

/Zavod za telekomunikacije

Diplomski studij

**Elektrotehnika i informacijska tehnologija, Informacijska i komunikacijska
tehnologija, Računarstvo**

Izborni predmet profila

Internet stvari

Akademska godina 2022./2023.

Ogledna pitanja s rješenjima - 1. blok predavanja

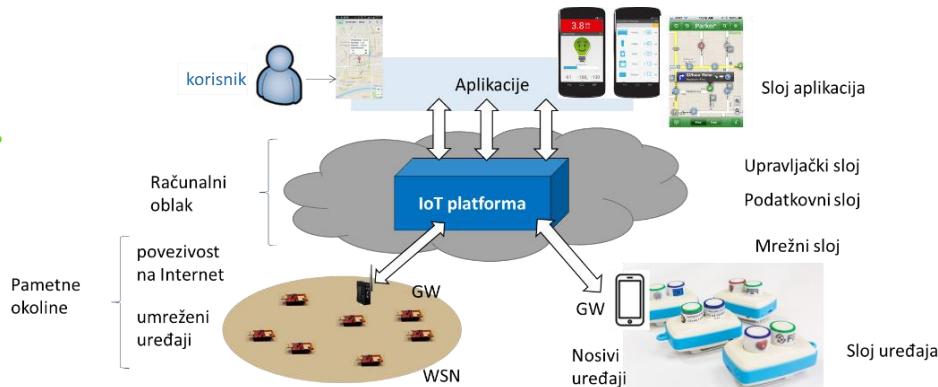


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**Fakultet
elektrotehnike i
računarstva**

Zadatak 1

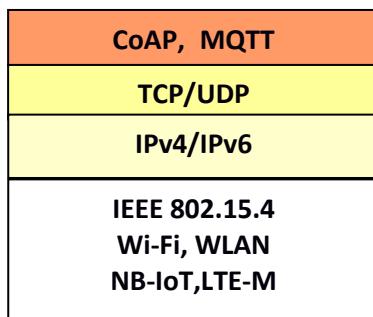
Skicirajte pojednostavljenu arhitekturu Interneta stvari. Objasnите funkcionalnosti pojedinih komponenti.



- *Nosivi uređaji, WSN (sloj uređaja) – prikupljaju podatke o okolini (senzori) ili izvršavaju određene funkcije (aktuatori)*
- *Mrežni sloj – omogućuje komunikaciju između IoT-uređaja i računalnog oblaka za pohranu podataka*
- *Računalni oblak (podatkovni i upravljački sloj) – pohranjuje podatke prikupljenje sa IoT-uređaja, izvršava analizu podataka, omogućuje upravljanje IoT-uređajima (odabir vremena aktivnosti, podataka koji se prenose)*
- *Aplikacije (aplikacijski sloj) – omogućuju prikaz podataka krajnjim korisnicima*

Zadatak 2

Skicirajte protokolni složaj za Internet stvari. Navedite pune nazine za barem dva karakteristična protokola za Internet stvari. Pojasnite osnovne značajke svakog sloja.



CoAP: Constrained Application Protocol

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

Sloj podatkovne poveznice omogućuje povezivanje IoT-uređaja na mrežu. Mrežni sloj omogućuje adresiranje IoT-uređaja spojenih preko drugih fizičkih mreža te usmjeravanje prometa između različitih fizičkih mreža. Transportni sloj je zadužen za prijenos aplikacijskog prometa preko komunikacijske mreže i isporuku paketa odgovarajućim procesima na računalima. Aplikacijski sloj je zadužen za prijenos senzorskih i aktuatorских podataka između IoT-uređaja te poslužitelja i krajnjih korisnika.

Zadatak 3

Navedite namjenu uređaja kojeg nazivamo „senzor“ u kontekstu Interneta stvari te nabrojite komponente od kojih se sastoji senzorski čvor.

*Senzor: uređaj za opažanje fenomena iz okoline, malih je dimenzija, troši мало energije (baterija), te posjeduje ograničene resurse.
Sastoji se od komponenti za opažanje i mjerjenje fenomena iz okoline, procesora i memorije te komponente za komunikaciju.*

Zadatak 4

Grupirajte sljedeće bežične komunikacijske tehnologije prema dometu:
ZigBee, LoRaWAN, IEEE 802.15.4 XBee, IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.15.7 Visible Light Communications (VLC), NB-IoT, Sigfox

Kratki	Srednji	Dugi
IEEE 802.15.1 Bluetooth, IEEE 802.15.7 Visible Light Communications (VLC)	ZigBee, IEEE 802.15.4 XBee, IEEE 802.11 Wi-Fi,	LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox

Zadatak 5

Zaokružite LPWAN (*Low-power wide-area network*) tehnologiju s najboljim karakteristikama za:

Skalabilnost Sigfox LoRaWAN **NB-IoT**

Domet **Sigfox** LoRaWAN NB-IoT

Kašnjenje Sigfox LoRaWAN **NB-IoT**

• •

Zadatak 6

Navedite i objasnite namjenu protokola 6LoWPAN (*IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks*) te nabrojite tri mehanizma prilagodbe koje ovaj protokol koristi.

Optimizacija prijenosa IPv6-paketa u mrežama s ograničenim resursima (IEEE 802.15.4)

- Najmanji maximum transmission unit (MTU) za IPv6 je 1280 byte-a, dok je 127 byte-a najveći MTU za IEEE 802.15.4
- Potrebni su mehanizmi prilagodbe:
- Kompresija zaglavja
- Fragmentacija paketa
- Mesh-adresiranje

Zadatak 7

Navedite namjenu protokola RPL (*IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*) te objasnite dva načina rada ovog protokola.

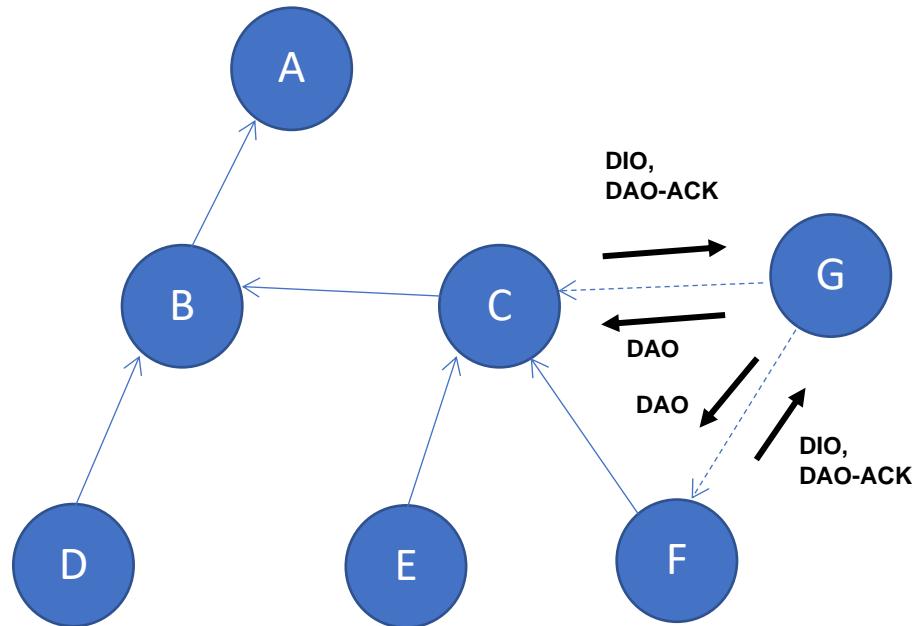
- Novi protokol za usmjeravanje paketa u mrežama ograničenih resursa (*distance-vector routing protocol*)
- **Storing mode:** Svi čvorovi sadrže potpunu tablicu usmjeravanja za jednu RPL domenu. Svaki čvor zna odrediti put prema svim ostalim čvorovima.
- **Non-storing mode:** Samo rubni usmjeritelji (*border router/s*) RPL domene sadrži potpunu tablicu usmjeravanja i zna odrediti put do krajnjeg čvora. Svi ostali čvorovi održavaju samo listu roditelja za usmjeravanje prema rubnom usmjeritelju.
 - Učinkovito rješenje na nivou čvora (štedi memoriju i CPU), ali koji su nedostaci?

Zadatak 8

Na slici su prikazani čvorovi mreže u kojoj se usmjeravanje izvršava korištenjem protokola RPL (*IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*).

Naznačite na slici poruke koje se razmjenjuju nakon što se čvor G uključi u mrežu. Čvor G ima mogućnost komuniciranja s čvorom C i s čvorom F. Koji čvor će biti odabran kao roditeljski čvor čvora G? Zašto?

Kao preferirani roditeljski čvor bit će odabran čvor C zbog povoljnijeg ranga (2). Rang predstavlja broj skokova do korijenskog čvora.



Prikažite tablicu usmjeravnja na čvor B za Storing i Non-storing način rada.

Storing način rada:

Destination	Next hop	Metrics
C	C	1
D	D	1
E	C	2
F	C	2
G	C	2

Non-storing način rada: samo rubni usmjeritelj (A) ima tablicu usmjeravanja

Zadatak 9

U pametnom domu su dostupne dvije vrste senzora te dvije vrste aktuatora u dvije različite prostorije. Senzori omogućuju mjerena temperature i razine osvjetljenja. Aktuatori omogućuju uključivanje i isključivanje sustava za grijanje te upravljanje osvjetljenjem. Mjerena sa senzora te stanje aktuatora (jesu li sustavi kojima aktuatori upravljaju uključeni ili isključeni) se objavljaju korištenjem MQTT klijenta-objavlјivača.

- a) Definirajte teme na koje se objavljaju senzorska mjerena i stanja aktuatora tako da je moguće pretplaćivanje na svaki resurs po tipu (senzor/aktuator) i po lokaciji.

Apartment/room1/sensor/temp
Apartment/room1/sensor/lum
Apartment/room1/actuator/lighting
Apartment/room1/actuator/heat

Apartment/room2/sensor/temp
Apartment/room2/sensor/lum
Apartment/room2/actuator/lighting
Apartment/room2/actuator/heat

- b) Prikažite format pretplate za slučaj kada se MQTT klijent pretplatnik pretplaćuje na primanje svih dostupnih vrijednosti sa senzora

Apartment/+sensor/#

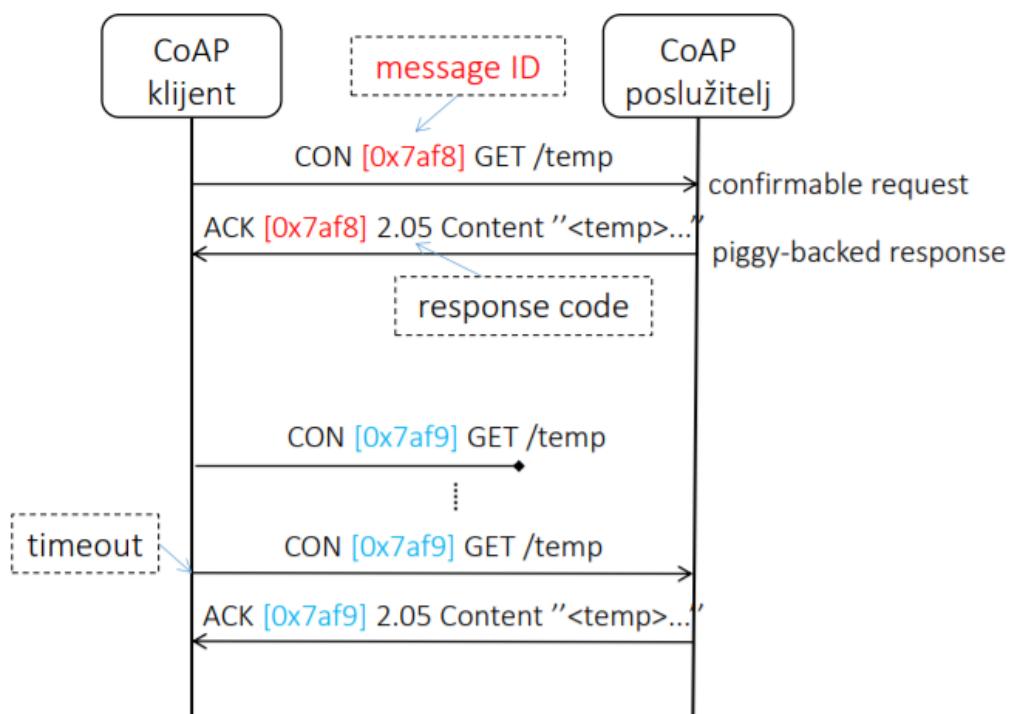
- c) Prikažite format pretplate za slučaj kada se MQTT klijent pretplatnik pretplaćuje na primanje svih dostupnih vrijednosti iz sobe 1

Apartment/room1/#

**Zadatak
10**

Skicirajte primjer razmjene poruka između CoAP klijenta i CoAP poslužitelja za *confirmable request* u slučaju a) ispravnog prijenosa klijentskog zahtjeva i b) neispravnog prijenosa klijentskog zahtjeva kada se na strani klijenta dogodi *timeout*.

Zapišite proizvoljne vrijednosti *message ID* za poruke koje se razmjenjuju. Koje poruke imaju isti *message ID*?



**Zadatak
11**

Navedite nekoliko značajnih problema vezanih uz sigurnost i privatnost u IoT-u.

- *Fokus je na funkcionalnosti uređaja/sustava*
- *Fokus je na sučeljima prema korisnicima*
- *Pokušava se skratiti vrijeme razvoja radi što ranijeg izlaska na tržište*
- *Napadači poznaju tehnologije i imaju alate za automatizirani napad na pojedine slojeve/tehnologije*
- *Razvijatelji nisu sigurnosni stručnjaci (ne postoje gotova rješenja niti metodologije za implementaciju sigurnosti)*
- *Razvijatelji razvijaju komponente i integriraju ih u sustav, ostavljaju veliku površinu za napade preko cijelog složaja*

**Zadatak
12**

Zaokružite točan odgovor.

1. Korištenjem protokola MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) moguće je definirati preplatu koja obuhvaća više tema.

- a) DA
- b) NE

2. Razina kvalitete usluge korištenjem protokola MQTT koja uključuje isporuku poruke barem jedan put, pri čemu je moguće primanje više od jedne poruke je:

- a) Razina 0
- b) **Razina 1**
- c) Razina 2
- d) Razina 3

3. U zadaće MQTT poslužitelja (brokera) ne ubraja se:

- a) prihvatanje konekcije od strane klijenta
- b) proslijeđivanje poruke klijentima koji su pretplaćeni na temu na koju je poruka objavljena
- c) **objavljivanje nove poruke na postojeću temu**
- d) odgovaranje klijentu na PING zahtjev

4. Protokol CoAP (*Constrained Application Protocol*) na transportnom sloju koristi protokol:

- a) **UDP (User Datagram Protocol)**
- b) TCP (*Transmission Control Protocol*)
- c) SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*)
- d) SIP (*Session Initiation Protocol*)

5. Metoda koja je podržana protokolom HTTP, ali nije podržana protokolom CoAP je:

- a) GET
- b) POST
- c) DELETE
- d) **OPTIONS**

/Zavod za telekomunikacije

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

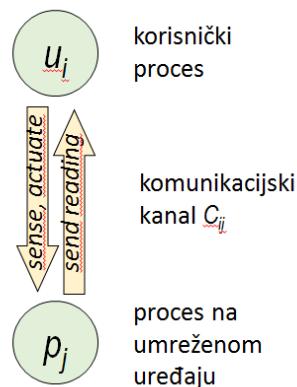
(Izborni predmet profila)

Internet stvari

Akademska godina 2022./2023.

Ogledna pitanja - 2. blok predavanja

Zadatak 1 Skicirajte osnovni model IoT-sustava. Navedite osnovne procese, kanale i događaje.



Raspodijeljeni sustav vođen događajima, modelira se I/O automatom

- $u_i \in U$: U je konačni skup korisnika
- $p_j \in P$: P je konačni skup uređaja
- mogući događaji: sense, actuate, send reading
- send reading je uvjetni događaj, posljedica sense

Zadatak 2 Navedite dosege standardizacije u Internetu stvari, odnosno što sve podlježe standardizaciji.

- Sučelja za razvoj IoT aplikacija
- Integracija IoT-uređaja u javnu pokretnu mrežu
- Specifični slojevi unutar arhitekture IoT platformi
- Upravljanje uređajima

Zadatak 3 Koje su zadaće za koje je zadužen entitet zajedničkih usluga Upravitelj uređajima u referentnoj arhitekturi oneM2M?

- Konfiguracija
- Dijagnostika
- Praćenje rada
- Upravljanje softverom
- Upravljanje topologijom (za mrežne prilaze)

Zadatak 4 Navedite logičke entitete (tipove čvorova) definirane u referentnoj arhitekturi oneM2M.

- *Infrastructure node (IN)*
- *Middle node (MN)*
- *Application Dedicated Node (ADN)*
- *Application Service Node (ASN)*

Zadatak 5 Definirajte pojam virtualnog entiteta u kontekstu IoT-platformi u računalnom oblaku.

Virtualni entitet predstavlja stvarni uređaj koji

- *pohranjuje senzorska očitanja, stanja aktuatora, obrađuje podatke*
- *vizualizira podatke, stanje uređaja, itd.*

Programska platforma održava metapodatke o uređajima, mobilne i web aplikacije koriste REST sučelja za pristup uređajima.

Zadatak 6 Koja su tri osnovna skupa funkcija programskih platformi za Internet stvari?

- *omogućuje razvoj IoT aplikacija (application enablement to customize IoT solutions)*
- *prikupljanje i pohrana podataka (data aggregation and storage to capture and store data that will generate insights)*
- *upravljanje konekcijama (connectivity management to automatically connect systems, networks, and devices)*

Zadatak 7 Pridružite vrste interoperabilnosti njihovim opisima:

Opis	Vrsta interoperabilnosti
Odnosi se na razumijevanje prenesenih podataka između različitih sustava (informacije, a ne podaci!)	Semantička
Povezuje se s formatom podataka i njihovim kodiranjem, npr., XML, JSON, RDF	Sintaktička
Povezuje se s komunikacijskim protokolima i potrebnom infrastrukturom kako bi protokoli ispravno komunicirali	Tehnička
Sposobnost organizacija za učinkovitu komunikaciju i prijenos informacija kroz različite informacijske sustave i infrastrukture	Organizacijska

Zadatak 8 Navedite glavnu prednost primjene koncepta računanja na rubu (fog/edge computing) u kontekstu Interneta stvari.

Obrada podataka generiranih od strane IoT-uređaja izvodi se u blizini samih uređaja, a ne izvodi se u računalnom oblaku, pa je smanjeno kašnjenje i količina prenesenih podataka u oblak.

Zadatak 9 Zaokružite točne odgovore:

1. U zadaće funkcije zajedničkih usluga Upravitelj podacima i skladištenjem definiranog referentnom arhitekturom oneM2M **NE** ubrajaju se:

- a) Prikupljanje podataka
- b) Analiza podataka
- c) **Spremanje komunikacijskih zahtjeva u red čekanja**
- d) Semantička obrada podataka

2. Prema referentnoj arhitekturi oneM2M očitavanje brojila je primjer:

- a) **Aplikacijskog entiteta (AE)**
- b) Konfiguracijskog entiteta (CE)
- c) Entiteta zajedničkih usluga (CSE)
- d) Entiteta mrežnih usluga (NSE)

3. Protokol koji nije podržan unutar Azure IoT Hub-a za komunikaciju s IoT uređajima je:

- a) MQTT
- b) CoAP**
- c) HTTPS
- d) AMQP

4. Zajednice dviju ili više platformi koje dijele ili trguju pristupom svojim resursima definirane su u radnom okviru symbloTe pod pojmom:

- a) Enabler
- b) IoT federation**
- c) Smart space
- d) Device roaming

5. U lokalne IoT-platforme **NE** ubraja se:

- a) openHAB
- b) Node-RED
- c) Eclipse Kura
- d) Microsoft Azure**

6. Zastavica RETAIN u protokolu MQTT se koristi za:

- a) Isporuku zadnje primljene poruke novim pretplatnicima**
- b) Preporučivanje pretplatnicima tema sličnih onima na koje su već preplaćeni
- c) Spremanje svih objavljenih poruka na strani broker-a
- d) Definiranje najviše razine kvalitete usluge (2)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Diplomski studij
Računarstvo
Znanost o mrežama
Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Računalno inženjerstvo
Informacijska i komunikacijska tehnologija
Automatika i robotika
Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo
Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Audiotehnologije i elektroakustika
Elektroenergetika
(Izborni predmet profila)

Internet stvari

**1. Općenito o Internetu stvari:
osnovni pojmovi, arhitektura
i područja primjene**

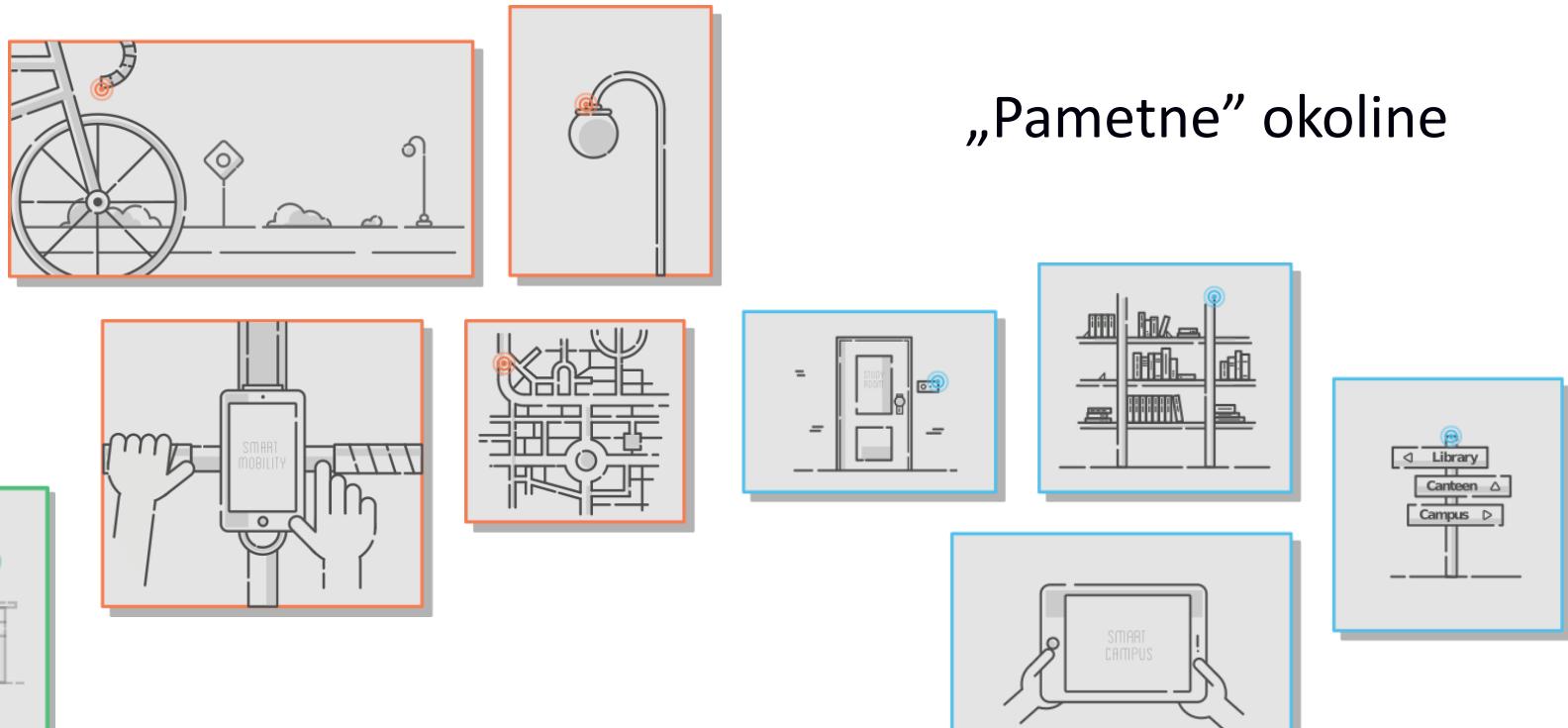
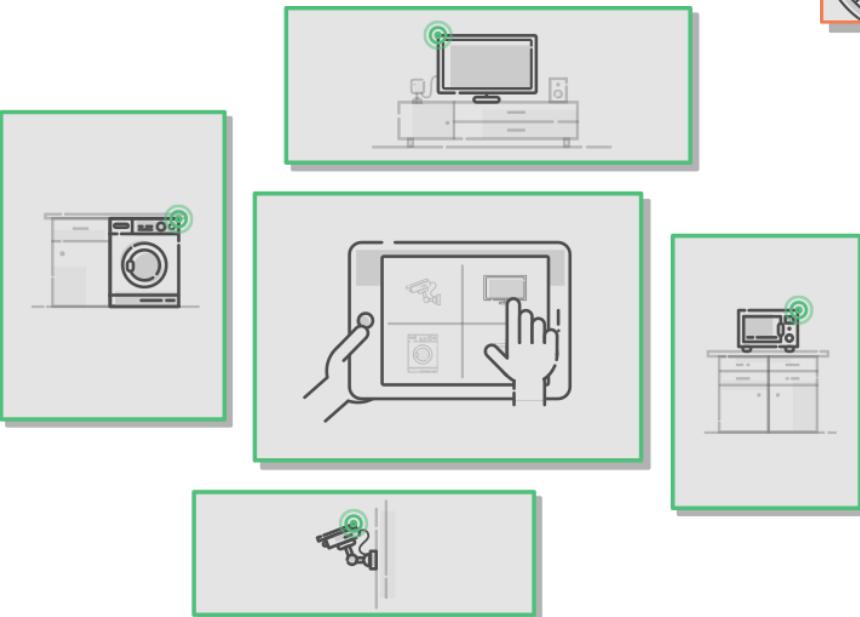
Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Umreženi uređaji i Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Područja primjene
- Programske platforme za IoT
- Referentne arhitekture

IoT danas

Veliki broj umreženih heterogenih uređaja

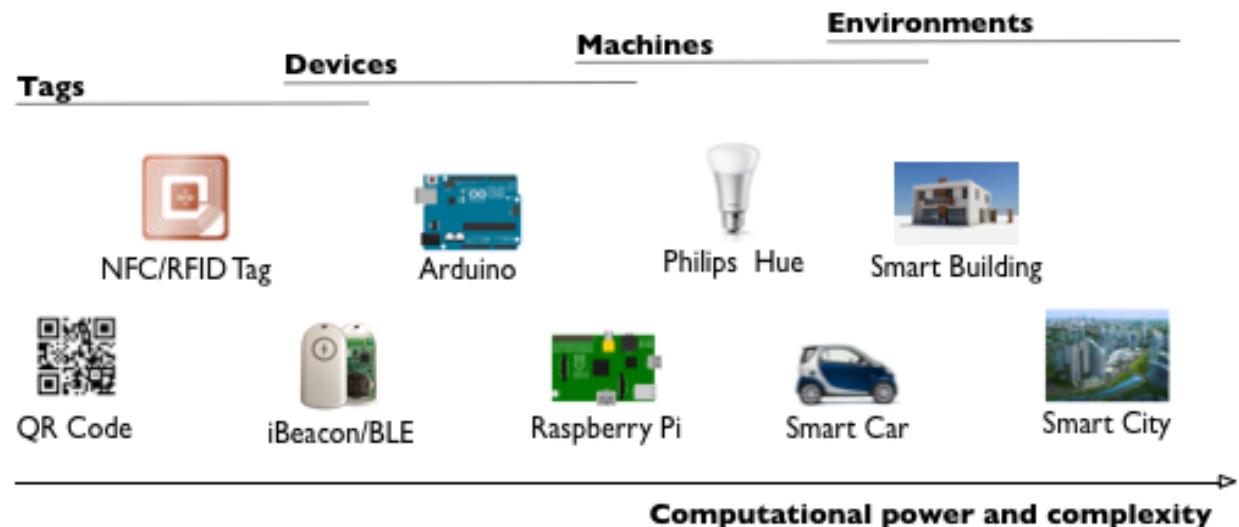


„Pametne“ okoline

Specijalizirane programske platforme: ~400

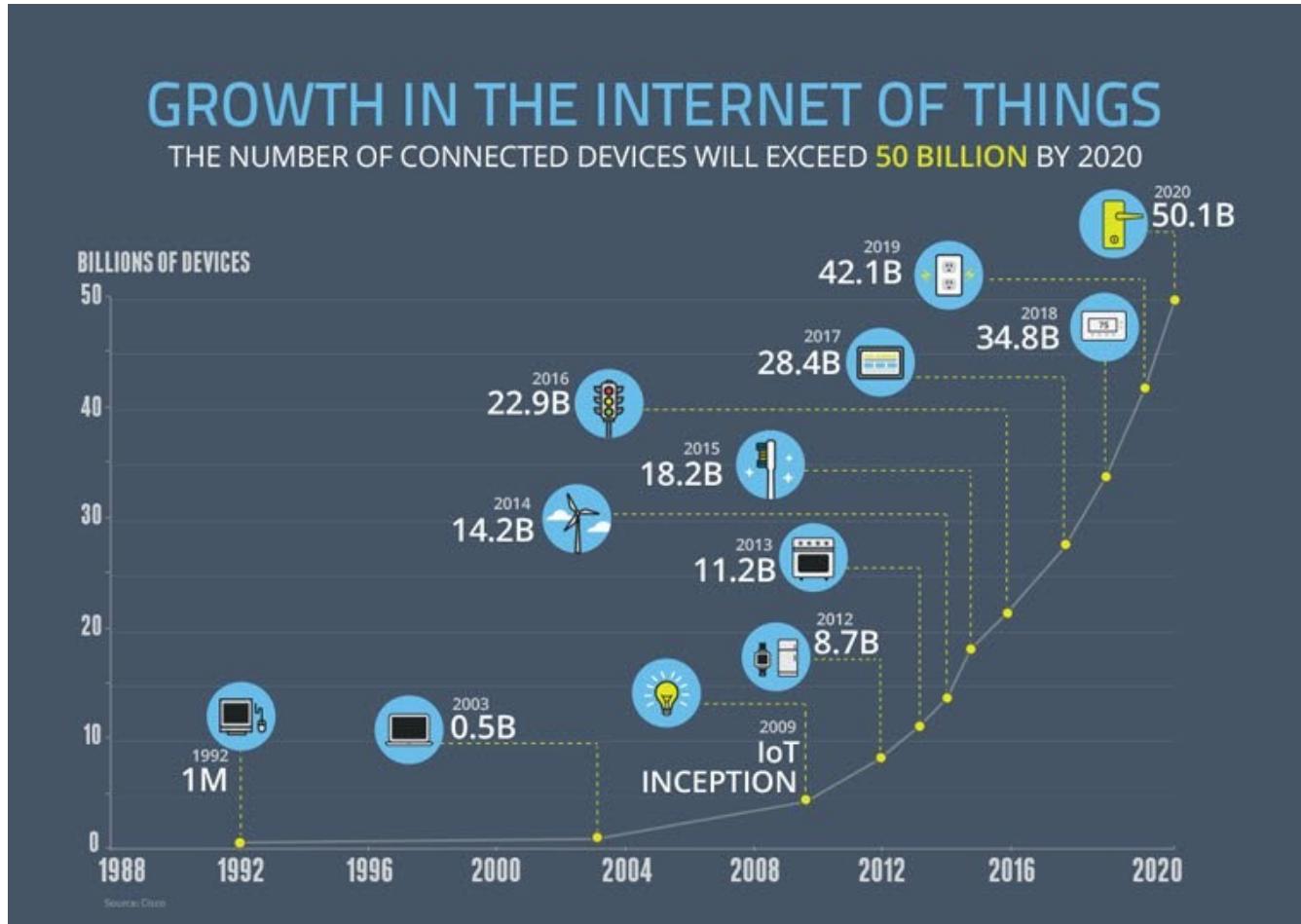
Umreženi uređaj („stvar”)

- Objekt iz fizičkog svijeta ili virtualnog digitalnog svijeta (virtualni objekt)
 - ima jedinstveni identifikator i povezan je na Internet (direktno ili putem posrednika)
 - senzor: opažanje okoline, potencijalno kontinuirano generira podatke
 - aktuator: može izvršiti određene funkcije



Source: Building the Web of Things: book.webofthings.io
Creative Commons Attribution 4.0

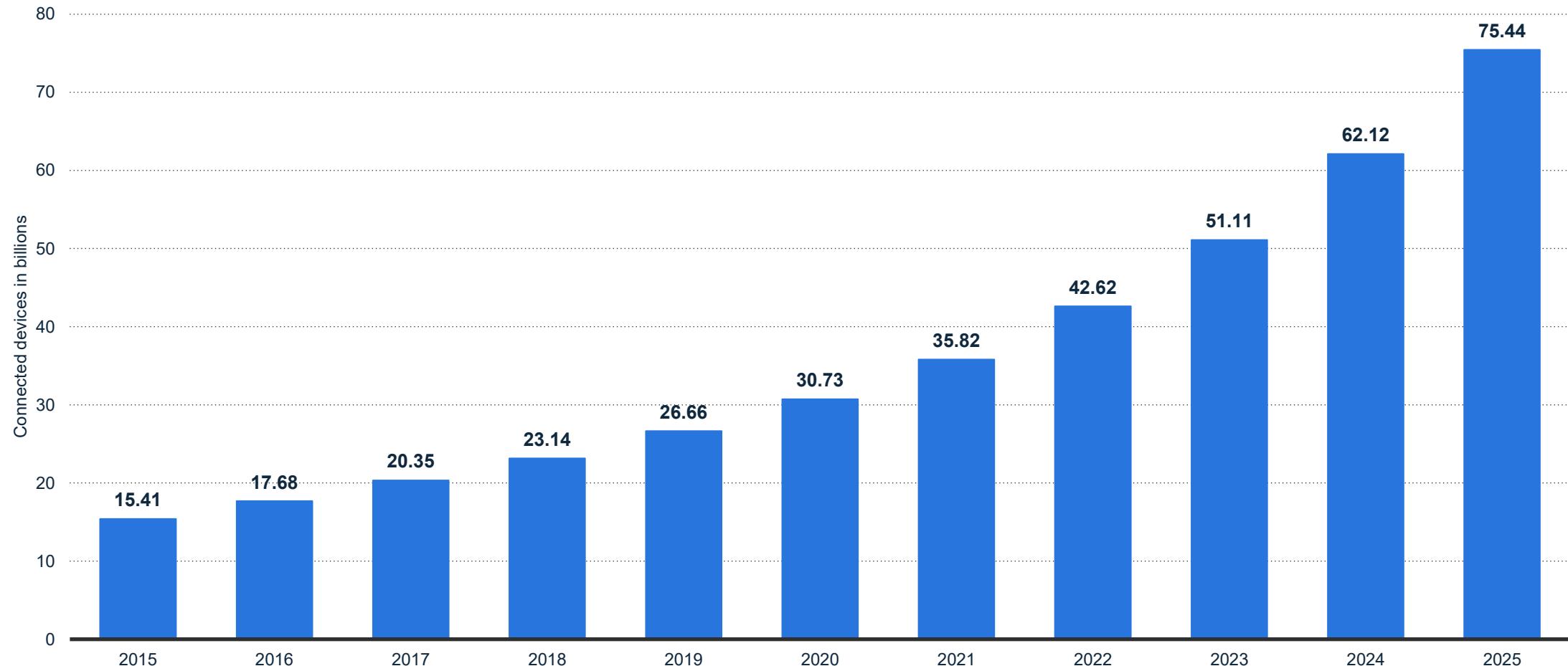
Broj stvari povezanih na Internet



Izvor: Cisco Internet of Things Infographic (2016)

Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions)

Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025



Kako smo stigli do IoT-a?

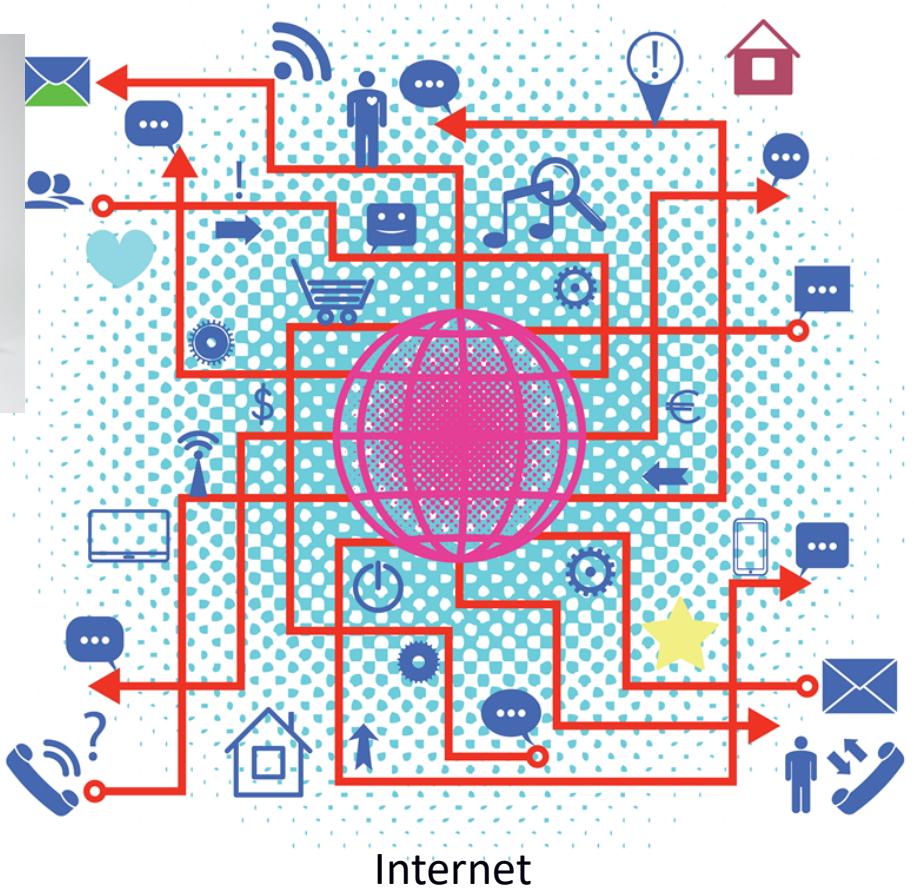


minijaturizacija el. sklopova,
smanjena potrošnja energije



pokretne mreže (4G)
i pametni telefoni

bežične senzorske mreže
Wireless Sensor Networks (WSN)



Internet of Things (IoT): definicija

ITU-T Recommendation Y.2060, 06/2012:

- *A global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) Things based on, existing and evolving, interoperable information and communication technologies.*
 - *Through the exploitation of identification, data capture, processing and communication capabilities, the IoT makes full use of things to offer services to all kinds of applications, whilst ensuring that security and privacy requirements are fulfilled.*
 - *In a broad perspective, the IoT can be perceived as a vision with technological and societal implications.*

Područja primjene

Smart Home

- Smart Lighting
- Smart Appliances
- Intrusion Detection
- Smoke/Gas Detectors
- Energy Management

Smart City

- Smart Parking
- Waste Management
- Smart Lighting
- Emergency Response

Environment

- Weather Monitoring
- Air Pollution Monitoring
- Noise Pollution Monitoring
- Forest Fire Detection

Retail

- Inventory Management
- Smart Vending Machines
- Smart Payments

Logistics

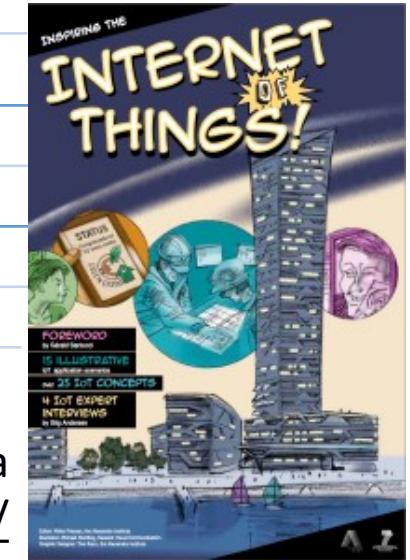
- Fleet Tracking
- Shipment Monitoring
- Remote Vehicle Diagnostics
- Route Generation and Scheduling

Industry

- Machine Diagnosis
- Object Tracking and Process Automation

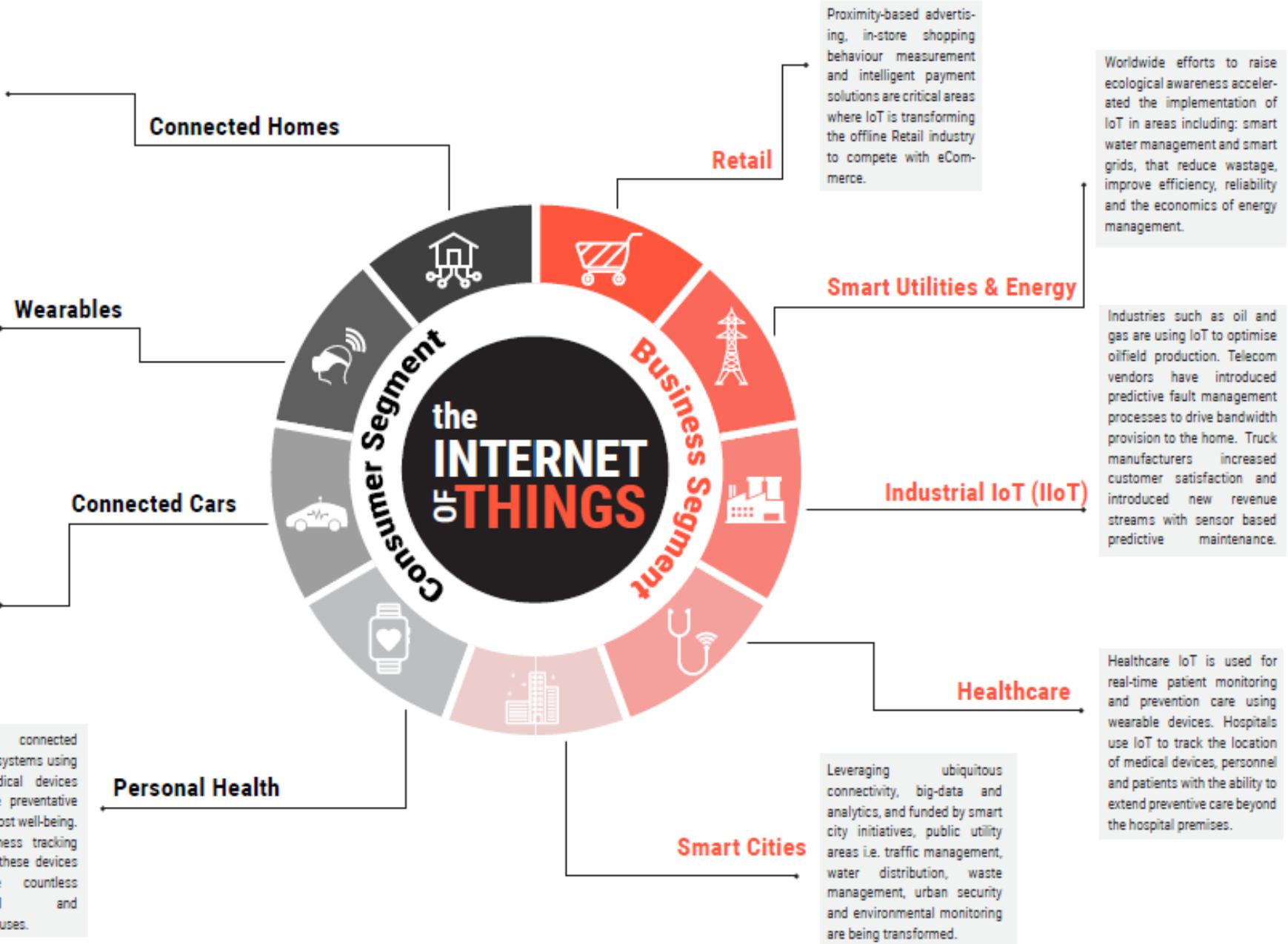
Agriculture

- Smart Irrigation
- Crop Monitoring



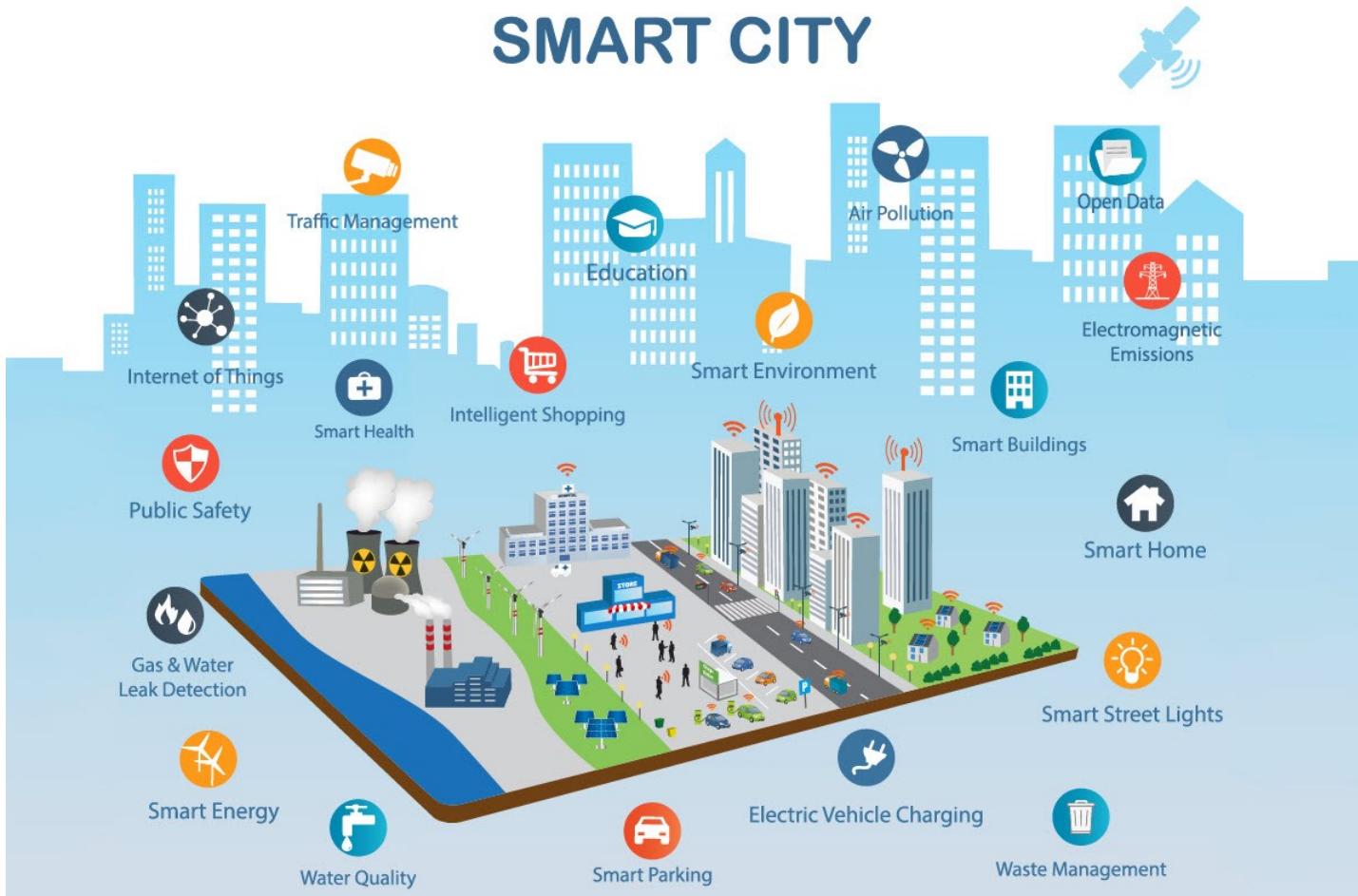
Za ljubitelje stripova

<http://iotcomicbook.org/original-edition/>



Izvor:
 Statista,
 Market Pulse
 Report IoT,
 April 2017

Koncept pametnog grada



Umreženi uređaji i inovativne IKT usluge su pokretači razvoja održivih i tehnološki naprednih gradova u službi građana i gradskih službi.

- ◆ Javni prijevoz
- ◆ Parkiranje
- ◆ Gradski promet
- ◆ Zbrinjavanje otpada
- ◆ Mjerenje buke, kvalitete zraka
- ◆ Pametna rasvjeta
- ◆ Energetska učinkovitost
- ◆ Nadzor prometnica
- ◆ Upravljanje prometom

Kako integrirati "stvari" i ponuditi inovativne aplikacije korisnicima?

- Pomoću programskih platformi (**IoT-platforma**) koje integriraju i upravljaju uređajima
 - uređaji: često imaju vrlo ograničene resurse te su povezani na Internet putem prilaznog uređaja (engl. *gateway*)
 - potrebno je objediniti i na jedinstveni način zapisati podatke primljene iz različitih izvora
 - potreba za obradom velike količine podataka (često u stvarnom vremenu)
 - raspodijeljeni sustav velikih razmjera
 - *Web of Things*: koncept koji povezuje uređaje direktno na WWW (tehnologije vezane uz protokol HTTP)

Business Value

Data Analytics

Core Platform

Connectivity

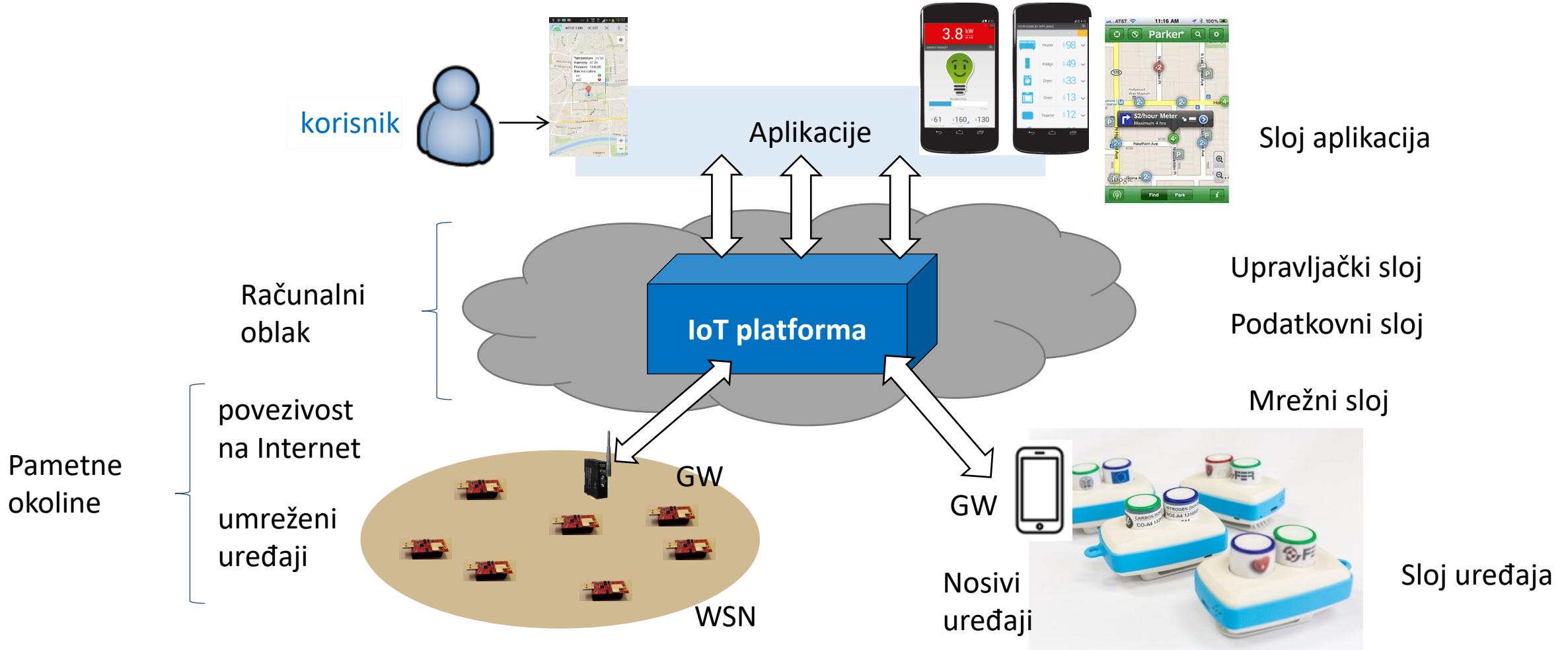
Thing

High-level IoT Stack

Okolina IoT-a

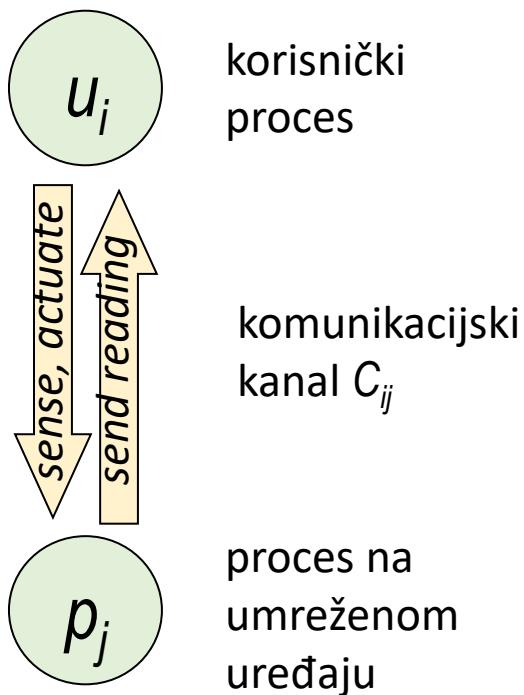
- pametna okolina integrira veći broj umreženih uređaja pomoću jedinstvene programske platforme kako bi se korisniku ponudile inovativne aplikacije (mobilne ili web aplikacije), npr. pametna kuća/ured/tvornica, pametan kampus, itd.
- računani oblak: pohrana i obrada podataka iz pametne okoline
- danas su na raspolaganju pretežno izolirana rješenja jednog ponuđača usluge u području IoT koji postavlja i integrira infrastrukturu u „pametnoj okolini”, podaci iz pametne okoline prikupljaju se u računalnom oblaku, pametnom okolinom se upravlja iz računalnog oblaka, a korisniku nude mobilne/web aplikacije za upravljanje vlastitom pametnom okolinom

Pojednostavljena arhitektura Interneta stvari



Generički model (osnovni) IoT-sustava

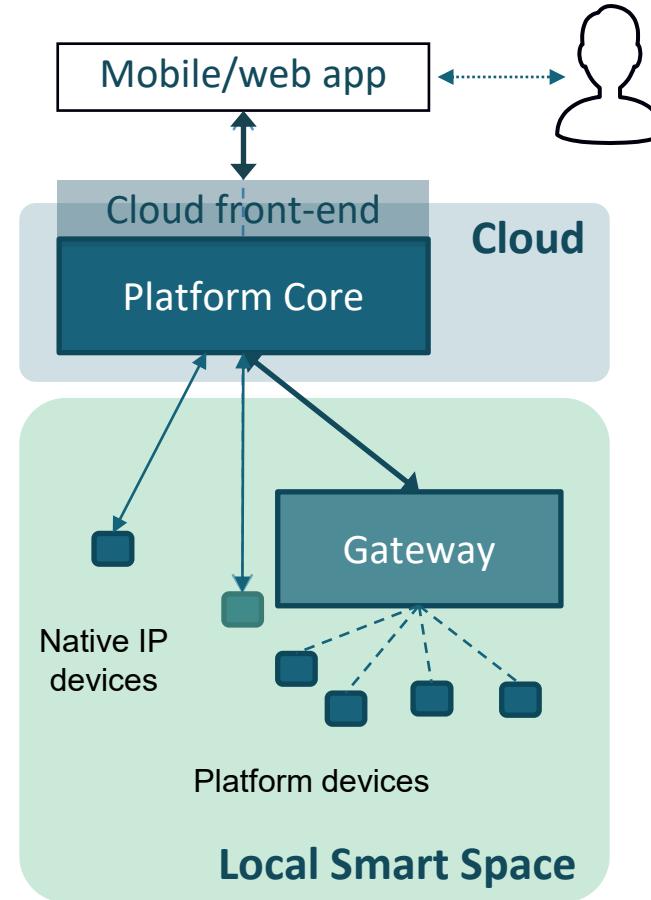
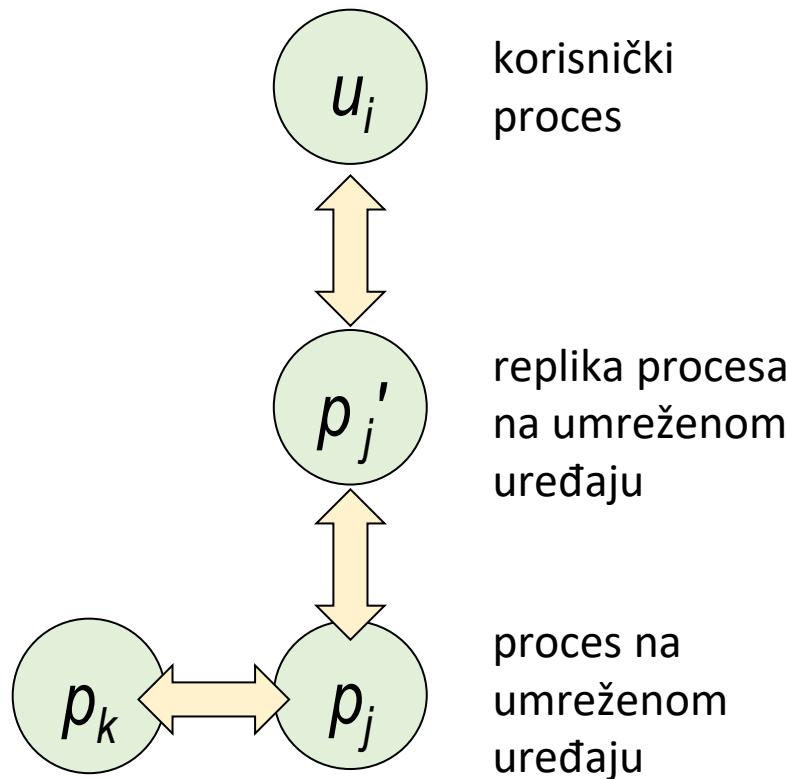
Vizija IoT-a prema *Web of Things*



- Raspodijeljeni sustav vođen događajima, modelira se I/O automatom
 - $u_i \in U$: U je konačni skup korisnika
 - $p_j \in P$: P je konačni skup uređaja
 - mogući događaji: *sense*, *actuate*, *send reading*
 - *send reading* je uvjetni događaj, posljedica *sense*

Programske platforme za IoT

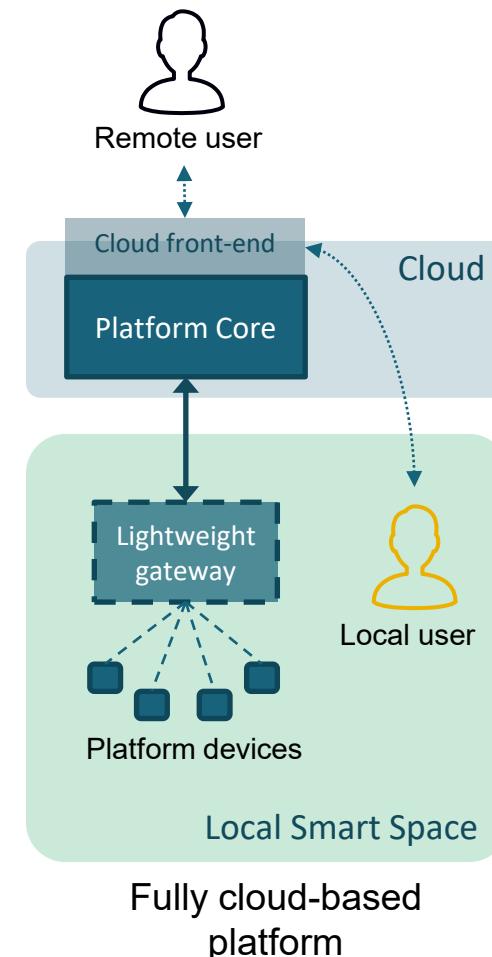
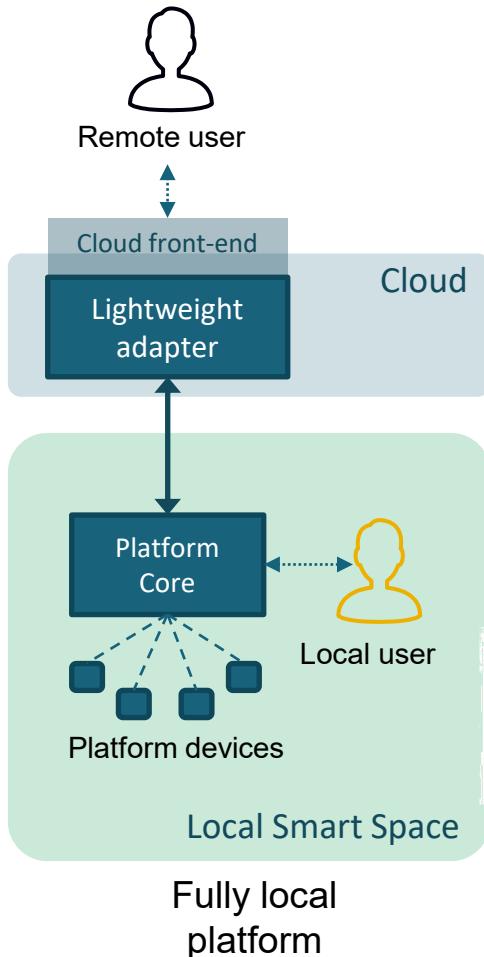
Proširen model IoT-sustava



Virtualni entitet predstavlja stvarni uređaj

- programska platforma održava metapodatke o uređajima
- pohranjuje senzorska očitanja, stanja aktuatora, obrađuje podatke

Vrste programskih platformi

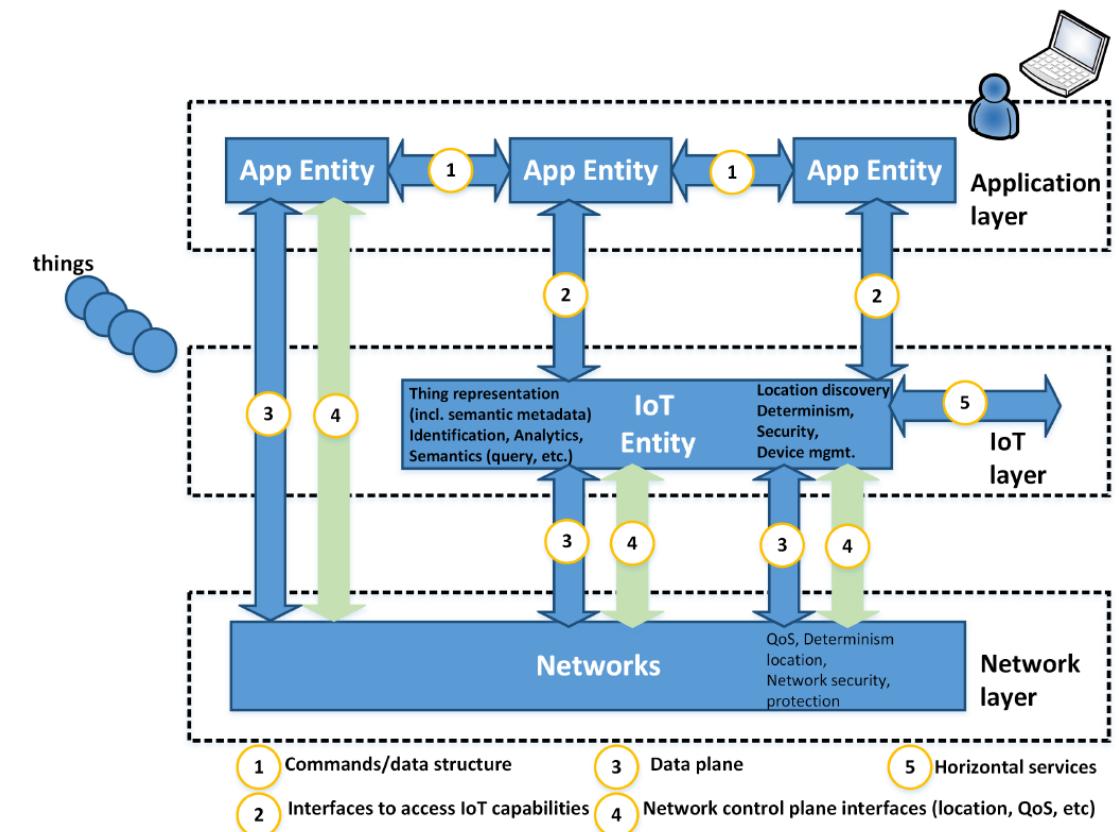


Referentne arhitekture (1/2)

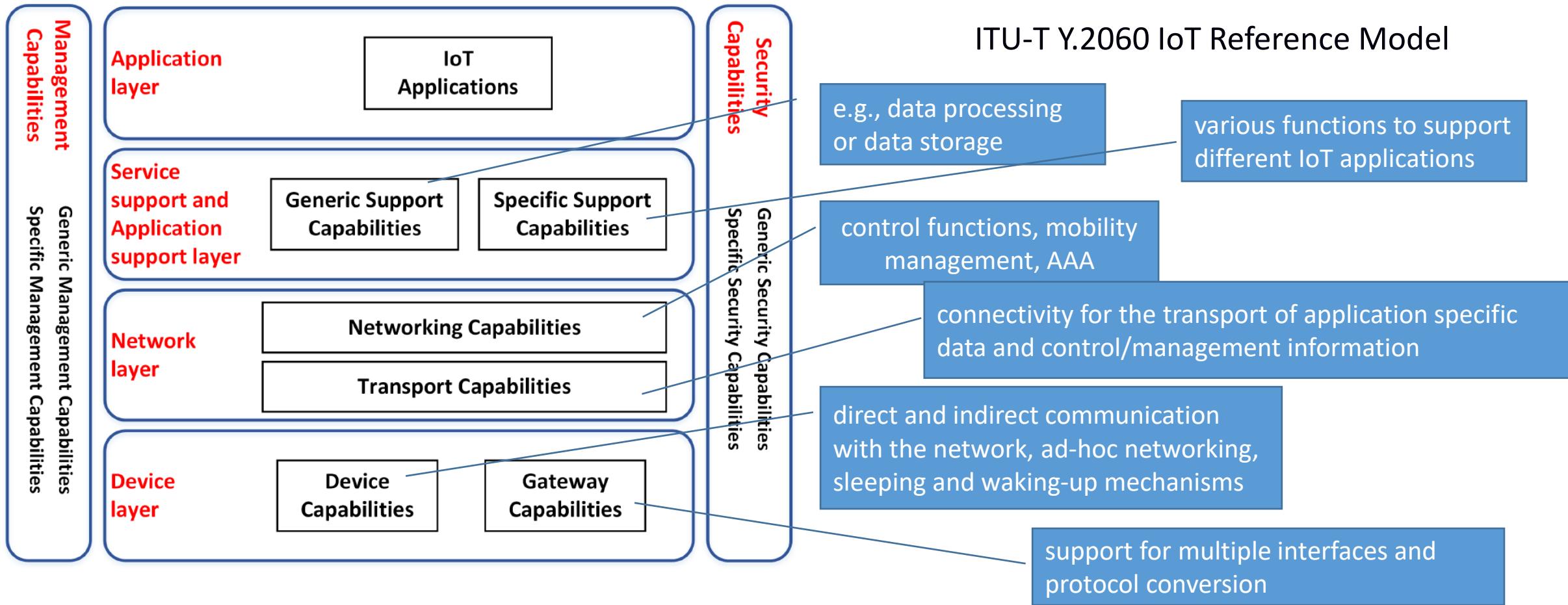
AIOTI HLA functional model

Konzorcij: Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI)

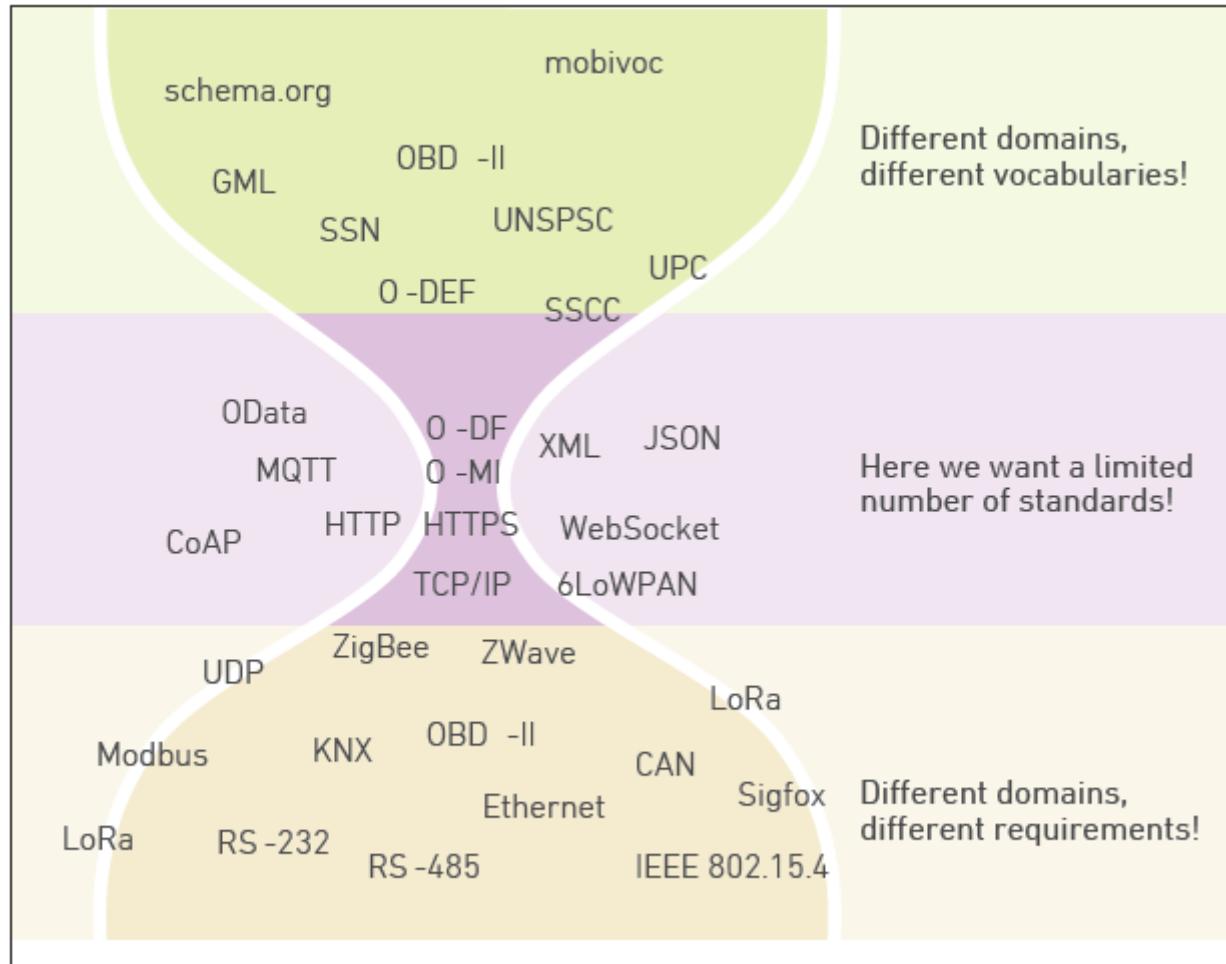
High Level Architecture (HLA)



Referentne arhitekture (2/2)



Različiti standardi i standardizacijska tijela



Web of Things at W3C



AIOTI

ALLIANCE FOR INTERNET OF THINGS INNOVATION



Izvor: IoT-EPI whitepaper, Advancing IoT Platforms Interoperability, 2018.

Izazovi IoT-a (1/2)

- Heterogeni uređaji i izvorni podataka, različiti protokoli
 - potrebno je osigurati interoperabilnost, uniforman pristup svim podacima
- Kontinuirano se generira velika količina podataka (*Big Data*) s obzirom na veliki broj izvora podataka
 - potreba za skalabilnom obradom i filtriranjem podataka u stvarnom vremenu
- **Veliki broj uređaja** koje je potrebno održavati
 - omogućiti pronalaženje uređaja, jednostavno povezivanje novih uređaja na Internet i samokonfiguracija stvari u "pametne okoline"
- **Sigurnost i privatnost**
 - veliki izazov za komercijalna rješenja, sigurnosni problemi u fizičkoj domeni (potencijalno mogu ugroziti ljudski život)
- Implementacija različitih **poslovnih modela**, **modeli naplate**
 - u inicijalnoj fazi, više na nivou ideje nego implementacije

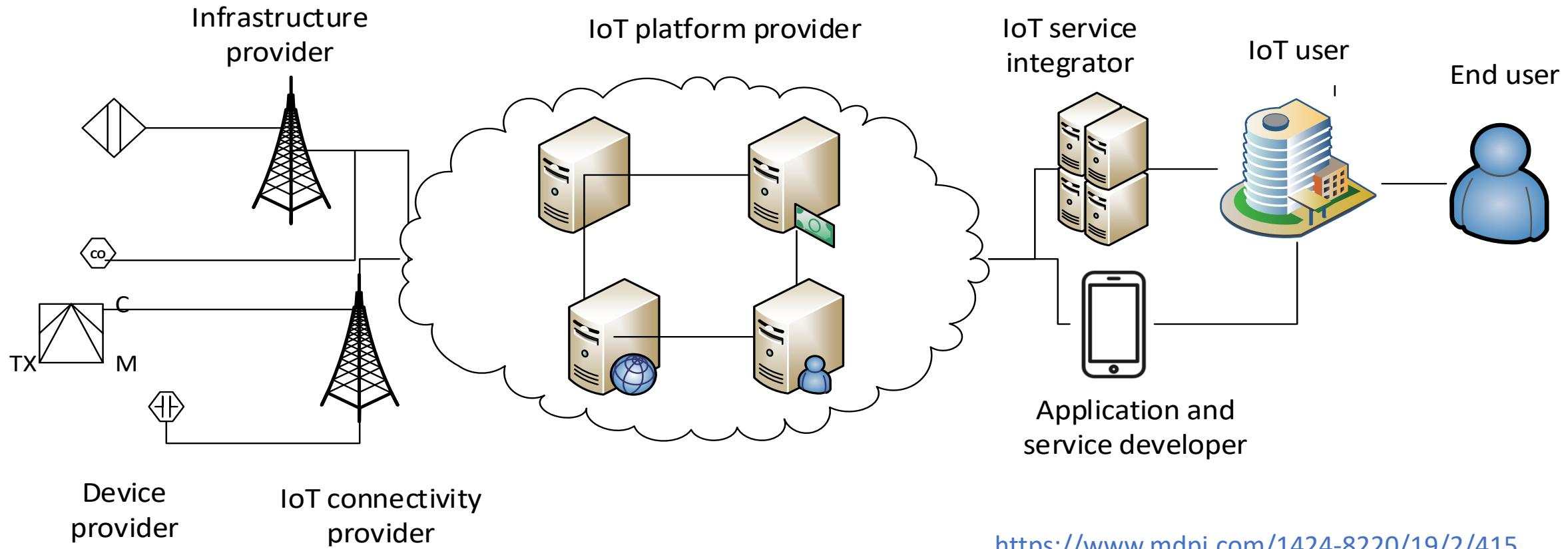
Izazovi IoT-a (2/2)

- Dinamične i prilagodljive aplikacije u skladu s kontekstom korisnika
- Fragmentacija tržišta
 - nova mobilna aplikacija za svaku umreženu stvar ili pametnu okolinu
- Integracija različitih vertikalnih rješenja u jedinstvenu IoT platformu
 - danas su na raspolaganju pretežno izolirana rješenja jednog ponuđača usluge u području IoT koji postavlja i integrira infrastrukturu u „pametnoj okolini” i nudi korisniku mobilne aplikacije za tu okolinu

Otvorena pitanja

- **Sigurnost**
 - Symantec 2018 Internet Security Threat Report (ISTR): broj napada na IoT uređaje je porastao 600 puta u 2017. u odnosu na 2016.
- **Privatnost**
 - Povećan je rizik povrede privatnosti i gubitka osobnih podataka, korisnici sve više postaju svjesni vrijednosti osobnih podataka te žele kontrolirati tko koristi njihove podatke (*podatkovni suverenitet*)
- **Skalabilnost**
 - Neće biti moguća bez interoperabilnih programskih rješenja
- **Decentralizacija**
 - Povjerenje (*trust*) postaje ključno za korisnike, trend primjene računalnih resursa „na rubu mreže“ i tehnologije blok-lanca

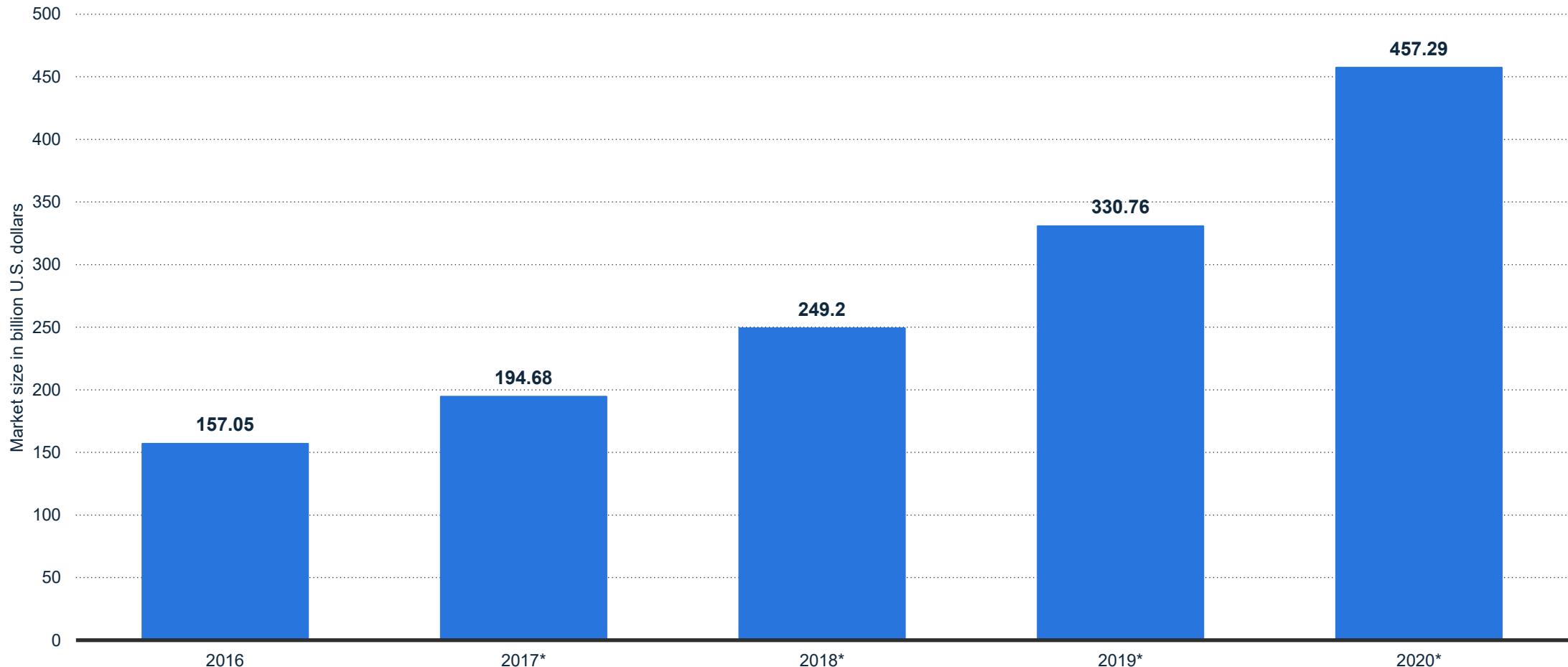
Lanac vrijednosti za IoT



Tržišni potencijal

Size of the IoT market worldwide from 2016 to 2020 (in billion U.S. dollars)

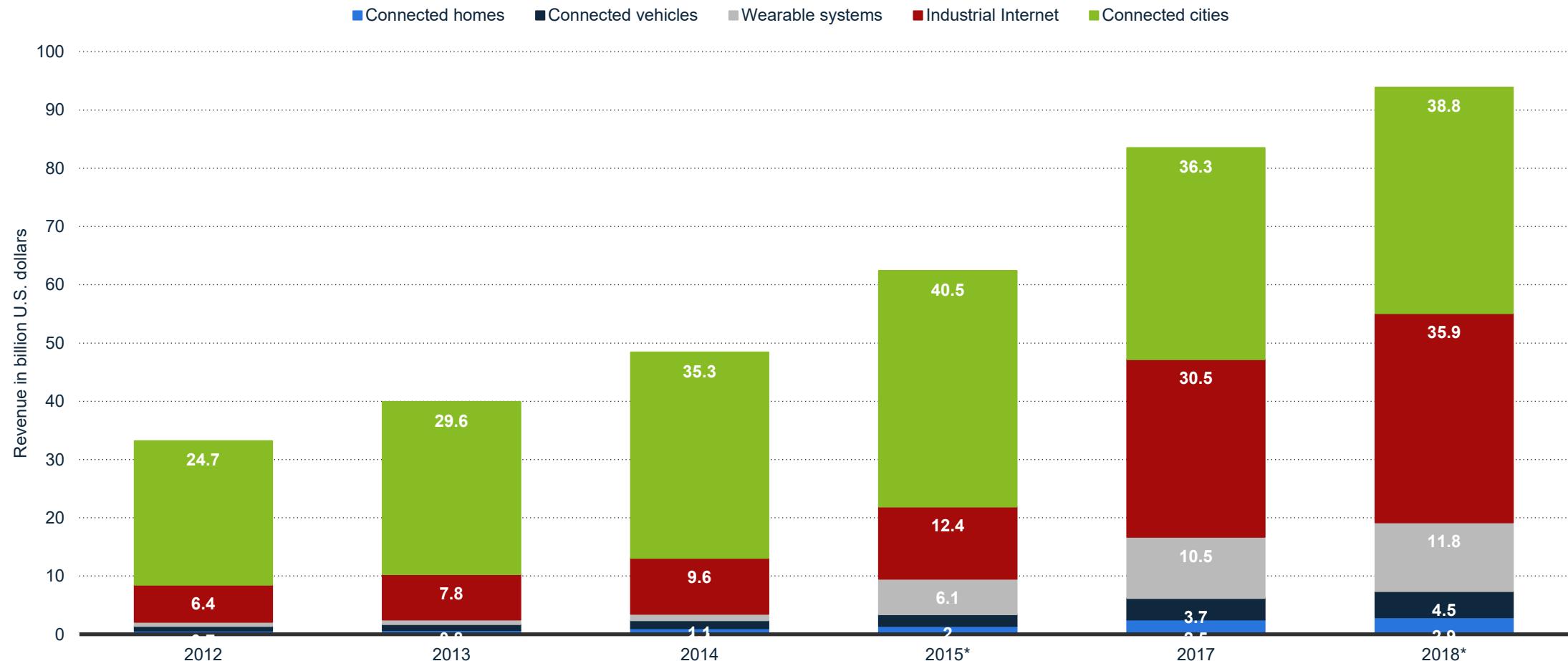
Global IoT market size 2016-2020



Izvor: Statista

Revenue of Internet of Things subsystems worldwide from 2012 to 2018 (in billion U.S. dollars)

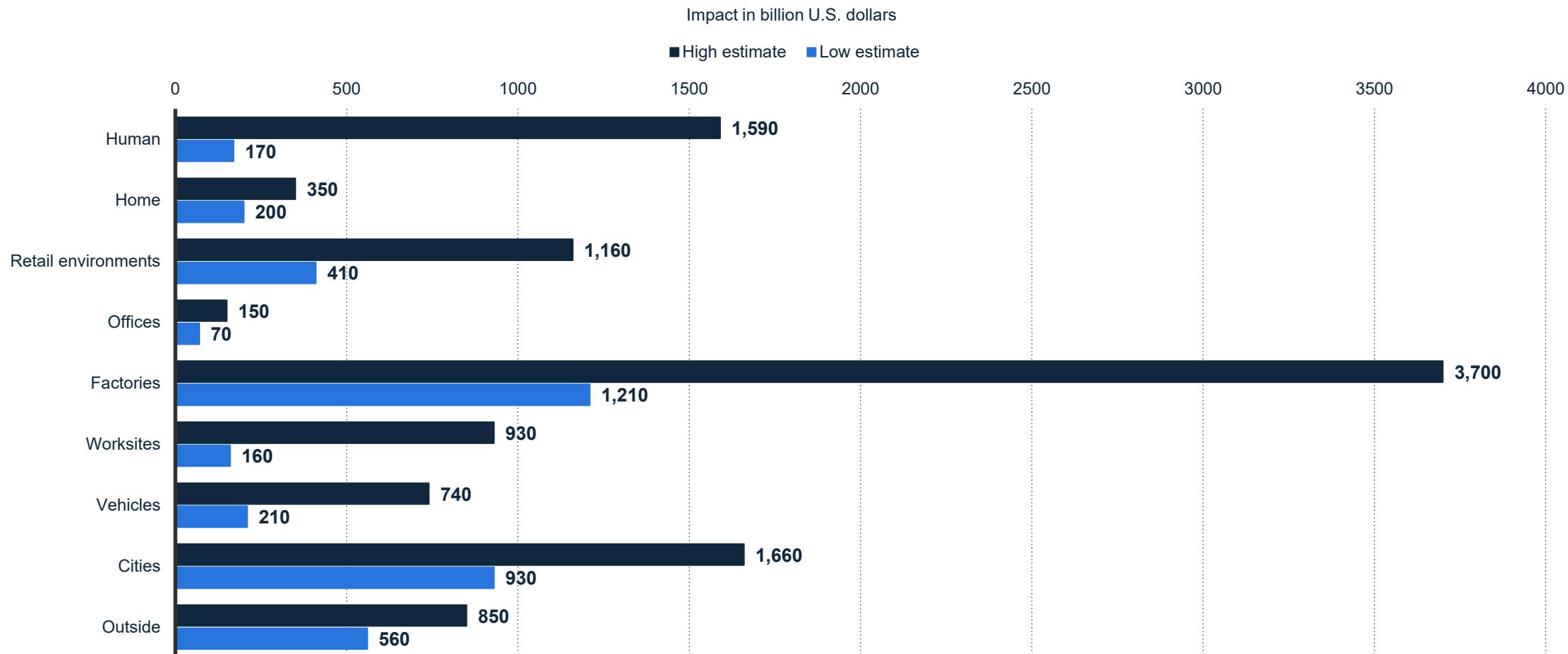
Internet of Things subsystems revenue worldwide 2012-2018



Izvor: Statista

Forecast economic impact of the Internet of Things (IoT) in 2025 (in billion U.S. dollars)

IoT economic impact forecast 2025, by sector



Izvor: Statista

Laboratorij za Internet stvari

<http://www.iot.fer.hr/>



Projekti



[IoT-polje: Ekosustav umreženih uređaja i usluga za Internet stvari s primjenom u poljoprivredi](#)

istraživački projekt financiran sredstvima ESIF

Suradne institucije: FERIT Osijek i Poljoprivredni institut Osijek

voditelj: prof. dr. sc. Ivana Podnar Žarko

(03/2020. – 02/2023.)



[Pametne usluge usmjerenе čovjeku u interoperabilnim i decentraliziranim okolinama Interneta stvari \(IoT4us\)](#)

istraživački projekt HRZZ broj 1986

voditelj: prof. dr. sc. Ivana Podnar Žarko

(2020.-2023.)



Razvoj agrometeorološke platforme i mreže IoT uređaja tvrtke Pinova d.o.o., istraživački projekt IRI II

voditelj: prof. dr. sc. Mario Kušek

(09/2020. – 08/2023.)

Novi projekt: Horizon Europe



AIoTwin
Twinning action for spreading excellence in Artificial Intelligence of Things

Trajanje: 01/2023-12/2025

No.	Participant Logo	Participant organisation name	Short Name	Country
1 (CO)	 <small>UNIVERSITY OF ZAGREB Faculty of Electrical Engineering and Computing</small>	University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing	UNIZG- FER	Croatia
2		RISE Research Institutes of Sweden AB	RISE	Sweden
3	 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN	Technische Universität Wien	TUW	Austria
4	 Technische Universität Berlin	Technische Universität Berlin	TUB	Germany





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

**Diplomski studij
Računarstvo**

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

**2. Stvari i uređaji u IoT okruženju
(fizički sloj): senzori, aktuatori, prilaz
(gateway), komunikacija M2M**

Ak. god. 2022./2023.



Sadržaj

- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

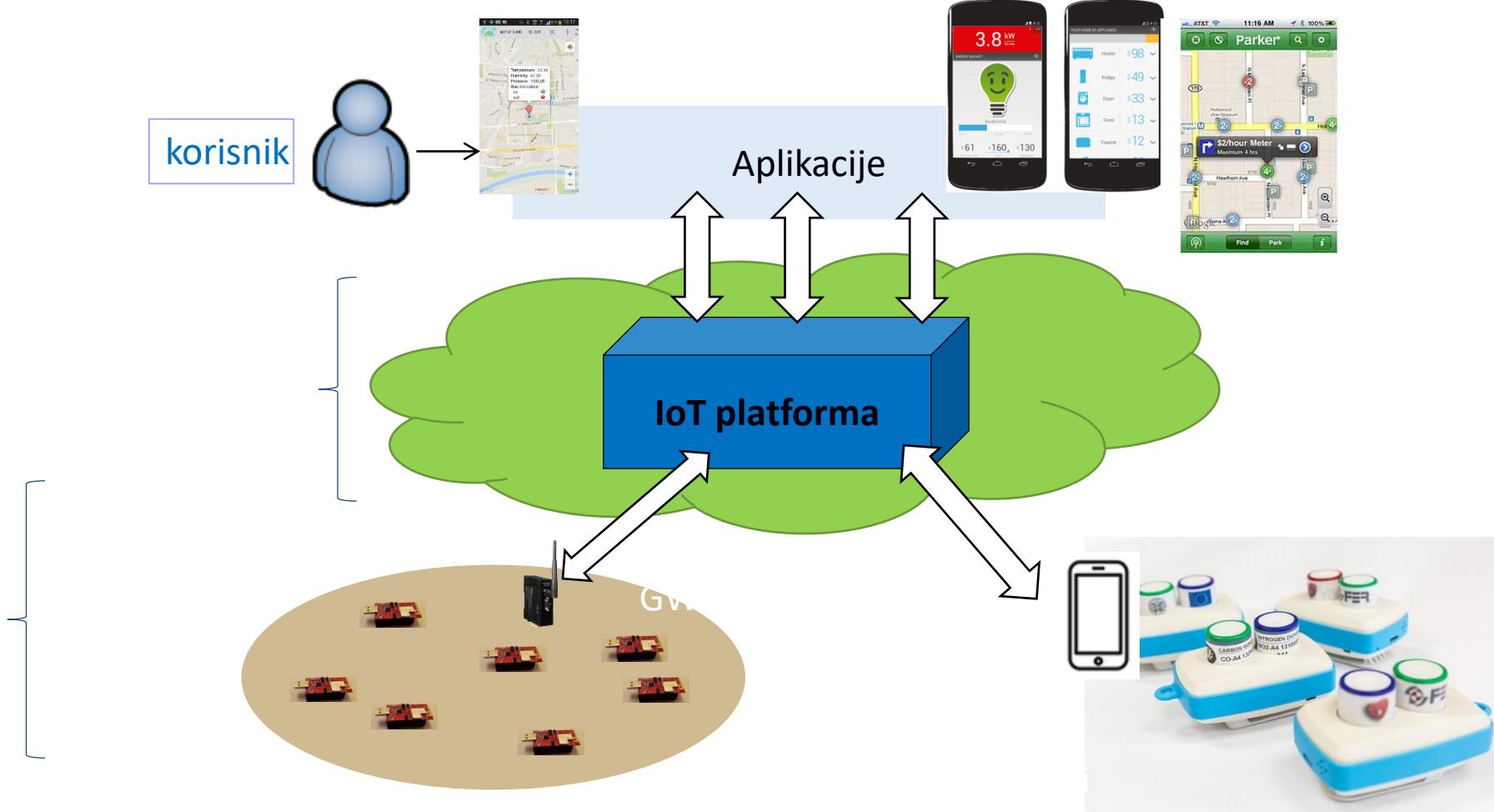
Internet stvari

Definicija*:

“A global infrastructure for the information society enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on, existing and evolving, interoperable information and communication technologies” (ITU work on Internet of things, 2015).

„Globalna mrežna infrastruktura koja povezuje fizičke i virtualne objekte iskorištavajući dohvat podataka i komunikacijske mogućnosti. Ta infrastruktura uključuje postojeći i nastajući Internet i razvoj mreža. Omogućit će specifičnu identifikaciju objekata, senzore i povezivanje kao osnovu za razvoj neovisnih kooperativnih usluga i aplikacija. Sve će biti obilježeno visokim stupnjem samostalnog prikupljanja podataka, prijenosa događaja, mrežnog povezivanja i međudjelovanja.“ (CASAGRAS, EU Framework 7 Project “Coordination And Support Action for Global RFID-related Activities and Standardisation”, 2009.)

Pojednostavljena arhitektura Interneta stvari



IoT ekosustav

- (Pametni) uređaji – „stvari”: senzori i aktuatori
- Mrežna infrastruktura temeljena na protokolu IP:
 - Nepokretne mreže (xDSL, optika)
 - Pokretne mreže (2G, 3G, 4G, 5G) – NB-IoT, LTE-M
 - Bežične mreže – WLAN, LoRa/LoRaWAN
 - Osobne mreže – Bluetooth, 6LowPAN
- (Horizontalne) platforme za ostvarivanje usluga
- Povezane tehnologije
 - Računarstvo u oblaku i magli
 - Velika količina podataka
- Standardizacija i interoperabilnost imaju ključnu ulogu!

