

Povezivanje pametnih objekata

Sadržaj

- IoT komunikacije
 - Domet
 - Opsezi
 - Potrošnja energije
 - Topologija
 - Ograničenja uređaja
 - Mreže ograničenih čvorišta
- IoT pristupne tehnologije
 - IEEE 802.15.4
 - IEEE 802.15.4g i IEEE 802.15.4e
 - IEEE 1901.2a
 - IEEE 802.11ah
 - LoRaWAN
 - NB-IoT i druge varijacije LTE

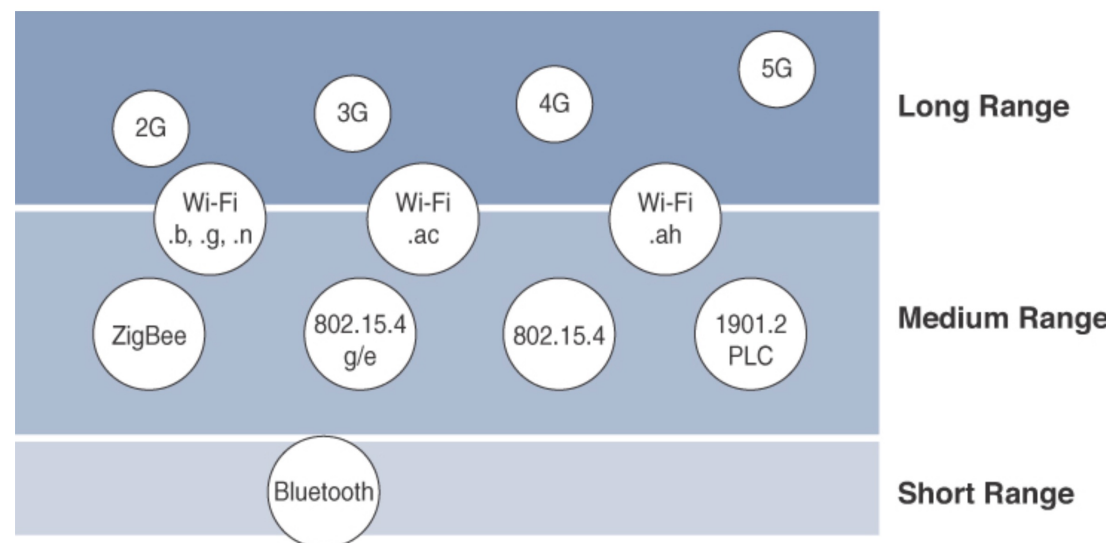
IoT komunikacije

Domet

□ Tehnologije kratkog dometa
Obično pokrivaju rastojanja od
desetak metara i predstavljaju
zamjenu za serijski kabal

(IEEE.12.5.1 Bluetooth i IEEE 820.15.7 Visible Light Communications)

- Rijetko se koriste
- Nijesu dovoljno kvalitetne za komercijalna rješenja



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

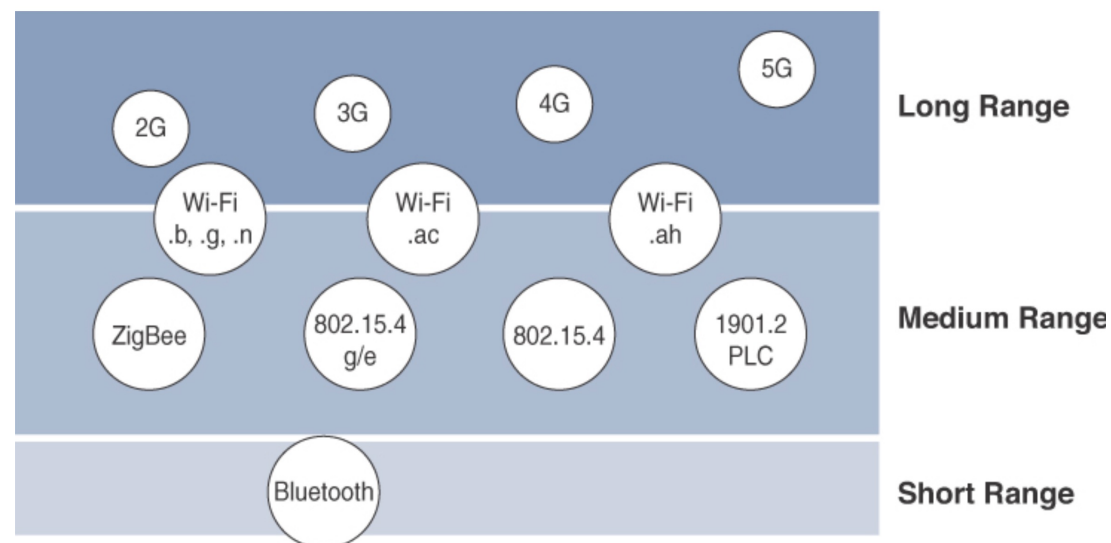
IoT komunikacije

Domet

- ❑ Tehnologije srednjeg dometa su ključne IoT pristupne tehnologije
- ❑ Pokrivaju od nekoliko desetina do nekoliko stotina metara

❑ IEEE 802.11 WiFi, IEEE 802.15.4 i IEEE 802.15.4g WPAN

❑ IEEE 802.3 Ethernet i IEEE 1901.2 *Narrowband Power Line Communications* spadaju u ove tehnologije



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

IoT komunikacije

Domet

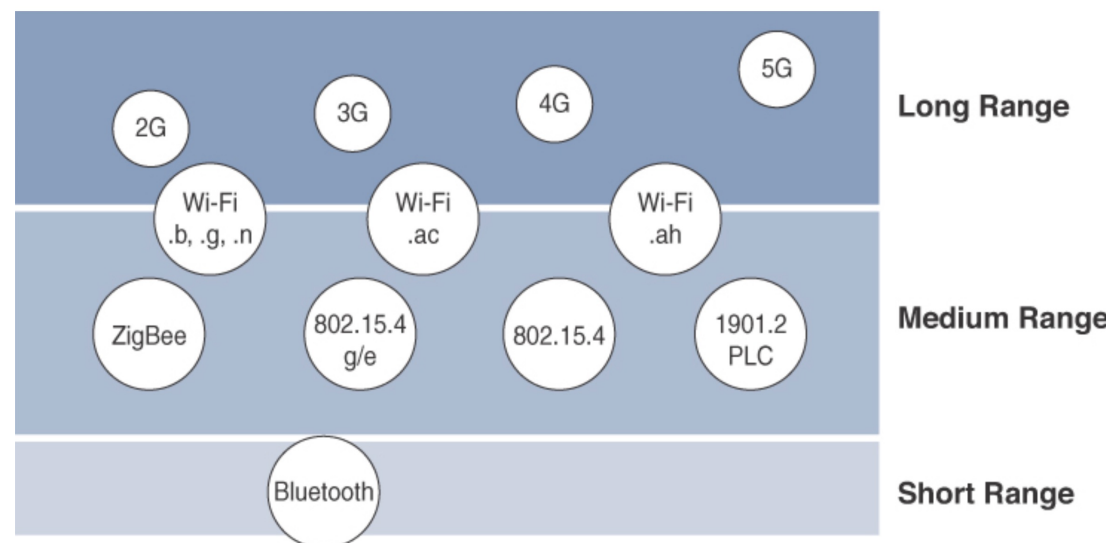
❑ Tehnologije velikog dometa pokrivaju rastojanja veća od 1km

❑ 2G, 3G, 4G, 5G

❑ IEEE 802.11

❑ *Low-Power Wide-Area (LPWA)*

❑ IEEE 802.3 preko optičkog vlakna i IEEE 1901 *Broadband Power Line Communications* se klasifikuju kao tehnologije velikog dometa ali se ne razmatraju u IoT



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

IoT komunikacije

Opsezi

- ❑ Radio spektar regulišu države i organizacije (ITU-T,...)
- ❑ One definišu regulatorne i fizičke karakteristike različitih frekvencijskih opsega dodjeljujući ih različitim tipovima komunikacija (radio, TV,...)
- ❑ Radio spektar je ograničeni opseg tako da je za korišćenje nekih njegovih djelova potrebno licenciranje i plaćanje odgovarajuće naknade
- ❑ Licencirani opsezi se u IoT koriste za pristupne tehnologije velikog dometa i obično pripadaju telekomunikacionim operatorima, javnim službama,...
- ❑ IoT korisnici kada žele da koriste tehnologije u licenciranim opsezima obično plaćaju pretplatu za šta im operator garantuje ekskluzivitet korišćenja nekog opsega na određenom području a time i bolji kvalitet servisa
- ❑ Primjeri IoT pristupa u licenciranim opsezima su celularni, WiMAX, NB-IoT,...

IoT komunikacije

Opsezi

- ❑ ITU-T je opredijelio nelicencirane opsege za industriju, nauku i medicinu (*Industrial Science Medicine - ISM*)
- ❑ Ovi opsezi se često koriste za kratka rastojanja
- ❑ Nelicencirano znači bez garancija ili zaštite
- ❑ Najpoznatije tehnologije:
 - IEEE 802.11 b/g/n WiFi
 - IEEE 802.15.1 Bluetooth
 - IEEE 802.15.4 WPAN
- ❑ U nelicenciranim opsezima se regulišu maksimalna emisiona snaga, širina opsega,...

