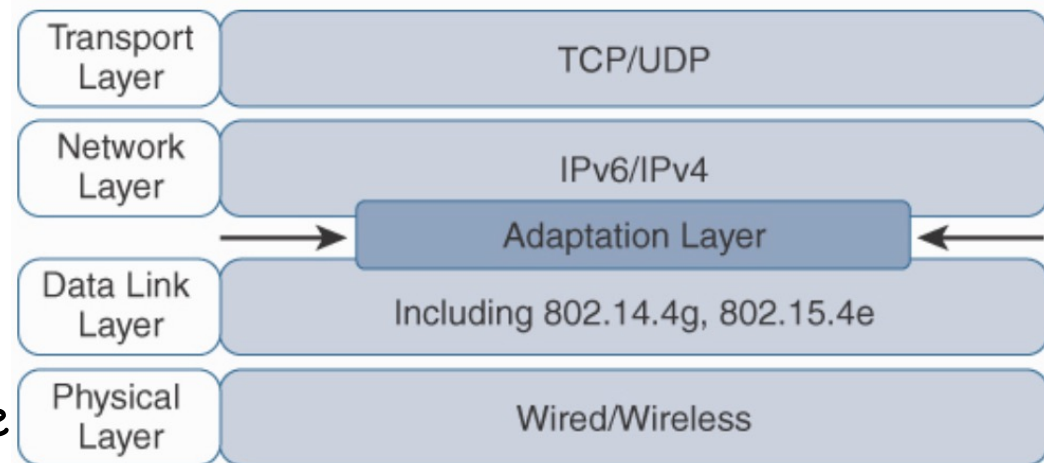
□ Faktori izbora verzije IP protokola

- Protokoli nivoa aplikacije (npr. SCADA protokoli podržavaju samo IPv4)
- Celularne mreže (npr. 2G i 3G podržavaju samo IPv4)
- Serijske komunikacije (većina implementacija podržava IPv4)
- IPv6 adaptacioni nivo IEEE 802.15.4, IEEE 1901.2 i ITU G.9903 podržavaju samo IPv6

Optimizacija IP za IoT

Od 6LoWPAN do 6Lo

- Adaptacioni nivo predstavlja model za pakovanje IP protokola u protokole nižih nivoa
- Za javne i otvorene Internet tehnologije adaptacioni nivo je definisan RFC-om
- Slično je i kod IoT uz mogućnost optimizacije koja se odnosi na ograničenja čvorišta i mreže (6LoWPAN, 6Lo)



David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

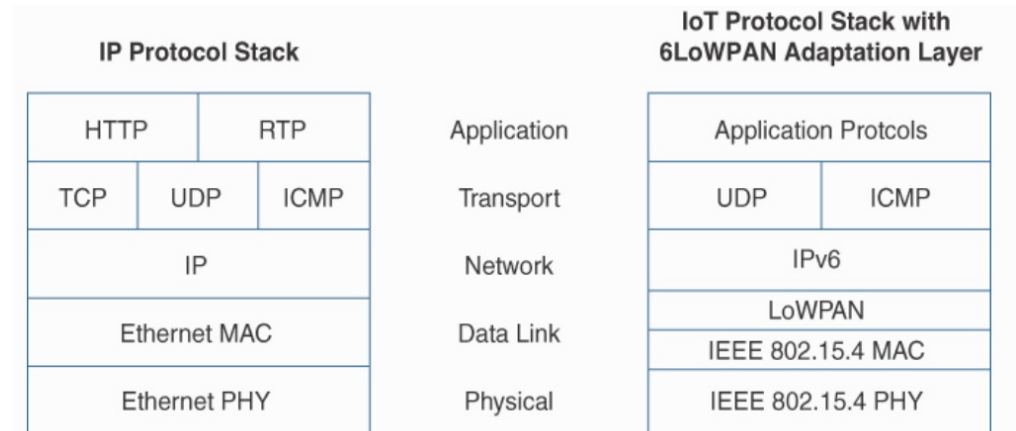
Od 6LoWPAN do 6Lo

□ Inicijalni fokus na 6LoWPAN je bio optimizacija prenosa IPv6 paketa preko ograničenih mreža poput IEEE 802.15.4.