Sadržaj

- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

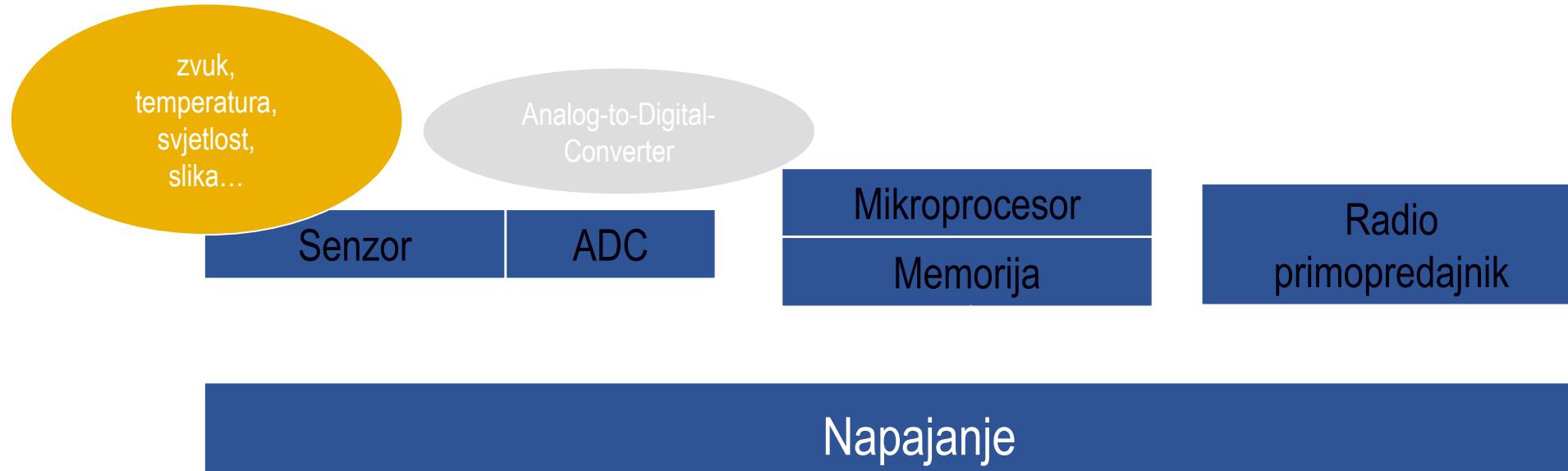
IoT-uređaj (senzorski čvor)

remote sensor, mote, smart dust

- uređaj za opažanje fenomena iz okoline, malih je dimenzija, troši мало energije (baterija), te posjeduje ograničene resurse
- primjena: mjeri atmosferske promjene, temperaturu, tlak, svjetlost, vibracije, ubrzanje, opaža zvuk/sliku (mikrofon, kamera)
- podatke šalje bežično do sljedećeg senzora ili do usmjeritelja (engl. gateway, GW) koji je povezan na Internet, nastaje bežična senzorska mreža (engl. Wireless Sensor Network, WSN)



Komponente IoT-uređaja



- sastoji se od komponenti za opažanje i mjerjenje fenomena iz okoline, procesora i memorije te komponente za komunikaciju
- ograničeno komunikacijsko područje pokrivanja zbog ograničenog napajanja

Aktuatori

actuator

- uređaj koji djeluje na okolinu, izvodi određenu akciju u okolini
- u kombinaciji sa senzorima na temelju očitanja iz okoline djeluju na okolinu

stvar – (pametni) uređaj – IoT-uređaj

- procesorska jedinica
- senzor i/ili aktuator
- komunikacijska jedinica
- napajanje

Obilježja hardvera

Zahtjevi

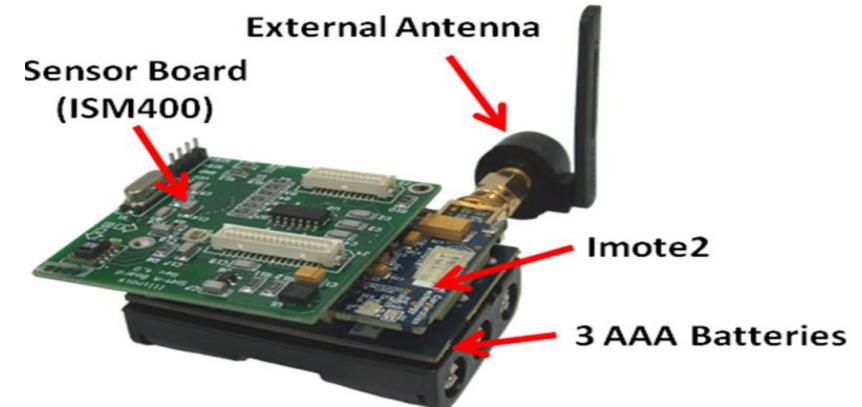
- izrazito male dimenzije
- mala potrošnja energije
- niska cijena
- umrežavanje na načelu samoorganizacije
 - najčešća uporaba u područjima bez postojeće mrežne infrastrukture
 - omogućiti umrežavanju uz slučajan raspored senzora na nekom zemljopisnom području
 - umrežavanje “pokretnih senzora”
 - veliki broj veza

IoT-uređaj ima izrazito ograničene resurse

- napajanje: **baterija** (najčešće), solarne čelije, vibracija, itd.
- **mikroprocesor**: samo osnovna procesorska svojstva radi niske potrošnje energije, ograničenih dimenzija i niske cijene
- **memorija**: ograničena, može pohraniti samo mali dio detektiranih podataka
- područje pokrivanja **radio predajnika**: relativno malo, troši najviše energije (snaga signala opada s kvadratom udaljenosti)

Primjeri IoT-uređaja

- Pioniri: Mica2 (Crossbow), IntelMote2 ili iMote2 (Intel, Crossbow)



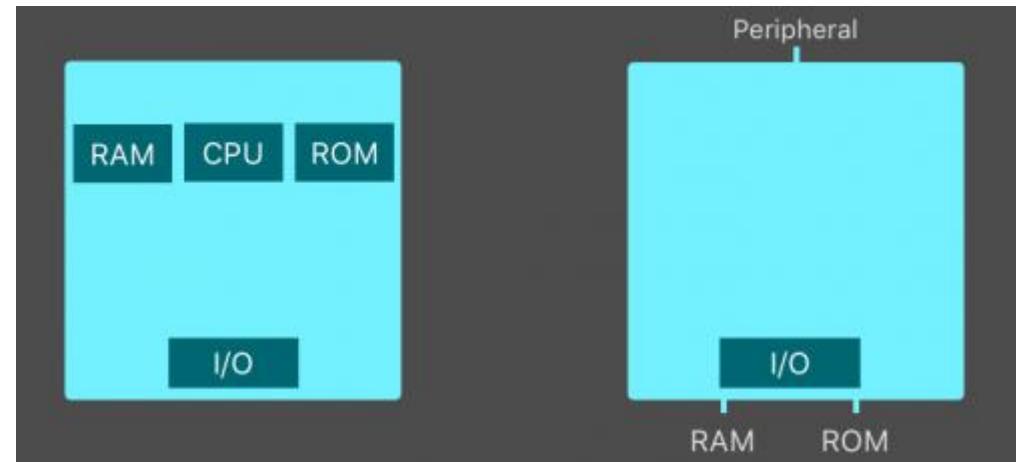
- WaspMote (Libelium):
Waspmote is Libelium's advanced mote for Wireless Sensor Networks.

<http://www.libelium.com/development/waspmote/documentation/waspmote-datasheet/>



Mikroprocesori i mikrokontroleri

- Mikrokontroler – na jednom čipu su integrirani:
 - Radna memorija (RAM)
 - Memorija iz koje se podaci samo čitaju (ROM)
 - Interna sabirnica za komunikaciju s drugim entitetima



Podjela mikrokontrolera

- Po bitovima
 - 8, 16, 32, 64
- Po arhitekturi - modeli
 - Von Neumann
 - Harvard
- Arhitektura
 - ARM
 - MIPS
 - x86

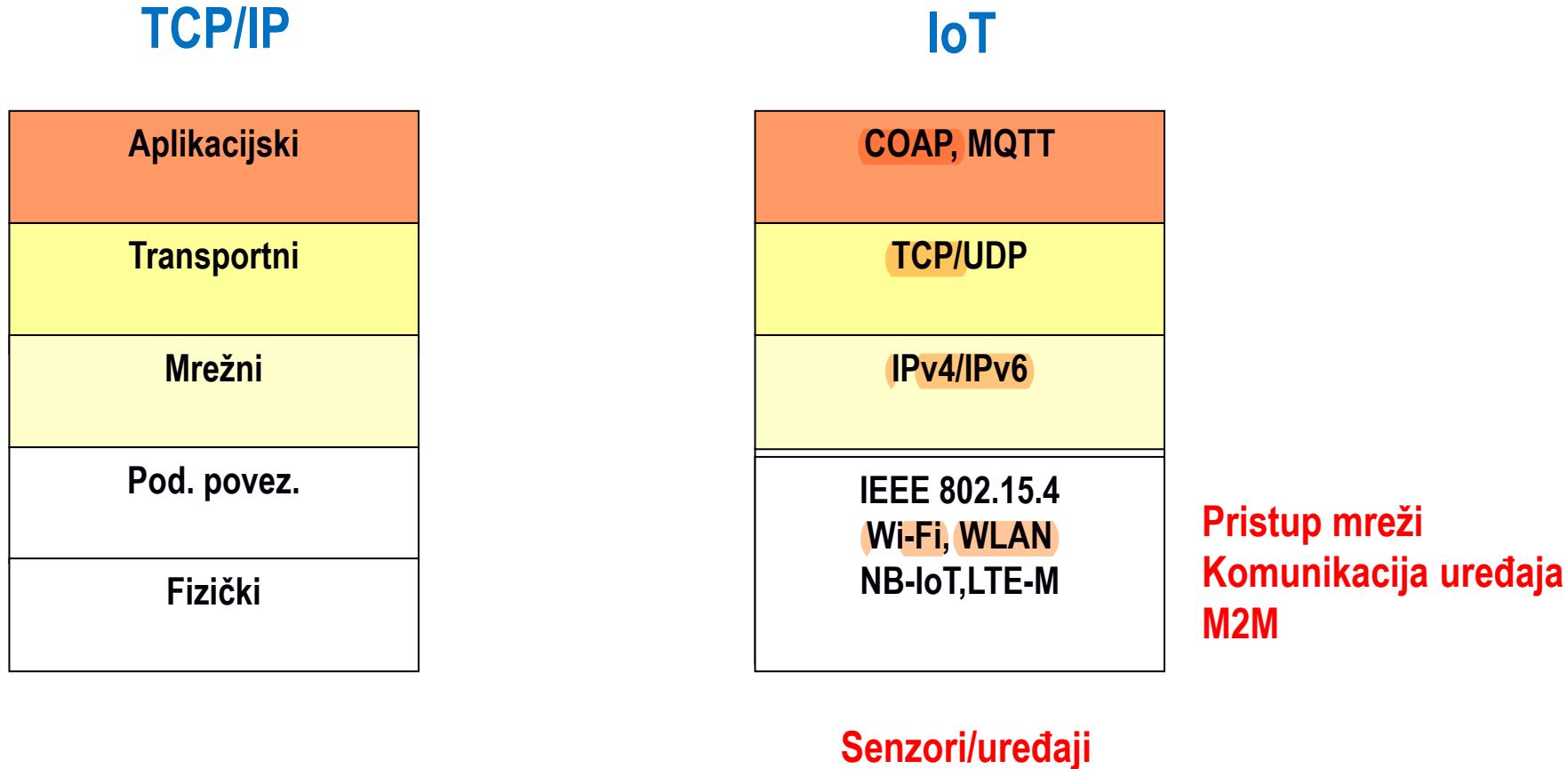
Bitna svojstva mikrokontrolera

- Procesorska snaga
- Memorija
- Potrošnja energije
- Brzo buđenje
- Komunikacijski moduli
- Sigurnost, enkripcija

Sadržaj

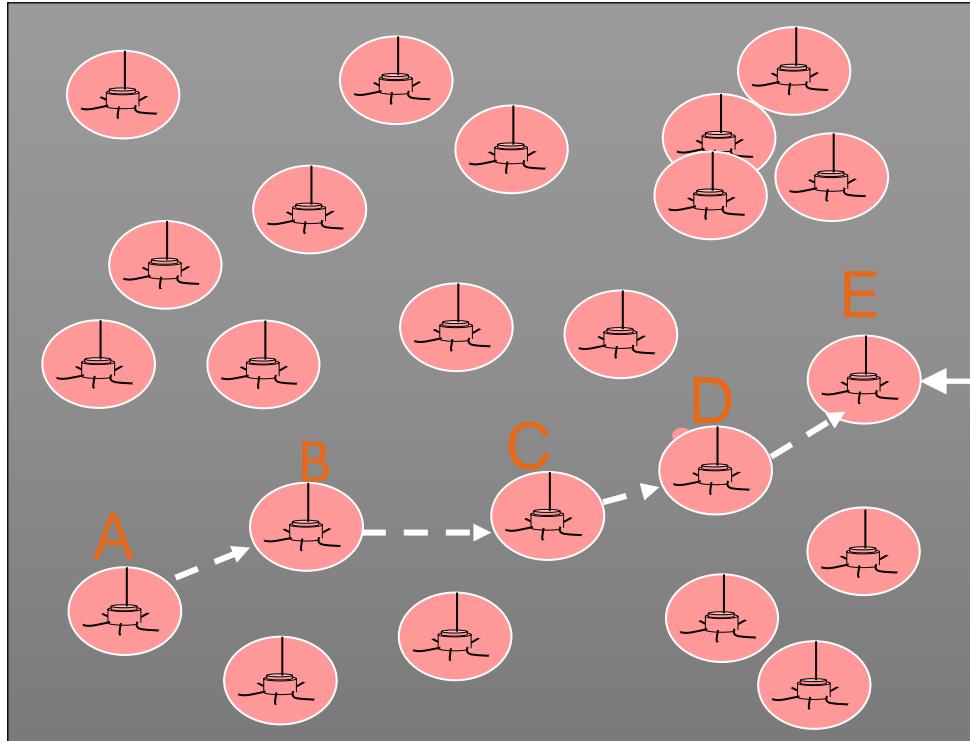
- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

Protokolni složaj IoT

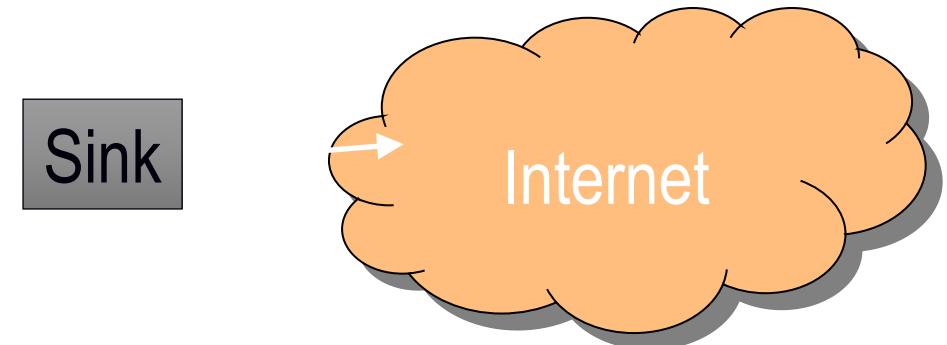


Bežična mreža senzora (WSN)

“preteča” današnjih rješenja za IoT



Mrežu senzora čini skup senzora na nekom zemljopisnom području koji međusobno surađuju.



Senzori detektirane podatke šalju do posebnog čvora (*sink*) – može imati vezu na Internet

Razlike u odnosu na ad hoc mreže

- broj senzora u mreži je znatno veći nego broj čvorova u adhoc mreži
- senzori se postavljaju gusto zbog komunikacijskih ograničenja
- senzori su skloni ispadima, česta izmjena baterija
- topologija mreže senzora je stabilnija
- senzori često nemaju globalni identifikator
- vrlo ograničeni resursi

Različite vrste mreža senzora

- Kopnena mreža senzora
 - 100 do 1000 jeftinih senzora raspoređenih slučajno ili planski na ograničenom zemljopisnom području
- Podzemna mreža senzora
 - nešto skuplji senzori se ugrađuju u zemlju, stijene, glečere, itd.
 - planski raspored senzora, sink je na površini
- Podvodna mreža senzora
 - vrlo skupi senzori, prenose ih često podvodna vozila, ograničena bežična komunikacija pod vodom
- Višemedijska mreža senzora
 - senzori s kamerama i mikrofonima, raspoređuju se planski
- Pokretna mreža senzora
 - senzori na pokretnim telefonima, robotima, vozilima, u interakciji su sa statičkim senzorima u okolini

Izazovi

- Raspored senzora na zemljopisnom području
 - planski ili slučajan (ovisi o primjeni)
 - utječe na potrošnju energije koja je ključna za neke aplikacije
 - često je nemoguće sve senzore postaviti u blizinu čvora sink
- Strategije slanja podataka sa senzora prema sinku (ovisi o primjeni!)
 - kontinuirana periodička isporuka
 - slanje na temelju opaženog značajnog događaja
 - slanje odgovora na eksplicitni upit
- Senzori mogu generirati redundantne podatke
 - “čišćenje” i agregacija podataka u samoj mreži tijekom prijenosa (eliminacija duplikata, min, max, average...)

M2M

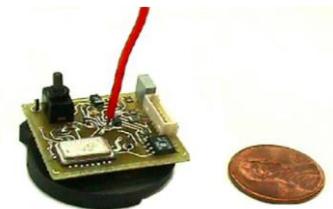
Machine-to-Machine, M2M

Machine Type Communication, MTC

- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
 - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
 - jednostavni i/ili pametni (engl. *smart*) uređaji
 - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

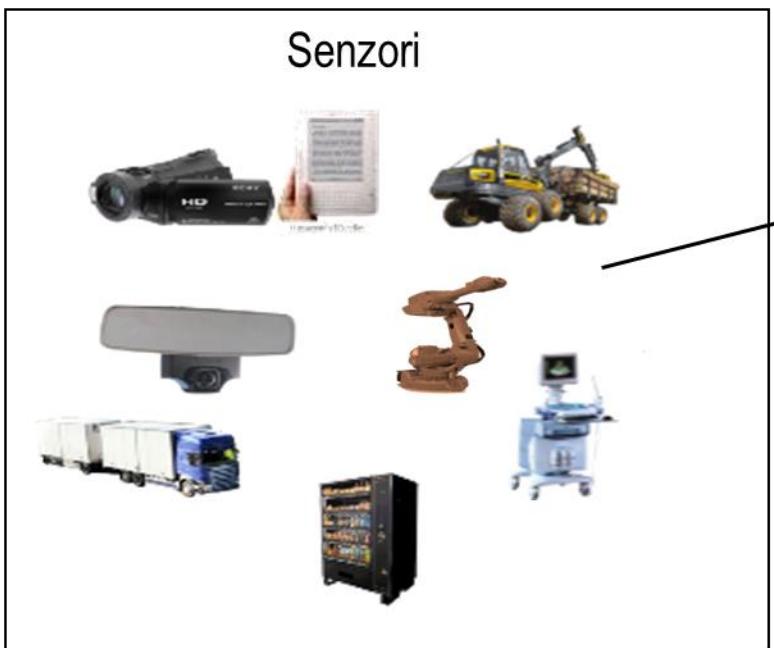
Machine-to-Machine

- Machine-to-Machine
 - senzori (mjerjenje protoka vode, temperature,...), pametna osjetila
 - aktuatori, ugrađeni procesori,...
- Machine-to-Machine
 - mreža koja omogućava komunikaciju krajnjih uređaja
 - pristupna mreža (bežična, pokretna, žična)
 - jezgrena mreža
 - pristupni uređaj (engl. *gateway*)
- Machine-to-Machine
 - računalni sustav koji upravlja drugim uređajima
 - računala i pokretni uređaji koji prikazuju informacije

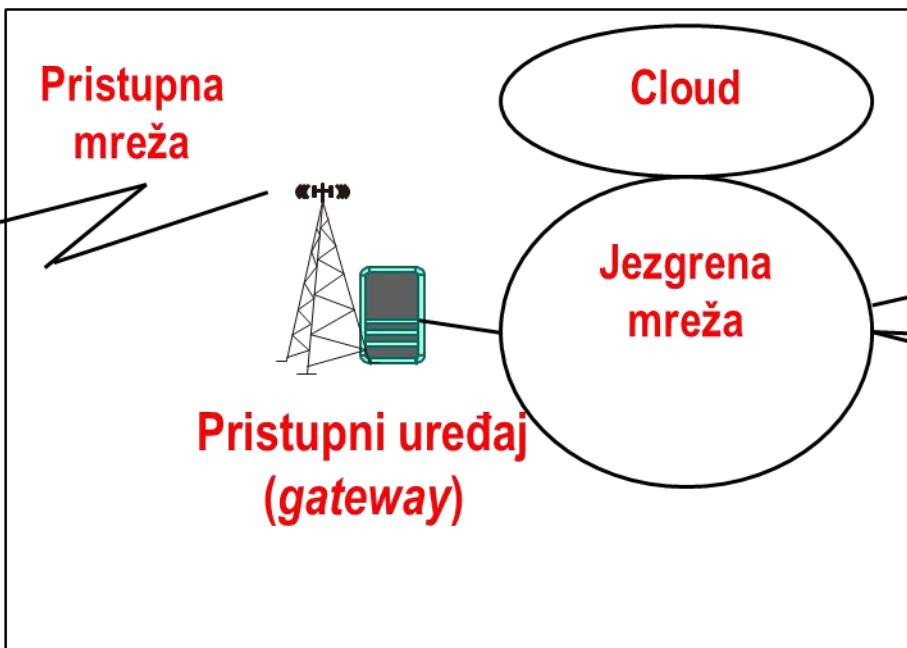


M2M

Bežična, pokretna, žična



Bežična, pokretna, žična



Uslužna domena
Aplikacija



Uredaji

Mreža senzora

M

Mreža

2

Uredaji

M

Uređaji

- IoT-uređaji

- spajaju senzore i aktuatore
- Mogu biti povezani na
 - bežičnu mrežu
 - kapilarna mreža/kratki domet – NFC, RFID (cm)
 - BlueTooth Low Energy (BLE) – IEEE 802.15.1, 6LoWPAN, LR-WPAN (XBee, ZigBee) - IEEE 802.15.4 (m)
 - WLAN, WiFi - IEEE 802.11, (m)
 - WiMAX – IEE 802.16, LoRaWAN, Sigfox (km)
 - pokretnu mrežu (km)
 - 2G/3G (EC-GSM-IoT)
 - 4G/5G (LTE-M, NB-IoT)
 - žičnu mrežu
 - fiksna mreža, xDSL, parica, optika (FTTH)

Mreža

- Jezgrena mreža
 - veza s korisnikom
 - internetska mreža
 - uslužne aplikacije
- Pristupni uređaj (engl. M2M gateway)
 - povezuje pristupnu i jezgrenu mrežu
 - NAT, sigurnost
 - (de)fragmentacija IP-paketa,...

NFC i RFID

- Near Field Communication

- 13.56 MHz
- 106-424 kbit/s
- domet do 10 cm
- koristi elektromagnetsku indukciju za komunikaciju
- aktivni i pasivni uređaji

- Radio-Frequency Identification

- radijski predajnik i prijamnik (tag)
- aktivni (imaju bateriju) i pasivni uređaji (indukcija)

Sadržaj predavanja

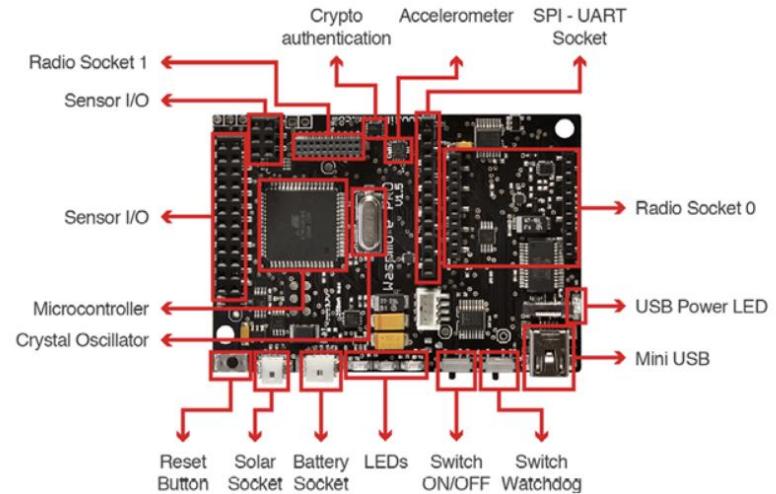
- Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT)
- Sloj uređaja
- Sloj podatkovne poveznice: M2M-komunikacija
- Primjeri uređaja/prilaza za IoT

IoTLab@FER

- Wasp mote
- ESP32
- Pycom
- Raspberry Pi
- Strato Pi

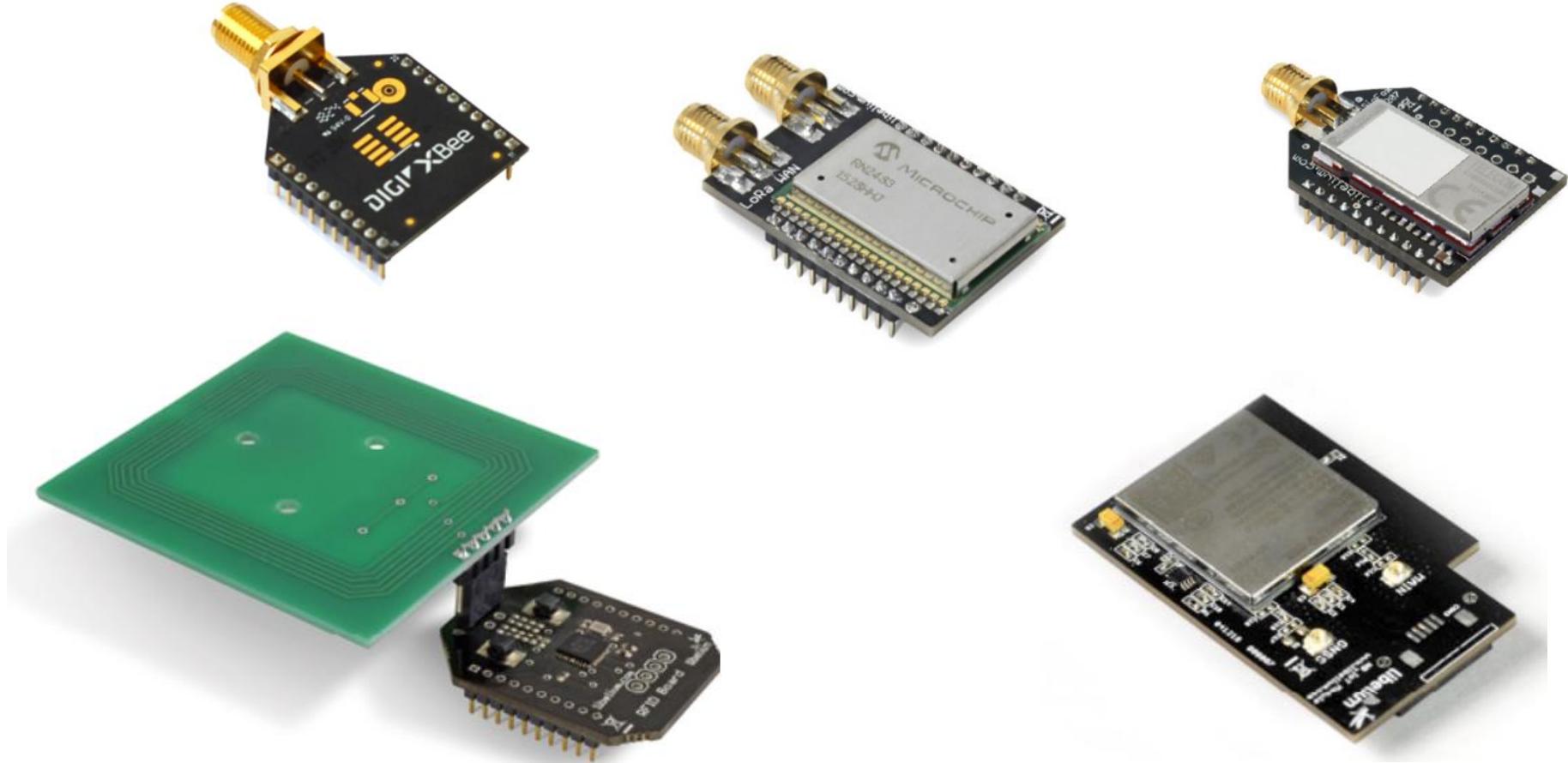
Libelium WaspMote

- Mikrokontroler ATmega1281
- Frekvencija: 14MHz
- SRAM (statička radna memorija): 8KB
- EEPROM (obrisiva programabilna stalna memorija): 4KB
- FLASH (stalna memorija – brisanje u blokovima): 128KB
- SD kartica: 2GB



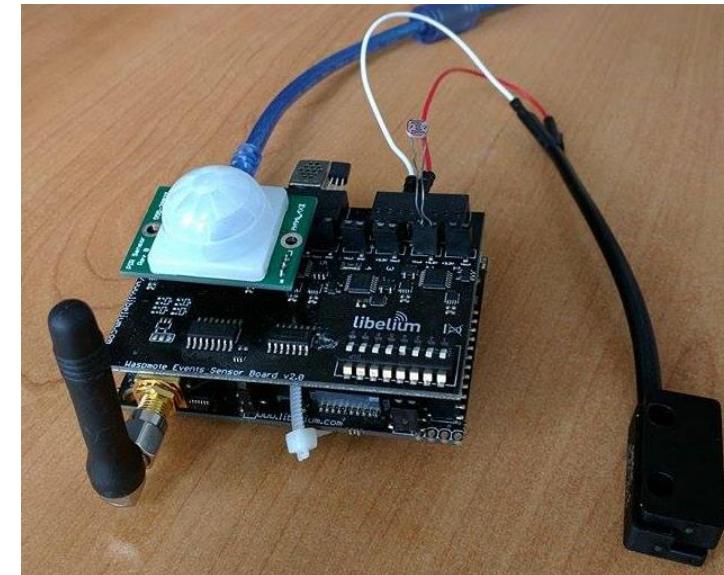
Komunikacijski moduli

- XBee
- Bluetooth
- WiFi
- NB-IoT
- LoRaWAN
- Sigfox
- RFID/NFC



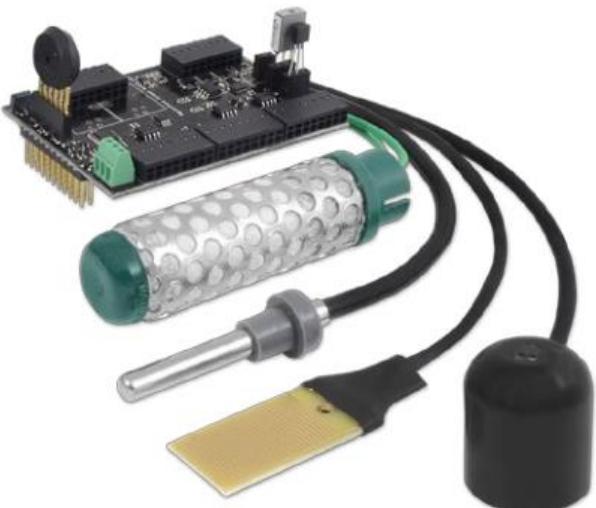
Senzorske pločice (engl. *sensor board*)

- Događaji (engl. *events*)
 - Senzor za pristutstvo
 - Temperatura
 - Protok vode
 - Magnetski senzori za vrata i prozore
- Pametni gradovi (engl. *smart cities*)
 - Kvaliteta zraka (plinovi, prašina)
 - Glasnoća
 - Detekcija pukotina u zgradama



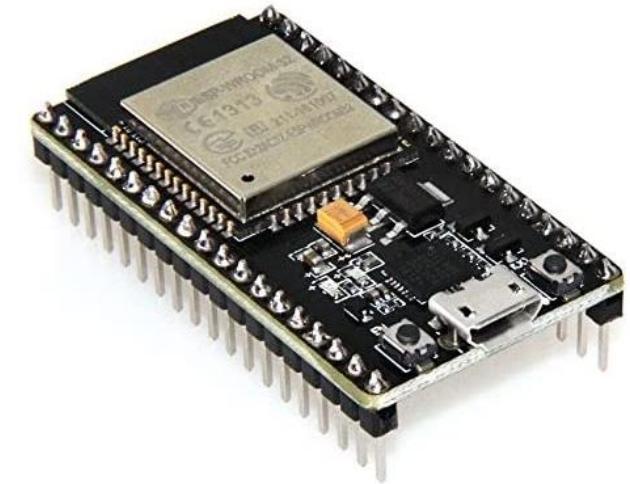
Senzorske pločice (2)

- Poljoprivreda (engl. *agriculture*)
 - Vlažnost listova
 - Promjer plodova
 - Vlažnost tla
- Video kamera
 - Snimanje videa
 - Snimanje fotografija
 - Video-poziv



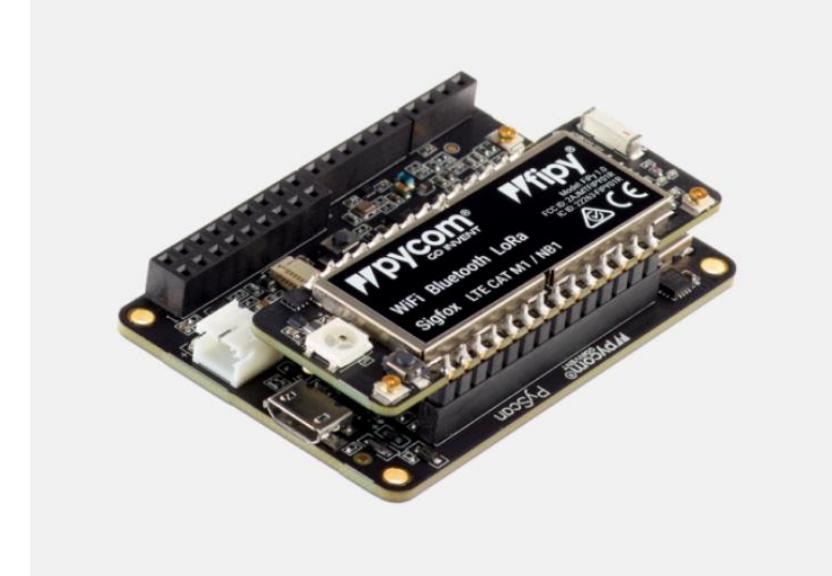
ESP32

- CPU: Xtensa dual-core 32-bitni LX6 mikroprocesor
 - RAM: 520 KB na mikroprocesoru + 16KB na RTC-u
 - ROM: 448 KB
 - vanjska memorija (flash): 4MB
-
- Sučelja: UART (*universal asynchronous receiver-transmitter*), SPI (*serial peripheral interface*), I2C (*inter-integrated circuit*), SD kartica
 - Komunikacijski moduli: WiFi, Bluetooth



pycom fipy

- Espressif ESP32 SoC
- CPU: Xtensa dual-core 32-bitni LX6 mikroprocesor
- RAM: 520 KB na mikroprocesoru + 16KB na RTC-u + 4MB eksterno
- vanjska memorija (flash): 8MB

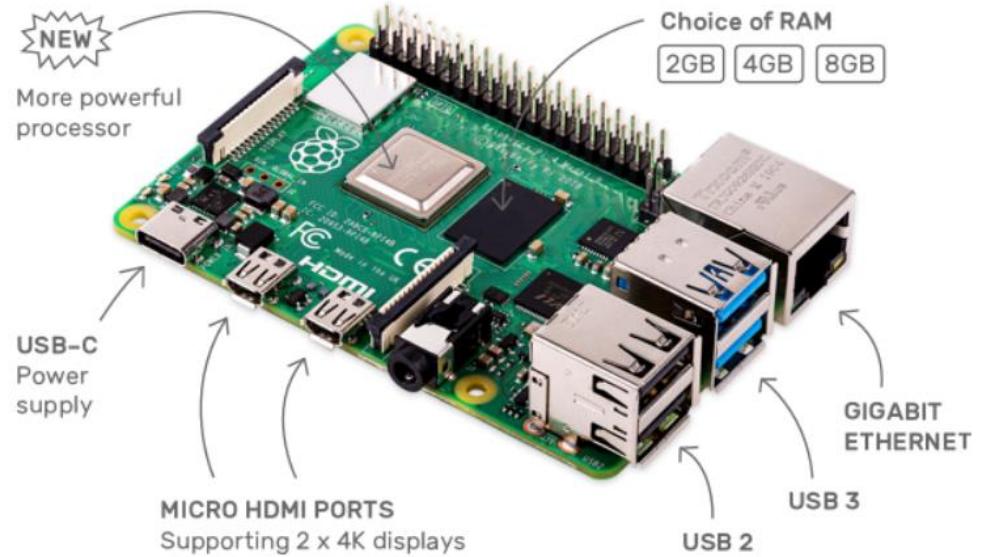


pycom fipy – komunikacijski moduli i senzori

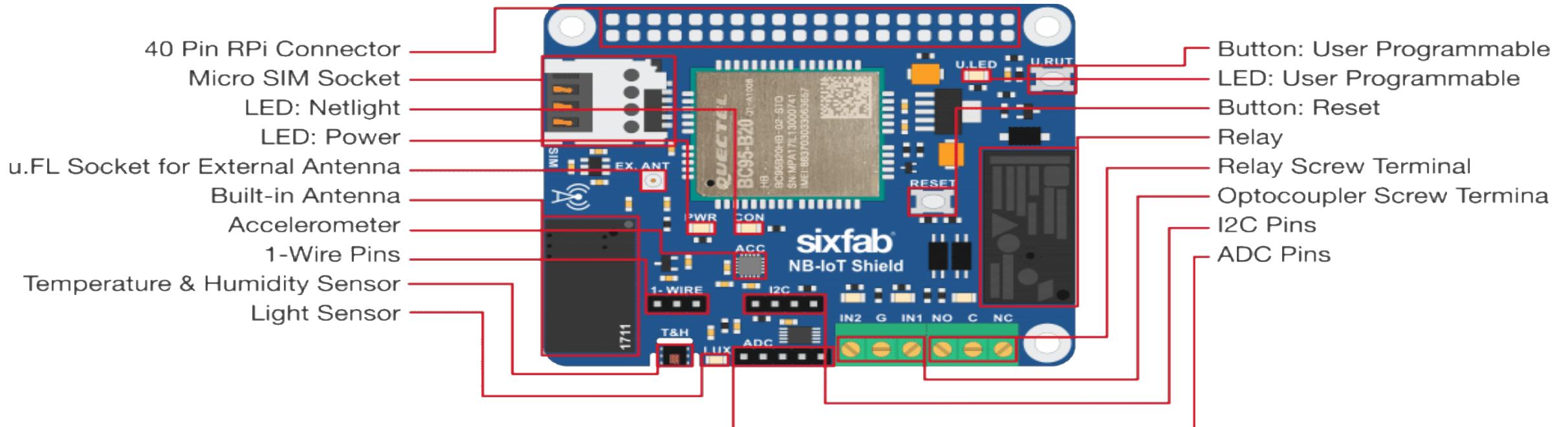
- LoRa
- Sigfox
- NB-IoT
- WiFi
- Bluetooth
- 22GPIO pina, sučelja: UART (*universal asynchronous receiver-transmitter*), SPI (*serial peripheral interface*), I2C (*inter-integrated circuit*), SD kartica

Raspberry Pi

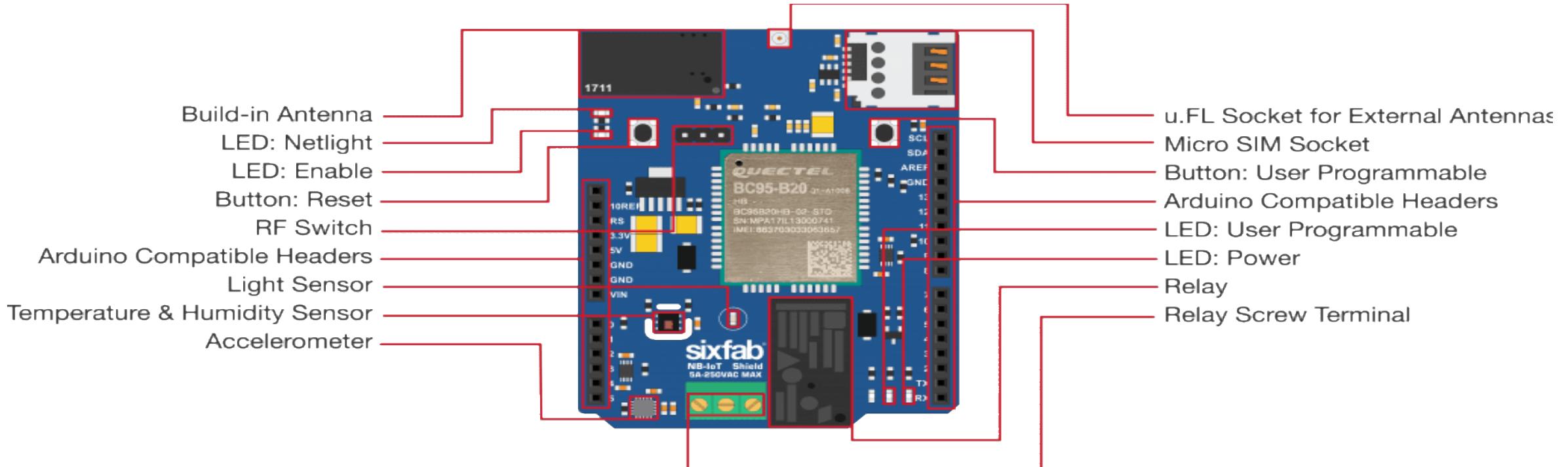
- CPU: Broadcom, quad-core 64-bitni ARM A72
- Frekvencija: 1.5 GHz
- RAM: 2/4/8 GB



Sixfab Raspberry Pi NB-IOT



Sixfab Arduino NB-IOT



Strato Pi

- Raspberry Pi za profesionalno i industrijsko okružje
- Stabilnije napajanje
- integrirano neprekidno napajanje (engl. *uninterruptible power supply*, UPS)
- Sadrži RTC (RPi ga nema)
- Podrška za serijsku komunikaciju (protokol RS-485) i komunikaciju preko sabirnice CAN (engl. *Controller Area Network*)



Literatura

1. C. Aggarwal, N. Ashish, and A. Sheth. [The Internet of Things: A Survey from The Data-Centric Perspective](#), Book Chapter in "Managing and Mining Sensor Data", Springer, 2013.
2. Charith Perera, Chi Harold Liu, Srimal Jayawardena. "[The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey](#)", IEEE Transactions On Emerging Topics In Computing 01/2015;
3. Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal, "[Wireless sensor network survey](#)," *Computer Networks*, Vol. 52, No. 12, pp. 2292-2330, August 2008.
4. Feng Wang; Jiangchuan Liu; , "[Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches](#)," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.13, no.4, pp.673-687, Fourth Quarter 2011

Literatura

- J. Brown: "Machine-2-Machine, Internet of Things, Real World Internet", 2011.
- D. Boswarthick, O. Elloumi, O. Hersistent: "M2M Communications: A Systems Approach", Wiley, 2012.
- "M2M: Growth Opportunities for MNOs in developed Markets (Sample Pages)", Mobile Market Development Ltd., 2010.
- V. Galetić, I. Bojić, M. Kušek, G. Ježić, S. Dešić, D. Huljenić: "Basic principles of Machine-to-Machine communications and its impact on telecommunication industry" *MIPRO 2011*, pp. 380-385, 2011.
- "Machine to Machine Communications", <http://www.etsi.org/website/technologies/m2m.aspx>
- "M2M goes global: OneM2M", [http://open.actility.com/ node/104](http://open.actility.com/node/104), 2012.
- ETSI Technical Report 102 691: "Smart Metering Use Cases", v1.1.1, 2010.
- [oneM2M Use cases collection, Technical Report, 2013.
- "Machine to Machine Communications", <http://www.etsi.org/website/technologies/m2m.aspx>
- Katušić, D.; Ježić, G.; Marčev, A.; Vulas, R., Machine-to-Machine: Emerging Market and Consequences on Existing Regulatory Framework, Proceedings The 3rd Workshop on Electronic Communications Regulatory Challenges in the Electronic Communications Market, ConTEL 2013, 317-324, 2013.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Internet stvari

Diplomski studij Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

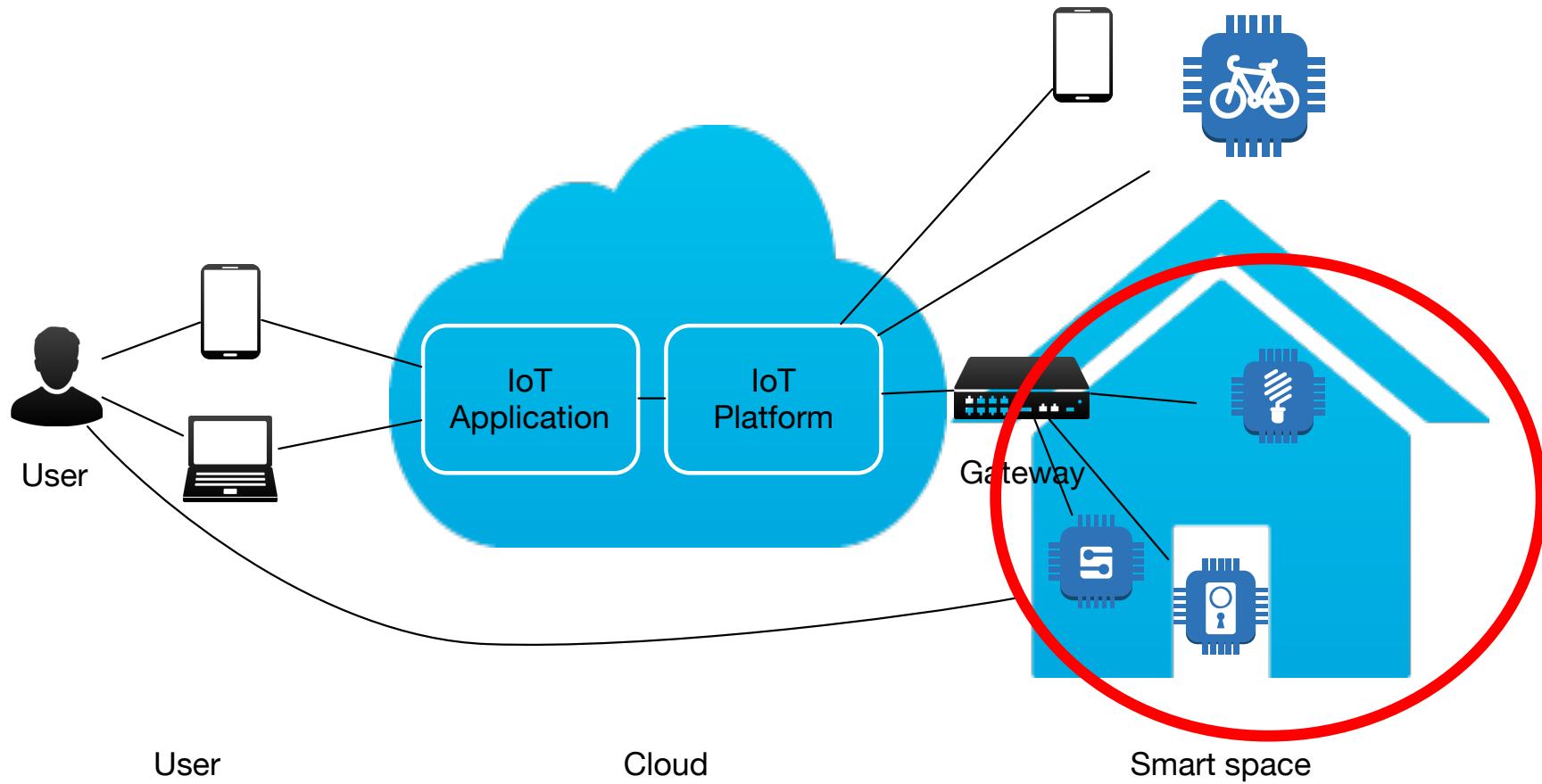
3. Komunikacijski protokoli za
komunikaciju uređaja (sloj podatkovne
poveznice): IEEE 802.15.4, 802.11ah,
ZigBee, Z-Wave.

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Bitna svojstva fizičkog sloja i podatkovne poveznice u IoT-u
- Standardi
- IEEE 802.15.4
- ZigBee
- Z-Wave
- IEEE 802.11ah

Arhitektura

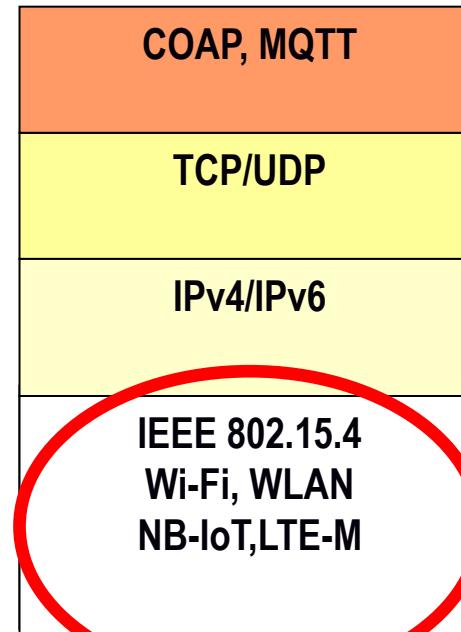


Protokolni složaj IoT-a

TCP/IP



IoT



Pristup mreži
Komunikacija uređaja
M2M

Senzori/uređaji

Komunikacija uređaja

- **Zahtjevi**

- što veći domet
- dugoročnost baterije (mala potrošnja, *sleep mode*)
- niska cijena uređaja
- jednostavno uvođenje u sustav
- podrška za masovnu primjenu
- malo komunikacijsko kašnjenje

Domet

- Kratki
 - IEEE 802.15.1 Bluetooth
 - na tijelu (BAN – body area network)
 - certificirano da se može koristi u dodiru s tijelom
 - IEEE 802.15.7 Visible Light Communications (VLC) – FSO (free space optics)
 - nije zaživio u praksi
- Srednji
 - bežično: IEEE 802.11 Wi-Fi, IEEE 802.15.4, 802.15.4g/e, ZigBee, IEEE 802.11ah (na granici prema dugim), Z-wave, ...
 - žično: IEEE 802.3 Ethernet, IEEE 1901.2 Narrowband Power Line Communications (PLC)
- Dugi
 - pokretna mreža: 2G – 5G (NB-IoT)
 - LPWA (Low-Power Wide-Area): LoRaWAN, Sigfox
 - žično: IEEE 802.3xx optika (*fiber*), broadband (xDSL), IEEE 1901-2010 - Broadband over PLC

Frekvencijski spektar (1)

- Nelicencirani spektar (ISM – industrijski, znanstveni i medicinski):
 - 2.4 GHz koriste ga:
 - IEEE 802.11b/g/n Wi-Fi
 - IEEE 802.15.1 Bluetooth
 - IEEE 802.15.4 WPAN
 - Prednosti:
 - lakše postavljanje (ne trebaju licence)
 - veći kapacitet (brzina prijenosa)
 - Nedostaci:
 - interferencija (puno uređaja na tim frekvencijama)
 - zatvoreni prostor (zidovi, željezo, ...) smanjuje domet
 - veća potrošnja

Frekvencijski spektar (2)

- Uobičajene frekvencije ispod 1GHz za primjenu u IoT-u:
 - 169 MHz – za brojila (struja, voda, plin, ...)
 - obično je potrebna dozvola
 - 433 MHz, 868 MHz (EU), 915 MHz (SAD)
 - obično se može koristiti za različite primjene: IEEE 802.15.4, IEEE 802.11ah, LoRaWAN, Sigfox, ...
 - 779–787 MHz samo u Kini
 - za IEEE 802.15.4g i LoRaWAN
- Prednosti:
 - veći domet
 - manja potrošnja energije
 - prolazi kroz zidove
- Nedostaci:
 - manji kapacitet
 - za neke je potrebna dozvola

Potrošnja energije

- Zahtjevi različiti za različite uređaje napajane baterijama:
 - 10-15 godina za brojila (voda i plin)
 - 5-7 godina za senzori pametnog parkinga
 - 2-3 godine za uređaje koji se mogu redovito održavati (npr. ENC)
- Kako to postići?
 - isključuju se pojedini dijelovi uređaja za vrijeme rada
 - uređaji „spavaju“ (ne troše energiju ili troše vrlo malo)
 - bežične komunikacije koje troše puno manje energije
 - optimizirane komponente koje troše malo energije
- Kada nisu napajane baterijama isto to je problem potrošnje
 - npr. za Zagreb - brojila 5-10W potrošnje, 300.000 kućanstava (voda, struja, plin) ~ 700.000 brojila → 3,5 MW potrošnje

Potrošnja energije – klasifikacija (1)

- RFC7228 <https://tools.ietf.org/html/rfc7228>
- Klase energetskog ograničenja

Ime	Vrsta ograničenja	Izvor energije
E0	Ograničenje događajem	Skupljanje energije iz događaja (npr. micanje)
E1	Ograničenje vremenskim periodom	Periodička zamjena ili punjenje (solarno)
E2	Ograničenje životnim vijekom	Nema zamjenjivih baterija (npr. ENC)
E3	Bez ograničenja	Priklučeno na napajanje

Potrošnja energije – klasifikacija (2)

- RFC7228 <https://tools.ietf.org/html/rfc7228>
- **Strategije korištenja energije za komunikaciju**

Ime	Strategija	Mogućnost komunikacije
P0	Normalno je isključeno	Ponovno spajanje po potrebi. Glavna optimizacija je smanjiti energiju ponovnog spajanja.
P1	Niska potrošnja	Periodičko isključivanje. Povremeno uključivanje u mrežu (periodički). Potrebno podešavanje perioda.
P9	Uvijek uključeno	Cijelo vrijeme može komunicirati. Optimizacija sklopolja (smanjenje frekvencije ili isključivanja pojedinih dijelova)

Topologija

- različite tehnologije mogu imati različite topologije
- osnovna podjela topologija:
 - zvijezda
 - svaki sa svakim (*peer-to-peer*)
 - stablo
 - mješovita (*mesh*)
- primjeri:
 - WiFi – zvijezda oko AP-a (*access point*)
 - IEEE 802.15.4, IEEE 1901.2a PLC – mješovito
 - neki čvorovi moraju primati tuđe poruke i slati ih dalje (*relay*)

IEEE 802.15.4

- Standard koji specificira bežične tehnologije prijenosa podataka za uređaje i mreže ograničenih mogućnosti s fokusom na nisku potrošnju energije
 - low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs)
 - PHY & Medium Access Control (MAC)
- Frekvencijski pojas
 - 868.0-868.6 MHz (EU), 902-928 MHz (SAD), 2.4-2.485 GHz (svijet)
- Max brzina prijenosa: 250 kb/s
- Max snaga: ~1mW-100mW
- Okvir: 127 okteta

IEEE 802.15.4 - standardi

- Prvi standard 2003. (IEEE 802.15.4-2003), 2006., 2011., 2015.
 - Frekvencije i brzine:
 - 2,4GHz, 16 kanala, 250kb/s – cijeli svijet
 - 915MHz, 10 kanala, 40kb/s – Sjeverna i Južna Amerika
 - 868 MHz, 1 kanal, 20kb/s – Europa, Bliski istok, Afrika
- Ostali standardi:
 - IEEE 802.15.4c-2009 – frekvencije za Kinu (314-316 MHz, 430-434 MHz, 779-787 MHz)
 - IEEE 802.15.4d-2009 – frekvencije za Japan (950 - 956 MHz)
 - IEEE 802.15.4f-2012 – frekvencije 433 MHz
 - IEEE 802.15.4e-2012 – podrška za ISA100.11a
 - IEEE 802.15.4g-2012 – podrška za Smart Grid i frekvencije 902 - 928 MHz

IEEE 802.15.4

- Baza za ostale standarde:
 - ZigBee – definira više slojeve
 - 6LoWPAN – komprimirani IPv6 za prijenos preko IEEE 802.15.4
 - ZigBee IP – evolucija ZigBeea da koristi 6LoWPAN i protokol usmjeravanja RPL
 - ISA100.11a – industrijska automatizacija (temelji se na 6LoWPAN, IPv6 i UDP)
 - WirelessHART – vremenski sinkronizirana, samoorganizirana i samozacjeljujuća mješovita arhitektura
 - Thread – temelji se na 6LoWPAN/IPv6, sigurna i pouzdana mješovita mreža za kontroliranje proizvoda u kući

IEEE 802.15.4 – PHY – struktura paketa

Preambula	Graničnik početka okvira	Duljina okvira	PDSU (PHY Service Data Unit)
Sinkronizacijsko zaglavlje 5 okteta		PHY zaglavlje 1 oktet	0-127 okteta

- Polja:
 - Preamble (32 bitova) – sinkronizacija
 - Graničnik početka okvira (8 bitova)
 - PHY zaglavlje (8 bits) – duljina PSDU
 - PSDU – podaci

IEEE 802.15.4 – MAC – struktura paketa

Kontrola okvira	Broj sekvence	Odredište PAN ID	Odredišna adresa	Izvořište PAN ID	Izvořišna adresa	Sadržaj okvira	Frame Check Sequence
2 okt.	1 okt.		Adrese – 4-20 okt.			varijabilno	2 okt.
MAC zaglavje						MAC sadržaj	MAC podnožje

IEEE 802.15.4: klase uređaja

- *Full-function device (FFD)*
 - Podržava sve mogućnosti
 - Može primati, slati i usmjeravati pakete
 - Koordinator, usmjeritelji moraju biti FFD
- *Reduced-function device (RFD)*
 - Ograničene komunikacijske i sklopovske mogućnosti
 - Krajnji čvor u mreži
 - Mogu trošiti malo energije i može spavati
 - Može komunicirati samo s FFD-ovima
 - Krajnji čvor može biti RFD (ili FFD)

IEEE 802.15.4 MAC: način rada

- *Beacon-mode*
 - Koordinator upravlja i sinkronizira prijenos podataka
 - Svi ostali čvorovi osluškuju *beacon* i potom koriste CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) za izbjegavanje sudara okvira – nema osluškivanja prilikom transmisije, ako kanal nije slobodan čekaj *Random Backoff Time*
 - Čvorovi mogu koristiti i pridijeljene vremenske odsječke za prijenos (GTS) koje im je dodijelio koordinator
 - Omogućuje *duty-cycling* (čvorovi mogu ući u *sleep mode* radi smanjenja potrošnje energije)
- *Non-beacon mode*
 - Za komunikaciju od točke do točke
 - Čvorovi moraju kontinuirano osluškivati stanje na kanalu

IEEE 802.15.4 - sigurnost

- Enkripcijski algoritam Advanced Encryption Standard (AES)
 - ključ 128-bit
- Validacija integriteta primljenih podataka
 - Pomoću MIC-a (*message integrity code*) i AES-a
- U kontrolnom okviru se postavlja bit za sigurnost

Kontrola okvira	Broj sekvence	Odredište PAN ID	Odredišna adresa	Izvorište PAN ID	Izvorišna adresa	Dodatno zaglavljje sigurnosti	Sadržaj okvira	Frame Check Sequence
2 okt.	1 okt.	Adrese – 4-20 okt.						0-14 okt
MAC zaglavljje						MAC sadržaj	MAC podnožje	

ZigBee



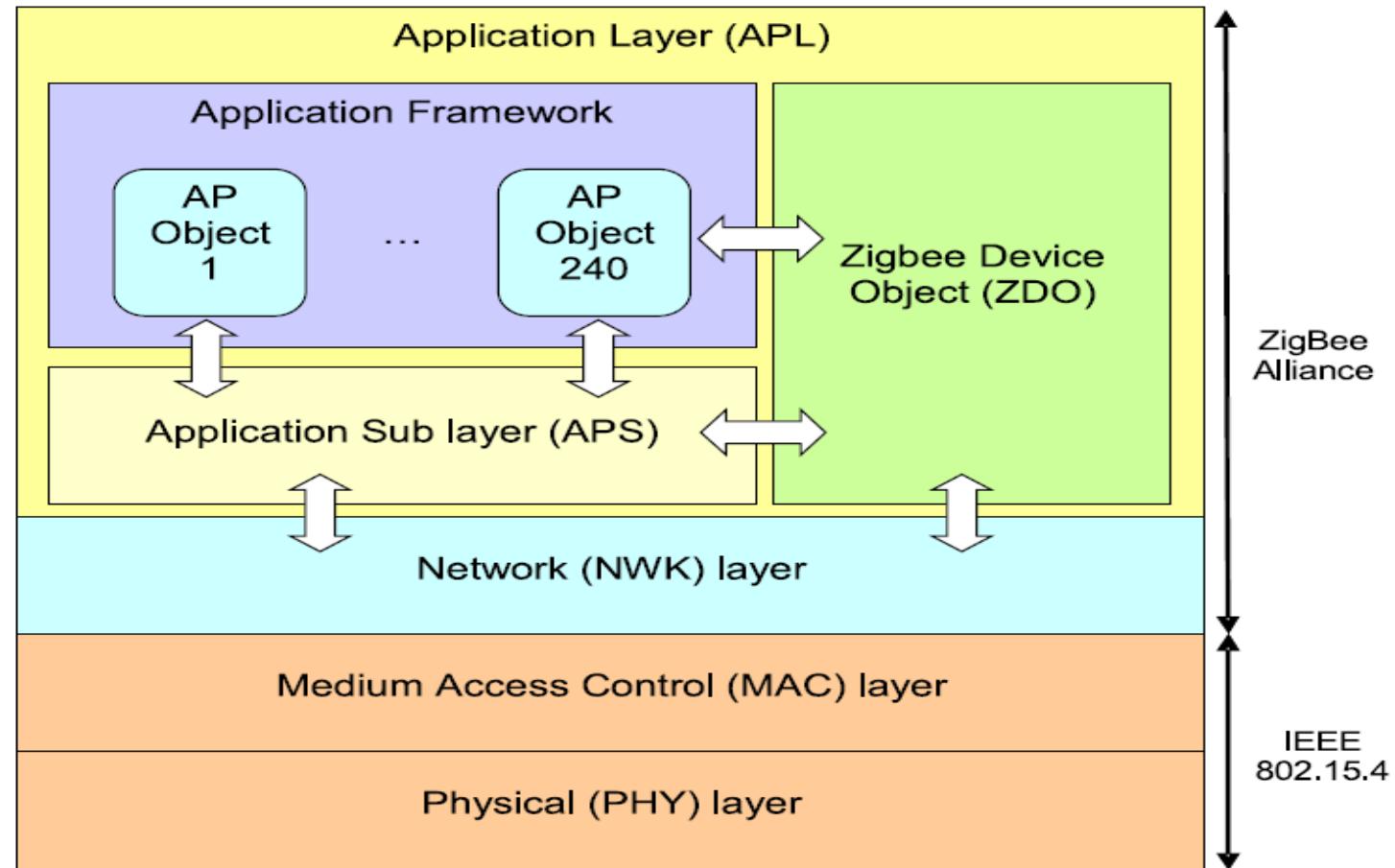
- Preko 300 kompanija je sudjelovalo u njegovoj standardizaciji u sklopu ZibBee Alliance
- Temelji se na standardu IEEE 802.15.4
- Namijenjen primjenama koje zahtjevaju malu brzinu veze, nisku potrošnju energije, malo kašnjenje, sigurnu komunikaciju (128-bit AES encryption)
- Čvorovi se u nekoliko milisekundi mogu aktivirati iz uspavanog stanja
- Podržava 65 tisuća čvorova po mreži
- Uspostavljena mreža je vrlo robusna i otporna na kvarove
- Jednostavno upravljanje mrežom
- Brzine do 250kb/s

ZigBee - primjena

- Automatizacija zgrada – sigurnost, HVAC, svjetla, brave, ...
- Osobno zdravlje – nadzor pacijenata, fitness
- Industrijska automatizacija – upravljanje resursima, kontrola okoline, upravljanje energijom
- Upravljanje domom – sigurnost, HVAC, svjetla, brave, navodnjavanje travnjaka, ...
- Periferije računala – miš, tipkovnica, joystick
- Potrošačka elektronika – daljinski upravljači za TV, VCR, DVD/CD

ZigBee: Protokolni složaj

- NWK omogućuje sigurno višeskokovno usmjeravanje (koristi AODV), otkrivanje i održavanje putova, ulazak i napuštanje mreže te dodjeljivanje adresa novim čvorovima
- APL predstavlja okvir za razvoj raspodijeljenih aplikacija i komunikaciju
- ZDO omogućava međusobno otkrivanje APO-a i njihovu organizaciju u raspodijeljenu aplikaciju



Izvor: J. Brown: "Machine-2-Machine, Internet of Things, Real World Internet", 2011.

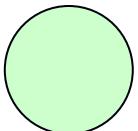
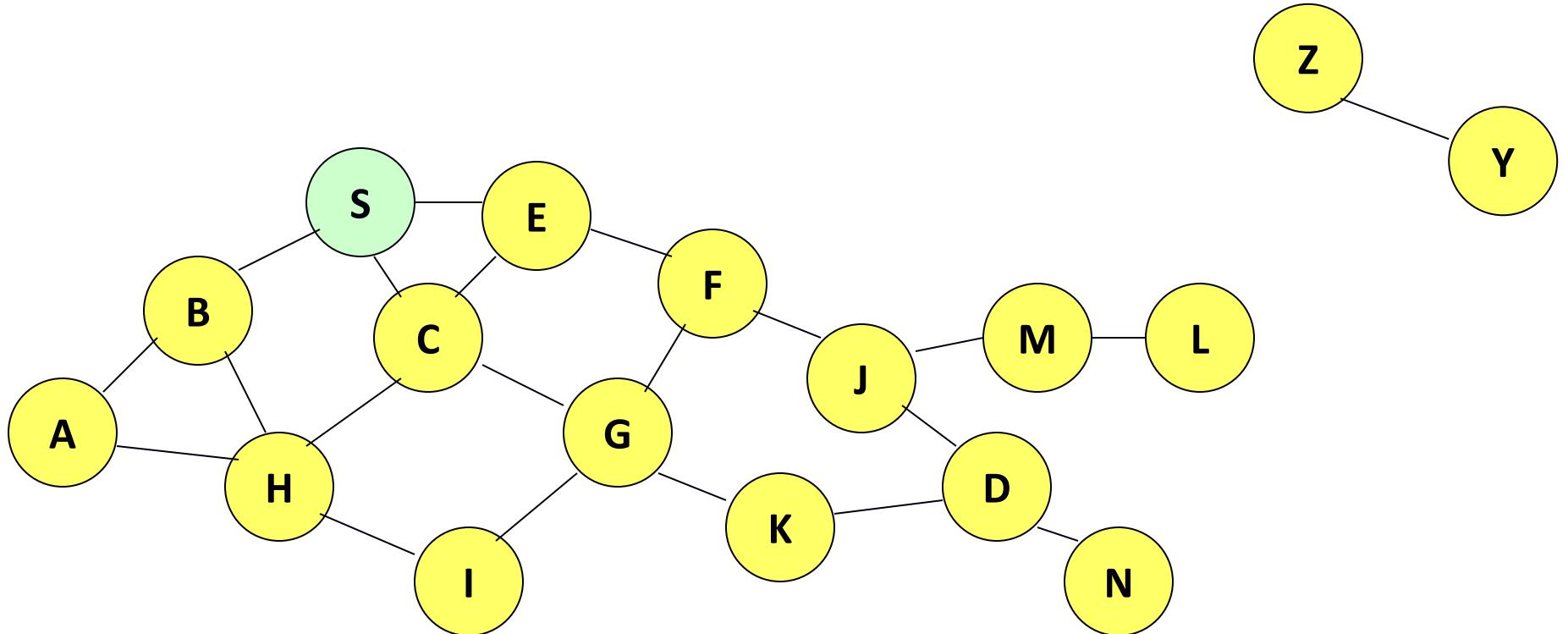
ZigBee – funkcije mrežnog sloja (NWK)

- Pokretanje mreže – omogućuje uspostavu mreže
- Priključivanje i napuštanje mreže
- Konfiguracija – mogućnost čvora da se konfigurira i radi u skladu s mrežom kojoj je pristupio
- Adresiranje – koordinator dodjeljuje adrese čvorovima koji pristupaju mreži
- Sinkronizacija – mogućnost sinkronizacije slušanjem *beacona* ili povlačenjem podataka
- Sigurnost – očuvanje integriteta s kraja na kraj
- Usmjeravanje – čvorovi mogu usmjeravati paketa do odredišta koristeći (AODV - Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing)

ZigBee NWK – AODV usmjeravanje

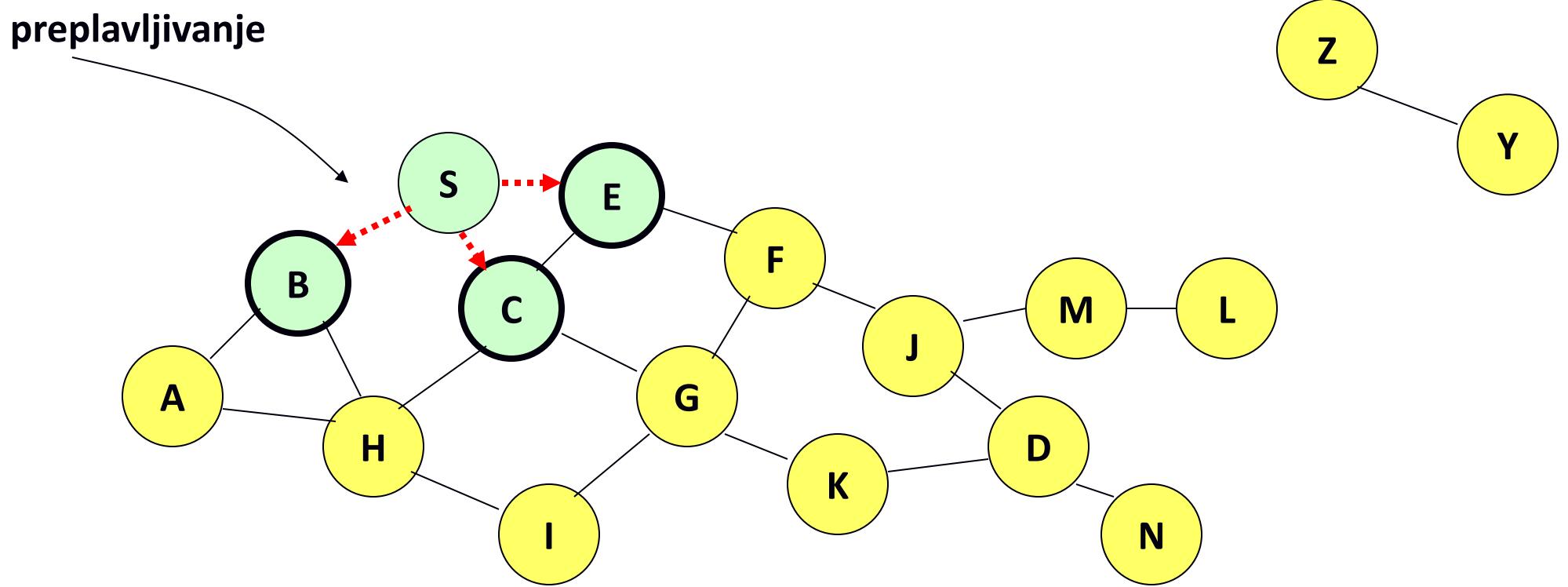
- *Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing* (AODV)
- održava tablice usmjeravanja na putu među čvorovima koji žele komunicirati
- preplavljanje porukama *route request* (RREQ) iz izvorišnog čvora S da bi se otkrio put do odredišta D
- čvor koji primi RREQ osvježava informaciju u tablici usmjeravanja
- kada D primi RREQ, odgovara sa *route reply* (RREP)
- put za isporuku paketa od S do D slijedi suprotan put od puta poruka RREP

AODV - *route request*

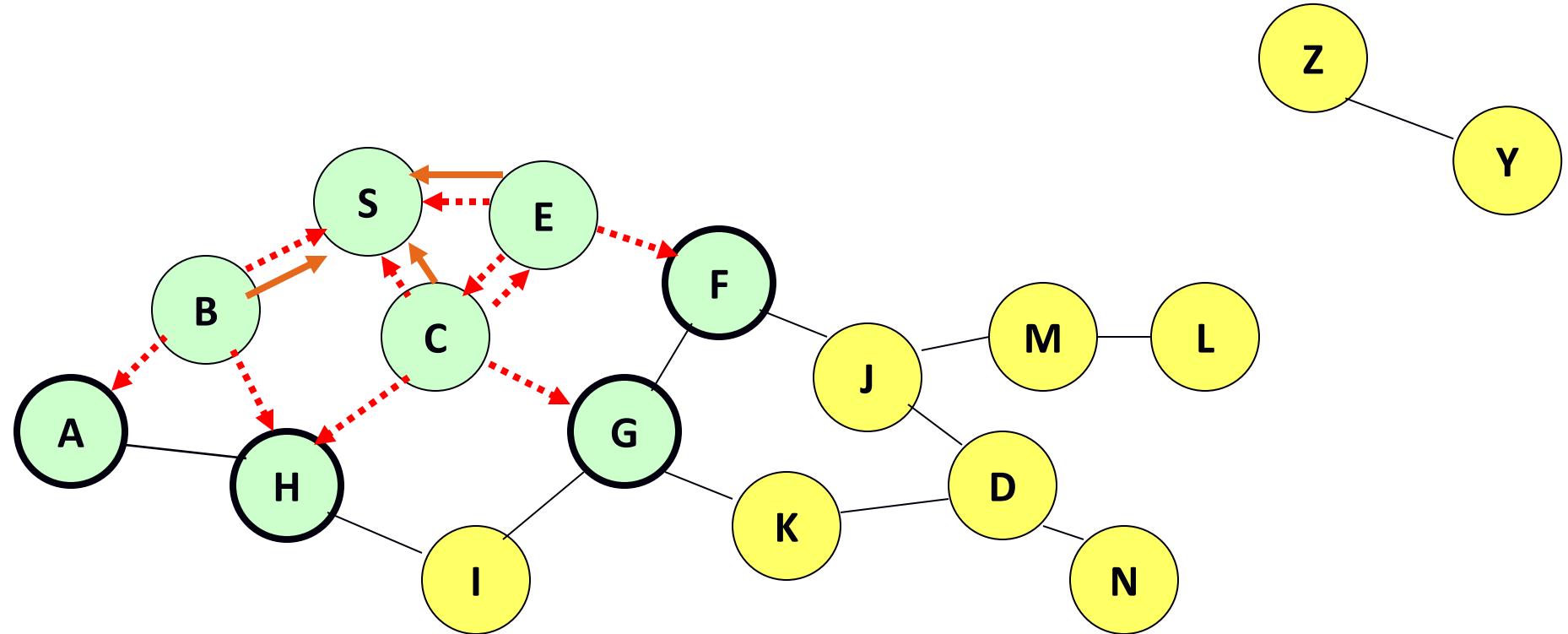


Oznaka čvora koji je primio RREQ za D od S

AODV - *route request*

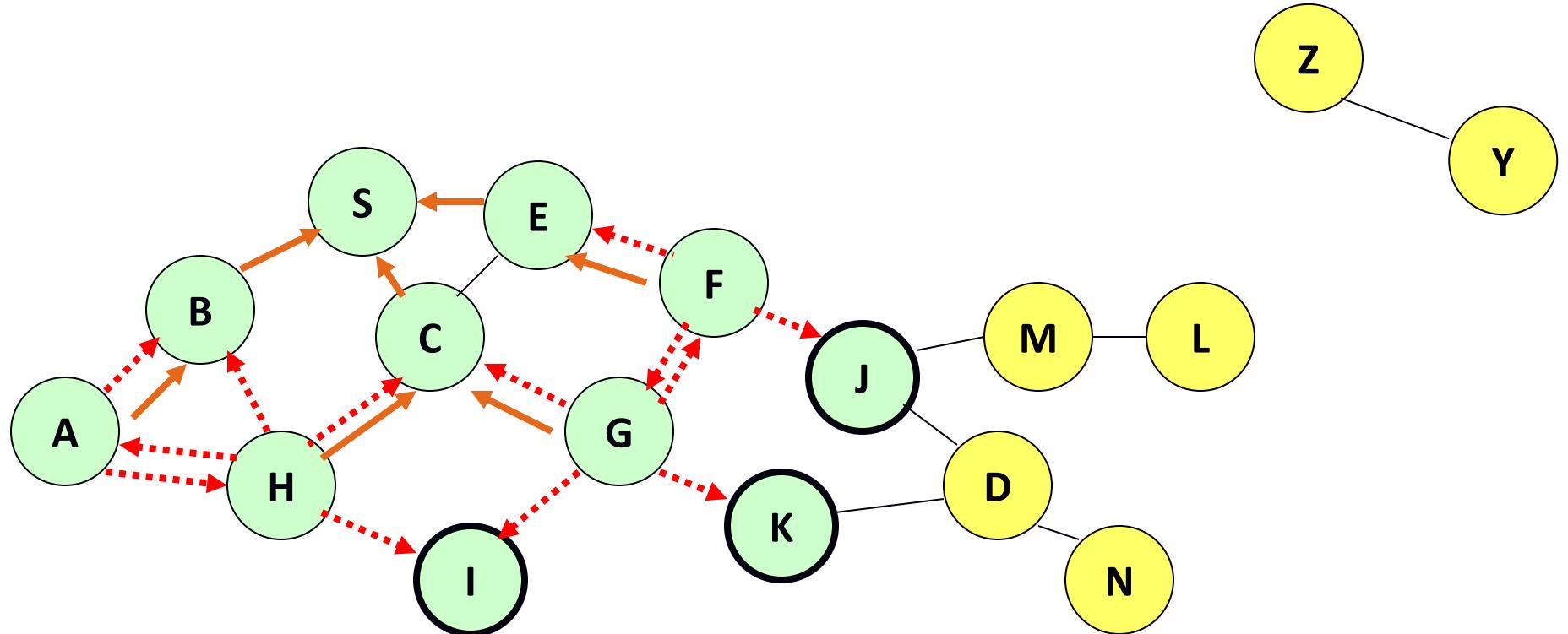


AODV - route request



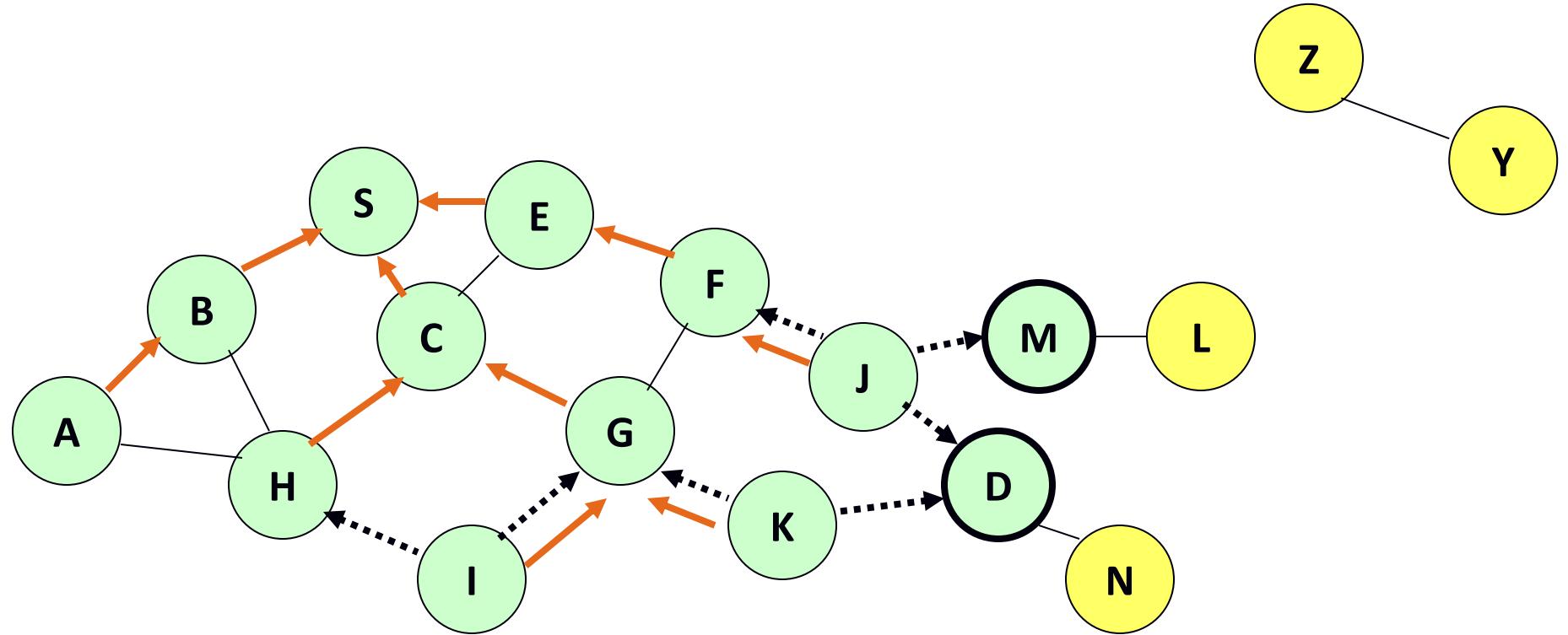
Oznaka pokazivača na prethodni čvor
od koga je primljen RREQ

AODV - route request

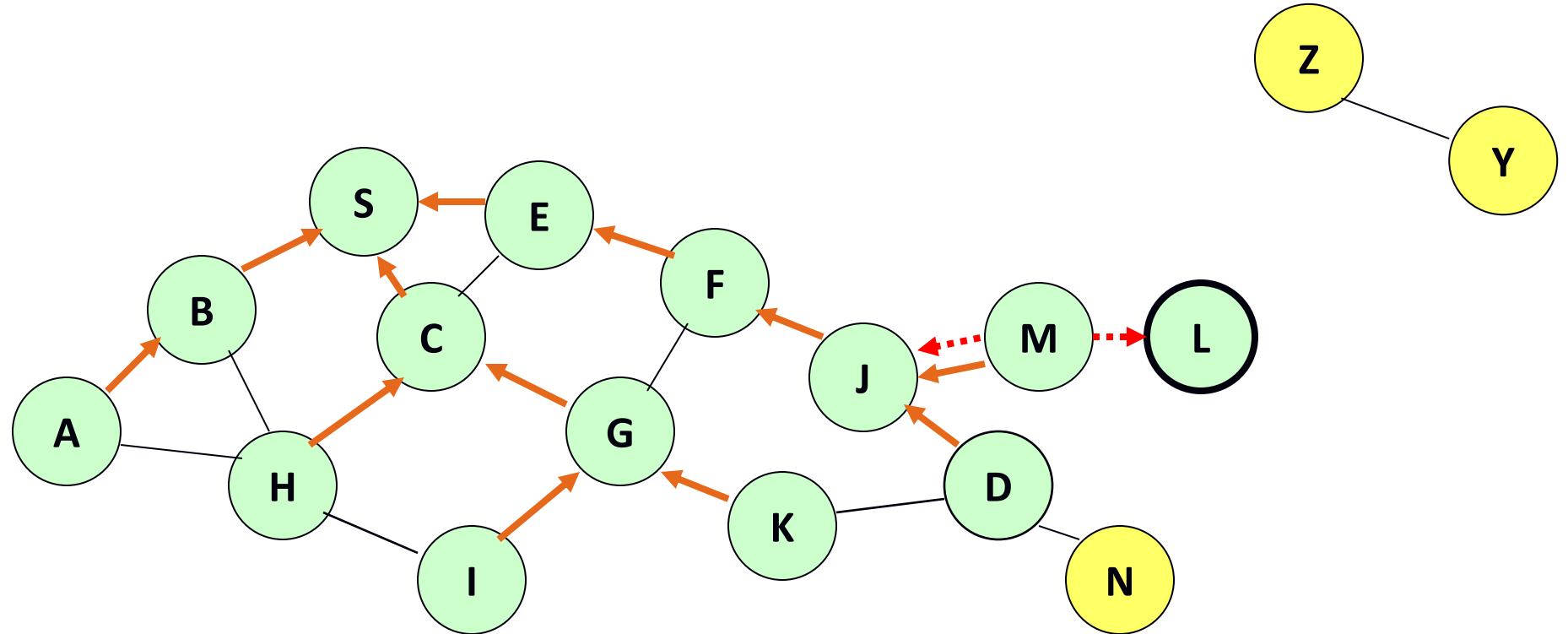


- Čvor H definira pokazivač na C (može birati između čvorova B i C)
- Čvor C prima RREQ od G i H, ali ga ne proslijedi ponovo, jer je C prethodno proslijedio isti RREQ (reagiraju samo I, J i K jer primaju RREQ prvi puta)

AODV - route request

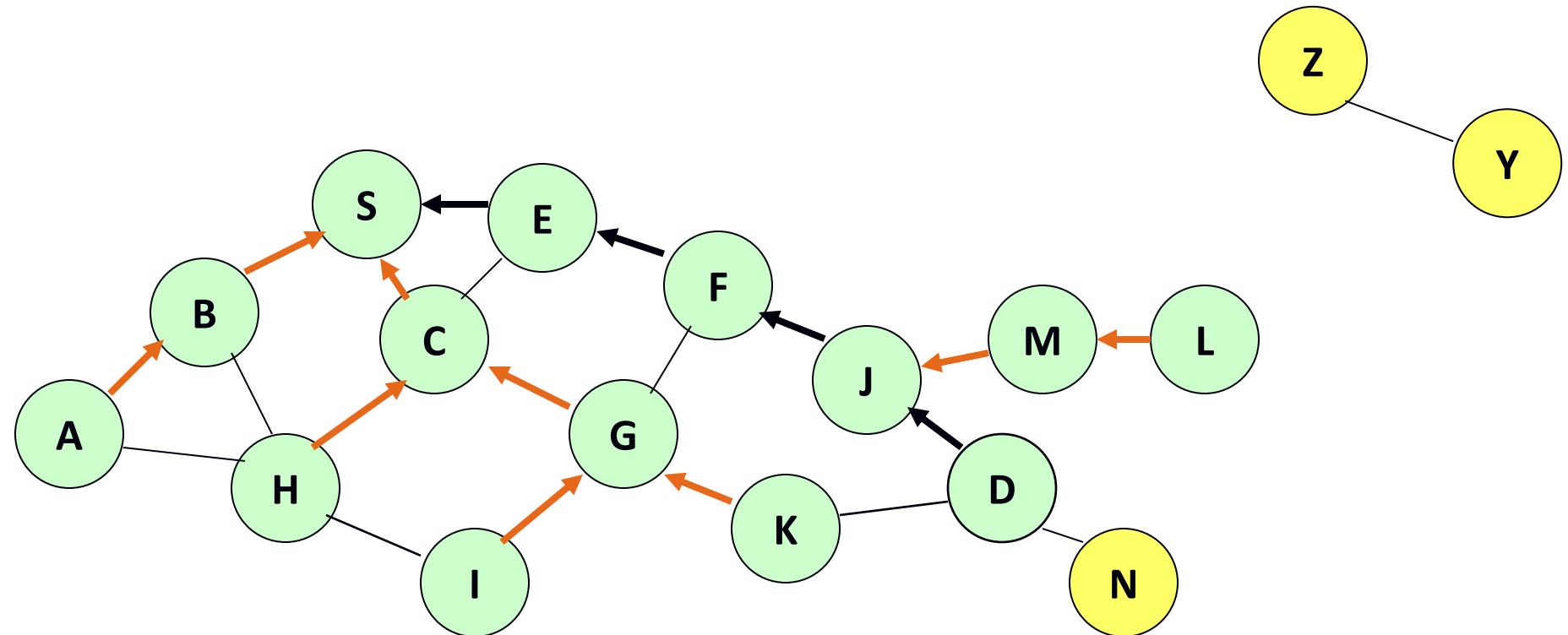


AODV - *route request*



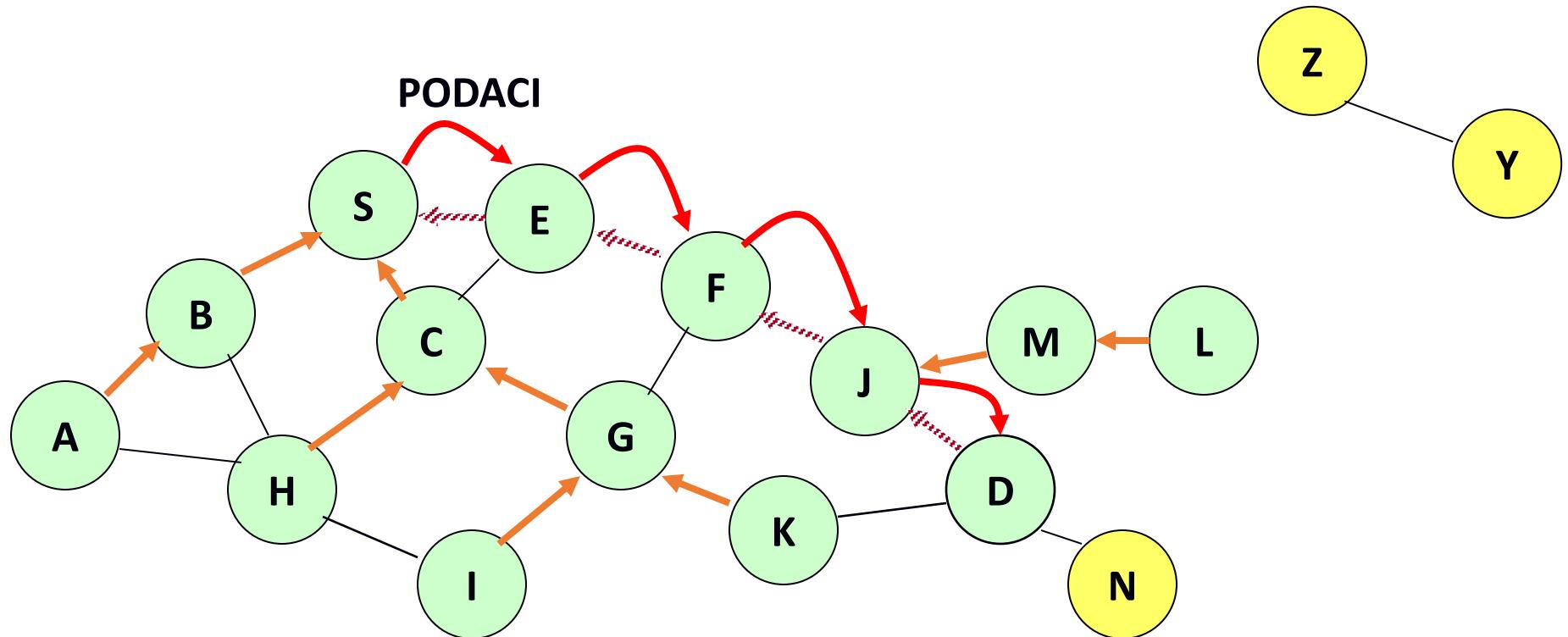
- Čvor D ne prosljeđuje RREQ dalje jer je D odredišni čvor

AODV – route reply



← Prijenos poruke Route Reply (RREP)
(slijedi pokazivače u svakom čvoru)

AODV – podatkovni paketi



Oznaka za put podatkovnog paketa
Podaci slijede put suprotan od RREP
(*reverse path forwarding*)

ZigBee – funkcije aplikacijskog sloja (APL)

- Zigbee Device Object (ZDO) održava što koji uređaj može što raditi (tablica) i obrađuje zahtjeve za povezivanje (*bind*)
- Postoje aplikacijski profili – npr. Home Automation, Smart Energy
 - Opisuju kolekciju uređaja koji omogućuju aplikaciju i implicitno poruke
- Klasteri – unutar profila
 - Funkcije unutar aplikacijskog profila – npr. upravljanje svjetlom
- Krajnja točka (*endpoint*)
 - Komunikacijski entitet unutar uređaja – npr. svjetlo u spavaćoj sobi je ep5
 - Jeden uređaj može imati više krajnjih točki
- Otkrivanje – mogućnost otkrivanja koji drugi uređaj radi u području ovog uređaja
- Povezivanje (*binding*) – mogućnost podudaranja 2 ili više uređaja koji pružaju usluge ili ih zahtijevaju te dozvoljavanje da komuniciraju

ZigBee - sigurnost

- Temelji se na AES-u (128-bitni ključevi)
- Definira sigurnost na slojevima: MAC, NWK, APS
- Sigurnost aplikacija je definirana kroz aplikacijske profile
- *Trust centar*
 - Čvor koji je zadužen za sigurnost. Obično koordinator.
 - Uloge:
 - Trust Manager – autentifikacija uređaja koji se žele priključiti mreži
 - Network Manager – održava i distribuirala mrežne ključeve
 - Configuration Manager – omogućuje sigurnost s kraja na kraju između uređaja

ZigBee - ključevi

- Master ključevi

- Opcionalni su
- Koriste se za inicijalnu razmjenu tajni između dva uređaja (SKKE - Key Establishment Procedure za generiranje ključeva poveznice)
- Ključevi iz Trust Centra se zovu - Trust Center Master Keys
- Ostali su Application Layer Master Keys

- Mrežni ključevi

- Osiguravaju mrežu
- Isti ključ imaju svi uređaji u mreži
- Kod visoke sigurnosti se moraju prenositi kriptirano, a inače može i nekriptirano

- Ključevi poveznice (*link*)

- Opcionalni su
- Osiguravaju poruke na aplikacijskoj razini

Z-Wave



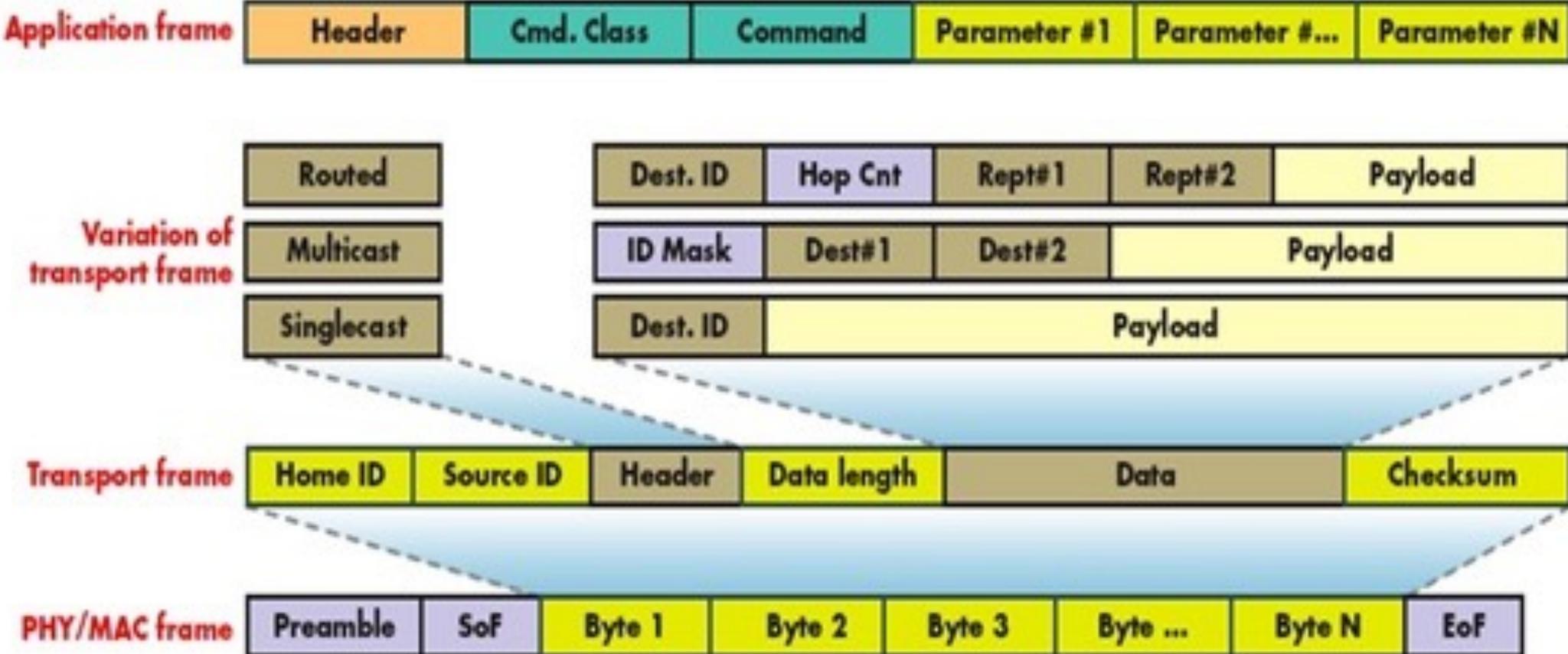
- Razvila ga privatna firma Zensys (2005.) Danska
 - kupila ih Sigma 2008., a prodani su Silicon Labsu 2018.
 - Jedini rade čipove
- Certifikacija kroz Z-Wave Alliance - 1700 proizvoda od 300 proizvođača
 - Specifikacija je [ovdje](#)
- Primjena u pametnom domu
- Frekvencija <GHz (868 MHz Europa, 908 US)
- Maksimalna udaljenost 30-100m (ovisi o zaprekama) – Z-Wave Plus 167m
- Brzina prijenosa: 9,6-100 Kb/s
- Koristi enkripciju AES 128
- Jeden uređaj može biti napajan 10 godina s baterijom veličine novčića

Z-Wave



- Topologija mreže: Mesh, max. 232 uređaja u jednoj mreži
- Omogućuje maksimalno 4 prijenosa poruka u mreži
- Svaka mreža ima svoj Home ID – dijeljen između uređaja
- Svaki uređaj ima svoj Node ID
- Vrste uređaja:
 - Controller – ima postavljen Home ID i ne može se mijenjati – u tvornici
 - Primarni i sekundarni kontroler
 - Slave – prihvataju Home ID od primarnog kontrolera i kontroler im dodjeljuje Node ID
 - Može biti usmjeritelj u mreži
- Svaki čvor održava listu susjeda
- Načini slanja: single, multicast, broadcast
- Može se pokrenuti iscjeljivanje mreže gdje se ponovno posloži topologija

Z-Wave



IEEE 802.11ah

- Varijanta najpoznatijeg bežičnog protokola (WiFi)
- Standard objavljen 2016.
- Predviđena za IoT uređaje (lagana varijanta koja troši malo energije)
- Prilagodba za frekvencije ispod 1GHz
- Domet: do 1km
- Maksimalna brzina: 100 kb/s
- Redefiniran dio u fizičkom i MAC sloju

IEEE 802.11ah - primjena

- 3 najvažnija područja primjene:
 - Senzori i brojila
 - Npr. parkiranje, praćenje okoline/poljoprivreda, industrijski procesi, zdravlje i fitness, automatizacija zgrade
 - Agregacija podataka iz industrijskih postrojenja
 - Moguće povezivanje s podmrežom IEEE 802.15.4g
 - Proširivanje Wi-Fi-a na otvorenom prostoru

IEEE 802.11ah – fizički sloj (PHY)

- Koristi nelicencirana područja < 1GHz
 - 868–868.6 MHz – EMEAR (Europa, Bliski istok, Afrika, Rusija)
 - 902–928 MHz – Sjeverna Amerika, Azija i Pacifik
 - 314–316 MHz, 430–434 MHz, 470–510 MHz, 779–787 MHz – Kina
- Koristi modulaciju OFDM
- Širina kanala:
 - 2, 4, 8, 16 MHz – za računala, mobitele, ...
 - 1 MHz za malu propusnost (senzori)

IEEE 802.11ah – sloj podatkovne poveznice (MAC)

- Optimiran za frekvencije < 1GHz
- Omogućuje malu potrošnju
- Veći broj uređaja koji se mogu spojiti (8192 po AP-u)
- MAC zaglavlje – smanjeno
- Grupiranje i sektorizacija – sektorske antene
- *Restricted access window (RAW)* – algoritam za izbjegavanje istovremenog slanja paketa
- *Target wake time (TWT)* – AP može definirati kada se uređaj može spojiti → smanjena energija jer uređaj može u međuvremenu „spavati”

Pitanja za ponavljanje

- Navedite tehnologije kratkog/srednjeg/dugog dometa za komunikaciju uređaja u IoT-u.
- Usporedite prednosti i nedostatke nelicenciranog i licenciranog spektra.
- Koje su uobičajene frekvencije ispod 1GHz koje se koriste u IoT-u?
- Kako je moguće uštedjeti energiju kod IoT uređaja?
- Navedite i objasnite klase energetskog ograničenja.
- Navedite i objasnite strategije korištenja energije za komunikaciju.
- Navedite 4 mrežne topologije i gdje se koriste.
- Navedite 3 tehnologije koje koriste IEEE 802.15.4.
- Koja je razlika između FDD (full-function device) i RFD (reduced-function device) klase uređaja u IEEE 802.15.4?
- Koja je razlika između sljedeća dva načina rada u IEEE 802.15.4: beacon-mode i non-beacon mode?
- Koji algoritam za šifriranje se koristi u IEEE 802.15.4?
- Što je ZigBee?
- Koje su funkcije mrežnog sloja (NWK) u ZigBeeu?
- Što je AODV i čemu služi?
- Koje vrste sigurnosnih ključeva postoje u ZigBeeu i čemu služe?
- Koja je razlika između ZigBeeja i Z-Wavea?
- Što je IEEE 802.11ah i koja su mu svojstva?