IoT komunikacije

Opsezi

- ❑ Implementacija u nelicenciranim opsezima je lakša ali po cijenu performansi
- ❑ Neke tehnologije koriste ISM opsege ispod 1GHz
 - IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.4g, IEEE 802.11ah, LoRa i Sigfox
- ❑ Frekvencija utiče na domet tako da opsezi ispod 1GHz omogućavaju veće domete od opsega na 2.4GHz
- ❑ Frekvencija utiče i na brzinu prenosa tako da opsezi ispod GHz omogućavaju manje brzine prenosa od opsega na 2.4GHz
- ❑ Brzine prenosa obično nijesu izazov za IoT mreže

IoT komunikacije

Opsezi

- ❑ U većini zemalja opseg na 169MHz je planiran za udaljeno mjerenje potrošnje (voda, gas,...)
- ❑ Često korišćeni ISM opsezi ispod 1GHz su:
 - 169MHz
 - 433MHz
 - 868MHz (EU, IEEE 802.15.4 and 802.15.4g, 802.11ah, LoRaWAN)
 - 915MHz (SAD, Brazil, Japan,...)
- ❑ U različitim djelovima svijeta postoje različiti ISM opsezi

IoT komunikacije

Potrošnja snage

- ❑ Napajanje iz elektroenergetske distributivne mreže
- ❑ Baterijsko napajanje
 - IoT uređaji se klasifikuju prema životnom vijeku baterije
- ❑ IoT pristupne tehnologije moraju odgovoriti na izazove niske potrošnje i odsustva elektroenergetske distributivne mreže
- ❑ *Low-Power Wide-Area (LPWA)*

IoT komunikacije

Topologija

□ Zvijezda

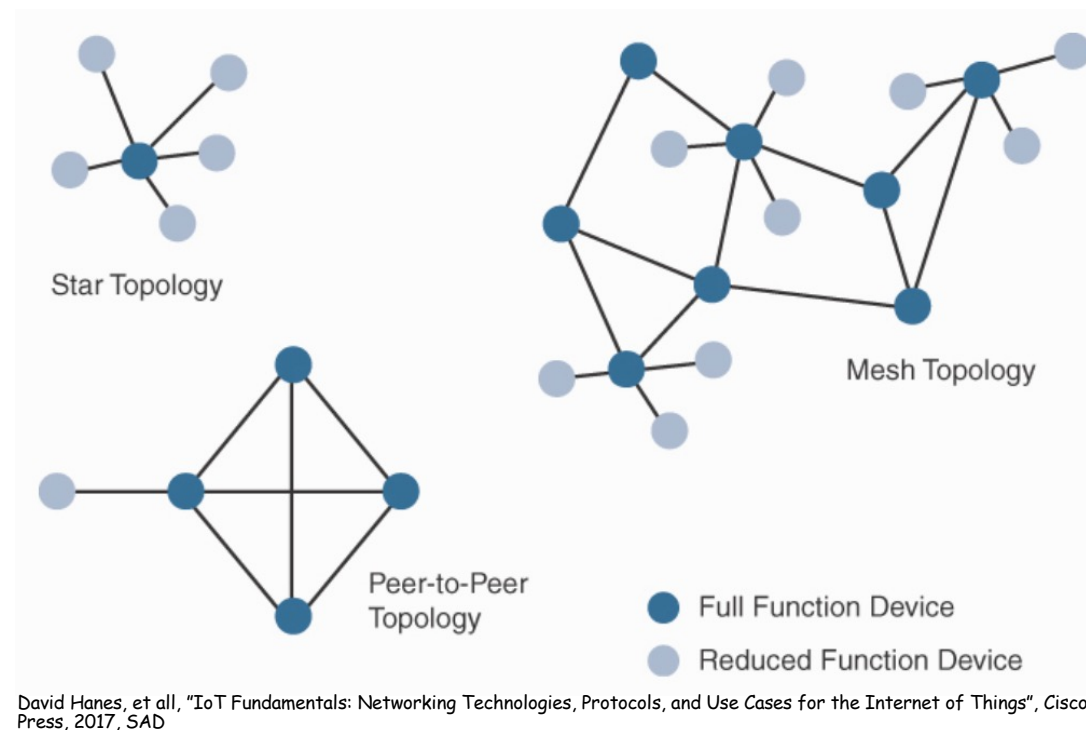
- Veliki i kratki domet
- Celularne, LPWA i Bluetooth
- Komunikacija preko centralne bazne stanice ili *access point-a*
- npr. indoor WiFi

□ Mesh

- Srednji domet
- npr. outdoor WiFi, 802.15.4, 802.15.4g, IEEE 1902.2a
- Sleep mode

□ P2P

- Komunikacija između uređaja koji su u dometu



IoT komunikacije

Ograničenja uređaja

- ❑ Ograničenja uređaja u smislu resursa utiču na njihove mrežne karakteristike
- ❑ IETF je u RFC 7228 definisao tri različite kategorije IoT uređaja
- ❑ Klasa 0
 - Uređaji sa manje od 10kB memorije i manje od 100kB Flash memorije
 - Baterijsko napajanje
 - Nemaju resurse za implementaciju IP steka i sigurnosnih mehanizama
 - Primjer je taster koji šalje 1B informacija kada promijeni status
 - Podesan za LPWA bežičnu tehnologiju

IoT komunikacije

Ograničenja uređaja

□ Klasa 1

- 10kB RAM i 100 kB Flash
- Nedovoljno resursa za implementaciju kompletnog IP steka
- Mogu se implementirati sa optimizovanim stekom (*Constrained Application Protocol - CoAP*)
- Podrška sigurnosnim funkcijama
- Komunikacija sa mrežom bez učešća gateway-a
- Senzori za mjerenje temperature, vlažnosti,...

IoT komunikacije

Ograničenja uređaja

□ Klasa 2

- Puna implementacija IP steka
- Više od 50kB RAM i 250kB Flash memorije
- Pametna brojila

IoT komunikacije

Mreže ograničenih čvorišta

- ❑ Neke IoT pristupne tehnologije (celularne, WiFi,...) su prilagođene laptopovima, pametnim telefonima i IoT uređajima bez ograničenja
- ❑ Za čvorišta sa ograničenjima koriste se IEEE 802.15.4, 802.15.4g, IEEE 1901.2a PLC, LPWA i IEEE 802.11ah
- ❑ Mreže ograničenih čvorišta se često nazivaju *Low power and Lossy Networks* (LLN)
 - *Low power* se odnosi na činjenicu da čvorišta moraju imati malu potrošnju i baterijsko napajanje
 - *Lossy networks* upućuje da se u mreži mogu desiti gubici podataka zbog interferencije i lošeg stanja kanala
- ❑ Protokoli koji se mogu koristiti u ovim mrežama moraju biti analizirani u pogledu
 - Brzine prenosa
 - Kašnjenja
 - Veličine zaglavlja

IoT komunikacije

Mreže ograničenih čvorišta

□ Brzina prenosa

- Kreće se od 100b/s (Sigfox) do desetina Mb/s (LTE i IEEE 802.11ac)
- Propusnost je obično mnogo manja što uslovljava primjenu neke tehnologije u određenom scenariju, utiče na planiranje i uspješnost neke implementacije.
- Celularne mreže i WiFi su pogodne za IoT aplikacije koje zahtijevaju velike brzine prenosa (video analitika za detekciju događaja) čiji IoT nodovi nisu ograničeni hardverom tako da je fokus na kašnjenju
- Tehnologije kratkog dometa (npr. Bluetooth) također mogu ponuditi srednje ili velike brzine prenosa pri čemu je fokus na pokrivanju i životni vijek baterije
- Mora se obratiti pažnju na tzv. *goodput*
- Brzina prenosa zavidi od frekvencijskog opsega
- Dominira upload saobraćaj

IoT komunikacije

Mreže ograničenih čvorišta

□ Kašnjenje

- Važan parametar koji mora biti razmotren u uslovima gubitaka i retransmisija
- Od nekoliko ms do nekoliko sekundi
- Preporučuje se korišćenje UDP protokola
- *Deterministic Ethernet*
- *Time-Slotted Channel Hopping (TSCH)*

IoT komunikacije

Mreže ograničenih čvorišta

□ Zaglavlje

- Većina LPWA tehnologija nudi mali *payload*
 - 127B - IEEE802.15.4
 - 2048B - IEEE 802.15.4.g
 - 19B - 250B - LoRaWAN
- Mali *payload* je determinisan malim brzinama prenosa i vremenima pristupa radio kanalu
- Minimalni IPv6 *payload* je 1280B što zahtijeva fragmentaciju IPv6 paketa
- U slučaju ovakvih tehnologija upotreba IP protokola je veoma problematična

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

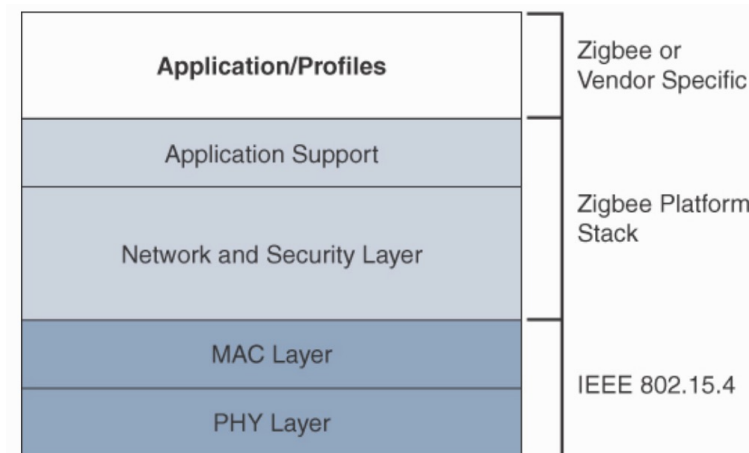
- ❑ Bežična tehnologija za jeftine baterijski napajane uređaje niskih brzina prenosa
- ❑ Laka instalacija korišćenjem kompaktnog protokol steka
- ❑ Široka primjena (pametne kuće, autonomna vozila, industrijske mreže, interaktivne igre,...)
- ❑ CSMA/CA
- ❑ WPAN
- ❑ IEEE 802.15.4-2015 standard
- ❑ Fizički nivo i nivo linka
- ❑ Više protokol stekova koristi IEEE 802.15.4 (ZigBee, 6LoWPAN, ZigBee IP, ISA100.11a, WirelessHART, Thread,...)

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ ZigBee

- Industrijski standard iza kojeg stoji Zigbee Alliance
- Niske brzine prenosa i niska potrošnja
- Automatizacija u komercijalnim i kućnim aplikacijama
- Mjerenje temperature i vlažnosti, kontrola osvetljenja, udaljeni mjerni instrumenti,...
- ZigBee mrežni i sigurnosni nivo pruža mehanizme za pokretanje mreže, konfiguraciju, usmjeravanje i osiguravanje komunikacija.
- Ovo uključuje izračunavanje ruta u često promjenljivoj topologiji, otkrivanje susjeda i upravljanje tabelama rutiranja kada se uređaji prvi put pridruže.
- Mrežni nivo je također odgovoran za formiranje odgovarajuće topologije, koja je često mesh mreža, ali može biti i zvijezda ili stablo.
- ZigBee koristi 802.15.4 za sigurnost na MAC sloju, koristeći *Advanced Encryption Standard* (AES) sa 128-bitnim ključem, a također pruža sigurnost na mrežnom i aplikacionom sloju.