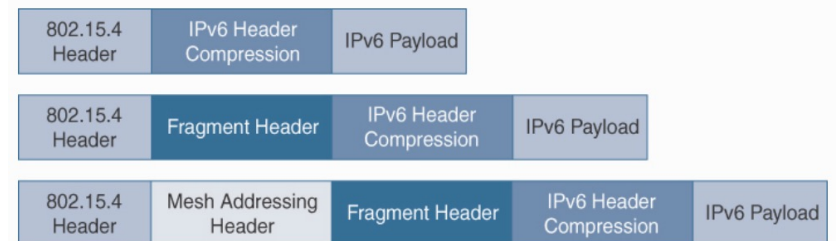
□ Postoji više RFC-ova od kojih je RFC 4994 je najvažniji jer definiše zaglavlja frejmova u smislu

- Kompresije zaglavlja
- Fragmentacije
- Mesh adresiranja
- Zaglavlja koja mogu biti slagana na nivou adaptacije

□ RFC 6775 definiše postupke autokonfiguracije i pronalaženja susjeda



David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD



David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

Od 6LoWPAN do 6Lo

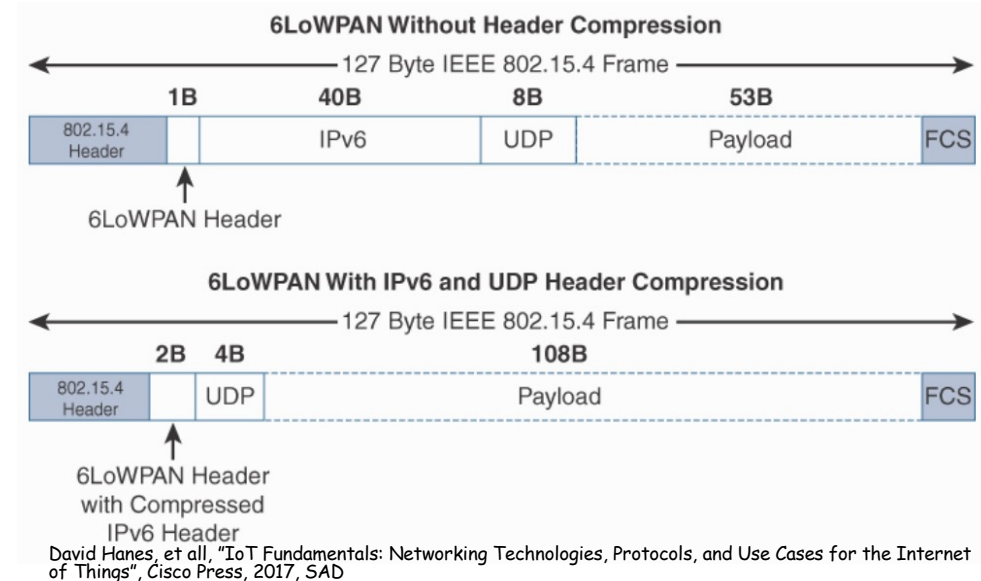
□ Kompresija zaglavlja

- Smanjuje 48B zaglavlja (IPv6 + UDP) na 6B

- Ne obavlja se na IPv4 zaglavlje jer

6LoWPAN ne podržava IPv4, odnosno nema standardizovanog IPv4 adaptacionog nivoa za IEEE 802.15.4

- Kompresija prikazana na slici sa 2B zaglavlja za 6LoWPAN se odnosi na komunikaciju unutar ćelije dok za komunikaciju van ćelije neka polja u IPv6 zaglavlju ne mogu biti komprimovana.