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Diplomski studij
Računarstvo
Znanost o mrežama
Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Računalno inženjerstvo
Informacijska i komunikacijska tehnologija
Automatika i robotika
Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo
Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Audiotehnologije i elektroakustika
Elektroenergetika
(Izborni predmet profila)

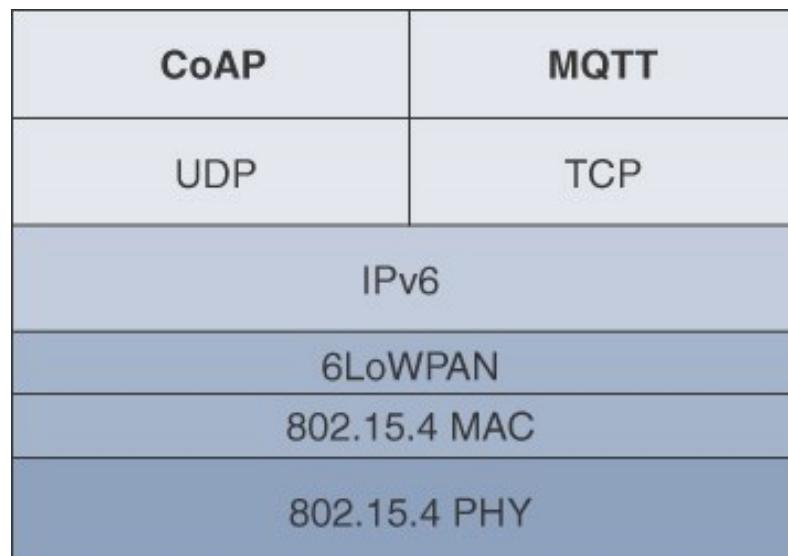
Internet stvari

4. Aplikacijski sloj: MQTT, CoAP

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- CoAP i MQTT
- Detaljni pregled dva aplikacijska protokola za uređaje i mreže ograničenih resursa



Constrained Application Protocol (CoAP)

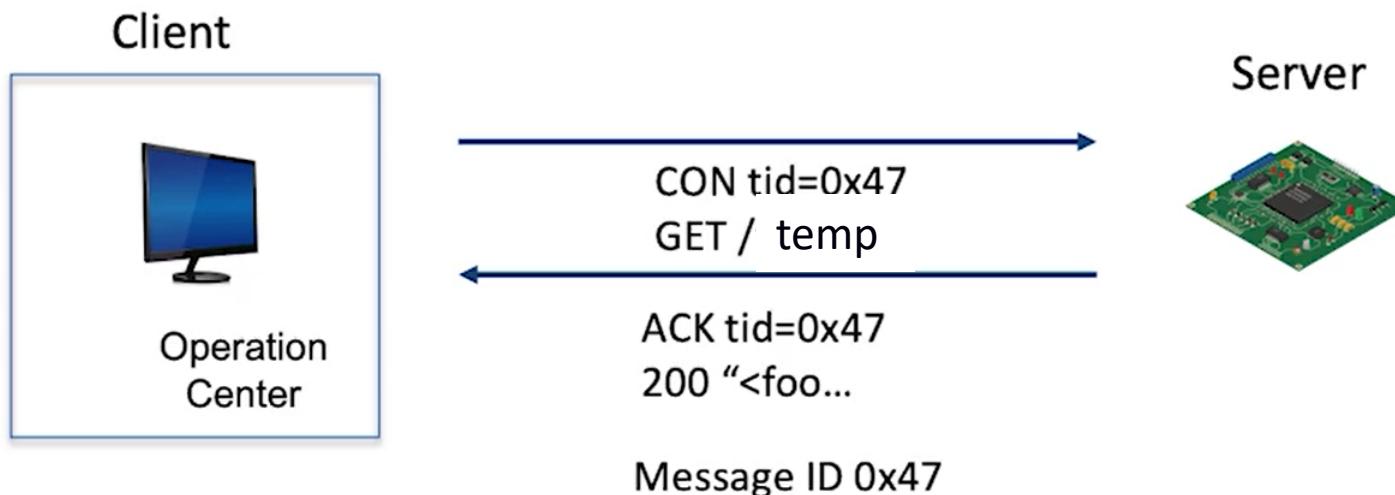
- CoAP *framework* definira jednostavne i fleksibilne načine za slanje i primanje podataka s IoT-uređaja te njihovo upravljanje
- IETF working group Constrained RESTful Environments (CoRE)
 - RFC 6690: Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format
 - RFC 7252: The Constrained Application Protocol (CoAP)
 - RFC 7641: Observing Resources in the Constrained Application Protocol (CoAP)
 - RFC 7959: Block-Wise Transfers in the Constrained Application Protocol (CoAP)
 - RFC 8075: Guidelines for Mapping Implementations: HTTP to the Constrained Application Protocol (CoAP)
 - Ostali relevantni dokumenti: <http://datatracker.ietf.org/wg/core/>

CoAP

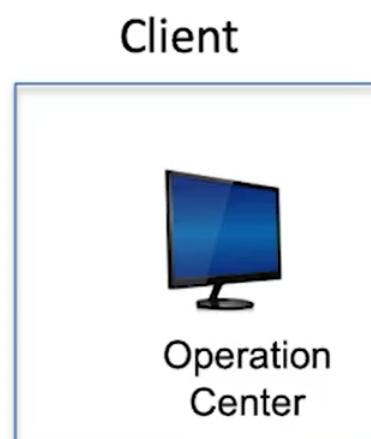
- Protokol je definiran u [RFC 7252](#)
- Resursi se identificiraju pomoću URI-ja, IoT-uređaj postaje poslužitelj koji nudi resurse
- Temelji se na REST-u (metode **GET, POST, PUT i DELETE**)
- Klijenti pristupaju resursima pomoću asinkronog mehanizma zahtjev-odgovor
- Koristi UDP kao transportni protokol i poseban “message layer” za retransmisiju izgubljenih paketa
- Koristi tehnikе za kompresiju podataka
- Sigurna komunikacija omogućena protokolom DTLS (Datagram Transport Layer Security)

`coap://mymeter.com:5683/ temp`

1. način rada: zahtjev-odgovor



2. način rada: promatraj



CoAP URI

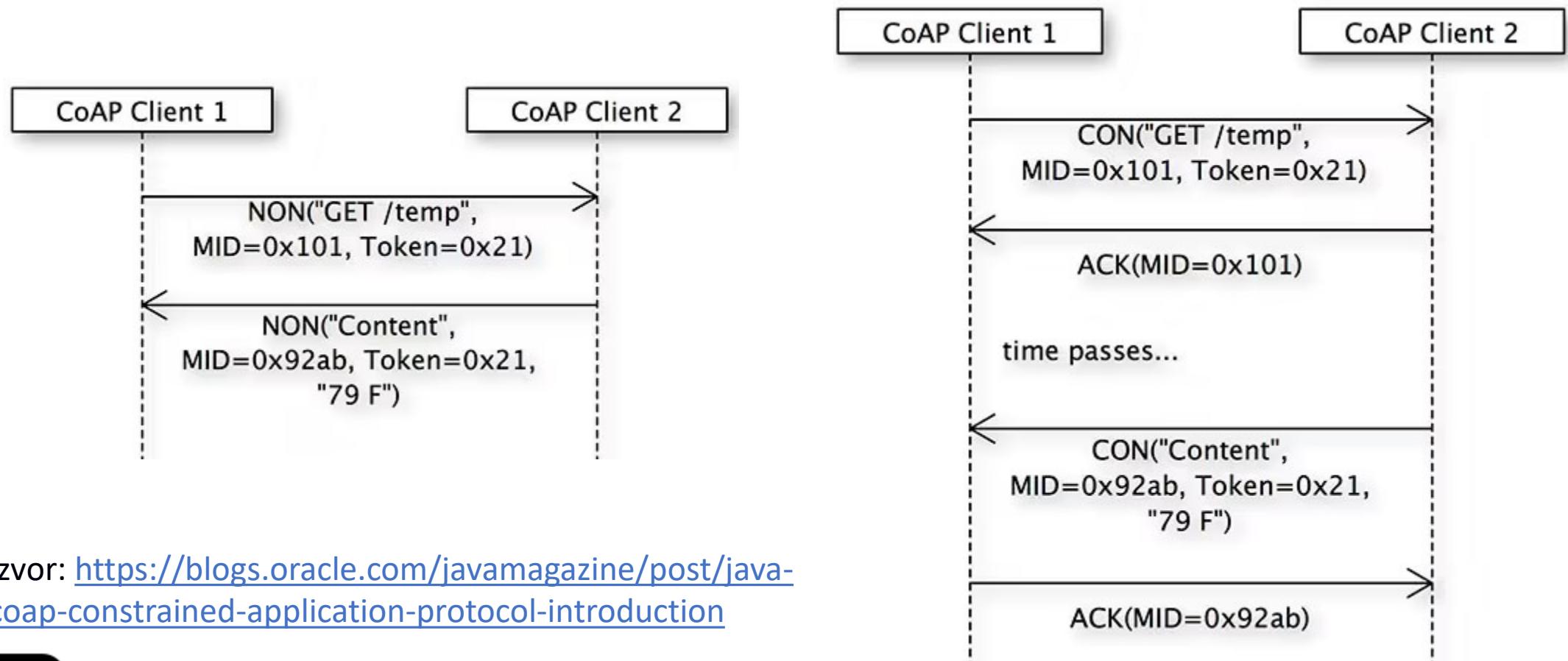
- URI se sastoji od sljedećih segmenta
 - coap[s]://<host>[:<port>]/<path>[?<query>]
URI schema + authority + path + query

- CoAP URI
 - coap://example.smarthome.com:5683/sensors
- CoAPs URI
 - coaps://example.smarthome.com:5684/activate_alarm

Vrste CoAP poruka

Type	Description
CON	Confirmable Message Each confirmable message is acknowledged either by a message type of "Ack" or "Reset".
NON	Non-Confirmable Message For messages that do not require an acknowledgement. This is particularly true for messages that are repeated regularly for application requirements, such as repeated readings from a sensor where eventual success is sufficient.
Ack	Acknowledgement Message An Ack acknowledges that a specific CON message arrived. It does not indicate success or failure of any encapsulated request.
Reset	Reset Message A Reset message indicates that a specific message (CON or NON) was received, but some context is missing to properly process it. This condition is usually caused when the receiving node has rebooted and has forgotten some state that would be required to interpret the message. Provoking a Reset message (e.g., by sending an empty Confirmable message) is also useful as an inexpensive check of the liveness of an endpoint ("CoAP ping").

Osnovna interakcija: zahtjevi NON i CON



Izvor: <https://blogs.oracle.com/javamagazine/post/java-coap-constrained-application-protocol-introduction>

Metode CoAP-a

- **GET**

- The GET method retrieves a representation for the information that currently corresponds to the resource identified by the request URI.
- The GET method is safe and idempotent.

- **POST**

- The POST method requests that the representation enclosed in the request be processed.
- POST is neither safe nor idempotent.

- **PUT**

- The PUT method requests that the resource identified by the request URI be updated or created with the enclosed representation.
- PUT is not safe, but is idempotent.

- **DELETE**

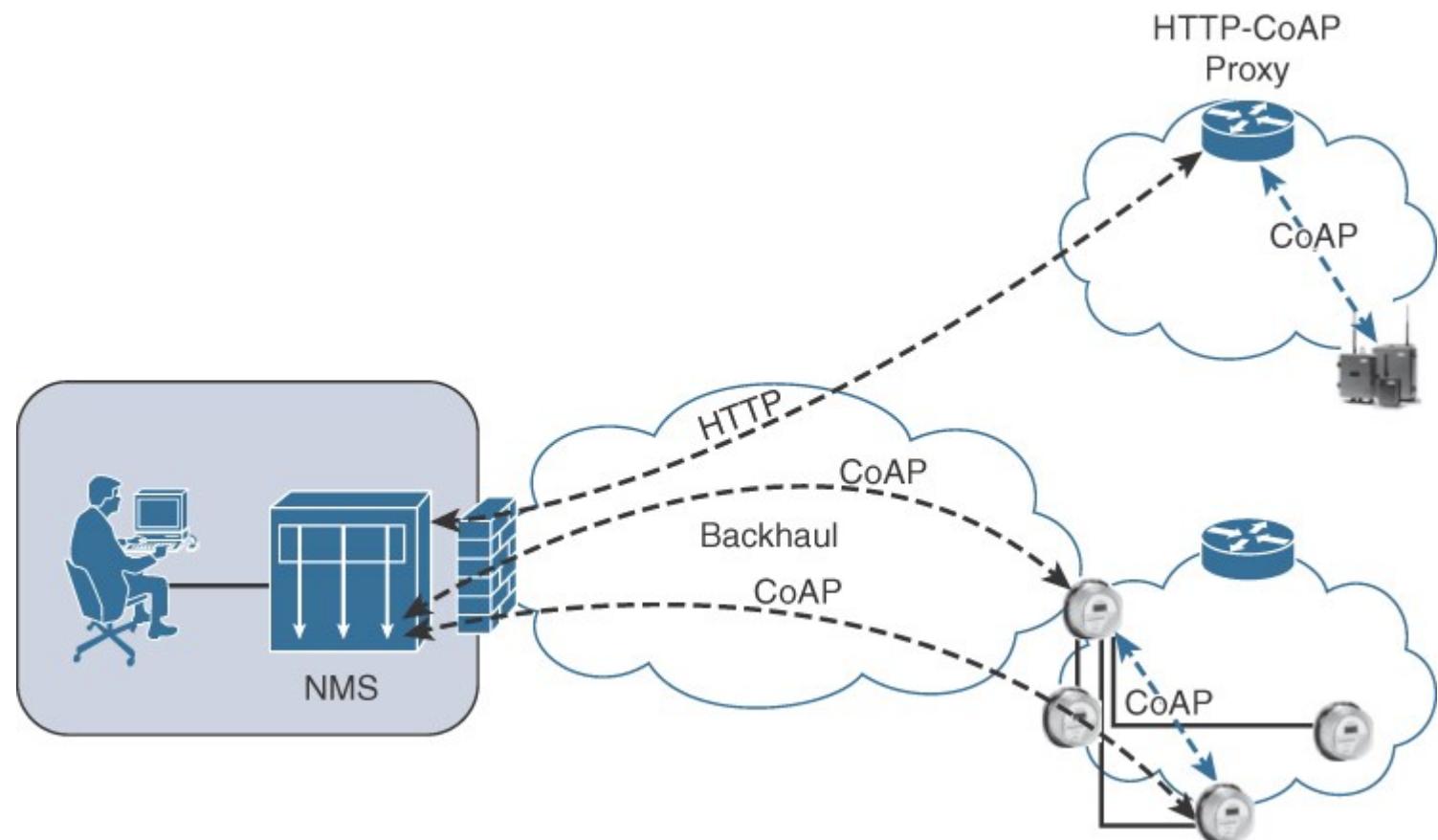
- The DELETE method requests that the resource identified by the request URI be deleted.
- DELETE is not safe, but is idempotent.

Prijenos poruka

- Poruka nosi sljedeće: zahtjev, odgovor ili je prazna
- CoAP *endpoint* (IP address, UDP port) : izvor ili odredište poruke
- Poruke se razmjenjuju asinkrono
- Mehanizam za pouzdanu isporuku poruka je relativno jednostavan
 - *stop-and-wait-retransmission*, vrijeme čekanja na poruke se eksponencijalno povećava (vrijedi samo za poruke tipa *Confirmable*)
 - koristi se i brojač MAX_RETRANSMIT
 - detekcija duplikata (za poruke tipa *Confirmable* i *Non Confirmable*)

CoAP: protokolni složaj i „suživot” s HTTP-om

- Komunikacija među uređajima unutar jedne podmreže ili putem javnog Interneta
- Definiran je Proxy mehanizam u RFC 8075 koji mapira HTTP poruke u CoAP poruke



Prednosti i nedostaci CoAP-a

Prednosti

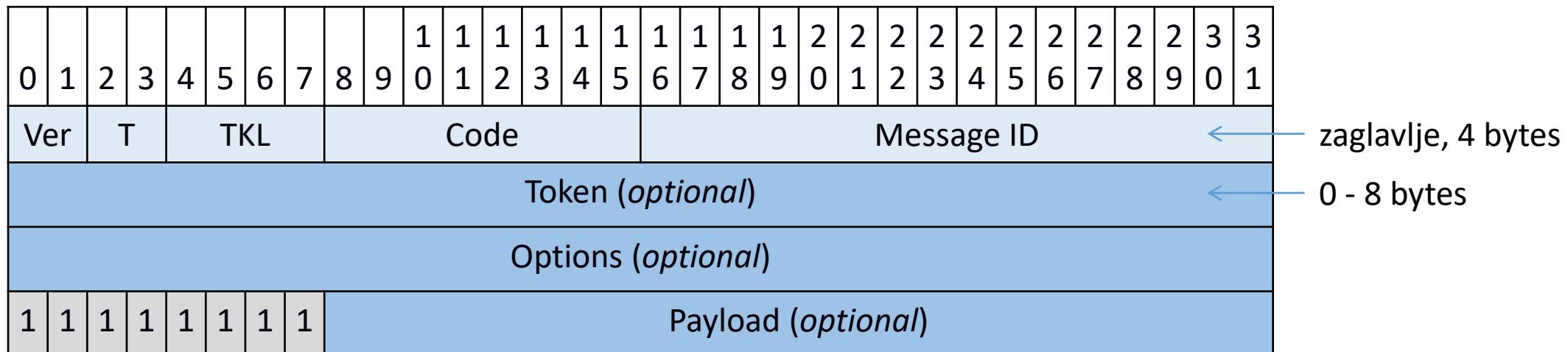
- Prilagođen uređajima i mrežama ograničenih resursa (koristi UDP)
- Vrlo niska potrošnja energije, može se koristiti u okolinama s ograničenim napajanjem (baterija)
- Temelji se na REST-u
- Omogućuje potvrdu poruke (QoS)
- DTLS za šifriranje poruka

Nedostaci

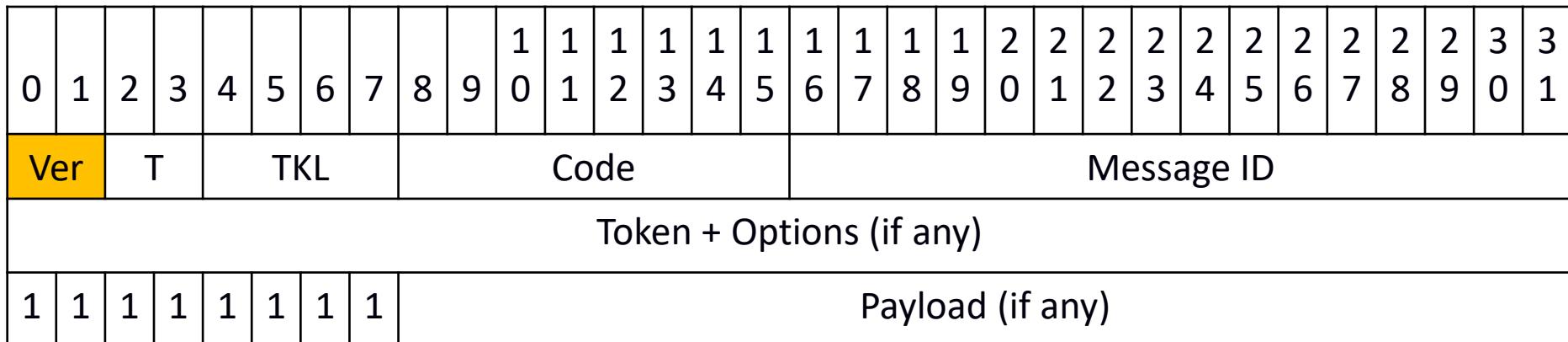
- Komunikacija je uvijek 1 na 1 (jedan izvor i jedno odredište)

Format CoAP poruke

- RFC 7252 definira sadržaj svakog CoAP okvira
 - **coap** (non-secured CoAP) koristi vrata 5683
 - **coaps** (DTLS-secured CoAP) koristi vrata 5684
 - podrška i za ostale transportne protokole: SMS, TCP, SCTP,...



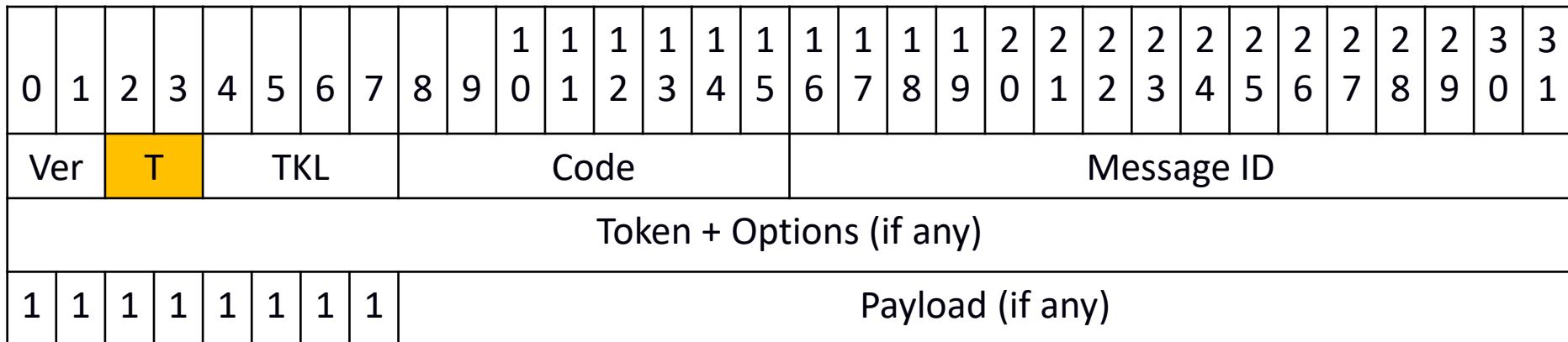
Objašnjenje zaglavljaja CoAP poruke



- **Version (Ver)**

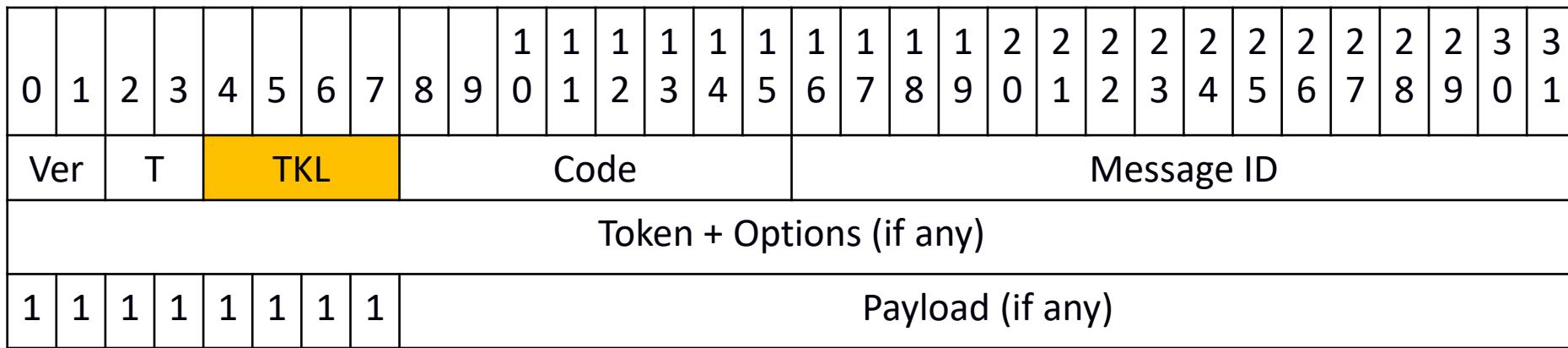
- 2-bitni prirodni broj
- predstavlja verziju CoAP protokola
- prema trenutnoj specifikaciji mora biti postavljen na 01
- nespecificirane verzije MORAJU biti ignorirane

Objašnjenje zaglavljaja CoAP poruke



- **Type (T)**
 - 2-bitni prirodni broj
 - predstavlja jedan od tipova poruka:
 - Confirmable (0)
 - Non-confirmable (1)
 - Acknowledgement (2)
 - Reset(3)

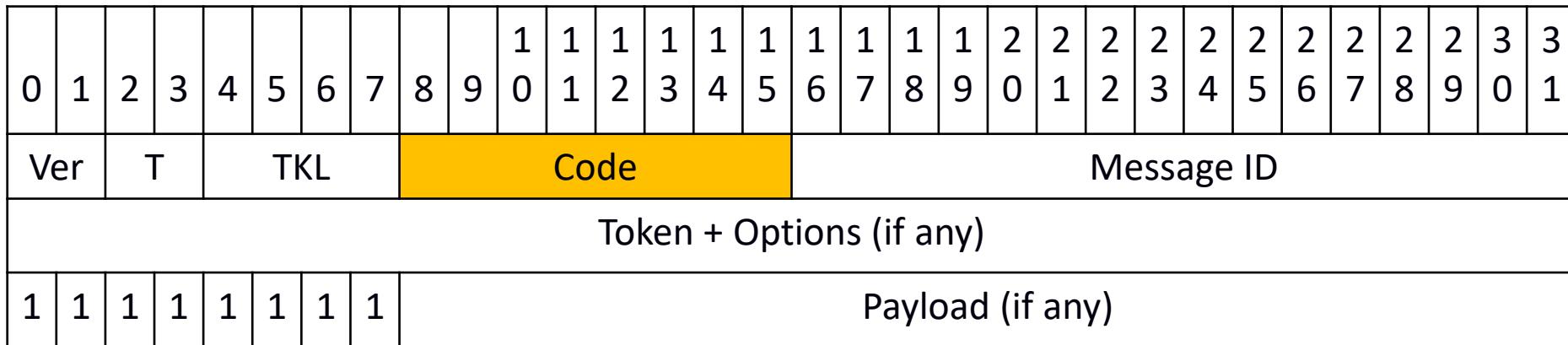
Objašnjenje zaglavljaja CoAP poruke



- **Token Length (TKL)**

- 4-bitni prirodni broj
- predstavlja duljinu polja Token
- Token se koristi za povezivanje zahtjeva i njegovog odgovora te je neovisan o *Message ID*
- *A token is intended for use as a client-local identifier for differentiating between concurrent requests; it could have been called a "request ID". The client SHOULD generate tokens in such a way that tokens currently in use for a given source/destination endpoint pair are unique.*

Objašnjenje zaglavlja CoAP poruke



- 8-bitni prirodni broj
- podjela u dvije cjeline: *3-bit class* (najznačajniji bitovi) i *5-bit detail* (*manje značajni bitovi*)
- notacija: „*c.dd*“ gdje je *c* broj od 0 – 7, a *dd* broj od 00 – 31
- klase mogu biti:
 - Request (0)
 - Success response (2)
 - Client error response (4)
 - Server error response (5)
 - Posebni slučaj poruke je 0.00 koji predstavlja praznu poruku (*Empty message*)
- u slučaju upita (*Request*) polje *Code* predstavlja *Request code*, a u slučaju odgovora (*Response*) predstavlja *Response code*

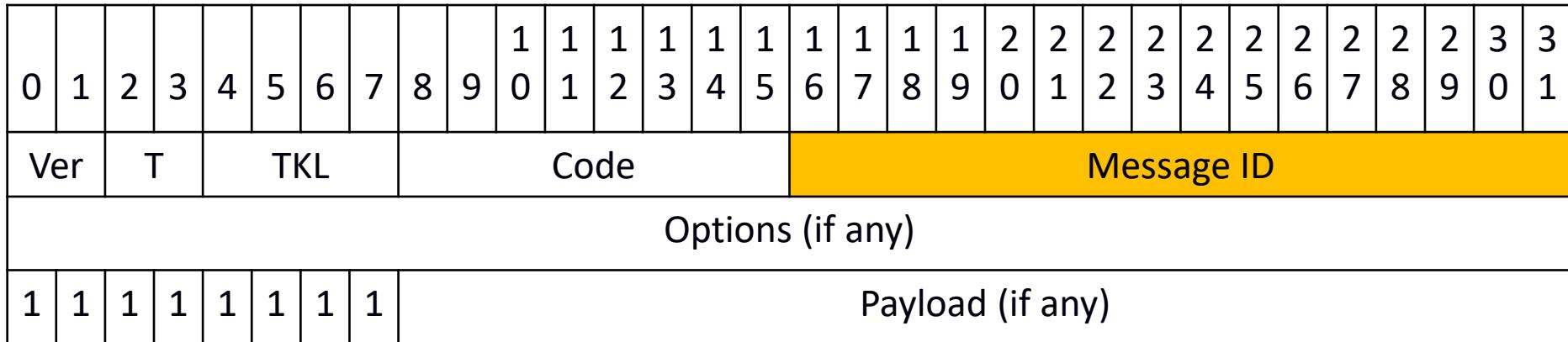
CoAP kodovi zahtjeva i odgovora

Općenita podjela	
Kod	Opis
0.00	Kod prazne poruke
0.01 – 0.31	Kodovi zahtjeva
1.00 – 1.31	Rezervirani kodovi
2.00 – 5.31	Kodovi odgovora
6.00 – 7.31	Rezervirani kodovi

Kodovi zahtjeva	
Kod	Opis
0.01	GET
0.02	POST
0.03	PUT
0.04	DELETE
0.05 – 1.31	Nedodijeljeni kodovi

Kodovi odgovora					
Kod	Opis	4.01	Unauthorized	4.14	Nedodijeljen kod
2.00	Nedodijeljen kod	4.02	Bad option	4.15	Unsupported Content-Format
2.01	Created	4.03	Forbidden	4.16 – 4.31	Nedodijeljeni kodovi
2.02	Deleted	4.04	Not found	5.00	Internal Poslužitelj Error
2.03	Valid	4.05	Method not allowed	5.01	Not Implemented
2.04	Changed	4.06	Not acceptable	5.02	Bad Gateway
2.05	Content	4.07 – 4.11	Nedodijeljeni kodovi	5.03	Service Unavailable
2.06 – 2.31	Nedodijeljeni kodovi	4.12	Precision failed	5.04	Gateway Timeout
3.00 – 3.31	Rezervirani kodovi	4.13	Request entity too large	5.05	Proxying Not Supported
4.00	Bad request			5.06 – 5.31	Nedodijeljeni kodovi

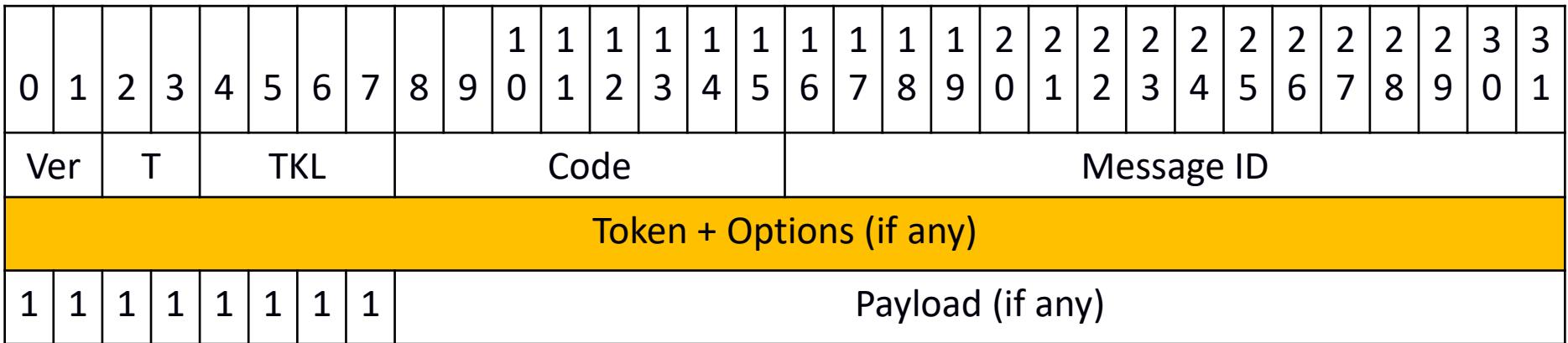
Objašnjenje zaglavljaja CoAP poruke



- ***Message ID***

- 16-bitni prirodni broj
- za detekciju višestrukih poruka i povezivanje poruka tipa *Acknowledgement/Reset* s porukama tipa *Confirmable/Non-confirmable*

Objašnjenje zaglavlja CoAP poruke

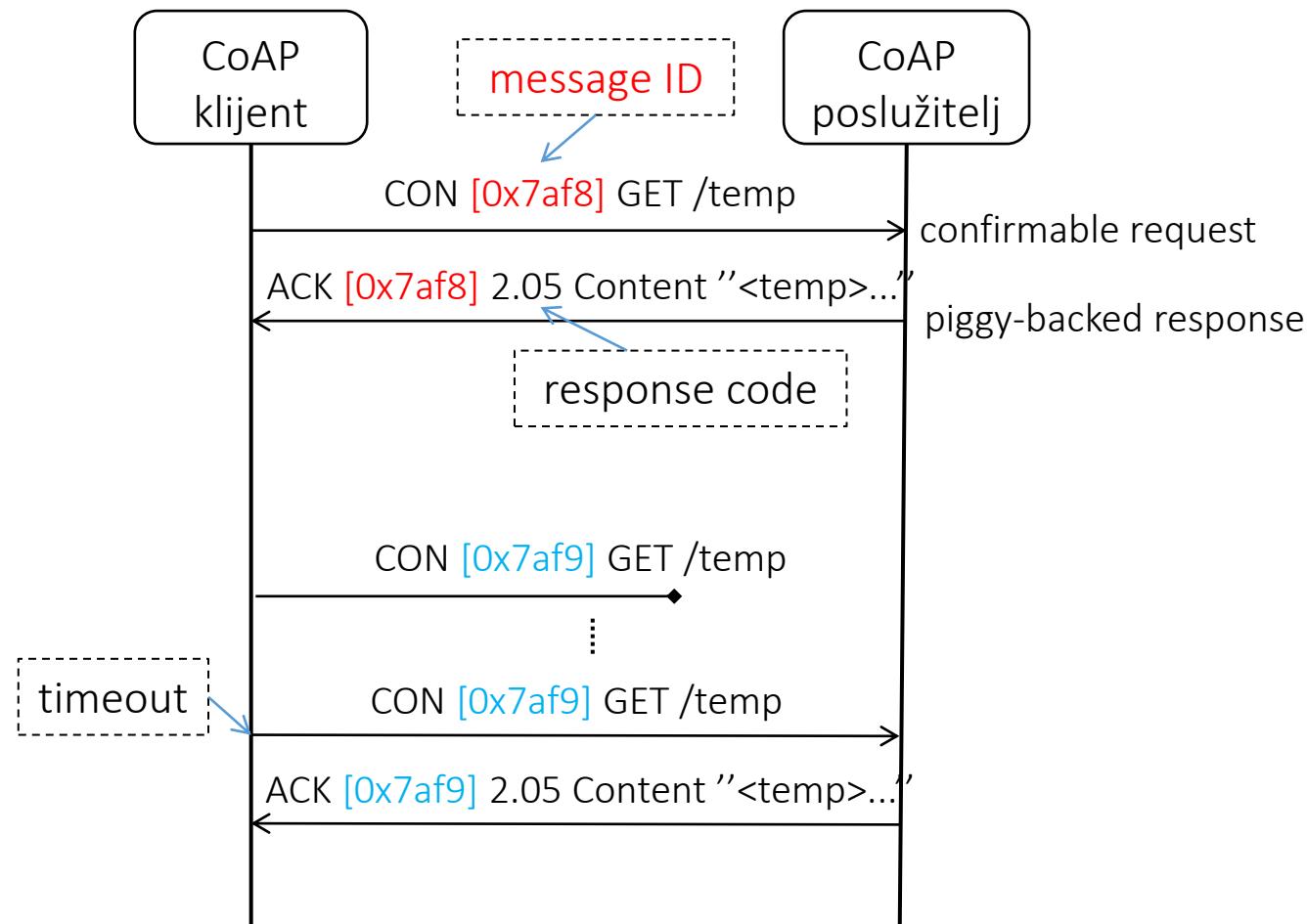


- Token se koristi za povezivanje zahtjeva i njegovog odgovora te je neovisan o *Message ID*
- svaka opcija mora biti u skladu sa specifikacijom, a sastoji se od:
 - Option number (delta) – 4-bitni prirodni broj
 - Option length – 4-bitni prirodni broj
 - Option value – sadrži jednu od sljedećih opcija:
 - Empty – niz bitova duljine 0
 - Opaque – nedefinirana struktura niza okteta
 - Uint – konačan niz okteta prikazan u polju *Option length*
 - String – niz znakova kodiran koristeći UTF8 (RFC3629)

*CoAP defines a single set of options that are used in both requests and responses: **Content-Format**, **Etag**, **Location-Path**, **Location-Query**, **Max-Age**, **Proxy-Uri**, **Proxy-Scheme**, **Uri-Host**, **Uri-Path**, **Uri-Port**, **Uri-Query**, **Accept**, **If-Match**, **If-None-Match**, **Size***

Npr. CoAP Content-Formats: **text**, **utf-8**, **json**, **xml**...

CoAP – confirmable request



Interakcija: zahtjev-odgovor

Request:

Header: GET (T=CON, Code=1, MID=0x7af8)

Uri-Path: "temp"

8-bitni zapis odgovora 2.05

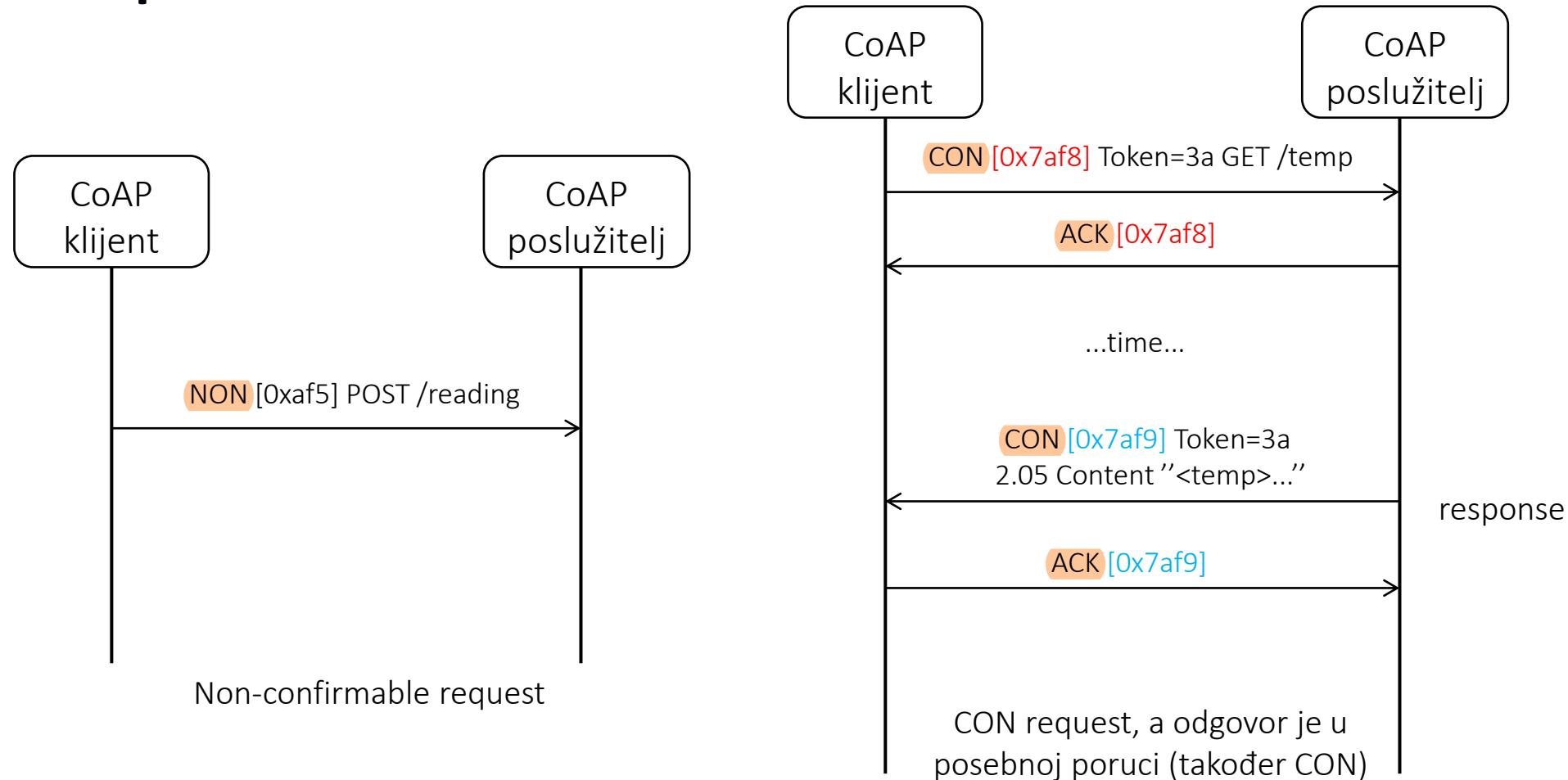
Response:

Header: 2.05 Content (T=ACK, Code=69, MID=0x7af8)

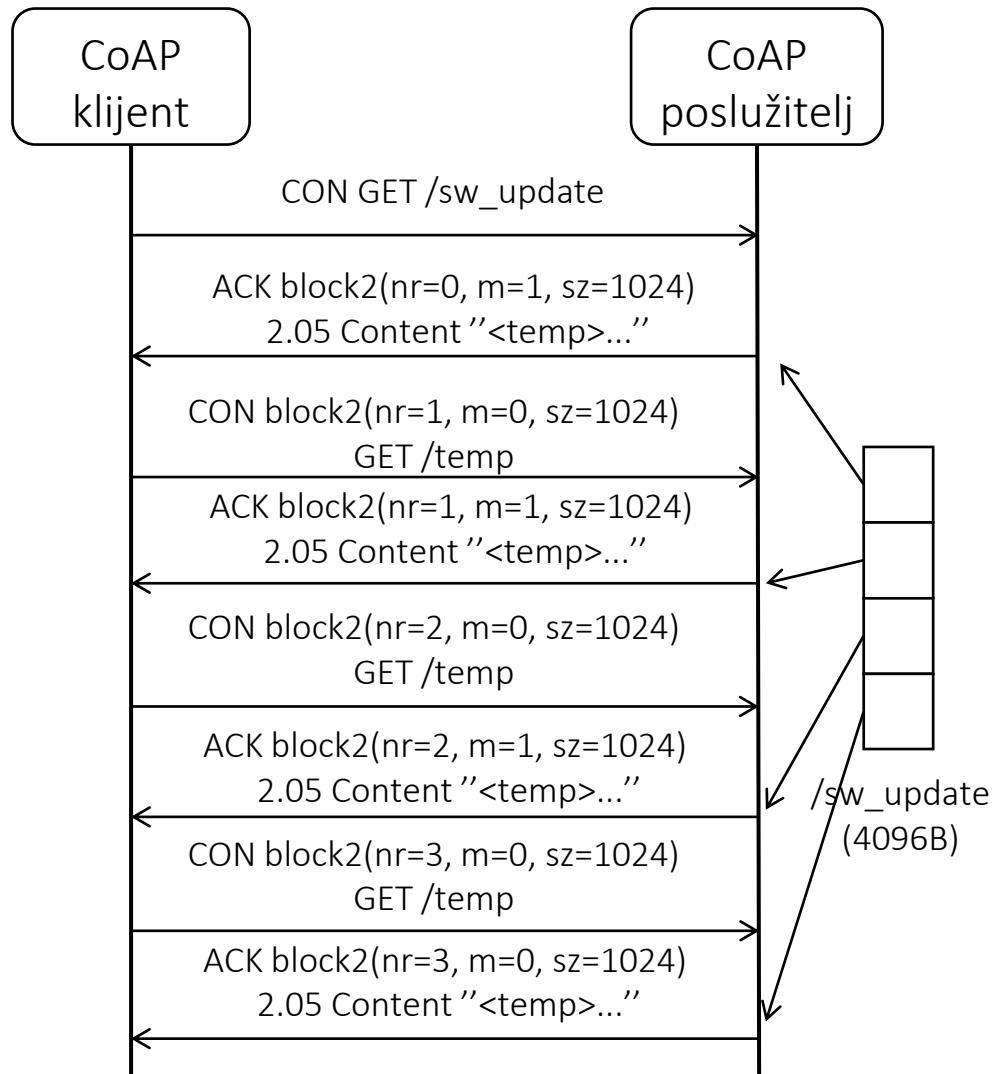
Payload: "<temp>22.3 C</temp>"

message ID omogućuje detekciju duplih poruka

CoAP – non-confirmable request i separate response



CoAP – block transfer

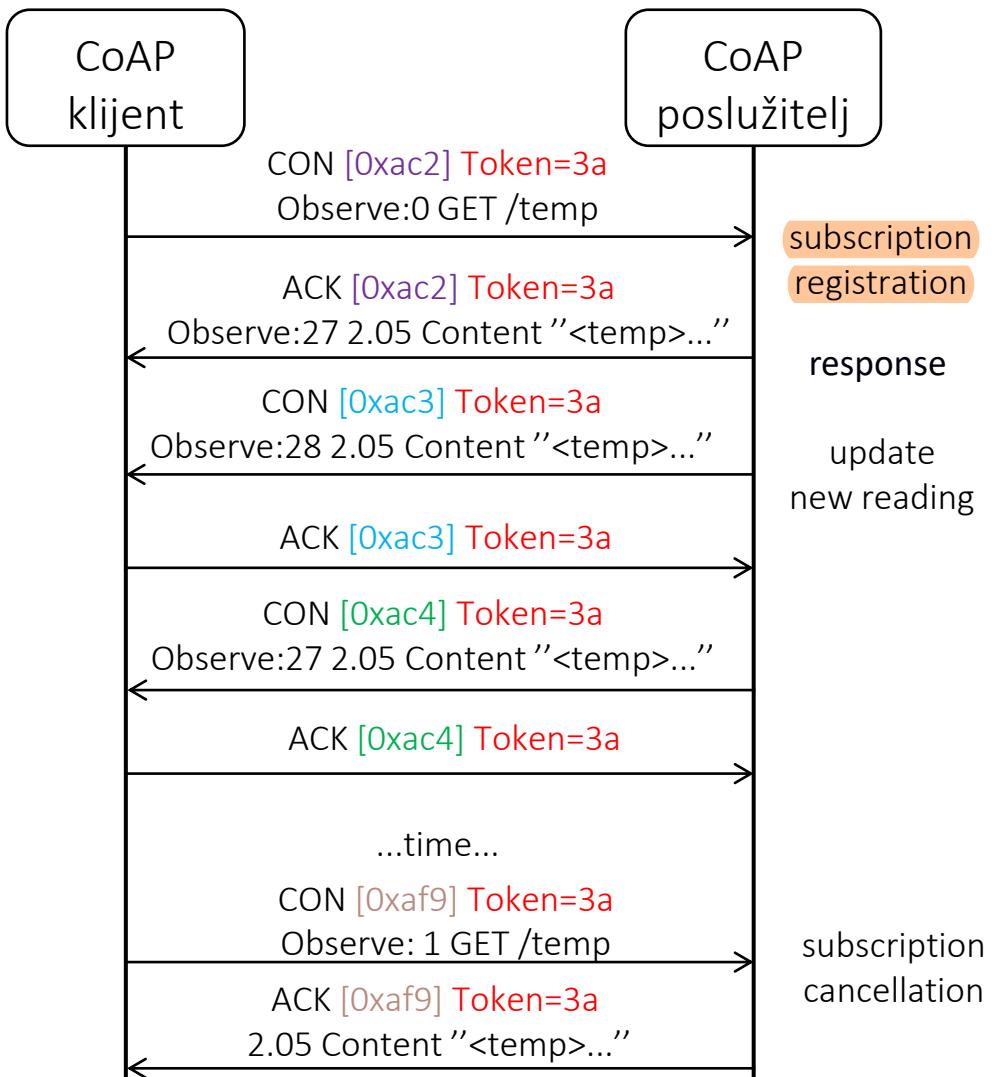


If you're required to send content that exceeds the amount of data possible to embed in a datagram, CoAP allows you to divide your content into **blocks**.

Whenever you send data using CoAP, you can also provide a **block size**. If the content exceeds this block size, the CoAP layer divides it into blocks and transmits them individually, while the receiving end assembles the blocks and delivers the complete payload to its application at the other end. Block-wise transfers using CoAP is defined in RFC 7959:

<https://tools.ietf.org/html/rfc7959>.

CoAP - observation



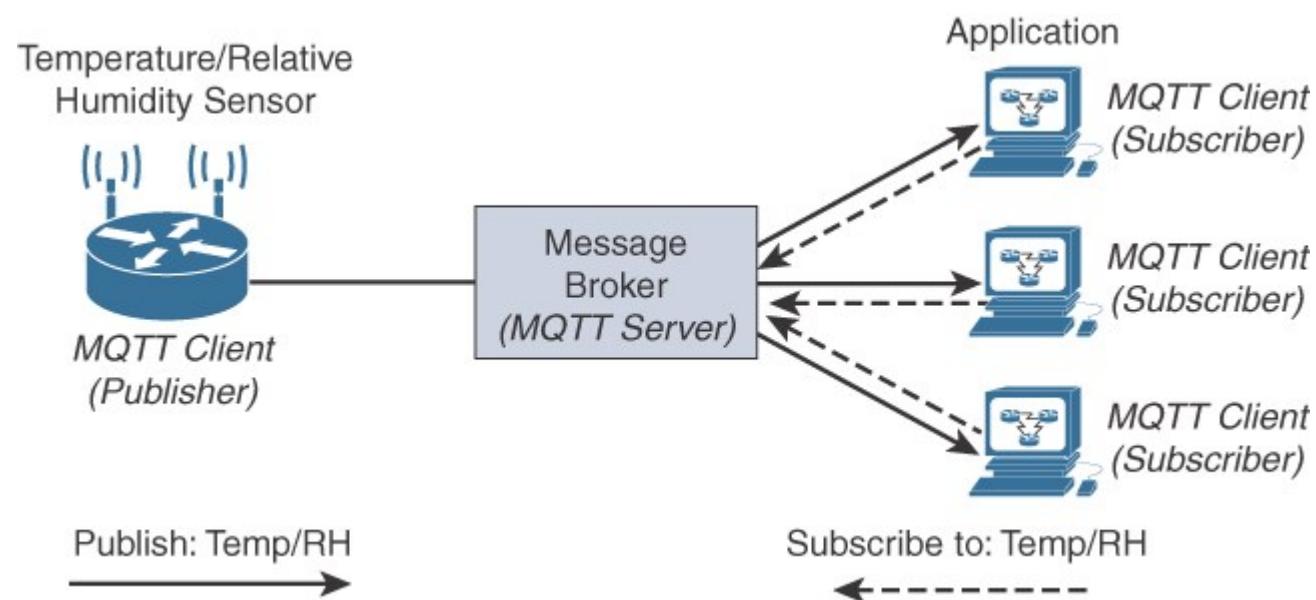
- Klijent registrira preplatu
- U odgovoru (ACK) se prenosi očitanje, a sljedeći odgovori se šalju bez eksplicitnog zahtjeva dok ne stigne poruka za otkazivanje preplate
- Smanjuje se generirani promet, očitanja se dostavljaju u trenutku nastanka
- Resursi koji podržavaju ovaj pattern se zovu *observable resources*, definirano u RFC 7641:
<https://tools.ietf.org/html/rfc7641>

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

- Jednostavan protokol za prijenos poruka na načelu **objavi-preplati** prilagođen uređajima i mrežama s ograničenim resursima
- Dodaje mali transportni overhead (header je veličine 2 byte), „*lightweight protocol*”
- Koristi **TCP/IP** na mrežnom sloju (najčešće, moguće izvedbe putem UDP-a)
- <http://mqtt.org>
- MQTT je standard koji definira OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards)
 - posljednja verzija standarda [MQTT v5.0](#), 7.3.2019.
 - prethodna verzija [MQTT v3.1.1](#), 10.12.2015.

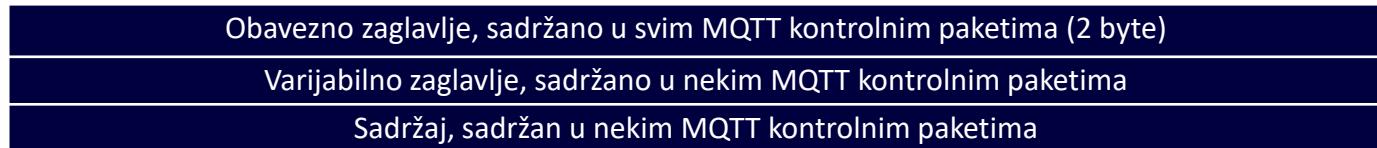
Osnovni komunikacijski mehanizam

- **MQTT Broker**: posrednik između objavljivača i pretplatnika (poslužitelj)
- **MQTT Client**
 - **Publisher**: objavljuje poruke na *Topic*
 - **Subscriber**: pretplaćuje se na *Topic*, prima objavljene poruke putem Brokera nakon što ih posrednik primi od objavlivača
 - 1 poruka se potencijalno isporučuje do n pretplatnika



Kontrolni paketi

- Sastoje se od zaglavlja fiksne duljine (2 byte) nakon čega može slijediti:
 - *varijabilno zaglavje*
 - *sadržaj* (do 256 MB)
- MQTT prenosi **kontrolne** pakete putem **TCP-a** (port 1883)
- TCP osigurava **ispravan prijenos** paketa bez gubitaka
- MQTT se može koristiti u kombinaciji s TLS-om (port 8883)
- Za prijenos se također može koristiti WebSocket (definirano u RFC 6455)
- *Durable Sessions*: omogućuju perzistentnost poruka (*Store and Forward*)



MQTT-sjednica

- Ostvaruje se između svakog klijenta i brokera
- Sastoji se od 4 faze:
 - *session establishment*,
 - *authentication*,
 - *data exchange*,
 - *session termination*.
- Svaki klijent se identificira jedinstvenim identifikatorom koji služi i za identifikaciju otvorene sjednice
- Prilikom isporuke poruke do više klijenata, broker će svaku isporuku obaviti neovisno o ostalim sjednicama

Vrste poruka

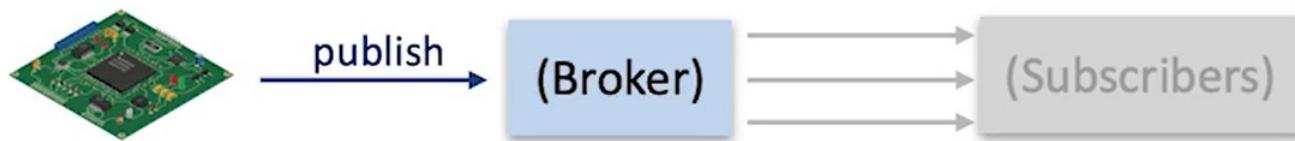
- Preplate na temu generiraju kontrolne pakete **SUBSCRIBE/SUBACK**
- Brisanje preplate na temu se ostvaruje pomoću **UNSUBSCRIBE/UNSUBACK**
- Slanje podataka i potvrda primanja **PUBLISH/PUBACK**
- Za zatvaranje konekcije se koristi **DISCONNECT**
 - jedina poruka iza koje ne slijedi ACK
 - slanjem client ID-ja se ostvaruje reconnect
- Za održavanje sjednice (zbog konekcije TCP-a) se koriste **PINGREQ/PINGRESP**
 - provjera da je klijent još uvijek dostupan
- **PUBREC** i **PUBREL** (objašnjene na sl. 29)

Razine QoS-a (1/2)

- **Razina 0** (najniža, *best effort*) uključuje isporuku poruke **najviše jedan put**, pri čemu je moguće da poruka **uopće ne stigne** do odredišta.
 - *At most once*, koristi se samo PUBLISH
- **Razina 1** uključuje isporuku **barem jedan put**, pri čemu je moguće primanje više od jedne poruke. Moguće su **duple poruke**.
 - *At least once*, koriste se PUBLISH i PUBACK, a u varijabilnom zaglavlju piše *packetID*.
 - Ako ne stigne PUBACK, PUBLISH se ponavlja.
- **Razina 2** uključuje isporuku poruke **točno jedan put**.
 - *Exactly once*, ova razina ima značajan *overhead* i zahtijeva ACK u dva koraka

Razine QoS-a (2/2)

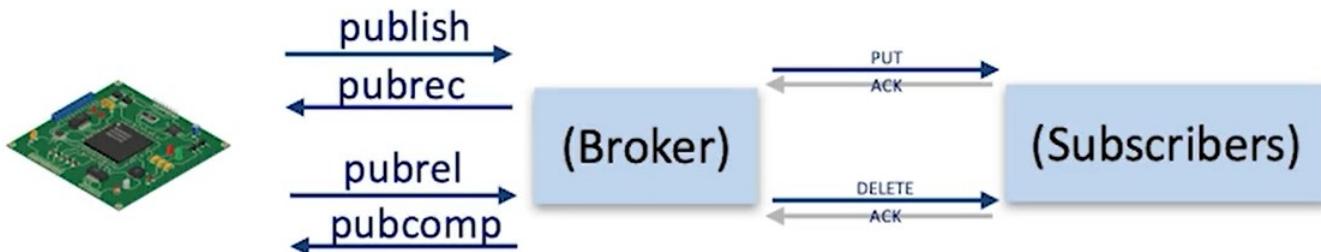
At most once:



At least once:



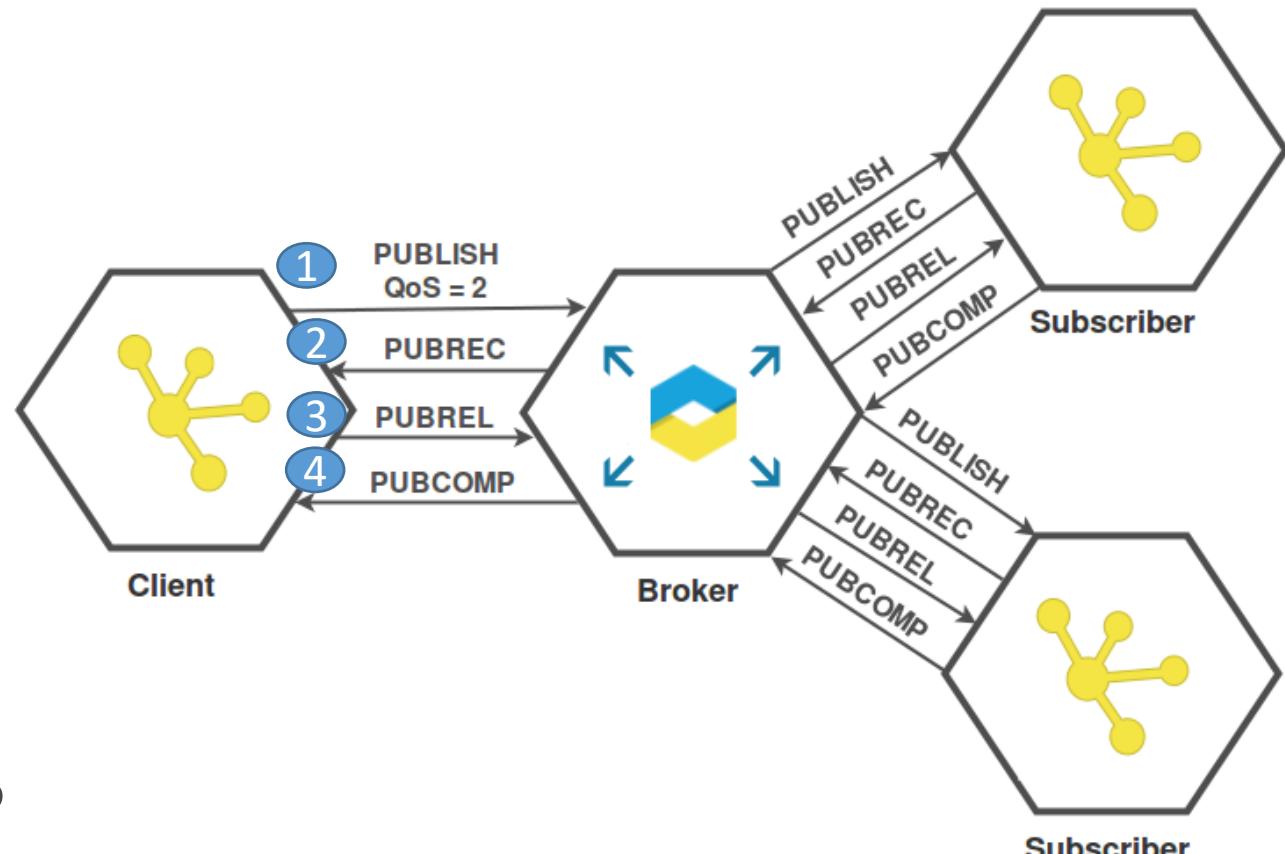
Exactly once:



Poruke za QoS=2

1. Klijent šalje PUBLISH s QoS=2.
2. Broker pohranjuje poruku i odgovara s PUBREC klijentu.
3. Klijent šalje brokeru PUBREL.
4. Broker pohranjuje poruku i odgovara s PUBCOMP.
5. Nakon primitka poruke, broker ponavlja isporuku u dva koraka PUBLISH/PUBREC i PUBREL/PUBCOMP do svakog pretplatnika.

<https://www.iotbroker.cloud/blog/MQTT/Publish%20message%20flow%20and%20levels%20of%20QoS%20in%20MQTT>



Jezik za pretplate

- Temelji se na hijerarhiji tema (*topic*), teme u hijerarhiji se odvajaju znakom /
 - Npr. FER/C08-18/sensors/temperature, FER/C08-18/sensors/humidity
 - Klijent-objavljavač ne mora prije slanja prve poruke na temu konfigurirati novu temu na brokeru, samo šalje poruku i definira temu
- Primjeri pretplate
 - FER/C08-18/sensors/temperature (samo na jednu temu)
 - FER/# (sve teme) koje počinju s FER, # označava sve preostale stupnjeve hijerarhije)
 - FER/C08-18/# (sve teme) registrirane za FER/C08-18, npr. svi senzori i aktuatori)
 - FER/+/sensors/+ (pretplata na sve senzore na FER-u, + označava samo jedan stupanj u hijerarhiji)

Dodatni koncepti

- *Clean Session*
 - ako je *clean session flag* = 1 kada se ostvaruje sjednica, sve definirane pretplate tijekom sjednice će biti uklonjene s brokera nakon njenog zatvaranja
 - ako je *clean session flag* = 0 pretplate ostaju definirane i nakon zatvaranja sjednice
- *Durable Connections*
 - Kada je *clean session flag* = 0, sve poruke isporučene brokeru za vrijeme kada je klijent odspojen koje imaju QoS>0 će biti pohranjene na brokeru i isporučene nakon što se klijent ponovno spoji
- *Will flag*
 - definira pravila u slučaju neočekivanog prekida konekcije, postavlja klijent kada kreira sjednicu
 - MQTT v5.0 definira *Session expiry* i *Message expiry*

MQTT: format zaglavlja

Zaglavje,
2 byte

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1					Message Type	DUP flag	QoS level	RETAIN
byte 2						Remaining Length		

- **CONNECT** (klijent -> poslužitelj) – klijent poslužitelju šalje zahtjev za otvaranje konekcije;
- **CONNACK** (poslužitelj -> klijent) – poslužitelj klijentu šalje potvrdu o stvaranju konekcije;
- **PUBLISH** (klijent -> poslužitelj, poslužitelj -> klijent) – slanje poruke;
- **PUBACK** (klijent -> poslužitelj, poslužitelj -> klijent) – potvrda o slanju poruke;
- **PUBREC*** (klijent -> poslužitelj, poslužitelj -> klijent) – PUBLISH RECeived, potvrda o primanju poruke;
- **PUBREL*** (klijent -> poslužitelj, poslužitelj -> klijent) – PUBLISH RELease, potvrda za otpuštanje poruke;
- **PUBCOMP*** (klijent -> poslužitelj, poslužitelj -> klijent) – PUBLISH COMPlete, potvrda o uspješnom prijenosu poruke, posljednja potvrda ra QoS=2;

*poruke se koriste kod sigurnog isporučivanja (engl. *assured delivery*), vezano uz QoS level

MQTT: format zaglavlja

Zaglavlje,
2 byte

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1					Message Type	DUP flag	QoS level	RETAIN
byte 2						Remaining Length		

- **SUBSCRIBE** (klijent -> poslužitelj) – klijent poslužitelju šalje zahtjev za pretplatom;
- **SUBACK** (poslužitelj -> klijent) – poslužitelj klijentu šalje potvrdu o pretplati;
- **UNSUBSCRIBE** (klijent -> poslužitelj) – klijent poslužitelju šalje zahtjev za brisanjem pretplate;
- **UNSUBACK** (poslužitelj -> klijent) – poslužitelj klijentu šalje potvrdu o brisanju pretplate;
- **PINGREQ** (klijent -> poslužitelj) – klijent šalje poslužitelju PING zahtjev (za održavanje TCP konekcije);
- **PINGRESP** (poslužitelj -> klijent) – poslužitelj odgovara klijentu na PING zahtjev;
- **DISCONNECT** (klijent -> poslužitelj) – klijent zatvara konekciju prema poslužitelju.

MQTT: kodovi za Message Type

Mnemonic	Enumeration	Description
Reserved	0	Reserved
CONNECT	1	Client request to connect to Server
CONNACK	2	Connect Acknowledgment
PUBLISH	3	Publish message
PUBREC	5	Publish Received (assured delivery part 1)
PUBREL	6	Publish Release (assured delivery part 2)
PUBCOMP	7	Publish Complete (assured delivery part 3)
SUBSCRIBE	8	Client Subscribe request
SUBACK	9	Subscribe Acknowledgment
UNSUBSCRIBE	10	Client Unsubscribe request
UNSUBACK	11	Unsubscribe Acknowledgment
PINGREQ	12	PING Request
PINGRESP	13	PING Response
DISCONNECT	14	Client is Disconnecting
Reserved	15	Reserved

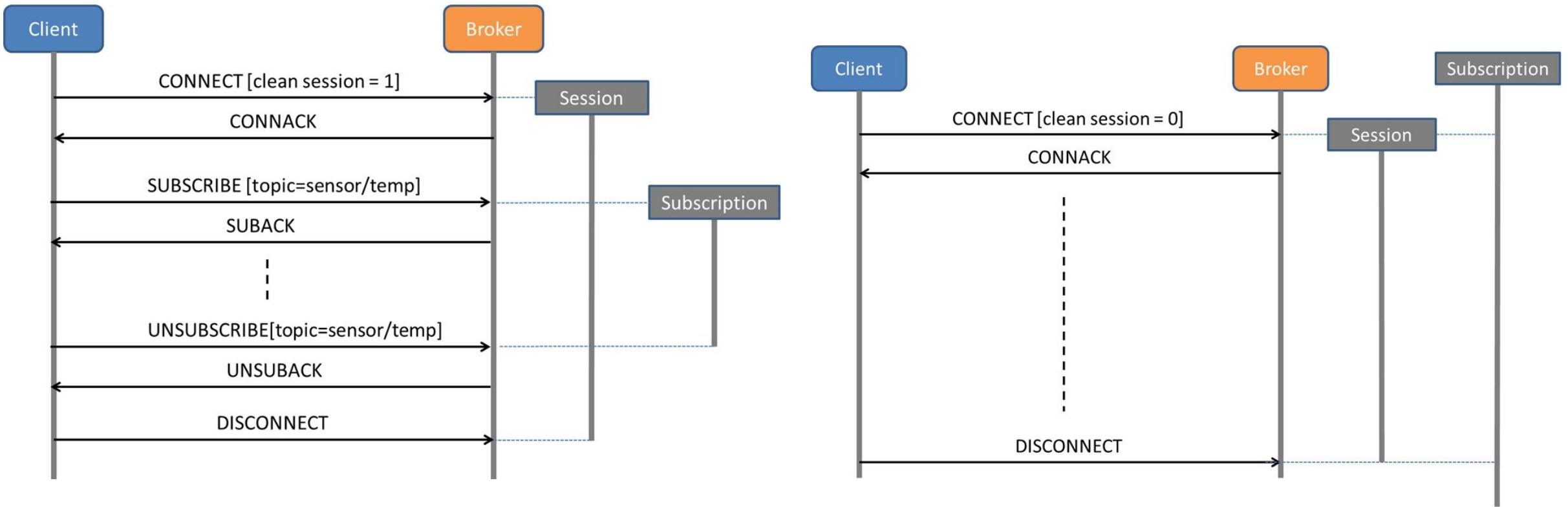
MQTT: format zaglavlja

Zaglavljje,
2 byte

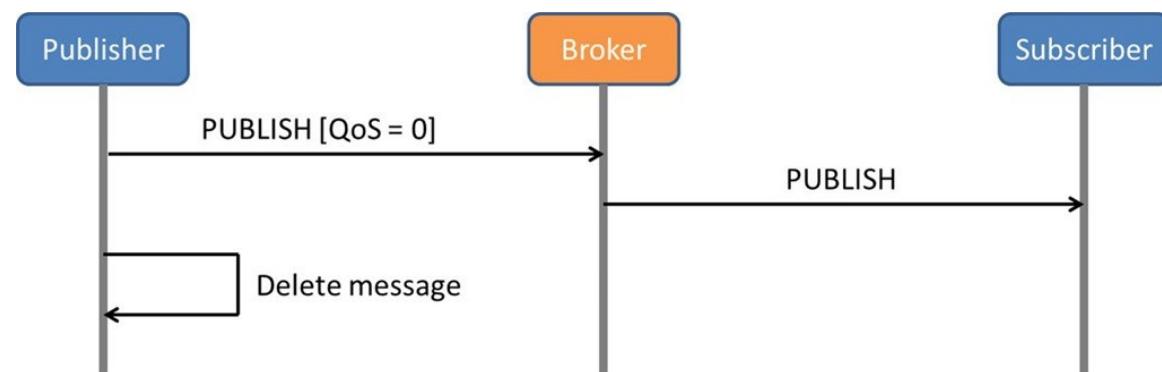
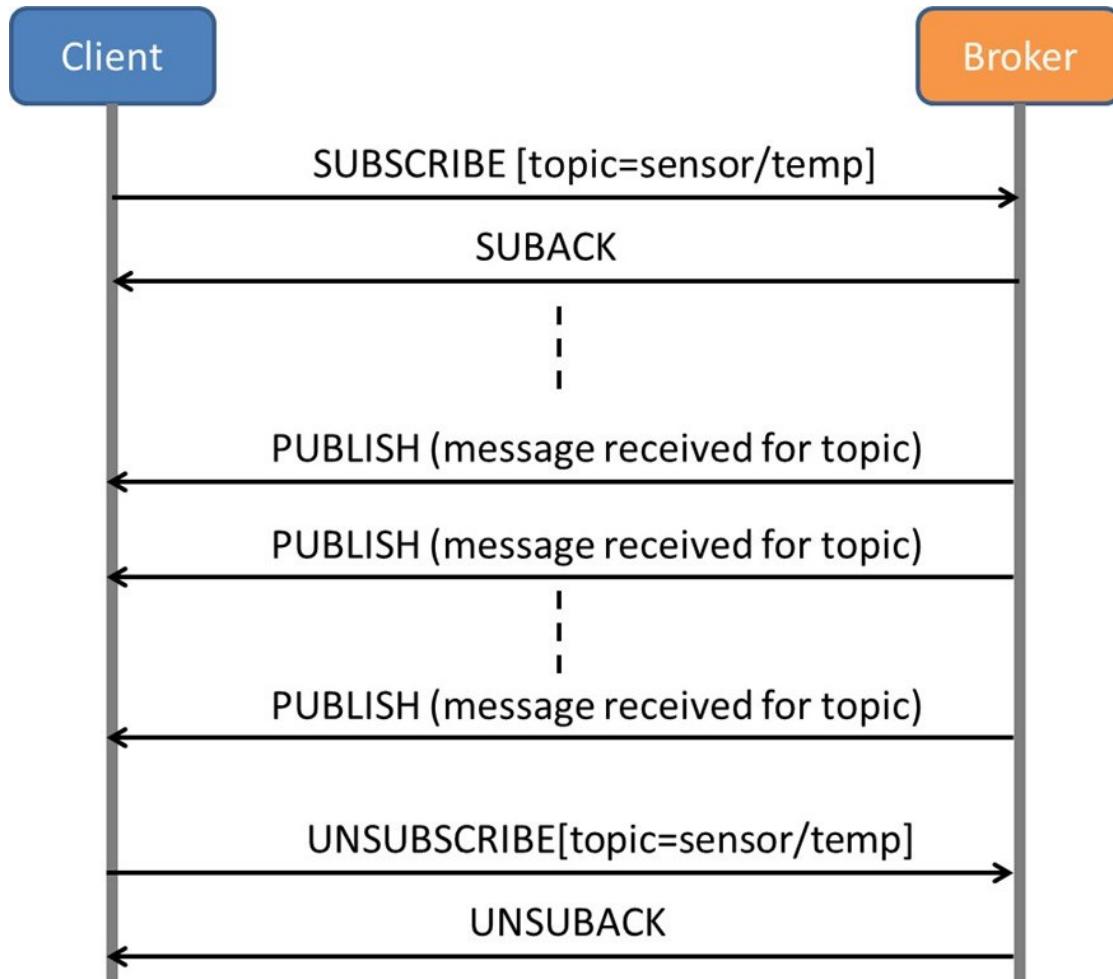
bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1					DUP flag		QoS level	RETAIN
byte 2						Remaining Length		

- **DUP flag** – ponovljeno slanje
- **QoS** – definira razinu kvalitete usluge (0, 1 ili 2)
- **RETAIN** – koristi se samo u porukama PUBLISH
 - Kada klijent šalje PUBLISH do brokera, ako je retain flag = 1, broker treba pohraniti poruku, poruka će biti isporučena novim pretplatnicima s odgovarajućom pretplatom (novi pretplatnici ne čekaju novu obavijest, već primaju posljednju poznatu vrijednost).
 - tzv. *retained messages*

CONNECT/DISCONNECT

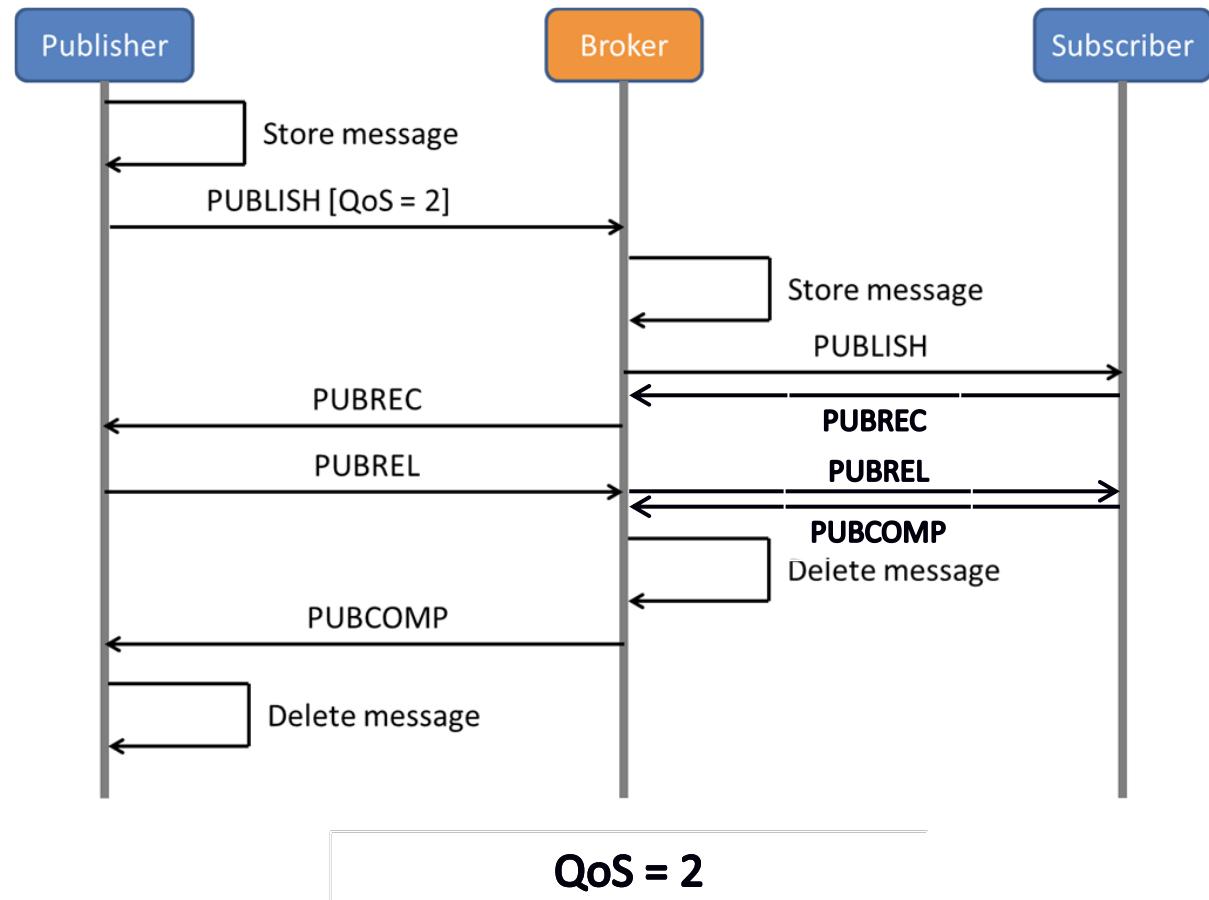
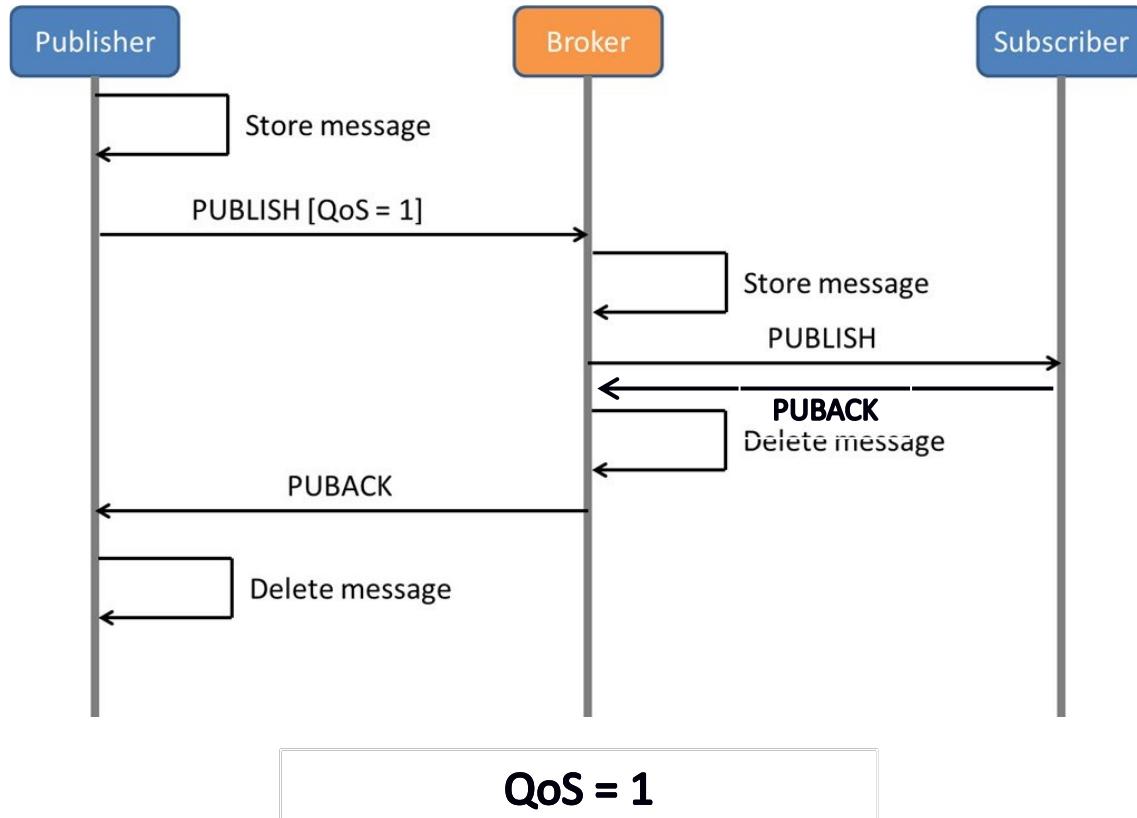


SUBSCRIBE/PUBLISH

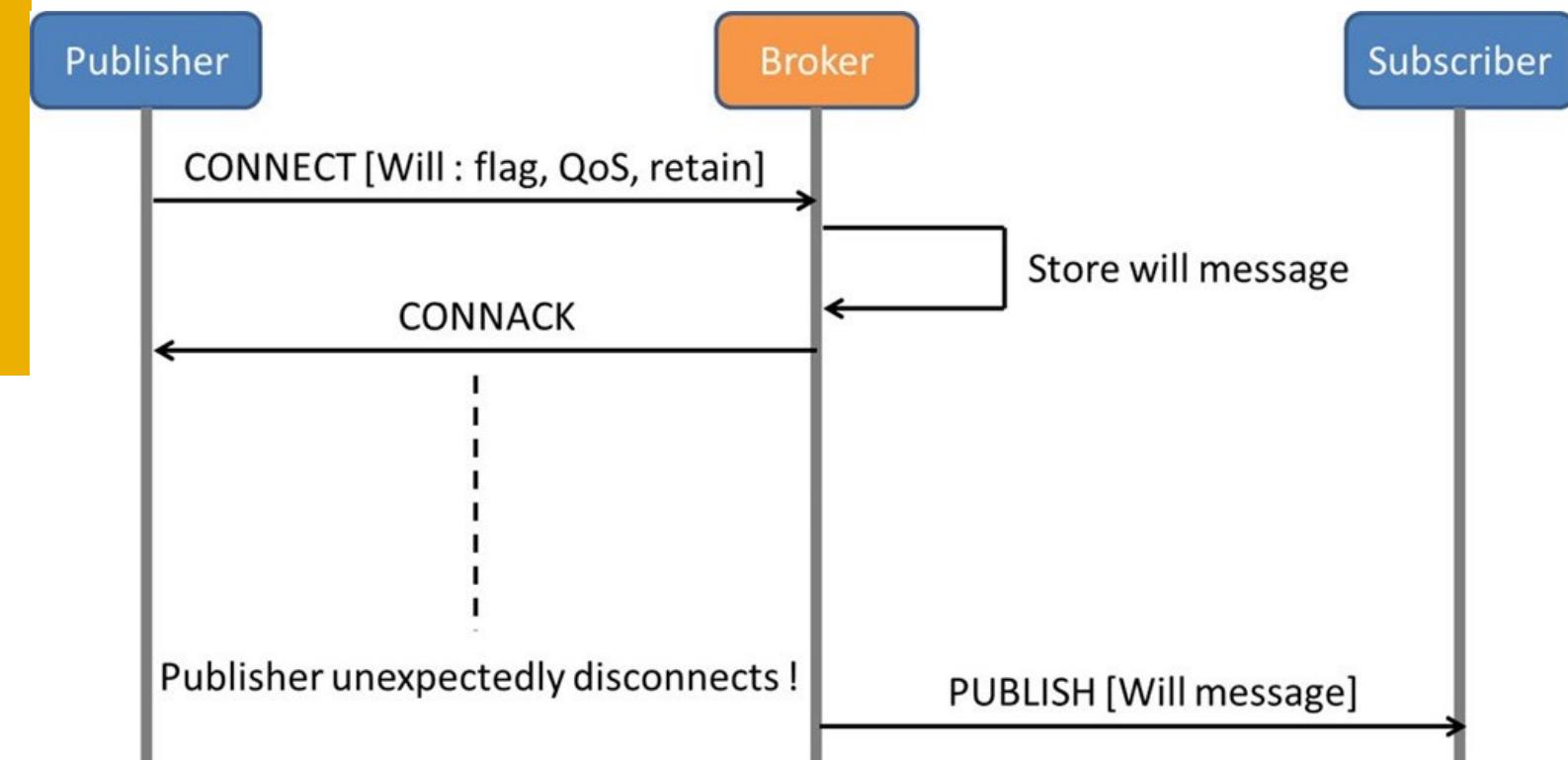


QoS = 0

PUBLISH, QoS>0



#Will message



- Publisher može prilikom stvaranja sjednice definirati *will flag*, *will topic* i *will payload*
- Ako dođe do njegovog nenadanog ispada, *will payload* se isporučuje preplatnicima

Prednosti i nedostaci MQTT-a

Prednosti

- Messaging protokol prilagođen uređajima i mrežama ograničenih resursa
- Pouzdana isporuka poruka (s obzirom da se temelji na TCP-u) u jednoj sjednici
- Preplata omogućuje isporuke poruke na više odredišta
- Različiti nivoi QoS-a: 1 i 2 osiguravaju isporuku poruke preplatnicima

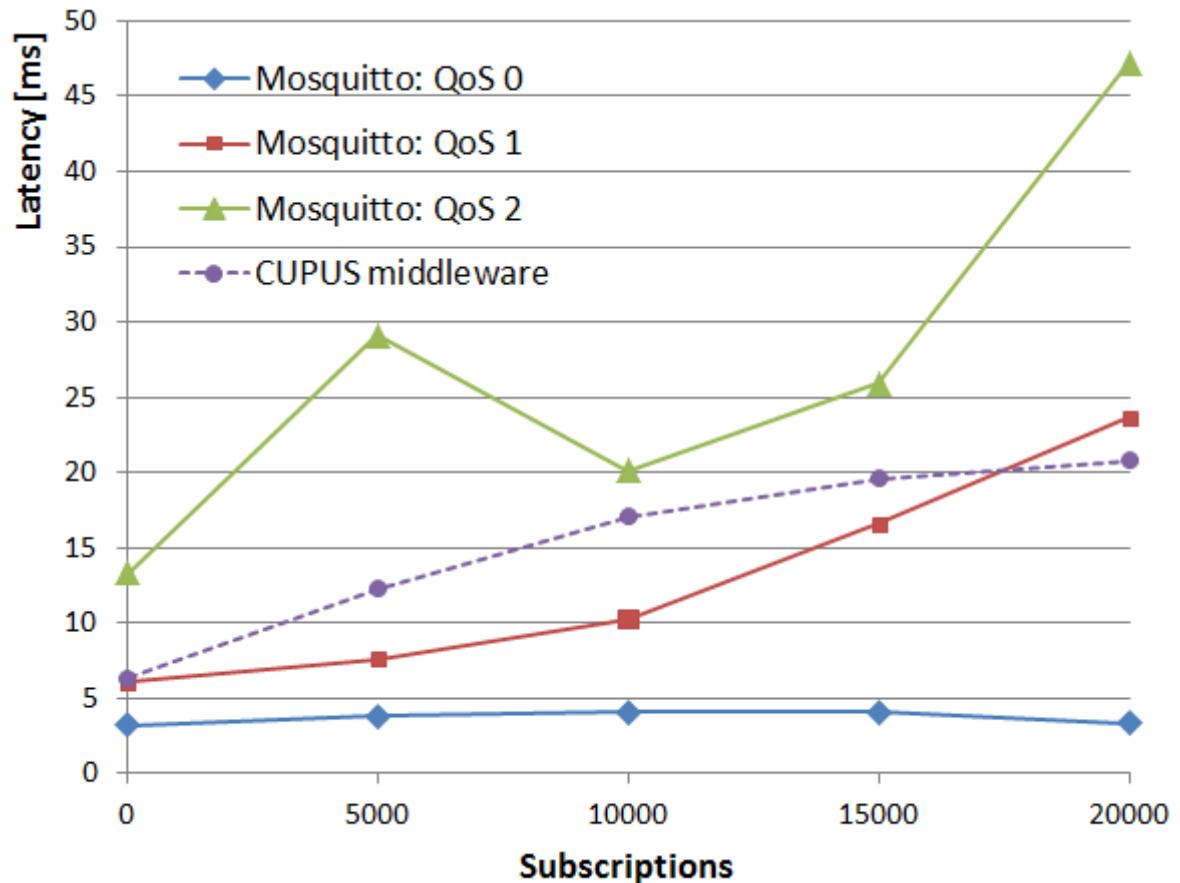
Nedostaci

- Korištenje TCP-a dodaje značajni overhead
 - Uređaj: podržava TCP/IP stack
 - Konekcija između klijenata i broker mora biti kontinuirano aktivna, čak i kada se ne šalju podaci ("keep alive")
- Značajna potrošnja energije na IoT-uređaju, nije pogodan za uređaje s ograničenom količinom energije
 - Postoji varijanta protokola koja se temelji na UDP-u, ali se rjeđe koristi

Usporedba CoAP-a i MQTT

	CoAP	MQTT
Communications Model	Request-Response, or Pub-Sub	Pub-Sub
RESTful	Yes	No
Transport Layer Protocol	Preferably UDP; TCP can be used	Preferably TCP; UDP can be used (MQTT-S)
Header	4 Bytes	2 Bytes
Number of message types	4	16
Messaging	Asynchronous and Synchronous	Asynchronous
Application Reliability	2 Levels	3 Levels
Security	IPSEC or DTLS	TLS
Intermediaries	Yes	Yes (MQTT-S)

Test performanci za MQTT



Usporedba vremena obrade i isporuke
poruka svim preplatnicima za QoS = 0, 1 i 2

MQTT server: Mosquitto
MQTT client: Paho

Izvor: Antonić, Aleksandar; Marjanović, Martina; Skočir, Pavle; Podnar Žarko, Ivana.

Comparison of the CUPUS middleware and MQTT protocol for smart city services // Proceedings of the 13th International Conference on Telecommunications / Plank, Thomas (ur.).