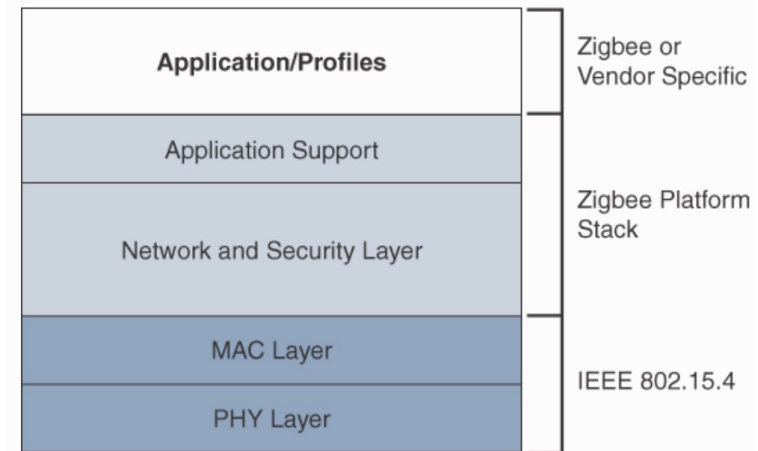
David Hanes, et al., "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAĐ

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ ZigBee

- Koristi *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)* za rutiranje preko mesh mreže
- Ovaj algoritam rutiranja ne šalje poruku sve dok nije potrebna ruta.
- Pod pretpostavkom da sljedeći hop za rutu nije u njenoj tabeli rutiranja, mrežni čvor šalje zahtjev za konekciju rutiranja.
- To izaziva nalet saobraćaja povezanog sa rutiranjem, ali nakon poređenja različitih odgovora, put s najmanjim brojem skokova određuje se za konekciju.
- Ovaj proces se prilično razlikuje od standardnih protokola rutiranja, koji obično na neki način uče cijelu topologiju mreže, a zatim čuvaju utvrđenu, ali potpunu tabelu rutiranja.



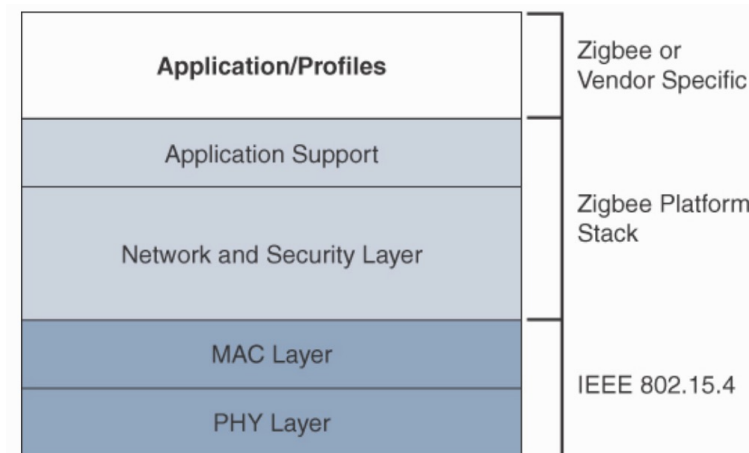
David Hanes, et al., "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ ZigBee

- Sloj podrške aplikacija na slici povezuje donji dio steka koji se bavi umrežavanjem ZigBee uređaja s aplikacijama višeg nivoa.
- ZigBee unaprijed definiše mnoge profile aplikacija za određene industrije, a proizvođači mogu opcionalno stvoriti vlastite prilagođene na ovom nivou.
- *Home Automation* i *Smart Energy* su primjeri popularnih profila aplikacija.
- ZigBee je jedan od najpoznatijih protokola izgrađenih na osnovi IEEE 802.15.4.
- Na 802.15.4 PHY i MAC slojeva, ZigBee specificira vlastiti mrežni i sigurnosni sloj i profile aplikacija.
- Iako ova arhitektura osigurava korektan stepen interoperabilnosti za proizvođače koji su članovi ZigBee alijanse, nije osigurana interoperabilnost s drugim IoT rješenjima sve do pojave Zigbee IP.



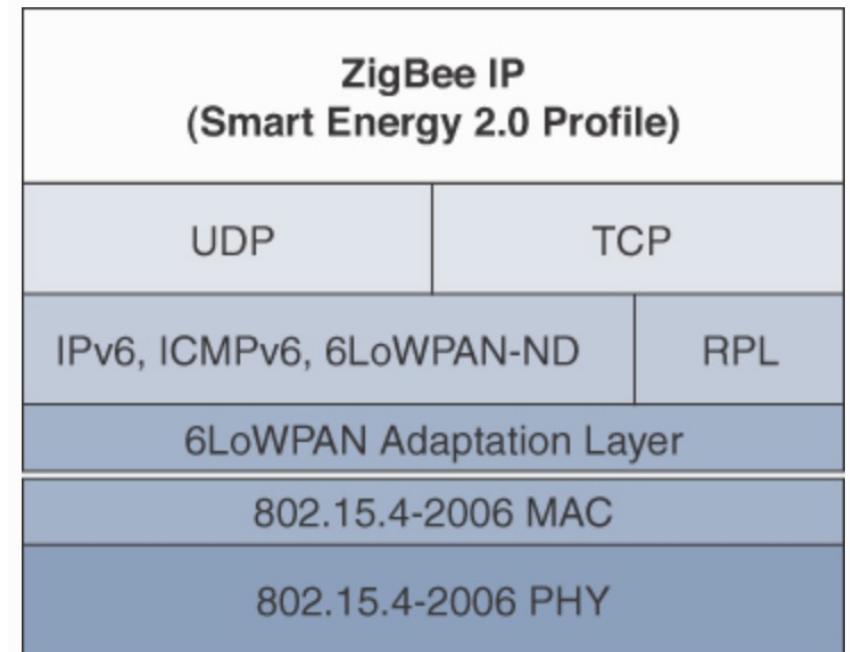
David Hanes, et al., "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAĐ

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ ZigBee IP

- Podržava IP, TCP/UDP i čitav niz otvorenih IETF protokola (IPv6, 6LoWPAN u RPL) za komunikacije niskih brzina, malih snaga,...
- Kritičan dio Smart Energy (SE) Profil 2.0 specifikacije ZigBee Alijanse za pametna mjerenja i upravljanjem potrošnje energije u domaćinstvima
- Podržava 6LoWPAN kao nivo adaptacije pri čemu 6LoWPAN mesh adresno zaglavlje nije potrebno jer koristi mesh-over i route-over metode prosleđivanja frejmova
- Zahtijeva podršku 6LoWPAN šema fragmentacije i kompresije zaglavlja
- Na mrežnom nivou podržava IPv6, ICMPv6, 6LoWPAN *Neighbor Discovery* i koristi RPL za rutiranje paketa preko mesh mreže
- Podržava i TCP i UDP
- Može se integrisati sa bilo kojim IEEE 802.15.4 standardom



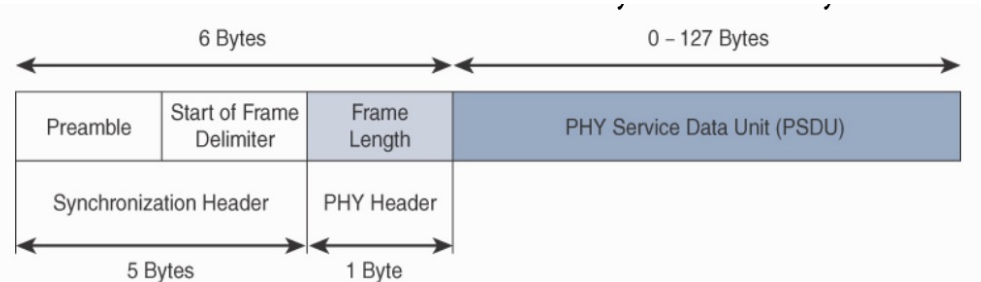
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ Fizički nivo

- 868 MHz, 1 kanal, brzina prenosa 20kb/s (Amerika)
- 915 MHz. 10 kanala, brzina prenosa 40kb/s (Evropa, Afrika, Bliski Istok)
- 2.4GHz, 16 kanala, brzina prenosa 250kb/s (svijet)
- *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) modulacija (IEEE 802.15.4.-2003)
- Napravljene su ekstenzije DSSS-a, kroz standarde iz 2006., 2011. i 2015., modulacijama
 - Offset Quadrature Phase-Shift Keying (OQPSK)
 - Binary Shift Keying (BPSK)
 - Amplitude Shift Keying (ASK)
 - Povećane brzine na 100kb/s (868MHz) i 250kb/s (915MHz)
 - Povećan broj kanala na 3. u opsegu 868MHz
 - Dodati novi opsezi (Kina)
 - Zaglavlje za sinhronizaciju
 - Veličina frejma
 - PSDU je payload
 - Kako je maksimalna veličina PSDU 127 bajta potrebna je fragmentacija IPv6 datagrama na nivou linka



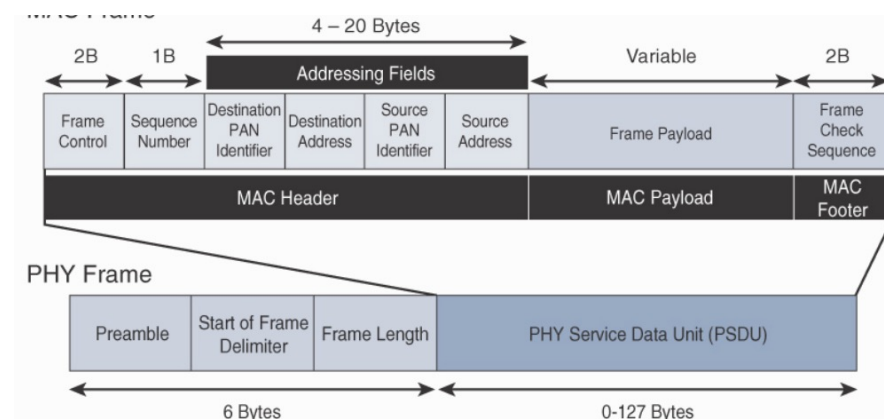
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ MAC nivo

- Upravlja pristupom fizičkom kanalu definišući kako uređaji u istoj oblasti dijele alocirane frekvencije
- Raspoređivanje i usmjeravanje frejmova
- *Network beaconing* za uređaje koji igraju ulogu koordinatora (prilikom pridruživanja mreži)
- Povezivanje i raskidanje sa PAN
- Zaštita uređaja
- Pouzdani link između dva uređaja
- Frejm se prenosi u PHY payload-u
- Četiri tipa frejma
 - Data frejm prenosi podatke
 - Beacon frejm
 - Frejm potvrde potvrđuje uspješan prijem frejma
 - Komandni MAC frejm za kontrolnu komunikaciju između uređaja