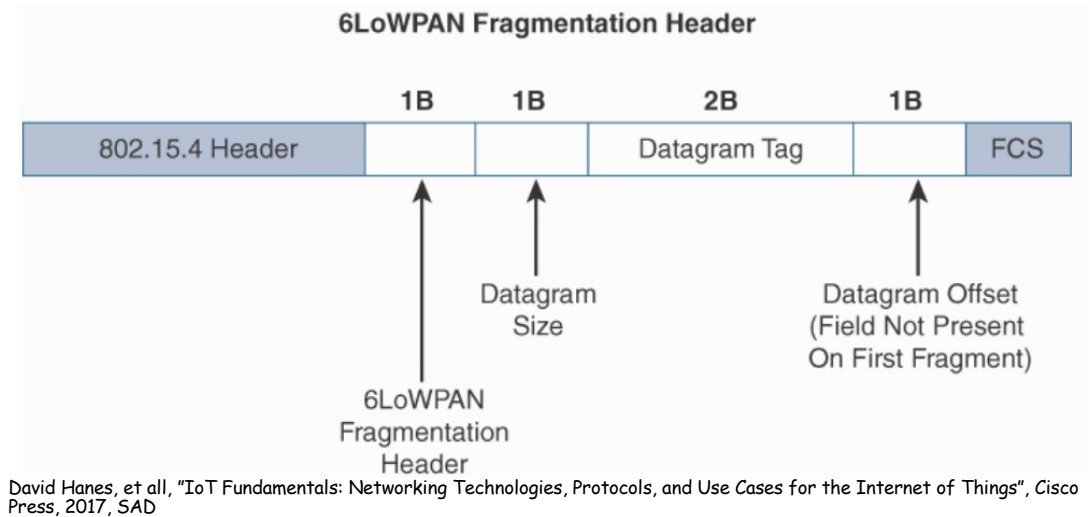


Optimizacija IP za IoT

Od 6LoWPAN do 6Lo

Fragmentacija

- Maksimalna veličina korisnog dijela IPv6 paketa je 1280B
- Maksimalna veličina korisnog dijela IEEE 802.15.4 frejma je 127B
- IPv6 paketi veći od 127B moraju biti fragmentisani u više IEEE 802.15.4 frejmova
- Fragment zaglavlje se sastoji iz tri polja
 - Datagram size definiše ukupnu veličinu korisnog dijela nefragmentisanog IPv6 paketa
 - Datagram tag: identifikuje skup fragmenata jednog korisnog dijela nefragmentisanog IPv6 paketa
 - Datagram Offset: precizira gdje se sadržaj fragmenta nalazi u korisnom dijelu nefragmentisanog IPv6 paketa
- *Fragmentation header* polje ima jedinstvenu vrijednost kojom se označava da iza njega slijede fragmentaciona polja a ne polja neke druge funkcionalnosti poput kompresije zaglavlja



Optimizacija IP za IoT

Od 6LoWPAN do 6Lo

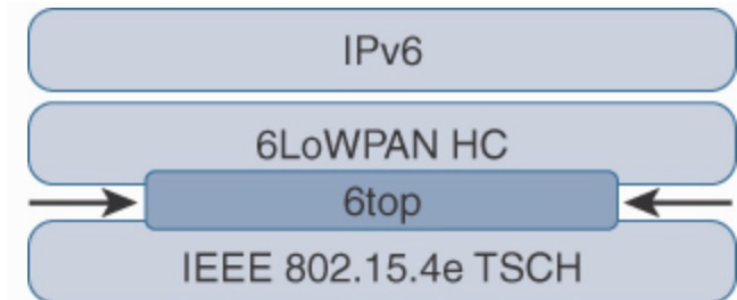
□ 6Lo

- Olakšavanje IPv6 povezivanja preko mreža sa ograničenim čvorištima
- Standardizacija 6LoWPAN adaptacionog nivoa inicijalno fokusiranog na IEEE 802.15.4 L2 protokol na druge protokole koji su implementirani na ograničenim čvorovima
- 6LoWPAN adaptacioni nivo je postao de facto standard za povezivanje ograničenih čvorišta na IoT mreže