Graz : Graz University of Technology, 2015. 1-8

Literatura

1. David Hanes, Gonzalo Salgueiro, Patrick Grosssetete, Robert Barton, and Jerome Henry. 2017. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things (1st ed.). Cisco Press. (6. poglavlje)
2. MQTT Version 5.0, <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

5. Komunikacijski protokoli za
komunikaciju uređaja (sloj podatkovne
poveznice): LoRaWAN, LTE-M, NB-IoT

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Sigfox
- LoRa i LoRaWAN
- LTE-M
- NB-IoT

LPWAN – Low Power Wide Area Network

- Mala potrošnja energije
- Uređaji mogu raditi na bateriju
- Velike udaljenosti komunikacije (~x km)
- Niže frekvencije komunikacije → povećana udaljenost
- Manja brzina prijenosa podataka

Sigfox



- Tehnologija razvijena 2009. u Toulouse, France
- Patentirana i zatvorena tehnologija
- Koristi nelicencirani pojas ISM
- Ograničenja:
 - Do 140 poruka po uređaju dnevno može poslati (*duty cycle 1%, 6 poruka/sat*)
 - Veličina podataka koje prenosi: 12 okteta (slanje) i 8 okteta (primanje)
 - Brzina prijenosa do 100 bps (slanje) i 600 bps (primanje)
- Originalno je zamišljen da je komunikacija ide u jednom smjeru (kao senzorska mreža)

Sigfox – fizički sloj



- Ultra Narrow Band (UNB)
- Frekvencije:
 - 868 MHz: Europa (regulatorni dokument ETSI 300-200)
 - 902 MHz: Sjeverna Amerika (regulatorni dokument FCC part 15)
- 333 kanala, širina kanala 100 Hz
- Osjetljivost prijamnika: -120 dBm/-142 dBm
- Snaga predajnika: +14 dBm, a u Sjevernoj Americi +22 dBm

Sigfox – sloj podatkovne poveznice



- MAC – okvir kod slanja (*uplink*)

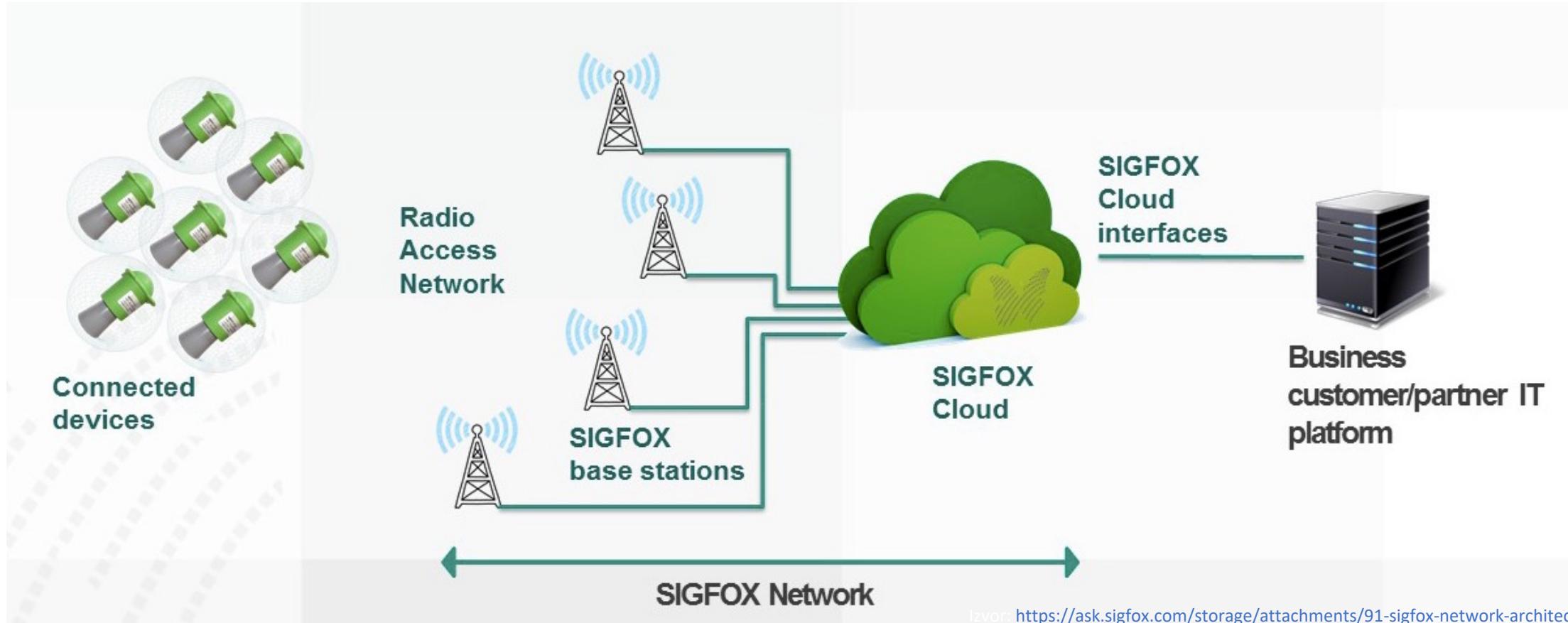
32 bita	16 bita	32 bita	0-96 bitova	varijabilno	16 bita
Preambula	Sink. okvira	ID krajnjeg uređaja	Sadržaj okvira	Autentikacija	FCS

- MAC – okvir kod primanja (*downlink*)

32 bita	13 bita	2 bita	8 bita	16 bita	varijabilno	0-64 bita
Preambula	Sink. okvira	Zastavice	FCS	Autentikacija	Kodovi greške	Sadržaj okvira

- FCS – Frame Check Sequence

Sigfox – topologija



Sigfox – primjena



- Za slanje male količine podataka u praskovima (*burst*)
- Alarmi
- Jednostavna brojila
- Senzori okoline (ne velike preciznosti ~0,004)

LoRa i LoRaWAN

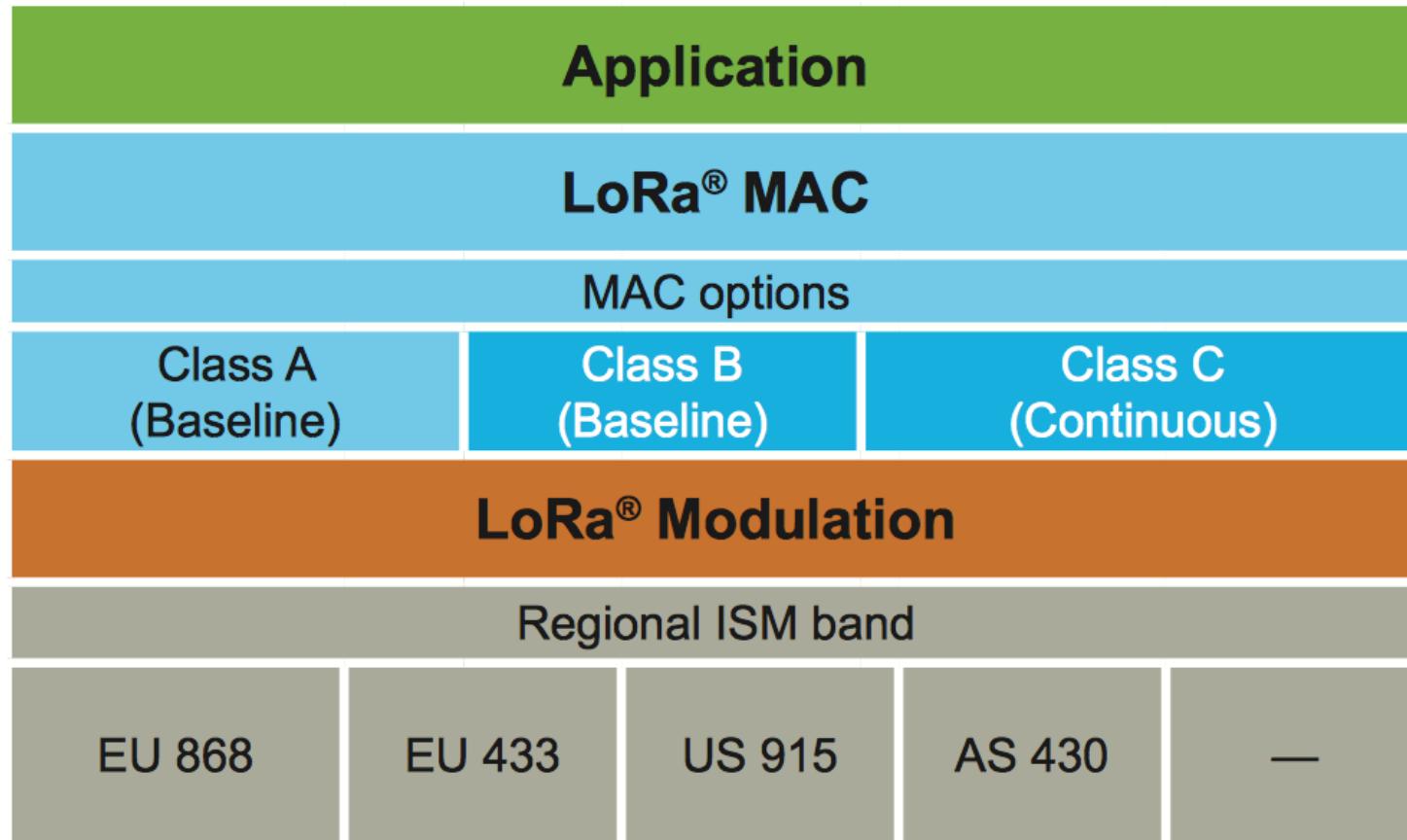


LoRa ili LoRaWAN



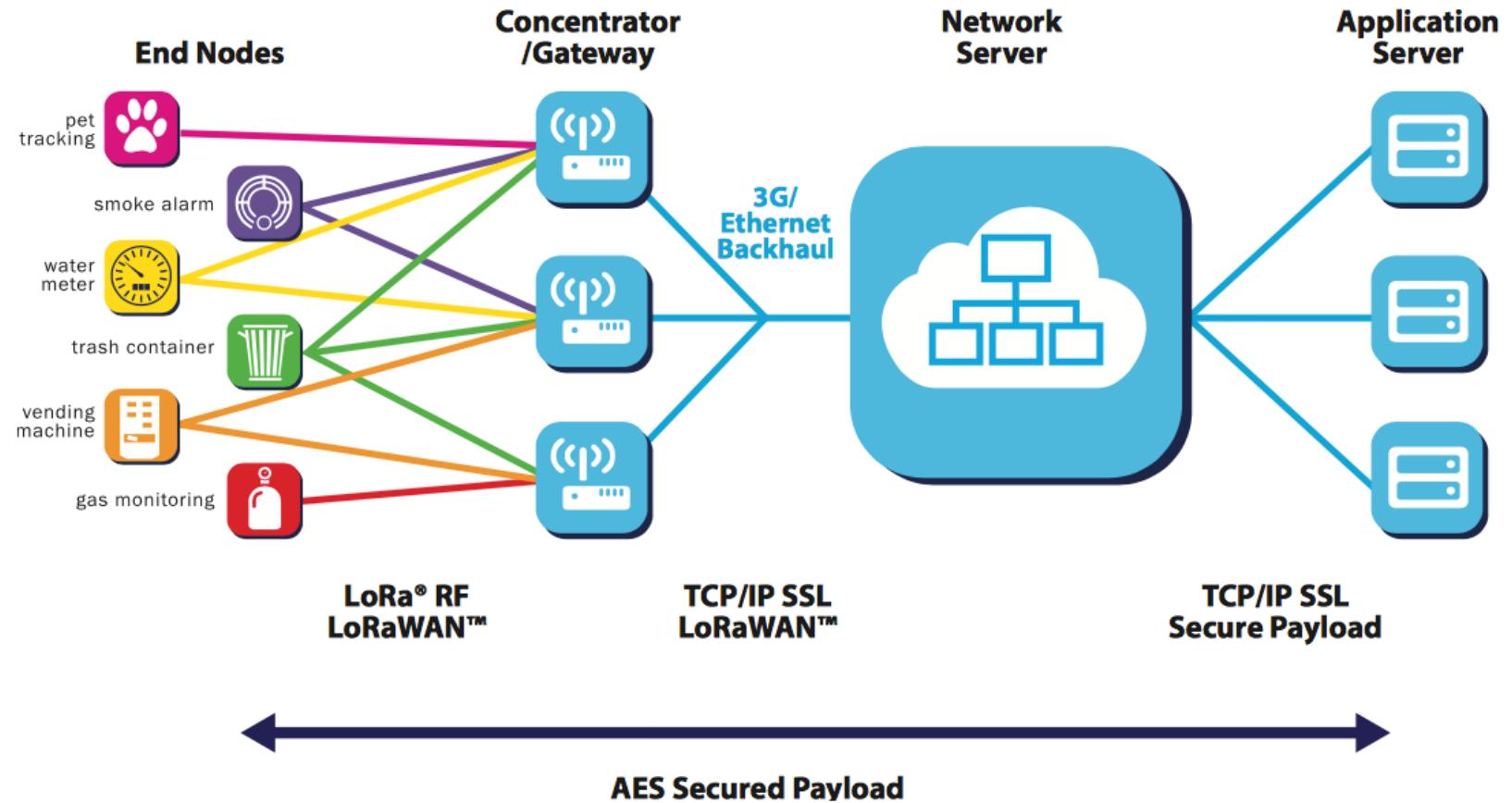
- LoRa – definira fizički sloj
- LoRaWAN – definira protokol i arhitekturu sustava

LoRa – arhitektura čvora



https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf

LoRa – mrežna arhitektura

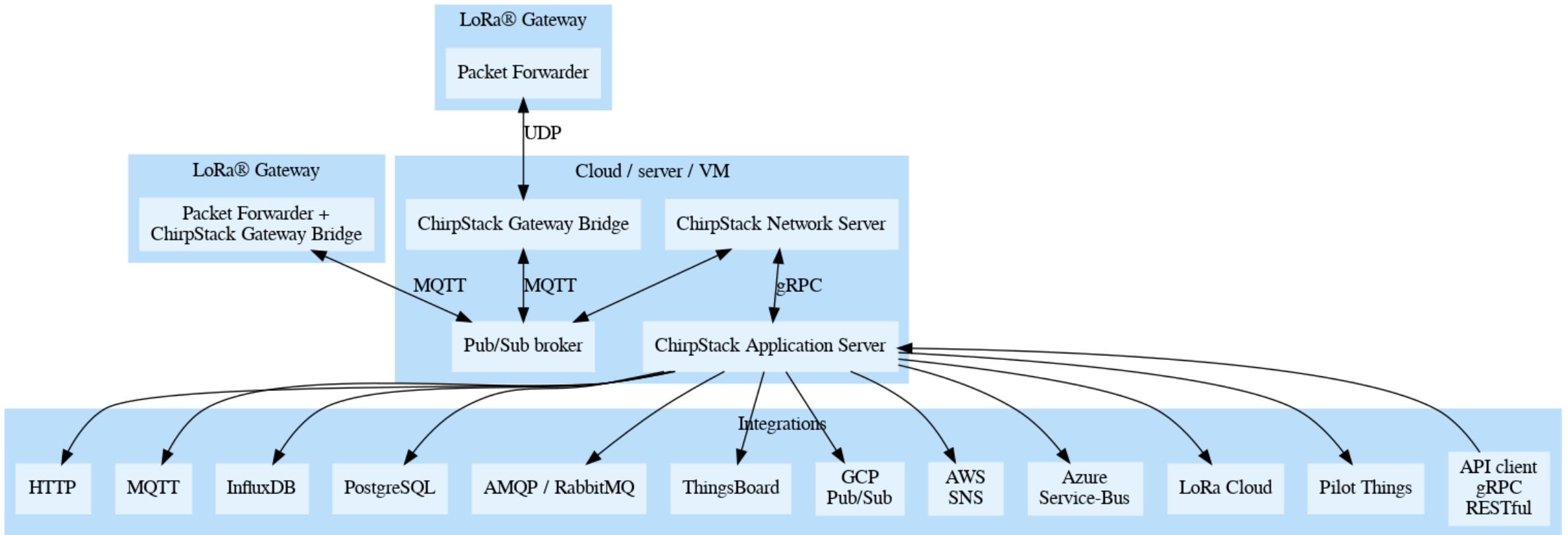


https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf

ChirpStack

- LoRaWAN Network Server složaj otvorenog koda
- komponente:
 - ChirpStack Gateway Bridge
 - za komunikaciju s mrežnim prilazom
 - ChirpStack Network Server
 - implementacija mrežnog poslužitelja
 - ChirpStack Application Server
 - implementacija aplikacijskog poslužitelja
 - ChirpStack Gateway OS
 - za izvođenje cijelog složaja na mrežnom prilazu koji je na Raspberry Pi-u
 - temelji se na Linuxu

ChirpStack - arhitektura



LoRa – klase uređaja



- Klasa A
 - Najbolje za napajanje baterijama
 - Svi uređaji u mreži podržavaju ovaj način rada
 - Slanje podataka na uređaj je moguće samo nakon uspješnog slanja
 - Koristi se mehanizam ALOHA
- Klasa B
 - Primanje u raspoređenom vremenskom periodu
 - Prima signal za sinkronizaciju od GW-a
- Klasa C
 - Kontinuirano ima otvoren prozor za primanje
 - Primanje se zaustavlja jedino kada se šalju podaci

Frekvencije rada



	Europe	North America	China	Korea	Japan	India
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz	470-510MHz	920-925MHz	920-925MHz	865-867MHz
Channels	10	64 + 8 + 8				
Channel BW Up	125/250kHz	125/500kHz				
Channel BW Dn	125kHz	500kHz				
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)				
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm				
SF Up	7-12	7-10				
Data rate	250bps- 50kbps	980bps-21.9kbps				
Link Budget Up	155dB	154dB				
Link Budget Dn	155dB	157dB				

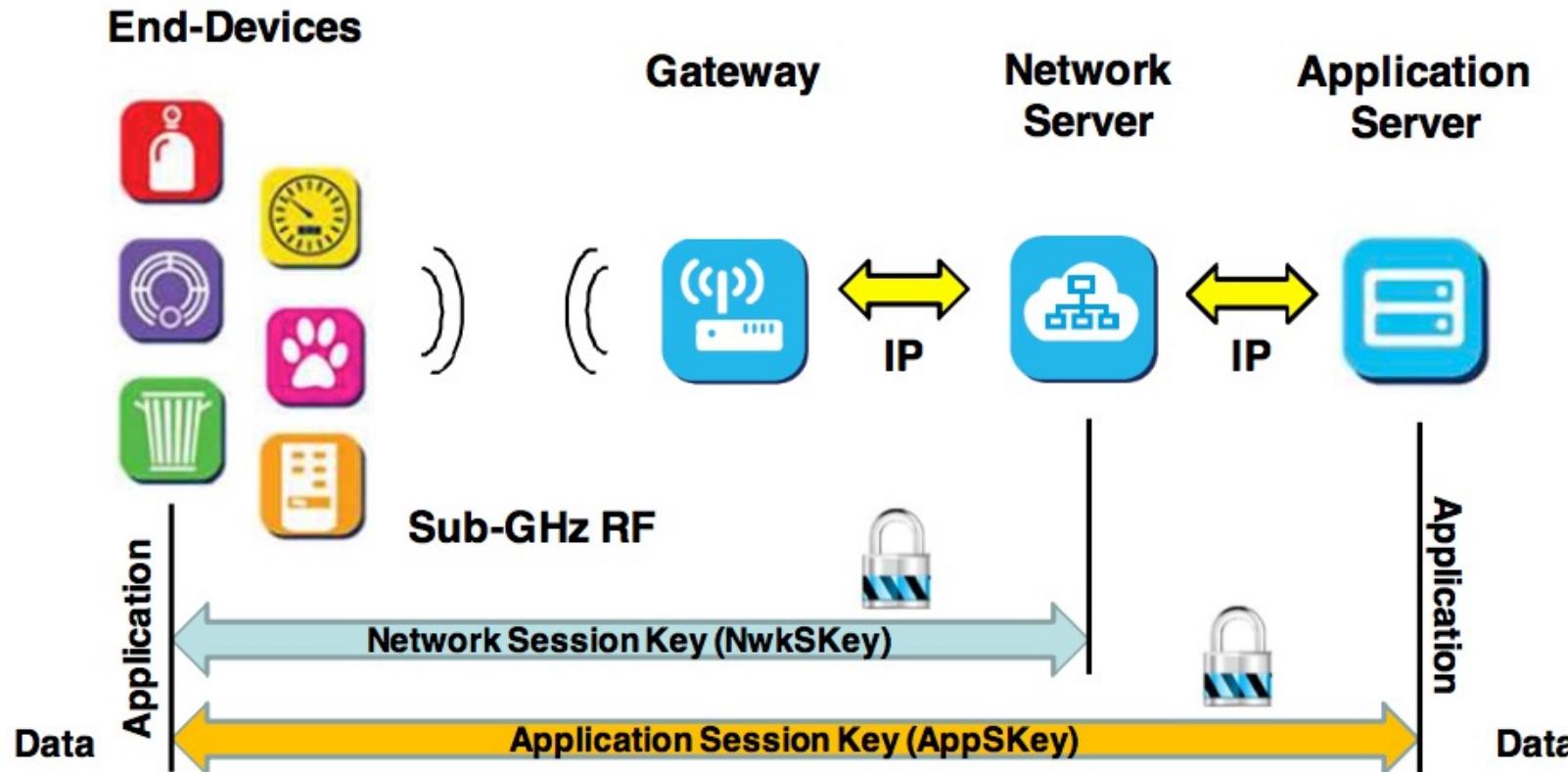
In definition by Technical Committee

<http://www.3glteinfo.com/lora/lorawan-frequency-bands/>

Sigurnost



- Koristi se AES-128 kao i u IEEE 802.15.4



Aktivacija



- Prije nego se krajnji uređaj može koristiti u mreži LoRaWAN potrebno ga je aktivirati
- Informacije potrebne za aktivaciju su:
 - Adresa uređaja – Device Address (DevAddr)
 - 32 bita, jedinstven u mreži, šalje se u svakom okviru
 - Koriste ga: krajnji uređaj, mrežni poslužitelj i aplikacijski poslužitelj
 - Ključ mrežne sjednice – Network Session Key (NwkSKey)
 - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, omogućuje integritet komunikacije
 - Koriste ga: krajnji uređaj i mrežni poslužitelj
 - Ključ aplikacijske sjednice – Application Session Key (AppSKey)
 - Ključ od 128 bita – AES, jedinstven za svaki krajnji uređaj, koristi se zaštitu aplikacijskih podataka
 - Koriste ga: krajnji uređaj i aplikacijski poslužitelj

Aktivacija



- Dvije aktivacijske metode:
 1. Over-the-Air Activation (OTA A)
 - Temelji se na globalno jedinstvenom identifikatoru
 - Poruke se razmjenjuju bežično
 2. Activation By Personalization (ABP)
 - Dijeljeni ključevi se pohranjuju na krajnji uređaj u proizvodnji
 - Vrijede samo za specifičnu mrežu

http://www.chipcad.hu/letoltes/19065_IoT4_FinalSlides.pdf

Implementacije

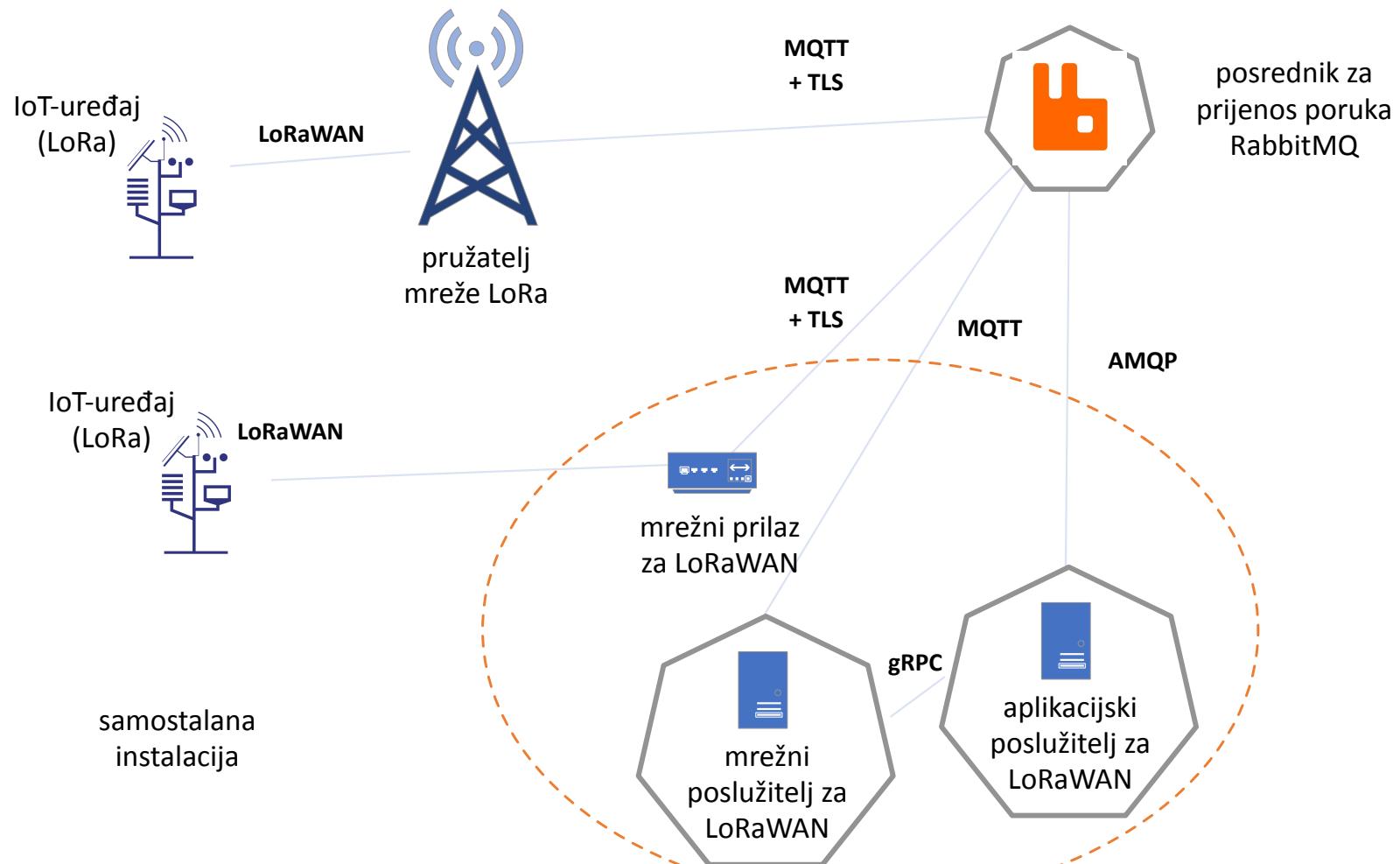


- Komercijalne:
 - Operatori pružaju mrežu i naplaćuju ju:
 - OiV (Hrvatska), KPN (Nizozemska), Orange (Francuska), Unidata (Italija), ...
 - Unidata (partner na projektu symbIoTe) - operator LoRaWAN mreže u Italiji
 - <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-network-lora-lorawan/>
 - Javne:
 - Bilo tko se može uključiti i pružati pristup
 - Ažurni popis na <https://www.thethingsnetwork.org>
 - Privatne:
 - Svatko može pokrenuti svoju privatnu mrežu

Implementacija LoRaWAN-a u IoT labu



IoT-polje





Projekti i studentski radovi s LoRaWAN-om

M2M Communications Challenges



- U suradnji s kompanijom Ericsson Nikola Tesla
- Od 2011. - svake godine druga tema
- Teme vezane uz Machine-to-Machine (M2M) komunikaciju
- 2017.
 - Uporedba LoRaWAN-a s NB-IoT-om, BLE, WiFi
 - Izrada prototipa s više tehnologija na jednom krajnjem uređaju
 - Odabir komunikacijske tehnologije ovisno o kontekstu

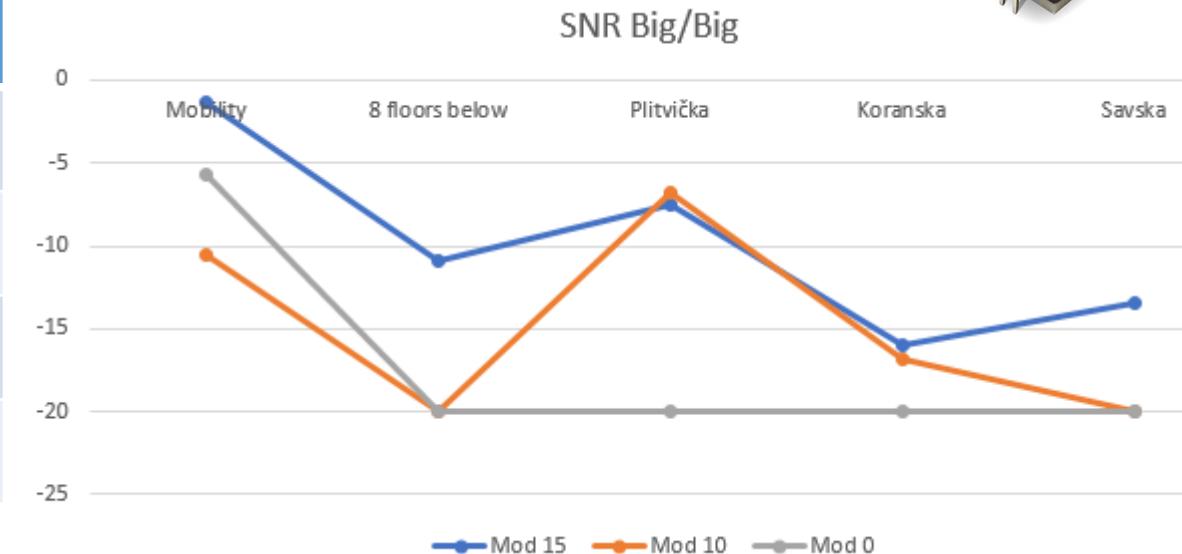
Mjerenje vanjskih prilika te praćenje potrošnje energije LoRa i LoRaWAN modula

- Studentski projekt na diplomskom studiju
 - Mateo Červar, Matija Cvetnić



Potrošnja energije koristeći *small* i *big* antene [mA]

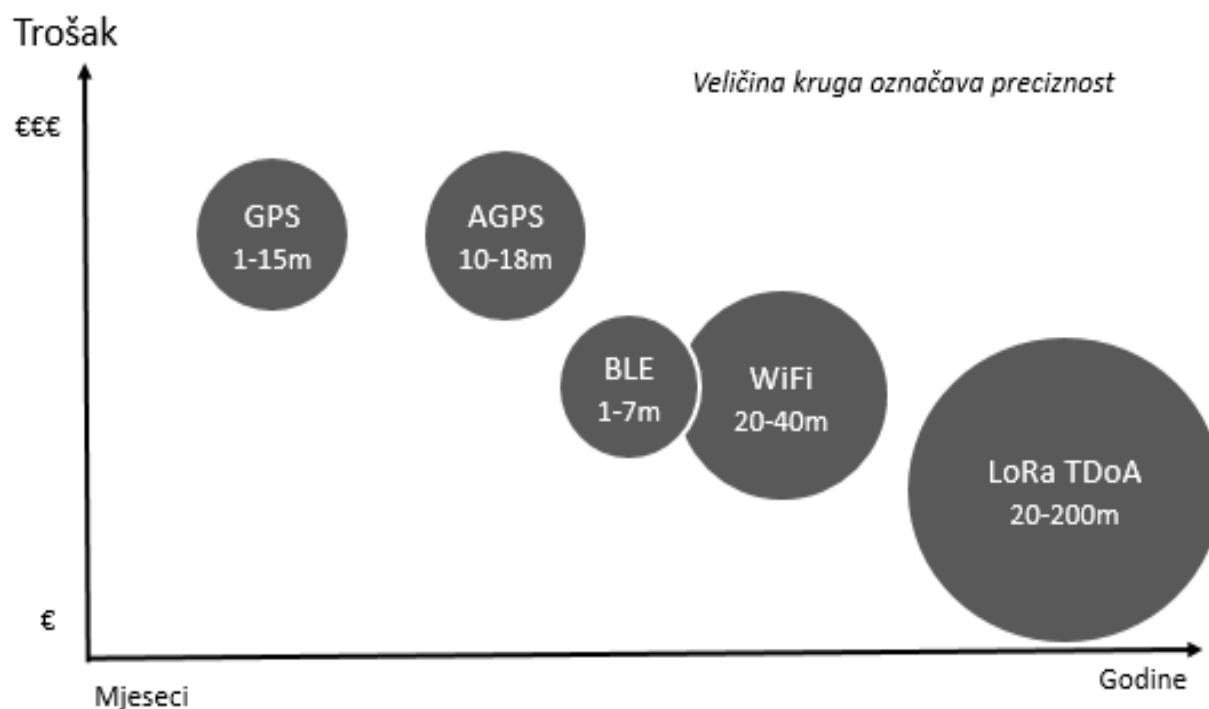
	Antenna size	Low (0)	High (10)	Max (15)
LoRa	Small	19.7	22.96	39.4
	Big	19.86	23.2	40.8
LoRaWAN	Small	17.74	32.66	39.34
	Big	18.56	33.02	40.08



Lociranje uređaja u Internetu stvari (1)



- Diplomski rad:
Mateo Červar

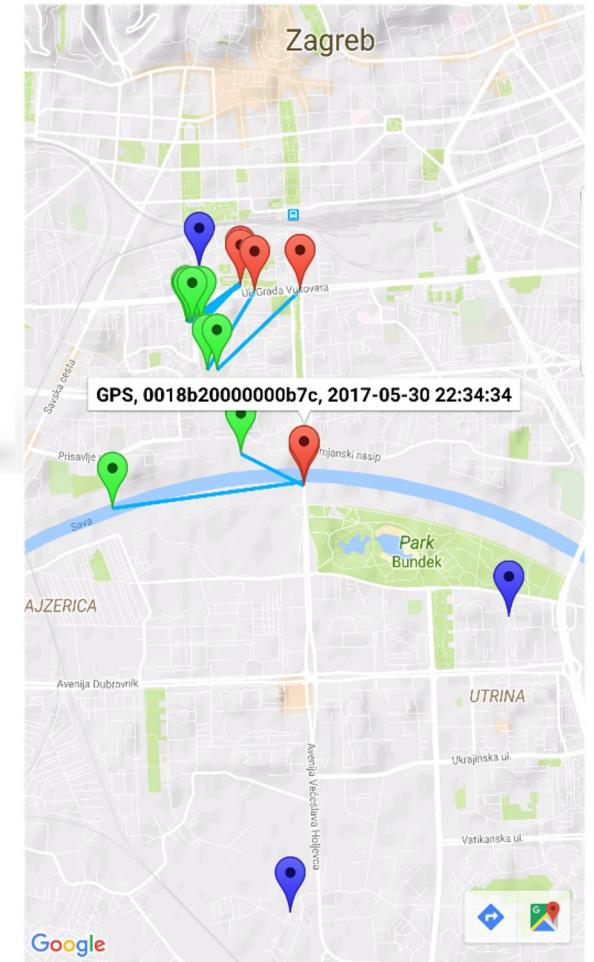
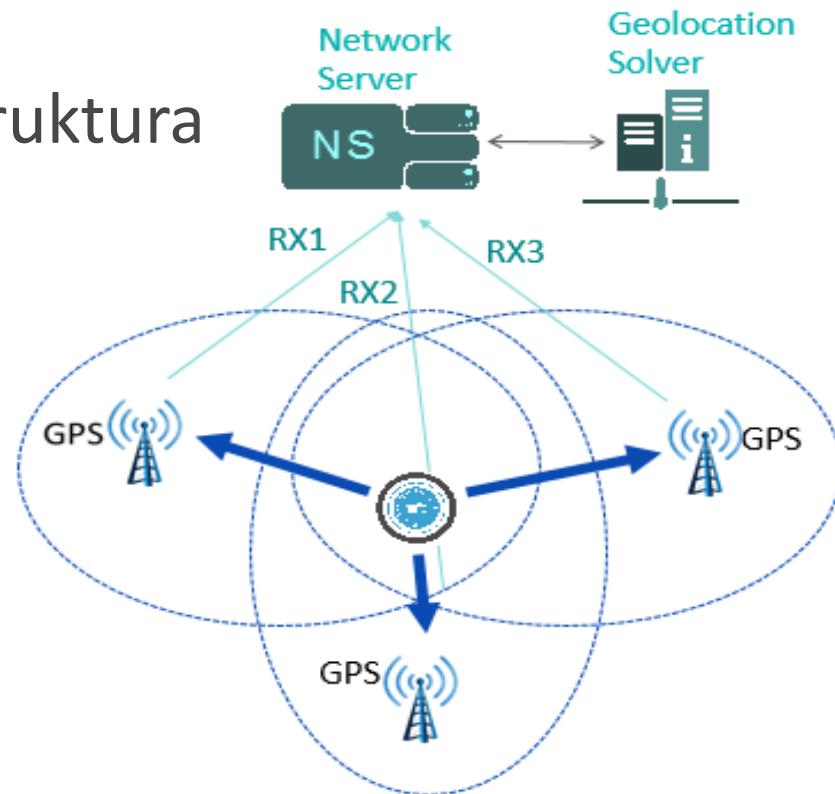


Usporedba tehnologija pozicioniranja

Lociranje uređaja u Internetu stvari (2)

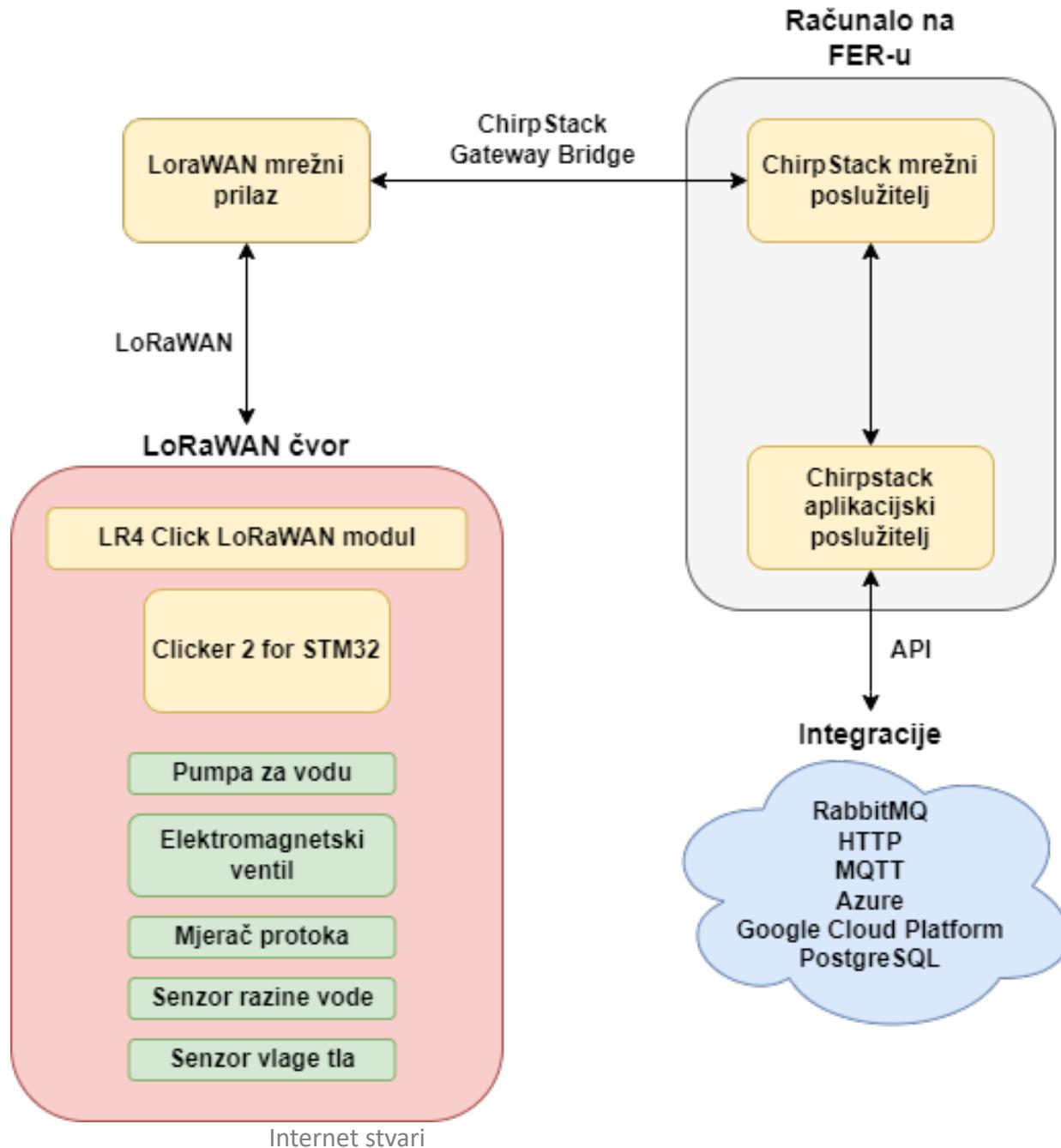
- Diplomski rad: Mateo Červar

- Mrežna infrastruktura

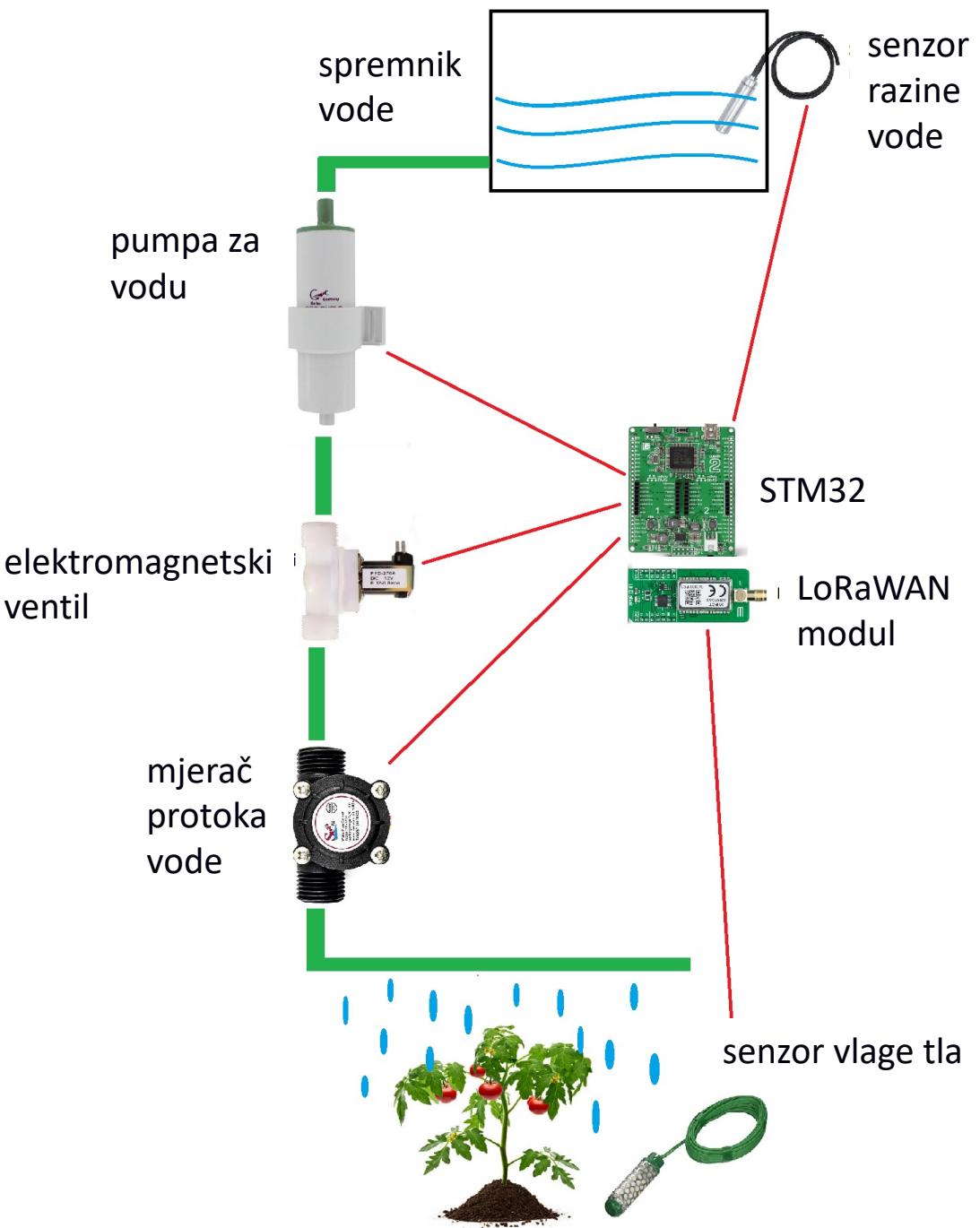
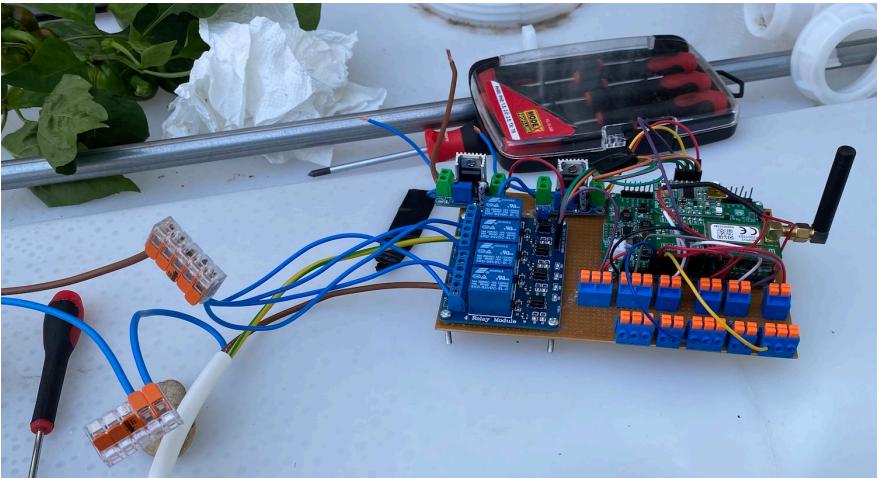


Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (1)

- Arhitektura



Prikupljanje podataka i aktuacija s uređajima u urbanom vrtu (2)



Pokretna mreža

Standardi i standardizacijska tijela

- ITU – International Telecommunication Union
 - Najviše definiraju ciljeve i standarde za uređaje koji će biti označeni sa 4G ili 5G
- 3GPP
 - Konzorcij koji definira tehnologije i nadogradnje
 - Sve je organizirano u izdanja (release):
 - Rel 8-9: LTE (2008., 2009.)
 - Rel 10-12: LTE Advanced (2011., 2012., 2015.)
 - Rel 12: **LTE-M (Cat 0)**
 - Rel 13-14: LTE Advanced Pro (2016., 2017.)
 - Rel 13: **LTE Cat-M1 (eMTC), NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1)**
 - Rel 14: Vehicle-to-Everything (V2X), poboljšanja za MTC, NB-IoT (NB2)
 - Rel 15: (2019.) – poboljšanja za MTC, 5G Vehicle-to-x service (V2X)
 - Rel 16: (2020.) – 5G expansion (advanced V2X, Industrial IoT, URLLC), 5G Efficiency (power consumption)

LTE-M

LTE Cat 0 – Release 12

- Smanjene brzine prijenosa na 1Mbps
- Half-duplex komunikacija
- Uveden Power Save Mode (PSM)
 - Uredjaj može ući u duboki san i brzo se probuditi i povezati
 - Može se jednom dnevno buditi i slati podatke
 - Maksimalni period spavanja 12.1 dana (ovisi o mreži npr. 2 ili 4 sata)

LTE Cat-1 – Release 8

- Prvenstveno se koristi u SAD-u za M2M komunikaciju
- Veće brzine: 10Mbps (skidanje), 5Mbps (slanje)
- Može prenositi zvuk i video
- Manja potrošnja energije nego 4G-LTE
- Može se prebaciti na 3G ili 2G

LTE Cat-M1 (eMTC ili LTE-M) – Release 13

- eMTC – enhanced Machine Type Communication
- Smanjena širina pojasa sa 20MHz na 1,4Mhz → jednostavniji uređaji, manja potrošnja
- Smanjena izlazna snaga za 50%
- Brzine 375 Kbps ili 1 Mbps
- Primjena: V2V, zvuk
- Dodani mehanizmi za mogućnost kratkog spavanja uređaja (10,24s) → radio troši 15µA u prosjeku
- PSM iz Cat-0 se primjenjuje i ovdje

NB-IoT

NB-IoT (LTE Cat-NB ili NB1) – Release 13

- Ciljevi:
 - 10 godina trajanja baterija s kapacitetom 5 Wh
 - Dodatna pokrivenost prostora (+20 dB)
 - Cijena modula ~\$5
- Bitne promjene:
 - Širina kanala samo 180kHz → smanjenje troškova modula i potrošnje energije
 - Nema prijenosa zvuka ili videa
 - Nema pokretnosti između ćelija
 - Maksimalni gubitak signala (MCL – max. coupling loss) 164 dB što je slično LoRaWAN-u i Sigfoxu
 - Komunikacija prolazi u podrumima, tunelima
 - Povećan domet za 7x na otvorenom prostoru
- Brzina prijenosa: ~26Kbps *downlink*, ~62Kbps *uplink*

NB-IoT – smještaj kanala

- Između dva LTE kanala
 - U praznom dijelu koji nije iskorišten
- Na mjestu GSM kanala
 - Neki GSM kanali se onda koriste za NB-IoT
- Unutar LTE kanala
 - Multipleksiranje LTE-a i NB-a
- Teoretski omogućuje spajanje do 200.000 uređaja po ćeliji

NB-IoT (NB2) – Release 14

- Glavne nadogradnje:
 - preciznije pozicioniranje: OTDOA i E-CID
 - dodano višeodredišno razašiljanje (*multicast*)
 - poboljšana mobilnost
 - moguće ponovno spajanje kada smo spojeni, nije potrebno ići u mod rada *idle*
 - povećane maksimalne brzine:
 - 127Kbps *downlink*, 159Kbps *uplink*
 - podrška za više (15) operatora (uz matičnog) → povećana gustoća uređaja $1\text{M}/\text{km}^2$
 - Nova klasa snage 14dBm → potrebne manje baterije

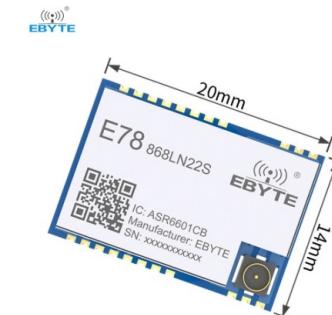
NB-IoT – prve instalacije 2017.

- DT – pokrenuto u 8 zemalja u EU (Njemačka, Nizozemska, Austrija, Hrvatska, Grčka, Mađarska, Poljska, Slovačka)
 - Primjene: praćenje stvari, pametno parkiranje, pametna brojila
- T-Mobile US, Ericsson, Qualcomm
 - Primjene: prikupljanje senzorskih podataka (temp., vlažnost, plinovi, ...), alarmiranje za poplave
- U-blox, PinMyPet, Huawei i operator Vivo: praćenje životinja
- China Mobile, ZTE – testiranje mreže na 200 mjesta
- Telia Norway – pilot projekt za praćenje 1000 ovaca u Norveškoj

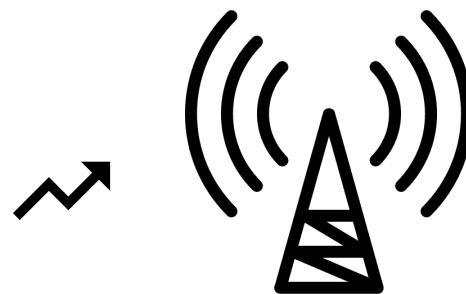
NB-IoT moduli



- sixfab – [Arduino NB-IoT Shield](#) (80€ → 62€), [Raspberry Pi NB-IoT Shield](#) (80€)
 - Ovo imamo u laboratoriju
- [QUECTEL BG96 LTE CAT M1/CAT NB1/EGPRS](#) - ~30€
- [Dragino](#) - ~45\$ → 20€
- Botletics SIM7000 LTE CAT-M1 NB-IoT Cellular - ~125\$ → 65\$
- ASR6601 LoRaWAN 868MHz SoC LoRa RF IoT Wireless Module Long Range Data Transceiver Development Board E78-868LN22S(6601) Ebyte – [AlliExpress](#) 8\$
- SIMCom SIM7070G – [AlliExpress](#) ~17€



NB-IoT arhitektura sustava

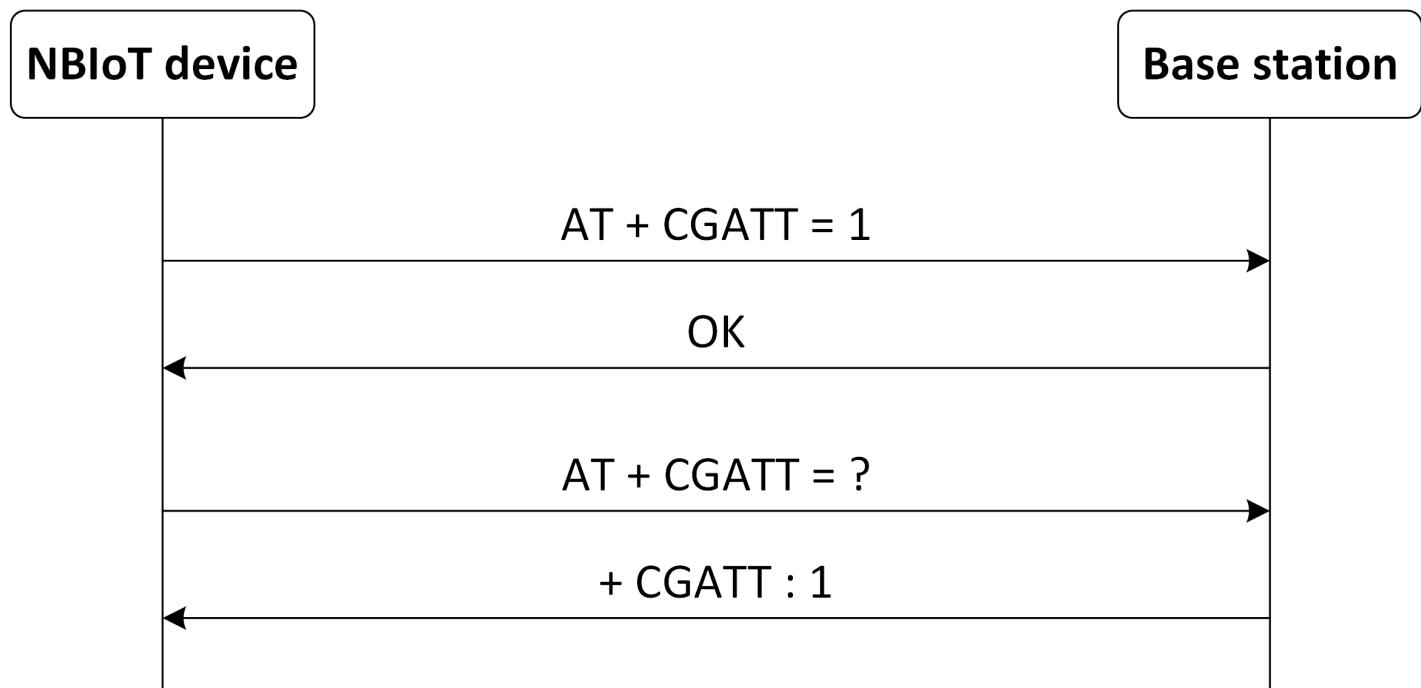


Spajanje na mrežu

- Koriste se AT komande za komunikaciju s modulom

- CGATT – spajanje/odspajanje na/sa mrežu/e

- Format:
 - $AT+CGATT=<state>$
- State:
 - 0 – odspajanje
 - 1 – spajanje



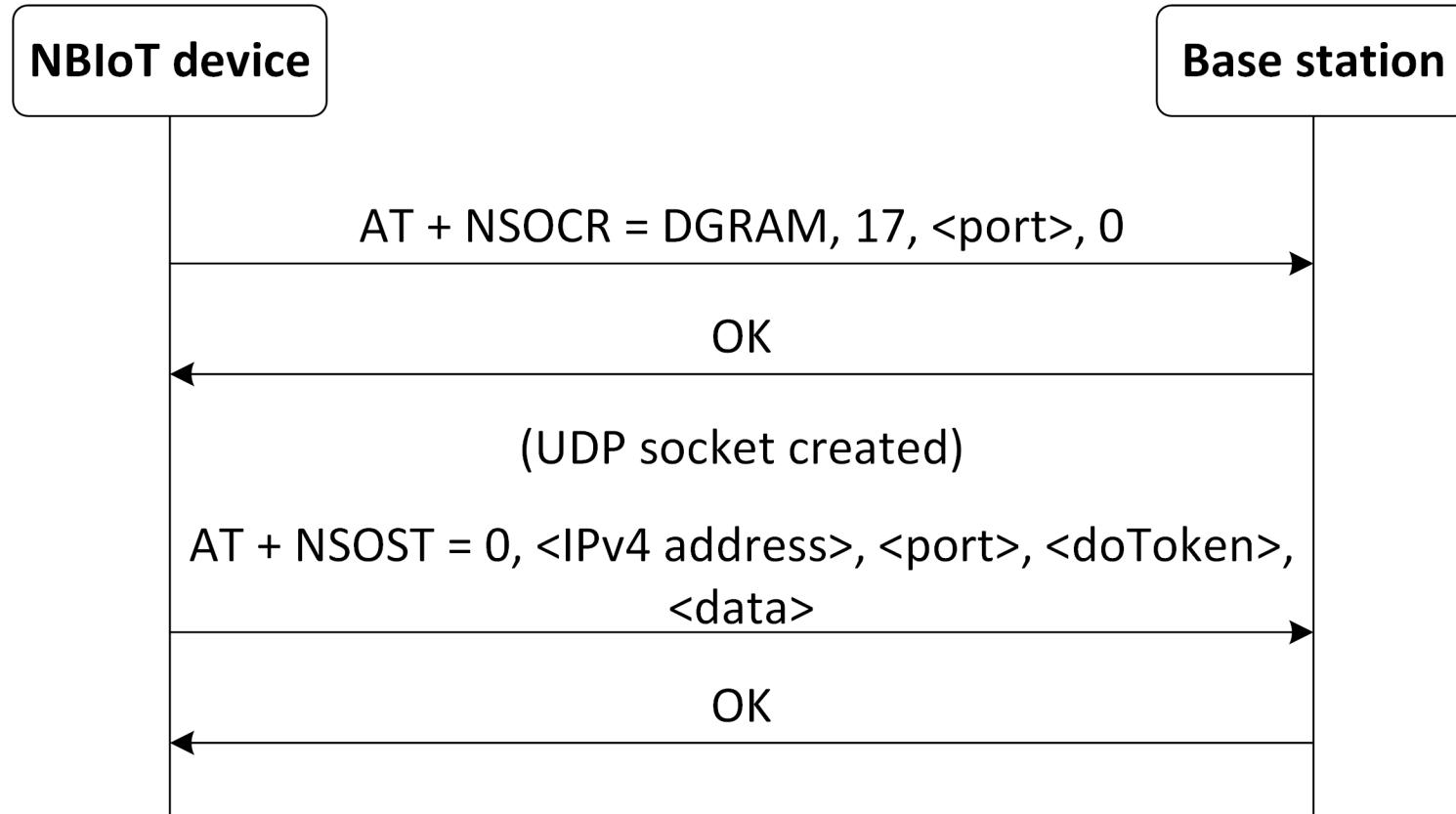
Kreiranje socketa

- AT+NSOCR – kreiranje socketa
 - Format: AT+NSOCR=<type>,<protocol>,<listen port>[,<receive control>]
 - Type – dozvoljeno jedino DGRAM
 - Protocol – broj protokola ([vidi](#)), za UDP je 17
 - Listen port – lokalna vrata na kojima sluša (0-65535)
 - Receive control
 - 1 – treba primiti odgovor (podrazumijevano)
 - 0 – ne treba odgovor
 - AT+NSOST - slanje paketa
 - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote_addr> ,<remote_port>, <length>,<data>
 - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR

Slanje UDP paketa

- AT+NSOST - slanje paketa
 - Format: AT+NSOST=<socket>,<remote_addr> ,<remote_port>, <length>,<data>
 - Socket – broj vraćen u komandi AT+NSOCR
 - Remote addr - IPv4 u notaciji s točkom (decimalno, oktalno ili hex)
 - Remote port – vrata na koja se šalje
 - Length – dužina u oktetima (max 512)
 - Data – podaci u HEX obliku
 - Primjer:
 - AT+NSOST=0,192.158.5.1,1024,2,AB30
 - Odgovor:
 - <socket>,<length>
 - OK

Dijagram kreiranja socketa i slanja



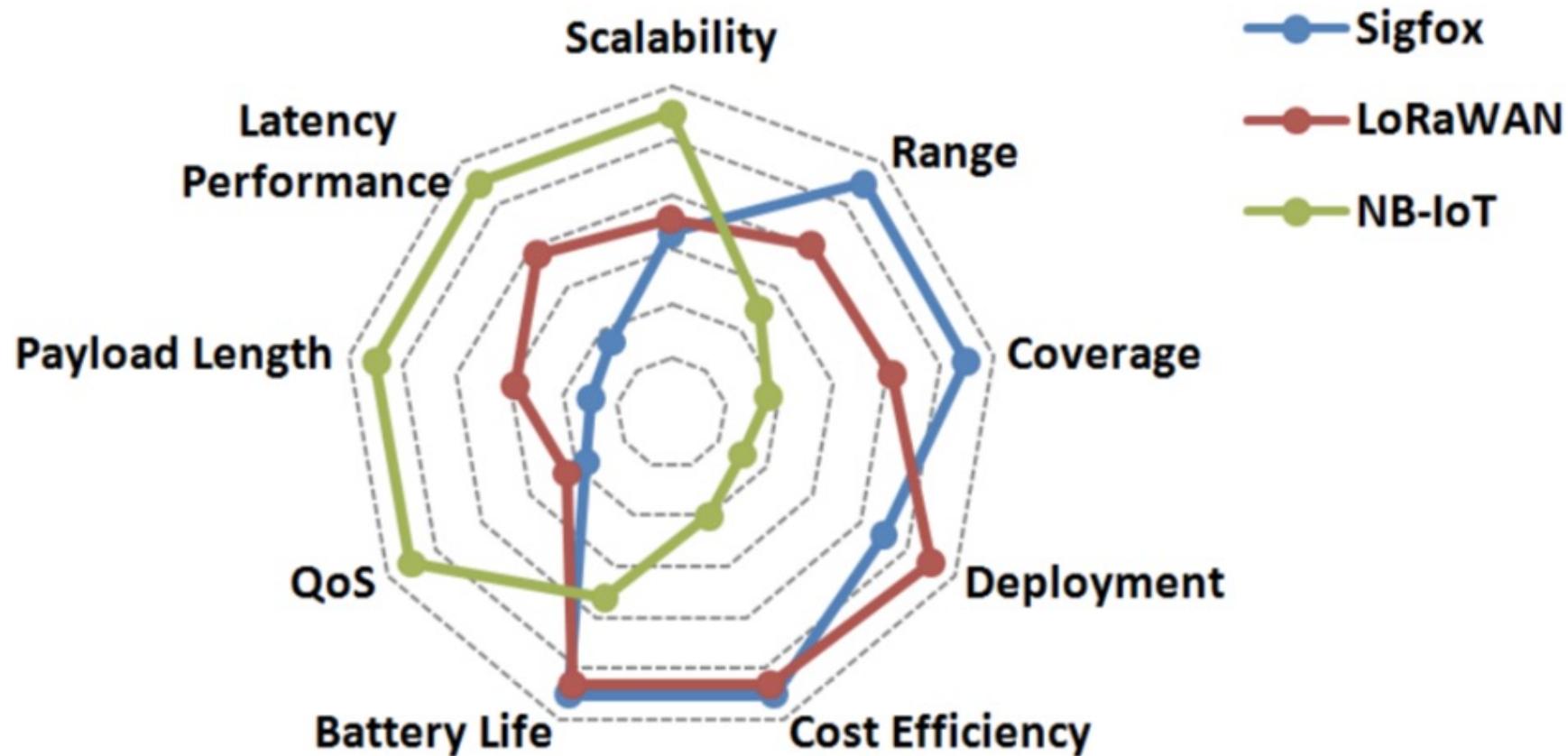
Primanje UDP paketa

- AT+NSORF – primanje UDP paketa
 - Format: AT+NSORF=<socket>,<req_length>
 - Socket – socket iz odgovora AT+NSOCR
 - Req length – max broj podataka koji će biti vraćen u broju okteta
 - Format odgovora: <socket>,<ip_addr>,<port>,<length>,<data>,<remaining_length>
 - Socket – socket
 - IP addr – adresa pošiljatelja
 - Length – dužina podataka
 - Data – podaci u hex stringu
 - Remaining length – količina podataka koje se može još pročitati za ovu poruku

Primjer komande:
AT+NSORF=0,10

Odgovor:
0,192.168.5.1,1024,2,ABAB,0
OK

Usporedba tehnologija



https://www.researchgate.net/publication/323907156_Overview_of_Cellular_LPWAN_Technologies_for_IoT_Deployment_Sigfox_LoRaWAN_and_NB-IoT

Pitanja za ponavljanje

- Koja su osnovna svojstva LPWAN-a?
- Čemu služi Sigfox?
- Koliko se dnevno podatka može poslati pomoću Sigfoxa?
- Kakav je poslovni model Sigfoxa?
- Koja je razlika između tehnologija LoRa i LoRaWAN?
- Od koja 4 elementa se sastoji mrežna arhitektura LoRae?
- Objasnite razliku između 3 klase LoRa uređaja.
- Objasnite 2 načina aktivacije uređaja u LoRai.
- Čemu služi LTE-M?
- Koja je razlika između: LTE Cat-0, LTE Cat-1 i LTE Cat-M1?
- Koja su svojstva LTE Cat-M1?
- Što je NB-IoT i koja su mu svojstva?
- Kako se može smjestiti NB-IoT kanal?
- O čemu ovisi odabir neke tehnologije za neko IoT rješenje?



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

**6. Protokoli za optimizaciju mrežnog
sloja: 6LoWPAN, 6TiSCH i RPL**

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Uređaji i mreže ograničenih resursa
- 6LoWPAN: IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
- 6TiSCH: IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e
- RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks

Uređaji ograničenih resursa

Specificirani u RFC 7228

Uređaji s ograničenom memorijom, procesorom, napajanjem: smanjena sposobnost obrade podataka, mala veličina okvira pri prijenosu podataka

Uređaji kategorije 0 imaju izrazito ograničene resurse, ne implementiraju IP stack i sigurnosne mehanizme

Uređaji kategorije 1 ne implementiraju IP stack u cijelosti, podržavaju CoAP

Uređaji kategorije 2 implementiraju IP stack u cijelosti

Class	Definition
Class 0	This class of nodes is severely constrained, with less than 10 KB of memory and less than 100 KB of Flash processing and storage capability. These nodes are typically battery powered. They do not have the resources required to directly implement an IP stack and associated security mechanisms. An example of a Class 0 node is a push button that sends 1 byte of information when changing its status. This class is particularly well suited to leveraging new unlicensed LPWA wireless technology.
Class 1	While greater than Class 0, the processing and code space characteristics (approximately 10 KB RAM and approximately 100 KB Flash) of Class 1 are still lower than expected for a complete IP stack implementation. They cannot easily communicate with nodes employing a full IP stack. However, these nodes can implement an optimized stack specifically designed for constrained nodes, such as Constrained Application Protocol (CoAP). This allows Class 1 nodes to engage in meaningful conversations with the network without the help of a gateway, and provides support for the necessary security functions. Environmental sensors are an example of Class 1 nodes.
Class 2	Class 2 nodes are characterized by running full implementations of an IP stack on embedded devices. They contain more than 50 KB of memory and 250 KB of Flash, so they can be fully integrated in IP networks. A smart power meter is an example of a Class 2 node.

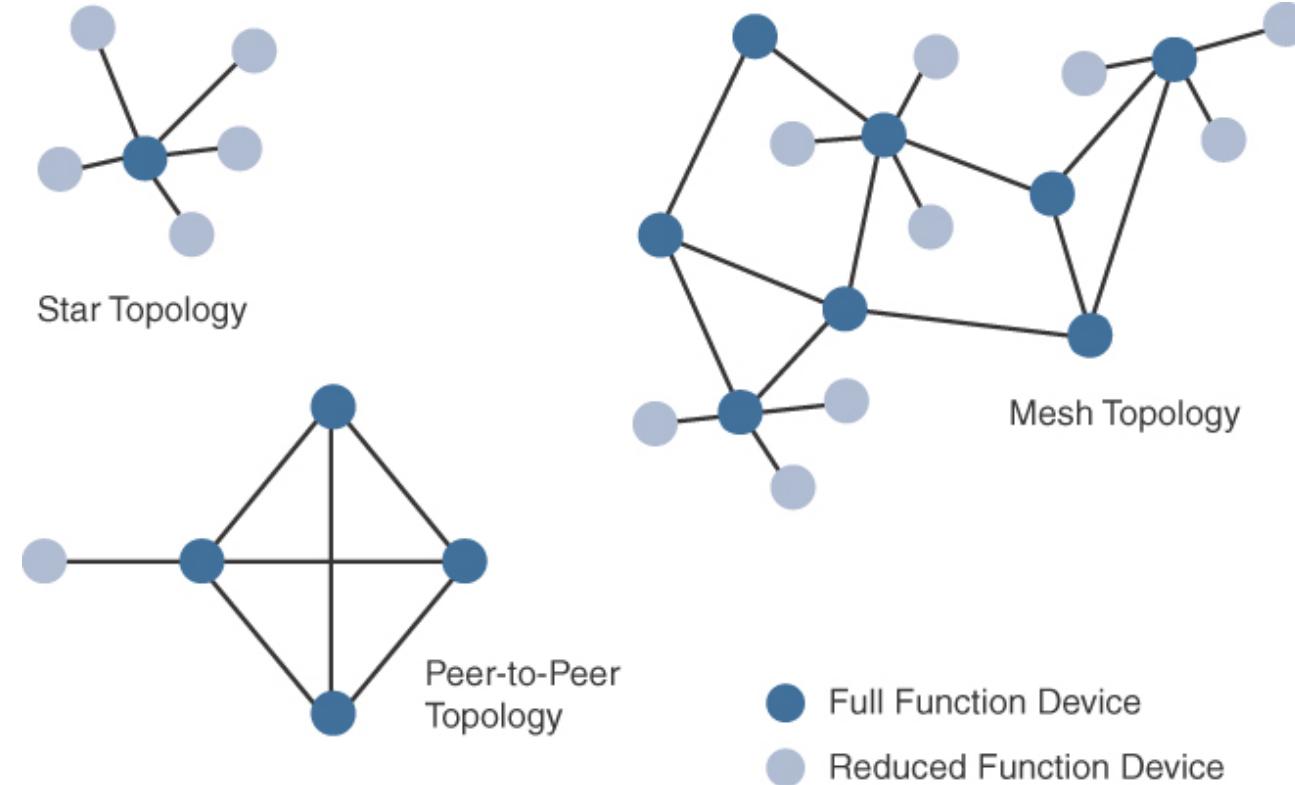
Mreža ograničenih resursa (1/2)

Constraint network, low-power and lossy networks (LLNs)

- bežična mreža čvorova s ograničenim izvorom energije
- potencijalno dugi periodi neaktivnosti čvorova (čak do 99% vremena), mali generirani promet
- ograničena širina pojasa i propusnost: od nekoliko do par stotina kbit/s
- „težak“ radijski kanal
 - nelicencirani spektar (*industrial, scientific, and medical, ISM*)
 - šum, interferencija, kolizija paketa
 - nestabilan sloj linka: česte i isprekidane pogreške ili potpuni gubitak veze
 - s obzirom na ograničenu propusnost, ne preporučuje se brza retransmisija: „*A constrained network that overreacts can lead to a network collapse—which makes the existing problem worse*“.

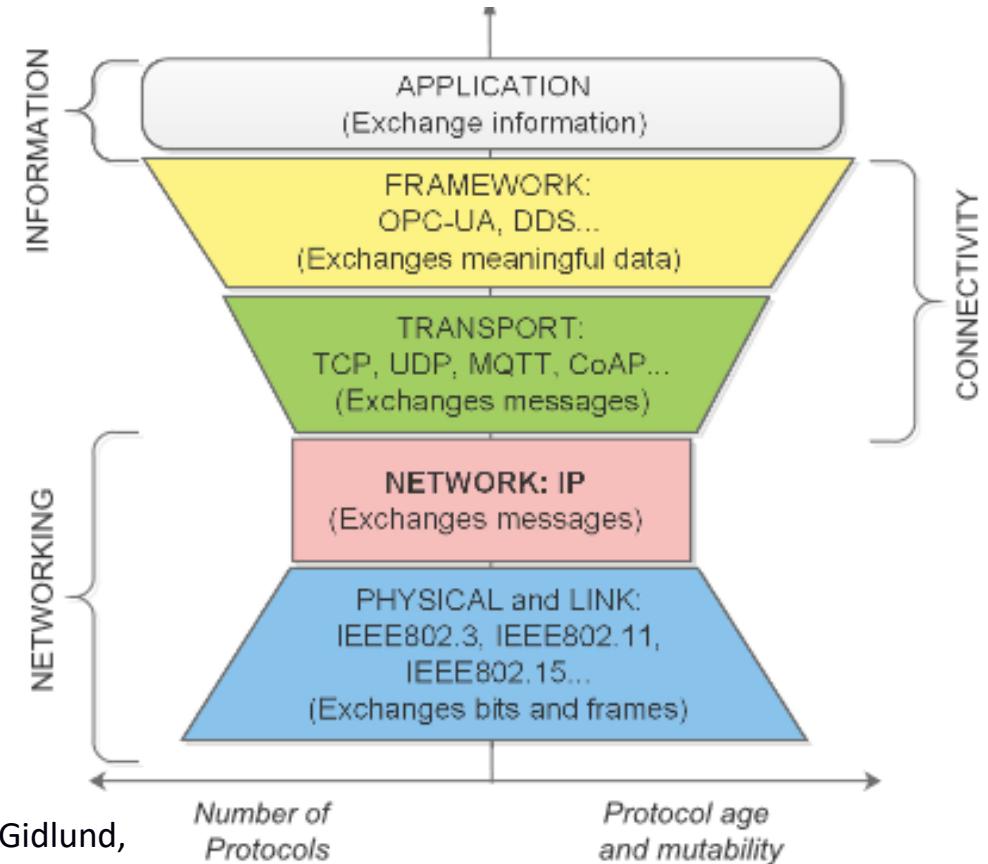
Mreža ograničenih resursa (2/2)

- Koriste sljedeće topologije: *star, mesh, P2P*
- Minimizirati signalizacijski promet
- Uzeti u obzir potrošnju energije za komunikaciju
- tipične pristupne tehnologije:
 - IEEE 802.15.4 (Wireless Personal Area Networks, WPAN),
 - IEEE 802.15.1 (Bluetooth),
 - LoRa i Sigfox (Low-Power Wide-Area, LPWA),
 - IEEE 802.11ah (Wi-Fi)



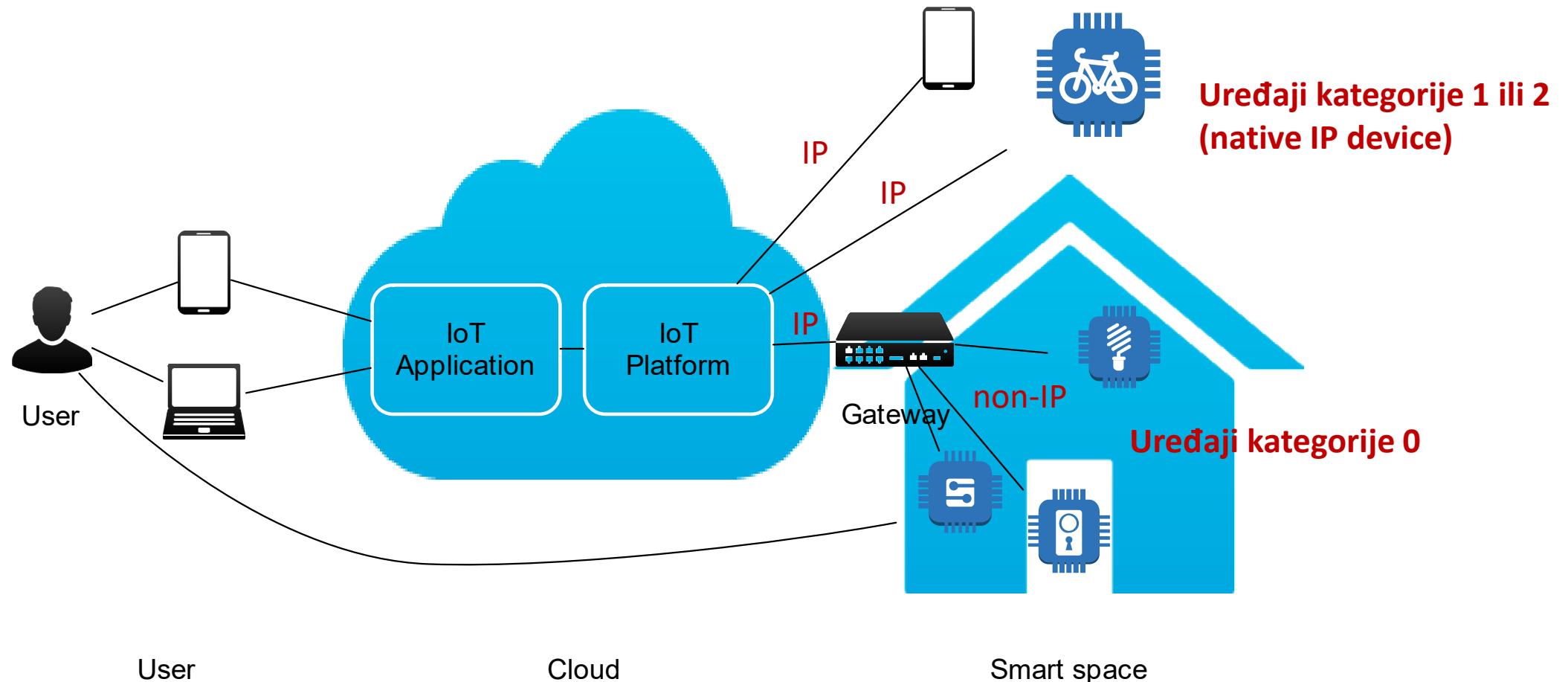
Zašto je IP prikladan za umrežavanje „stvari”?

- IP je jedinstven sloj neovisan o nižim i višim slojevima IP stack-a
- Otvoren, skalabilan, stabilan: IPv4 RFC 79 iz 1981, IPv6 RFC 2460 iz 1998
- Potrebne su optimizacije na svim slojevima IP stack-a s obzirom na ograničene resurse IoT-uređaja i mreža
- **Ponovite osnove protokola IP,
Komunikacijske mreže, 5. predavanje**



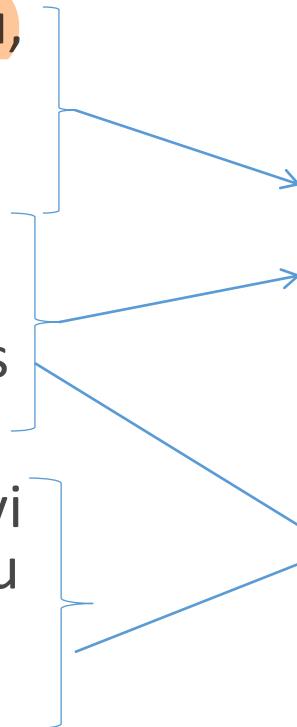
Izvor: E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag and M. Gidlund,
"Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and
Directions," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no.
11, pp. 4724-4734, Nov. 2018.

Prilagodba ili usvajanje IP-a



Kako umrežiti uređaje ograničenih resursa?

- Uređaji kategorije 0: rijetko komuniciraju, prenose nekoliko byte-ova, ograničene sigurnosne i upravljačke mehanizme
- Uređaji kategorije 1: imaju dovoljno resursa za implementaciju IP stack prilagođen hw za direktnu komunikaciju s poslužiteljem ili putem posrednika.
- Uređaji kategorije 2: resursi su usporedivi s resursima osobnog računala, podržavaju puni IP stack, ali treba voditi računa o ograničenjima pristupne tehnologije



Prilagodba (adaptation): koristi neku vrstu prilaza (gateway) za prijevod IP paketa na ne-IP pakete.

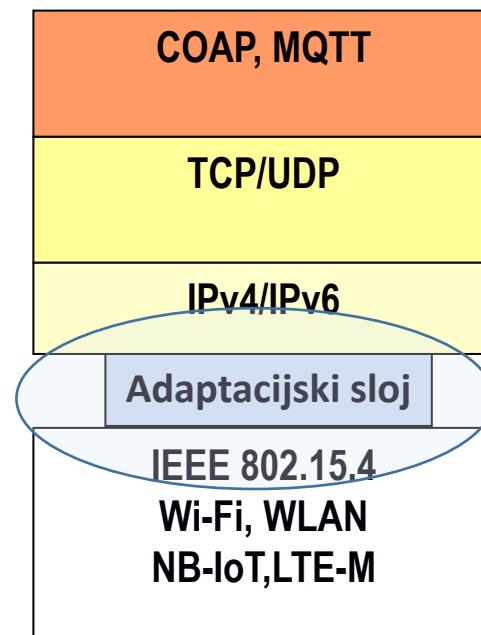
Usvajanje (adoption): zamjenjuje postojeće non-IP-slojeve IP-slojevima na samome uređaju.

Prilagodba protokolnog složaja za IoT

TCP/IP



IoT



Kako zapakirati IP pakete u okvire na nižem sloju podatkovne poveznice?

Treba li rješenje jednosmjernu ili dvosmjernu komunikaciju?

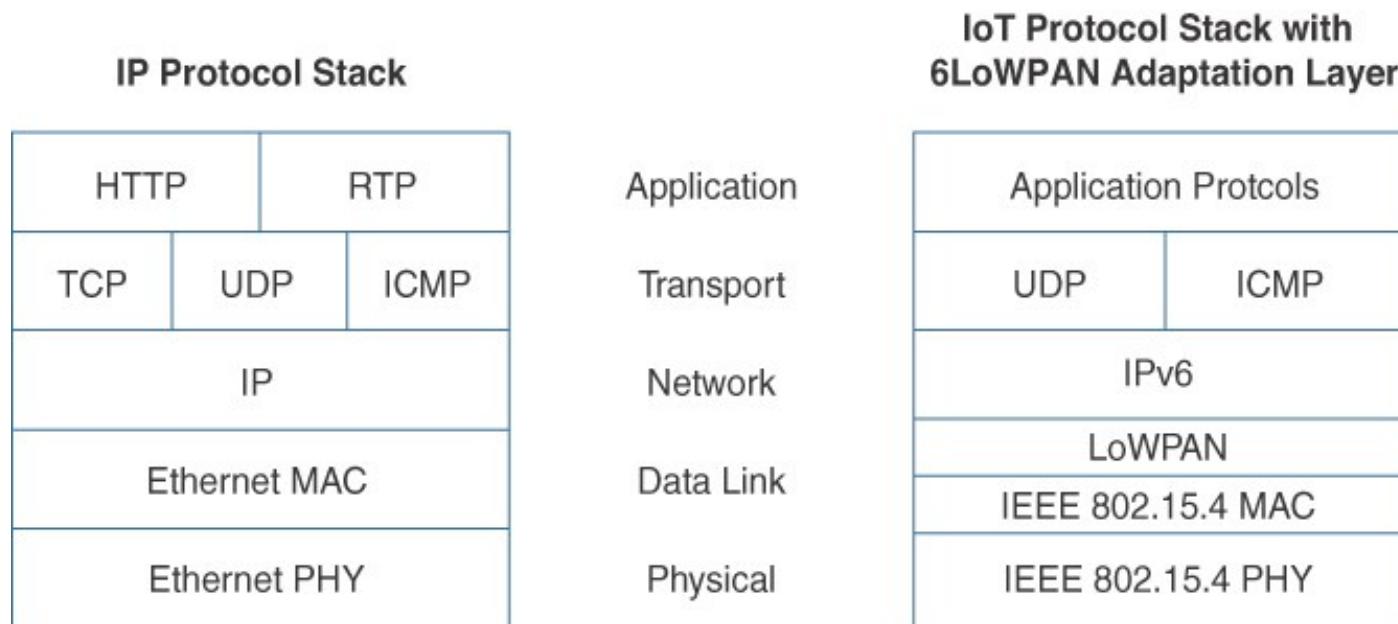
(Ako nije jednosmjerna, neće biti moguće udaljeno održavanje, software/firmware update)

Sadržaj

- Uređaji i mreže ograničenih resursa
- **6LoWPAN: IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks**
- 6TiSCH: IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e
- RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks

Općenito o 6LoWPAN

- 6LoWPAN: IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
- prilagodba IP-a za **IEEE 802.15.4**



Cilj: optimizacija prijenosa IPv6-paketa u mrežama s ograničenim resursima (IEEE 802.15.4)

Izazovi za prilagodbu 6LoWPAN

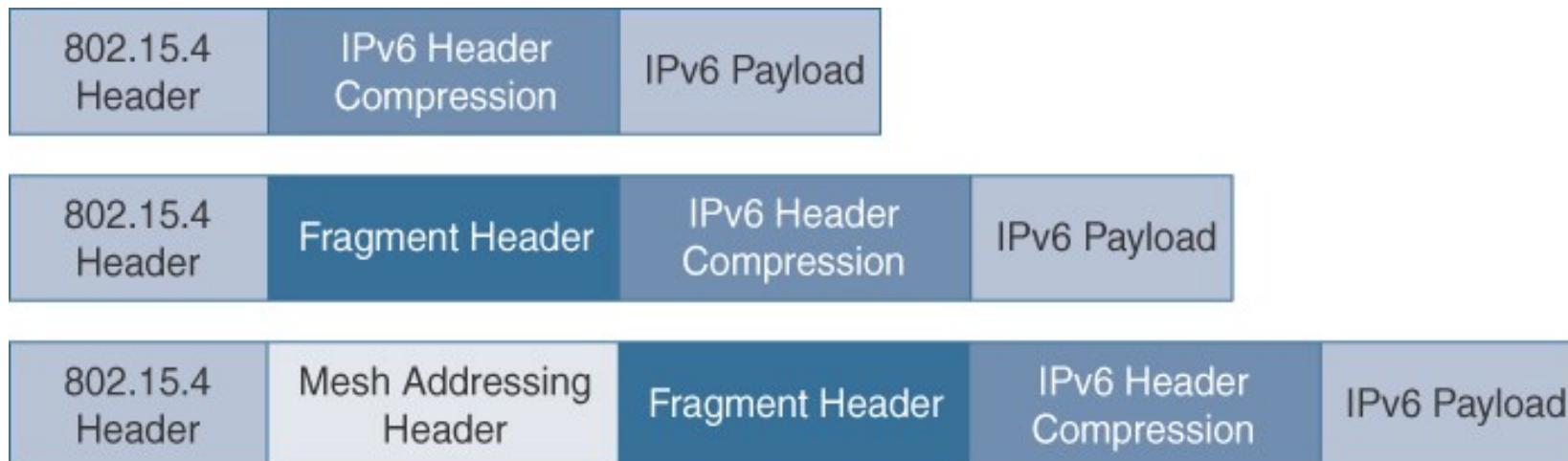
- Najmanji maximum transmission unit (MTU) za IPv6 je 1280 okteta, dok je 127 okteta najveća veličina okvira za IEEE 802.15.4
- Potrebni su **mehanizmi prilagodbe**:
 - Kompresija zaglavlja
 - Fragmentacija paketa
 - *Mesh*-adresiranje

Header Size Calculation

- IPv6 header is 40 octets, UDP header is 8 octets
- 802.15.4 MAC header can be up to 25 octets (null security) or $25+21=46$ octets (AES-CCM-128)
- With the 802.15.4 frame size of 127 octets, we have only following space left for application data!
 - $127-25-40-8 = 54$ octets (null security)
 - $127-46-40-8 = 33$ octets (AES-CCM-128)

Mehanizmi prilagodbe 6LoWPAN-a za IEEE802.15.4

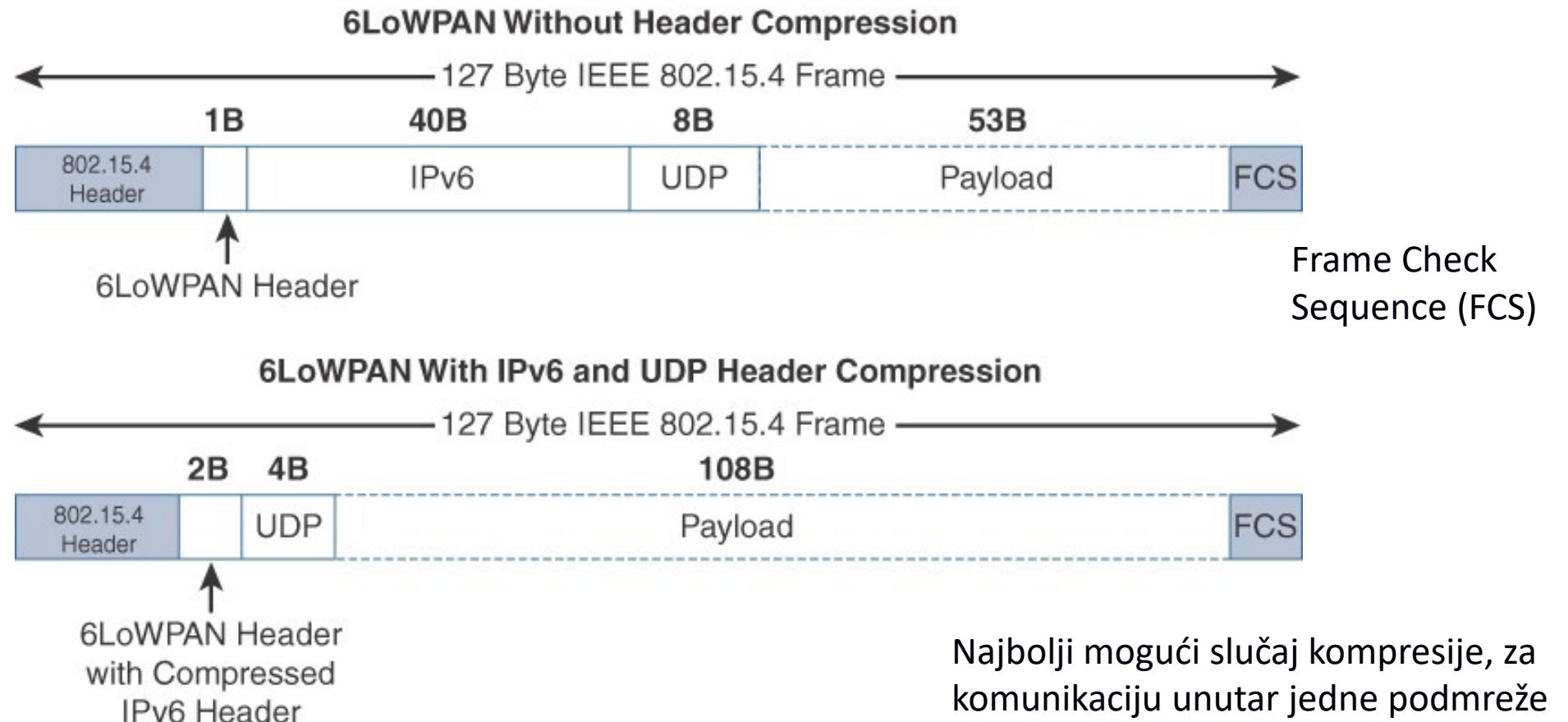
- RFC 4994: definira zaglavla za kompresiju, fragmentaciju i *mesh*-adresiranje
- U konkretnoj implementaciji se može koristiti kombinacija navedenih mehanizama



Kompresija zaglavlja

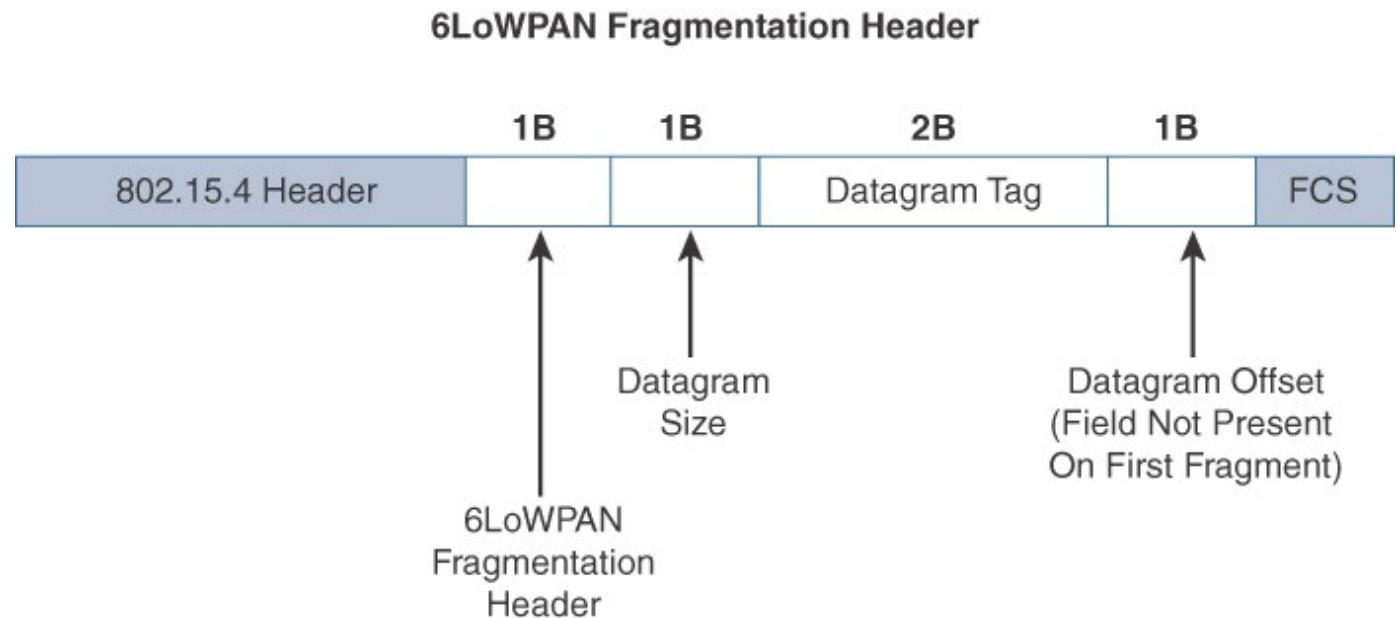
- Uklanja se redundantna informacija na nivou linka, mreže i transportnog sloja
 - Kompresija HC1 (IPv6 header) i HC2 (UDP header): može u nekim slučajevima kombinirano dva zaglavlja IPv6 (40-byte) i UDP (8-byte) svesti na 6 byte-a
 - Polja u zaglavljtu IPv6 se odbacuju kada ih sloj prilagodbe može zaključiti iz okvira 802.15.4
 - Koristi se jednostavna pretpostavka o dijeljenom kontekstu (lokalnoj podmreži)
 - Izostavljaju se standardna zaglavlja i pretpostavljaju opće korištene vrijednosti
- *Stateless*
- Definirana u RFC 4944 i RFC 6282

Kompresija zaglavlja (primjer)



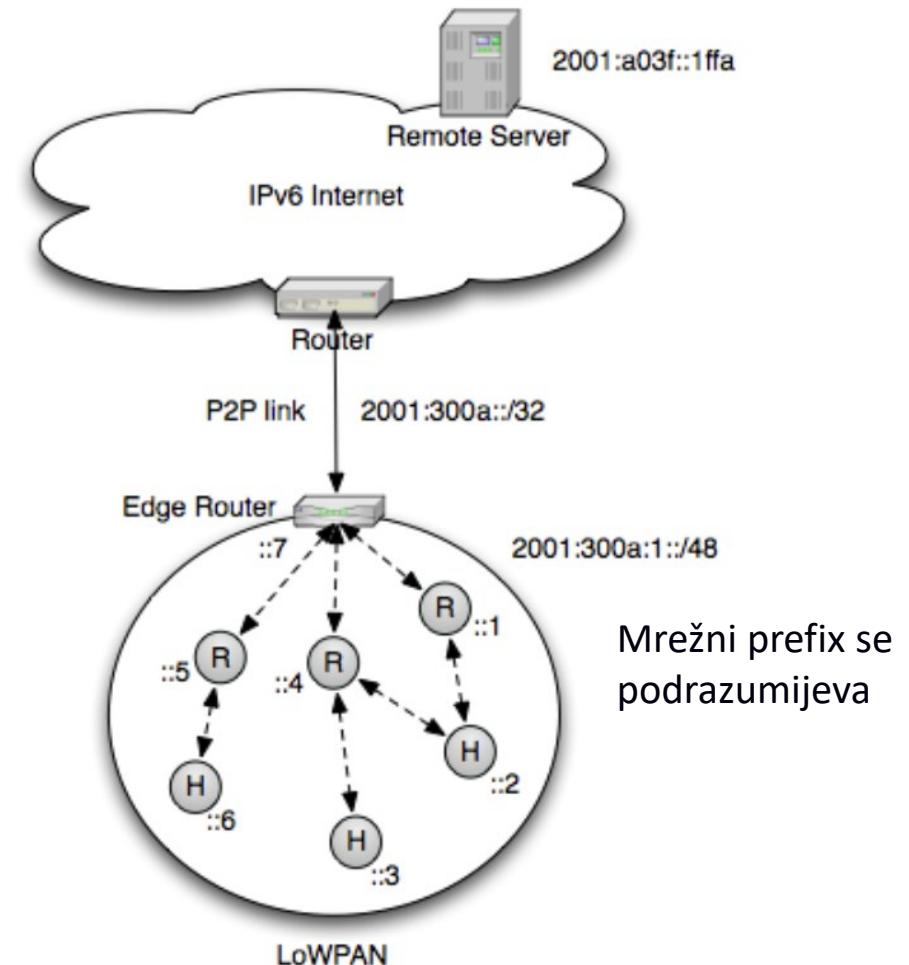
Fragmentacija

- Veliki paketi IPv6 (1280 bytes) se moraju razložiti na više manjih okvira 802.15.4 (127 bytes)
- Svi dijelovi (fragmenti) istog IP paketa imaju istu oznaku (*Datagram Tag*)
- *Datagram Size* definirana ukupnu veličinu originalnog paketa
- *Datagram offset* – pomak fragmenta u odnosu na paket
- Fragmenti ne moraju stići ispravnim redoslijedom, ali moraju unutar 60 s



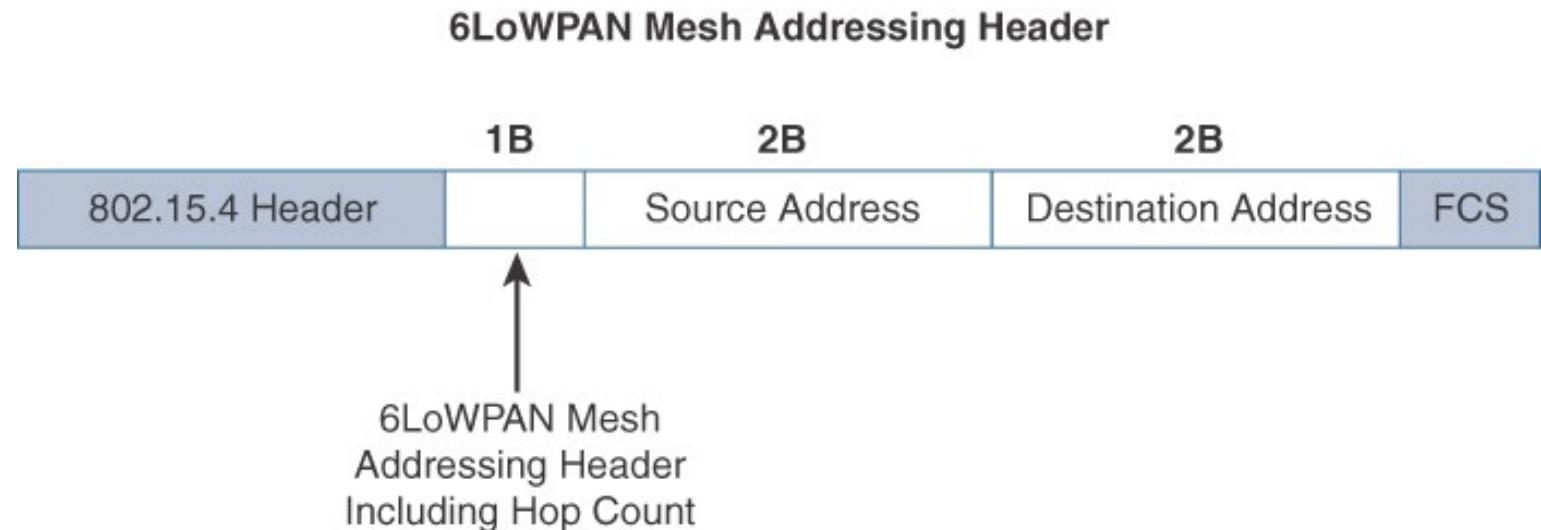
Mesh-adresiranje (1/2)

- za usmjeravanje paketa preko više čvorova ali u jednoj podmreži (naravno IEEE 802.15.4)
- prepostavka
 - *flat address spaces* (6LoWPAN mreža se razmatra kao 1 podmreža IPv6 s jedinstvenom MAC adresom)
- Kompresija IPv6 adresa za 6LoWPAN
 - izbacuju se svi podaci koji se mogu zaključiti iz „konteksta“
 - izbacuje se IPv6 prefix jer je poznat svim čvorovima u podmreži



Mesh-adresiranje (2/2)

- Zaglavje sadrži: Hop Limit, Source Address i Destination Address.
- Hop Limit: definira koliko puta se okvir može proslijediti, svaki čvor ga smanjuje za 1. Kada je 0, okvir se odbacuje
- Source Address i Destination Address:
IEEE 802.15.4 adrese

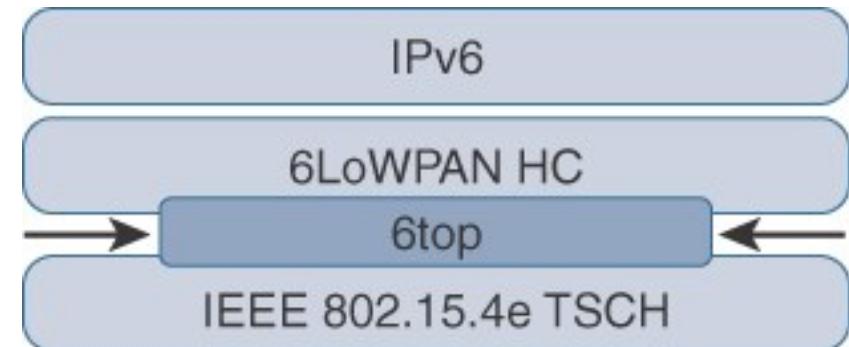


Sadržaj

- Uređaji i mreže ograničenih resursa
- 6LoWPAN: IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
- **6TiSCH: IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e**
- RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks

6TiSCH

- 6TiSCH: IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e
- IEEE 802.15.4e koristi Time-Slotted Channel Hopping (TSCH) koji se temelji na
 - **Time Division Multiple Access (TDMA)**: susjedni uređaji komuniciraju prema dogovorenom rasporedu koristeći alocirani vremenski odsječak (*time slot*)
- Pouzdanost komunikacije, pogodno za industrijske primjene



6top, a sublayer that glues together the MAC layer and 6LoWPAN adaptation layer.