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

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ MAC nivo

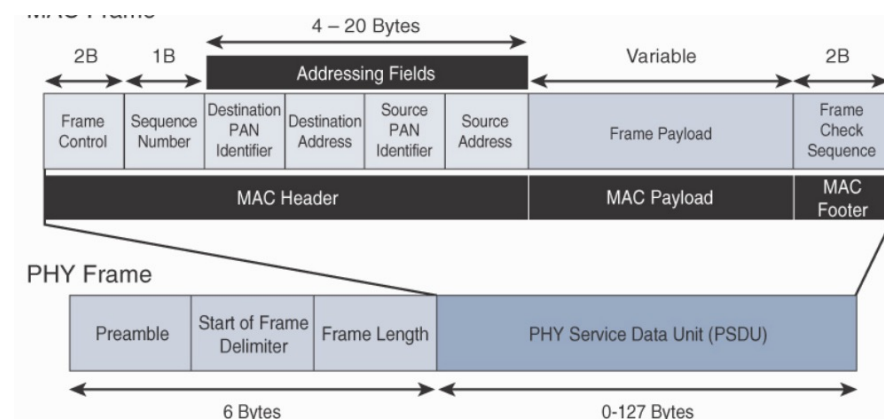
○ MAC Header

- Kontrola frejma (tip frejma, kontrolni flegovi, adresni modovi,...)
- Broj u sekvenci
- Adresna polja (izvorišni/odredišni identifikator PAN-a i izvorišna/odredišna MAC adresa)

○ MAC Payload varira zavisno od vrste frejma

○ MAC Footer se koristi za Frame Check Sequence (FEC)

○ Podržava proširene 64bitne MAC adrese (*mesh-under*), ali i 16bitne kratke koje se koriste lokalno u PAN mreži



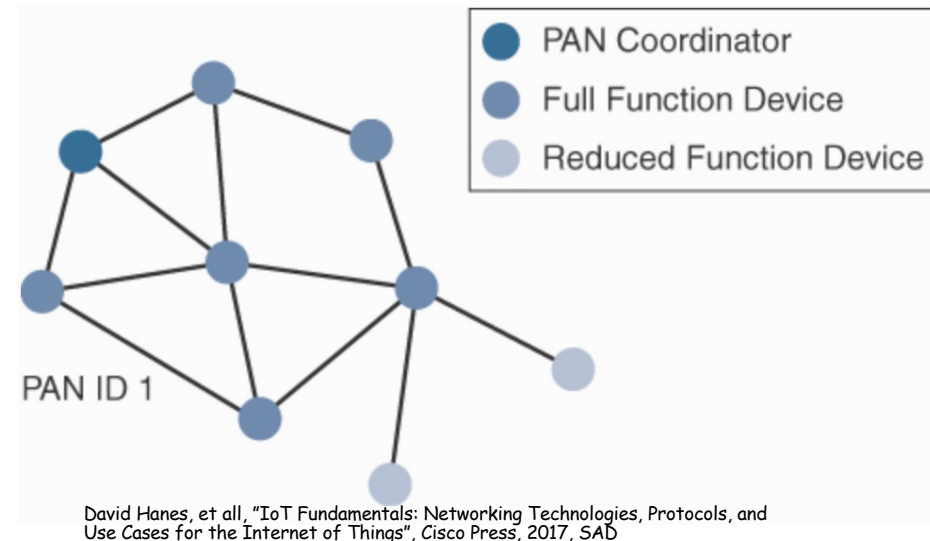
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ Topologija

- Zvijezda
- P2P
- Mesh
- Svaki PAN je setovan jedinstvenim ID koji koriste svi uređaji u njemu
- Minimum jedan *Full-Function Device* (FFD) funkcioniše kao koordinator
- FFD uređaji mogu da komuniciraju sa svim ostalim uređajima dok *Reduced Function Devices* (RFD) uređaji komuniciraju samo sa jednim FFD
- Nije specificiran tehnika izbora puta ali može biti dodata na nivou 2 (*mesh-under*), obično u formi nekog privatnog rješenja
- Izbor puta se može obaviti i na nivou 3 (*mesh-over*) korišćenjem IPv6 *Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks* (RPL)

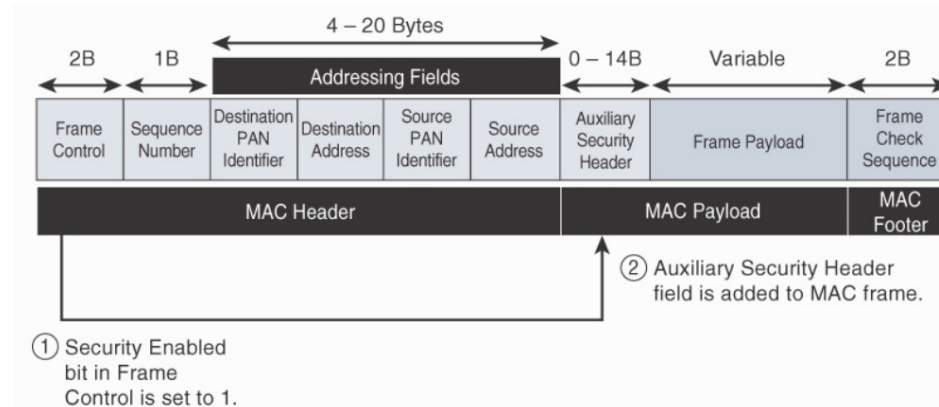


IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ Zaštita

- Koristi *Advanced Encryption Standard* (AES) sa 128-bitnim ključem kao osnovnim algoritmom za enkripciju
- Simetrični ključ koji se koristi i za enkripciju i za dekripciju
- AES se koristi i za validaciju poslatih podataka na bazi *Message Integrity Code* (MIC) koji se izračunava za čitav frejm korišćenjem istog AES ključa za enkripciju
- AES enkripcija podrazumijeva sledeće izmjene u frejmu
 - Postavljanje *Secure Enabled* flaga u kontroli frejma na 1
 - Kreiranje *Auxiliary Security Header*-a (14B) poslije izvorišne MAC adrese uzimanjem bajta od payloada



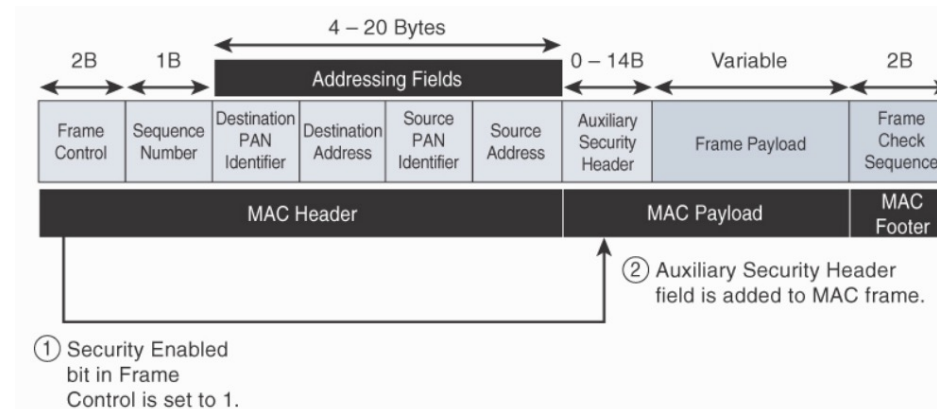
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4

□ Kompetitivne tehnologije

- IEEE 802.15.4 fizički i MAC nivo su platforme za takmičenje različitih tehnologija
- DASH7 je kompetitivna tehnologija koja je potpuno drugačija
 - Industrijske komunikacije
 - Radio Frequency Identification (RFID) implementacije
 - US vojska za logističke svrhe
 - Mala snaga
 - Kompaktni protokol stek
 - Domet 1km
 - AES enkripcija
 - 433 MHz, 868 MHz, i 915 MHz, brzine prenosa so 166.667 kb/s i maksimalni payload 256B
 - DASH7Alliance



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

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4g i IEEE 802.15.4e

- IEEE 802.15.4e
 - Amandman IEEE 802.15.4-2012
 - Sadrži unapređenja MAC nivoa u odnosu na pouzdanost, kašnjenje i multipath fading
 - Poboljšanja za neke domene primjene (automatizacija fabrika i procesa, smart grid...)
 - Unapređenja formata frejma, zaštite, korišćenja spektra,...
- IEEE 802.15.4g
 - Amandman IEEE 802.15.4-2012
 - Fokus na *smart grid*
 - Optimizacija velikih *outdoor mesh* mreža
 - SCADA, javna rasveta, stanice za punjenje električnih vozila, bežični senzori sa mjerenje parametara životne sredine,....
- WiSUN Alliance (SUN - *Smart Utility Network*)
- Ugrađeni u IEEE 802.15.4-2015

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4g i IEEE 802.15.4e

□ Fizički nivo (IEEE 802.15.4g)

- Payload je povećan na fizičkom nivou sa 127B na 2048B čime je izbjegnuta potreba za fragmentacijom
- Detekcija greške je poboljšana povećanjem CRC polja sa 16 na 32 bita
- Korišćenje različitih ISM opsega od 169MHz do 2.4GHz
- Brzine mogu biti nekoliko stotina kb/s
- Mora se koristiti jedna od ovih modulacija
 - *Multi-Rate and Multi-Regional Frequency Shift Keying (MR-FSK)* za efikasno korišćenje snage
 - *Multi-Rate and Multi-Regional Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MR-OFDM)* za veće brzine prenosa ali ne za uređaje niske cijena i snag
 - *Multi-Rate and Multi-Regional Offset Quadrature Phase-Shift Keying (MR-O-QPSK)* za lakši dizajn sistema

IoT pristupne tehnologije

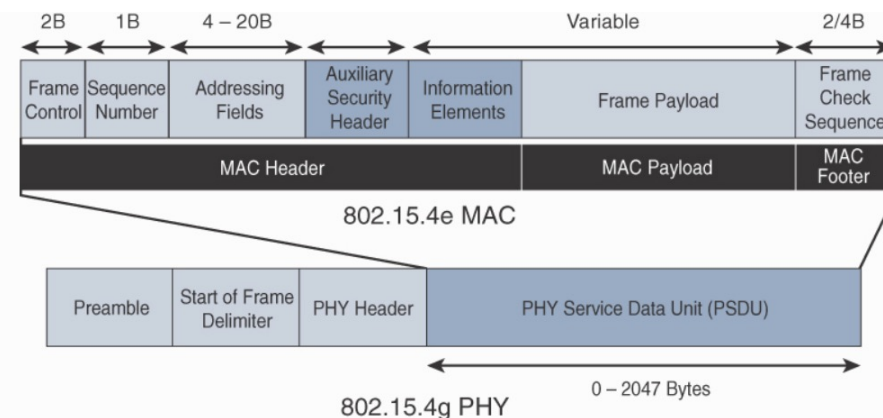
IEEE 802.15.4g i IEEE 802.15.4e

□ MAC nivo (IEEE 802.15.4e)

- *Time-Slotted Channel Hopping (TSCH)*:

koristi različite kanale za prenos u različitim trenucima

- *Information elements (IEs)* dozvoljavaju razmjenu dodatnih metadata informacija na MAC nivou (IEEE 802.15.9 menadžment ključa, Wi-SUN 1.0 IEs za broadcast i unicast vremena raspoređivanja, informacije za sinhronizaciju frekvencijskog skakanja za 6TiSCH)
- *Enhanced beacons (EBs)* povećavaju fleksibilnost IEEE 802.15.4 beacon-a dozvoljavajući konstrukciju sadržaja beaconda specifičnih za neku aplikaciju (mogu uključivati mrežne metrike, raspored broadcasta frekvencijskog skakanja,...)
- *Enhanced beacon requests (EBRs)*: dozvoljavaju pošiljaocu da selektivno specificira zahtjev informacije (npr. uređaj može pitati za PAN koji dozvoljava povezivanje novih uređaja ili za PAN koji podržava odežene karakteristike na fizičkom i MAC nivou).
- *Enhanced Acknowledgement*: dozvoljava integraciju brojača frejma za frejm koji se potvrđuje što je potrebno za sprečavanje *spoof* napada na frejmove potvrde.



IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.15.4g i IEEE 802.15.4e

□ Topologija

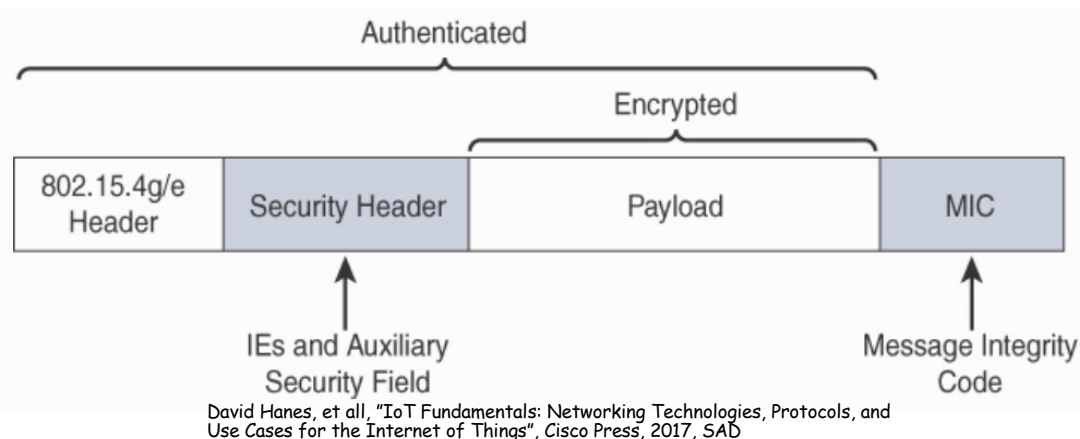
- Mesh je najbolja za industriju i pametne gradove

□ Zaštita

- Zasnovana na IEEE 802.15.4-2006
- AES
- *Auxiliary Security Header*
- *Enhanced Beacon field*
- IEEE 802.15.9 *Key Management Protocol*
za uspostavljanje ključeva za robusnu zaštitu

□ Konkurencija

- Identična kao za IEEE 802.15.4 (DAESH)



IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

- ❑ Žična tehnologija
- ❑ Standard za *Narrowband Power Line Communication* (NB-PLC)
 - Pametno očitavanje brojila
 - Monitoring i kontrola uređaja u energetsom sistemu
 - Javna rasveta
 - Stanice za punjenje električnih vozila
 - Mikro energetske sistemi
 - Obnovljiva energija
- ❑ Naizmjenična i jednosmjerna struja
- ❑ Unutrašnji i spoljašnji sistemi
- ❑ Visoko naponski i nisko naponski sistemi
- ❑ Brzine prenosa do 500kb/s
- ❑ Fizički i MAC nivoi se mogu integrisati sa IEEE 802.15.4.g/e tako da se koriste za implementaciju uređaja sa dva fizička nivoa

IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

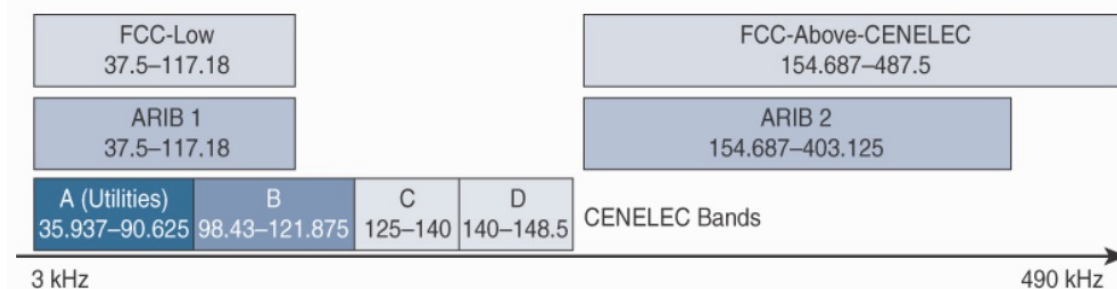
- ❑ *Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)*
- ❑ Novembar 2013.
- ❑ Standard povezan sa ostalim IEEE standardima
- ❑ HomePlug Alliance

IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

□ Fizički nivo

- Opseg od 2 do 500kHz
- U različitim krajevima svijeta su standardizovani različiti opsezi
- CENELEC (Evropa)
- Puna integracija velikog broja modulacija (ROBO, DBPSK, DQPSK, D8PSK, 16QAM,...)
- Dimanička promjena brzine prenosa
 - A band - od 4.5kb/s sa ROBO do 46kb/s sa D8PSK
 - FCC-above-CENELEC od 21kb/s sa ROBO do 234kb/s sa D8PSK
- Veličina payload-a na fizičkom nivou se može mijenjati dinamički zavisno od kvaliteta veze
- Postoji segmentacija na MAC nivou



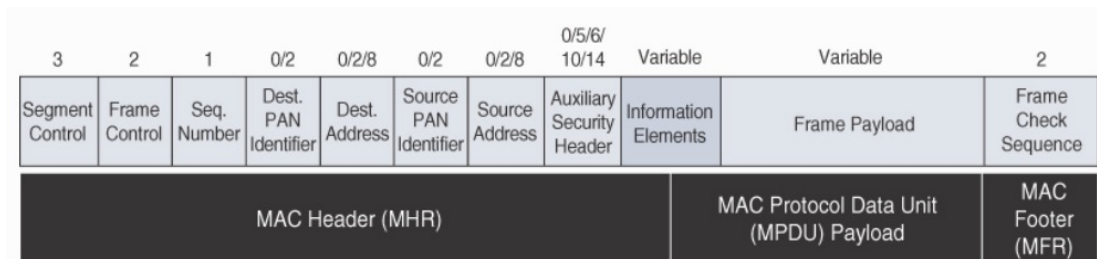
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

□ MAC nivo

- IE preuzeti od IEEE 802.15.4e-2012 (*Key Management Protocol* i SSID)
- Polje *Segment Control* podržava segmentaciju ili fragmentaciju paketa sa viših nivoa čija je veličina veća od maksimalne veličine payloada MAC frejma

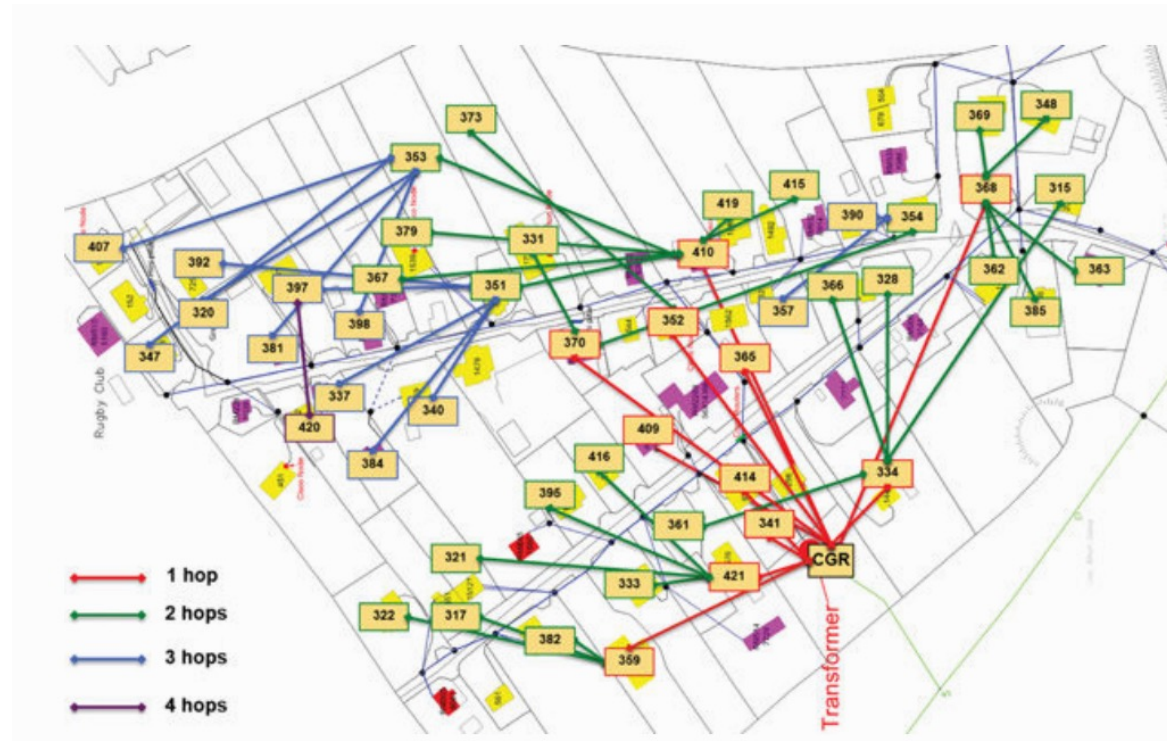


IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

□ topologija

- Koriste se energetske vodove
- Limitirajući faktori su šum, interferencija, slabljenje,...
- Limitirajući faktori naročiti postaju dominantni sa povećanjem rastojanja
- Mesh mreža
- Standard podržava IPv6 6LoWPAN i RPL IPv6 koji omogućavaju rutiranje mrežnog nivoa i kreiranje mesh mreža preko PLC



IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

□ Zaštita

- Slična kao kod IEEE 802.15.4g
 - AES
 - Podrška za IEEE 802.15.9 *Key Management Protocol*
- Razlike postoje i vezane su za fragmentaciju
 - *Security enabled bit* se postavlja na 1 za sve MAC frejmove koji nose segmente enkriptovanog frejma
 - Ako je potrebna enkripcija ona se radi prije fragmentacije tako da *Segment control* polje ne treba da bude ulaz u algoritam enkripcije
 - Na prijemnoj strani dekripcija se obavlja nakon rekonstrukcije paketa
 - Kada je zaštita aktivirana, MAC payload se sastoji od enkriptovanog payloada i MIC autentifikacionog taga za nesegmentirane pakete, odnosno MIC je dio poslednjeg segmenta za segmentirane pakete

IoT pristupne tehnologije

IEEE 1901.2a

□ Konkurentske tehnologije

- G3-PLC (ITU G.9903)
- PRIME (ITU G.9904)
- Pametno očitavanje u Evropi preko CENELEC A opsega
- Kako se ove konkurentske tehnologije razvijaju sve su sličnije IEEE 1901.2a

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.11ah

- ❑ Korišćenjem frekvencija u nelicenciranim opsezima ispod 1GHz namijenjena je za tri scenarija
 - Senzori i mjerila u smart grid-u (poljoprivreda, industrijski procesi, zdravstvo, rezidencijalni objekti)
 - Agregacija na okosnici podataka industrijskih senzora i mjerila
 - Povećanje dometa WiFi mreže
- ❑ WiFi Alliance
- ❑ WiFi HaLow (ah + low power)

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.11ah

□ Fizički nivo

- OFDM modulacija
- Širina kanala 1, 2, 4, 8 i 16 MHz
- 868-868.6MHz (Evropa)
- Brzina prenosa zavisi od dometa

IoT pristupne tehnologije

IEEE 802.11ah

□ MAC nivo

- Optimizovan za podršku novih WiFi tehnologija na frekvencijama ispod 1GHz uz malu potrošnju energije i sposobnost podrške velikog broja uređaja
 - Broj uređaja povezanih na jedan *access point* do 8192
 - Manje MAC zaglavlje
 - *Null Data Packet* (NDP) podrška za nekoliko kontrolnih i upravljačkih frejmova
 - Grupisanje i sektorizacija omogućava da se na AP koriste sektorske antene
 - *Restricted Access window* (RAW) je kontrolni mehanizam koji sprečava simultana slanja i nudi fer pristup
 - *Target Wake Time* (TWT) smanjuje vrijeme trošenja energije dozvoljavajući AP da definiše kada uređaji mogu pristupati mreži
 - *Speed Frame Exchange* dozvoljava da AP i hostovi razmjenjuju podatke tokom TXOP smanjujući kolizije na medijumu, minimizujući broj frejmova, produžavajući trajanje baterije

IoT pristupne tehnologije

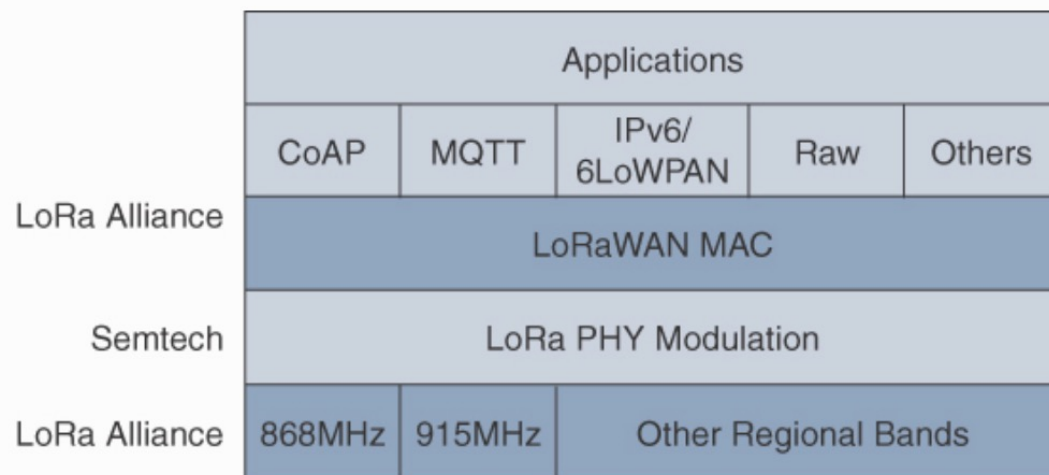
IEEE 802.11ah

- Topologija
 - Zvijezda
 - Relay opcija koju obavljaju hostovi (ne AP) je slična mesh topologiji
 - Relay opcija se kombinuje sa većim brzinama prenosa
 - Sektorizacija se koristi za smanjivanje kolizije
 - *Antenna array*
 - *Beam forming*
- Sigurnost je slična kao kod ostalih IEEE 802.11 standarda
- Kompetitivne tehnologije su IEEE 802.15.4 i IEEE 802.15.4e

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

- ❑ *Low-Power Wide-Area (LPWA)* tehnologija za velika rastojanja i pametne stvari napajane baterijama
- ❑ Cycleo (Semtech)
- ❑ Telekomunikacioni operatori i kompanije
- ❑ LoRa Alliance



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

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ Fizički nivo

- *Chirp spread spectrum modulation (CSSM)* obezbeđuje velik domet uz relativno nisku brzinu prenosa, robusnost u odnosu na smetnje (šum i interferencija) i upravljanje jednim kanalom tako da više uređaja mogu paralelno primiti podatke.

- Opsezi 433 MHz, 779-787 MHz, 863-870 MHz, 902-928 MHz,...

- Zvijezda topologija u čijem je središtu *gateway* koji emituje i prima signale na različitim frekvencijama, odnosno, prima više signala na jednoj frekvenciji
- Algoritam adaptivne brzine (*Adaptive Data Rate - ADR*) prenosa garantuje da se frejm prenosi najboljom mogućom brzinom uz optimalne mrežne performanse u smislu nivoa emisionih snaga
- Veličina *SF (Spreading Factor)* i širina kanala bitno utiču na brzinu prenosa i domet

Configuration	863–870 MHz bps	902–928 MHz bps
LoRa: SF12/125 kHz	250	N/A
LoRa: SF11/125 kHz	440	N/A
LoRa: SF10/125 kHz	980	980
LoRa: SF9/125 kHz	1760	1760
LoRa: SF8/125 kHz	3125	3125
LoRa: SF7/125 kHz	5470	5470
LoRa: SF7/250 kHz	11,000	N/A
FSK: 50 kbps	50,000	N/A
LoRa: SF12/500 kHz	N/A	980
LoRa: SF11/500 kHz	N/A	1760
LoRa: SF10/500 kHz	N/A	3900
LoRa: SF9/500 kHz	N/A	7000
LoRa: SF8/500 kHz	N/A	12,500
LoRa: SF7/500 kHz	N/A	21,900

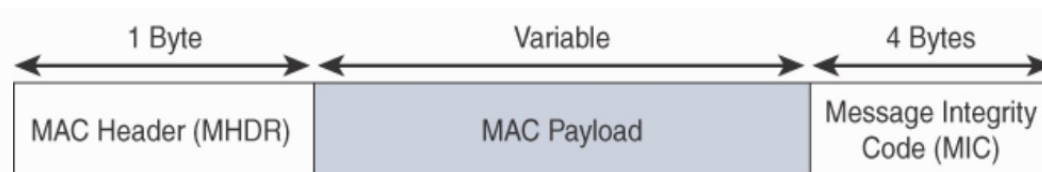
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ MAC nivo

- LoRaWAN specifikacija koja klasifikuje uređaje prema vijeku trajanja njihove baterije i garantovanja prijema podataka
- Klasa A: Implementira se po defaultu i dozvoljava dvosmjernu komunikaciju (dva prijema poslije slanja)
- Klasa B: Nudi dodatni prijemni prozor u odnosu na klasu A ali uz sinhronizaciju gateway-a pomoću beacon-a
- Klasa C: Namijenjena uređajima sa dobrim napajanjem i obezbjeđuje njihovo kontinualno osluškivanje tokom čitavog vremena kada uređaj ne šalje podatke.
- Veličina MAC payload polja zavisi od frekvencijskog opsega i brzine prenosa (kreće se od 59 do 230B za 863-870 MHz i od 19 do 250B za 902-928MHz)
- Šest tipova MAC poruka (LoRaWAN verzija 1.0.x)
 - Join request
 - Join accept
 - Unconfirmed data up/down (up se odnosi na uplink a down na downlink)
 - Confirmed data up/down (prijem mora biti potvrđen)



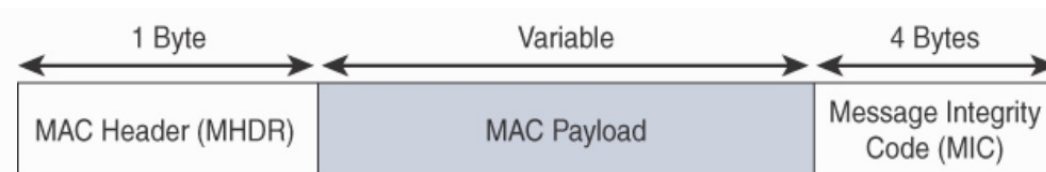
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ MAC nivo

- LoRaWAN uređaji mogu imati
 - Globalni ID ili DevEUI predstavljen IEEE EUI-64 adresom.
 - Globalni aplikacioni ID ili AppEUI predstavljen IEEE EUI-64 adresom koja na jedinstven način identifikuje pružalaca aplikacije, odnosno vlasnika uređaja
 - Adresu uređaja ili DevAddr veličine 32 bita (prvih 7 bita su identifikator mreže NwkID koji operator dobija od LoRaWAN Alliance a ostalih 25 bita NwkAddr se koriste za identifikaciju uređaja u mreži



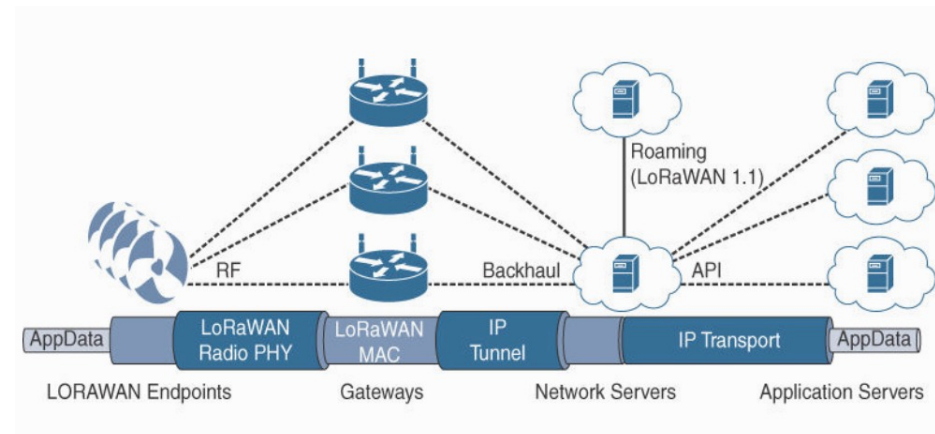
David Hanes, et al. "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ Topologija