Optimizacija IP za IoT

6TiSCH

- Standardizacija IPv6 preko *Time-Slotted Channel Hopping (TSCH)* mode u IEEE 802.15.4e
- Arhitektura
- Informacioni model
- Minimalna 6TiSCH konfiguracija
- L3 rutiranje na ograničenim mrežama (RPL)
- 6top podnivo povezuje MAC nivo i 6LoWPAN adaptacioni nivo nudeći neke funkcionalnosti mrežnim nivoima (donošenje odluka rutiranja mrežnog nivoa, konfiguracija i kontrola 6TiSCH menadžmenta raspoređivanja)



David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

6TiSCH

- Mehanizmi menadžmenta raspoređivanja
 - Statičko raspoređivanje (npr. Slotted Aloha, inicijalizacija mreže ili ispad mreže, energetski neefikasna jer čvor može očekivati paket u bilo kojem trenutku)
 - *Neighbor-neighbor* raspoređivanje (korelacija sa brojem transmisija između čvorišta, prilagođavanje dodjele resursa potrebama)
 - Udaljeni monitoring i menadžment raspoređivanja (alokacija resursa se obavlja od strane centralizovanog menadžment entiteta, 6top, CoAP,...)
 - *Hop-by-hop* raspoređivanje (čvor rezerviše put do destinacije zahtijevajući alokaciju resursa na svakom usputnom čvorištu)

Optimizacija IP za IoT

6TiSCH

□ Modeli prosleđivanja

- *Track forwarding*: najbrži i najjednostavniji način prosleđivanja po unidirekcionom putu
- *Fragment forwarding*: baziran na mogućnosti da 6LoWPAN fragmentacija kreira L2 tabele prosleđivanja tako da se svi fragmenti jednog IPv6 paketa rutiraju istom putanjom kojom je rutiran prvi fragment
- *IPv6 forwarding*: prosleđivanje na bazi IPv6 tabele rutiranja uz prioritetizaciju tokova paketa korišćenjem QoS i RED
- 6TiSCH nudi IPv6 bazirano rješenje komunikacija sa kontrolisanim kašnjenjem i propusnošću preko bežične senzorske mreže

Optimizacija IP za IoT

RPL

- RoLL (*Routing over Low-Power and Lossy Networks*) radna grupa IETF-a je zadužena za evaluaciju svih L3 IP protokola rutiranja i utvrđivanje zahtjeva i potreba za razvoj protokola rutiranja za potrebe IP pametnih objekata
- Predložila je razvoj novog *distance vector* protokola rutiranja
- IPv6 *Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks* (RPL).
- RPL specifikacija se može naći u RFC 6550, dok se ostale informacije mogu naći u drugim RFC-ovima