6top

- 6top omogućuje višim slojevima upravljanje nad IEEE 802.15.4e uređajima: konfiguracija i kontrola procedura za upravljanje TSCH
- Potrebno je sinkronizirati slanje i primanje okvira pomoću posebnog *scheduling* algoritma koji definira kako se koriste vremenski odsječci.
- Scheduling utječe na propusnost, kašnjenje i potrošnju energije.
- 6top omogućuje susjednim čvorovima pregovaranje o ćelijama koje će koristiti za komunikaciju
 - ćelija definira vremenski odsječak i frekvencijski kanal za komunikaciju

6TiSCH schedule management mechanisms

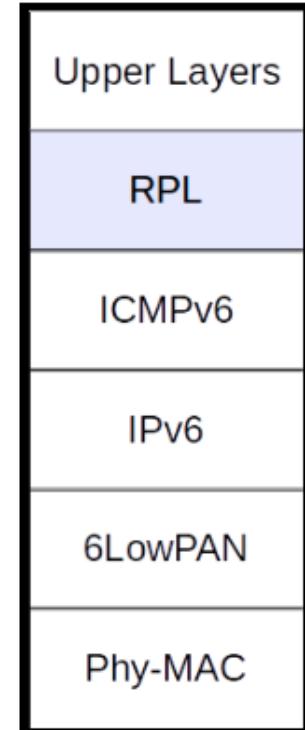
- **Statični:** svi čvorovi u mreži dijele statični raspored ćelija (raspored definira npr. administrator).
 - najjednostavniji mehanizam za implementaciju, predlaže se za inicijalnu komunikaciju
 - čvorovi su konstantno u stanju osluškivanja jer mogu primiti okvir u svakoj ćeliji, bespotrebno se troši puno energije.
- **Neighbor-to-neighbor scheduling:** definira se raspored na temelju opažanja komunikacije između čvorova.
 - Ćelije se dodaju ili oduzimaju u skladu s komunikacijskim potrebama.
- Detalji su definirani u **RFC 9030 An Architecture for IPv6 over the Time-Slotted Channel Hopping Mode of IEEE 802.15.4 (6TiSCH)** iz svibnja 2021.

Sadržaj

- Uređaji i mreže ograničenih resursa
- 6LoWPAN: IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks
- 6TiSCH: IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e
- **RPL: IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks**

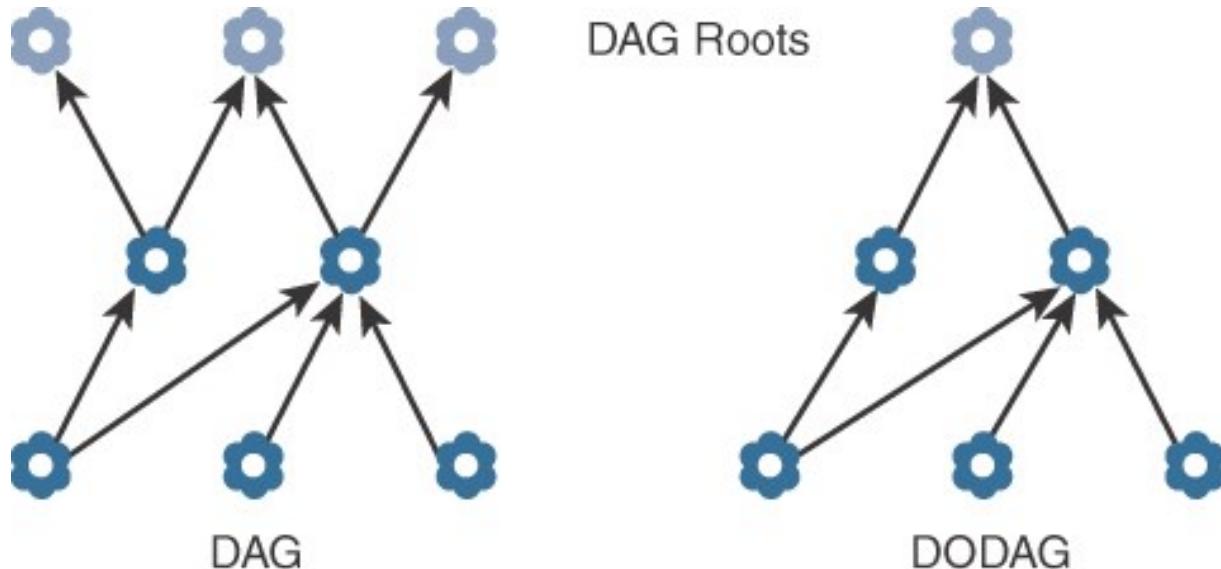
RPL

- IPv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks
- Definiran u RFC-u 6550
- Novi protokol za usmjeravanje paketa u mrežama ograničenih resursa (*distance-vector routing protocol*) na mrežnom sloju
- Svaki čvor može postati usmjeritelj (*mesh topologija*) na mrežnom sloju (*layer 3*) – postoje 3 vrste čvorova
- Izgrađuje se posebno stablo (DODAG) koristeći kontrolne poruke koje prenosi protokol Internet Control Message Protocol (ICMPv6) (stoga je RPL iznad sloja ICMPv6)
- Ne koristi informaciju s MAC sloja za usmjeravanje poruka



RPL: pretpostavke

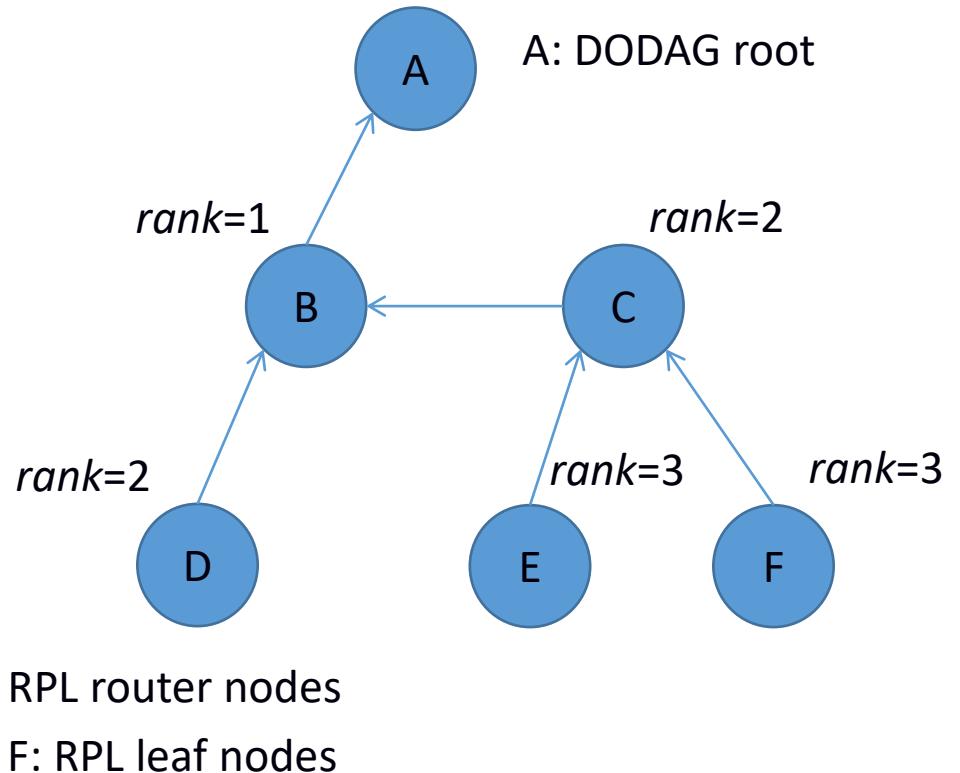
- **DAG: Directed Acyclic Graph**
 - Usmjereni graf bez usmjerenih petlji, poruka se u DAG-u ne može vratiti do čvora koji je izvorno generira
- **DODAG: Destination-Oriented DAG**
 - DAG s jednim korijenskim čvorom
 - svaki čvor održava do tri roditelja koji osiguravaju put do korijena (jedan je preferirani roditelj, tj. preferirani sljedeći skok za rute prema gore prema korijenskom čvoru)
 - Korijenski čvor za RPL zapravo je rubni usmjeritelj koji povezuje mrežu čvorova ograničenih resursa s Internetom



RPL DODAG: vrste čvorova

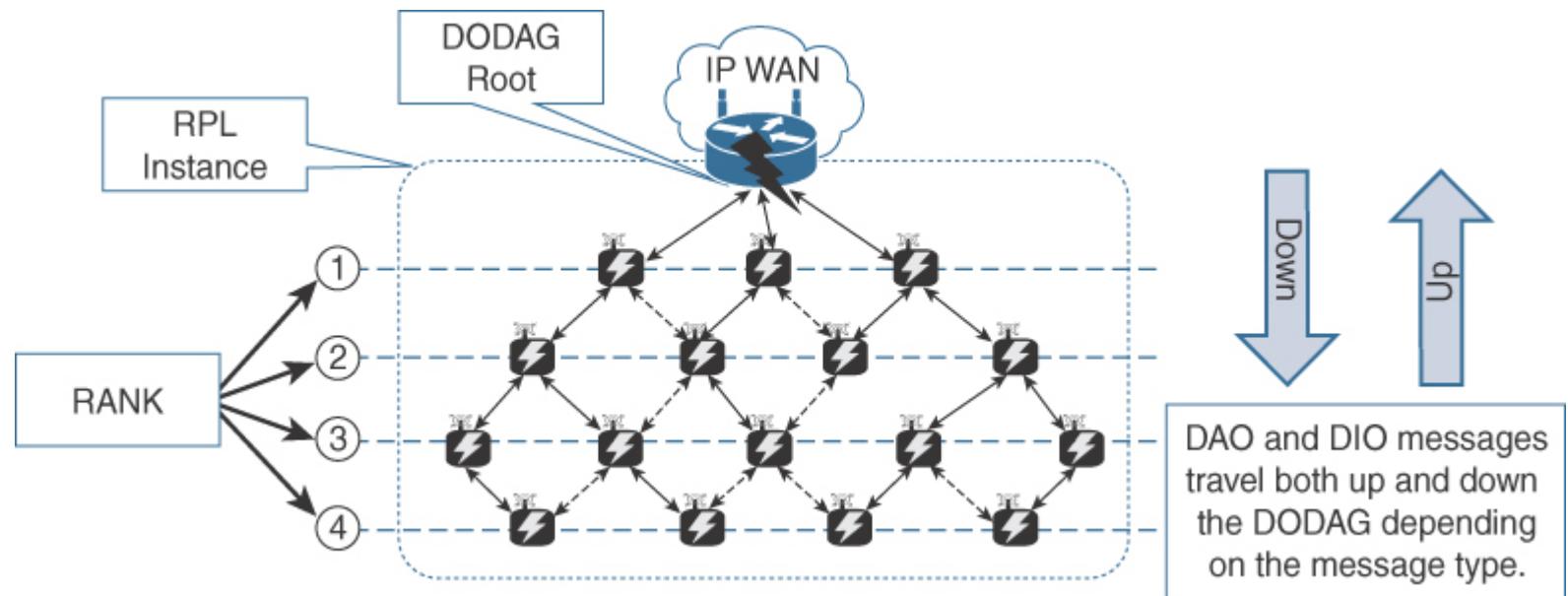
- **DODAG root:** korijenski čvor, zadužen za inicijalizaciju topologije, održava stanje (proaktivno) o topologiji DODAG. To je zapravo rubni usmjeritelj
- **RPL Router Node:** uređaj koji može generirati i usmjeravati RPL pakete. Nalazi se između čvorova root i leaf i sadrži routing info za sve svoje čvorove djecu (za storing mode).
- **RPL Leaf Node:** uređaj na dnu topologije i usmjerava samo vlastite pakete prema čvoru roditelju.

The rank is a rough approximation of how “close” a node is to the root and helps avoid routing loops and the count-to-infinity problem.



RPL: otkrivanje rute

- DODAG Information Solicitation (DIS)
- DAG Information Object (DIO)
- Destination Advertisement Object (DAO)



Kontrolne poruke RPL-a

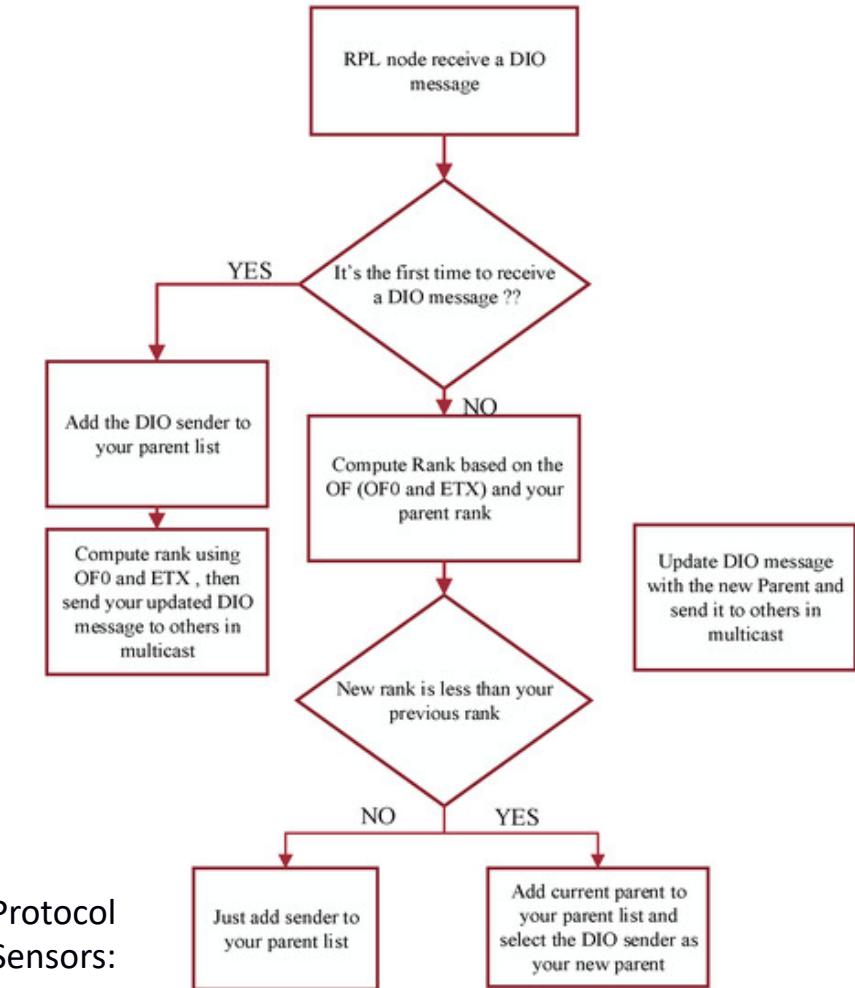
- **DODAG Information Solicitation (DIS)**: čvor šalje svojim susjedima kada od njih zahtijeva informaciju o usmjeravanju tj. DODAG Information Object (DIO). Poruka DIS je slična poruci Router Solicitation koju koristi protokol IPv6 Neighbour Discovery protocol
- **DODAG Information Object (DIO)**: odgovor na poruku DIS, sadrži informaciju o roditelju i rangu u DODAG-u, čvor je koristi kako bi održavao informaciju o DODAG-u u kojem se nalazi (tko mu je čvor-roditelj i koji mu je rang u DODAG-u), a može biti član i većeg broja DODAG-a
- **Destination Advertisement Object (DAO)**: omogućuje propagaciju informacije o svakom pojedinom čvoru prema korijenskom čvoru. Odgovor na DAO je poruka DAO-ACK.

RPL: dva načina rada

- **Storing mode:** Svi čvorovi održavaju potpunu tablicu usmjeravanja za jednu RPL domenu. Svaki čvor zna odrediti put prema svim ostalim čvorovima u podmreži RPL.
- **Non-storing mode:** Samo rubni usmjeritelj RPL domene sadrži potpunu tablicu usmjeravanja i zna odrediti put do krajnjeg čvora. Svi ostali čvorovi održavaju samo listu roditelja za usmjeravanje prema rubnom usmjeritelju.
 - Ovo je učinkovito rješenje na nivou čvora (štedi memoriju i CPU), ali koji su nedostaci?

Pravila za usmjeravanje poruka DIO

- služi za otkrivanje ruta prema korijenskom čvoru i odabir roditelja
- čvorovi kontinuirano primaju DIO poruke zbog promjena u topologiji mreže
- korijenski čvor pokreće izgradnju novog DODAG tako da šalje poruku DIO svojim susjedima, šalju se kao odgovor na poruku DIS
 - DODAGID: koristi se za identifikaciju korijenskog čvora i njegovog grafa DODAG



Izvor: Abdel Hakeem, S.A.; Hady, A.A.; Kim, H. RPL Routing Protocol Performance in Smart Grid Applications Based Wireless Sensors: Experimental and Simulated Analysis. *Electronics* **2019**, *8*, 186.

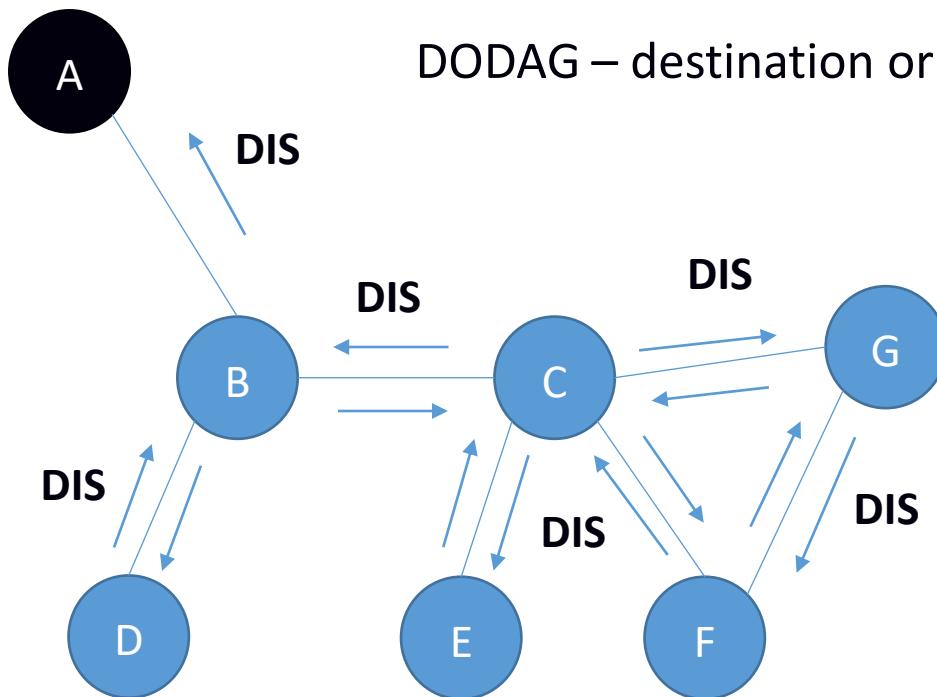
Pravila za usmjeravanje DAO

- DAO se koristi za kreiranje ruta od korijenskog čvora prema rubnim čvorovima
- čvorovi u DAO poruci **navode svoje roditelje** i šalju to poruku prema korijenskom čvoru
- DAO poruke su korisne i za roditeljske čvorove jer ih obavještavaju o „djeci” (*nodes are up and running*) te se koriste za održavanje tablice usmjeravanja na svim čvorovima (za **storing mode** rada)
- U slučaju **non-storing mode** DAO poruke se šalju samo do korijenskog čvora

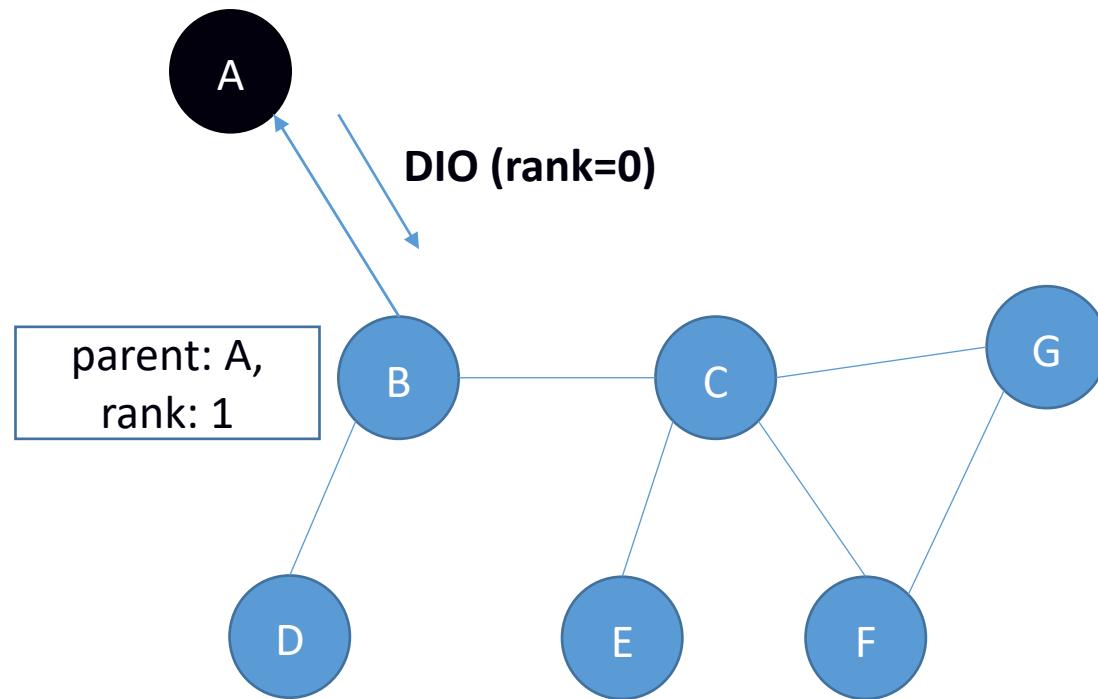
RPL – izgradnja grafa (1)

DIS - DODAG Information Solicitation

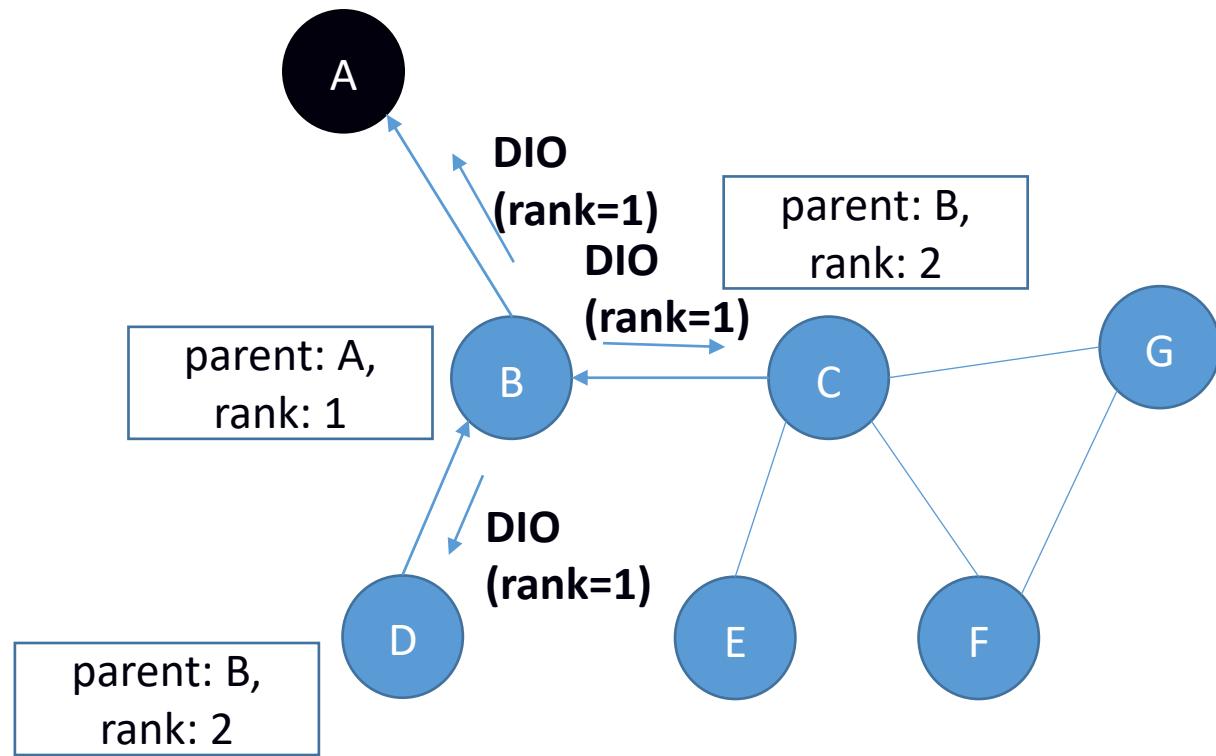
DODAG – destination oriented acyclic graph



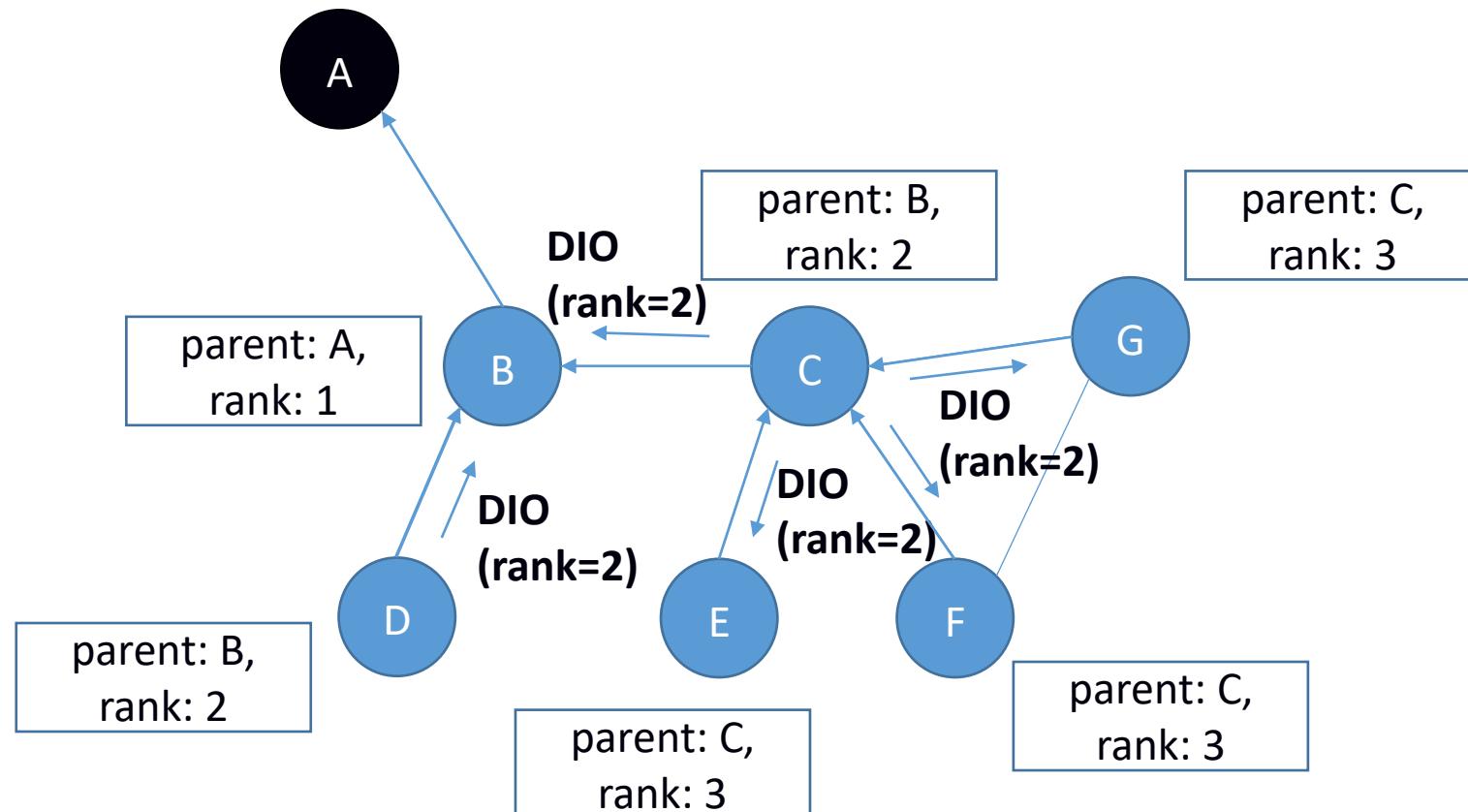
RPL – izgradnja grafa (2)



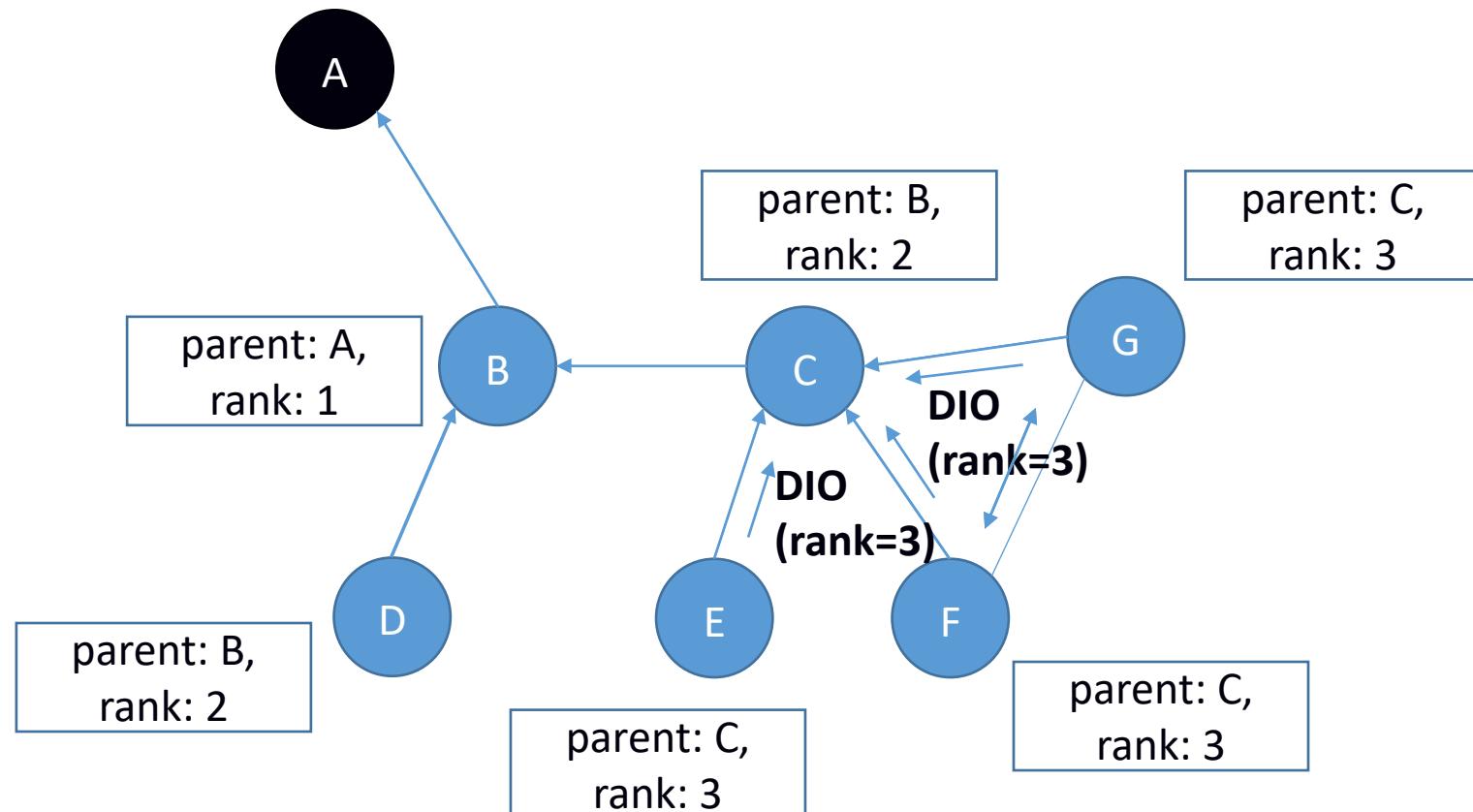
RPL – izgradnja grafa (3)



RPL – izgradnja grafa (4)



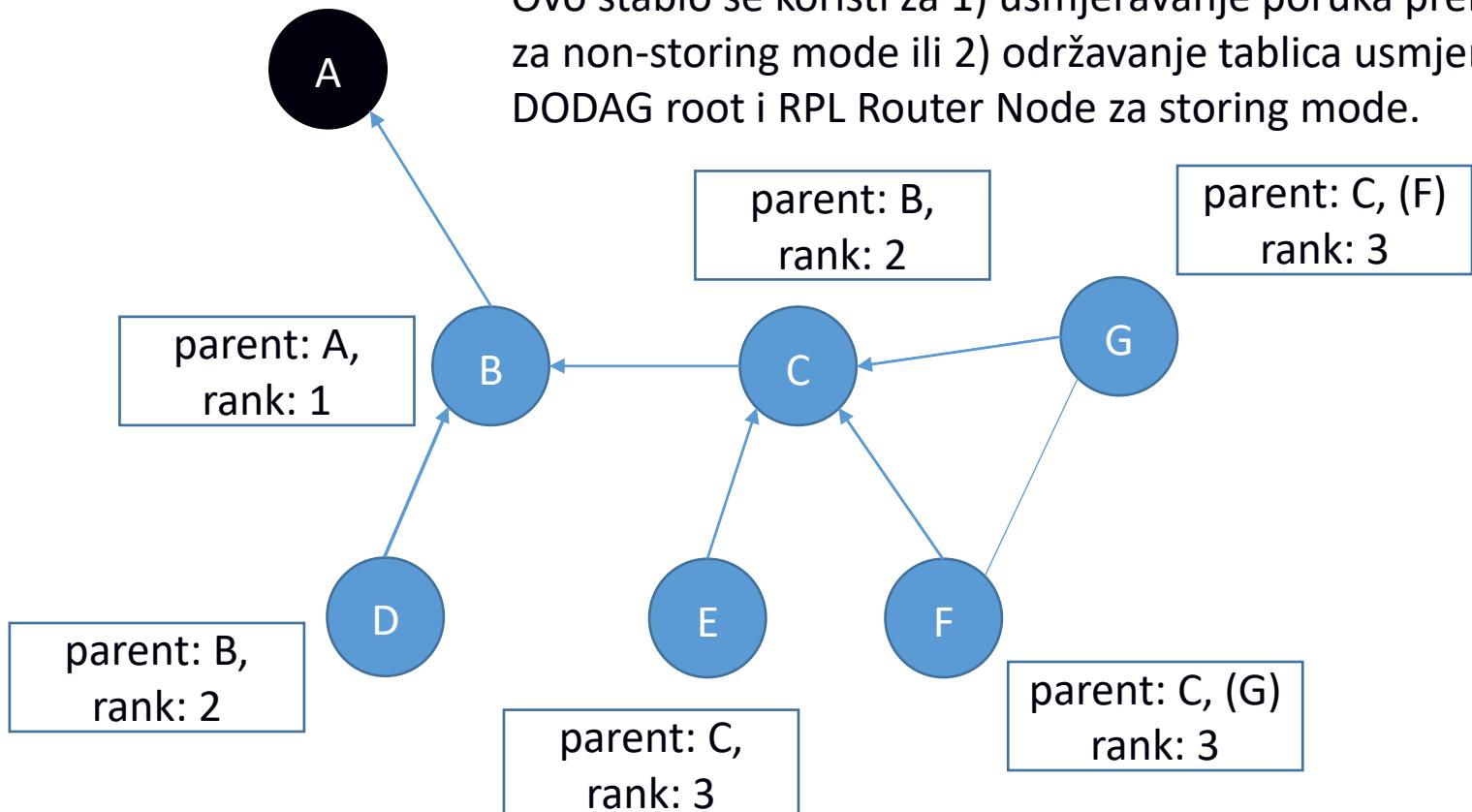
RPL – izgradnja grafa (5)



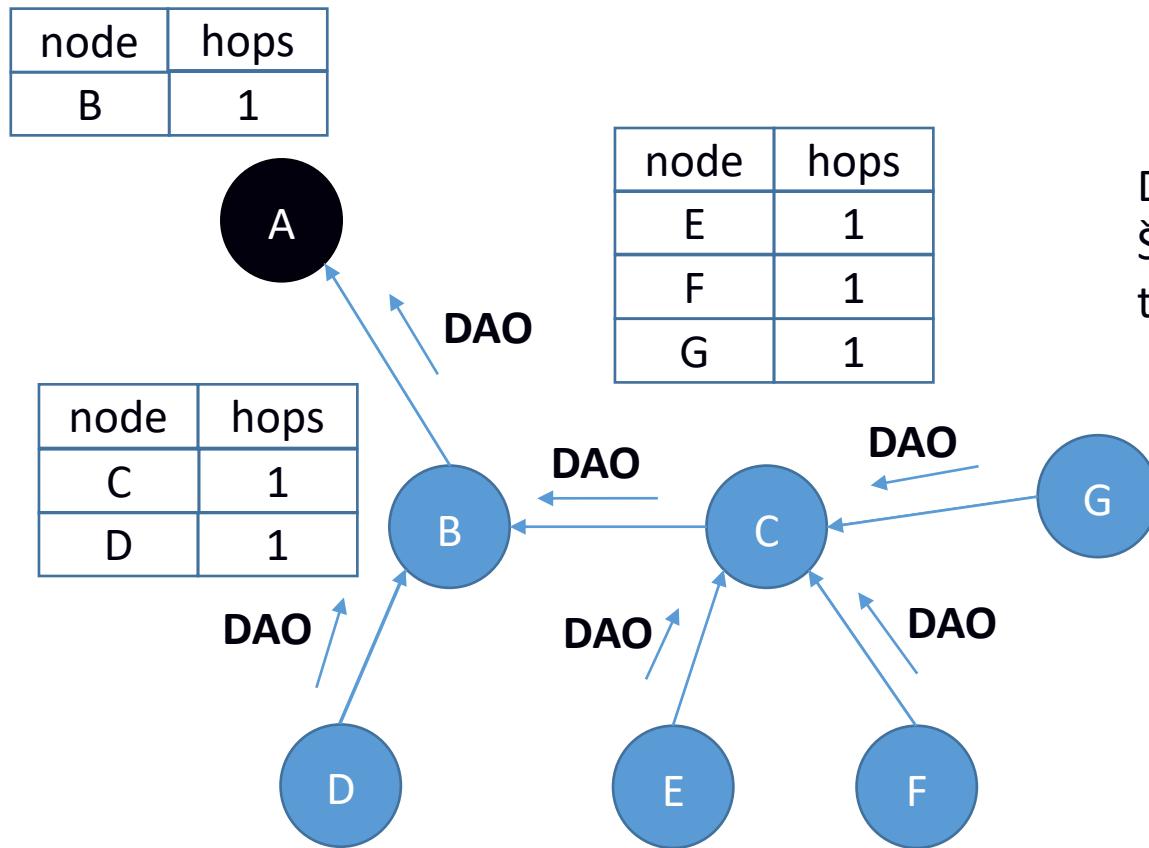
RPL – izgradnja grafa (6)

Nastalo je stablo (DODAG): svaki čvor ima primarnog roditelja (čvorovi F i G poznaju drugog potencijalnog roditelja).

Ovo stablo se koristi za 1) usmjeravanje poruka prema DODAG root za non-storing mode ili 2) održavanje tablica usmjeravanja na DODAG root i RPL Router Node za storing mode.



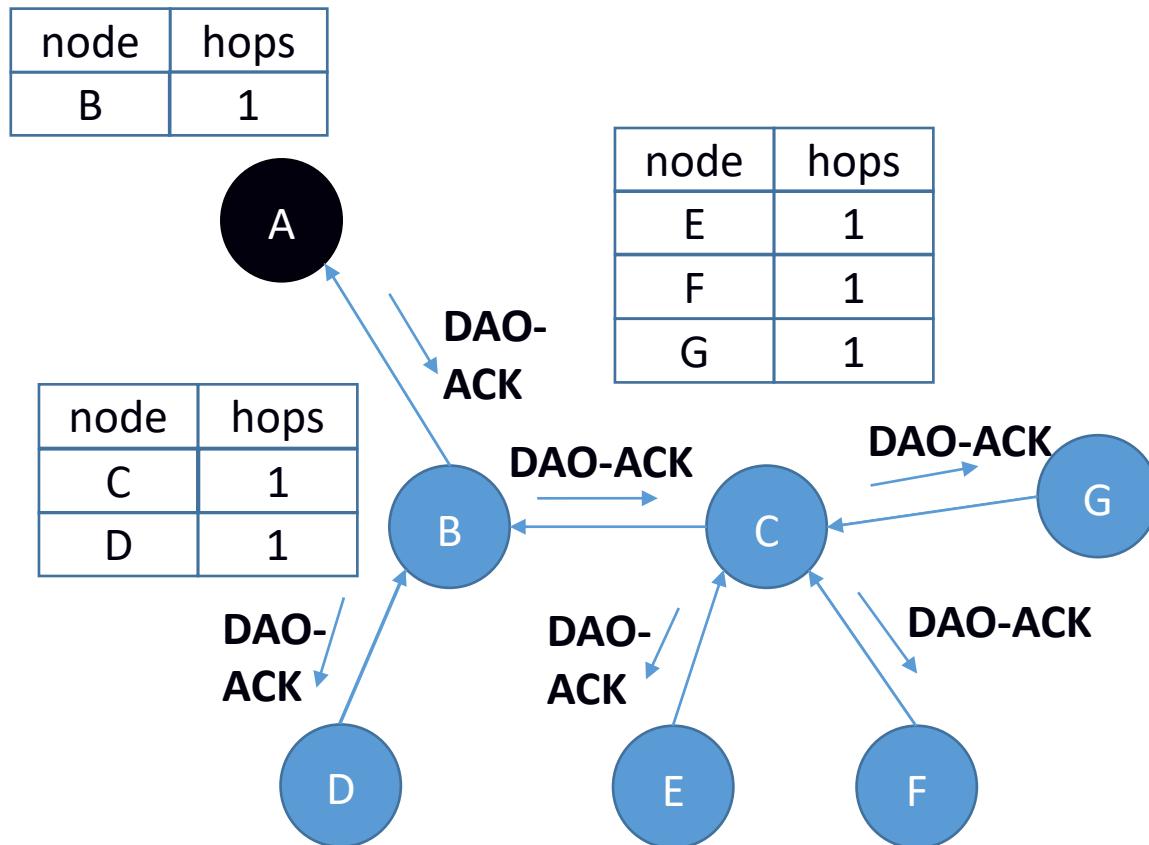
RPL – storing mode (1)



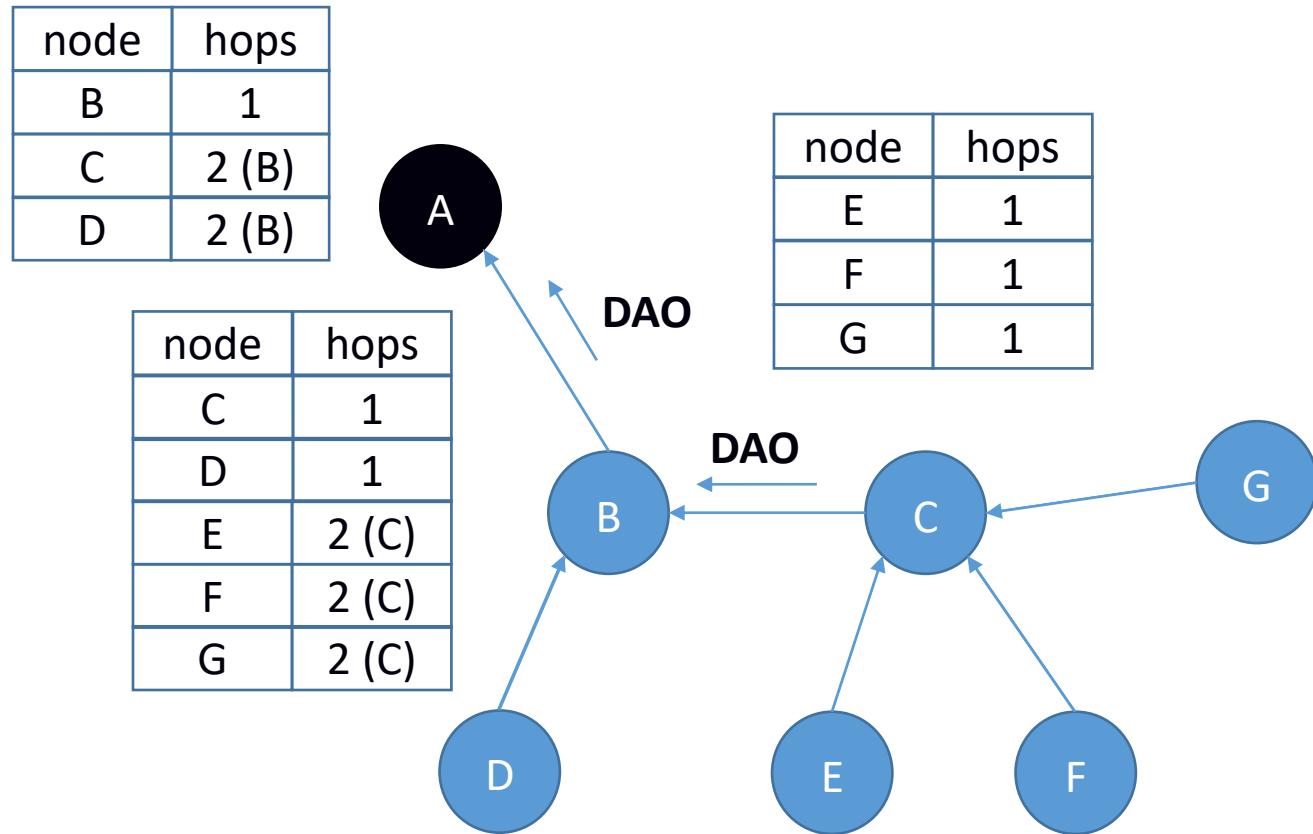
DAO - Destination Advertisement Object
Šalje čvor svome roditelju za održavanje
tablice usmjeravanja

non storing - manje memorije, bolja skalabilnost, duzi putevi, veca potrosnja energije

RPL – storing mode (2)



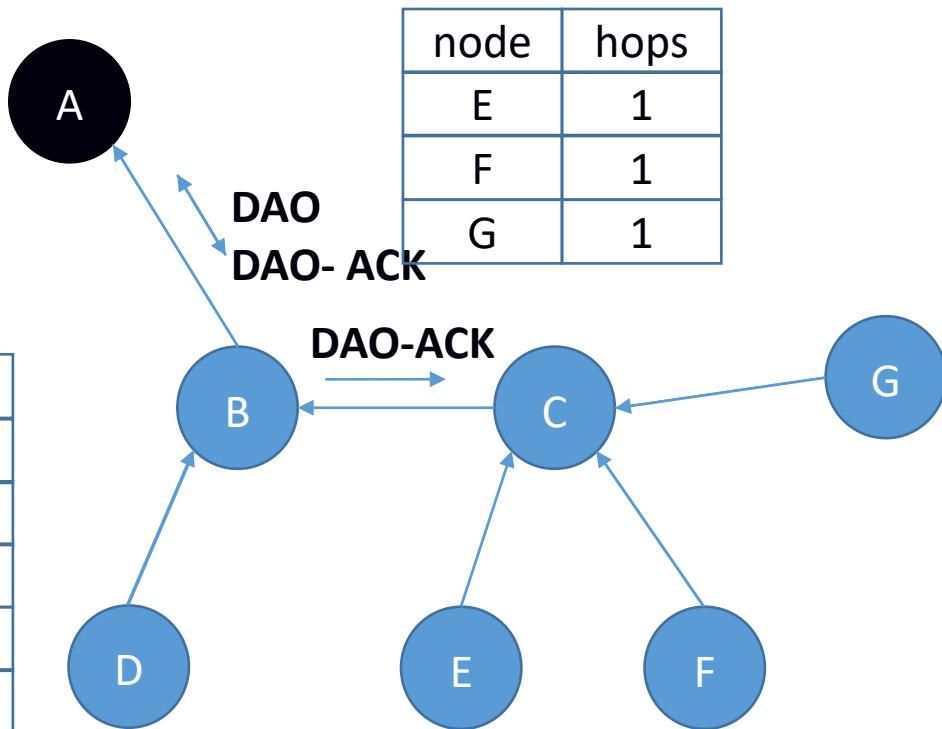
RPL – storing mode (3)



RPL – storing mode (4)

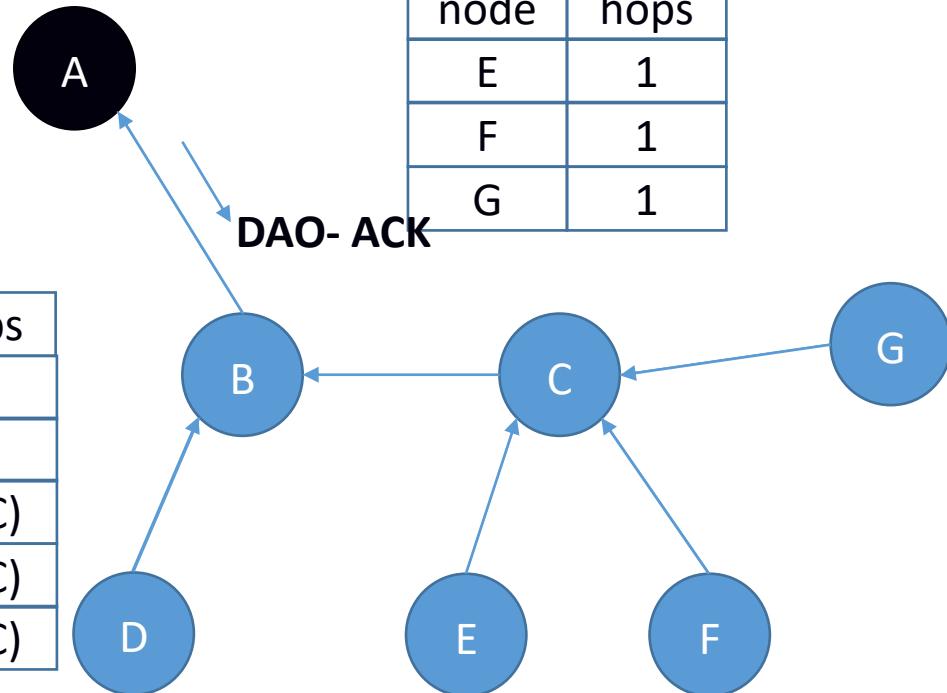
node	hops
B	1
C	2 (B)
D	2 (B)
E	3 (B)
F	3 (B)
G	3 (B)

node	hops
C	1
D	1
E	2 (C)
F	2 (C)
G	2 (C)

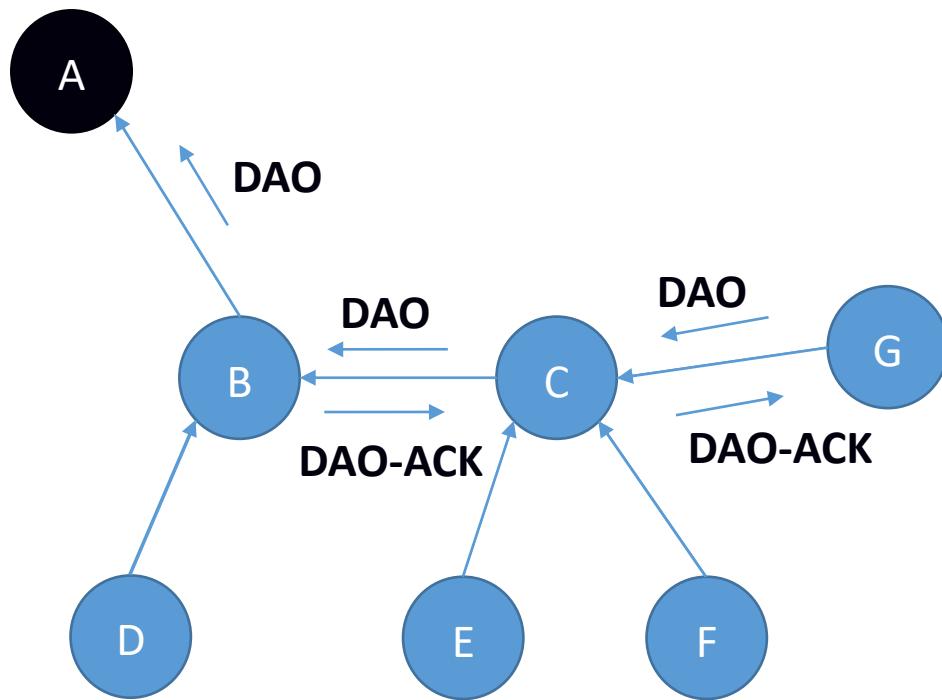


RPL – storing mode (5)

node	hops
B	1
C	2 (B)
D	2 (B)
E	3 (B)
F	3 (B)
G	3 (B)

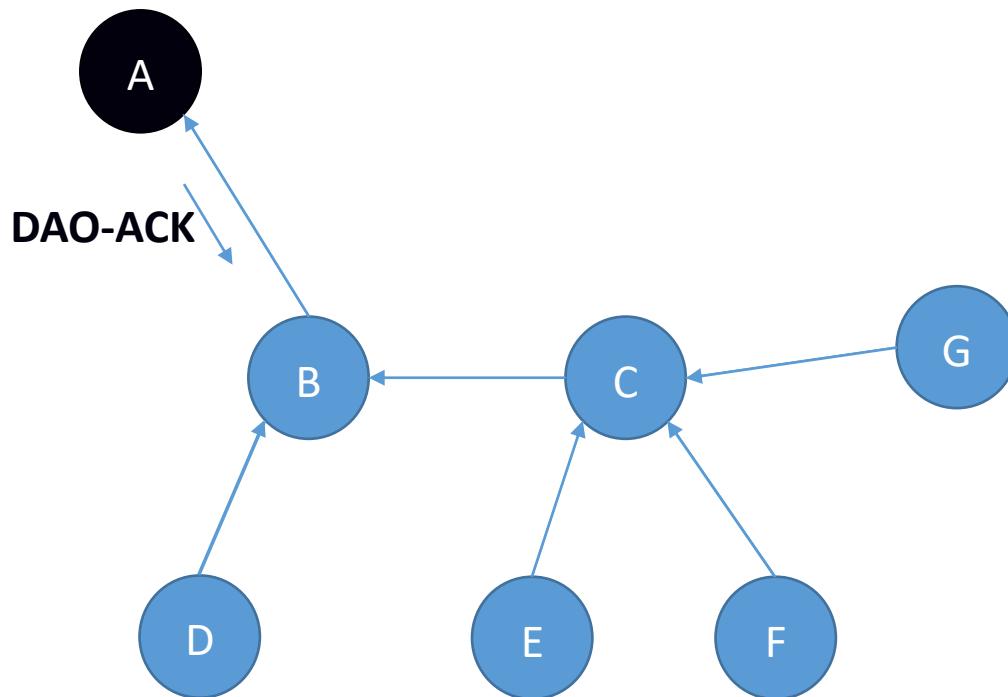


Non-storing mode (1)



Non-storing mode (2)

node	hops
B	1
C	2 (B)
D	2 (B)
E	3 (B-C)
F	3 (B-C)
G	3 (B-C)



Pitanja za ponavljanje

- Navedite obilježja različitih kategorija uređaja ograničenih resursa.
- Koja su obilježja mreže ograničenih resursa?
- Zašto je protokol IP pogodan za umrežavanje uređaja ograničenih resursa?
- Objasnite zašto je potrebna prilagodba protokola IPv6 za uređaje ograničenih resursa koji koriste IEEE 802.15.4. ObjASNITE mehanizme prilagodbe koje uvodi protokol 6LoWPAN.
- Objasnite što je DODAG i koje vrste čvorova koristi protokol RPL.
- Analizirajte prednosti i nedostatke non-storing modela rada protokola RPL.

Literatura

1. David Hanes, Gonzalo Salgueiro, Patrick Grossetete, Robert Barton, and Jerome Henry. 2017. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things (1st ed.). Cisco Press. (5. poglavlje)
2. RFC 4944, Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks, Sept. 2007 <https://tools.ietf.org/html/rfc4944>
3. RFC 6282, Compression Format for IPv6 Datagrams over IEEE 802.15.4-Based Networks, Sept. 2011 <https://tools.ietf.org/html/rfc6282>
4. RPL: <https://www.ietfjournal.org/roll-on-a-roll/>



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Internet stvari

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

**7. Sigurnosni aspekti, upravljanje
uredjajima**

Ak. god. 2022./2023.

Zanimljivosti...

- MIRAI botnet – kraj 2016.
 - Zločudni kôd koji cilja uređaje IoT (tipično kamere)
 - telnet/web – lista *default* imena i lozinki → bruteforce → zaraza
 - “2016 Dyn cyberattack”
 - <https://github.com/jgamblin/Mirai-Source-Code>
- Medicinski uređaji - primjer St. Jude's
 - Pacemaker – sučelje za provjeru stanja
 - Moguće mijenjati otkucaje srca i isprazniti bateriju...
- Automobili
 - Jeep 2015 - pristup CAN-u kroz firmware update
 - Provaljivanje alarmnih sustava - Calamp i Viper SmartStart
 - Stealing a Tesla in seconds: <https://www.youtube.com/watch?v=aVIYuPzmJoY>

Još zanimljivosti...

- Smart Locks Used by Airbnb Get Bricked by Software Update
 - <https://gizmodo.com/smart-locks-used-by-airbnb-get-bricked-by-software-upda-1797839523>
- Sustavi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) / ICS
 - Industrija 4.0, elektrane... - automatizacija –
 - Sve više uređaja IoT → Industrial IoT (IIoT)
 - Stuxnet – crv koji je napadao Siemens PLC-ove
 - iranska nuklearna postrojenja
 - December 2015 Ukraine power grid cyberattack
 - Energetski sektori – SAD, UK
 - Finska – sustavi grijanja

Problemi sigurnosti i privatnosti u IoT

- Uzroci loše sigurnosti u IoT (vrijede i općenito)
 - Fokus je na funkcionalnosti uređaja / sustava
 - Fokus je na sučeljima prema korisnicima
 - Pokušava se skratiti vrijeme razvoja kako bi proizvodi čim prije izašli na tržište (konkurenčija)
- Što je s podacima korisnika?
 - Uređaji IoT ih prikupljaju
 - Prenose se u "oblak" i obrađuju
 - Curenje podataka?

Složaj tehnologija u IoT...

- Napadači “poznaju” tehnologije i imaju alate
 - Automatizirani alati za napad na pojedine slojeve / tehnologije
 - Poznate ranjivosti za većinu slojeva u složaju
- Razvijatelji nisu sigurnosni stručnjaci
 - Ne postoje gotova rješenja / alati
 - Ne postoje metodologije impl. sigurnosti
- Što se događa?
 - Razvijatelji razviju komponente i integriraju ih u sustav
 - Ostaje velika “površina napada” preko cijelog složaja
 - Iskusnim napadačima nije problem pronaći i iskoristiti ranjivost



OWASP



- Open Web Application Security Project
- Top 10
 - Web, mobilne aplikacije, IoT
- Smjernice za razvoj sigurnih aplikacija/usluga
 - i testiranje nesigurnih aplikacija/usluga
- Alati – npr. ZAP
- Application Security Verification Standard (OWASP ASVS)
 - “kuharica” za izradu sigurnih (web) aplikacija
 - Donekle primjenjivo i na ostale domene!

OWASP Top 10 IoT – 2014

- I1 Nesigurna sučelja weba (Insecure Web Interface)
- I2 Nedovoljna autentifikacija / autorizacija (Insufficient Authentication/Authorization)
- I3 Nesigurne mrežne usluge (Insecure Network Services)
- I4 Nedostatak šifriranja u transportu (Lack of Transport Encryption)
- I5 Privatnost (Privacy Concerns)
- I6 Nesigurna sučelja u oblaku (Insecure Cloud Interface)
- I7 Nesigurna mobilna sučelja (Insecure Mobile Interface)
- I8 Konfiguracija sigurnosnih postavki (Insufficient Security Configurability)
- I9 Nesigurni software/firmware (Insecure Software/Firmware)
- I10 Loša fizička sigurnost (Poor Physical Security)

OWASP Top 10 IoT – 2018

- I1 Loše lozinke - Weak Guessable, or Hardcoded Passwords
- I2 Nesigurne mrežne usluge - Insecure Network Services
- I3 Nesigurna sučelja - Insecure Ecosystem Interfaces
- I4 Nesigurni mehanizmi nadogradnji - Lack of Secure Update Mechanism
- I5 Zastarjele komponente - Use of Insecure or Outdated Components
- I6 Loša privatnost - Insufficient Privacy Protection
- I7 Nedovoljno šifriranje - Insecure Data Transfer and Storage
- I8 Nedostatak upravljanja - Lack of Device Management
- I9 Loše početne postavke - Insecure Default Settings
- I10 Fizička sigurnost - Lack of Physical Hardening

OWASP IoT Top 10 2014

I1 Insecure Web Interface

I2 Insufficient Authentication/Authorization

I3 Insecure Network Services

I4 Lack of Transport Encryption/Integrity Verification

I5 Privacy Concerns

I6 Insecure Cloud Interface

I7 Insecure Mobile Interface

I8 Insufficient Security Configurability

I9 Insecure Software/Firmware

I10 Poor Physical Security

OWASP IoT Top 10 2018 Mapping

I3 Insecure Ecosystem Interfaces

I1 Weak, Guessable, or Hardcoded Passwords

I3 Insecure Ecosystem Interfaces

I9 Insecure Default Settings

I2 Insecure Network Services

I7 Insecure Data Transfer and Storage

I6 Insufficient Privacy Protection

I3 Insecure Ecosystem Interfaces

I3 Insecure Ecosystem Interfaces

I9 Insecure Default Settings

I4 Lack of Secure Update Mechanism

I5 Use of Insecure or Outdated Components

I10 Lack of Physical Hardening



I1 Weak Guessable, or Hardcoded Passwords

- Korištenje jednostavnih lozinki
- Statičke lozinke ili tokeni (posebno kod “manjih” uređaja)
- Korištenje slabih i predvidljivih tokena / identifikatora sjednica?
- Osnovne provjere:
 - Mogu li postaviti jednostavnu lozinku (npr. qwerty)?
 - Istiće li sjednica nakon nekog vremena?
 - Mogu li promijeniti *default* ime i lozinku?
 - Hoće li me aplikacija “zaključati” nakon n pogrešnih lozinki?
 - Mogu li nekako doći do podataka korisnika (Zaboravljena lozinka?)
 - Penetracijsko testiranje sučelja “izvana”
 - a poželjno i kao registrirani korisnik

I2 Insecure Network Services

- Uz osnovne usluge nužne za funkcioniranje uređaja IoT često su pokrenuti različiti servisi
 - Jesu li svi servisi doista potrebni?
 - Ako jesu, je li verzija / implementacija sigurna (CVE liste)?
 - Jesu li adekvatno zaštićeni (npr. I3)?
- Osnovne provjere:
 - Skeniranje *portova* kako bi se utvrdilo što je sve pokrenuto (nmap)
 - Provjera ranjivosti otvorenih servisa (npr. Nessus, OpenVAS)
 - Fuzzing, buffer overflow → tipičan cilj: DoS
 - Posebno paziti na UPnP portove (Universal Plug&Play)

Alati za skeniranje i lista ranjivosti



Results (278 of 278)

Results by Severity Class (...):
High: 1, Medium: 62, Low: 159, Log: 56.

Results vulnerability word ...:
POODLE, Insufficient, Execution, Deprecated, DCE/IPC, Multiple, Microsoft, NTLM, MSRPC, Strength, Vulnerabilities, Using, Service, Report, LDAP, Algorithms, SMB, TCP, timestamps, Cipher, JS Suites, request, MAC, SSL/TLS, Signed, CBC, Reporting, Weak, Enumeration, Check, Services, SSH enabled, Supported, Vulnerability, from, Information, retrieve, Certificate, Protocol, search, Group, Encryption, Windows, SMBv1, Signature, Server, SSLv3, SSLv2, Detection, Disclosure, Algorithm, Key.

Results by CVSS (Total: 278):

CVSS Score Range	Count
N/A	0
1	0
2	0
3	50
4	30
5	115
6	5
7	5
8	5
9	5
10	45

Vulnerability:

Vulnerability	Severity	QoD	Host	Location	Created
SMBv1 enabled (Remote Check)	10.0 (High)	80%	127.0.0.31	445/tcp	Thu Mar 23 16:33:27 2017
SMBv1 enabled (Remote Check)	10.0 (High)	80%	127.0.0.34	445/tcp	Thu Mar 23 16:33:27 2017
Microsoft Windows SMB Server NTLM Multiple Vulnerabilities (971468)	10.0 (High)	98%	127.0.0.10	445/tcp	Thu Mar 23 16:33:27 2017
SMBv1 enabled (Remote Check)	10.0 (High)	80%	127.0.0.25	445/tcp	Thu Mar 23 16:33:27 2017

<http://openvas.org/>



CVE List Board

CNA
About
News & Blog

NVD
Go to for:
CVSS Scores
CPE Info
Advanced Search

Search CVE List	Download CVE	Data Feeds	Request CVE
IDs	Update a CVE Entry	TOTAL CVE Entries: 115184	

HOME > CVE > SEARCH RESULTS

Search Results

There are 51 CVE entries that match your search.

Name	Description
CVE-2019-1698	A vulnerability in the web-based user interface of Cisco Internet of Things Field Network Director (IoT-FND) Software could allow an authenticated, remote attacker to gain read access to information that is stored on an affected system. The vulnerability is due to improper handling of XML External Entity (XXE) entries when parsing certain XML files. An attacker could exploit this vulnerability by importing a crafted XML file with malicious entries, which could allow the attacker to read files within the affected application. Versions prior to 4.4(0.26) are affected.
CVE-2019-1644	A vulnerability in the UDP protocol implementation for Cisco IoT Field Network Director (IoT-FND) could allow an unauthenticated, remote attacker to exhaust system resources, resulting in a denial of service (DoS) condition. The vulnerability is due to improper resource management for UDP ingress packets. An attacker could exploit this vulnerability by sending a high rate of UDP packets to an affected system within a short period of time. A successful exploit could allow the attacker to exhaust available system resources, resulting in a DoS condition.
CVE-2019-0741	An information disclosure vulnerability exists in the way Azure IoT Java SDK logs sensitive information, aka 'Azure IoT Java SDK Information Disclosure Vulnerability'.
CVE-2019-0729	An Elevation of Privilege vulnerability exists in the way Azure IoT Java SDK generates symmetric keys for encryption, allowing an attacker to predict the randomness of the key, aka 'Azure IoT Java SDK Elevation of Privilege Vulnerability'.

<https://cve.mitre.org/>

Internet stvari

I3 Insecure Ecosystem Interfaces

- Objedinjene 3 top ranjivosti iz 2014:
 - IoT uređaji tipično komuniciraju s poslužiteljem – nesigurna sučelja weba (ex. I1)
 - Zapravo OWASP web top 10 (prethodno predavanje)
 - Možemo li provaliti sučelje na poslužitelju i doći do podataka s uređaja?
 - Usluge često imaju mobilne aplikacije za pregled podataka i upravljanje uređajima (npr. kamere) (ex. I7)
 - Vrlo slično OWASP top 10 mobilnih ranjivosti (prethodno predavanje)
 - Možemo li preko aplikacije ii sučelja za aplikaciju na uređaju preuzeti kontrolu?
 - Tipično uređaje IoT kontroliramo / agregiramo podatke putem sučelja u oblaku (ex. I6)
 - Ponovno, vrlo slično ex. I1 – poslužitelji weba i njihova sučelja

I4 Lack of Secure Update Mechanism

- Ažuriranje programske podrške je uvijek nužno
 - Pronađene ranjivosti → zakrpe (npr. napadači - diff!)
- Problem može biti i “nesigurno” ažuriranje
 - Autentifikacija poslužitelja - automatizirano ažuriranje sa preuzetog “update servera”
 - NotPetya – Ukrajina, brave s Airbnb...
 - Prijenos ažuriranja mora biti šifriran
 - Ažurirani software/firmware ne smije sadržavati “hardkodirane” autentifikacijske podatke! (npr. kako do ključeva iz hardvera?)
- Osnovne provjere:
 - Može li se software/firmware uređaja uopće ažurirati?

I5 Use of Insecure or Outdated Components

- Korištenje zastarjelih ili nesigurnih komponenti
 - Programske knjižnice, radni okviri...
 - Nesigurna dorada funkcija operacijskog sustava
 - Nesigurno sklopolje?
- Osnovne provjere:
 - Pobrojati što se sve koristi
 - Provjeriti je li sve ažurirano
 - Sličan princip kao i kod ranjivosti weba...

I6 Insufficient Privacy Protection

- Uređaji IoT mogu skupljati osobne podatke
 - Kamere, mikrofoni, medicinski podaci...
- Problem: kompromitacija takvih podataka koje napadači tipično koriste za daljnje napade
 - Phishing, spear-phishing, ucjene, lažno predstavljanje...
- Osnovne provjere
 - Kakve sve podatke uređaj IoT skuplja (i je li to nužno)?
 - Što se radi s tim podacima - gdje se i kako obrađuju/šalju?
 - jesu li anonimizirani u nekoj mjeri?
 - Domena GDPR-a
 - Posljedica zapravo svih ranjivosti I1-I10
- Npr. Amazon Echo – "prisluškivanje" za poboljšanje usluge?

I7 Insecure Data Transfer and Storage

- Česta ranjivost općenito, donekle smanjena posljednjih godina
- Nepostojanje šifriranja prometa na transportnom sloju
 - Sva komunikacija je lako čitljiva metodama "sniffanja" (npr. Wireshark)
- Nepostojanje šifriranja podataka "u mirovanju" – novost!
- Potrebno je ispravno koristiti infrastrukturu PKI, ključeve i mehanizme
- Osnovne provjere:
 - Analiza prometa kako bi se utvrdilo je li dio ili sav promet šifriran
 - Ako se koristi TLS provjeriti da se koristi ispravno
 - Dosta postojećih problema s neispravnim korištenjem (npr. SSLstrip)
 - Provjera korištenih algoritama i ključeva – jesu li zastarjeli?
 - Nove preporuke svakih nekoliko godina
- ESP8266 npr.: <https://hackaday.com/2017/06/20/practical-iot-cryptography-on-the-espressif-esp8266/>

I8 Lack of Device Management

- Upravljanje i nadzor IoT uređaja
- Znamo li gdje su, u kojem su stanju, rade li ispravno, rade li uopće...
- Problem sa zamjenom / isključivanjem uređaja?
 - Npr. smart dust problem
- Problem “rogue node” – kako detektirati lažni uređaj?
- Kao Logging and monitoring kod web-aplikacija

I9 Insecure Default Settings

- Tko je kriv za MIRAI botnet? (korišteni su *default* računi!)
- Može li se mijenjati sigurnosne postavke uređaja?
 - Mora li ih se mijenjati? (MIRAI!)
 - Što ako postane prekompleksno – korisnici očekuju PnP! (loše)
- Osnovne provjere:
 - Ako već proizvođač ne forsira jake lozinke, mogu li ih sam forsirati na administratorskom sučelju?
 - Ima li mogućnosti povećavanja sigurnosti putem sučelja:
 - Logiranje svih akcija u sustavu (bitno za napade iznutra!)
 - Upozorenja u slučaju incidenata (mail, SMS, alarm)?
 - Definiranje korisničkih uloga
- https://www.owasp.org/index.php/Top_10_2014-I8_Insufficient_Security_Configurability



I10 Lack of Physical Hardening

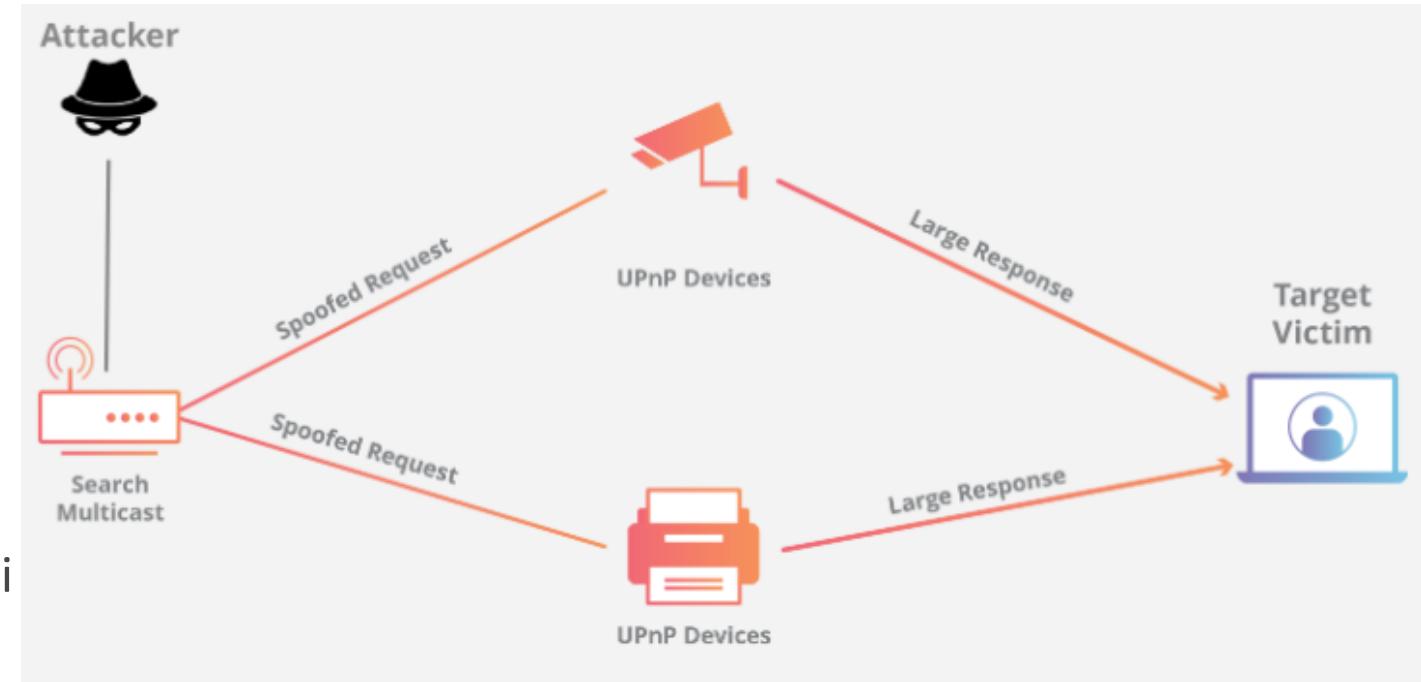
- Što napadač može napraviti ako ima fizički pristup uređaju?
 - Kako do ključeva/lozinki iz sklopolja? (prošli *slide*)
 - Pristup podacima (npr. očitanja) pohranjenim na memorijskoj kartici
 - Pristup USB-u i sličnim priključcima (npr. PoisonTap)?
- Osnovne provjere:
 - Mogu li jednostavno "otvoriti" uređaj? Postoji li detekcija?
 - Mogu li se spojiti na ulaze (npr. USB) namijenjene konfiguraciji uređaja?
 - Mogu li programski onemogućiti lokalno spajanje na uređaj?
 - Jesu li pohranjeni podaci šifrirani?
- https://www.owasp.org/index.php/Top_10_2014-I10_Poor_Physical_Security

Kako se štititi?

- Shvatiti zašto postoje ranjivosti (...)
- Za svaku ranjivost OWASP ima preporuke (poveznice)
- Smjernice za razvijatelje
 - Kako razvijati, što omogućiti, na što paziti?
- Smjernice za korisnike
 - Kako osigurati uređaj / sustav?
 - *Default* je uobičajeno jednostavan i nesiguran!
 - Tko je kriv u slučaju zlouporaba?
- Sigurnost je složena i traži puno znanja na svim “slojevima”
 - Jedna ranjivost može kompromitirati cijeli sustav!

Uređaji IoT kao sredstvo za DDoS? – npr. SSDP DDoS

- "amplification" napad
- UPnP (Universal Plug'n'Play) uređaji (PS4, Smart TV, kamere...)
 - Koriste SSDP (Simple Service Discovery Protocol) za objavu slanjem paketa na multicast adresu – koriste UDP!
 - Nakon objave računala ih mogu zatražiti karakteristike / usluge → pojačanje!
- Napadač lažira IP adresu žrtve i zatraži karakteristike od velikog broja UPnP uređaja...



<https://www.cloudflare.com/learning/ddos/ssdp-ddos-attack/>

Neki korisni resursi...

- Smjernice GSMA IoT Security
 - 85 preporuka za siguran dizajn IoT sustava, uređaja...
 - Ranjivosti, modeli napada i procjena rizika za svaki slučaj
 - <https://www.gsma.com/iot/iot-security/iot-security-guidelines/>
- SHODAN (<https://www.shodan.io/>)
 - Google za IoT uređaje
 - Pretraga uređaja
 - Pretraga pronađenih ranjivosti
 - Koristiti kao prvi korak napada (probe)?

SHODAN

Exploits Maps Share Search Download Results Create Report

TOTAL RESULTS
25

TOP COUNTRIES



Croatia 25

TOP CITIES

Zagreb	16
Karlovac	3
Dubrovnik	2

TOP SERVICES

2002	7
Telnet	7
HTTPS	5
264	3
HTTP	1

TOP ORGANIZATIONS

VIPnet d.o.o.	11
Croatian Academic and Research ...	8
T-Mobile Croatia	2
Metronet telekomunikacije d.d.	2
POSLuH d.o.o., za informaticke usl... <td>1</td>	1

193.198.162.131
Croatian Academic and Research Network
Added on 2019-04-13 13:14:39 GMT
Croatia, Zagreb

Studentski centar u Zagrebu
University of Zagreb

Studom
Stjepan Radic
Zagreb, Croatia

Authorized access only !!!

193.198.162.139
Croatian Academic and Research Network
Added on 2019-04-16 20:16:06 GMT
Croatia, Zagreb

|
|
| Studenski centar
| Sveucilista u Zagrebu
|
| ...
|

83.139.115.146 
dh115-146.xnet.hr
VIPnet d.o.o.
Added on 2019-04-17 01:18:41 GMT
Croatia, Zagreb

HTTP/1.1 200 OK
Date: Wed, 17 Apr 2019 01:18:41 GMT
Server: Apache
Last-Modified: Mon, 02 Sep 2013 12:31:25 GMT
ETag: "90dd04-249-c025c140"
Accept-Ranges: bytes
Content-Length: 585
Content-Type: text/html

Internet stvari
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http://www.w3.org/...

Za one koji žele znati više

- <https://www.iotforall.com/5-worst-iot-hacking-vulnerabilities/>
- [https://www.owasp.org/index.php/OWASP Internet of Things Project#tab>Main](https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=Main)
- <https://www.gsma.com/iot/iot-security/iot-security-guidelines/>
- <https://www.shodan.io>



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Internet stvari

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

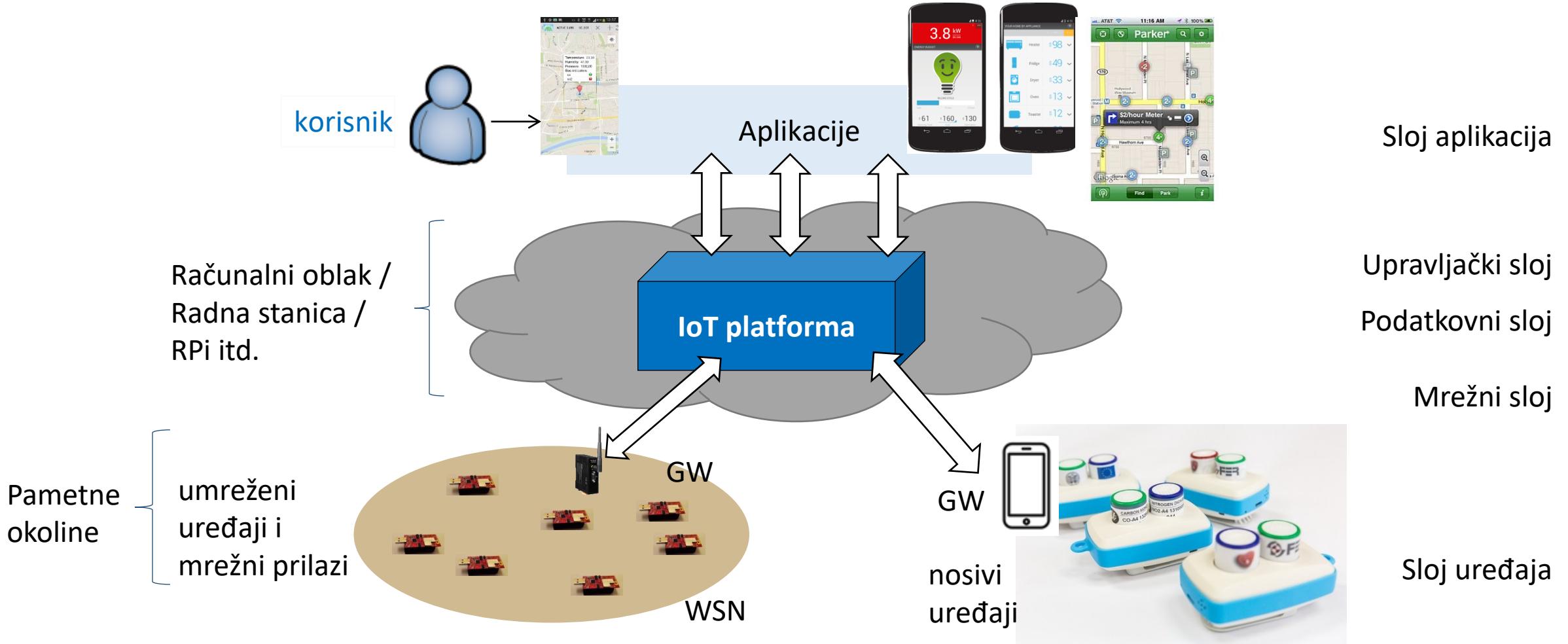
**8. IoT-platforme: značajke,
komponente, arhitektura, primjeri
platformi u računalnom oblaku**

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Programske platforme za IoT
- IoT-platforme u računalnom oblaku
- Nužne funkcionalnosti IoT-platformi
- Najpoznatije Cloud-platforme

Pojednostavljena arhitektura Interneta stvari



Programska platforma za IoT

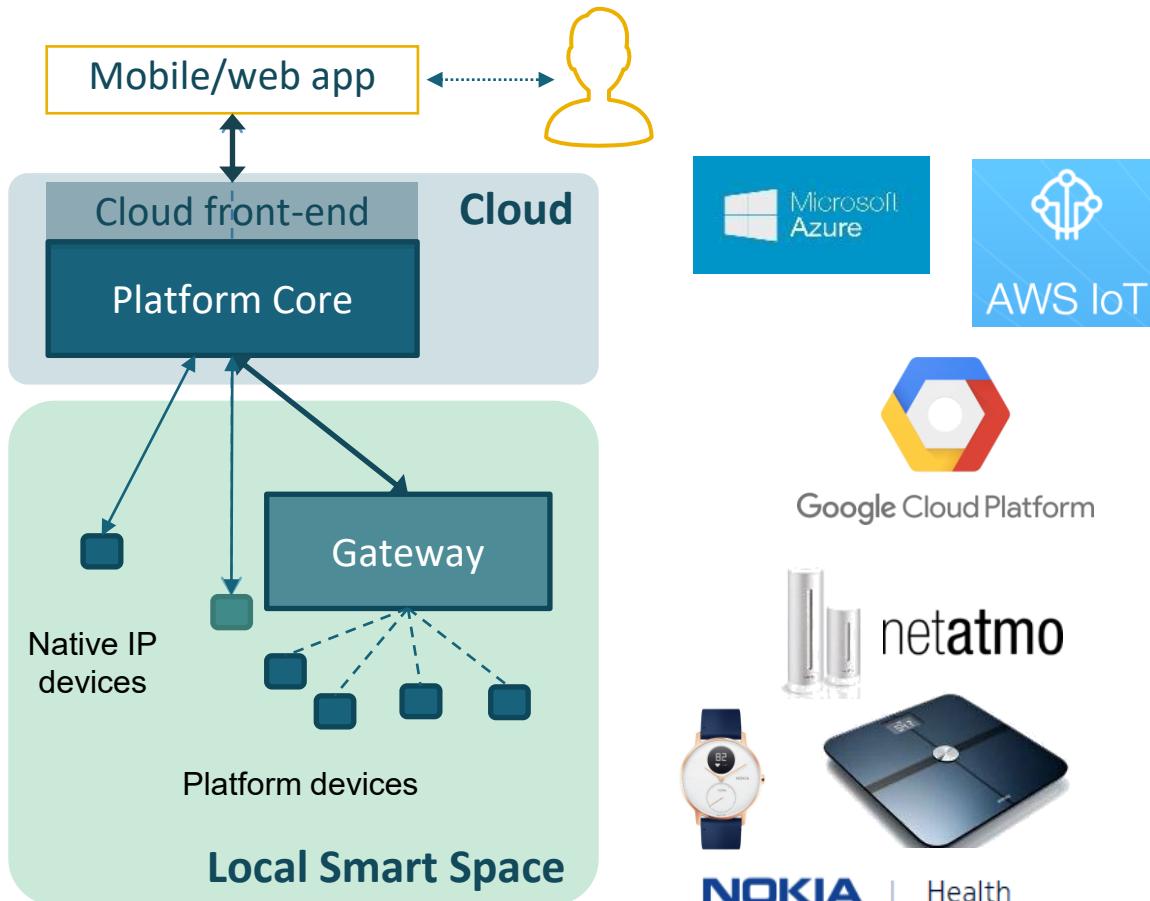
IoT-platforma

- Omogućuje povezivanje i upravljanje umreženim uređajima postavljenim u „pametnim okolinama”
- Održava kontinuirano podatke o stanju uređaja
- Prikuplja senzorska očitanja (ako je riječ o senzorima) s umreženih uređaja te omogućuje obradu prikupljenih podataka
- Omogućuje slanje naredbi aktuatorima
- Uređaji postaju dostupni i vidljivi za razvoj korisničkih aplikacija

- Nudi tri osnovna skupa funkcionalnosti:
 - prikupljanje i pohrana podataka s umreženih uređaja
 - upravljanje uređajima i njihovim konekcijama (podržava ograničeni skup protokola, npr. HTTP, MQTT)
 - omogućuje razvoj IoT-aplikacija za krajnje korisnike (mobilne i web)

Prema: Boston Consulting Group. [Who Will Win the IoT Platform Wars?](#) 29.10.2017.

IoT-platforma u računalnom oblaku



Virtualni entitet na nivou računalnog oblaka predstavlja stvarni uređaj

- platforma održava **metapodatke** o uređajima
- pohranjuje senzorska očitanja, stanja aktuatora, obrađuje podatke
- vizualizira prikupljene podatke, stanje uređaja, itd.
- mobilne/web aplikacije koriste REST-sučelje platforme za pristup uređajima (platforma je posrednik u toj interakciji)



Google Cloud Platform

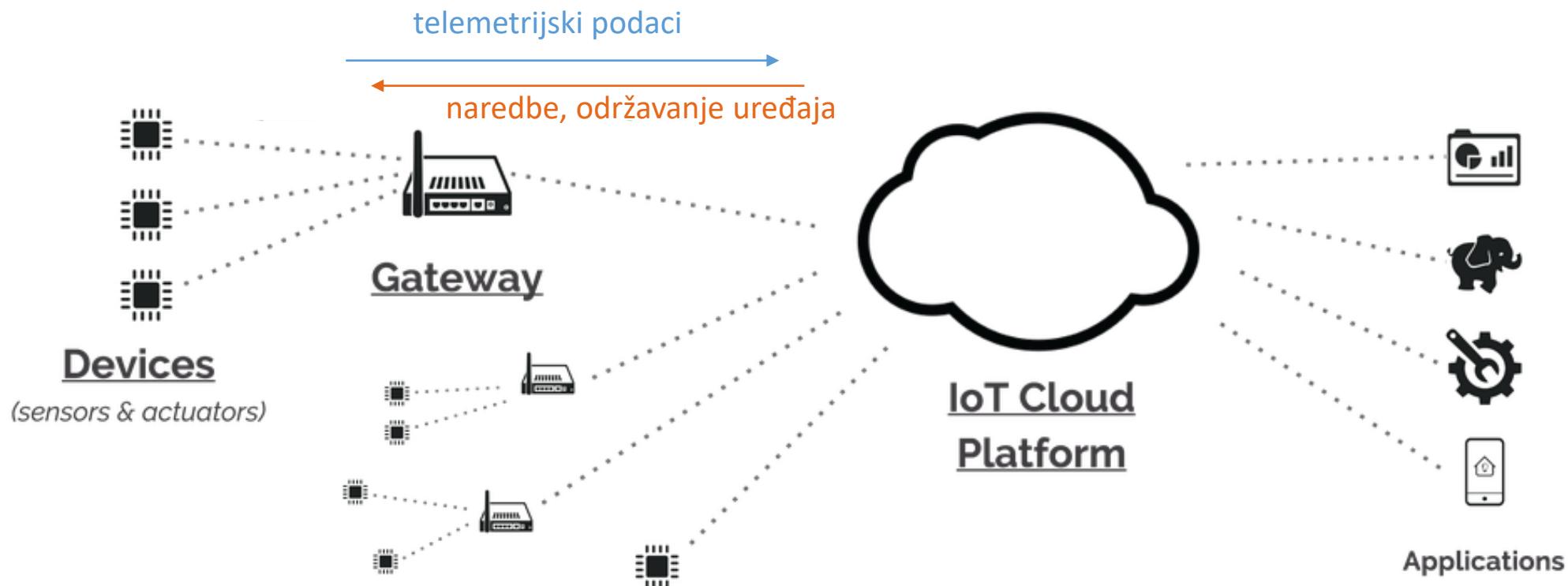


netatmo



NOKIA | Health

IoT Architecture (prema eclipse.org)



Izvor: Eclipse.org whitepaper [1]

Projekti otvorenog kôda: <https://iot.eclipse.org/projects/>

Računalni oblak (*podsjetnik*)

- Računalni sustav u kojem se koriste udaljeni poslužitelji putem Interneta, umjesto lokalnih računalnih resursa, za usluge pohrane, obrade i upravljanja podacima
- Računarstvo u oblaku je model koji na sveprisutan i praktičan način omogućava mrežni pristup dijeljenoj grupi računalnih resursa (primjerice mreži, poslužiteljima, prostoru za pohranu, uslugama) koji se mogu brzo modificirati s minimalnim radom ili interakcijom samog pružatelja usluge
- Arhitektura: virtualizirani grozd računala koja se nalaze u jednom ili više podatkovnih centara
- Svrha računalnog oblaka je pružati računalne resurse i usluge na zahtjev (*on demand*)
- Model naplate: plati onoliko koliko koristiš (npr. mogućnost unajmljivanja x instanci virtualnih računala definirane konfiguracije i OS-a, naplata po satu korištenja)
- Omogućuje fleksibilno korištenje resursa: prilagodba potrebama korisnika

Fleksibilno korištenje računalnih resursa u oblaku

- Mogućnost pokretanja i gašenja virtualnih strojeva po potrebi te rekonfiguracija resursa koji su im dodijeljeni omogućuje fleksibilnost korištenja
- Primjeri
 - frekvencija korisničkih zahtjeva smanjena/povećana -> smanjiti/povećati broj virtualnih strojeva koji ih poslužuju
 - ili -> rekonfiguirirati virtualni stroj te mu dodijeliti više fizičkih resursa
- privid neograničenih računalnih resursa u “oblaku” koji se mogu pridijeliti pojedinoj usluzi
- okolina za pružanje skalabilnih i elastičnih usluga
 - **elastičnost:** sredstva se mogu po potrebi osigurati i oslobođiti, u nekim slučajevima automatski, za brzo skaliranje prema gore i dolje u skladu s opterećenjem

Modeli usluga računalnog oblaka

- Software as a Service (SaaS)
 - korištenje aplikacija koje se izvode na infrastrukturi oblaka
 - npr. GMail, Google Docs, Dropbox, SalesForce CRM, Impel CRM, Oracle On Demand, SQL Azure, ...
- Infrastructure as a Service (IaaS)
 - unajmljivanje virtualnih strojeva, zakupljivanje podatkovnog prostora i ostalih računalnih resursa
 - npr. Amazon Elastic Compute Cloud (AWS/EC2/S3), DigitalOcean, MS Azure, Google Compute Engine,
...
- Platform as a Service (PaaS)
 - nudi infrastrukturu i razvojnu okolinu za razvoj korisničkih aplikacija u oblaku (korisnik/programer nema kontrolu nad OS-om, korištenom bazom podataka, programskim jezikom...)
 - npr. Google AppEngine, Windows Azure Platform, Amazon EKS, ...