- Star of stars
- Uređaji razmjenjuju podatke preko gateway
- Gateway povezuje uređaje prelo IP mreže na LoRaWAN servere
- Viši nivoi nijesu definisani
 - ZigBee Control Layer (ZCL),
 - Constrained Application Protocol (CoAP),
 - Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) sa ili bez IPv6/6LoWPAN
- Više kopija jednog istog paketa može stiće do servera koji je zadužen da ukloni duple pakete
- Postoji i opcija geolokacije uređaja u verziji 2
- LoRaWAN server upravlja brzinama prenosa i frekvencijama korišćenjem ADR algoritma, ali i prosleđuje podatke aplikacija serverima aplikacija
- Roaming se uvodi za potrebe mobilnih IoT uređaja



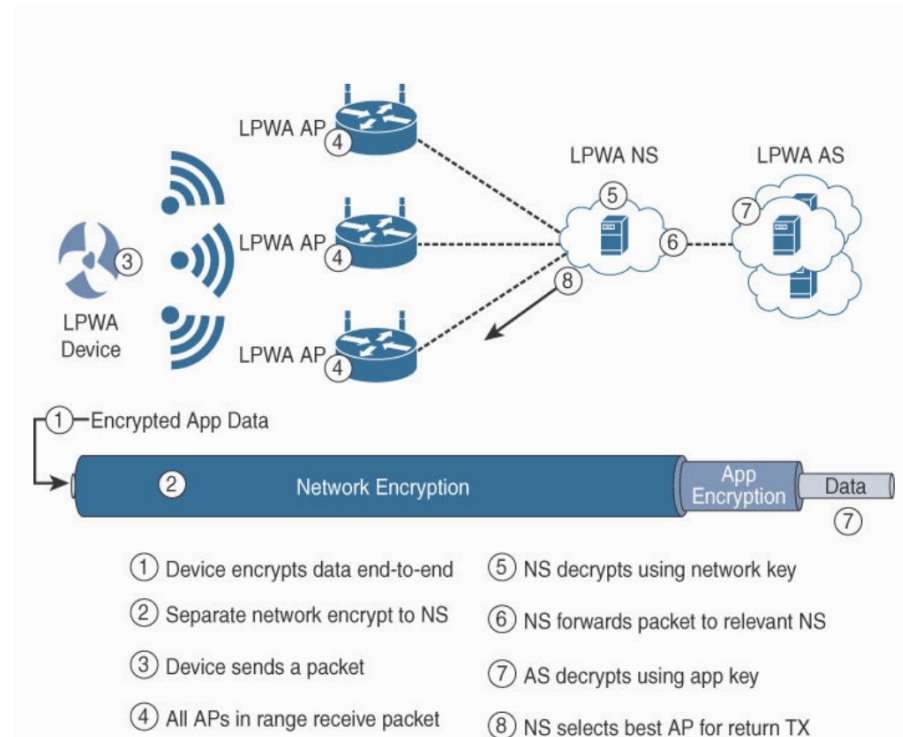
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ Sigurnost

- LoRaWAN uređaji moraju implementirati dva nivoa sigurnosti štiteći komunikacije i privatnost podataka u mreži
- Prvi nivo (*network security*) je implementiran na MAC nivou i garantuje autentikaciju IoT uređaja od strane LoRaWAN mrežnog servera. Takođe, štiti LoRaWAN paket enkripcijom baziranom na AES
- IoT čvorišta implementiraju ključ mrežne sesije (Nwk-Skey) koje koriste zajedno sa mrežnim serverom u cilju garantovanja integriteta poruka izračunavanjem i provjerom MIC polja svake poruke kao i enkripcijom/dekripcijom payload polja MAC poruka

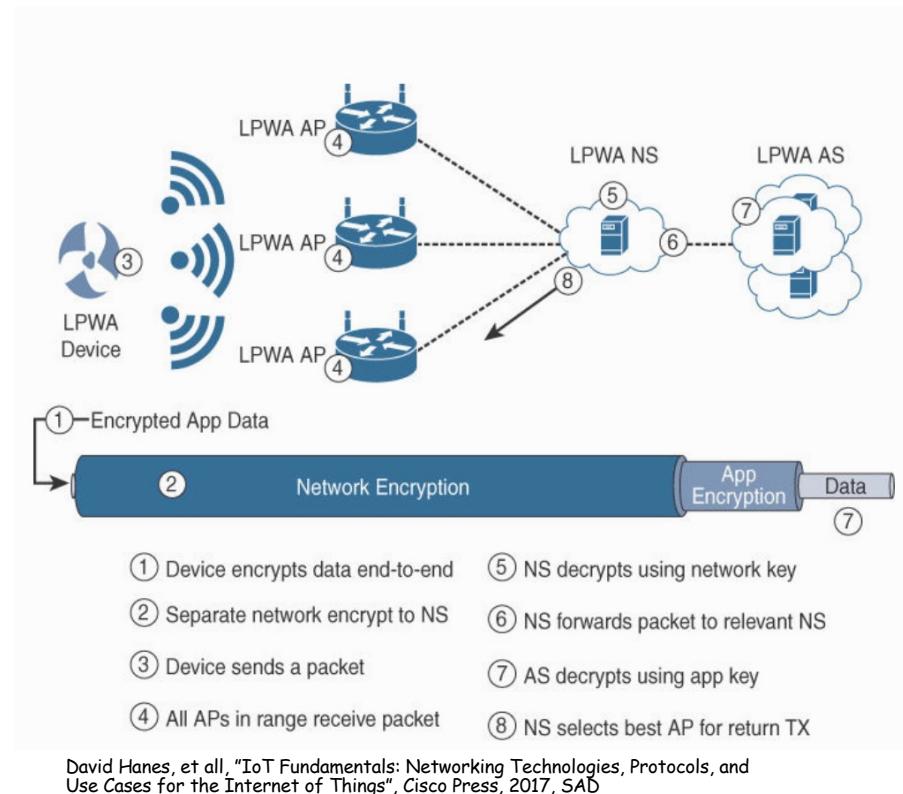


IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ Sigurnost

- Drugi nivo je ključ aplikacione sesije (AppSKey) koji obavlja enkripciju i dekripciju između uređaja i njegovog aplikacionog servera.
- Izračunava i provjerava MIC nivoa aplikacije ako je uključen čime obezbjeđuje da operator nema pristup payloadu aplikacije ako mu nije dozvoljen pristup
- IoT čvorovi dobijaju svoj AES-128 aplikacioni ključ (AppKey) od vlasnika aplikacije.
- LoRaWAN saobraćaj i saobraćaj mrežnog menadžmenta se štite pomoću VPN i IPsec



IoT pristupne tehnologije

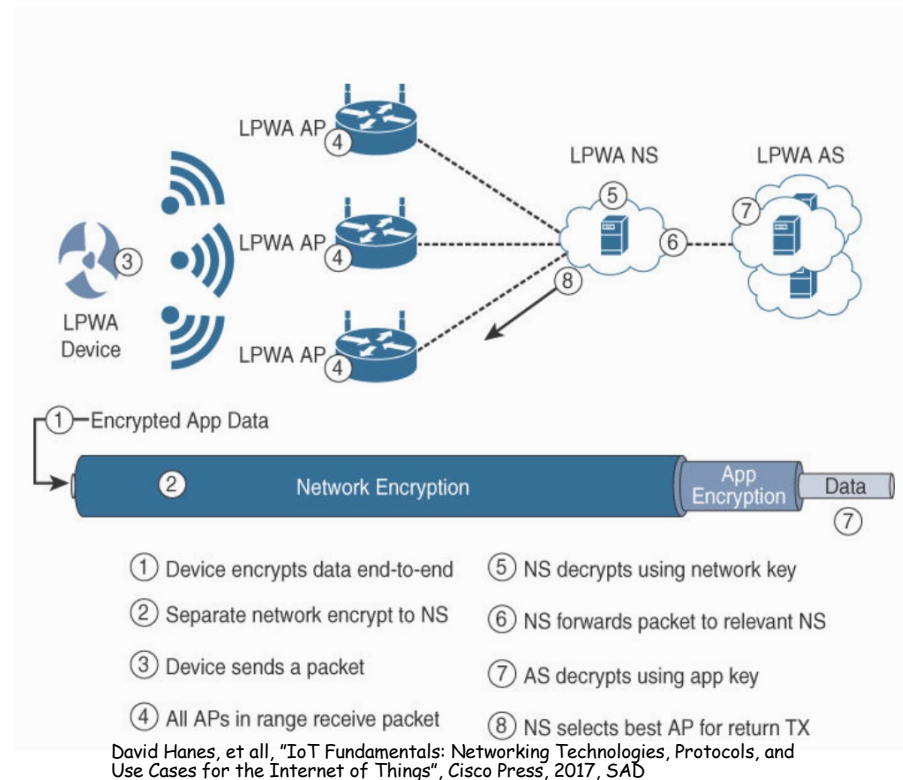
LoRaWAN

□ Sigurnost

- Uređaji se prilikom povezivanja na mrežu moraju registrovati i autentifikovati na jedan od dva načina

- *Activation by personalization (ABP)*: Uređaji ne treba da prolaze proceduru pridruživanja jer su njihovi individualni podaci (DevAddr, NwksKey i AppSKey ključevi) već konfigurisani i smješteni u uređaje. Iste informacije su registrovane na LoRaWAN mrežni server.

- *Over-the-air activation (OTAA)*: Uređaji se dinamički povezuju na određenu LoRaWAN mrežu poslije uspješne procedure pridruživanja koja se mora odraditi svaki put kada se sesija obnavlja. Proces pridruživanja uključuje slanje i prijem MAC zahtjeva i potvrda pridruživanja, uspostavljanje kredencijala sa LoRaWAN mrežnim serverom, razmjenom jedinstvenih DevEUI, AppEUI i AppKey. AppKey se koristi za određivanje NwksKey i AppSKey keys.



IoT pristupne tehnologije

LoRaWAN

□ Konkurencija

- Sigfox
- Ingenu Onramp
- ...