Optimizacija IP za IoT

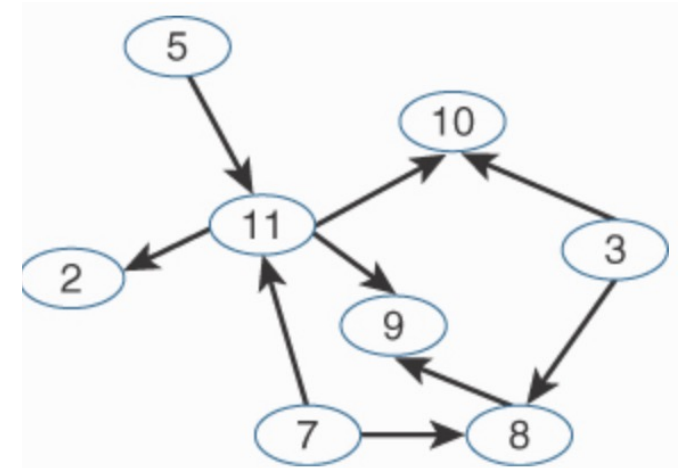
RPL

- ❑ Svako čvorište je ruter i dio je mesh mreže
- ❑ Svaki čvor ispituje primljeni IPv6 paket i određuje next-hop destinaciju na bazi informacije sadržane u IPv6 zaglavlju
- ❑ Ne koirste se informacije iz zaglavlja MAC nivoa
- ❑ mesh-over rutiranje
- ❑ Radi prevazilaženje ograničenja čvorišta protokol definiše dva moda:
 - Storing mode: Svi čvorovi sadrže kompletnu tabelu rutiranja jednog RPL domena tako da svako čvorište zna kako da direktno dosegne bilo koje drugo čvorište.
 - Non-storing mode: Samo granični ruteri RPL domena sadrže kompletnu tabelu rutiranja.
 - Svi ostali ruteri u domenu samo nadziru svoje liste nadređenih rutera i to koriste kao default rute prema graničnom ruteru.
 - Ovako smanjena tabela rutiranja štedi memorisjki prostor i CPU.
 - Ruter uvijek prosleđuje pakete prema graničnom ruteru koji zna kako da dosegne krajnju destinaciju.

Optimizacija IP za IoT

RPL

- ❑ RPL je baziran na *Directed Acyclic Graph* (DAG).
- ❑ DAG je graf u kome nema zatvorenih prstenova
- ❑ To znači da se iz jednog čvora nikako ne može doći u isti čvor
- ❑ Sve grane su organizovane u puteve koji se završavaju na jednom ili više root čvorova



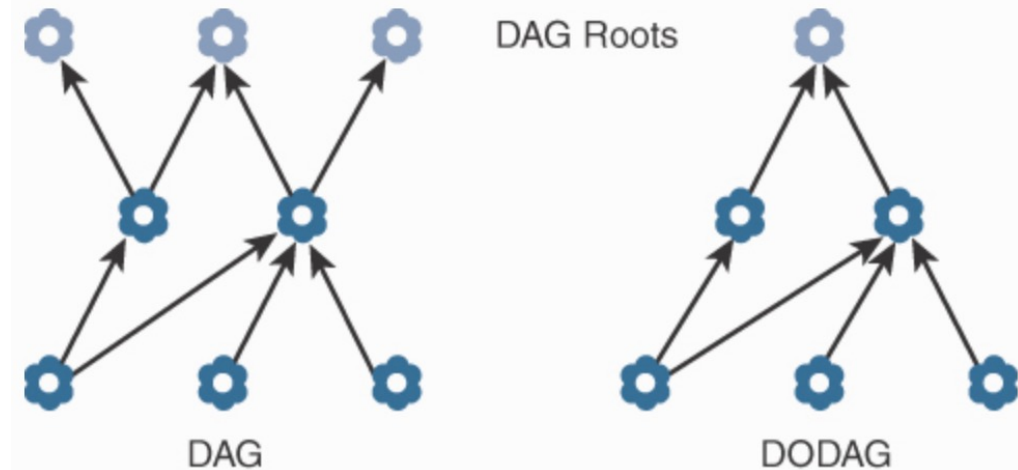
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

RPL

□ Osnovni RPL uključuje kreiranje *Destination-Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG)*.

- DODAG je DAG rutiran na samo jednu destinaciju
- Kod RPL, ova destinacija je granični ruter poznat kao DODAG root.
- DAG ima više root čvorišta dok DODAG ima samo jedno.
- Kod DODAG-a svaki ruter nadzire do tri nadređena rutera koji mu obezbjeđuju putanju do graničnog rutera.
- Pri tome, obično je jedan od nadređenih rutera označen kao prioritetni što znači da on ima prioritet da bude naredni ruter na putanji do graničnog rutera.