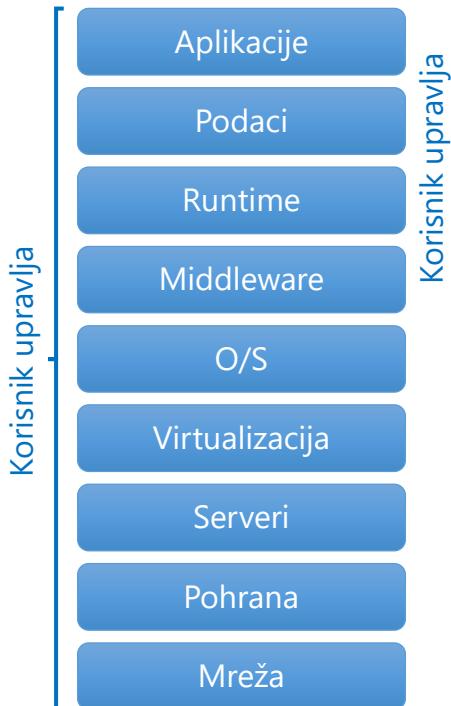
Modeli usluga

Izvor:
Microsoft

Migrirajte!



IaaS
(Infrastruktura kao usluga)



Razvijajte!



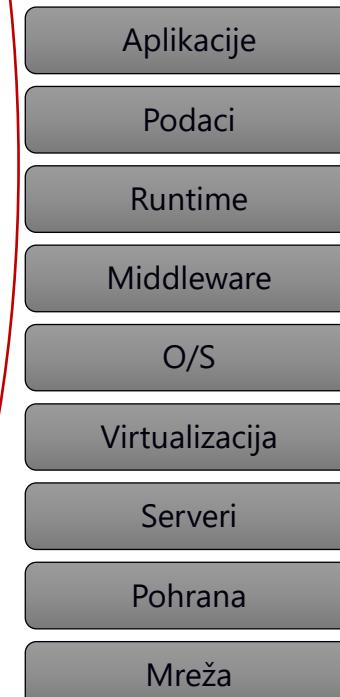
PaaS
(Platforma kao usluga)



Koristite!



SaaS
(Softver kao usluga)



Internet stvari

PaaS: najčešći model IoT-platformi

- Nudi se platforma (infrastruktura i razvojna okolina) za umrežavanje uređaja, pohranu podataka i upravljanje uređajima te razvoj korisničkih aplikacija
 - Korisnik je programer (razvijatelj) IoT-rješenja, prilagođava servise platforme svojim uređajima i području primjene
- Korisnici ne kontroliraju OS, bazu podataka, servise platforme, već je samo prilagođavaju svojim potrebama (definiraju konfiguracijske parametre okoline, opisuju uređaje, itd.)
- Brži i jednostavniji razvoj cjelovitih IoT-rješenja, pogodno za manje timove jer se bave konkretnim slučajem uporabe, umrežavanjem uređaja i razvojem korisničkih aplikacija
- Primjeri komercijalnih IoT-platformi u računalnom oblaku:
 - Amazon AWS IoT, MS Azure IoT, Google Cloud IoT, ...

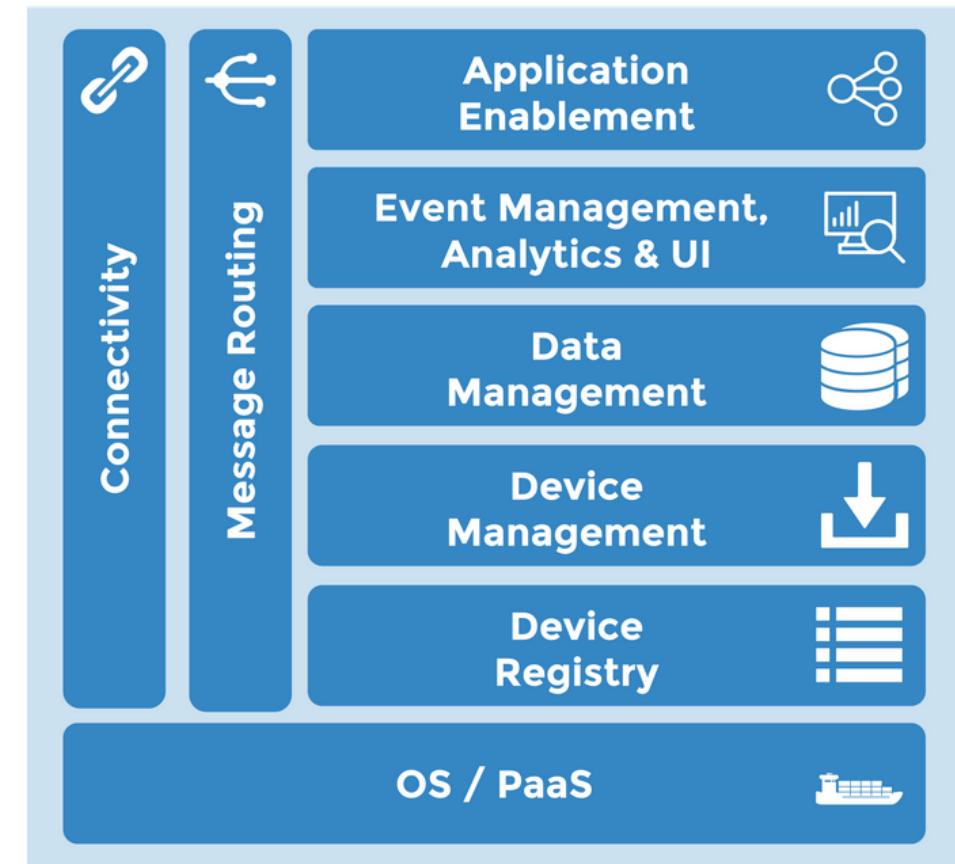
SW Stack for IoT Cloud Platforms (1/2)

Eclipse Software Stacks for IoT Architectures

Prema: Eclipse.org whitepaper [1]

Nužne komponente/funkcionalnosti IoT-platforme u računalnom oblaku

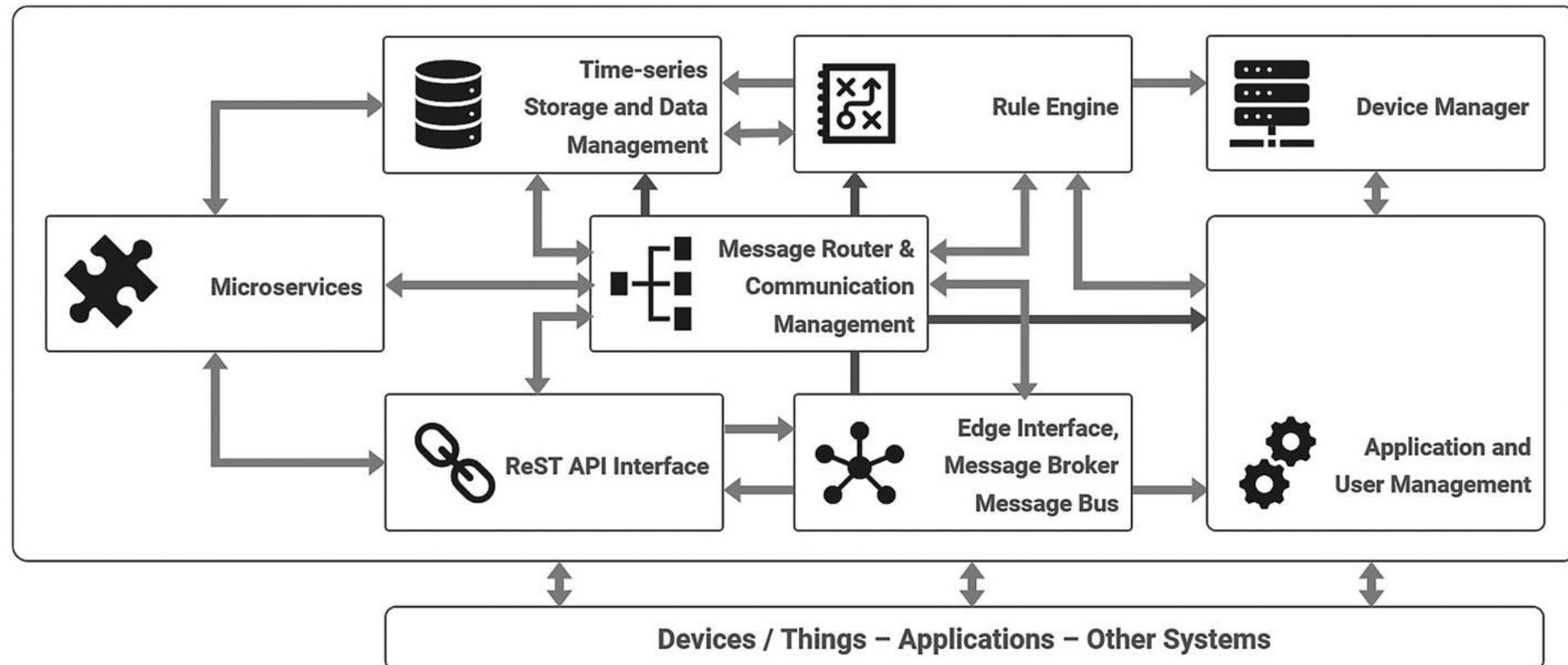
- Connectivity and Message Routing
- Device Management and Device Registry
- Data Management and Storage
- Event Management, Analytics & UI
- Application Enablement



SW Stack for IoT Cloud Platforms (2/2)

- **Connectivity and Message Routing** – IoT-platforme trebaju biti u mogućnosti komunicirati s vrlo velikim brojem uređaja i mrežnih prilaza koristeći različite protokole (na sloju podatkovne poveznice i aplikacijskom sloju) i formate podataka, ali zatim je podatke potrebno normalizirati kako bi se omogućila jednostavnija integracija.
- **Device Registry** – središnji registar za identifikaciju uređaja/prilaza koji čine IoT-rješenje.
- **Device Management** – omogućuje upravljanja uređajima, održava podatke o uređajima (metapodaci) i nudi uslugu ažuriranja softvera (firmware).
- **Data Management and Storage** – skalabilna pohrana podataka o uređajima (metapodaci) i s uređaja (telemetrijskih podataka, stanje uređaja) koja podržava količinu i raznolikost IoT-podataka.
- **Event Management, Analytics & UI** – mogućnosti skalabilne obrade događaja, sposobnost analize podataka te izrade izvješća, grafikona i tzv. kontrolnih ploča (*dashboard*).
- **Application Enablement** – korištenje API-ja za izradu i integraciju korisničkih aplikacija (mobilnih i web) za interakciju s uređajima i vizualizaciju podataka.

Blok-dijagram IoT-platorme



Primjer prema: Tamboli, A. (2019). The Building Blocks of an IoT Solution. In: Build Your Own IoT Platform. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4498-2_2

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Edge Interface, Message Broker, and Message Bus**
 - Odvaja ostale servise platforme od uređaja („fizičkog svijeta“)
 - Omogućuje interakciju s uređajima, senzorima i aktuatorima
 - Podržava različite protokole (Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT), obično je posebna komponenta zadužena za svaki protokol
 - *Message Broker* – koristi MQTT/CoAP, unificira podatke i šalje ih na zajedničku sabirnicu poruka (*Message Bus*)
- **Message Router & Communication Management**
 - Konverzija formata poruka jer poruke u izvornom ili komprimiranom formatu stižu s uređaja
 - „Obogaćivanje“poruka: dodavanje dodatnih oznaka i konteksta porukama (podatke želimo zapisati u skladu s definiranim podatkovnim modelom)

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Time-Series Storage & Data Management**
 - Baza podataka: pohrana podataka, često se podaci sa senzora zapisuju u formatu vremenskih serija (*time-series data*) – povezuje parametar s vremenskom oznakom
- **Rule Engine**
 - Komponenta koja prati poruke na sabirnici poruka i događaje u sustavu te temeljem skupa definiranih pravila izvodi određene akcije
 - Može se koristiti i iza „obogaćivanje“ poruka
- **REST API Interface**
 - Za korisničke aplikacije koje pristupaju senzorskim podacima ili stanju aktuatora
 - Korisno za usluge koje trebaju „klasični“ pristup podacima zahtjev-odgovor

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Device Manager**
 - Upravlja uređajima, registar uređaja, pregled njihovog stanja (baterija, mreža, vlasnik, lokacija, verzija softvera)
- **Application and User Management**
 - Upravljanje korisnicima i njihovim pravima pristupa podacima s uređaja, interakcija i komunikacija s mobilnim aplikacijama, web-aplikacije
- **Microservices**
 - Pomoćne usluge, npr. text messaging, email notifications, verifications, social media authentications

Najpoznatije Cloud-platforme

Komercijalne

- Amazon AWS IoT: <https://aws.amazon.com/iot/>
- Microsoft Azure IoT: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/iot/#overview>
- Google IoT cloud: <https://cloud.google.com/solutions/iot>
- Cumulocity: <https://www.softwareag.cloud/site/product/cumulocity-iot.html#/>
- Bosch IoT Suite: <https://www.bosch-iot-suite.com/>
- IBM Watson IoT Platform: <https://www.ibm.com/cloud/watson-iot-platform>
- Ericsson Nikola Tesla: IoT Data Jedi

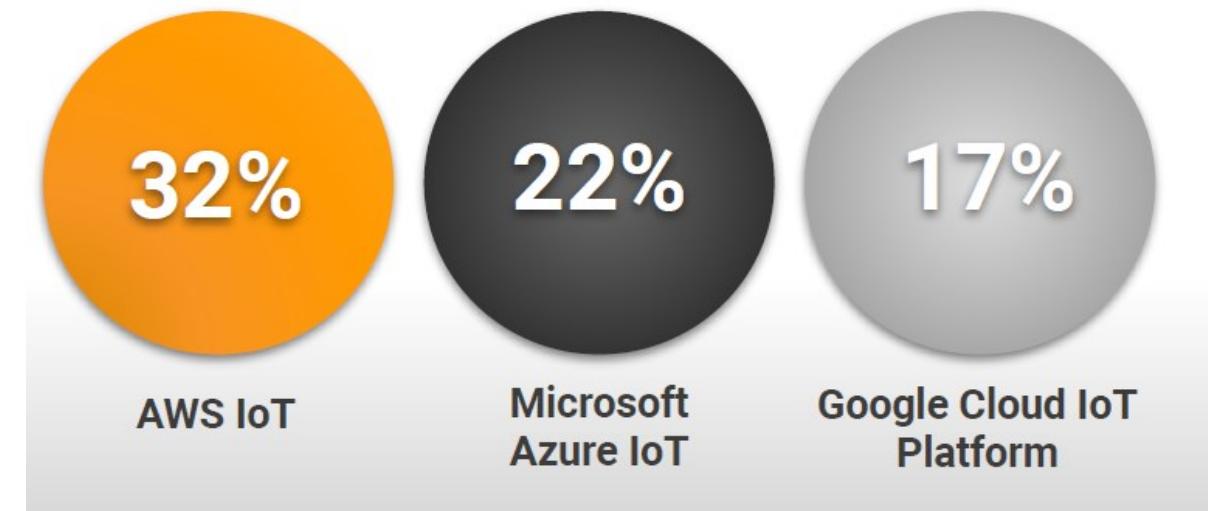
Otvorenog kôda

- ThingsBoard: <https://thingsboard.io/docs/>
- ThingSpeak: <https://thingspeak.com/>
(IoT Analytics, MathWorks)
- Kaa: <https://www.kaaproject.org/>
- Eclipse Kapua: <https://www.eclipse.org/kapua/>
- Eclipse Hono: <https://www.eclipse.org/hono/>

postoji i
komercijalna
verzija

Najzastupljenije platforme u 2022.

- Prema istraživanju Eclipse-a iz 2022:
- Najpopularnije platforme su AWS IoT (32%, pad od -5% u odnosu na 2021), Microsoft Azure IoT (22%, -5%) i Google Cloud IoT (17%, -5%)
- Google Cloud IoT Core se povlači iz upotrebe 16. kolovoza 2023.
- Porast uporabe ostalih platformi: Bosch IoT suite (11%), IBM Watson IoT platform (10%), Cumulocity (10%)
- Povećana diverzifikacija tržišta, tržište je i dalje relativno mlado i kompetitivno
- Izvor: Eclipse Foundation, IoT & Edge Developer Survey Report, Sept. 2022.



Nužne funkcionalnosti IoT platformi

EXHIBIT 1 | A Complete Core IoT Platform Addresses Three Main Capabilities

TECH LAYER	CAPABILITY	DESCRIPTION
IDENTITY AND SECURITY	Application enablement	Rule-based event-action-trigger programming to enable execution of smart action on the basis of sensors/endpoint data
IoT ANALYTICS AND APPLICATIONS	Integration API for business apps	Integration of IoT API to leverage platform-as-a-service API catalog
CORE IoT PLATFORM	Endpoint-specific API/SDK	Vendor endpoint-specific software development kit to enable plug-and-play compatibility (such as Marvell)
CONNECTED THINGS	Device-shadowing management	Features to enable the management of asynchronous control of devices
	Integrated development environment	Development tools, with integrated development environment, wizards, and graphic modelers; ability to prototype, test, and develop IoT use cases
COMMUNICATIONS	Data aggregation and storage	Support for databases that store and process data in multiple data models (such as relational, key value, document, and graph) for various IoT data formats
SERVICES	Inbound stream data	Aggregation of inbound stream data; processing and storage to database
	Remote data synchronization	Enablement of device data synchronization
	Storage scaling	Enablement of low-cost scalable storage of device data
COMMUNICATIONS	Connectivity management	Endpoint device discovery and recognition; device configuration management; centralized registry; proper device functioning (patches and software updates)
SERVICES	Device management	Support for different protocols/data formats, ensuring bidirectional communication with all devices
	Multiple-device connectivity and messaging format	Support for several authentication factors; security from the edge
	Secured authentication	Ability to monitor network data usage and billing and to generate notifications and alerts
	Network monitoring	

Source: BCG analysis.
Notes: API = application programming interface; SDK = software development kit.

- Prema *Boston Consulting Group*, samo 14% analiziranih platformi nude sve navedene nužne funkcionalnosti
 - 86% barem jednu od navedenih
- Na tržištu ne postoje dominantne platforme s velikim brojem korisnika uz kontinuirani rast

Izvor: Akash Bhatia, Zia Yusuf, David Ritter, and Nicolas Hunke. [Who Will Win the IoT Platform Wars?](#)

29.10.2017.

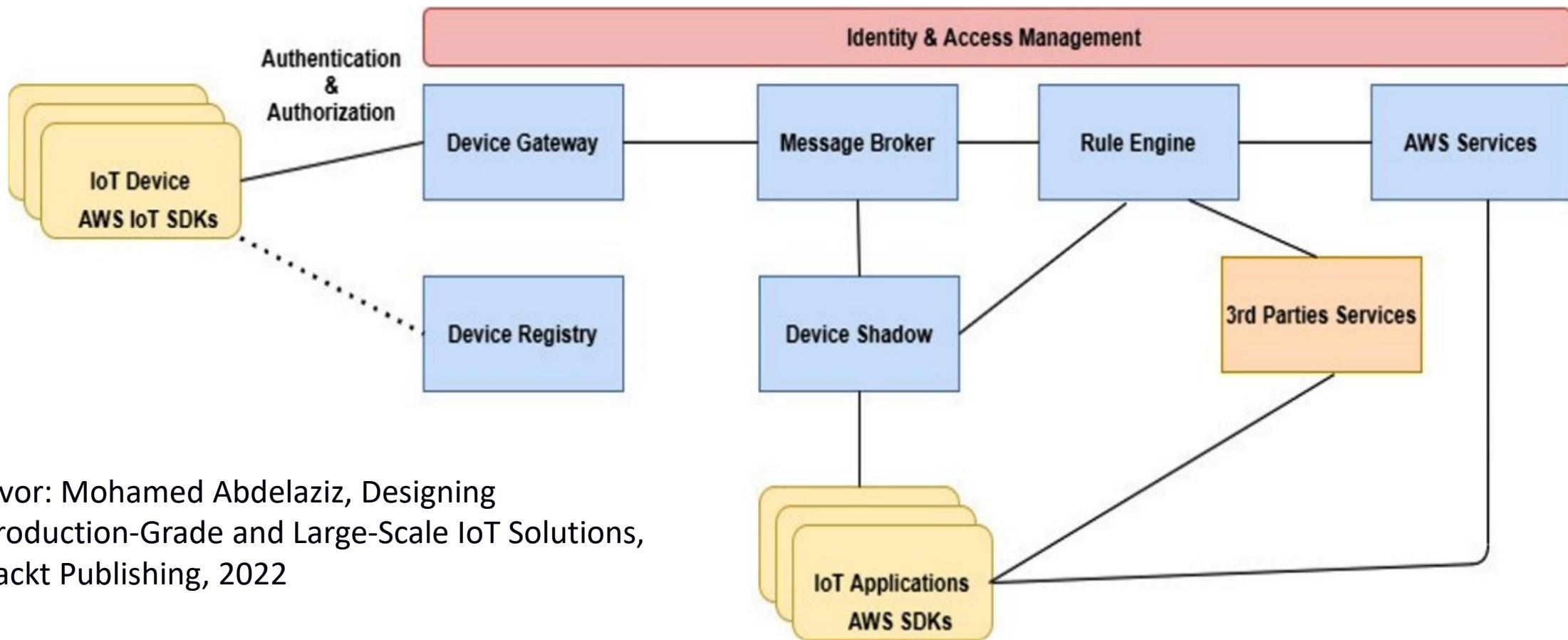
Amazon AWS IoT

- komercijalna platforma koju razvija i nudi poduzeće Amazon
- omogućuje sigurnu, dvosmjernu komunikaciju između IoT-uređaja i AWS oblaka
- nudi niz alata za obradu podataka prikupljenih s umreženih uređaja u računalnom oblaku
- nudi REST API: upravljačko sučelje i provjera stanja spojenih uređaja
- integracija s ostalim Amazonovim cloud servisima

Pregled AWS servisa i alata za IoT:

<https://www.youtube.com/watch?v=WAp6FHbhYCk&t=47s>

AWS IoT Core: Arhitektura



Izvor: Mohamed Abdelaziz, Designing Production-Grade and Large-Scale IoT Solutions, Packt Publishing, 2022

Amazon AWS IoT

- **Device SDK:** used to connect hardware device or mobile application to AWS IoT Core
- **Device Gateway:** the entry point for IoT devices connecting to AWS IoT Core, provides bi-directional secure communication (MQTT, WebSocket, and HTTP 1.1); fully managed and scalable gateway that supports over a billion devices and messages.
- **Message Broker:** high throughput pub/sub message broker (MQTT) that securely transmits messages to and from other components (IoT devices, applications, services).
- **Device Registry:** manages all the IoT device administration. You can register and configure your IoT devices, including configuring certificates and IoT device IDs.
- **Device Shadows:** refers to a device description that has functionalities to keep the current state information for a specific device in a JSON document. (**Virtualni entitet, sadrži informaciju o trenutnom poznatom stanju uređaja i željenom stanju uređaja! Korisnička aplikacija komunicira s virtualnim entitetom, ne sa stvarnim uređajem.**)
- **Rules Engine:** provides message processing and integration with other AWS services; the glue between the physical world and the cloud world. IoT data generated by devices is sent to the IoT Core message broker, and then it is the responsibility of the rule engine to move that data out from the message broker to the right destination in the cloud for further processing.

<https://aws.amazon.com/iot-core/features/>

Sučelja i protokoli na platformi AWS IoT

Podatkovno sučelje dopušta slanje/primanje podataka s uređaja

Podržani protokoli:

- MQTT (Message Queuing and Telemetry Transport)
- MQTT over WSS (Websockets Secure)
- HTTPS
- LoRaWAN (novost!)

Getting Started with AWS IoT

<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-gs.html>

Upravljačko sučelje za Device Shadow (REST) - kreiranje i ažuriranje „virtualnog entiteta“ (reserved MQTT topics)

- Dohvaća kopiju virtualnog entiteta
 - HTTP GET
`https://endpoint/things/thingName/shadow`
- Ažurira kopiju
 - HTTP POST
`https://endpoint/things/thingName/shadow`
- Briše kopiju
 - HTTP DELETE
`https://endpoint/things/thingName/shadow`

Upravljanje uređajima

- Koristi se upravljački API, a podaci zapisuju u registar
- Primjer metapodataka koji opisuju uređaj

```
{  
    "version": 3,  
    "thingName": "MyLightBulb",  
    "thingId": "12345678abcdefghijklmnopqrstuvwxyz"  
    "defaultClientId": "MyLightBulb",  
    "thingType": "StopLight",  
    "attributes": {  
        "model": "123",  
        "wattage": "75"  
    }  
}
```

- Registar nudi sljedeće mogućnosti:
 - Stvaranje uređaja
 - Pregled liste uređaja
 - Pretraživanje uređaja
 - Ažuriranje uređaja
 - Brisanje uređaja
 - Dodavanje pravila za uređaje
 - Brisanje pravila za uređaje
 - Postoji thing type

Detaljnije:
<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/thing-registry.html>

Održavanje podataka o uređaju

- **Device Shadow Service:** koristi JSON dokument za spremanje opisa i trenutnog stanja uređaja
 - razlikuje dva stanja: zahtijevano (*desired*) i izviješteno (*reported*).
 - za dohvati ili mijenjanje stanja može se koristiti MQTT ili HTTP

<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-device-shadows.html>

```
{  
    "state" : {  
        "desired" : {  
            "color" : "RED",  
            "sequence" : [ "RED", "GREEN", "BLUE" ]  
        },  
        "reported" : {  
            "color" : "GREEN"  
        }  
    },  
    "metadata" : {  
        "desired" : {  
            "color" : {  
                "timestamp" : 12345  
            },  
            "sequence" : {  
                "timestamp" : 12345  
            }  
        },  
        "reported" : {  
            "color" : {  
                "timestamp" : 12345  
            }  
        }  
    }  
}
```

Primjer
opisa za
„shadow”
uređaja

Promjena podataka o uređaju

- Za promjenu podataka se može koristiti MQTT (na temu /update) ili REST API
- primjer tijela poruke koji se šalje prilikom zahtjeva za ažuriranjem stanja

```
{  
    "state": {  
        "desired" : {  
            "color" : { "r" : 10 },  
            "engine" : "ON"  
        }  
    }  
}
```

- MQTT: zahtjev za promjenom se šalje na temu
\$aws/things/thingName/shadow/update
- AWS IoT odgovara slanjem poruke na jednu od 2 teme
\$aws/things/thingName/shadow/update/accepted
\$aws/things/thingName/shadow/update/rejected
- HTTP
 - Koristi se POST zahtjev na device URI, a pravilnik mora dozvoljavati provedbu promjene (autorizacija)

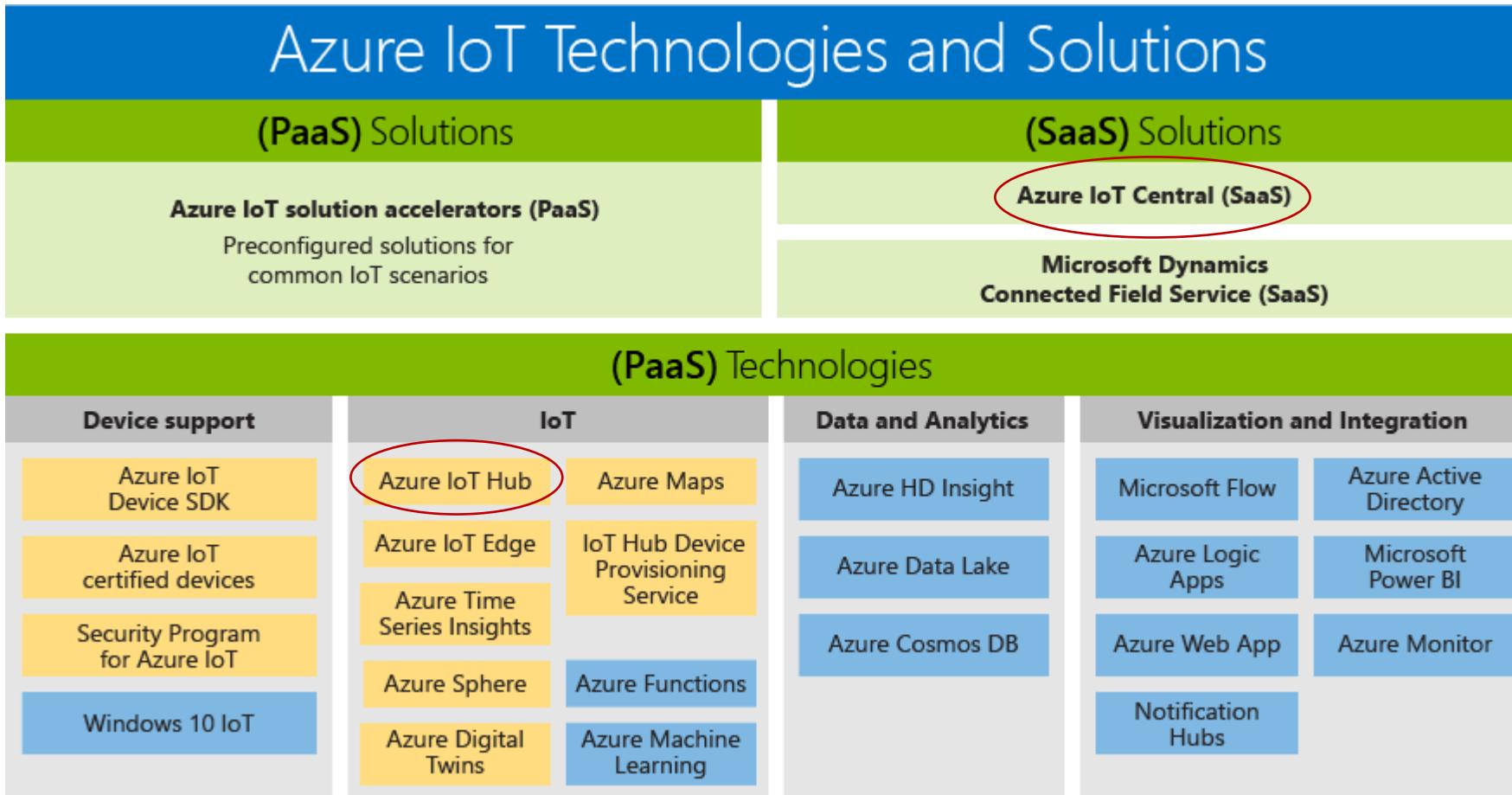
Sigurnost

- **Autentifikacija:** svaki spojeni uređaj mora koristiti certifikat za pristup *message brokeru*
- Sav promet sa i prema AWS IoT-u mora biti šifriran pomoću protokola *Transport Layer Security*, TLS
- Upravljački API dopušta izvođenje administrativnih zadataka kao što su kreiranje ili ažuriranje certifikata, pravila, itd.

Autorizacija:

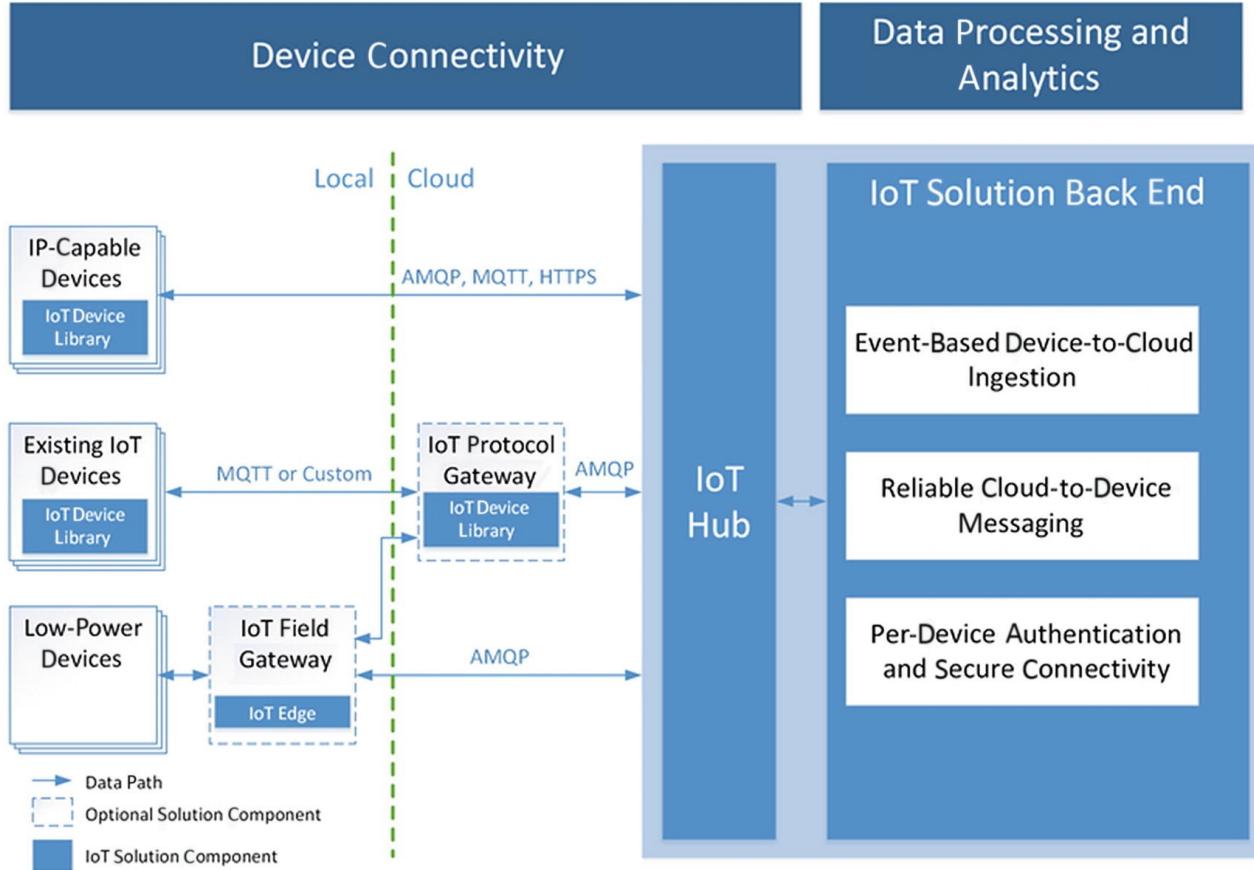
- autentificirani identitet će izvršiti AWS IoT operaciju samo ako ima pravilnik (*policy*) koji mu to dopušta
- Pravilnik definira što autentificirani identitet (npr. uređaj, mobilna ili web aplikacija) smije napraviti
- AWS IoT pravilni dodaju se X.509 certifikatima ili Amazon Cognito Federated identitetima

Azure Internet of Things



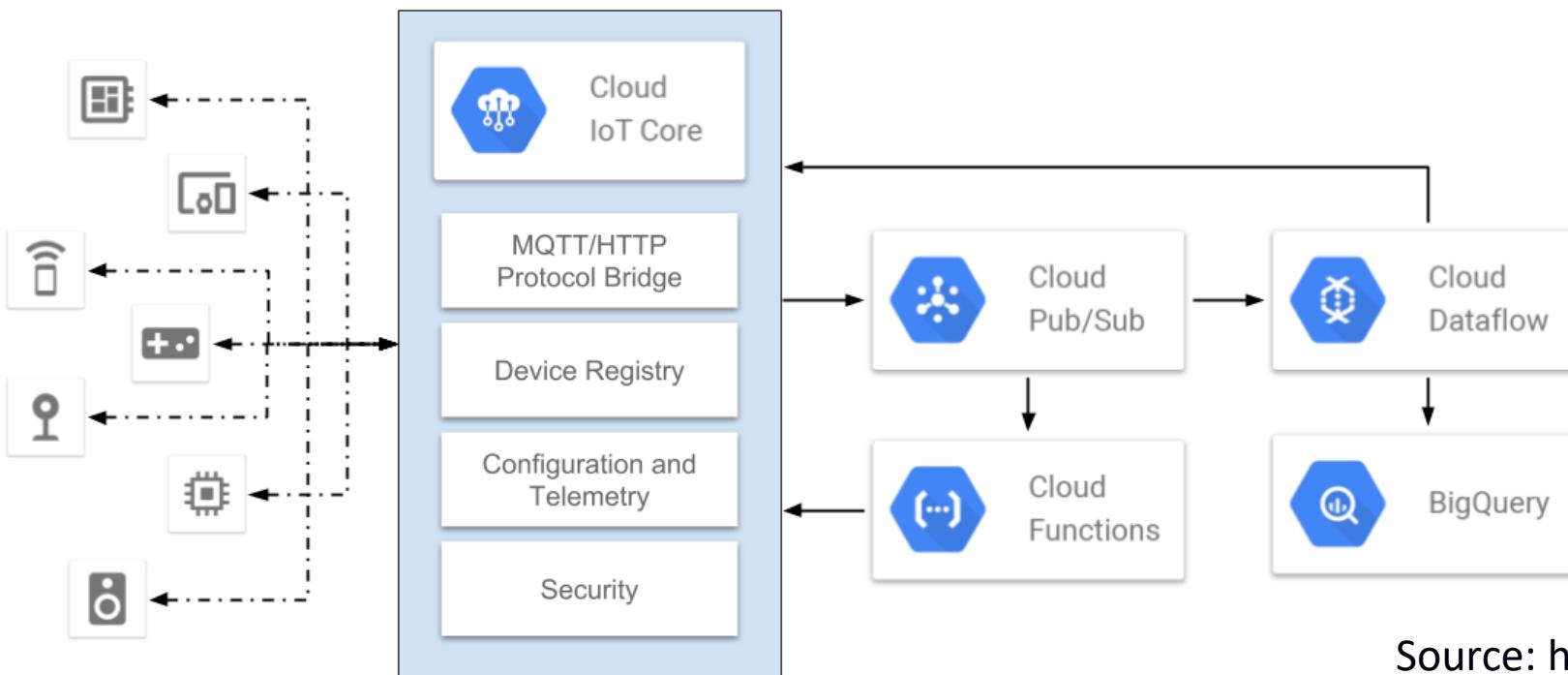
- a collection of Microsoft-managed cloud services that connect, monitor, and control billions of IoT assets.
- <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-fundamentals/iot-introduction>

Azure IoT Hub



- IoT Hub provides *device SDKs* for C, Python, Node.js, Java, and .NET.
- IoT Hub natively understands only three protocols—MQTT, AMQP, and HTTPS
- It is part of IoT Central: a SaaS solution that helps you connect, monitor, and manage your IoT devices.

Google Cloud IoT



Cloud IoT Core: The device hub to receive data and manage devices

Cloud Pub/Sub: A publisher/subscriber service to consume data

Cloud Dataflow or Cloud Functions: These are used to process data for conversion, digital twins, and diagnosis

Cloud BigQuery: This is used for data storage and querying the BigTable

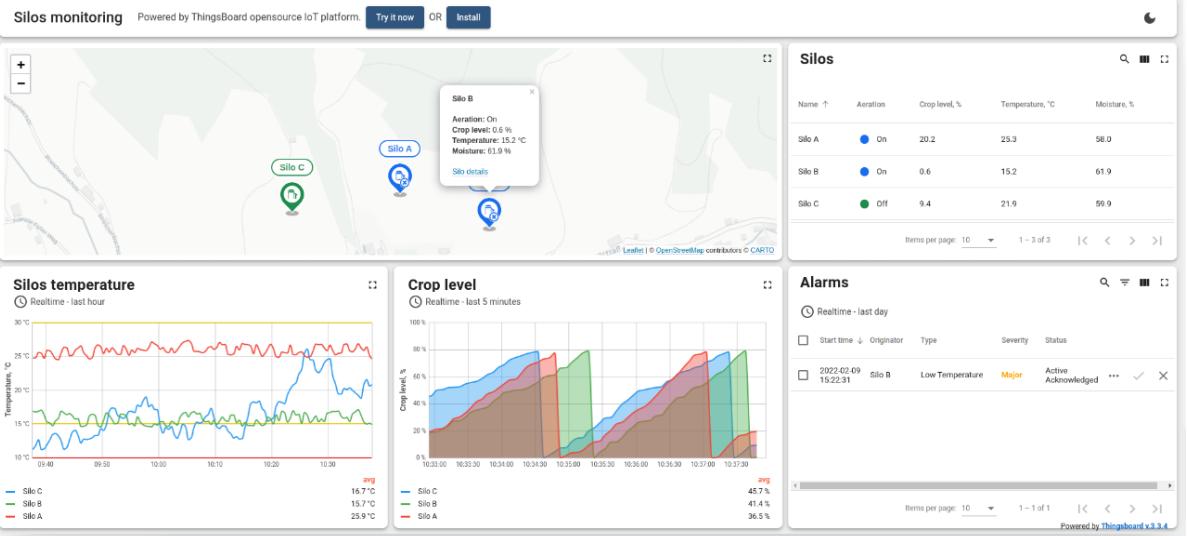
Source: <https://cloud.google.com/iot-core/>

- <https://cloud.google.com/solutions/iot-overview>

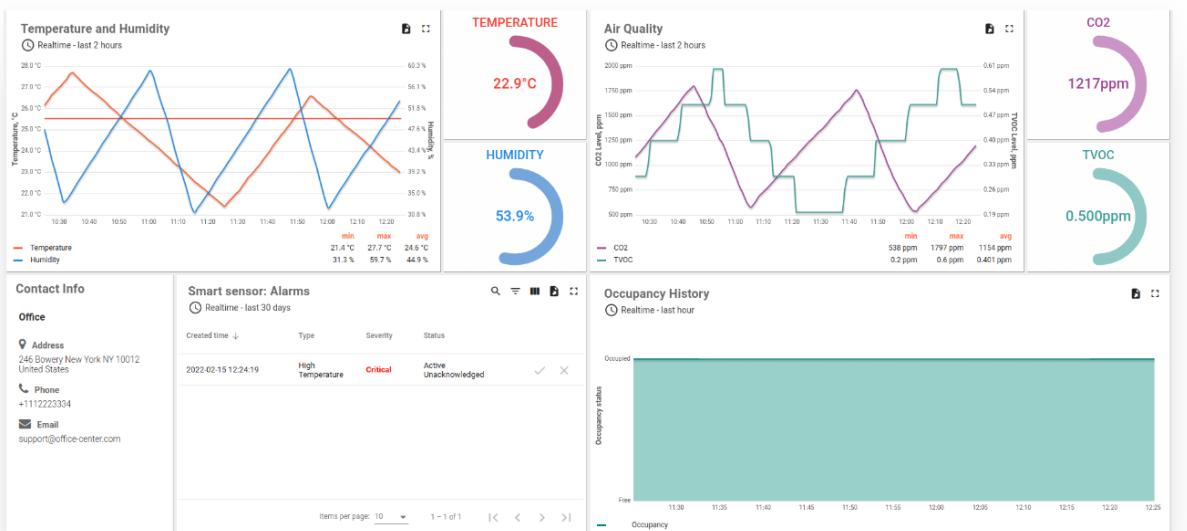
ThingsBoard

- IoT-platforma otvorenog kôda, mikroservisna arhitektura
- omogućuje upravljanje raznim uređajima i prikupljenim podacima s tih uređaja
- Povezivanje i komunikaciju s krajinjim uređajima: HTTP, MQTT, i CoAP
- Podržava obradu i vizualni prikaz podataka, upravljanje uređajima
- IoT Rule Engine
- <https://thingsboard.io/>

Smart Agriculture

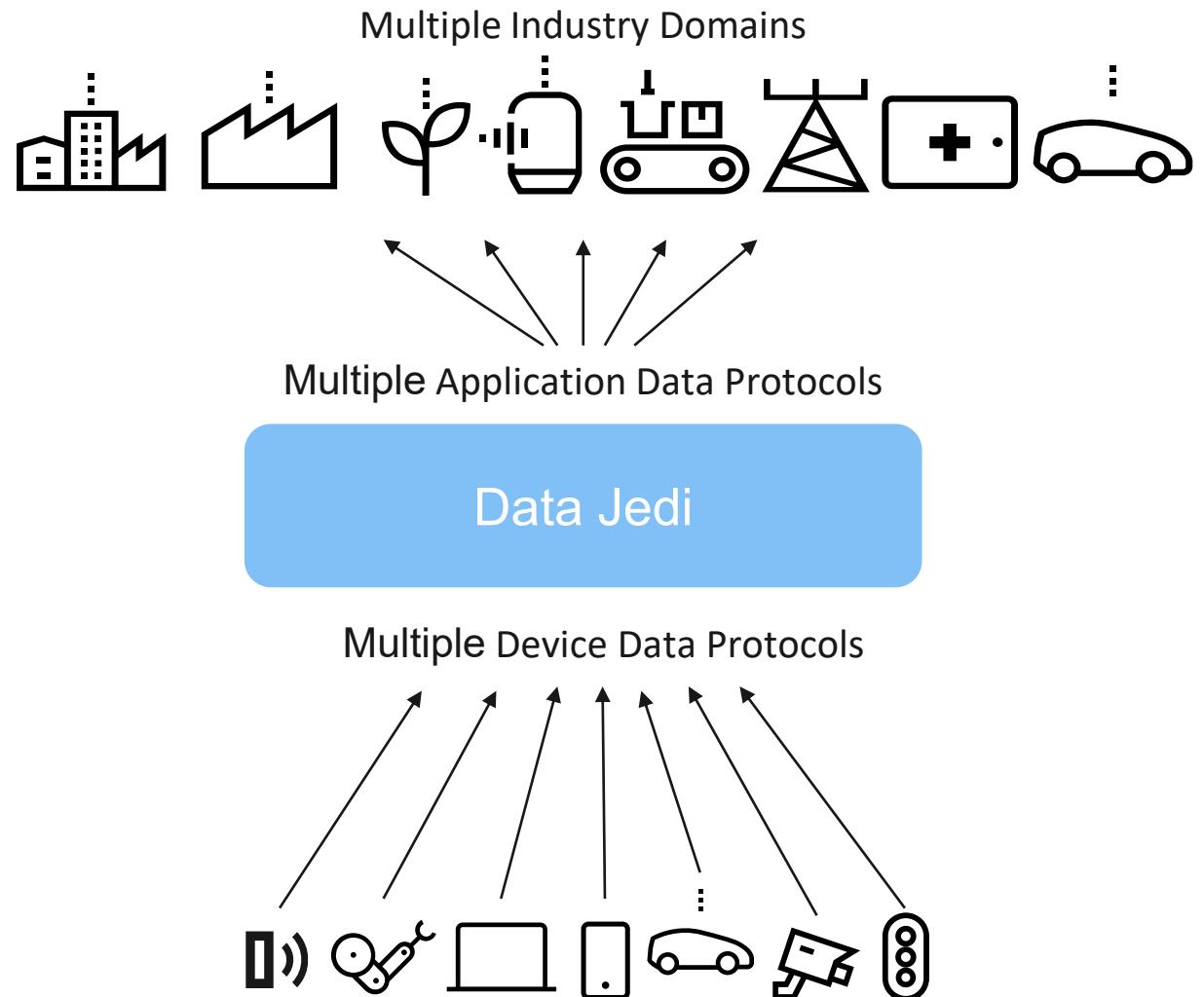


Smart Office

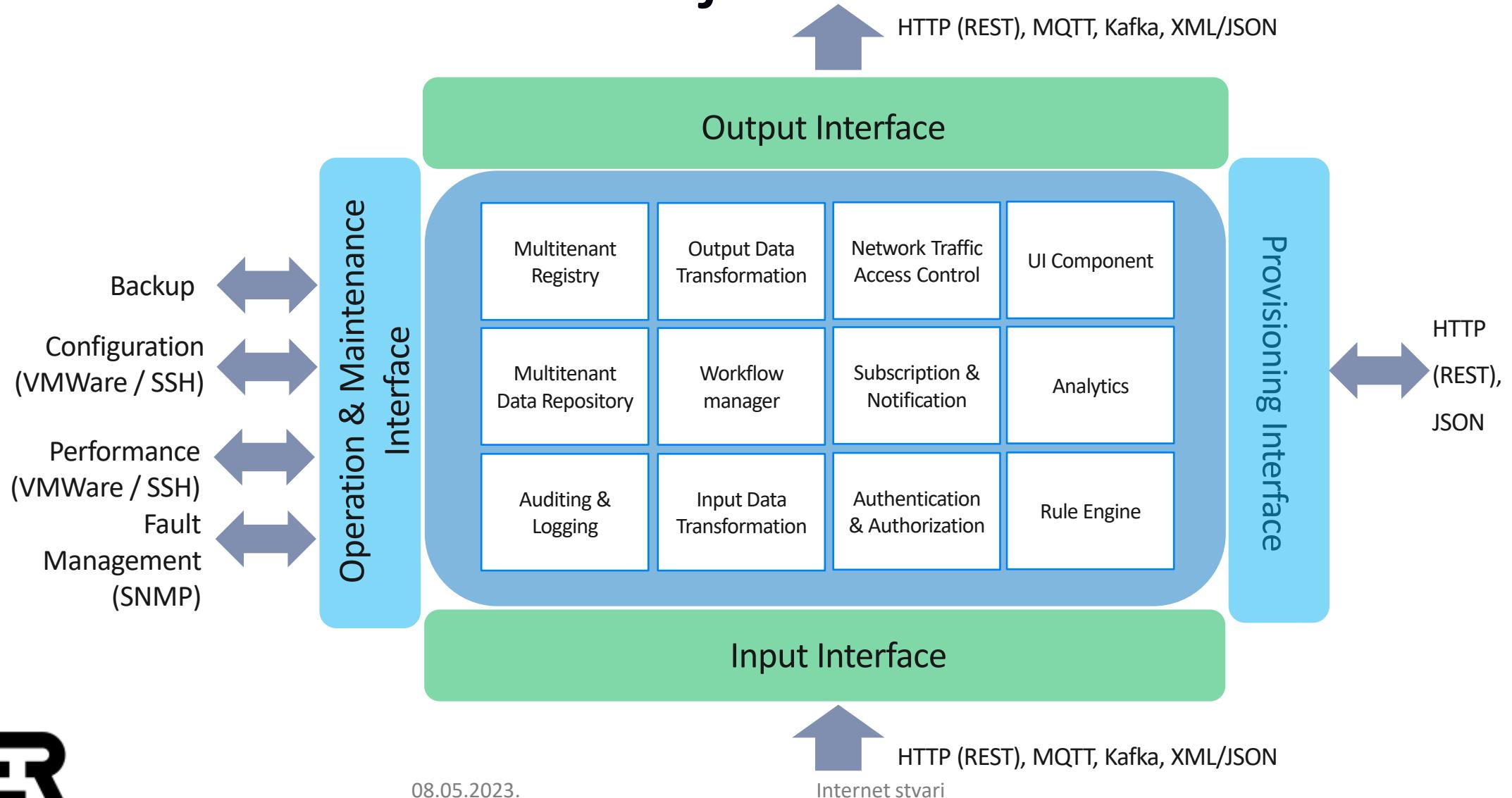


IoT Data Jedi

- IoT-platforma razvijena u kompaniji Ericsson Nikola Tesla
- Transformacija, pohrana i usmjeravanje podataka prikupljenih s različitih IoT-uređaja
- Transformacija i usmjeravanje poruka poslanih iz korisničkih aplikacija na bilo koji IoT uređaj, sustav, korisnika ili aplikaciju
- Zaštita IoT-uređaja i podataka od neovlaštenog pristupa



IoT Data Jedi – funkcijski blokovi



Literatura

- Eclipse.org whitepaper: **The Three Software Stacks Required for IoT Architectures**, Eclipse IoT Working Group, December 2017
- Guth J. et al. (2018) A Detailed Analysis of IoT Platform Architectures: Concepts, Similarities, and Differences. <https://www.iaas.uni-stuttgart.de/publications/INBOOK-2018-01-A-Detailed-Analysis-of-IoT-Platform-Architectures-Concepts-Similarities-and-Differences.pdf>
- Pregled svih AWS servisa za IoT:
<https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/internet-of-things-services.html>
- Orečić, Igor. **Primjena platforme AWS IoT za razvoj usluga u području Interneta stvari** / završni rad - preddiplomski studij. Zagreb : Fakultet elektrotehnike i računarstva, 10.07. 2017, 28 str. Voditelj: Podnar Žarko, Ivana.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Internet stvari

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sistemi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

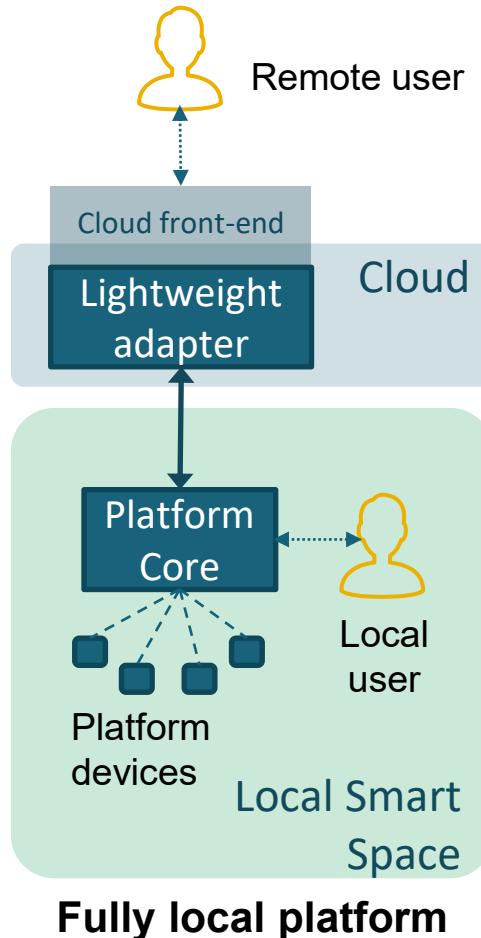
**9. IoT-platforme i korištenje resursa
na rubu mreže**

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Lokalne programske platforme za IoT
- Računarstvo na rubu mreže
- Orkestracija usluga i primjene

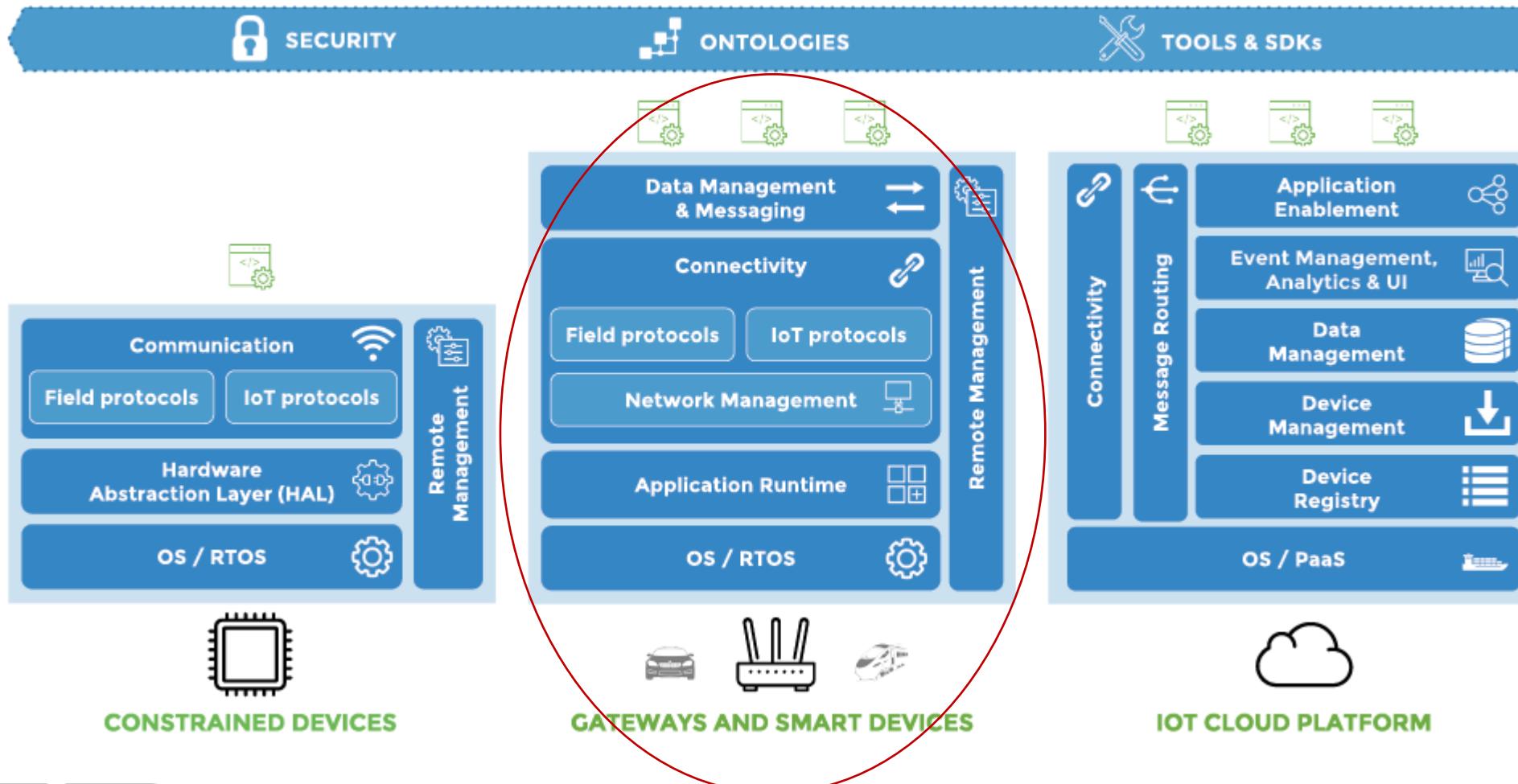
Lokalne platforme za IoT



Upravljanje uređajima seli se iz računalnog oblaka na prilazni uređaj (GW)

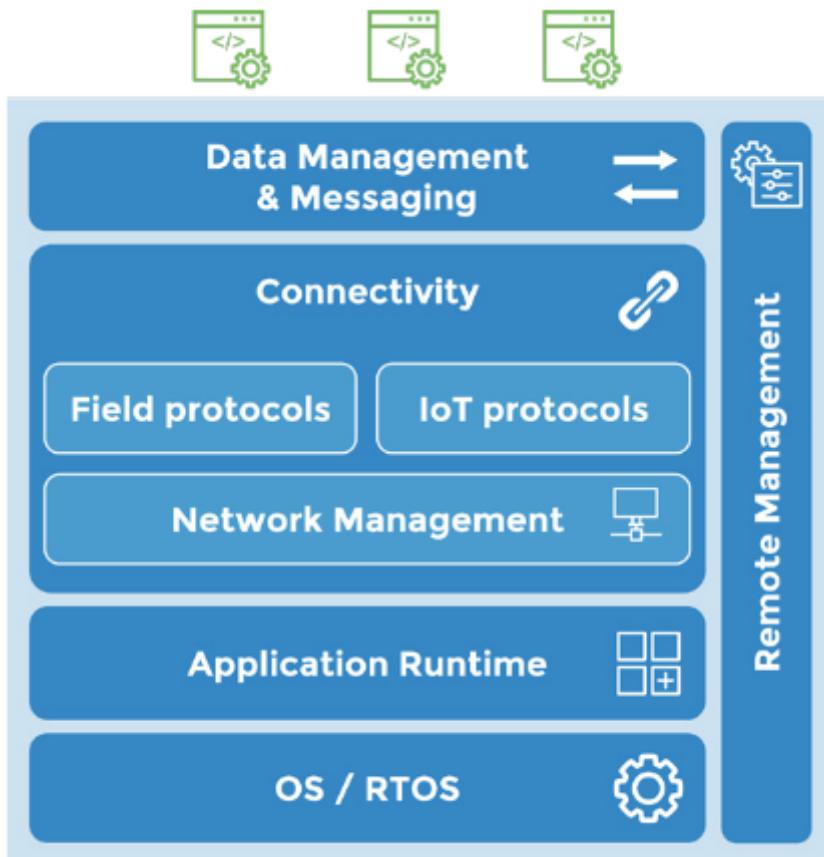
- tipično uređaji kategorije 2 koji implementiraju puni IP stack
- može se koristiti i poslužitelj u pametnom prostoru
- direktna interakcija aplikacije i platforme u pametnom prostoru (nije putem javnog Interneta)
- „*lightweight adapter*” – npr. <https://ngrok.com/> (*reverse proxy*)

Eclipse Software Stacks for IoT Architectures



Izvor:
Eclipse.org whitepaper [1]

Software stack for GW



Platform Core: minimalni skup funkcionalnosti, ovisi i o tome na kojoj vrsti uređaja se izvodi

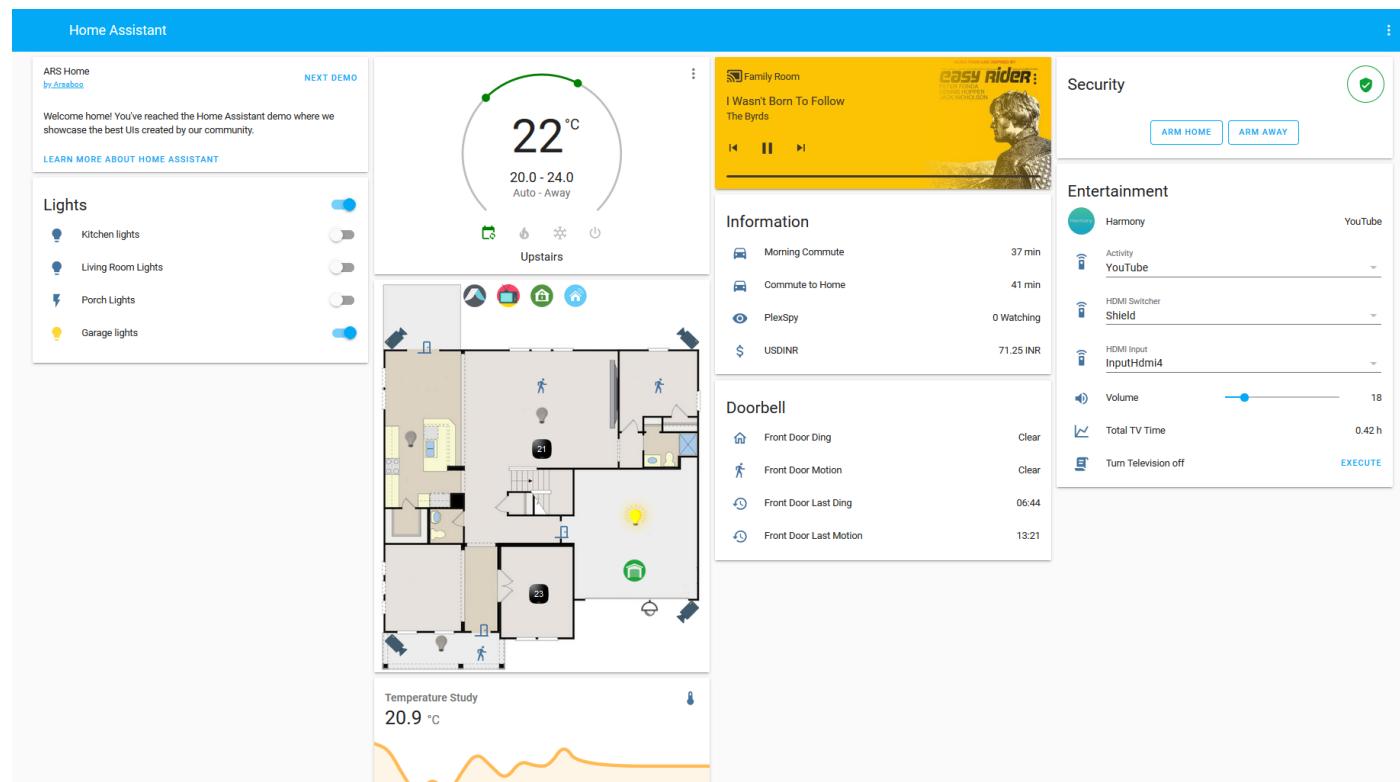
- **Operating System** – obično OS opće namjene kao što je Linux
- **Application Container or Runtime Environment** – prilaz često ima mogućnost pokretanja aplikacijskog koda i dinamičkog ažuriranja aplikacija. Na primjer, prilaz može imati podršku za Java, Python ili Node.js
- **Communication and Connectivity** – prilaz mora podržavati različite protokole za povezivanje s uređajima (npr. Bluetooth, Wi-Fi, Z-Wave, ZigBee, Thread). Prilazi također trebaju biti povezani na Internet (npr. Ethernet, Wi-Fi) i osigurati pouzdanost, sigurnost i povjerljivost komunikacije.
- **Data Management & Messaging** – lokalna pohrana i obrada podataka, mogućnost izvanmrežnog načina rada i obrade u stvarnom vremenu na rubu, postoji i mogućnosti prosleđivanja podataka prema cloud platformi (podrška za protokole MQTT, CoAP, itd.)
- **Remote Management** – mogućnost daljinskog postavljanja, konfiguiranja, pokretanja/gašenja prilaza kao i aplikacija koje se izvode na prilazima

Primjeri lokalnih platformi

- Home Assistant: <https://www.home-assistant.io/>
- openHAB: <https://www.openhab.org/>
 - Eclipse SmartHome, <https://eclipse.org/smarthome>
- Eclipse Kura: <https://eclipse.org/kura>
- EdgeX: <https://www.edgexfoundry.org/>
- Node-RED: <https://nodered.org/> (nije platforma, *flow-based programming tool*)

Home Assistant

- platforma otvorenog koda za upravljanje uređajima u domu, pisan u Pythonu
- praktično korisničko sučelje, moguće definirati aktuaciju i uvjete izvođenja
- auto-discovery: traži lokalne uređaje (WiFi, Zigbee ili Z-Wave)
- Jednostavna instalacija na RPi (HassBian - Home Assistant Operating System ili Home Assistant container)
<https://www.home-assistant.io/installation/>
- Podržava različite protokole i uređaje
<https://www.home-assistant.io/integrations/>
- Koristi jezik [YAML](#) za konfiguraciju, za više informacija <https://www.home-assistant.io/docs/configuration/yaml/>



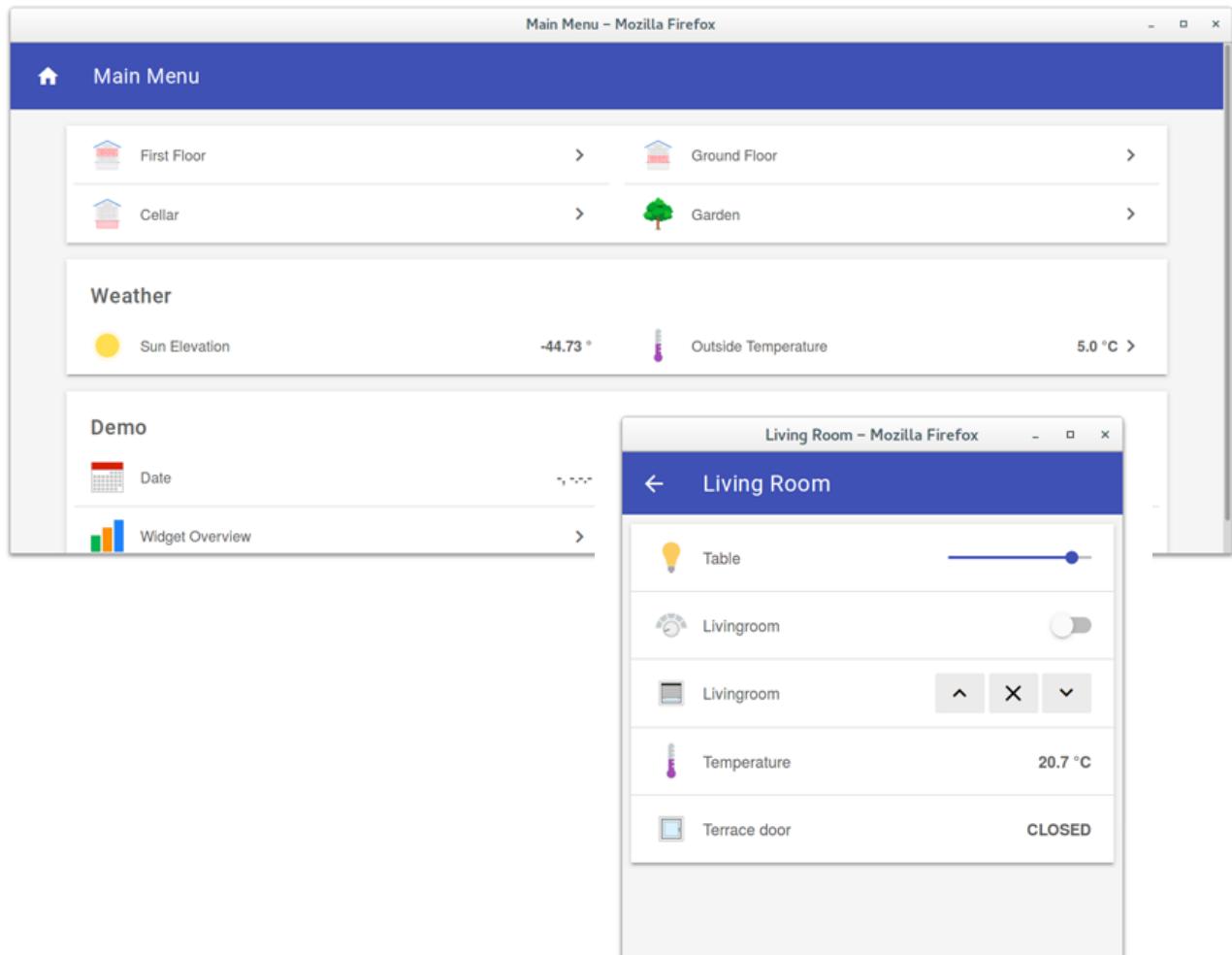
Pojmovi koje koristi Home Assistant

- **Actions:** A sequence of Home Assistant commands that can be fired as a response to a trigger, once all conditions have been met.
- **Add-ons:** Provide additional, standalone, applications that can run beside Home Assistant. They can be integrated into Home Assistant using integrations. Examples of add-ons are an MQTT broker, a database service, or a file server.
- **Automation:** Offers the capability to call a service based on a simple or complex trigger. Automation allows a condition such as a sunset to cause an event, such as a light turning on.
- **Binary sensors:** Return information about things that only have two states—such as on or off.
- **Conditions:** An optional part of an automation that will prevent an action from firing if they are not met.
- **Entities:** The representation of a function of a single device, unit, or web service. There may be multiple entities for a single device, unit, or web service, or there may be only one.
- **Domains:** Entities and services belong to a domain, which is the first part of the entity or service, before the “.” For example, light.kitchen is an entity in the light domain, whereas homeassistant.turn_on is the turn_on service for the homeassistant domain.
- **Groups:** A way to organize your entities into a single unit.
- **Integration:** Provides the core logic for the functionality in Home Assistant—for instance, notify provides support for delivering notifications.
- **Triggers:** A set of values or conditions of a platform that are defined to cause an automation to run.
- **Services:** Called to perform actions.

Izvor: Rishabh Jain, Advanced Home Automation Using Raspberry Pi, Apress Berkeley, CA, 2021

openHAB

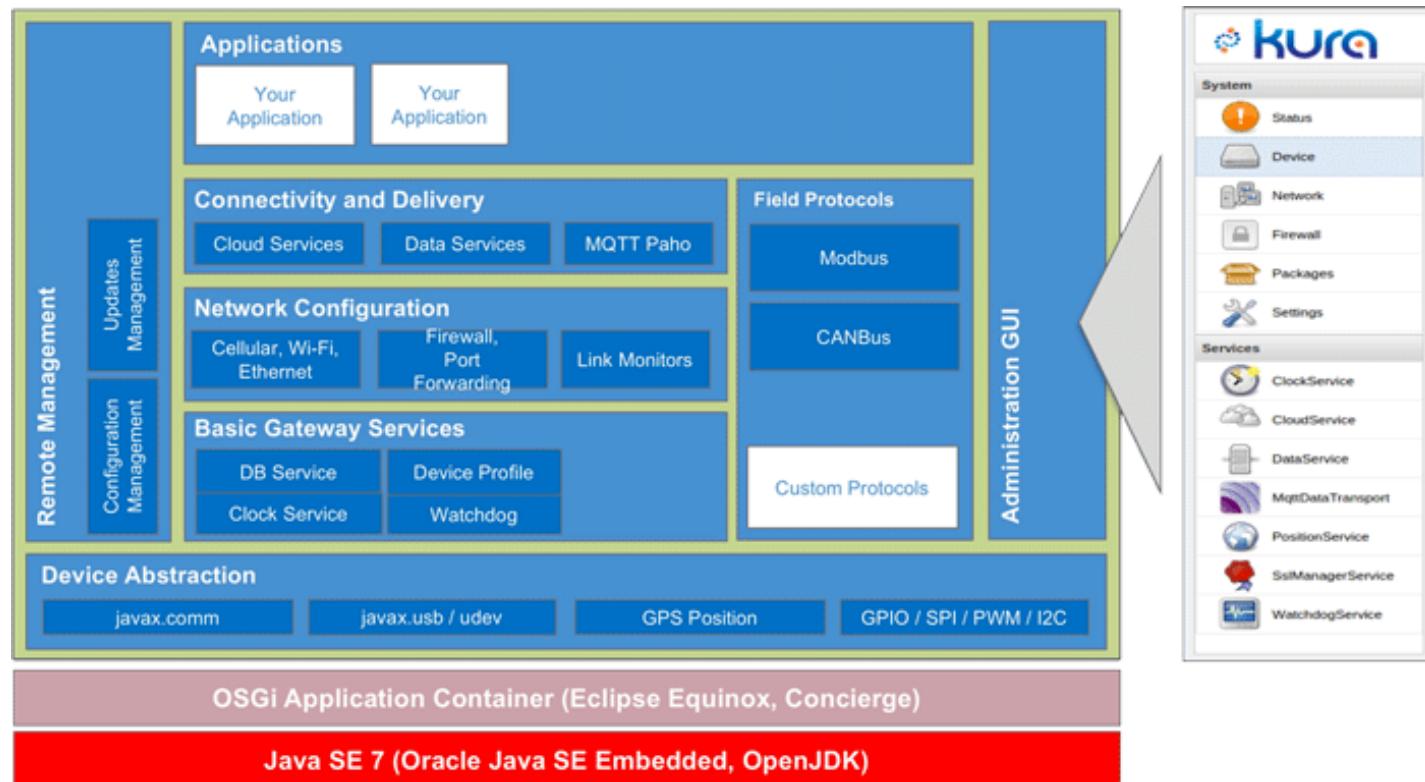
- platforma otvorenog koda za upravljanje domom, predstavlja centralni sustav pametnog prostora
- Jednostavna instalacija na Rpi (openHABian ili kontejner)
- Podržava različite protokole i uređaje
<https://www.openhab.org/addons/>
- Objašnjenje osnovnih koncepta:
<https://www.openhab.org/docs/concepts/>



Eclipse Kura

<https://www.eclipse.org/kura/>

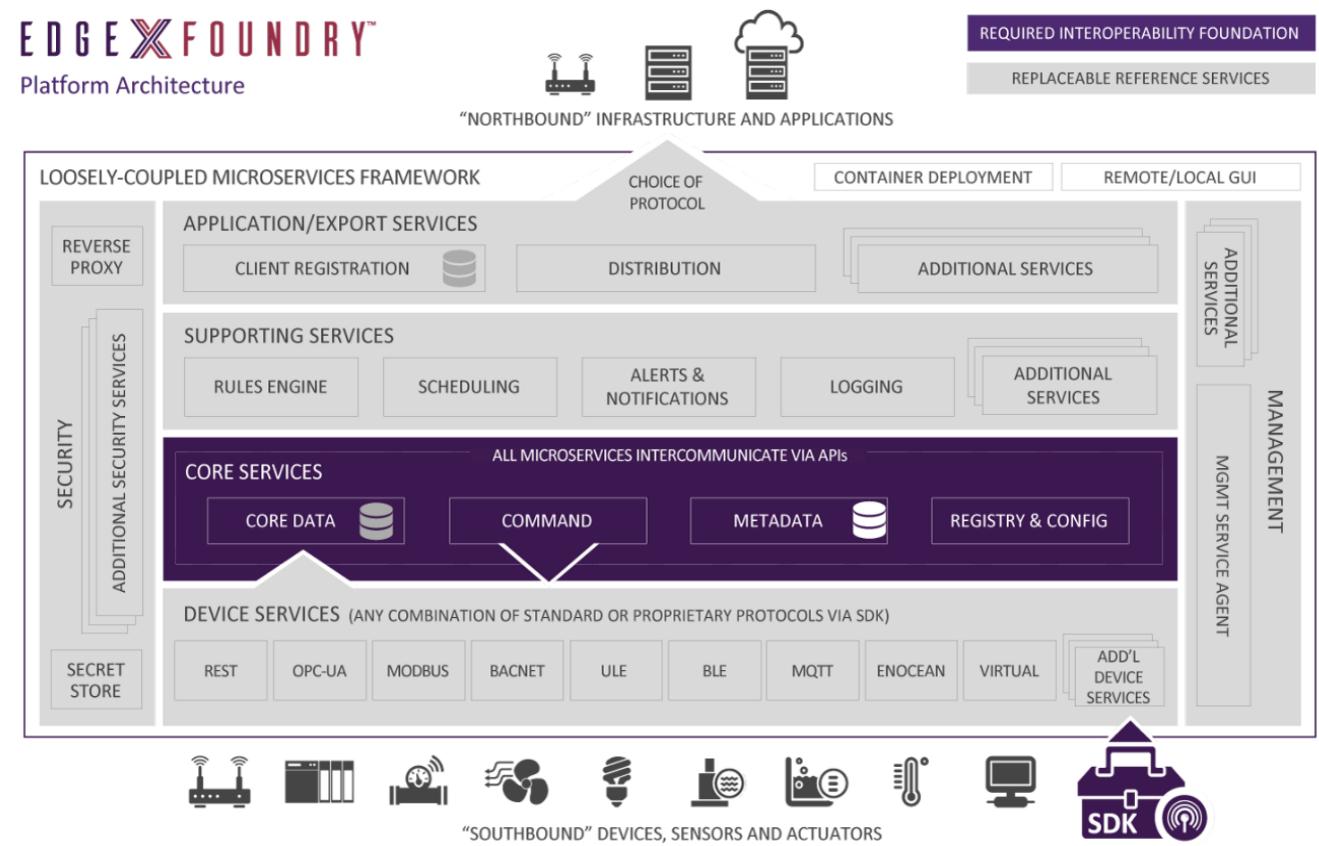
- Communication & Connectivity:** APIs to interface with the gateway I/Os (e.g. Serial, RS-485, BLE, GPIO, etc.) and support for many field protocols that can be used to connect to devices, e.g MODBUS, CAN bus, etc.
- Network Management:** networking and routing capabilities over a wide-range of interfaces (cellular, Wi-Fi, Ethernet, etc.)
- Data management & Messaging:** implements a native MQTT-based messaging solution
- Remote management:** remote management solution based on the MQTT protocol, that allows to monitor the overall health of an IoT gateway, in addition to control (install, update, modify settings) the software it is running.



EdgeX

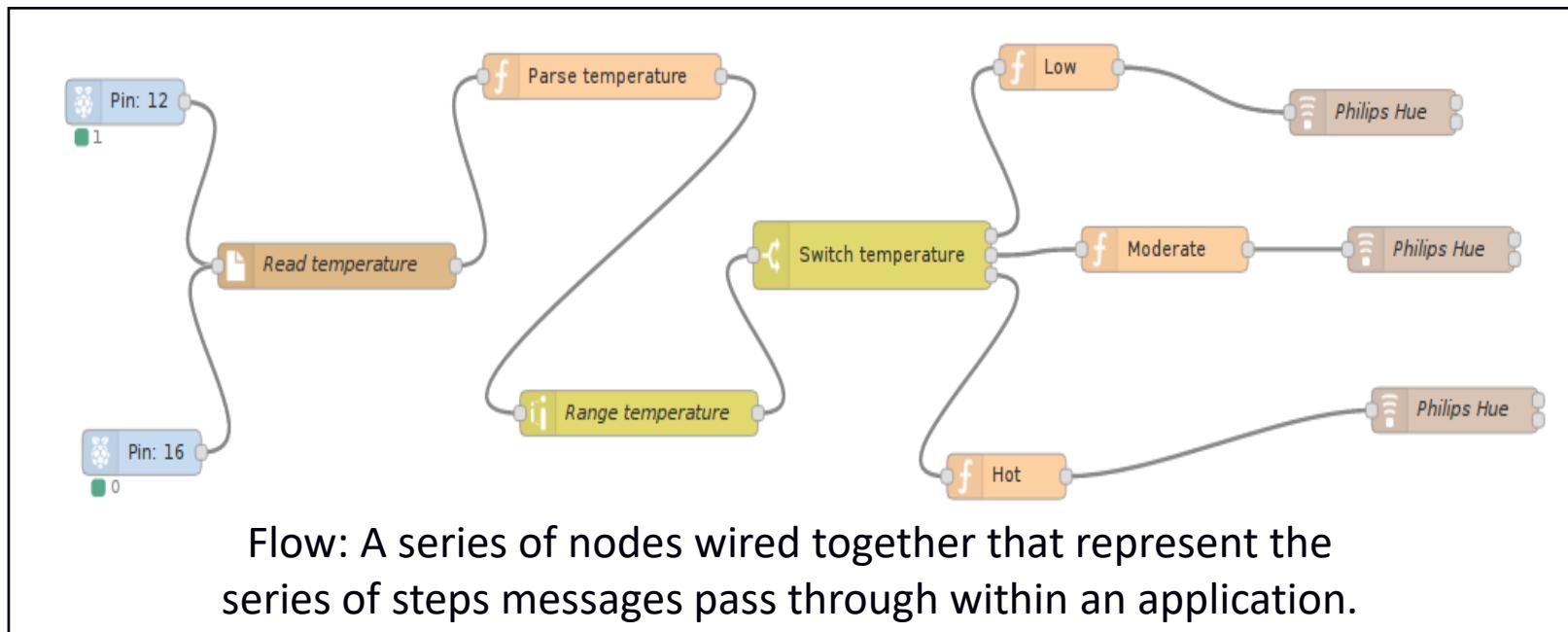
<https://www.edgexfoundry.org/>

- „Vendor-neutral, open source, loosely-coupled microservices framework”
- Linux Foundation
- mikroservisi pisani u programskom jeziku Go
- obavezni servisi istaknuti su ljubičasto na slici arhitekture



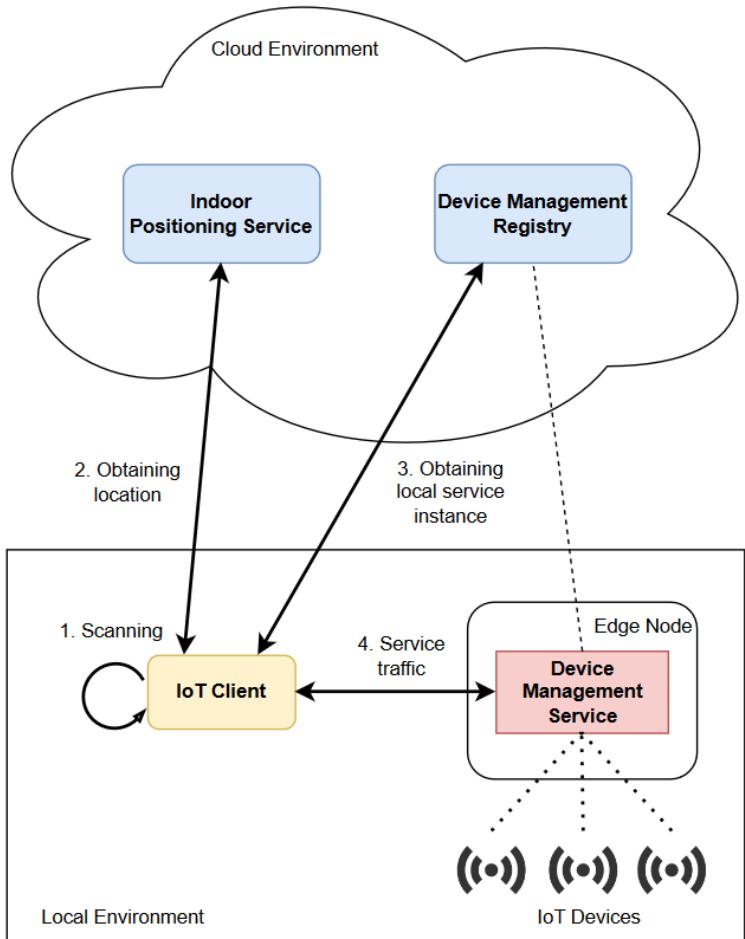
Node-RED

- „a visual wiring tool for the Internet of Things”
- Napisan u JS-u, koristi platformu Node.js
- Temelji se na konceptu *Flow-based Programming*
- Instalacija na računalo, RPi, BeagleBone bord, etc.



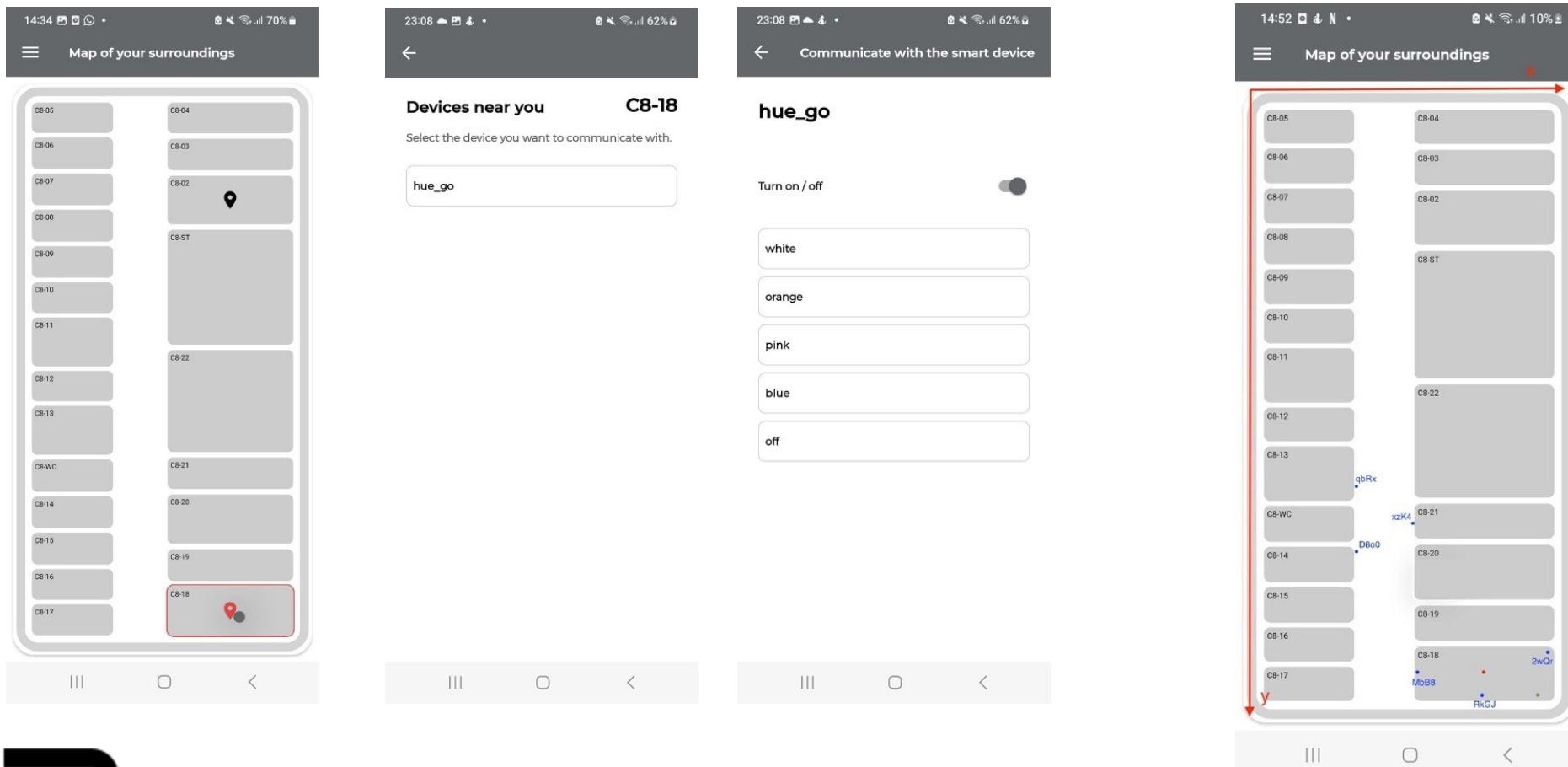
Runtime: This includes a Node.js application runtime. It is responsible for running the deployed flows.