Characteristic	LoRaWAN	Sigfox	Ingenu Onramp
Frequency bands	433 MHz, 868 MHz, 902–928 MHz	433 MHz, 868 MHz, 902–928 MHz	2.4 GHz
Modulation	Chirp spread spectrum	Ultra-narrowband	DSSS
Topology	Star of stars	Star	Star; tree supported with an RPMA extender
Data rate	250 bps–50 kbps (868 MHz) 980 bps–21.9 kbps (915 MHz)	100 bps (868 MHz) 600 bps (915 MHz)	6 kbps
Adaptive data rate	Yes	No	No
Payload	59–230 bytes (868 MHz) 19–250 bytes (915 MHz)	12 bytes	6 bytes–10 KB
Two-way communications	Yes	Partial	Yes
Geolocation	Yes (LoRa GW version 2 reference design)	No	No
Roaming	Yes (LoRaWAN 1.1)	No	Yes
Specifications	LoRA Alliance	Proprietary	Proprietary

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

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

- ❑ Postojeće celularne tehnologije (GPRS, Edge, 3G i 4G/LTE) nijesu adekvatne za IoT uređaje malih dimenzija napajane baterijama
- ❑ 3GPP radi na razvoju celularnih tehnologija koje bolje ispunjavaju IoT zahtjeve.
- ❑ Definisana je nova kategorija LTE uređaja LTE-M koji ispunjavaju IoT zahtjeve (niska propusnost, niska potrošnja energije, smanjenje kompleksnosti, niska cijena)
- ❑ Kako LTE-M nije bila dovoljna, 2015. godine je standardizovan *Narrowband IoT* koji je fokusiran na
 - Veliki broj uređaja male propusnosti
 - Uređaje male potrošnje energije
 - Poboljšanu pokrivanje unutar objekata
 - Optimizovanu mrežnu arhitekturu

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

□ LTE Cat 0

- Prvo poboljšanje LTE za potrebe IoT (Release 12)
- Maksimalna brzina prenosa 1Mb/s
- *Power saving mode* (PSM): minimizuje potrošnju energije na način što je uređaj gotovo isključen ali je registrovan na mrežu, izbjegavajući povezivanje ili uspostavljanje konekcija dok je u *sleep* modu.
 - Kada se "probudi" inicijalizuje *tracking area update* (TAU), poslije čega ostaje aktivan određeno definisano vrijeme i tada ponovo prelazi u *sleep*.
 - TAU je procedura koju LTE uređaj koristi da pokaže mreži u kojoj se trenutnu oblasti nalazi ili preko koje grupe baznih stanica je dostupan.
- *Half-duplex mode*: Smanjuje troškove i kompleksnost implementacije uređaja zato što dupleks filter nije potreban jer su većina IoT uređaja senzori koji šalju malu količinu podataka i nemaju full-duplex komunikaciju.

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

□ LTE-M

- Manji opseg prijemnika (smanjen sa 20MHz na 1.4MHz)
- Manja brzina prenosa (smanjena sa 1Mb/s kod Kat 0 na 200kb/s)
- Half-duplex mod
- *Enhanced discontinuous reception* (eDRX) povećava vrijeme „spavanja“ sa sekundi na minute čime se značajno povećava životni vijek baterije
- Zahtijeva nove čipove i softver na baznim stanicama

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

□ NB-IoT

- Kako se pokazalo da prethodna unapređenja nijesu donijela potrebno ispunjavanje zahtjeva proizvođači opreme su sami predložili promjene
 - Extended Coverage GSM (EC-GSM), Ericsson
 - Narrowband GSM (N-GSM), Nokia
 - Narrowband M2M (NB-M2M), Huawei/Neul
 - Narrowband OFDMA (orthogonal frequency-division multiple access), Qualcomm
 - Narrowband Cellular IoT (NB-CIoT), NB-M2M i NB-OFDMA
 - Narrowband LTE (NB-LTE), Alcatel-Lucent, Ericsson, and Nokia
 - Cooperative Ultra Narrowband (C-UNB), Sigfox proposal
- Prethodni predlozi su konsolidovani dogovorom da se koristi Orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) na downlinku i više opcija na uplinku

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

□ NB-IoT

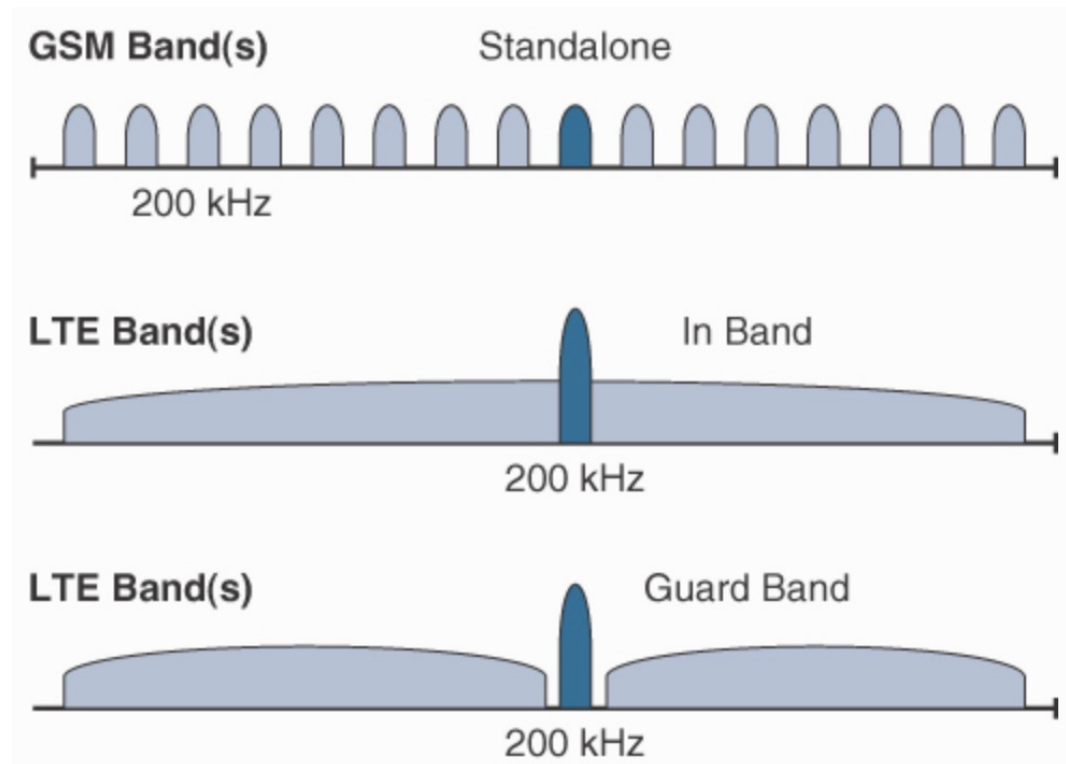
- *Standalone* mod: GSM se koristi za NB-IoT korišćenjem opsega na 900 MHz ili 1800 MHz.

- *In-band* mod: Dio LTE frekvencija se alocira za NB-IoT i saglasno tome se konfiguriraju IoT uređaji.

- *Guard band* mod: NB-IoT se koriste

između LTE ili WCDMA opsega što zahtijeva koegzistenciju između LTE i NB-IoT opsega

- U Release 13 je specifična i adaptacija IoT jezgra (npr. pojednostavljenje LTE povezivanja)



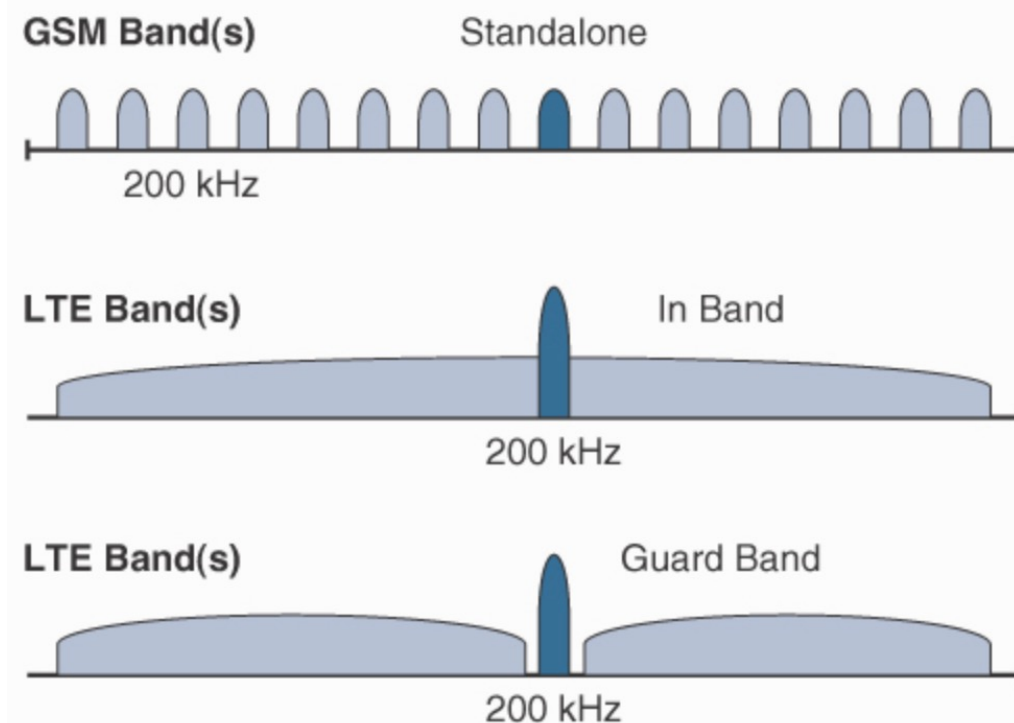
David Hanes, et al, "IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things", Cisco Press, 2017, SAD

IoT pristupne tehnologije

NB-IoT i druge varijacije LTE

□ NB-IoT

- Kod NB-IoT su LTE blokovi širine 180kHz zamijenjena nosiocima i podnosiocima.
- Uplink kanal može biti 15 kHz ili 3.75 kHz ili multi-tone ($n \cdot 15$ kHz, n manje od 12). Na nivou 1, maksimalni transport block size (TBS) za downlink je 680b, dok je za uplink 1000b.
- Na nivou 2, maksimalni *Packet Data Convergence Protocol (PDCP) service data unit (SDU)* je veličine 1600B.
- NB-IoT funkcioniše u half-duplex frequency-division duplexing (FDD) modu sa maksimalnom brzinom prenosa od 60 kb/s na uplinku i 30kb/s na downlink-u.



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