David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

RPL

- ❑ Graf rutiranja kreiran od strane nadređenih DODAG rutera definiše skup svih ruta do graničnog rutera.
- ❑ RPL protokol obezbjeđuje da nema zatvorenih petlji
- ❑ Rute prema graničnom ruteru se u RPL pronalaze korišćenjem DAG Information Object (DIO) poruka.
- ❑ Ruteri oslušuju DIO poruke kako bi identifikovali promjene topologije koje imaju uticaj na rutiranje
- ❑ Informacija u DIO porukama određuje nadređene rutere i najbolji put do DODAG graničnog rutera.
- ❑ Ruteri kreiraju rute prema podređenim ruterima oglašavajući graničnom ruteru skupove ruta svojih nadređenih rutera korišćenjem Destination Advertisement Object (DAO) poruka.
- ❑ DAO poruke omogućavaju ruterima da informišu svoje nadređene rutere o svojoj prisutnosti i ruterima koji su dostupni preko njih

Optimizacija IP za IoT

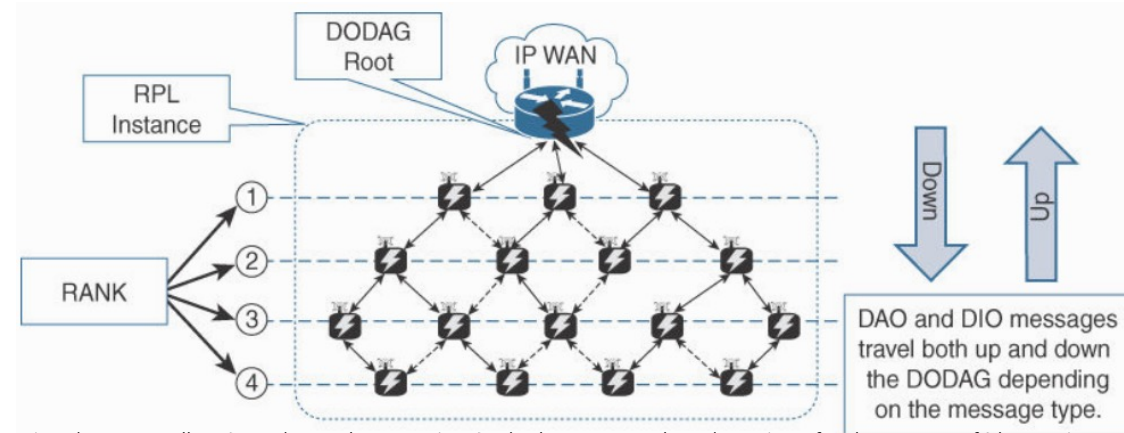
RPL

- ❑ U slučaju *non-storing* moda RPL-a, ruteri šaljući DAO poruke izvještavaju o setovima nadređenih ruteru DODAG granični ruter koji jedini čuva tu informaciju
- ❑ Granični ruter na bazi te informacije određuje izvore ruta potrebne za predaju IPv6 datagrama pojedinačnim ruterima u mesh mreži.
- ❑ U *storing* modu, svaki ruter prati informacije o rutiranju koja je oglašena u DAO porukama.
- ❑ Iako je to zahjtevnije u pogledu memorije i CPU-a, prednost je da paketi mogu imati kraće rute u mreži.
- ❑ Ruteri mogu kreirati sopstvene rute što u *non-storing* modu nije moguće.

Optimizacija IP za IoT

RPL

- ❑ RPL poruke (DIO i DAO) se prenose u IPv6 datagramima
- ❑ Ove poruke se razmjenjuju između podređenih i nadređenih rutera zavisno od tipa poruke