CampusSphere: rješenje za upravljanje uređajima razvijeno u IoTLab-u (smart office/smart home)



- Koristi više instanci Home Assistant za upravljanje uređajima u pametnim prostorima
- Korisničke role definiraju pravila pristupa i upravljanja uređajima u neposrednoj okolini (pametni prostor oko mene) – definirano koristeći NodeRED
- Lociranje korisnika u unutarnjem prostoru: BLE i WiFi
- Tlocrt prostora definiran u formatu Indoor Mapping Data Format (IMDF)
- Rezultat 3 diplomska rada, 2 završna rada, 1 dipl projekt (i rektorova nagrada :-)

CampusSphere: rješenje za upravljanje uređajima razvijeno u IoTLab-u (smart office/smart home)



Konfiguracija pametnog prostora: lokacije tagova BLE i pristupnih točaka WiFi, preciznost unutar nekoliko metara, ispod metra u idealnom scenariju

Usporedba lokalnih i cloud platformi

- Uporedba prema sljedećem
 1. Broj korisnika – skalabilnost
 2. Pristup javnom Internetu
 3. Generirani promet u javnom Internetu
 4. Podržani protokoli
 5. Sigurnosni rizici

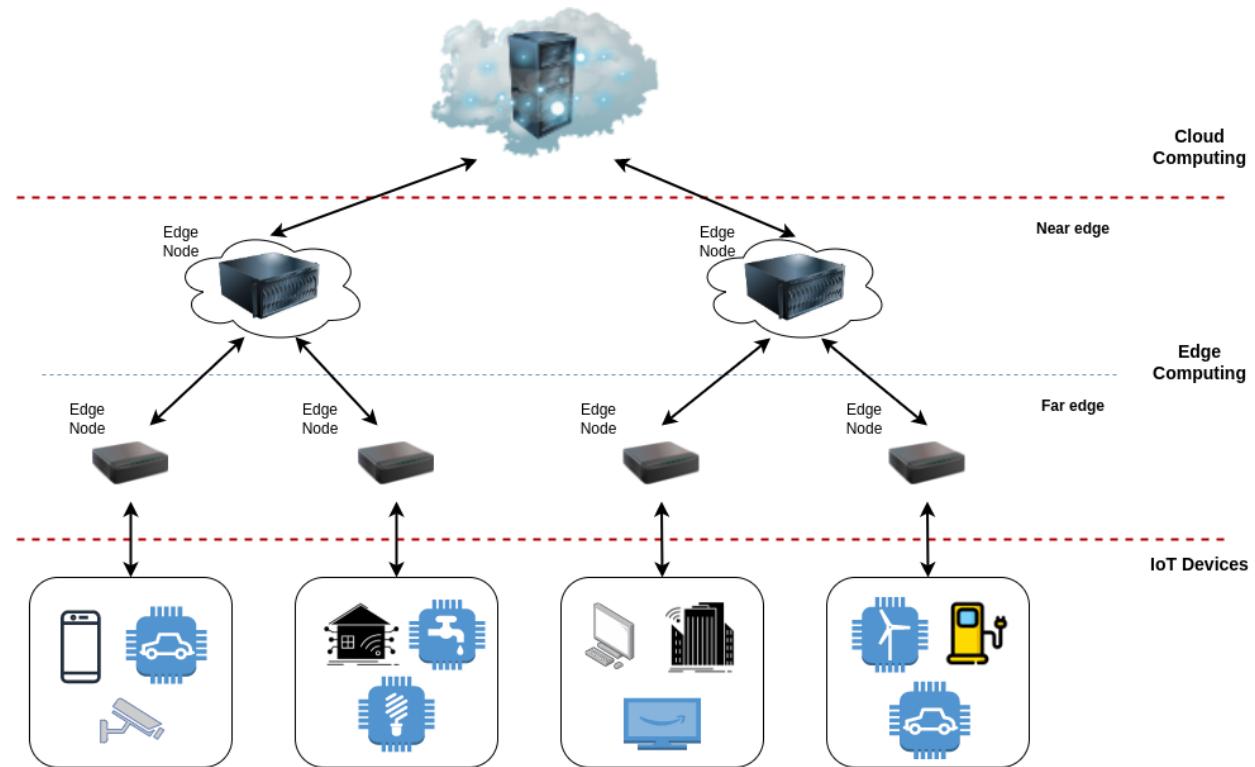
Ograničenja cloud-platformi

Neke IoT-aplikacije i područja primjene zahtijevaju značajne računalne resurse za obradu podataka iz pametnih okolina (npr. agregacija podataka, strojno učenje, itd.), ali IoT-platforme u računalom oblaku nisu pogodne za sve slučajeve uporabe iz sljedećih razloga:

1. Kašnjenje u prijenosu podataka od uređaja do računalno oblaka i upravljačkih naredbi iz oblaka do uređaja (neke primjene zahtijevaju brzu reakciju)
2. Potrebna je kontinuirana povezanost na Internet
3. Osjetljivi podaci ne smiju se pohranjivati na računalni oblak
4. Uređaji mogu generirati velike količine podataka koje nije moguće ili nema smisla slati u računalni oblak

Računarstvo na rubu mreže

- edge computing: *far edge* (daleko) vs. *near edge* (blizu clouda)
- Preraspodjela dijela funkcionalnosti računalnog oblaka na dostupne računalne resurse na rubu mreže
- koristi računalne resurse između oblaka i krajnjih IoT-uređaja na putu od uređaja do računalnog oblaka (tzv. “*cloud-to-thing computing continuum*”)
- Obilježja
 - Heterogena okolina
 - Nestabilni čvorovi
 - Česte promjene u mreži

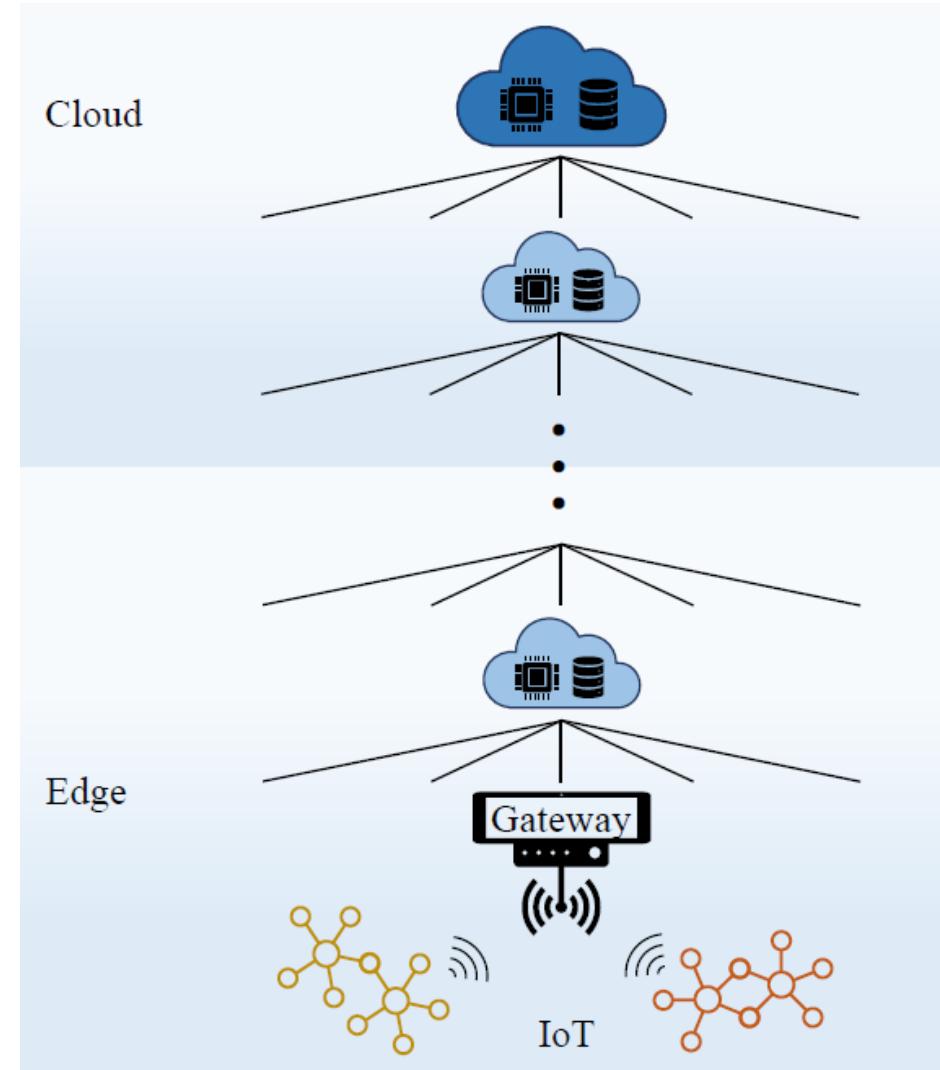


Far edge (tj. fog)

- **zadaci se sele iz računalnog oblaka** na mrežne elemente i računalne resurse u blizini IoT uređaja (originalni prijedlog još iz 2012, Bonomi)
- obrada na rubu mreže: u blizini IoT uređaja, ali ne na IoT uređajima, već jedan skok do njih
- umjerena dostupnost računalnih resursa (uređaji ograničenih resursa) uz manju potrošnju energije
- omogućuje obradu i prosljeđivanje podataka, upravljanje uređajima te izvođenje pravila uz uvođenje „inteligencije“ i praćenje konteksta na uređajima u blizini IoT-uređaja
- prednost: smanjuje vrijeme potrebno za izvođenje usluga i dodatne obrade (ne izvodi se u računalnom oblaku, pa je smanjeno kašnjenje i količina prenesenih podataka u oblak)

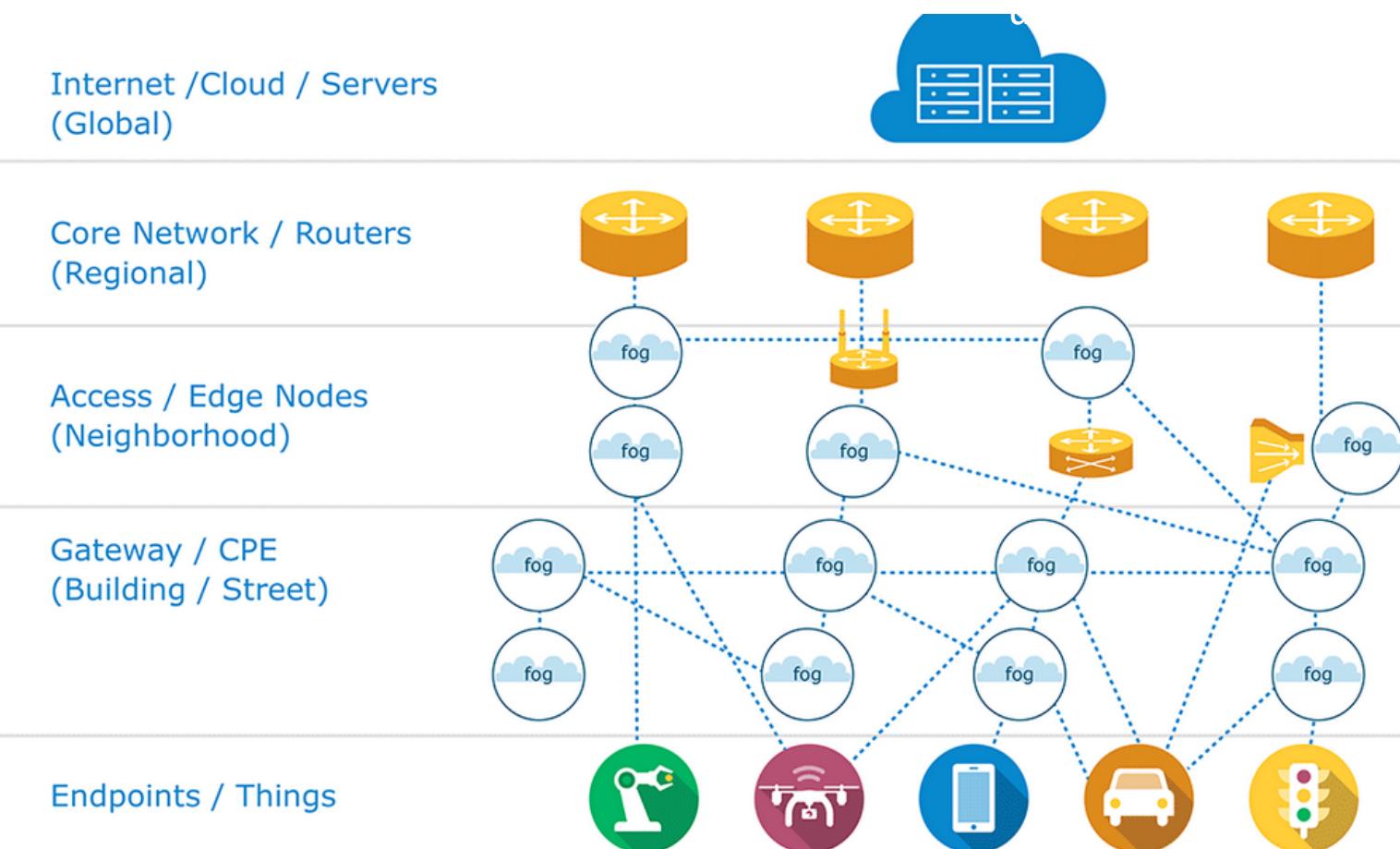
Near edge

- Koriste se poslužitelji u lokalnoj mreži bliže uređajima, računalni čvorovi s više resursa od onih u far edge-u, npr. lokalni mikro oblak s nekoliko poslužiteljskih rackova,
- Za računalni oblak na gornjem sloju se podrazumijevaju gotovo neograničeni resursi unutar podatkovnih centara (ali i najveća potrošnja energije i najveća mrežna udaljenost od IoT-uređaja)
- Prednosti *cloud-to-thing computing continuum-a*
 - veća sigurnost
 - veća otpornost na ispadne
 - smanjeno kašnjenje
 - smanjeni operativni troškovi



Smještaj resursa

Prema OpenFog Consortium-u (standardizacijsko tijelo) koji je u siječnju 2019. je pripojen IIC-ju [Industrial Internet Consortium \(IIC\)](#)



*broad range of equipment
and networks*

*cloud-to-thing
computing
continuum*

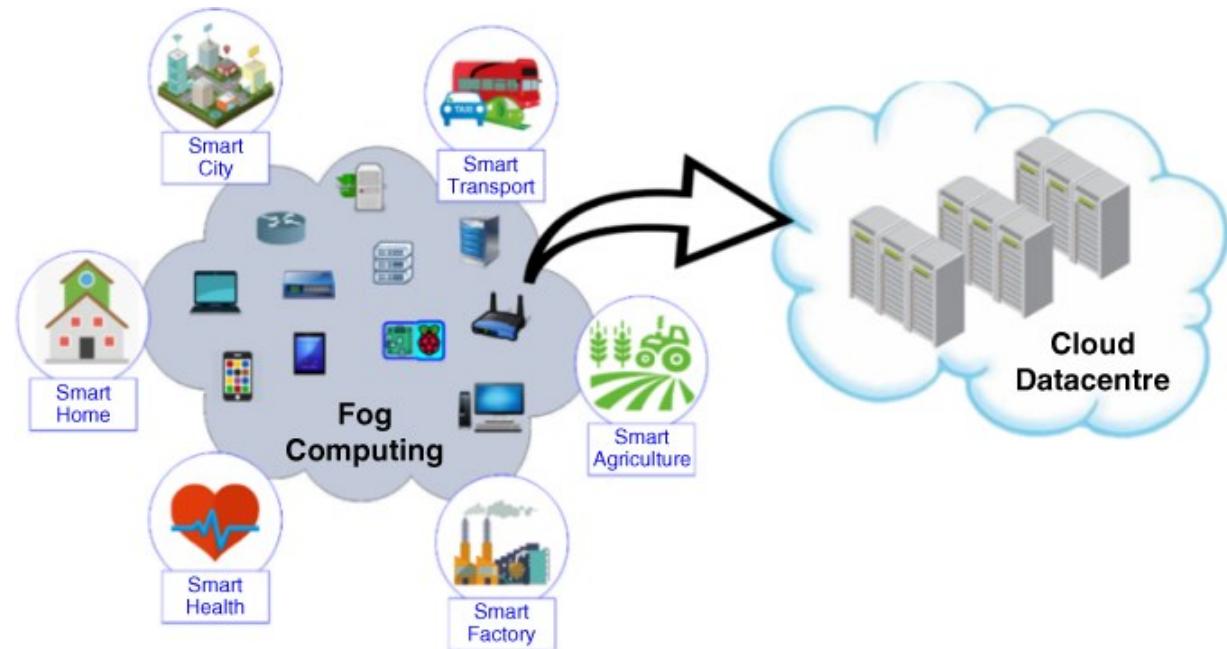
Svojstva računarstva na rubu mreže

SCALE

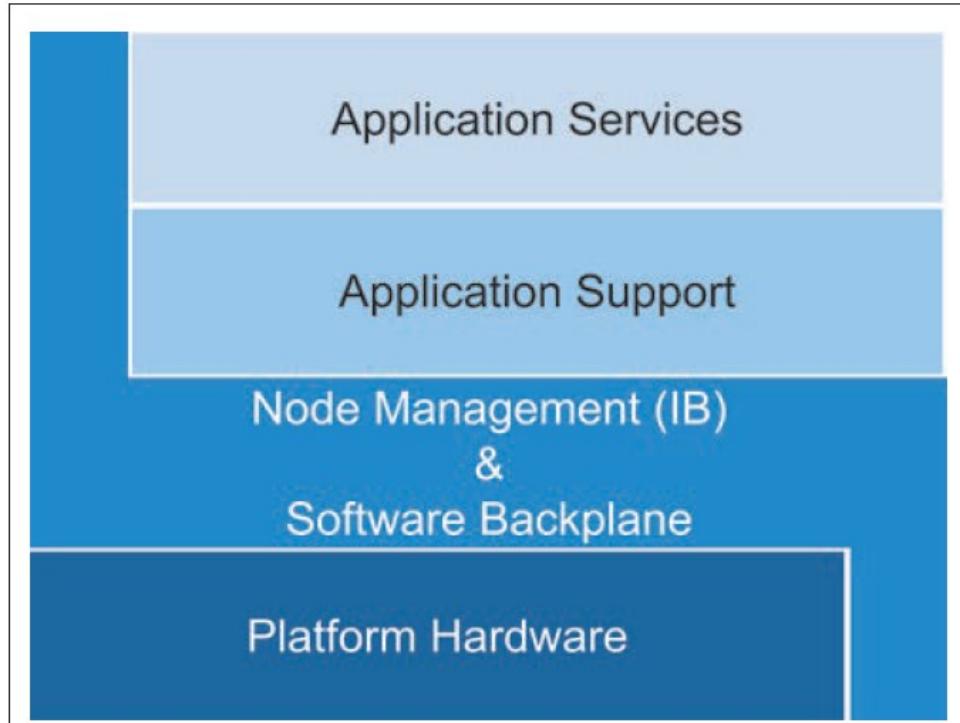
- **Security:** Uređaji u edge-u mogu pružiti bolju zaštitu od napada na IoT-uređaje ograničenih resursa
- **Cognition:** Odluke se mogu donositi u edge-u umjesto u računalnom oblaku (self-adaptation, self-organization, self-healing...)
- **Agility:** povećava se prilagodljivost pametnog prostora na promjene
- **Latency:** brza reakcija na događanje, smanjuje se vrijeme odziva
- **Efficiency:** poboljšana učinkovitost u odnosu na cloud-rješenja jer se obrada podataka i odluke donose u blizini IoT-uređaja (ali onda mogu biti samo lokalnog karaktera)

Područja primjene

- Industrial IoT!
- Smart healthcare
- Smart home/building
- Smart traffic
- Smart city
- Smart farming
- Robotics
- Autonomous driving
- Smart energy systems



Arhitektura



OpenFog Reference Architecture

- **Platform hardware**: fizički hardver za edge uređaje
- **The node management and software backplane**: sloj je zadužen za upravljanje čvorovima, omogućuje komunikaciju među svim krajnjim točkama u sustavu (npr. prema udaljenom oblaku, rubnim uređajima, ostalim edge uređajima).
- **Application support**: zbirka mikrousluga koje nisu specifične za aplikaciju. Ovo su generički moduli kao npr. baze podataka, sigurnosni moduli, messaging middleware, etc.
- **Application Services**: usluge namijenjene aplikacijama, za jednostavnu izradu aplikacija koje koriste edge.

Zašto trebamo *edge computing*?

Konteksno-svjesne pametne okoline

- Sposobnost okoline da se prilagodi kontekstu (korisnika, mreže i uređaja)
- **Kontekst** je bilo koja informacija pomoću koje se može karakterizirati situacija nekog entiteta. Entitet je osoba, mjesto ili objekt koji se smatra relevantnim za interakciju između korisnika i okoline.
- Okolina je **svjesna konteksta** ako koristi kontekst kako bi se prilagodila potrebama korisnika u danome trenutku.

Vrste konteksta

- Korisnički kontekst
 - geografska lokacija
 - profil korisnika (preference i uzorci ponašanja)
- Kontekst uređaja
 - stanje senzora i aktuatora (ovisi o vrsti uređaja)
 - stanje napajanja
 - geografska lokacija
- Mrežni kontekst
 - Vrsta bežične mreže
 - Dostupna širina pojasa, propusnost
 - Adresiranje uređaja

Koje se sve obrade mogu izvoditi u edge-u?

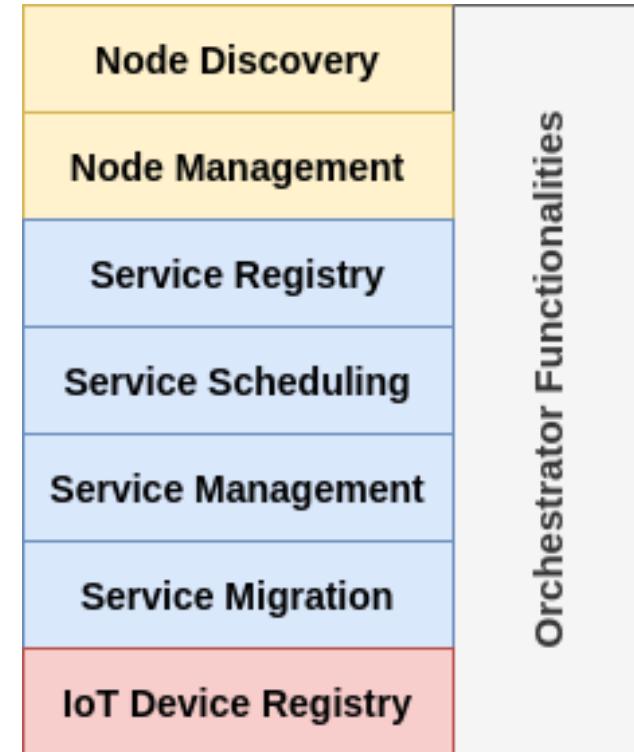
- Predobrada: uključuje filtriranje podataka, pronalaženje pogrešnih očitanja, izdvajanje značajki, transformaciju podataka u prikladniji oblik i dodavanje atributa podacima
- Generiranje upozorenja: kontinuirano praćenje podataka i generiranje upozorenja u slučaju specifičnog očitanja. Najjednostavniji primjer je kada temperatura poraste iznad postavljene granice na senzoru.
- Joins: kombinira više tokova podataka u jedan novi tok.
- Prozor: Kreira se klizeći prozor nad tokom podatka. Prozori se mogu temeljiti na vremenu (na primjer, jedan sat) ili duljini (2000 očitanja senzora). Na primjer, na temelju 10 posljednjih senzorskih očitanja računa se srednja vrijednost ili se može brojati značajna promjena temperature u posljednjem satu i utvrditi da će se kvar pojaviti na nekom stroju.
- Složeni događaji: Slijed događaja predstavlja određeni obrazac od interesa koji je potrebno identificirati unutar klizećeg prozora.
- Strojno učenje: kreiranje modela koji se kasnije koriste za identificiranje specifičnih stanja analizom dolaznih podataka

Tehnologije za *edge*

- **Mikroservisi:** kolekcija dobro-definiranih usluga, svaka je neovisna. Glavne značajke koje mikroservise čine prikladnima za implementaciju edge-a: implementacija neovisna o jeziku, skalabilnost usluge i bez centraliziranog upravljanja.
- **Kontejneri:** apstrakcija na razini aplikacije koja pakira kod i sve njegove ovisnosti zajedno tako da se može izvršavati jednako i dosljedno na bilo kojoj infrastrukturi. Kontejnerizacija zahtijeva manje resursa i smanjuje vrijeme pokretanja u usporedbi s virtualizacijom hipervizora. Svojstva: prenosivost i migracija na različite fizičke čvorove.
- **Alati za orkestraciju kontejnera** automatiziraju implementaciju, upravljanje, skaliranje i umrežavanje kontejnera. Varijante lightweight K8s-a: npr. K3s, Microk8s, KubeEdge, ioFog, etc.

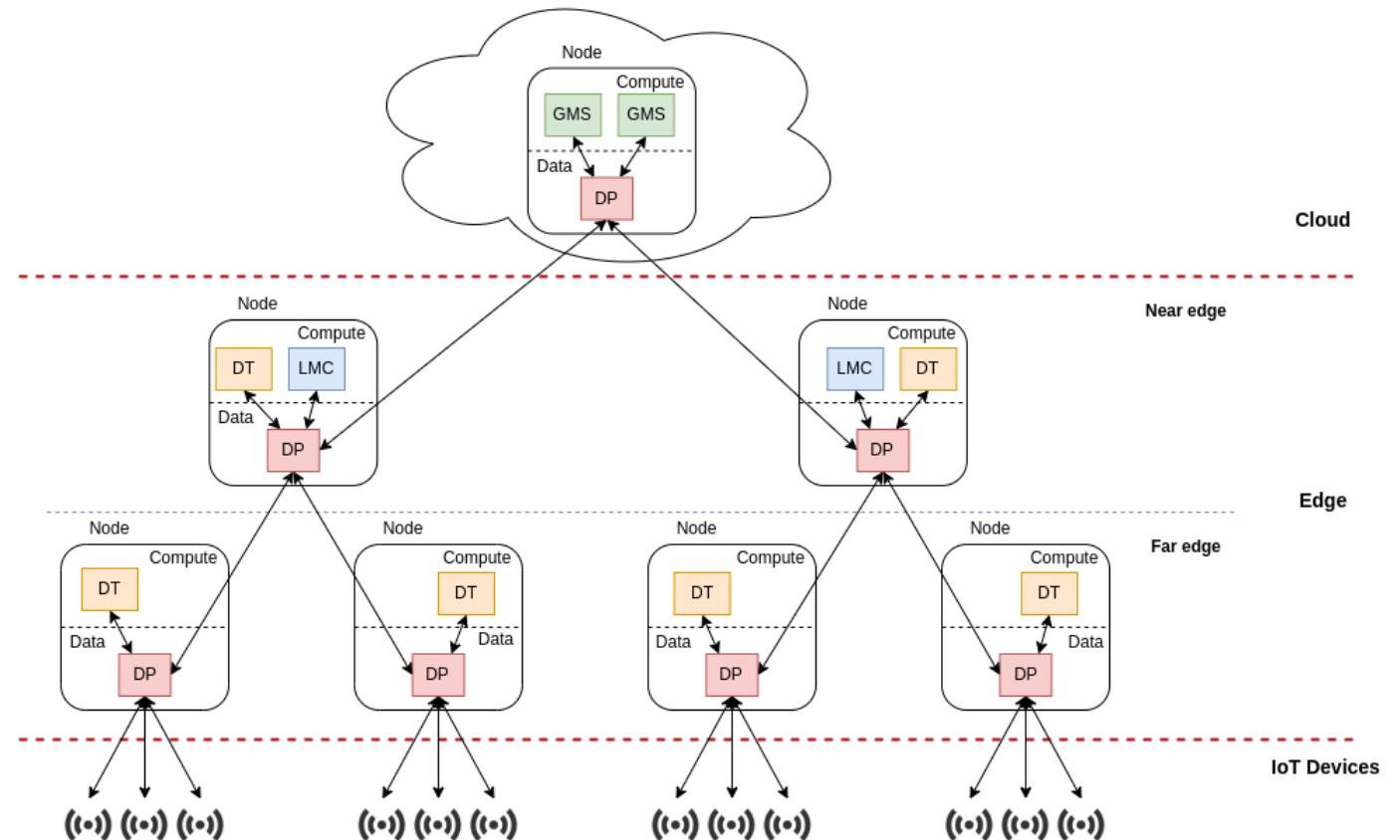
Orkestracija za *edge*

- Orkestracija usluga na čvorovima *edge*-a je potrebna za planiranje, postavljanje i upravljanje uslugama ovom raspodijeljenom okruženju
- IoT-uredaji se pridjeljuju servisima (kojima šalju podatke ili servisi upravljaju uređajima)
- Servisi (kontejnizirani) se izvode na *edge* čvorovima, moguće iz pokrenuti po potrebi ili migrirati na druge čvorove
- Orkestrator je obično centraliziran, koriste se posebni algoritmi za određivanje optimalnog razmještaja servisa na čvorove kako bi se zadovoljili zahtjevi za kvalitetom usluge (npr. kašnjenje), no treba uzeti u obzir da se uvjeti u okolini kontinuirano mijenjaju



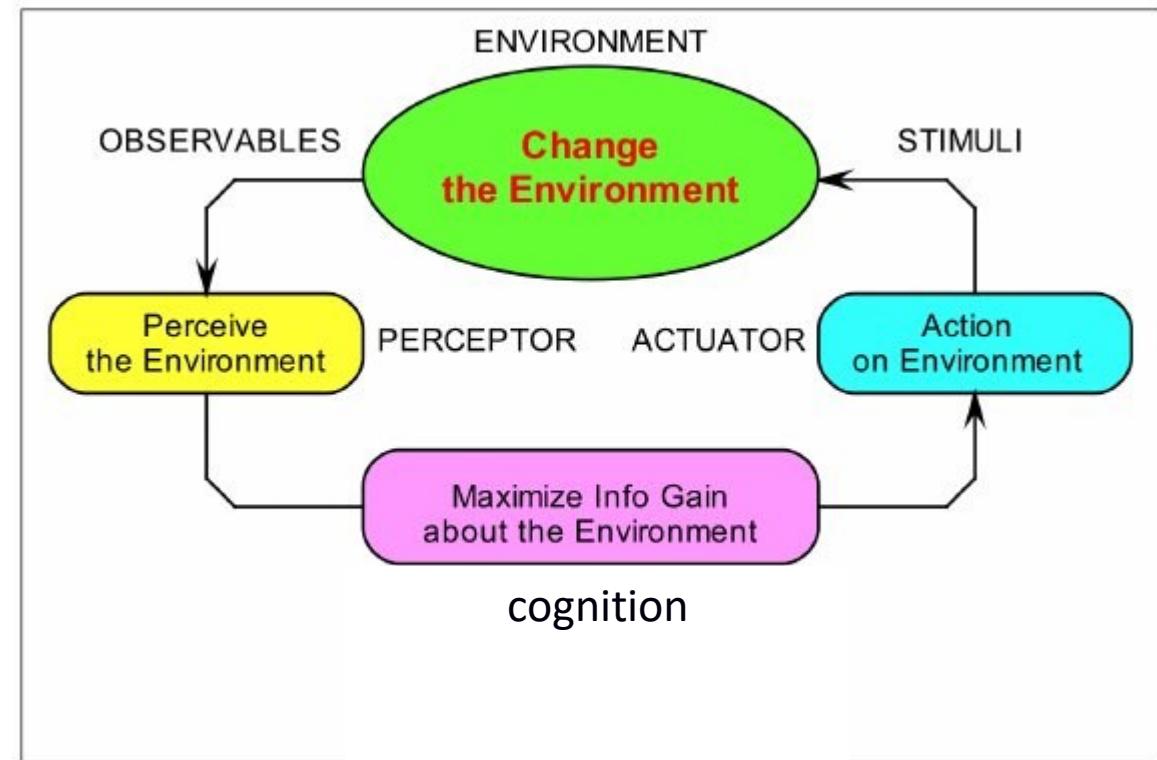
Primjer primjene: federalno učenje

- Raspodijeljeno udruženo učenje (*federated learning*): lokalni model (LMC) i globalni model (GMS)
- Virtualni blizanac (*digital twin*, DT), prihvata podatke i određuje stanje samog uređaja
- Data Proxy (DP), proslijeđuje podatke do odgovarajućeg DT-a i LMC-a, DT se seli po potrebi na različite *edge* čvorove



Drugi primjer primjene: kognitivni IoT

- Usluge i aplikacije IoT trebale bi **olakšati interakciju ljudi s okolinom** umanjujući invazivnost tehnologije te služiti ljudskim potrebama u svakodnevnim zadacima, uz mogućnost istovremenog učenja uzoraka ljudskog ponašanja.
- Kognitivni IoT uvodi **kognitivne sposobnosti** koje se sastoje od tzv. ciklusa „percepcije i djelovanja“ (engl. *perception-action cycle*), memorije, pažnje, inteligencije i jezika te stvara konvencionalni radni okvir IoT s ciljem omogućavanja interaktivnih usluga



Literatura

- OpenFog Reference Architecture for Fog Computing,
https://www.iiconsortium.org/pdf/OpenFog_Reference_Architecture_2_09_17.pdf
- M. Antonini, M. Vecchio and F. Antonelli, "Fog Computing Architectures: A Reference for Practitioners," in *IEEE Internet of Things Magazine*, vol. 2, no. 3, pp. 19-25, September 2019
- S. Feng, P. Setoodeh and S. Haykin, "Smart Home: Cognitive Interactive People-Centric Internet of Things," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 2, pp. 34-39, February 2017
- J. Ploennigs, A. Ba and M. Barry, "Materializing the Promises of Cognitive IoT: How Cognitive Buildings Are Shaping the Way," in IEEE Internet of Things Journal, vol. 5, no. 4, pp. 2367-2374, Aug. 2018



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

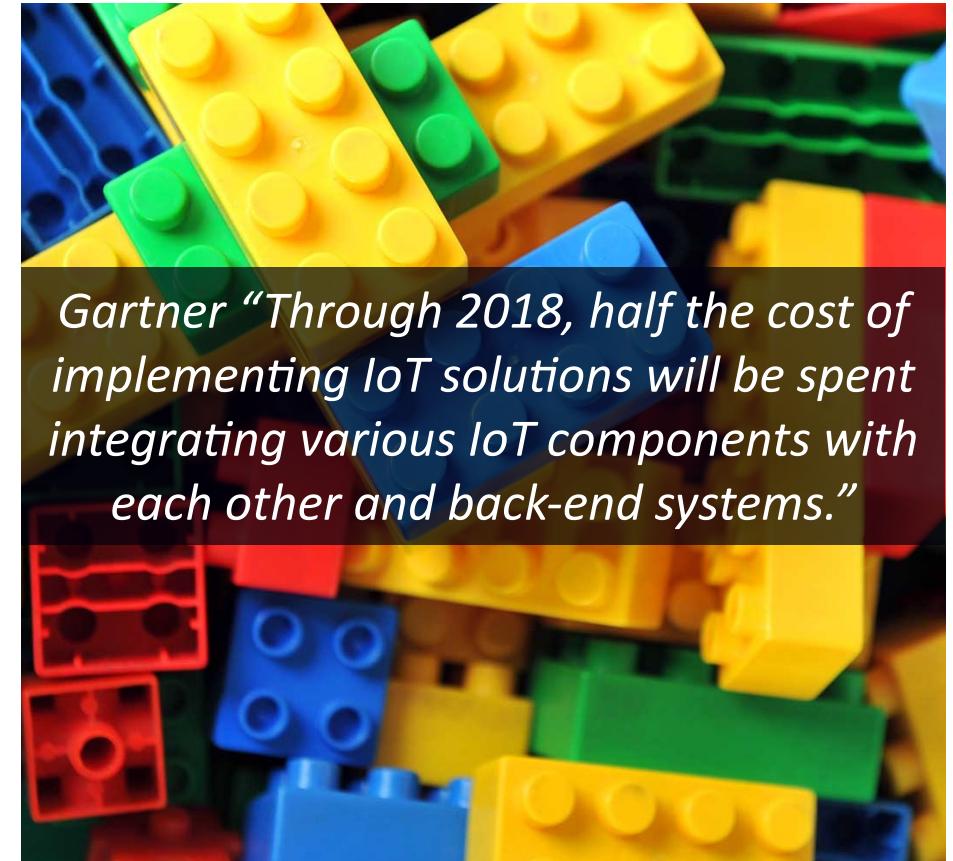
Internet stvari

10. Interoperabilnost programskih
platformi: programska međuoprema
symbIoTe i IoT platforma

Ak. god. 2022./2023.

Interoperabilnost za IoT

- Što je interoperabilnost?
 - interoperabilnost je obilježje proizvoda/sustava/programske komponente, čija su sučelja poznata i dobro dokumentirana (tj. otvorena) radi integracije s ostalim sustavima
- Raširena primjena IoT rješenja moguća je samo „otvaranjem“ infrastrukture i platformi (naravno, pod kontroliranim uvjetima), uz korištenje unificiranih i usuglašenih API-ja
- Potreba za aplikacijama neovisnim o infrastrukturi i platformama ali i domeni (cross-domain IoT apps)



Gartner “Through 2018, half the cost of implementing IoT solutions will be spent integrating various IoT components with each other and back-end systems.”

Izvor: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/five-steps-to-address-iot-integration-challenges/>

Dodatno o važnosti interoperabilnosti

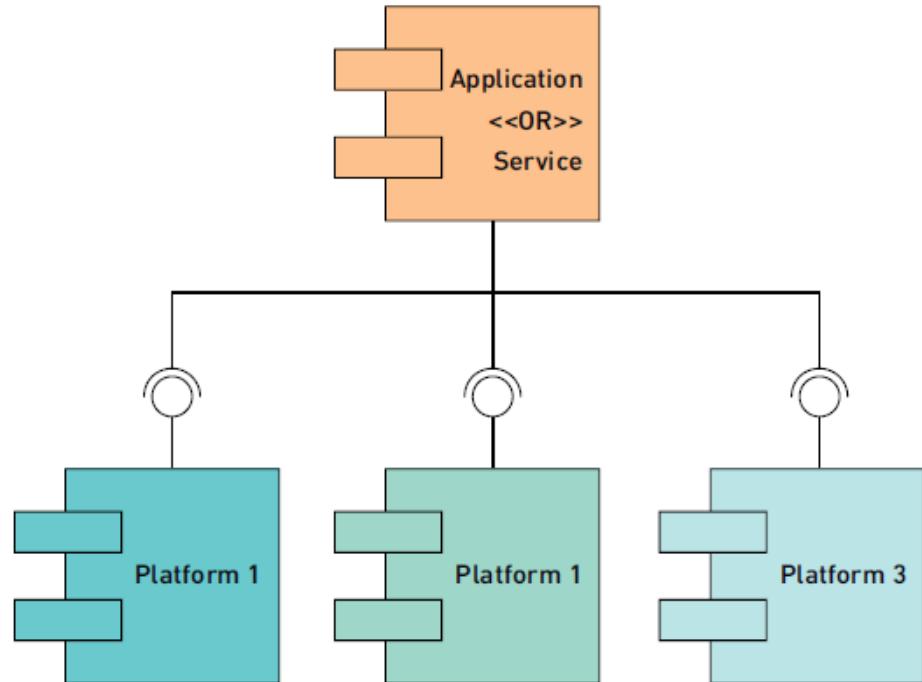
- „To ensure that hybrid- and multi-cloud solutions work together seamlessly, enterprises are prioritizing integration, interoperability, and security. As a result, it has become a must to have a robust API strategy, security, and integration middleware that allow applications in different cloud environments to interact. APIs’ importance is evident in how much their numbers have grown. From 2014 through 2017, the total number of APIs available in ten strategic business functions more than doubled. Interoperability’s importance is also clear: the market for integration platforms is expected to grow by 50% to reach \$2.8 billion in 2020.”
- Izvor: <https://www.bcg.com/publications/2019/seven-forces-reshaping-enterprise-software.aspx>

Vrste interoperabilnosti

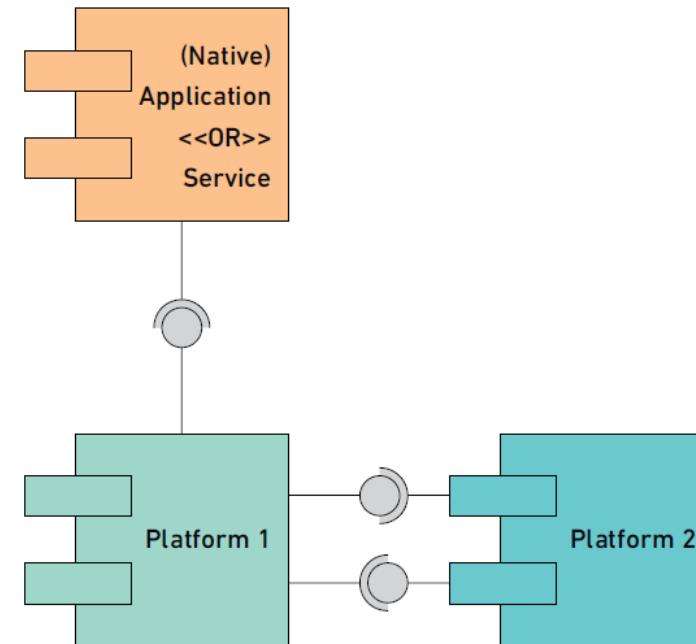
- **Tehnička:** povezuje se s komunikacijskim protokolima i potrebnom infrastrukturom kako bi protokoli ispravno funkcionirali.
- **Sintaktička:** povezuje se s formatom podataka i njihovim kodiranjem, npr., XML, JSON, RDF.
- **Semantička:** odnosi se na razumijevanje prenesenih podataka između različitih sustava (informacije, a ne podaci!).
- **Organizacijska:** sposobnost organizacija za učinkovitu komunikaciju i prijenos informacija kroz različite informacijske sustave i infrastrukture

Izvor: H. van der Veer und A. Wiles, „Achieving Technical Interoperability – the ETSI Approach,” ETSI White Paper No.3, 3rd edition, April 2008.

„Obrasci” interoperabilnosti



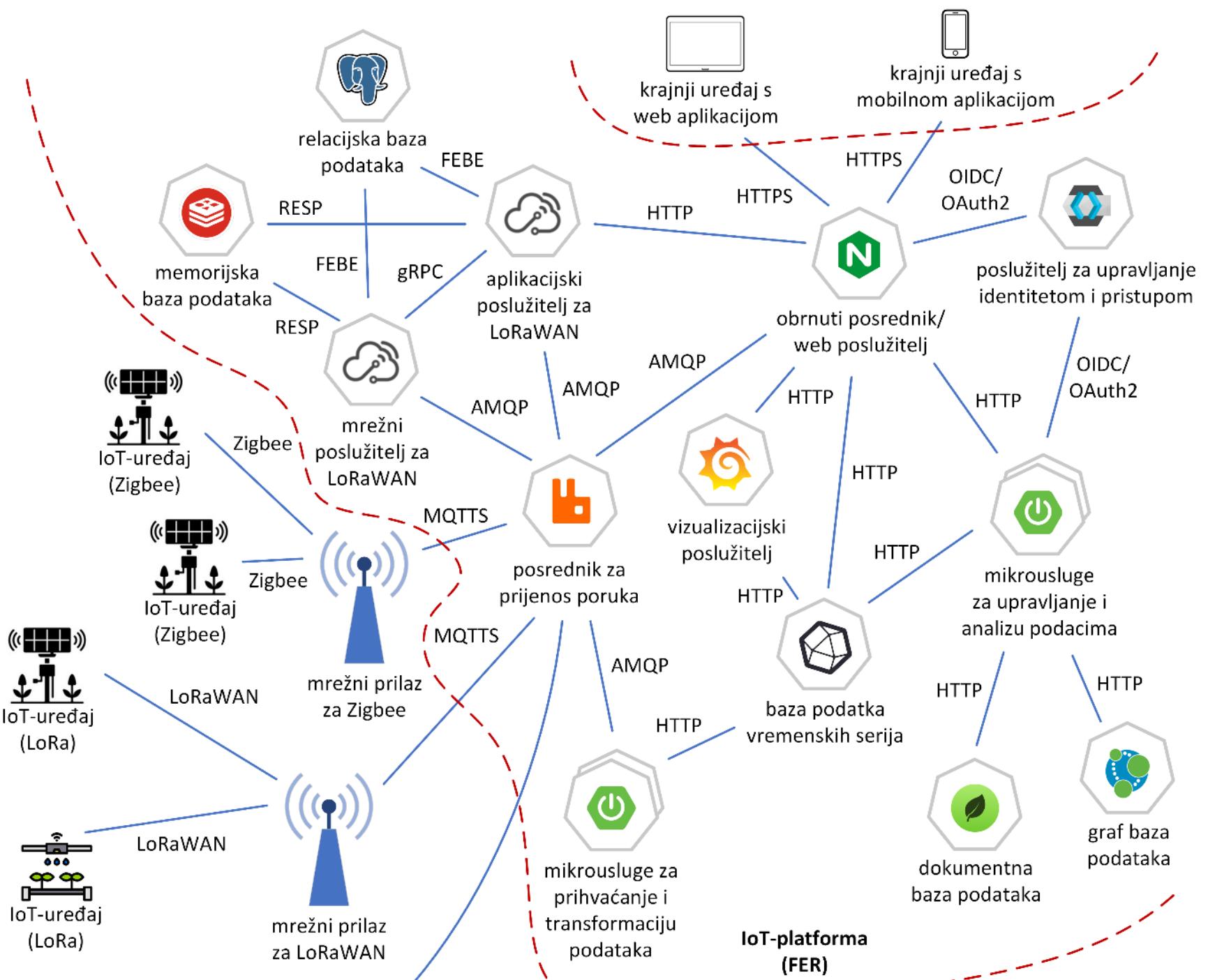
1. Cross Platform Access Pattern



2. Platform-to-platform Interoperability Pattern

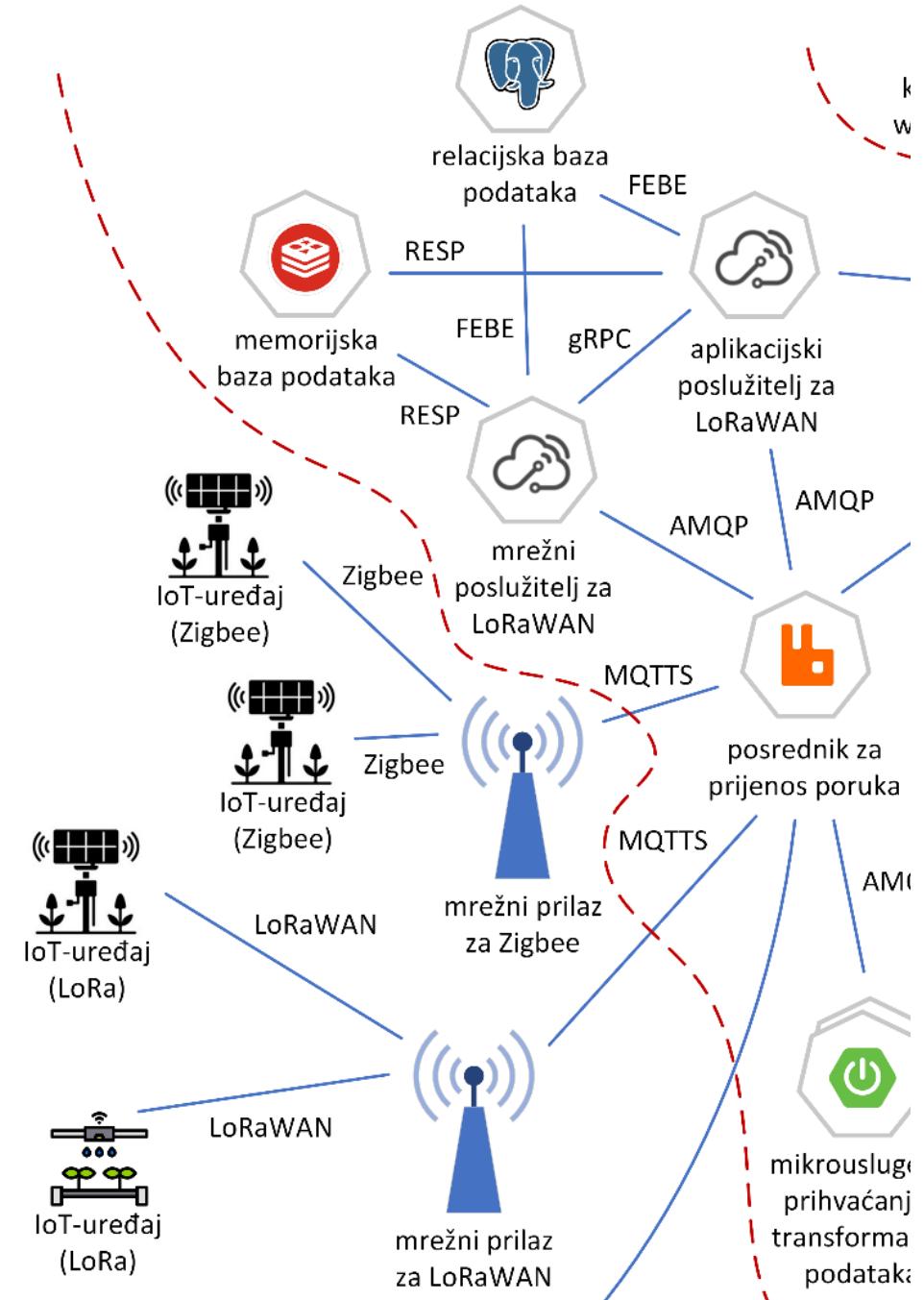
Vermesan, Ovidiu (ed.). Advancing IoT Platforms Interoperability, River Publishers, June 2018,
<https://doi.org/10.13052/rp-9788770220057>

IoT platforma u projektu IoT-polje



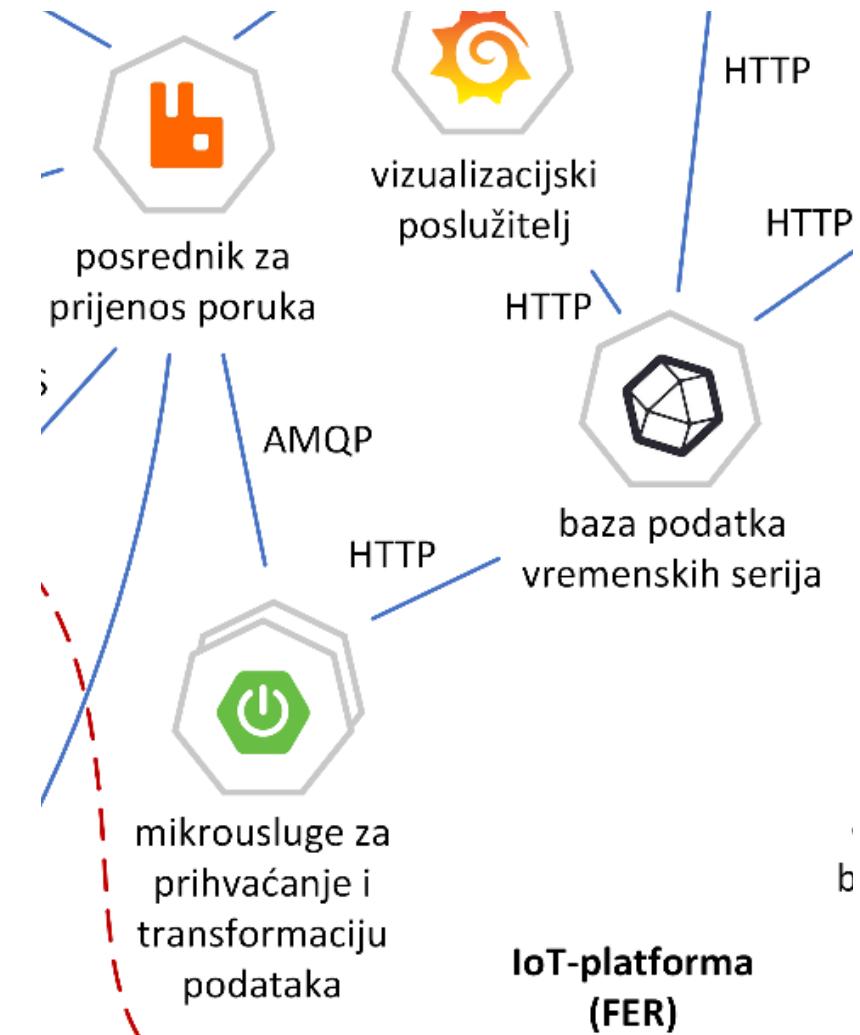
Tehnička interoperabilnost

- Uređaji:
 - Waspmove Plug & Sense - [Smart Agriculture](#)
 - ATMOS - [DL-ATM41](#),
 - METEOHELIX,
 - DAVIS - [UBIQ-IoT WS-100 Series](#)
 - naši uređaji – STM32, LoRaWAN
- Komunikacija:
 - Niži slojevi: LoRaWAN, Zigbee
 - Aplikacijski: TLS za sigurnost, MQTT ili AMQP
 - RabbitMQ



Sintaktička interoperabilnost

- Svaki uređaj šalje podatke u svom formatu
 - *Ingestion* mikro servisi koji parsiraju formate i spremaju u bazu podataka s vremenskim serijama (InfluxDB)



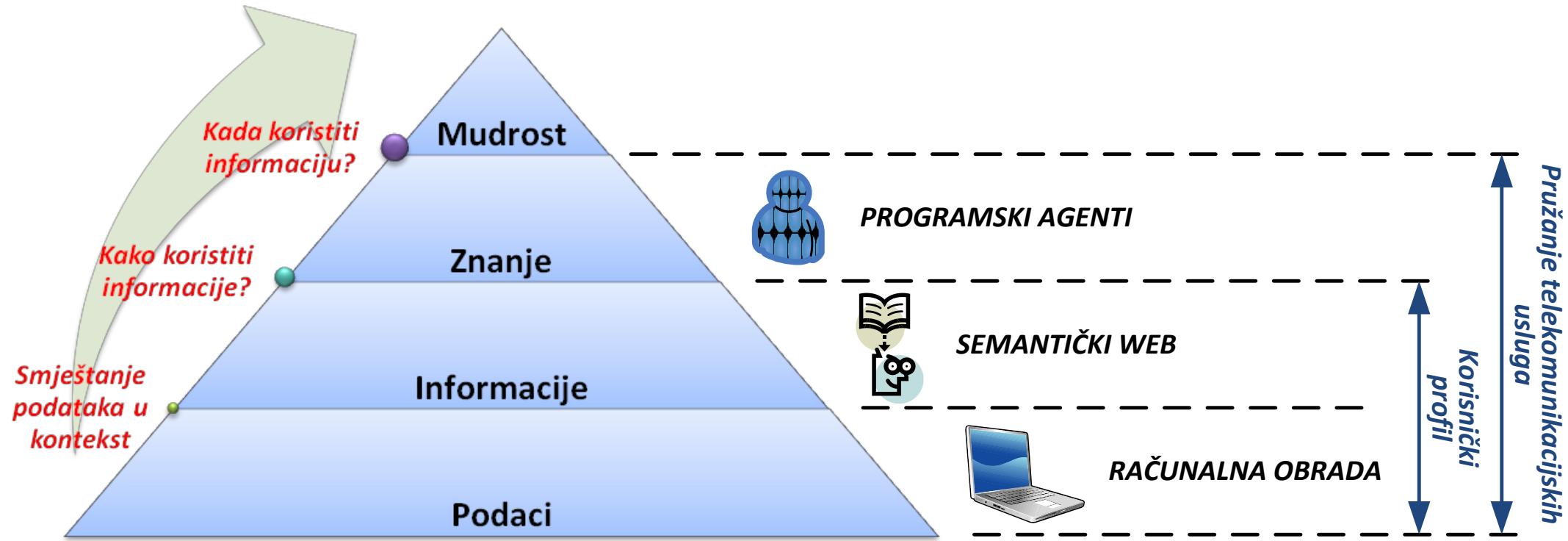
Sintaktička interoperabilnost – UBIQ IoT



- Solarna radijacija: 11 bitova
- Kiša: 14 bitova
- Brzina vjetra: 9 bitova
- Smjer vjetra: 9 bitova
- Temperatura: 14 bitova
- Relativna vlažnost zraka: 7 bitova
- Oktet 0 – *hand-shake*

Tehnologije semantičkog weba

Semantički web



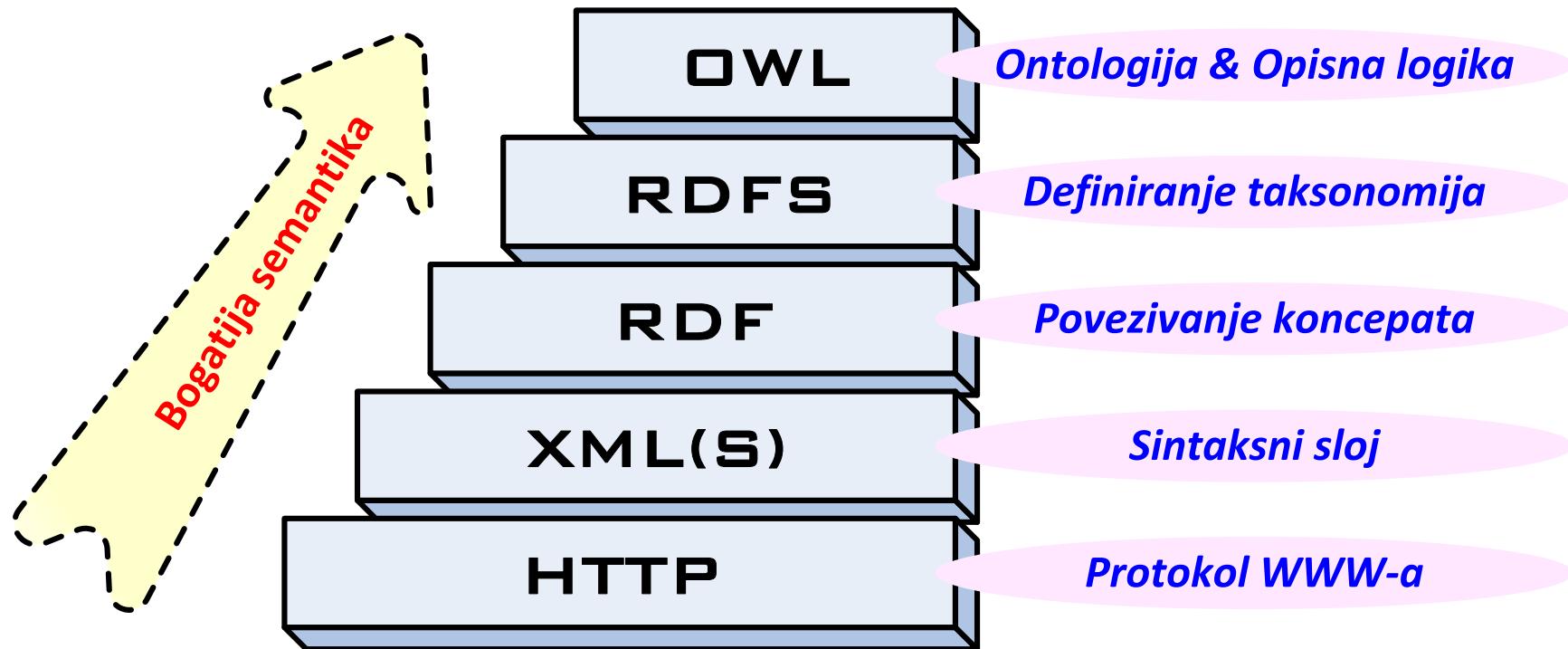
Tehnologije semantičkog weba

- Ontologije
 - Formalni opis domene
- Metapodaci
 - Podaci o podacima
 - Opis objekata pomoću ontologije
- Semantičko rasuđivanje
 - Algoritmi i logika
- Agenti
 - Predstavljaju korisnika u sustavu i zaključuju

Ontologija

- Eksplicitna i formalna specifikacija
 - Formalno se opisuje domena
 - Sadrži koncepte (pojmove)
 - Definira odnose (predikate) među konceptima
- Sastoji se od trojki
 - Subjekt
 - Predikat / svojstvo / odnos
 - Objekt

Elementi izgradnje semantičkog weba

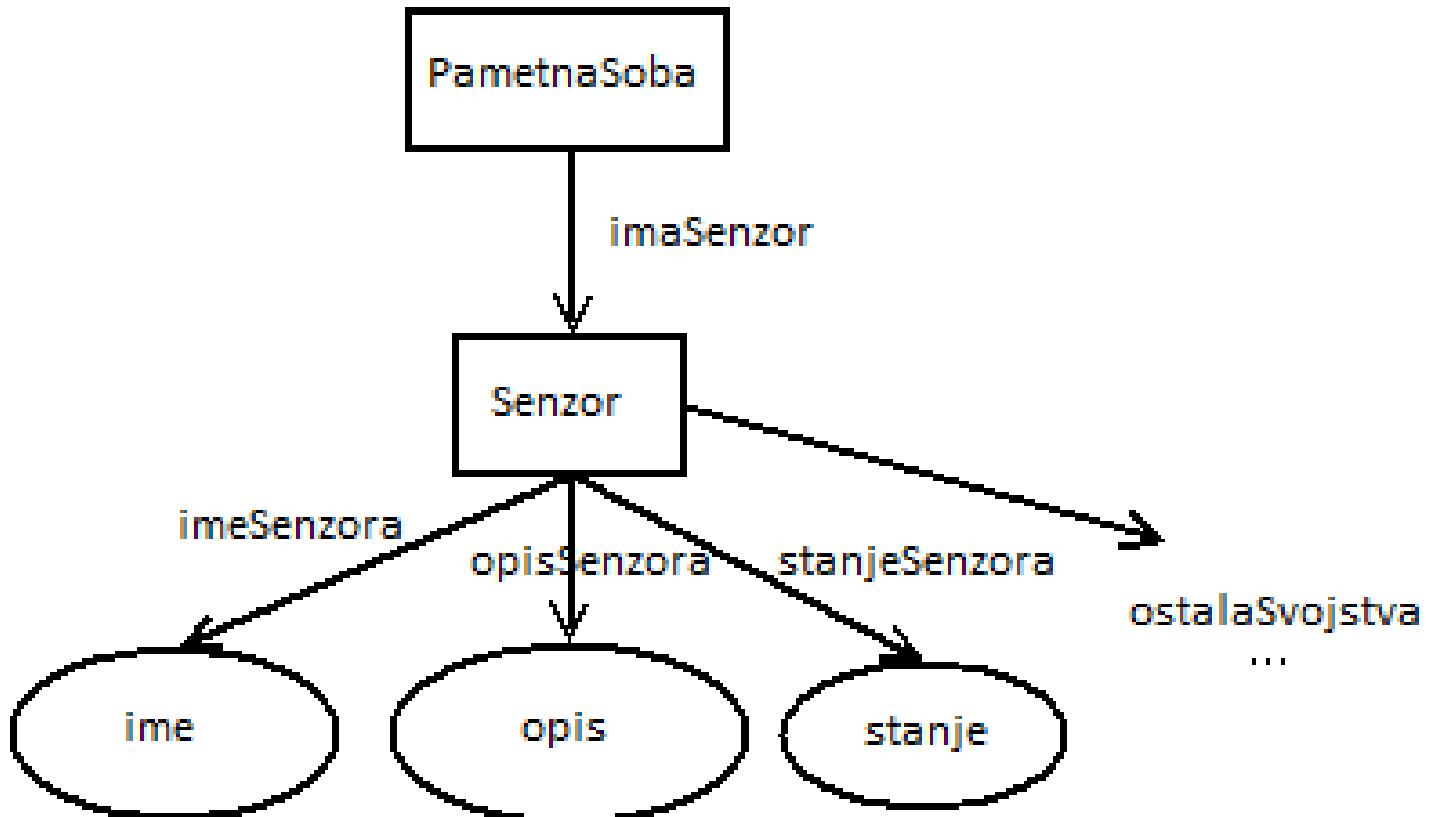


RDF – Resource Description Framework

- Skup W3C-specifikacija koje se danas koriste za općenito modeliranje informacija
- Zapisivanje informacija u obliku izjava (trojke): subjekt, predikat i objekt
- Primjer:

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"  
    xmlns:ns="http://www.fer.hr/#">  
    <ns:Room rdf:about="http://www.fer.hr/#room1">  
        <ns:hasSensor rdf:resource="http://www.fer.hr/#temp1"/>  
    </ns:Room>  
    <ns:Sensor rdf:about="http://www.fer.hr/#temp1">  
        <ns:value>25</ns:value>  
    </ns:Sensor>  
</rdf:RDF>
```

RDF



RDFS – RDF Schema

- Prikazuje klase i svojstva elemenata
- Kao kod objektno-orientiranog programiranja

```
<rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
           xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#">

    <rdfs:Class rdf:ID="sensor" />
    <rdfs:Class rdf:ID="temperatureSensor">
        <rdfs:subClassOf rdf:resource="#sensor"/>
    </rdfs:Class>