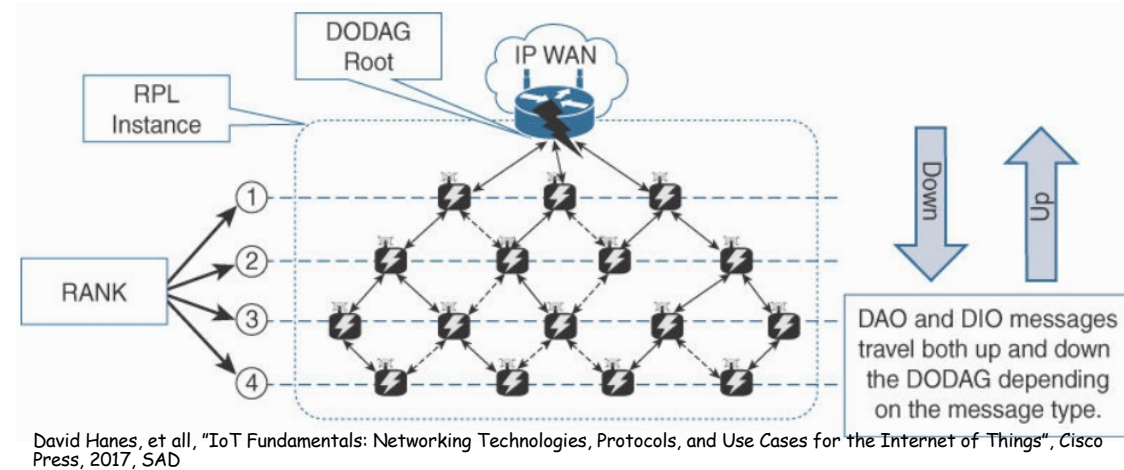
David Hanes, et all, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

Optimizacija IP za IoT

RPL

□ Objective Function (OF)

- OF definiše metrike koje se koriste za izbor ruta i definisanje ranga rutera
- RFC 6552 i 6719 sadrže specifične OF za određene studije slučaja i vrste rutera
- Na primjer, ruteri koji najbolju rutu utvrđuju prema Minimum Expected Number of Transmissions (METX) oglašavaju METX nadređenim ruterima preko DIO poruka.
- Kad god ruter uspostavi rang, on jednostavno setuje rang na trenutni minimalni METX njegovih nadređenih rutera.
- Rang je aproksimativna mjera koja pokazuje koliko je ruter „blizu“ graničnog rutera.
- Rang pomaže izbjegavanju petlji i „brojanju do beskonačnosti“.
- Ruteri mogu povećati svoj rang kada dobiju DIO poruku za većim brojem verzije.
- Ruteri mogu smanjiti svoj rang kad god uspostave rutu manjeg težinskog faktora.
- Rang i metrika rutiranja su blisko povezane, s tom razlikom što se rang koristi za prevenciju zatvaranja petlji.



Optimizacija IP za IoT

RPL

□ RPL zaglavlja

- Specifična zaglavlja mrežnog nivoa su definisana za prosleđivanja unutar RPL domena.
- RFC 6553 definiše *The Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL) Option for Carrying RPL Information in Data-Plane Datagrams*,
- RFC 6554 definiše *An IPv6 Routing Header for Source Routes with the Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL)*
- RFC 6553 definiše novu IPv6 opciju poznatu kao RPL opcija.
- RPL opcija je sadržana IPv6 *Hop-by-Hop* zaglavlju čija je svrha da iskoristi pakete u ravni podataka za detekciju petlje u RPL instanci.
- DODAG-ovi imaju samo jednu putanju koje moraju biti bez petlje.
- RFC 6554 specificira Source Routing Header (SRH) za korišćenje između RPL rutera.
- Granični ruter umeće SRH kada specificira izvorišnu rutu za isporuku datagrama čvorovima downstream u mesh mreži.

Optimizacija IP za IoT

RPL

□ Metrike rutiranja i ograničenja (RFC 6551)

- Expected Transmission Count (ETX): očekivani broj prenosa do predaje paketa
- Hop Count: Broj rutera na putanji
- Kašnjenje: Varira zavisno od uštede energije.
- Nivo kvaliteta linka: mjeri pouzdanost linka uzimajući u obzir vjerovatnoću gubitka paketa na koju utiču slabljenje signala i interferencija
- Link Color: dozvoljava ručno podešavanje koji je link manje ili više poželjan. Ove vrijednosti mogu statički ili dinamički biti podešene specifičnim tipovima saobraćaja.
- Node State i Attribute: Identifikuje rutere koji su agregatori saobraćaja i rutere koji su preopterećeni.
- Node Energy: izbjegava rutere sa slabim napajanjem
- Propusnost: služi za prioretizaciju putanja sa većom propusnošću.
- ...

Optimizacija IP za IoT

RPL

- Primjer korišćenja dva ograničenja za izbor ruta
 - Expected Transmission Count (ETX)
 - Relative Signal Strength Indicator (RSSI) specificira snagu primljenog radio signala
 - Radio signali male snage su manje poželjni jer su podložni negativnom uticaju šuma i interferencije
 - Neka DODAG granični ruteri i ostali ruteri formiraju IEEE 802.15.4 mesh mrežu.
 - Kada ruter nađe svog potencijalnog nadređenog rutera on ga smješta u svoju tabelu rutiranja ali ga ne koristi za rutiranje.
 - Ruter prvo mora utvrditi da li je kvalitet linka do potencijalnog nadređenog rutera dovoljan za prenos datagrama sagledavajući ETX i RSSI ograničenja.
 - Ako RSSI u oba smjera prelazi prag i ako ETX pada ispod praga, tada ruter zaključuje da je kvalitet linka do potencijalnog nadređenog rutera dovoljan.
 - Nakon toga, ruter dodaje odgovarajuću default rutu u svoju tabelu prosleđivanja.
 - Praćenje RSSI i ETX za susjedne rutere se obavlja na nivou linka
 - Ukoliko kvalitet linka nije dovoljan, link se ne dodaje u tabelu prosleđivanja ^{IoT mrežni nivo}

Optimizacija IP za IoT

RPL

- ❑ RPL integracija u domenu rutiranja prati ista pravila kao kod tradicionalnih IP protokola rutiranja.
- ❑ Distribucija ruta, filtriranje, balansiranje opterećenja i dinamiško rerutiranje se mogu implementirati na isti način kao kod klasičnih protokola rutiranja.
- ❑ U IoT ruterima se mogu pronaći rute kreirane pomoću RPL a koje su redistribuirane preko BGP i EIGRP.

Optimizacija IP za IoT

Autentifikacija i enkripcija na ograničenim čvorištima

□ *Authentication and Authorization for Constrained Environments (ACE)* radna grupa

- Evaluacija primjenljivosti postojećih AA protokola i za određene studije slučaja sa IOT ograničenjima.
- Nakon validacije, ACE radna grupa se fokusira na njegov rad na CoAP sa Datagram Transport Layer Security (DTLS) protokolom.
- ACE istražuje mogućnosti i drugih sigurnosnih protokola sa posebnim fokusom na prilagođavanje bilo kojeg rješenja koje se odabere na HTTP i TLS.
- Od ACE radne grupe se očekuje da generiše standardizovano rješenje za autentifikaciju i autorizaciju koja omogućava autorizovani pristup (Get, Put, Post, Delete) resursim identifikovanim URI i hostuje resursni server u okruženju sa ograničenjima koji treba da se bavi dozvolom pristupa.
- Pristup resursima resursnog servera će klijentske mašine se obavlja korišćenjem CoAP protokola i zaštićen je DTLS protokolom.

Optimizacija IP za IoT

Autentifikacija i enkripcija na ograničenim čvorištima

- DTLS in Constrained Environments (DICE) radna grupa
 - Implementacija DTLS transportnog sigurnosnog protokola
 - Optimizacija DTLS profila za ograničene čvorove
 - Testiranje primjenljivosti DTLS za osiguranje multicast poruka i istraživanje kako se DTLS može optimizovati u okruženjima sa ograničenjima