    <rdf:Property rdf:ID="value">
        <rdfs:domain rdf:resource="#sensor"/>
        <rdfs:range
            rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"/>
    </rdf:Property>
</rdf:RDF>
```

OWL – Web Ontology Language

- Jezik za definiranje ontologija
- Slično kao i RDFS
- Znatno bogatiji vokabular za opisivanje klasa, njihovih međusobnih odnosa, atributa i njihovih svojstava:
 - restrikcije domene koje se primjenjuju samo na odabrane klase
 - klase se mogu definirati kao međusobno isključive
 - ograničenja kardinalnosti – primjerice, može se reći kako instanca klase ima točno jedno svojstvo
 - posebna svojstva predikata – predikati se mogu definirati kao tranzitivni, inverzni i jedinstveni
- 3 varijante: OWL Lite, OWL DL i OWL Full
- Zasniva se na opisnoj logici (*Description logic*)

OWL – najvažniji konstrukti

Konstrukt	Sintaksa opisne logike
intersectionOf	$C_1 \sqcap \dots \sqcap C_n$
unionOf	$C_1 \sqcup \dots \sqcup C_n$
complementOf	$\neg C$
oneOf	$\{a_1, \dots, a_2\}$
toClass	$\forall R.C$
hasClass	$\exists R.C$
hasValue	$\exists R.\{a\}$
minCardinality	$\geq_n R.C$
maxCardinality	$\leq_n R.C$
cardinality	$=_n R.C$

Jezik SPARQL

- jezik za pretraživanje podataka koji su pohranjeni u RDF-u
- dozvoljava postavljanje nepotpunih upita
 - ne mora postojati svojstvo
- nedostci:
 - ne posjeduje UPDATE funkciju
 - ne posjeduje kurzore
 - nisu mogući upiti sa računanjem
 - ne postoje agregacijske funkcije
 - ne postoje funkcije za manipulaciju podacima

Jezik SPARQL – upiti

- SELECT
 - za dohvaćanje vrijednosti koje se prikazuju u tabličnom formatu
- CONSTRUCT
 - koristi se za dohvaćanje podataka koji se oblikuju u valjan RDF-u
- ASK
 - koristi se za dohvaćanje *true* ili *false* odgovora
- DESCRIBE
 - koristi se za dohvaćanje podataka u obliku RDF-grafova

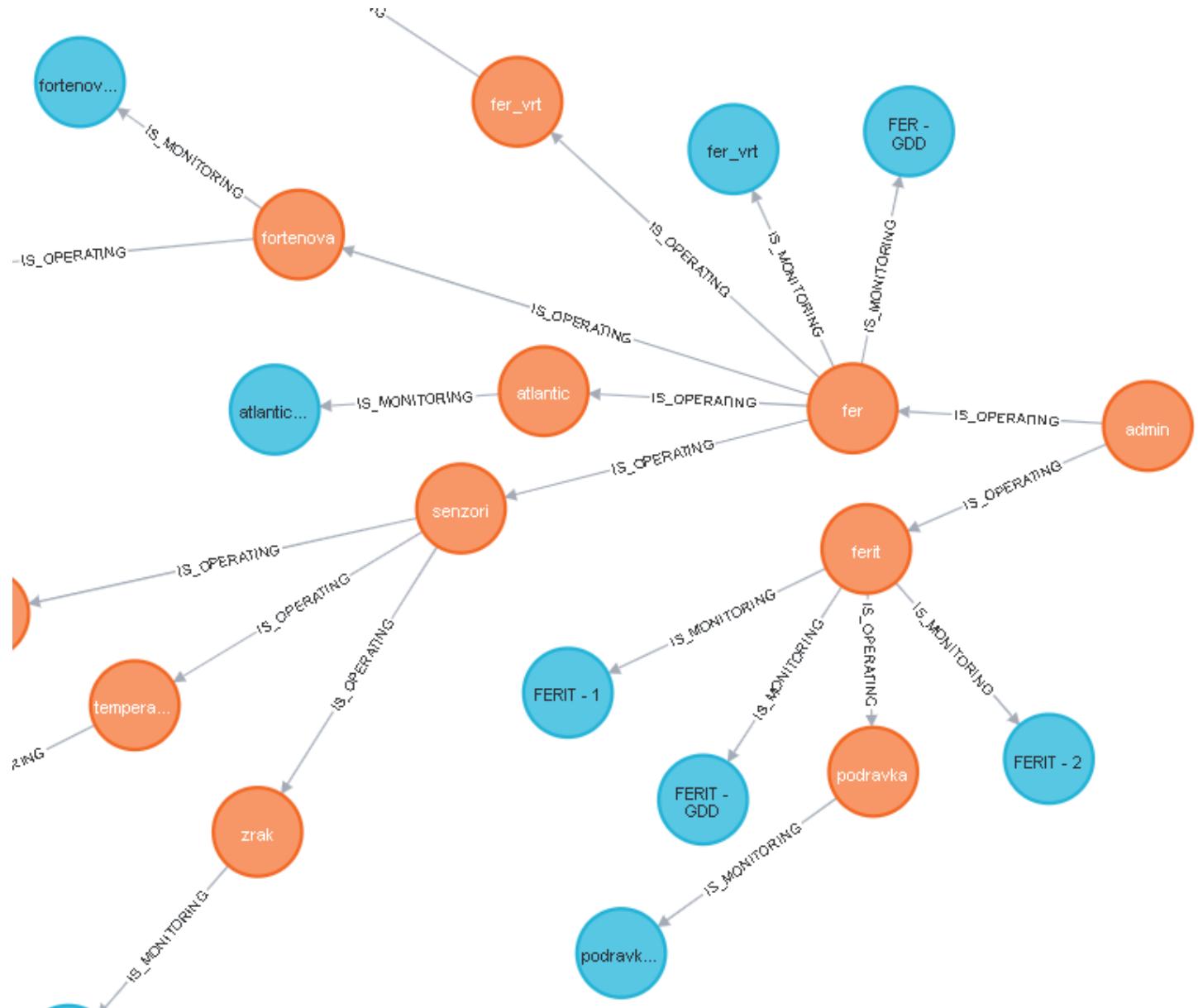
```
PREFIX foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>
SELECT ?name ?email
WHERE {
    ?person a foaf:Person .
    ?person foaf:name ?name .
    ?person foaf:mbox ?email .
}
```

Implementacije repozitorija koji razumiju SPARQL

- Apache Jena – koristili smo ju u projektu symbIoTe
- Eclipse RDF4J
- Blazegraph
- Virtuoso – koristili smo ju u projektu OpenIoT
- Neke baze podataka koje se temelje na grafovima imaju dodatke za SPARQL:
 - GraphDB – dodatak Ontotext
 - Neo4J – dodatak neosemantics (n10s) – koristimo ju u našoj IoT platformi

Primjer kotištenja Neo4J za oznake (*tag*) u našoj IoT-platformi

- Crveno su oznake
- Plavo su scene



Primjer jednostavne interoperabilne aplikacije

- Universalni prekidač na pametnom telefonu
- ... palimo i gasimo svjetla u našoj okolini ili udaljeno (doma, u uredu, u javnim prostorima)
- ... naravno, samo ako imamo odgovarajuću dozvolu ;-)



Projekt symbIoTe (2016.-2018.)



symbiote [sim-bee-oht]
noun, *biology*

an organism living in a state of symbiosis

[symbIoTe: Symbiosis of smart objects across IoT environments](#)
istraživački projekt (RIA) financiran u programu Obzor2020
(2016. – 2018.)

Konzorcij symbloTe

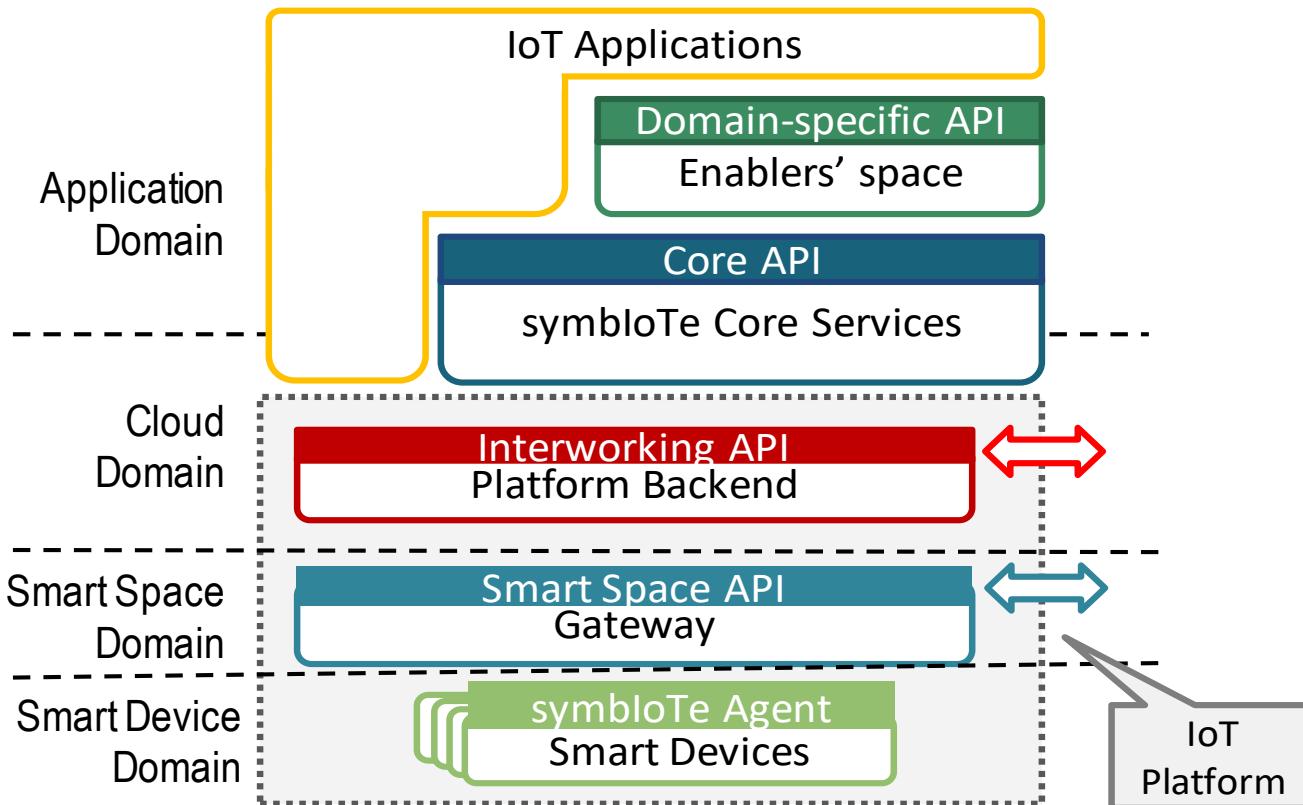


- 15 partners
- SMEs w/ IoT solutions
- research institutes
- universities
- large companies

use cases:

- smart residence
- smart campus
- smart mobility
- smart yachting
- smart stadium

The symbIoTe stack

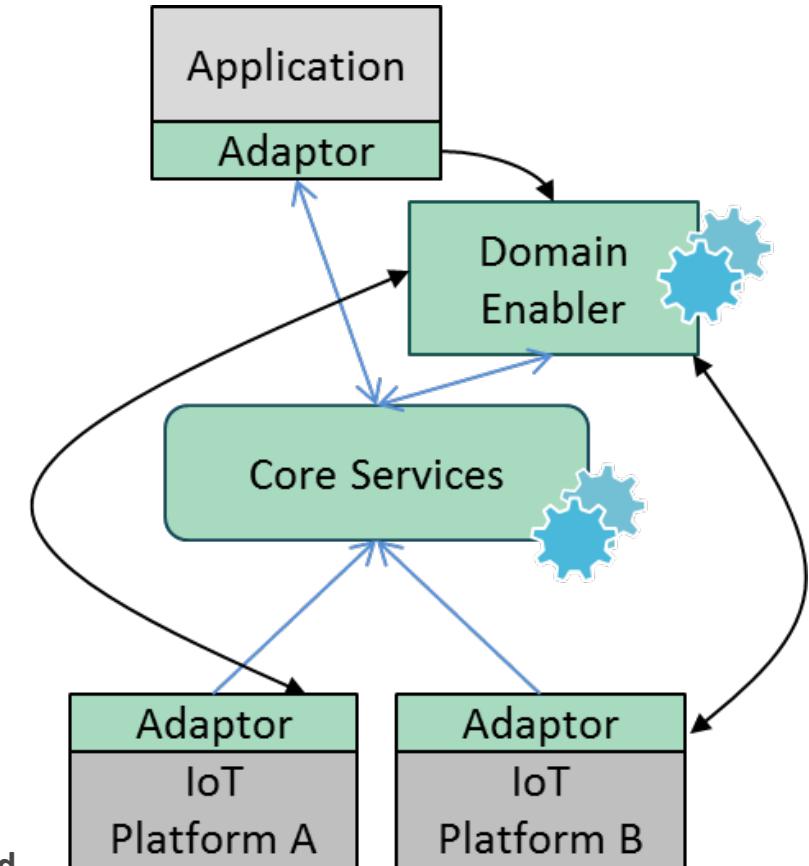


- Razvijene komponente za proširenje funkcionalnosti vezanih uz interoperabilnost i sigurnost koje integriramo u postojeće IoT-platforme: *symbIoTe interoperability middleware*
- Potreba za različitim izvedbama i konfiguracijama

I. Podnar Zarko et al., **Towards an IoT framework for semantic and organizational interoperability**, 2017 Global Internet of Things Summit (GloTS), Geneva, Switzerland, 2017, doi: 10.1109/GIOTS.2017.8016253

IoT portal & Domain Enablers

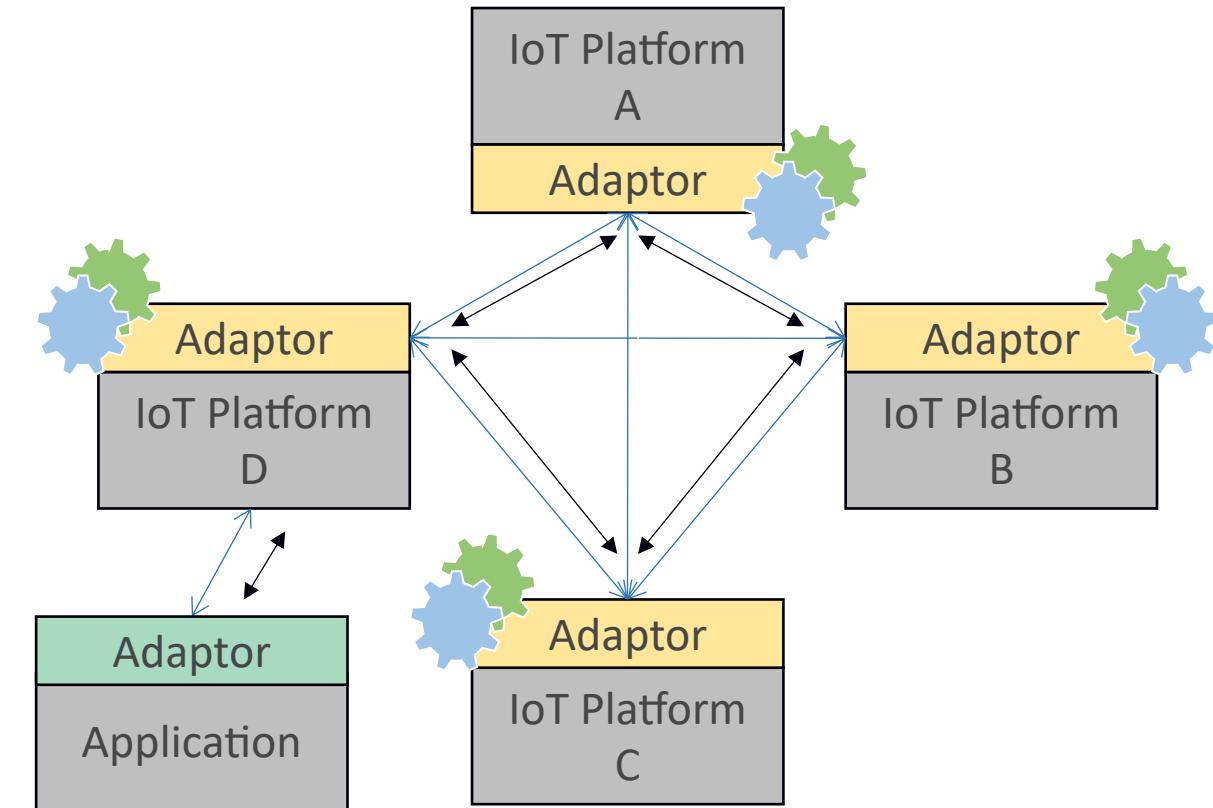
- Semantička interoperabilnost + 1. obrazac
- IoT platforme nude resurse (senzore, aktuatore, servise) koristeći unificirano sučelje
- pojednostavljeni razvoj aplikacija i servisa za krajnjeg korisnika koristeći različite platforme
- IoT portal with Core services: registar i semantička tražilica IoT-resursa
- Domain Enabler: za razvoj servisa s dodanom vrijednosti, pojednostavljuje interakciju s različitim platformama



I. Podnar Zarko et al., The symbIoTe Solution for Semantic and Syntactic Interoperability of Cloud-based IoT Platforms, 2019 Global Internet of Things Summit (GloTS), Aarhus, Denmark, 2019, to appear

IoT federations

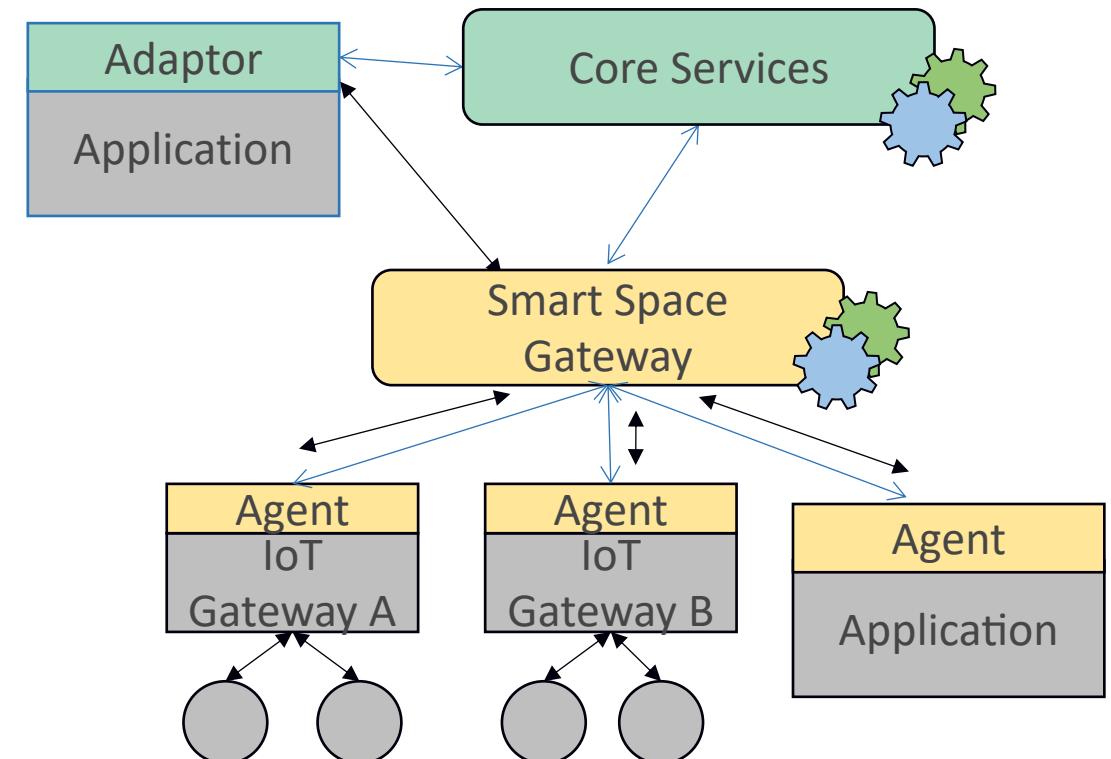
- Organizacijska interoperabilnost + 2. obrazac
- Zajednice dviju ili više platformi koje dijele ili trguju pristupom svojim IoT resursima
- Aplikacija pristupa resursima svih platformi u federaciji kao da njima upravlja samo jedna platforma
- Potpuno decentralizirani ekosustav, tražilica je također decentralizirana
- Pogodno sa poslovne procese gdje se želi izbjegći centralizacija i kontrola ekosustava od strane onoga tko upravlja centraliziranom tražilicom



I. Podnar Žarko et al., "Collaboration Mechanisms for IoT Platform Federations Fostering Organizational Interoperability," 2018 Global Internet of Things Summit (GloTS), Bilbao, 2018, pp. 1-6.

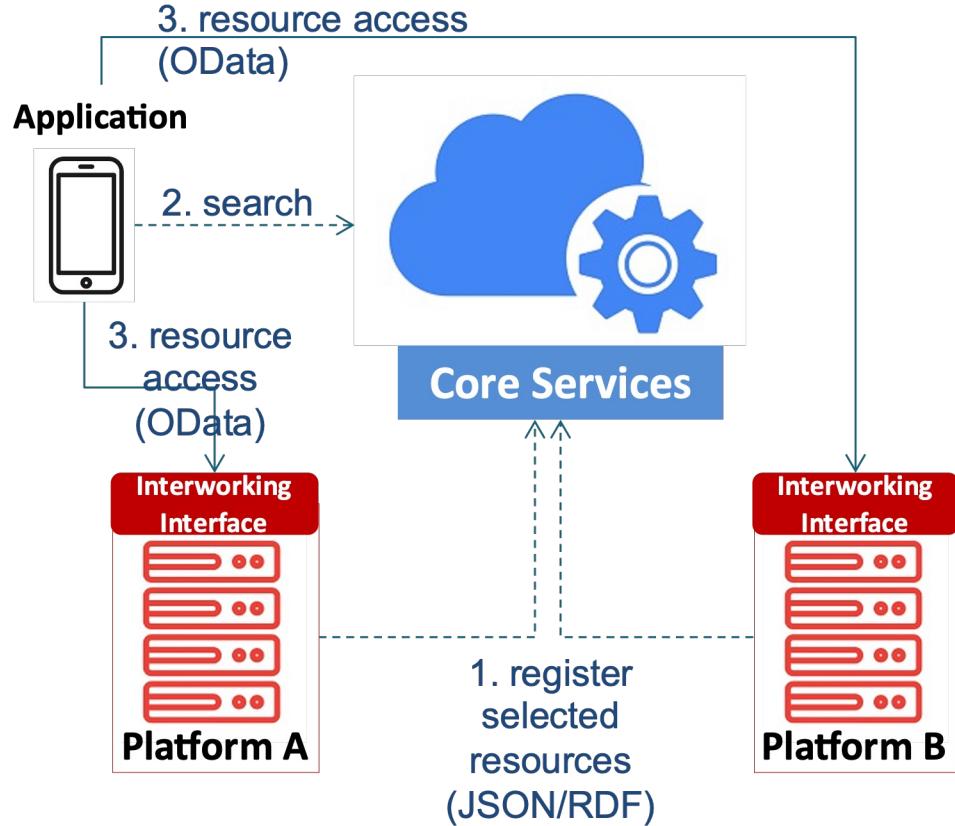
Gateway/Device Interworking

- Interoperabilnost na rubu mreže tj. u pametnom prostoru gdje postoji više platformi (npr. EdgeX i openHAB)
- Otkrivanje i dinamična konfiguracija novih uređaja koji ulaze u pametni prostor
- Kolocirani uređaji komuniciraju direktno (putem posrednika, SSP gateway), iako njima upravljaju različite lokalne platforme
- Omogućuje migraciju uređaja iz jednog prostora u drugi, a da pritom uređaj zadržava jedinstveni identifikator (tzv. *device roaming*)



G. Carrozzo et al., "Interoperation of IoT Platforms in Confined Smart Spaces: The SymbIoTe Smart Space Architecture," 2018 Fifth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security, Valencia, 2018, pp. 38-45.

Semantička interoperabilnost



Centralizirano pretraživanje
Decentralizirani prisup resursima; upravljanje i dozvole pritupanju ostaju na strani platforme

Core Information Model (CIM) with Extensions

- supports symbIoTe's CIM defining the core concepts (Sensors, Actuator, Services, and Location), re-uses concepts defined by the Semantic Sensor Network (SSN) ontology, Sensor-Observation-Sample-Actuator (SOSA) ontology, Actuation-Actuator-Effect ontology pattern and the SensorThings API
- predefined Best Practice Information Model (BIM)
- validates Platform-specific Info Models (PIM) extending CIM

Platform Cloud

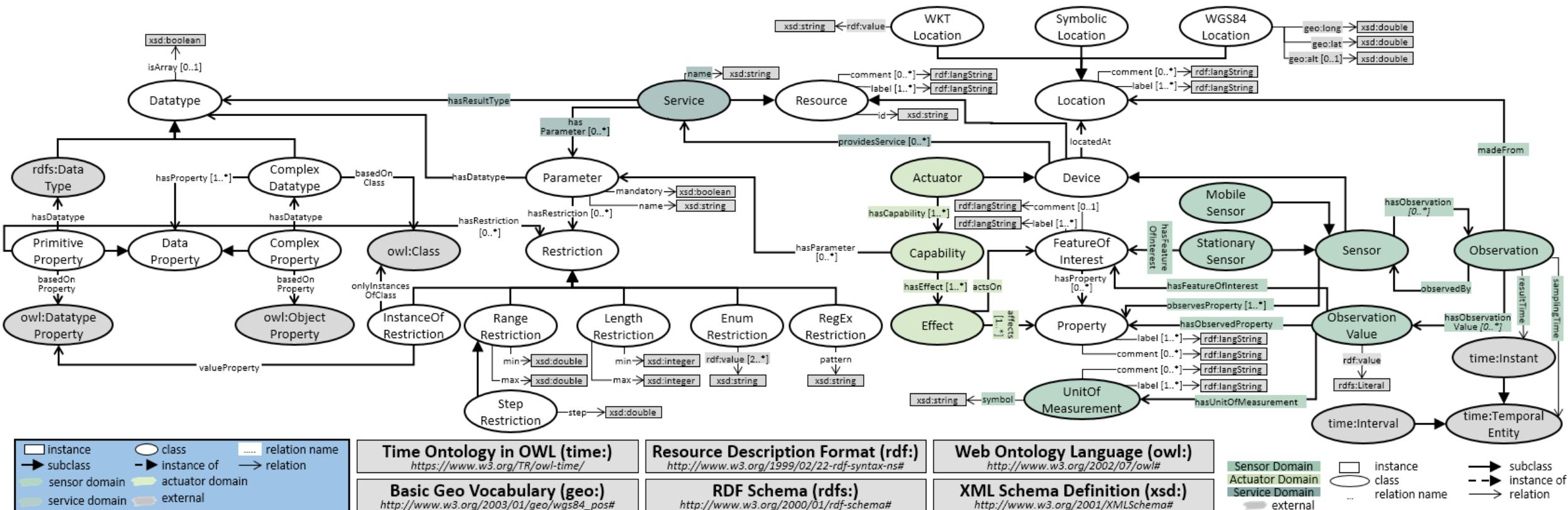
symbIoTe's Interoperability Components

- RESTful OData-like interface for secure access to platform resources
- use JSON if BIM is sufficient for resource description
- otherwise define PIM using RDF

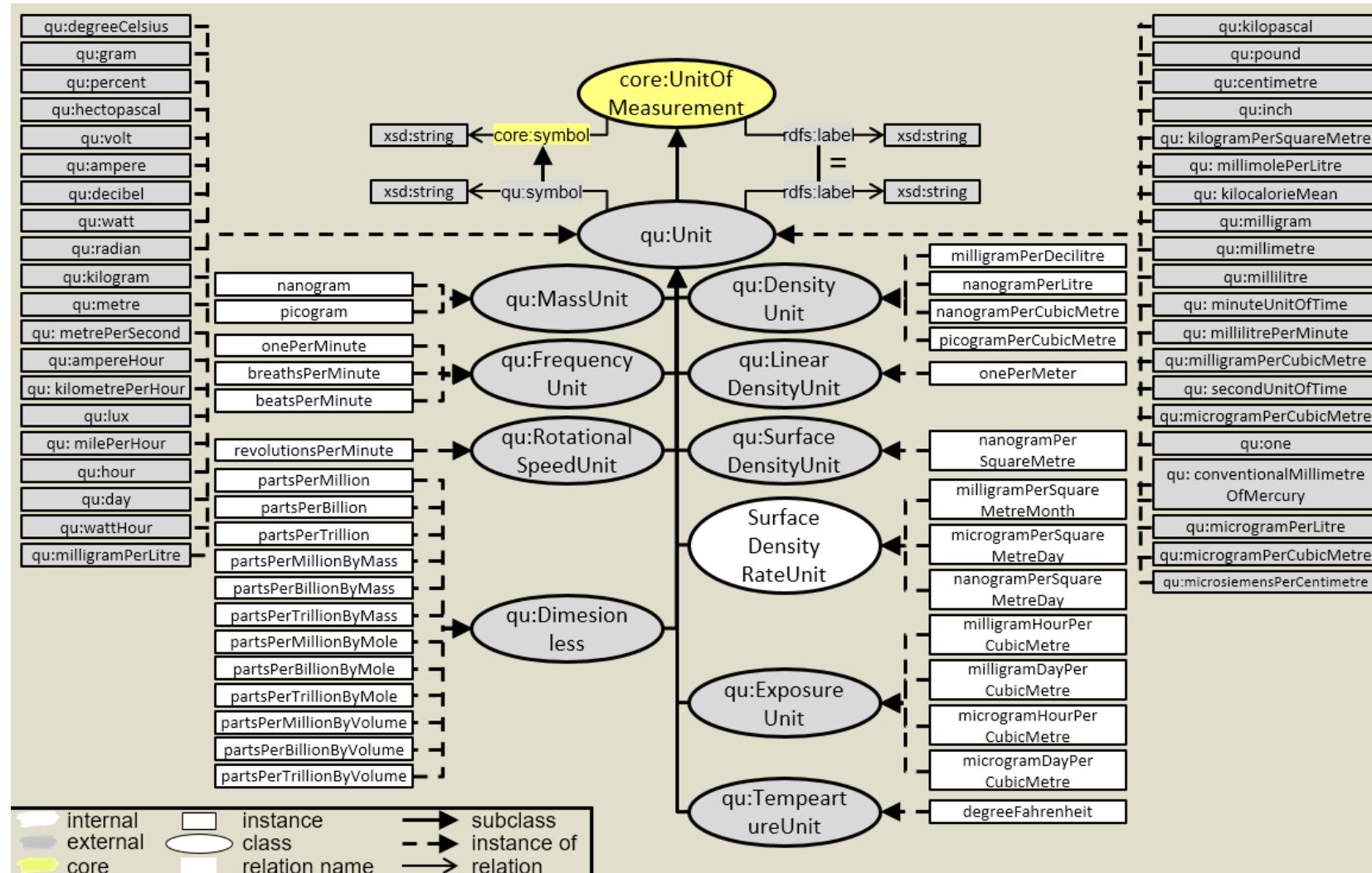
Core Information Model

- Principi dizajna
 - što apstraktnije moguće (da ne isključimo druge platforme)
 - što eksplicitnije za potrebe (da bi se omogućile sve mogućnosti symbIoTe-a)
- 3 glavne domene
 - senzoriranje (temelji se na SSN-u, SensorThingsAPI)
 - aktuacija (temelji se na Actuation-Actuator-Effect, SOSA)
 - usluge (motivirano programskim sustavima – poziv procedure)
- Iskorištavanje postojećih tehnologija:
 - RDF/S, OWL
 - W3C Basic Geo Ontology
 - W3C Time Ontology

Core Information Model

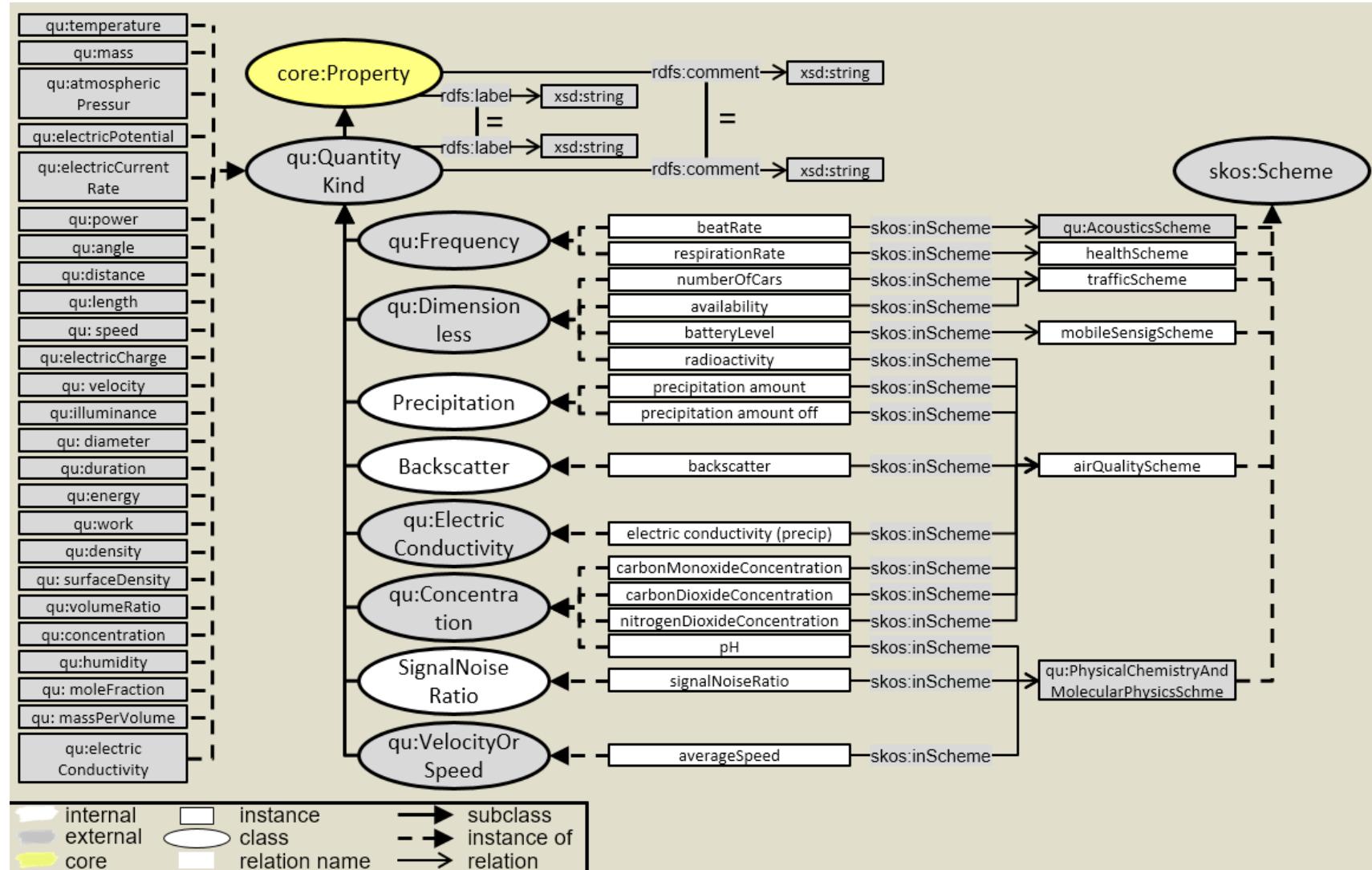


Best Practice Information Model – jedinice



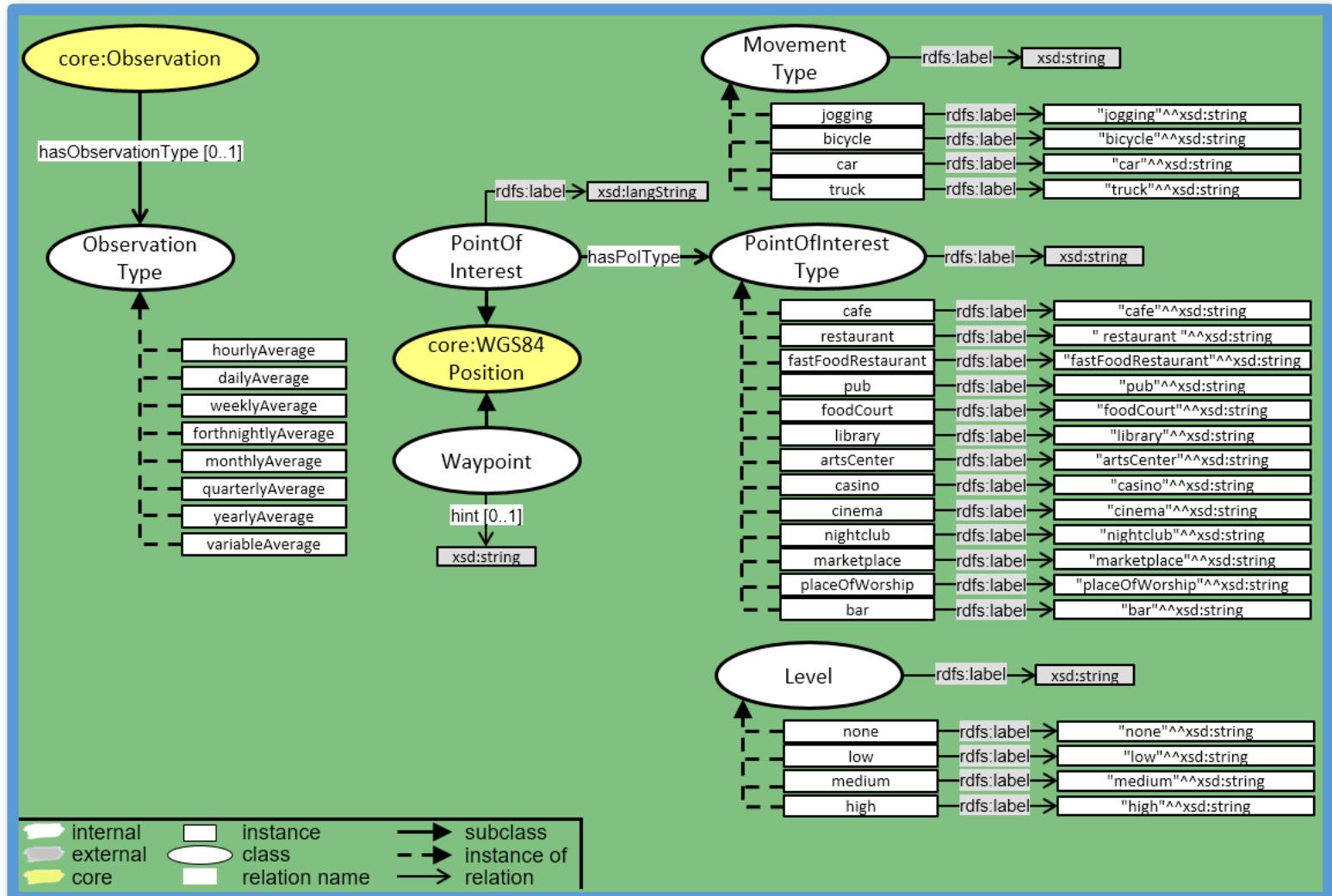
<https://github.com/symbiote-h2020/Ontologies/blob/master/v2.3.0/bim-qu-align-v2.3.0.ttl>

Best Practice Information Model – svojstva

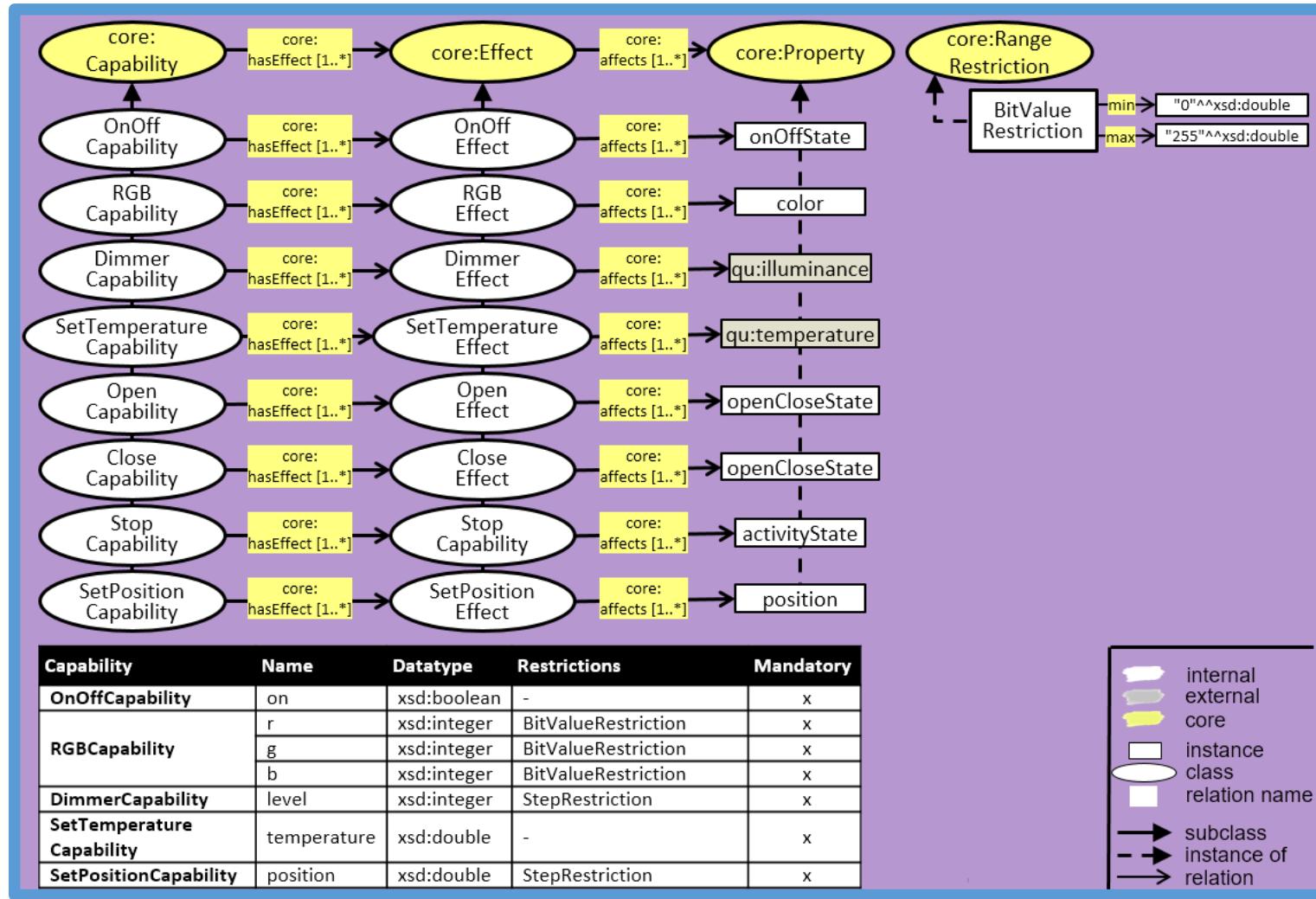


https://github.com/symbiote-h2020/SymbioteCloud/blob/master/resources/docs/property_uris

Studijski slučajevi – Smart Mobility & Urban Ecological Routing



Studijski slučajevi – Smart Residence



Standardi: standardizacijska tijela i referentne arhitekture. Protokoli za upravljanje uređajima

Kolegij Internet stvari: 11. predavanje
22.05.2023.

Sadržaj

- Standardi – općenito
- Standardi u IoT-u
- Referentne arhitekture
 - oneM2M
 - AIOTI
- Protokoli za upravljanje uređajima

Standardi

- Tehnički dokumenti dizajnirani da bi se koristili kao pravila, smjernice ili definicije ¹
- Proizvođači, potrošači, regulatorska tijela
- Cilj: povećati sigurnost proizvoda, smanjiti troškove i cijene

¹ European Committee for Standardization: <https://www.cen.eu/work/ENdev/whatisEN/Pages/default.aspx>

Razlozi za uvođenje standarda (1)

- Mogućnost razmjene informacija, ideja, dobara
 - Jezik
 - Monetarni sustav
- Industrijska revolucija
 - Masovna produkcija
 - Potreba za tehničkim standardima

Razlozi za uvođenje standarda (2)

- Interoperabilnost nezavisno razvijanih sustava
- Mogućnost suradnje i nadogradnje postojećih sustava
 - Stvaranje dodane vrijednosti za krajnje korisnike

Standardi u računarstvu (1)

- Kodovi za zapis podataka
 - ASCII, UTF-8
 - WAV, AU
 - JPEG, PNG
 - MPEG, MP4
- Hardver
 - Utičnice za spajanje hardverskih komponenti (matična ploča, napajanje, tipkovnica, miš, ...)
 - Protokoli za komunikaciju između različitih hardverskih komponenti

Standardi u računarstvu (2)

- Softver
 - Komunikacija između različitih modula
 - Standardizirana sučelja
- TM forum
 - Industrijsko udruženje telekomunikacijskih operatora
 - Otvorena, standardizirana sučelja i informacijski modeli za razvoj interoperabilnih ICT usluga
 - Sustavi za podršku poslovanju i održavanju mreže

Internetski standardi

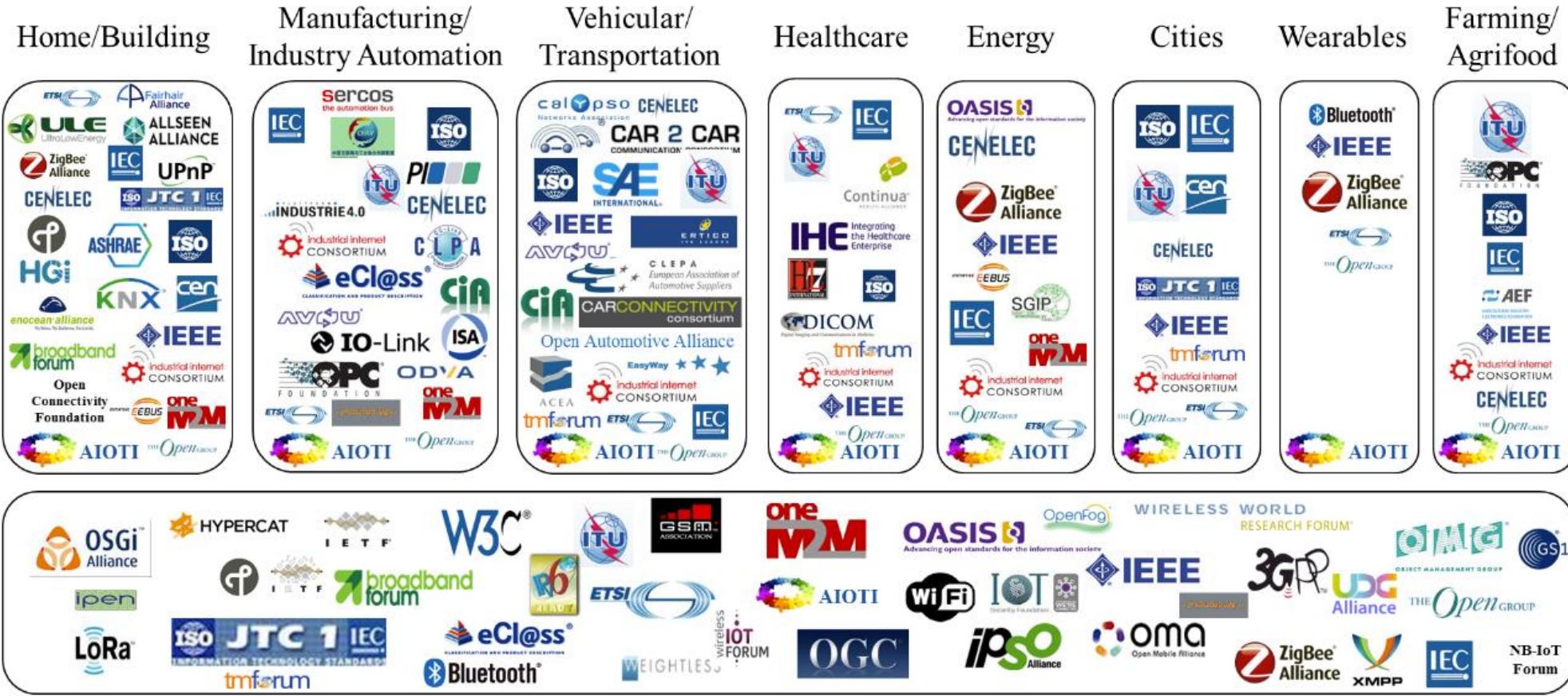
- Internet Engineering Task Force (IETF)
 - Zajednica operatora, mrežnih arhitekata, pružatelja usluga i istraživača zadužena za evoluciju internetske arhitekture i rad Interneta
- Standardizacija protokola
 - IP
 - TCP, UDP, SCTP
 - HTTP, DNS, DHCP

Primjer standarda: IPv6

- <https://tools.ietf.org/html/rfc8200>
- Terminologija
- Format paketa
- Format zaglavlja
- Zahtjevi za protokole višeg sloja
- Sigurnosna razmatranja

Standardi u IoT-u

Standardizacijska tijela u IoT-u (1)



Standardizacijska tijela u IoT-u (2)

- ITU (International Telecommunication Union)
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
- OMG (Object Management Group)
- W3C (World Wide Web Consortium)
- OMA (Open Mobile Alliance)
- oneM2M

- Cilj: uvesti otvorene standarde koji će omogućiti inovaciju i razvoj brojnih novih usluga koje se na te standarde oslanjaju

- Objedinjuje standarde različitih svjetskih organizacija
 - ETSI
 - TIA (Telecommunications Industry Association)
 - ...
- Standardi u IoT-u
 - Početna faza: organizacije samostalno razvijaju standarde
 - Danas: zainteresirani sudionici sudjeluju u radu više organizacija

Dosezi IoT standardizacije

- Standardizirana sučelja za razvoj M2M/IoT aplikacija
 - oneM2M (ETSI, TIA, ...), ITU
- Integracija IoT uređaja i usluga u javnu pokretnu mrežu
 - 3GPP
- Specifični slojevi unutar arhitekture IoT platformi
 - IETF ROLL – usmjeravanje (protokol RPL)
 - IETF 6lo – korištenje protokola IPv6 na uređajima s ograničenim resursima
- Upravljanje uređajima
 - OMA

Referentne arhitekture

Referentne arhitekture - primjeri

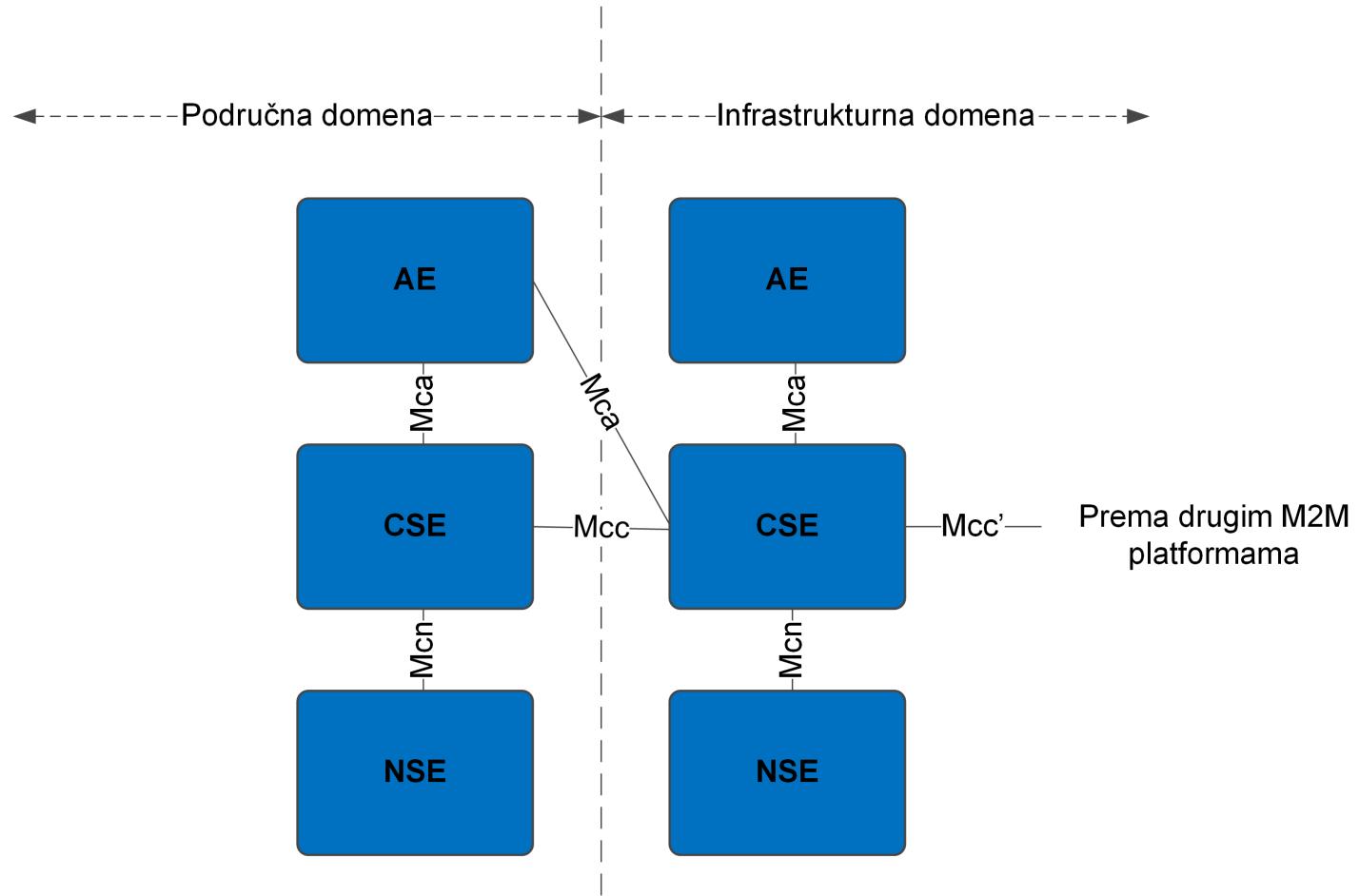
- Hardver, softver, procesi, specifikacije i konfiguracije složenih sustava
- Temelj za vlastiti razvoj složenih sustava
- TM Forum
 - Arhitektura i skup najboljih praksi za dizajn sustava za podršku poslovanju i održavanju mreže
 - 50 otvorenih API-ja temeljenih na REST-u
 - Modularnost, mikrousluge

Referentne arhitekture IoT-a

- Entiteti: IoT uređaji, aktuatori, mrežni prilazi, usluge, korisnici
- Povezivost između entiteta (IoT uređaji spojeni preko mrežnog prilaza na IoT platformu ili direktno?)
- Struktura mreže između IoT uređaja
- Funkcionalnosti za upravljanje IoT uređajima, uslugama i korisnicima

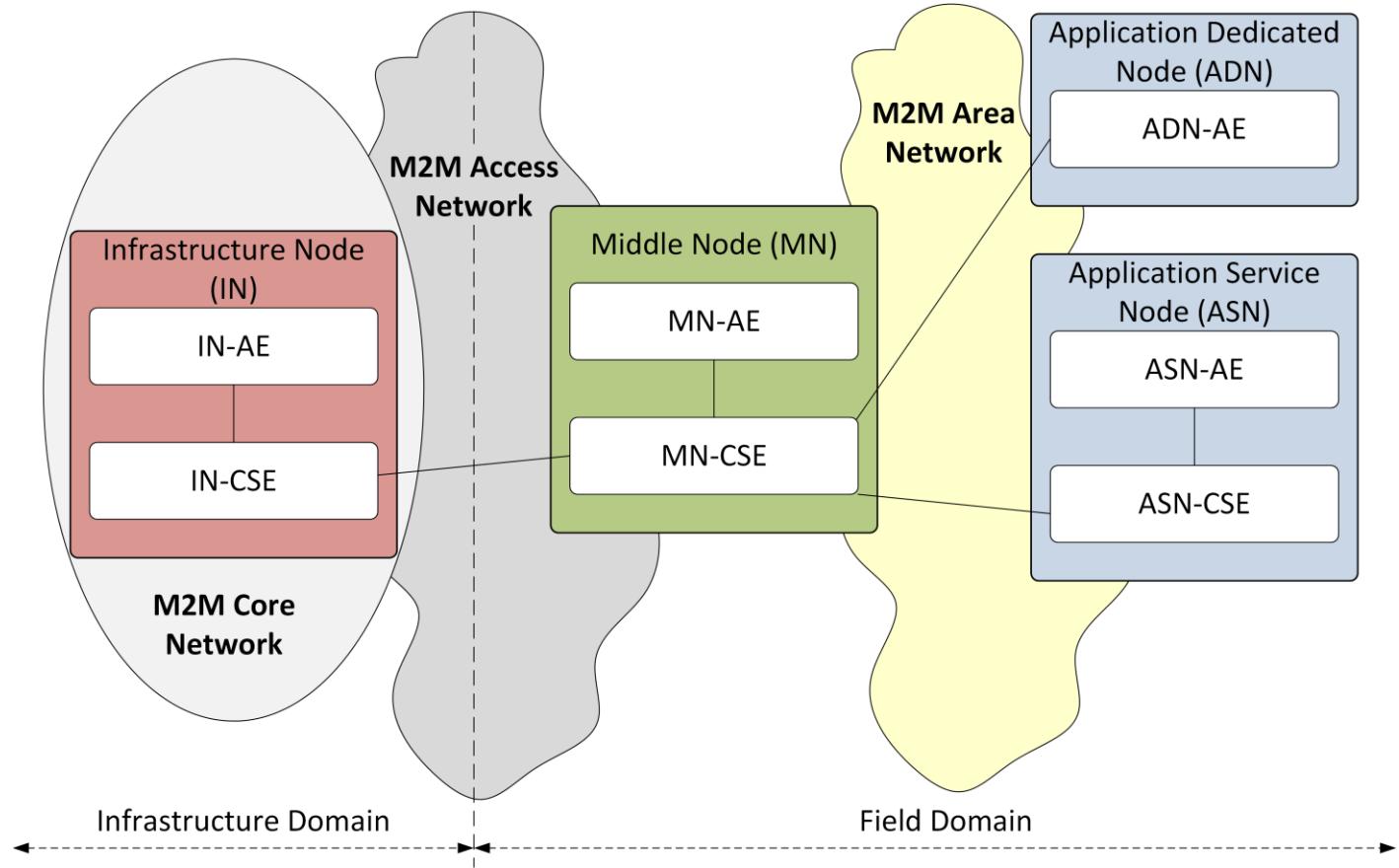
- Glavni cilj: definiranje međusloja između mreže i aplikacija
 - umreženi uređaji
 - korisničke aplikacije
- Međusloj – IoT platforma
- Temeljni dokument: funkcionalna (referentna) arhitektura
- Ostale specifikacije: protokol za uslužni sloj, sigurnosna rješenja, povezivanje protokola HTTP i MQTT s platformom oneM2M, informacijski modeli

Entiteti i referentne točke



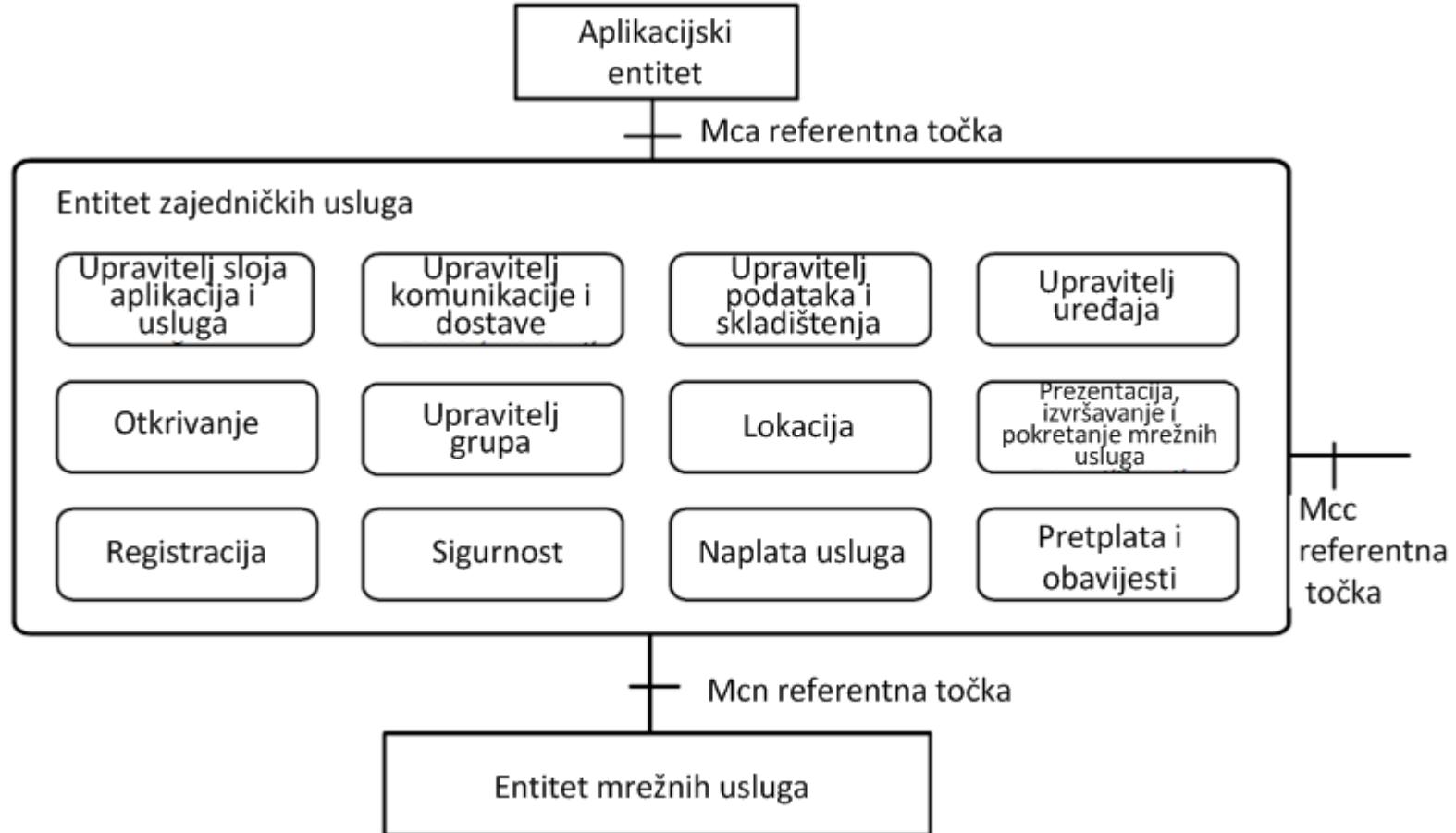
- Aplikacijski entitet (AE)
 - Očitavanje brojila
 - Praćenje vozila, ...
- Entitet zajedničkih usluga (CSE)
 - Obrada podataka
 - Upravljanje pretplatama, ...
- Mrežne usluge (NSE)
 - Upravljanje uređajima
 - Lokacijske usluge

Tipovi čvorova



- Logički entiteti
 - Definirani funkcijama koje posjeduju
 - Podjela: prema pružanju ili nepružanju zajedničkih usluga

Funkcije zajedničkih usluga



Upravitelj sloja aplikacija i usluga

- Upravljanje životnim fazama softvera
 - Instaliranje
 - Ažuriranje
 - Deinstaliranje
- Različita dostupna stanja softvera
 - Idle
 - Starting
 - Active
 - Stopping

Upravitelj podacima i skladištenjem

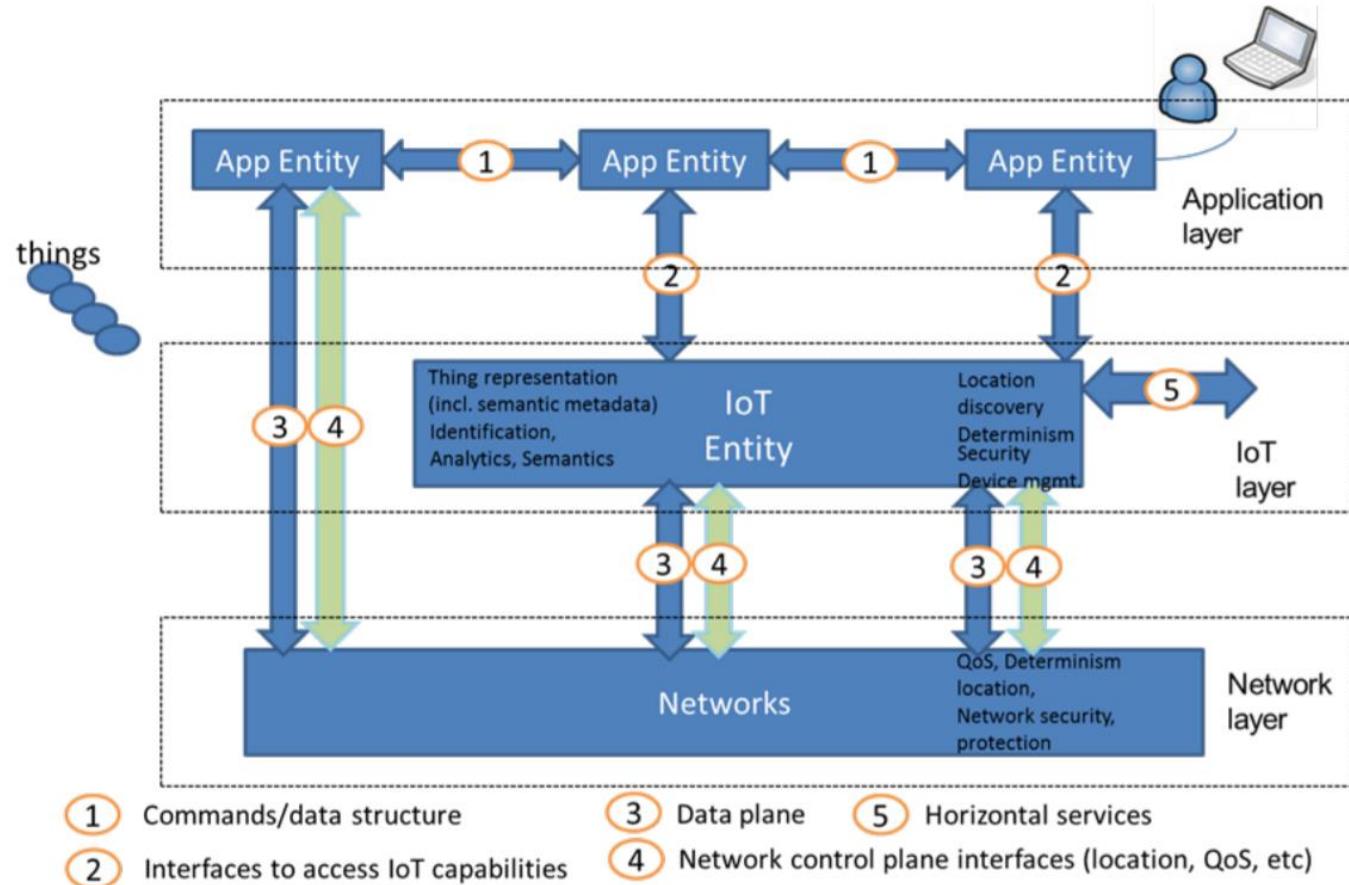
- Prikupljanje
- Konverzija
- Analiza
- Semantička obrada

- Podaci koje su prikupili aplikacijski entiteti
- Metapodaci za održavanje sustava
 - Podaci o uređajima (pokrenute aplikacije, stanje memorije...)
 - Dozvole pristupa
 - Informacije o preplatama i lokacijama

Upravitelj uređajima

- Konfiguracija
- Dijagnostika
- Praćenje rada
- Upravljanje softverom
- Upravljanje topologijom
 - Za mrežne prilaze

- Alliance for Internet of Things Innovation
- Članovi: ICT tvrtke



Ostale standardizacijske aktivnosti

Upravljanje uređajima

- Upravljanje uređajima
 - Za komunikaciju između upravljačkog poslužitelja i upravljačkih klijenata oneM2M prepostavlja korištenje postojećih protokola za upravljanje uređajima:
- Lightweight M2M (LWM2M)
- OMA Device Management (OMA DM)

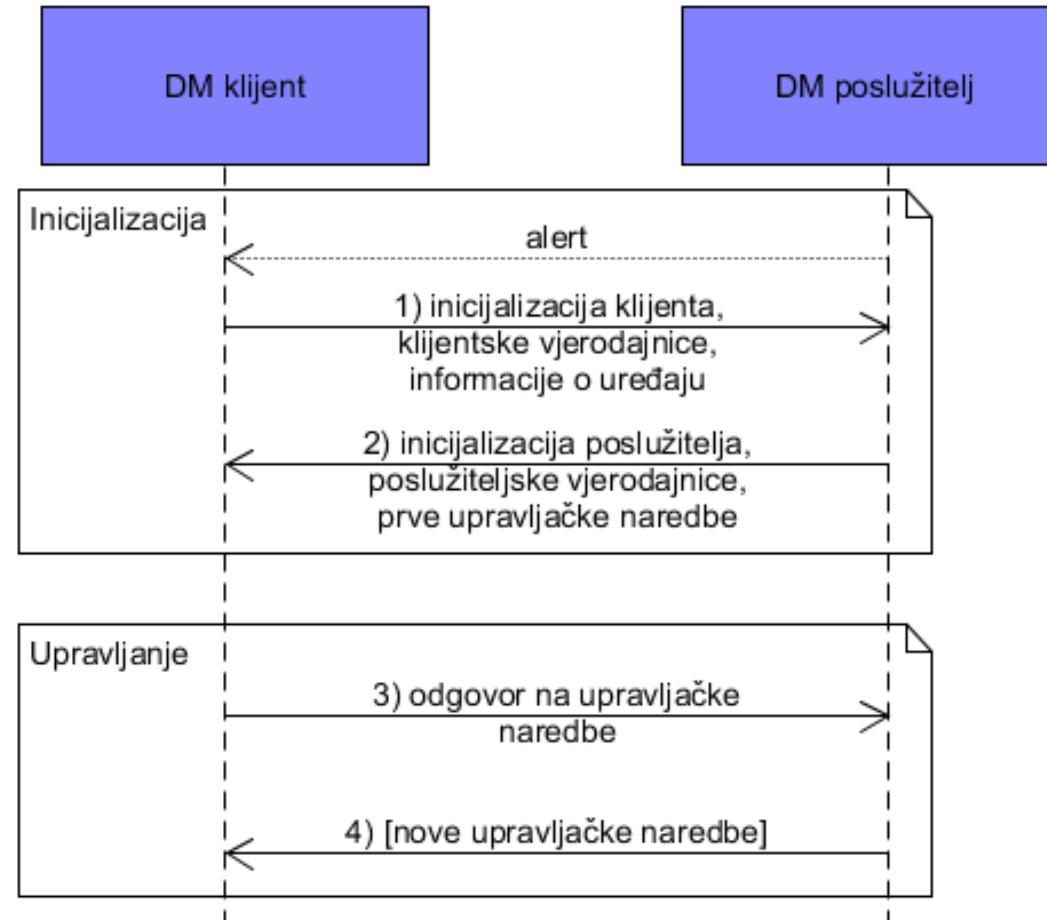
Protokoli za upravljanje uređajima

- Mogu se koristiti za različite funkcije zajedničkih usluga
 - Konfiguracija uređaja
 - Ažuriranje softvera
 - Nadzor uređaja
 - Sigurnost komunikacije između uređaja
- Standardizacijsko tijelo OMA
 - Otvoreni standardi u javnoj pokretnoj mreži
 - Članovi: proizvođači hardvera, operatori pokretnih mreža, proizvođači softvera

OMA – Device Management (DM)

- Namjena: upravljanje pokretnim uređajima
 - Može se koristiti za upravljanje M2M/IoT uređajima
- Obilježja:
 - Oslanja se na protokol HTTP
 - DM poslužitelj i DM klijent
- Sigurnost
 - Autentifikacija
 - Korištenje kriptografske hash funkcije MD5
 - Autorizacija

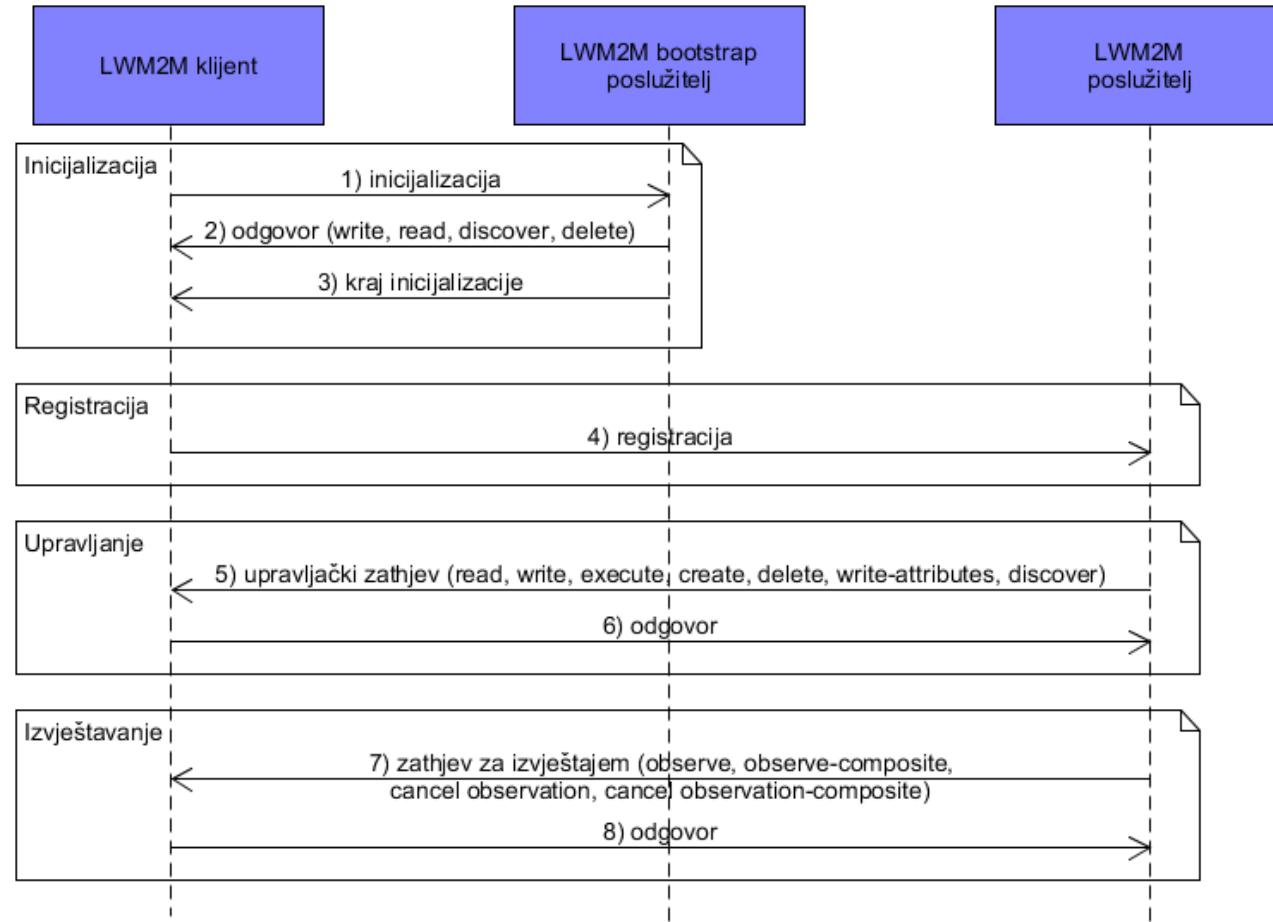
OMA-DM tijek komunikacije



Lightweight M2M (LWM2M)

- Noviji standard organizacije OMA
- Nasljednik OMA DM-a
 - Prilagođeniji M2M/IoT uređajima
 - Izvođenje na uređajima s ograničenim resursima
- Obilježja
 - Oslanja se na protokol CoAP
 - LWM2M poslužitelj i LWM2M klijent
- Sigurnost
 - Autentifikacija
 - Autorizacija

LWM2M tijek komunikacije



Implementacije

- OMA-DM
 - Open5GMTC – OMA DM
 - Friendly OMA-DM embedded client
- LWM2M
 - Leshan (Java)
 - Wakaama (C)

Doseg standarda

- Standard ≠ implementacija
- Standardi su često sveobuhvatni i složeni
- Implementacije standarda mogu obuhvatiti samo ograničeni skup definiranih funkcionalnosti

Standardi organizacijskih tijela

- Glavne prednosti
 - Rigorozan dizajn
 - Responzivnost industrije
 - Testiranje i certifikacija

IoT standardizacija - poteškoće

1. Duplicirane IoT-arhitekture i modeli
2. Veliki broj komunikacijskih protokola za heterogene IoT uređaje
3. Podatkovni modeli su vlasnički i razvijaju se za specifične, vertikalne domene
4. Nedostaje usklađenosti procesa obrade podataka nastalih senzorskim mjeranjima
5. Sigurnost i privatnost se razmatraju na pojedinačnim slojevima
6. Lako korištenje i održavanje IoT rješenja zahtjeva globalni pristup

1. David Hanes, Gonzalo Salgueiro, Patrick Grossetete, Robert Barton, and Jerome Henry. 2017. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things (1st ed.). Cisco Press. (2. poglavlje)
2. oneM2M, M2M Functional Architecture, Technical Specification, 2018, http://www.onem2m.org/images/files/deliverables/Release2A/TS-0001-Functional_Architecture-v_2_18_1.pdf
3. Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI), High Level Architecture (HLA), 2018, <https://aioti.eu/wp-content/uploads/2018/06/AIOTI-HLA-R4.0.7.1-Final.pdf>
4. Reinhard Herzog, Musings on IoT standardization landscape, Technical Blog, 2018, <https://www.symbiote-h2020.eu/blog/2018/09/12/musings-on-iot-standardization-landscape/>



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Internet stvari

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

**12. Aplikacije Interneta stvari:
stvarnovremenske usluge, pametni
grad, pametni dom i ured**

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Područja primjene
- Pametni dom
- Pametni grad
- Ostale domene primjene
- Stvarnovremenske usluge
- IoTLab@FER

Područja primjene

- Vrlo različita područja primjene u kojima se ostvaruju IoT-usluge s različitim **funkcijskim zahtjevima**:
 - za industriju (energija, transport, proizvodnja, hrana i drugo),
 - izravno povezane s ljudima (medicina, zdravstvena zaštita, samostalno življenje i drugo)
 - pametni gradovi, a i pametna sela i sl.
- Značajni **ne-funkcijski zahtjevi: skalabilnost i raspoloživost**.
- Dodatno, za kritične sustave i infrastrukturu kao što je energija, treba postići zahtijevanu **pouzdanost**:
 - specifična rješenja istražuju se u okviru Interneta energije (engl. *Internet of Energy*, IoE).

Raznolika područja primjene

Smart Home

Smart Lighting

Smart Appliances

Intrusion Detection

Smoke/Gas Detectors

Energy Management

Smart City

Smart Parking

Waste Management

Smart Lighting

Emergency Response

Environment

Weather Monitoring

Air Pollution Monitoring

Noise Pollution Monitoring

Forest Fire Detection

Retail

Inventory Management

Smart Vending Machines

Smart Payments

Logistics

Fleet Tracking

Shipment Monitoring

Remote Vehicle Diagnostics

Route Generation and Scheduling

Industry

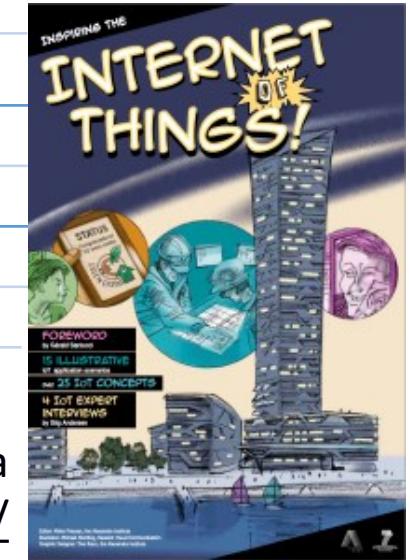
Machine Diagnosis

Object Tracking and Process Automation

Smart Irrigation

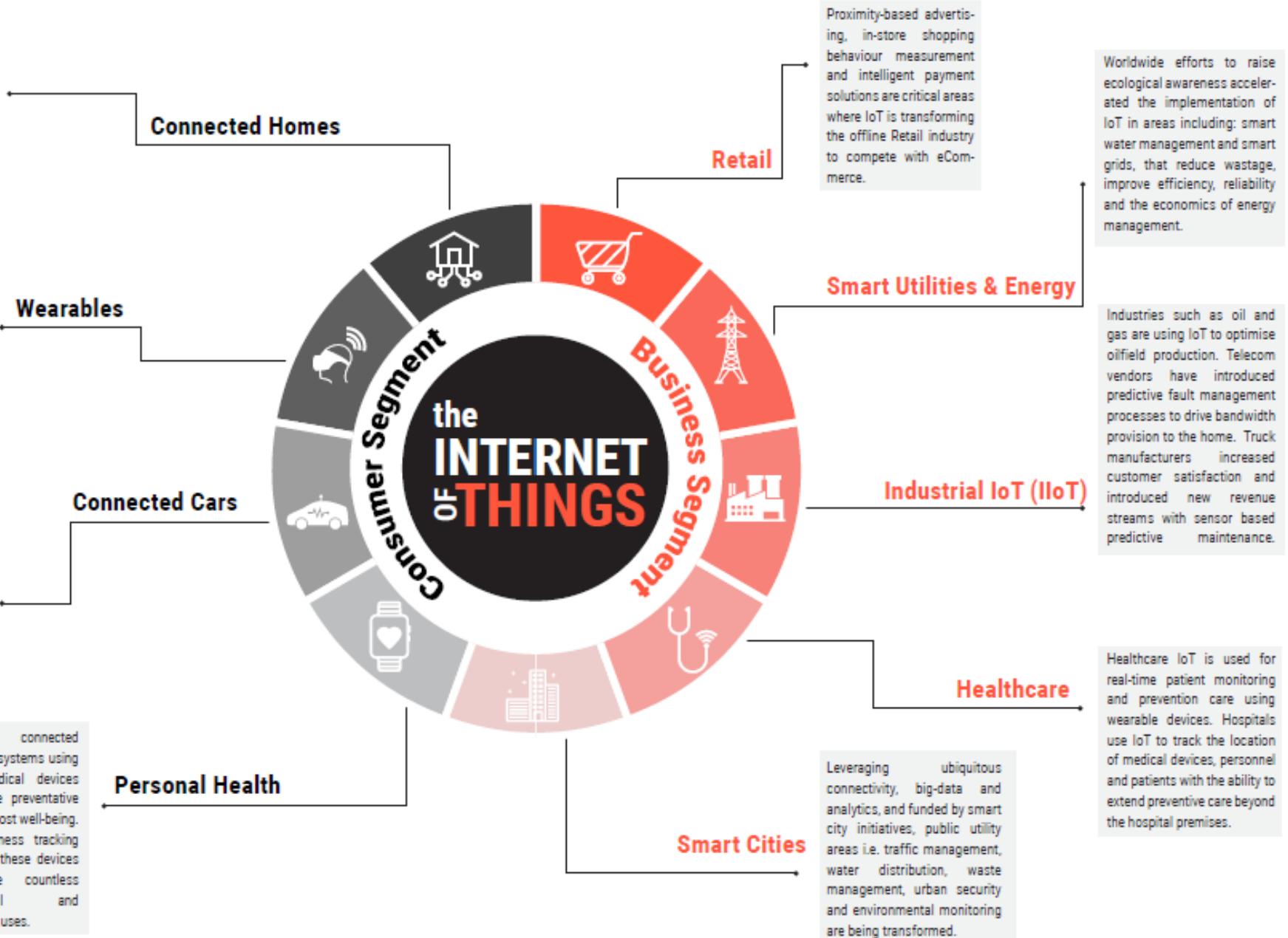
Crop Monitoring

Agriculture



Za ljubitelje stripova

<http://iotcomicbook.org/original-edition/>



Izvor:
Statista,
Market Pulse
Report IoT,
April 2017



Fokus na korisnika ili poslovni subjekt!

Internet stvari

Područja primjene – različiti zahtjevi

Potrošnja energije!

NB-IoT, LTE-M, 5G



Izvor: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/towards-5g>

Različiti zahtjevi za primjere usluga

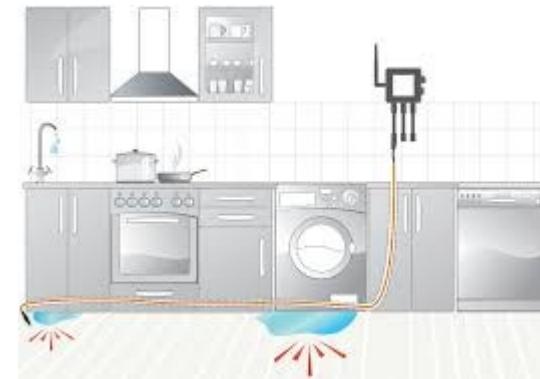
	Pametna brojila (potrošnja el. energije)	Intelligent Transport System	Nadzor (kamere, senzori za prisutnost i sl.)	
	Smart meters	eHealth	ITS	Surveillance
Mobility	none	Pedestrian /vehicular	Vehicular	none
Message size	Small (few kB)	Medium?	Medium	large
Traffic pattern	Regular	Regular/irregular	Regular/irregular	Regular
Device density	Very high (up to ten thousands per cell)	Medium	High	low
Latency requirements	low (up to hours)	Medium (seconds)	Very high (few milliseconds)	Medium (< 200ms)
Power efficiency requirements	High (battery powered meters)	High (battery power devices)	Low	low
Reliability	High	High	High	medium
Security requirements	High	Very high	Very high	medium

Pametni dom

- Ambijentalne usluge
- Ušteda energije
- Usluge za starije osobe i osobe s posebnim potrebama

Ambijentalne usluge

- Grijanje i hlađenje
- Upravljanje osvjetljenjem
- Nadzor prisustva u domu
- Upravljanje kućanskim uređajima
- Kućanski roboti
- Detekcija curenja vode / plina
- Lociranje u zatvorenim prostorima

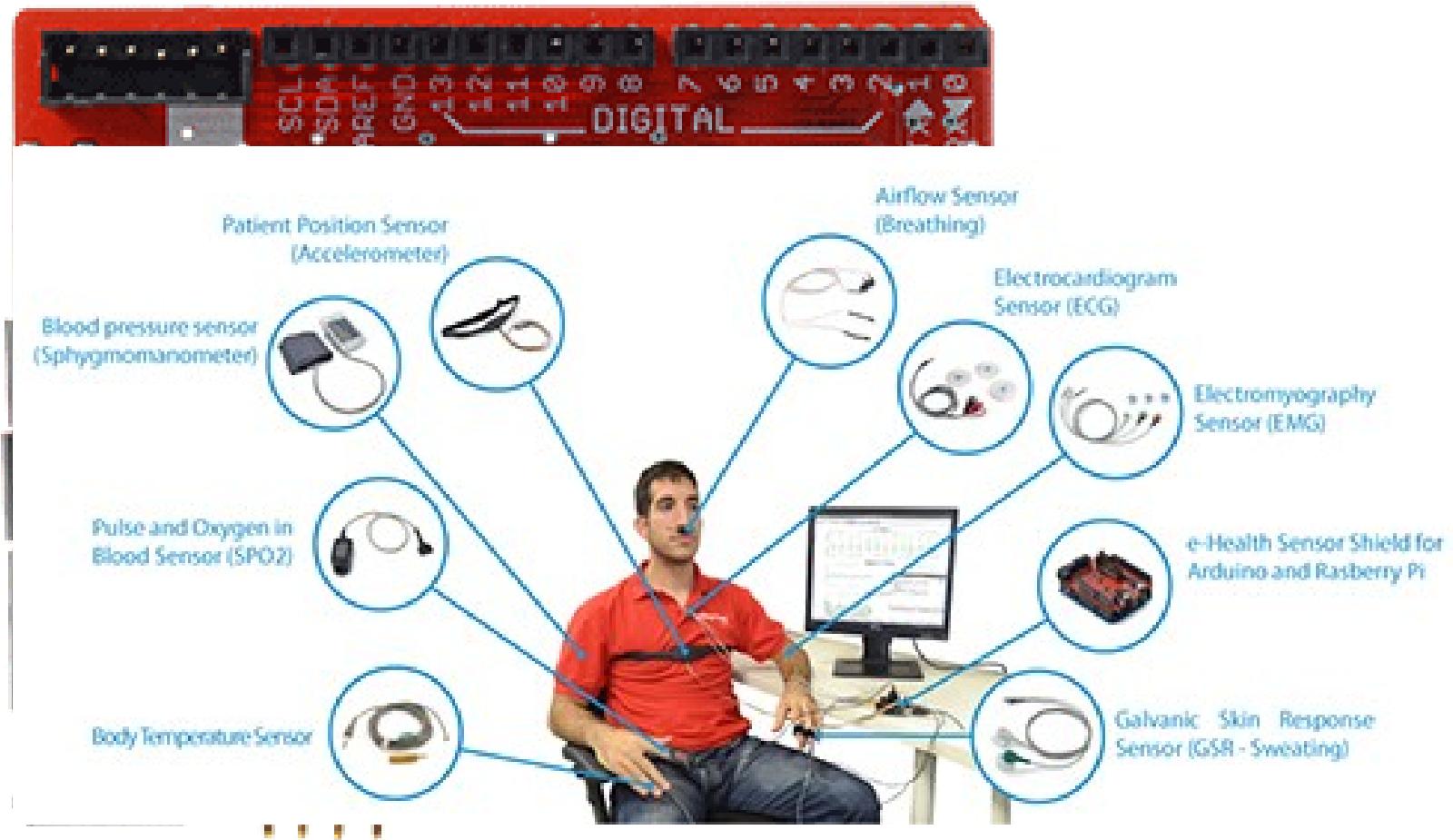


Ušteda energije

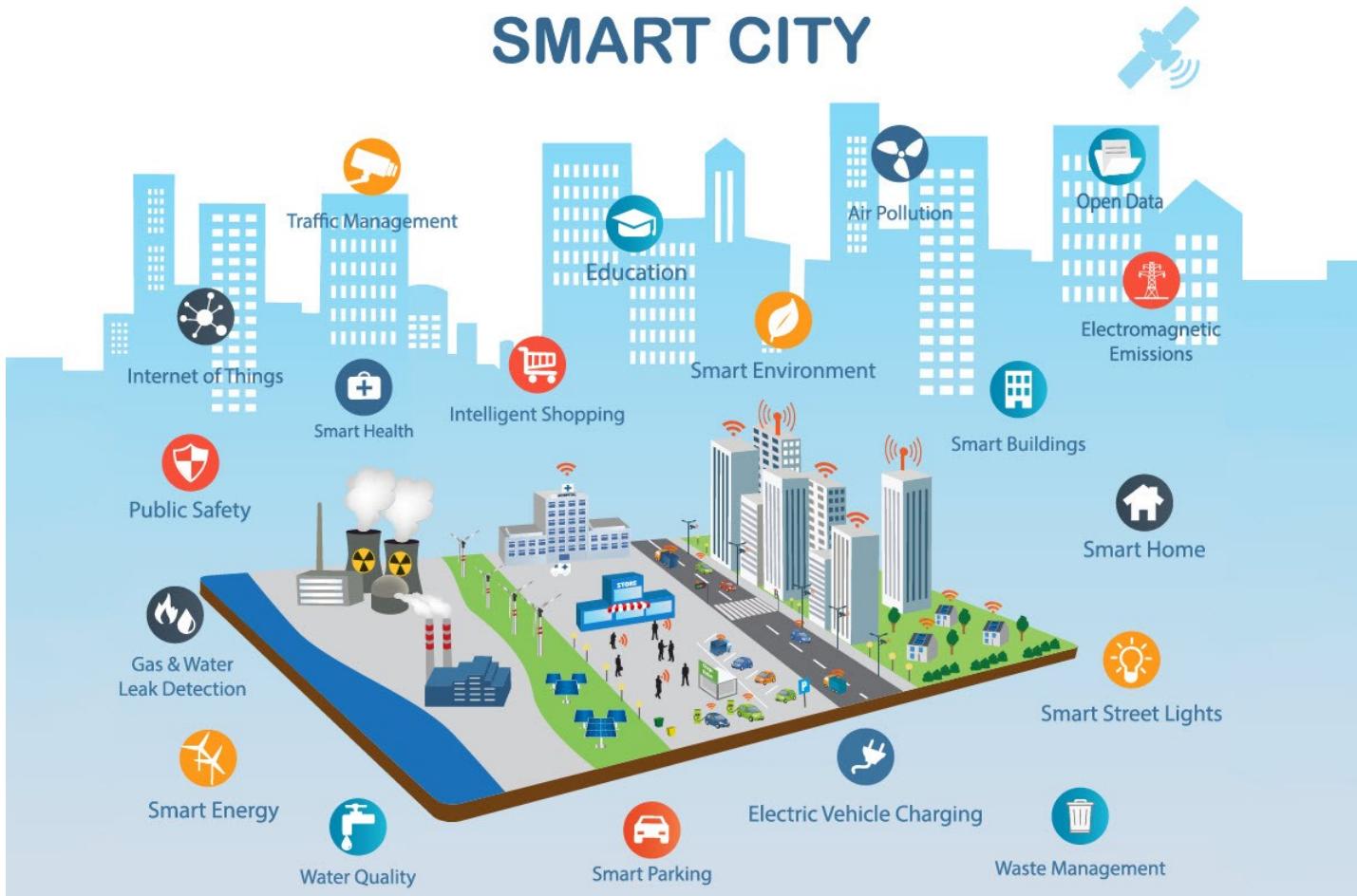
- Pametna brojila
 - Udaljeno očitanje potrošnje energije
 - U budućnosti: savjeti za uštedu energije
- Upravljanje kućanskim uređajima ovisno o cijeni energije

Usluge za starije osobe i osobe s posebnim potrebama

- Puls
- Kisik u krvi (SPO2)
- Disanje
- Tjelesna temperatura
- Aktivnost srca (EKG)
- Glukoza
- Tlak
- Položaj tijela
- Znojenje
- Kontrakcija mišića (EMG)



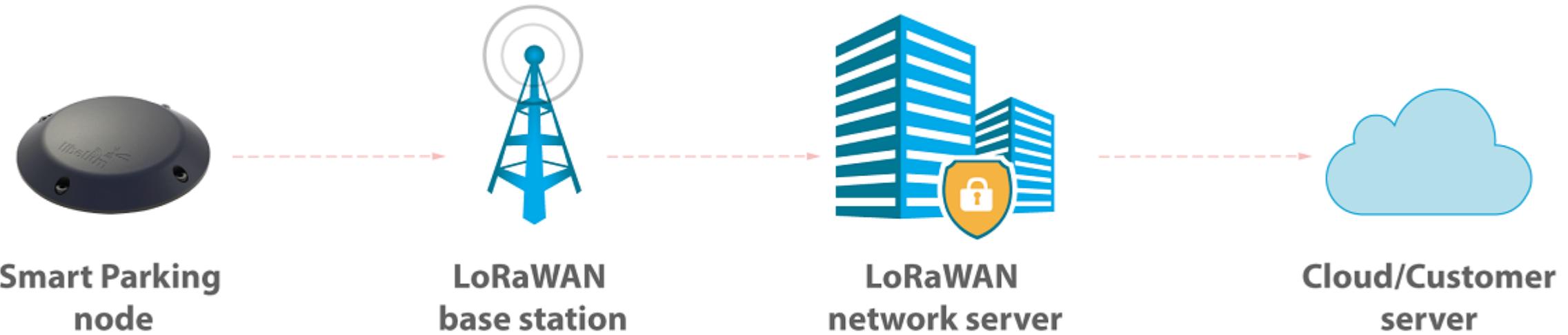
Koncept pametnog grada



Umreženi uređaji i inovativne IKT-usluge su pokretači razvoja održivih i tehnološki naprednih gradova u službi građana i gradskih službi.

- | | |
|--|--|
| <p>Promet</p> <ul style="list-style-type: none">◆ Nadzor prometnica◆ Javni prijevoz◆ Parkiranje◆ Upravljanje prometom | <p>Ambijentalni nadzor</p> <ul style="list-style-type: none">◆ Mjerenje buke, kvalitete zraka |
| <p>Zbrinjavanje otpada</p> | <p>Energija</p> <ul style="list-style-type: none">◆ Pametna rasvjeta◆ Energetska učinkovitost |

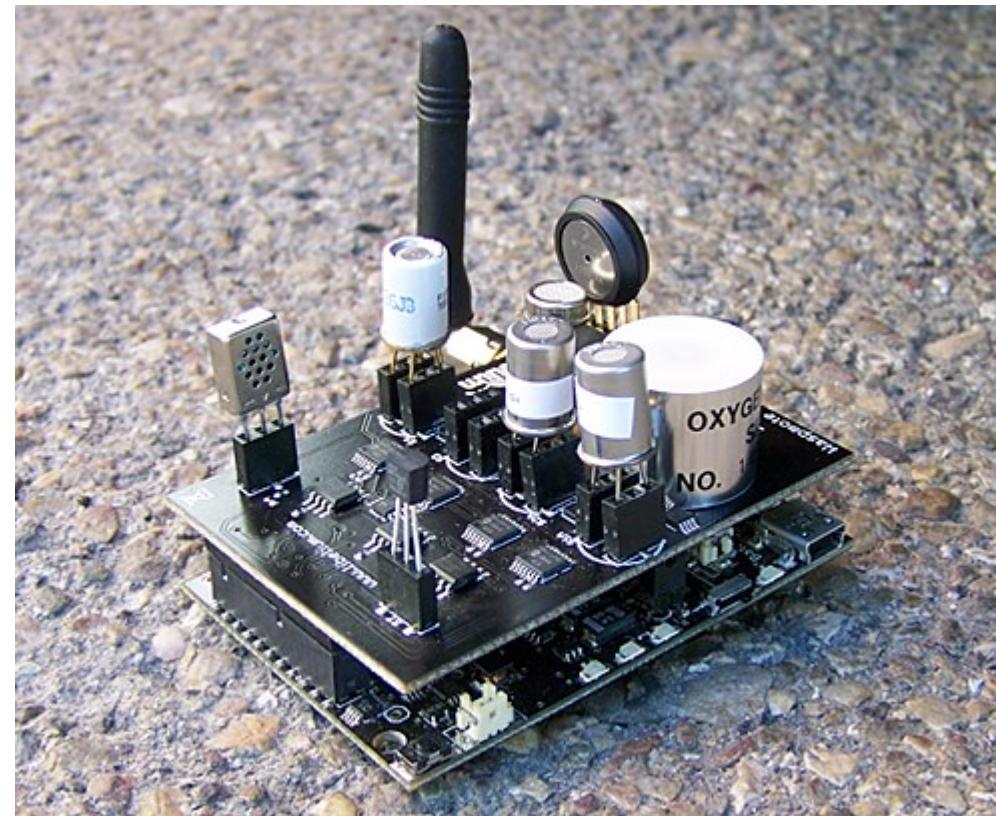
Primjer rješenja za pametno parkiranje



Koji zahtjevi su značajni?
Koja tehnološka rješenja (komunikacijski protokol, IoT-platformu) koristiti?

Praćenje kvalitete zraka

- NO_2 , H_2S – kisele kiše
- CO_2 , CH_4 – staklenički plinovi
- CO – potencijalno smrtonosan
- Etanol, propan, butan – staklenički plinovi,
iritacija dišnih puteva
- O_3 – iritacija dišnih puteva



Zbrinjavanje otpada

- Ultrazvučni senzor
- Temperatura
- Vibracije
- Vlažnost
- Čestice prašine
- CO , CO_2 , O_3 , NO_2 , CH_4 , H_2S



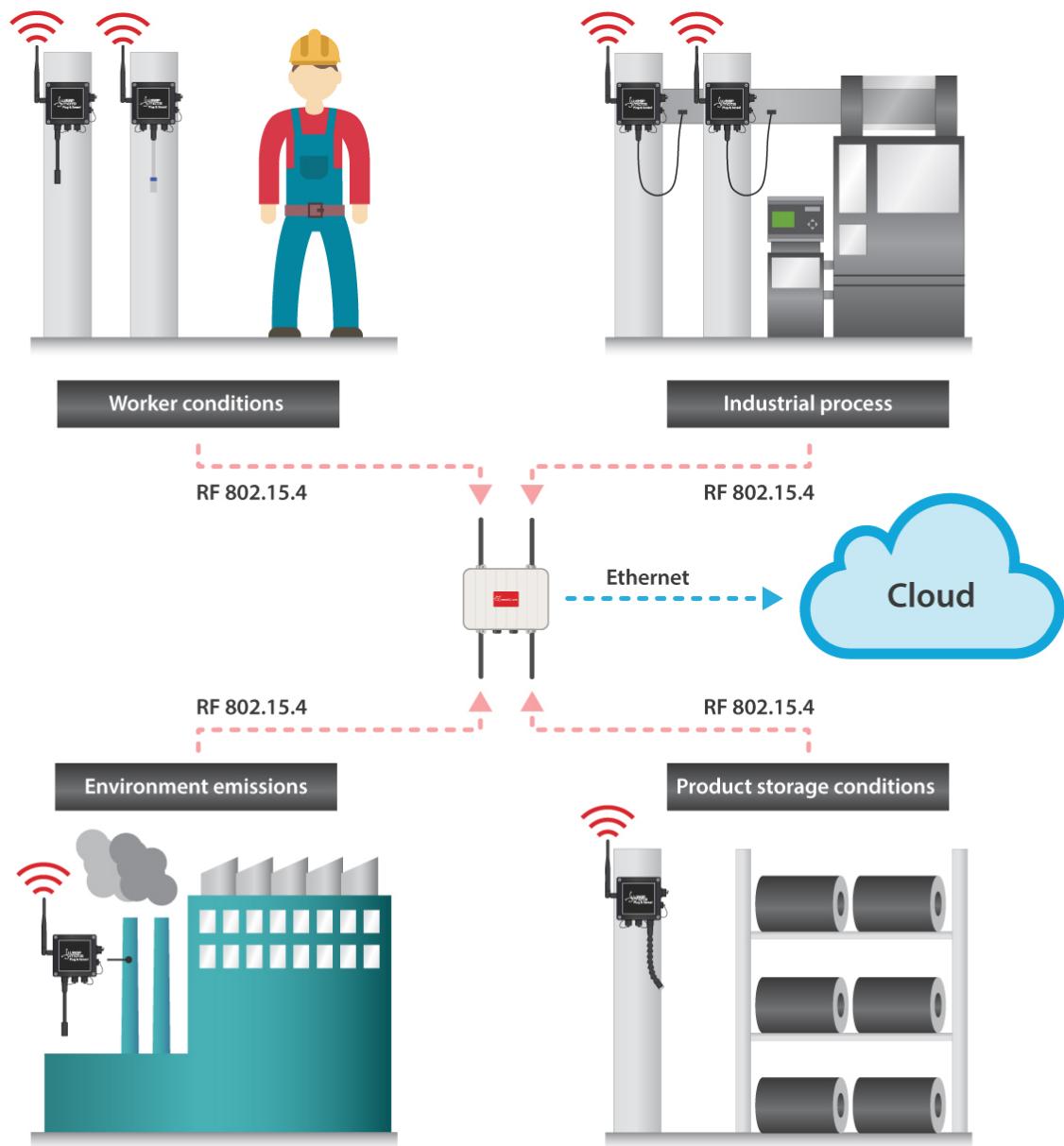


Ostale domene primjene

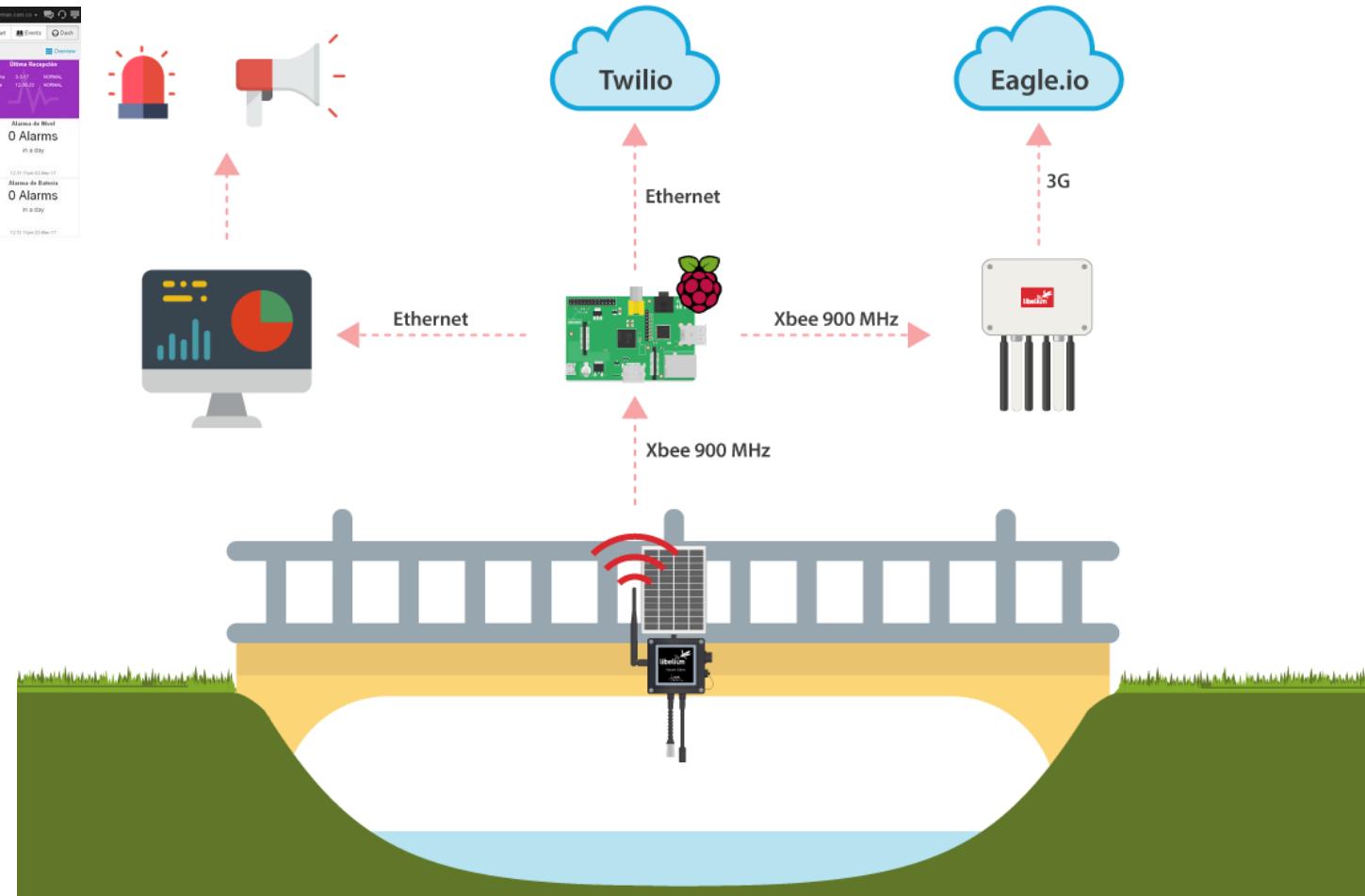
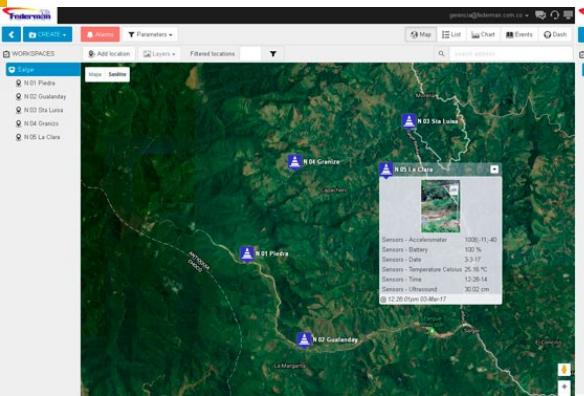
Tvornice

IIoT – Industrial IoT

- Proizvodni proces
 - Temperatura u cijevima
 - Temperatura u strojevima
- Radni uvjeti
 - Osvjetljenje
 - Temperatura i vлага
 - CO₂
 - buka
- Emisije štetnih plinova
 - VOC (engl. *Volatile Organic Compound*)
 - ne smiju biti emitirani u atmosferu

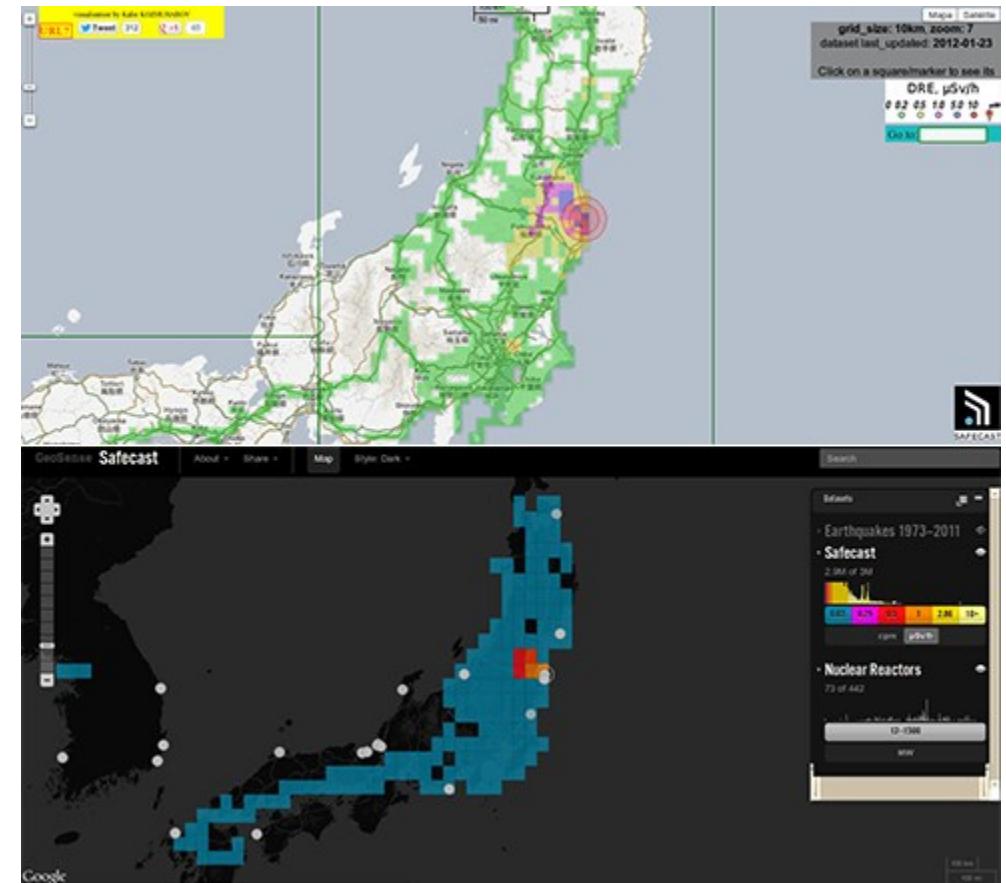
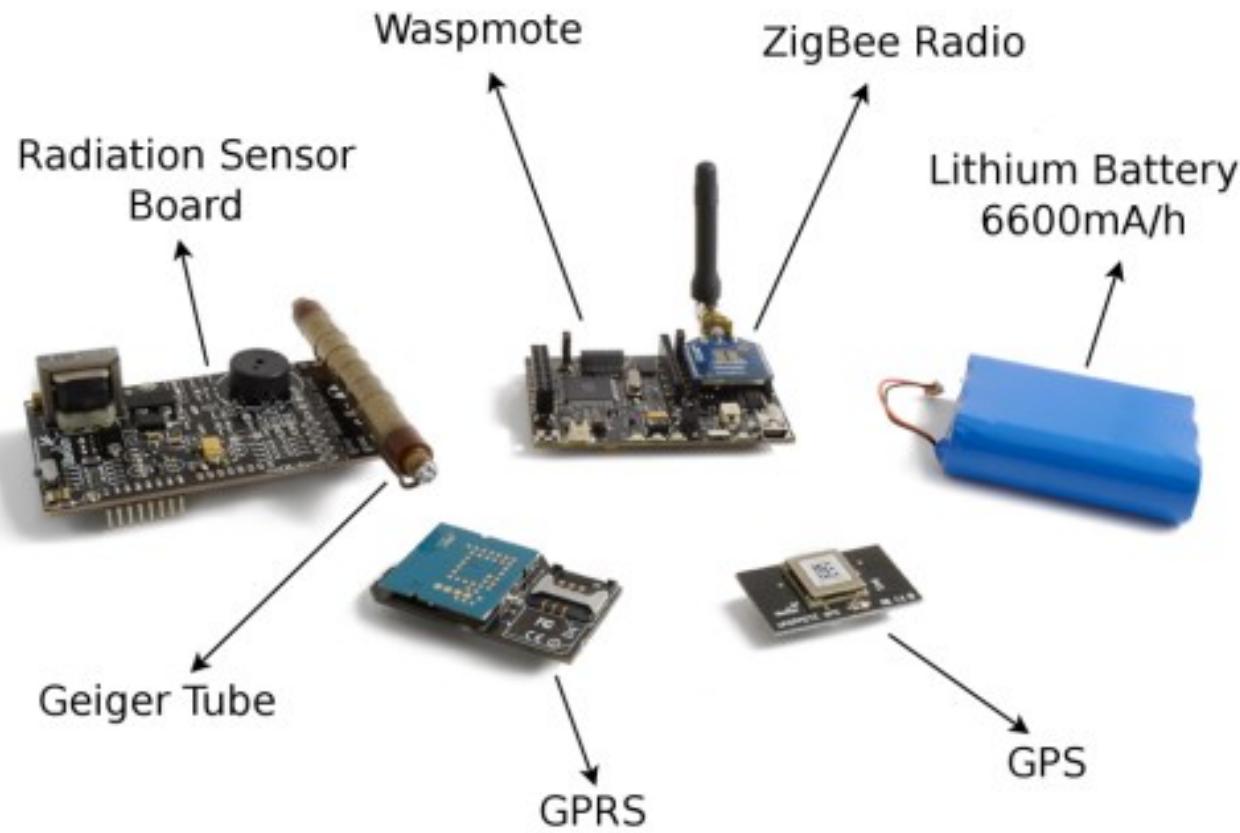


Praćenje poplava



Internet stvari

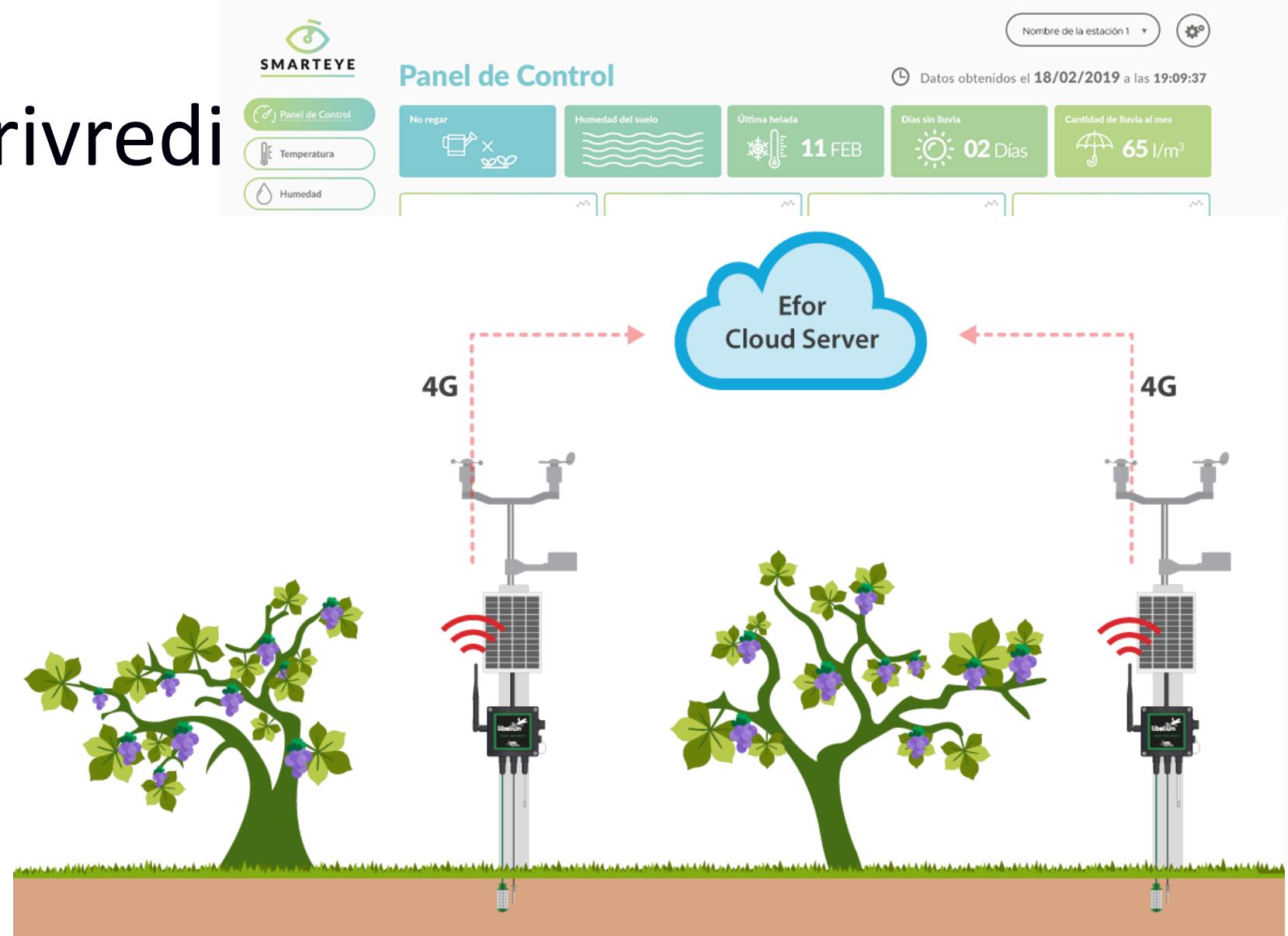
Praćenje nuklearnog zračenja



Internet stvari

Nadzor u poljoprivredi

- Parametri zraka i tla
 - Temperatura
 - Vlažnost
 - Tlak zraka
 - Vlažnost tla
 - Temperatura tla
 - Brzina i smjer vjetra
 - Vlažnost listova
 - Jačina solarnog zračenja



Stvarnovremenske usluge

Nadzor (praćenje) vs. upravljanje/aktuacija

- Današnje IoT-aplikacije: praćenje stanja okoliša i nadzor različitih sustava
 - kontinuirano se prikupljaju velike količine podataka i provodi analitika nad podacima, podaci su u formi tokova podataka (*time-series data*, niz podataka indeksiranih vremenskim oznakam)
- Dodatni zahtjevi: mogućnost upravljanja (aktuacije)
 - **Stvarnovremenost:** odluku o akciji je potrebno donijeti u kratkom vremenskom intervalu („u stvarnom vremenu“) nakon čega kreće izvedba upravljanja (aktuacija)
 - Otpornost na gubitke podataka
 - Zadovoljavanje performansi upravljanja

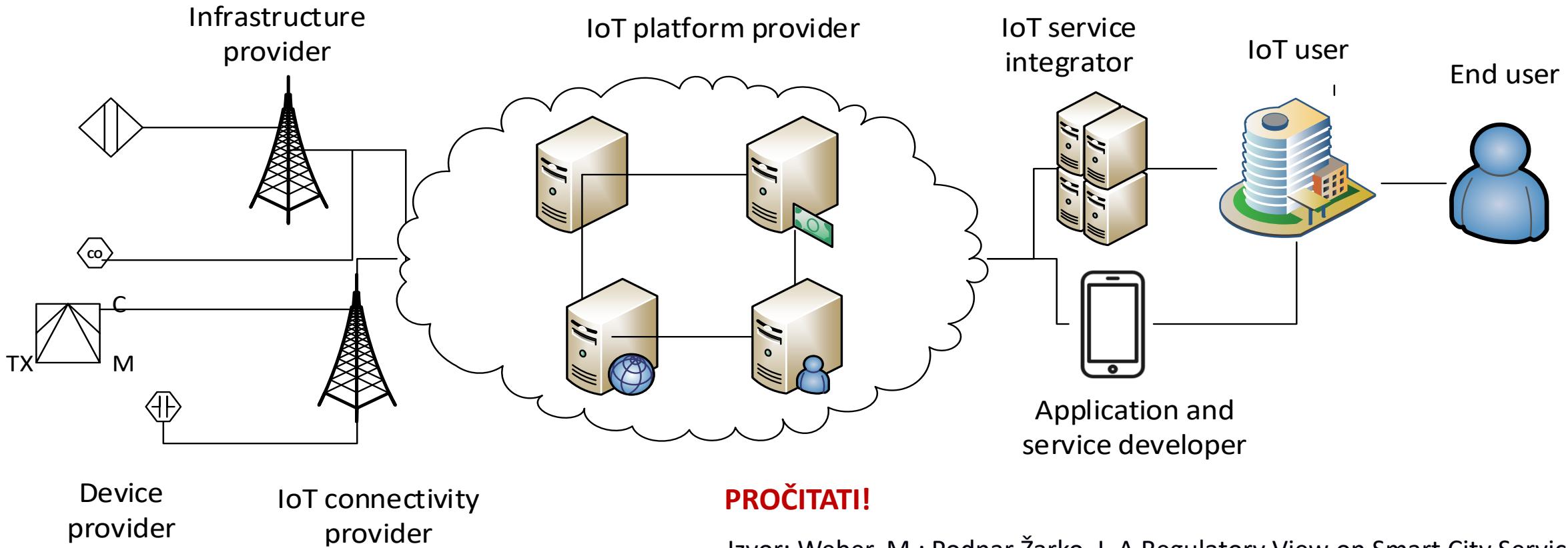
Stvarnovremenski problem

- Postoji upravljački tok podataka F_i koji utječe na provedbu aktuacije
 - Senzor → ... → upravljačka jedinica → ... → aktuator
 - Generiranje paketa u periodu P_i
 - Postoji više kontrolnih petlji u mreži senzora, uređaja i aktuatora
- Svaki tok podataka F_i mora biti obrađen u roku $D_i \leq P_i$ (stvarnovremenski zahtjev)
 - Stabilnost i predvidivi upravljački nadzor
- Izazovi
 - Zadovoljavanje krajnjeg roka za provedbu aktuacije
 - Mogućnost planiranja vremena izvršavanja

Stvarnovremenski zahtjevi

- *Near real-time*
 - Tolerancija kašnjenja od nekoliko sekundi do nekoliko minuta
- Sustavi objavi – pretplati
 - Koliko je vremena potrebno od objave do isporuke obavijesti svim pretplatnicima?
 - Za koliko sekundi treba pokrenuti aktuaciju ako je opažen određeni događaj ili niz događaja?
- Zahtjevi za sustav
 - *Hard* – propuštanje roka isporuke uzrokuje ispad sustava
 - *Firm* – propuštanje roka isporuke se tolerira, ali degradira kvalitetu usluge; rezultat nema značaj nakon roka isporuke
 - *Soft* – propuštanje roka isporuke se tolerira, ali degradira kvalitetu usluge

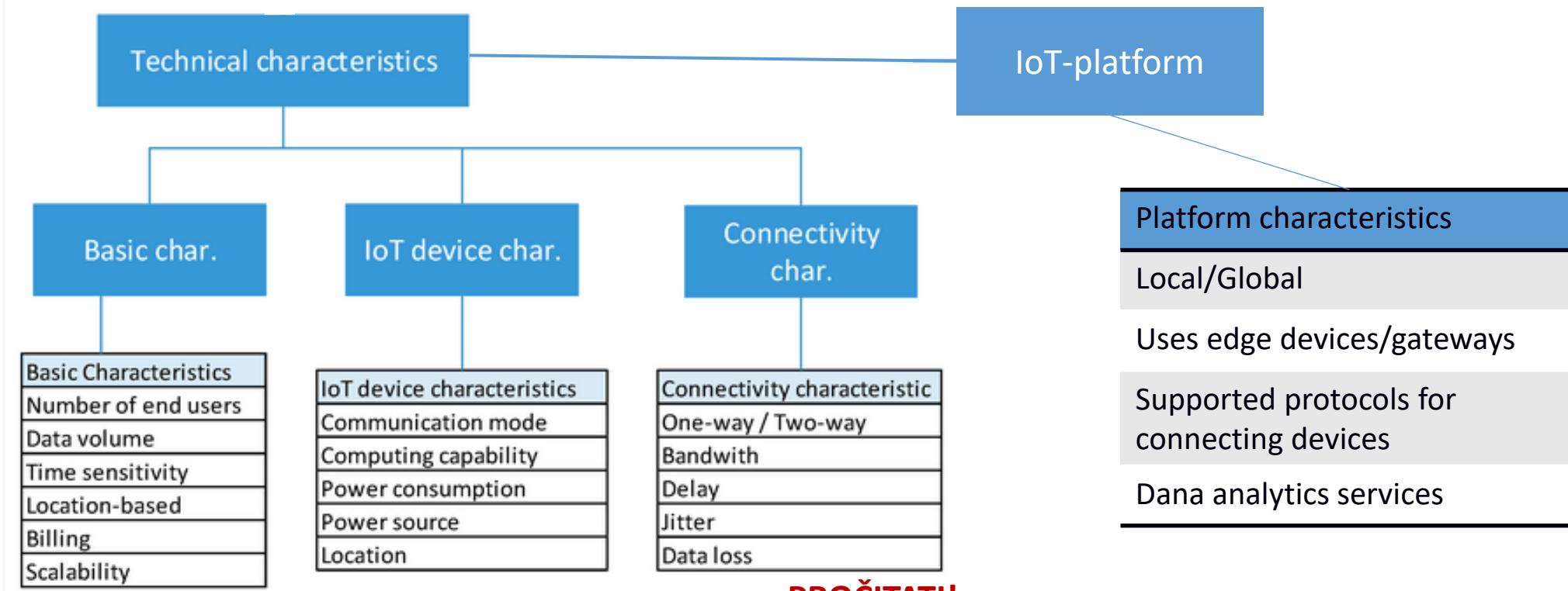
Lanac vrijednosti za IoT (1/2)



Lanac vrijednosti za IoT (2/2)

- **Infrastructure provider:** pruža IoT-uređaje i infrastrukturu koja osigurava povezanost uređaja na Internet.
 - **Device provider:** proizvođač IoT-uređaja
 - **IoT connectivity provider:** mrežni operator
- **IoT platform provider:** nudi IoT-platformu za jednostavan pristup senzorskim podacima i upravljanim uređajima kao i integraciju podataka za razvoj novih usluga. Odgovoran je za kontrolu heterogenih uređaja.
- **IoT service integrator:** integrator nad IoT-platformom i uređajima, nudi usluge u određenoj domeni primjene te dodaje vrijednost servisima IoT-platforme. Koristi po potrebi usluge razvoja mobilnih i web-aplikacija.
- **IoT user:** kupac IoT-usluge koji koristi nove umrežene komponente u svojim proizvodima (npr. pametno brojilo) i/ili pruža inovativne usluge (npr. uslugu pametnog mjerjenja) krajnjim korisnicima.
- **End user:** krajnji korisnik IoT-usluge
- Primjer: elektroenergetska tvrtka (IoT-korisnik) koristi pametna brojila za poboljšanje svojih postojećih proizvoda i ponuda zamjenom postojećih uređaja novima koji građanima (krajnjim korisnicima) nude potpuno nove usluge: npr. informacije o njihovoj potrošnji energije u stvarnom vremenu (svakih 15 min).
- IoT-korisnik sklapa ugovor ili izravno s pružateljima infrastrukture i koristi njihove usluge niske razine unutar svoje infrastrukture (razvija vlastito IoT-rješenje) ili sklapa ugovor s integratorom IoT-usluga koji nudi paketne usluge visoke razine povrh IoT-platforme.

Kako pristupiti dizajnu novog IoT-rješenja?



PROČITATI!

Izvor: Weber, M.; Podnar Žarko, I. A Regulatory View on Smart City Services. *Sensors* **2019**, *19*, 415. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/2/415>



NASTAVA

- Nositelji kolegija "Internet stvari" koji se od 2019. godine izvodi na diplomskom studiju FER-a, a godišnje ga upisuje preko 130 studenata.
- Članovi laboratorija uključuju studente preddiplomskog i diplomskog studija u inovativne projekte te im omogućuju korištenje suvremene laboratorijske opreme.
- Brojni studentski radovi su nastali i nastaju u našem laboratoriju (30 do 40 godišnje).



ISTRAŽIVANJE

- Razvijamo IoT-ekosustav sa svojstvima interoperabilne, decentralizirane, dinamične i sigurne okoline koja čuva privatnost korisnika, a pritom se oslanja na računalna sredstva na rubu mreže.
- Istražujemo energetski-učinkovite protokole i algoritme te inteligentne i kognitivne usluge.
- Zanimaju nas IoT-rješenja sljedeće generacije koja su prikladna za mreže 5G, kao i masovno postavljanje IoT-uređaja.



INOVACIJE

- Inovativna rješenja u području precizne poljoprivrede i pametnih gradova:
- udaljeno praćenje stresa biljke
- senzoriranje kvalitete zraka u pokretu
- zelene rute za pješake i bicikliste
- upravljanje uređajima u domu ili uredu na temelju *indoor* lokacije



IoTLab, <http://www.iot.fer.hr/>

Članovi laboratorija:
sveučilišni nastavnici (3), poslijedoktorandi (1)
doktorandi (6)

Prof. dr. sc. Ivana Podnar Žarko (voditeljica)
Prof. dr. sc. Gordan Ježić
Prof. dr. sc. Mario Kušek

Osnovan u Zavodu za telekomunikacije FER-a

Pametna mobilnost i ekološko rutiranje

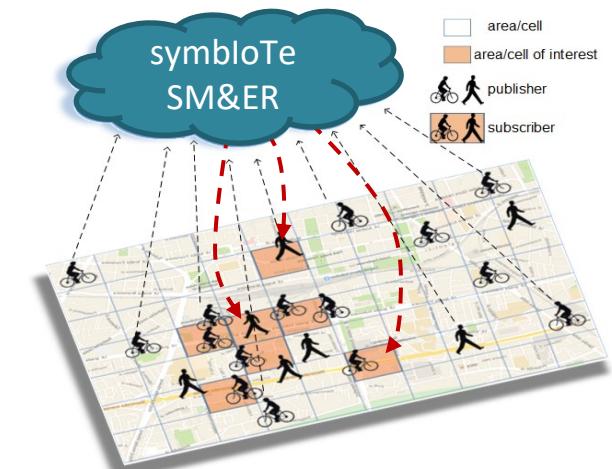
- Praćenje kvalitete zraka u pokretu malim nosivim uređajima (pješaci i biciklisti)
- Pružanje zelenih ruta (najpovoljnijih za zdravlje) do željenog odredišta
- Integracija podataka o kvaliteti zraka i prometu u gradovima s različitim IoT platformi

Rezultat završenog projekta IoTlaba

symbIoTe: Symbiosis of smart objects across IoT environments

Research and Innovation Project (RIA) within Horizon 2020 programme

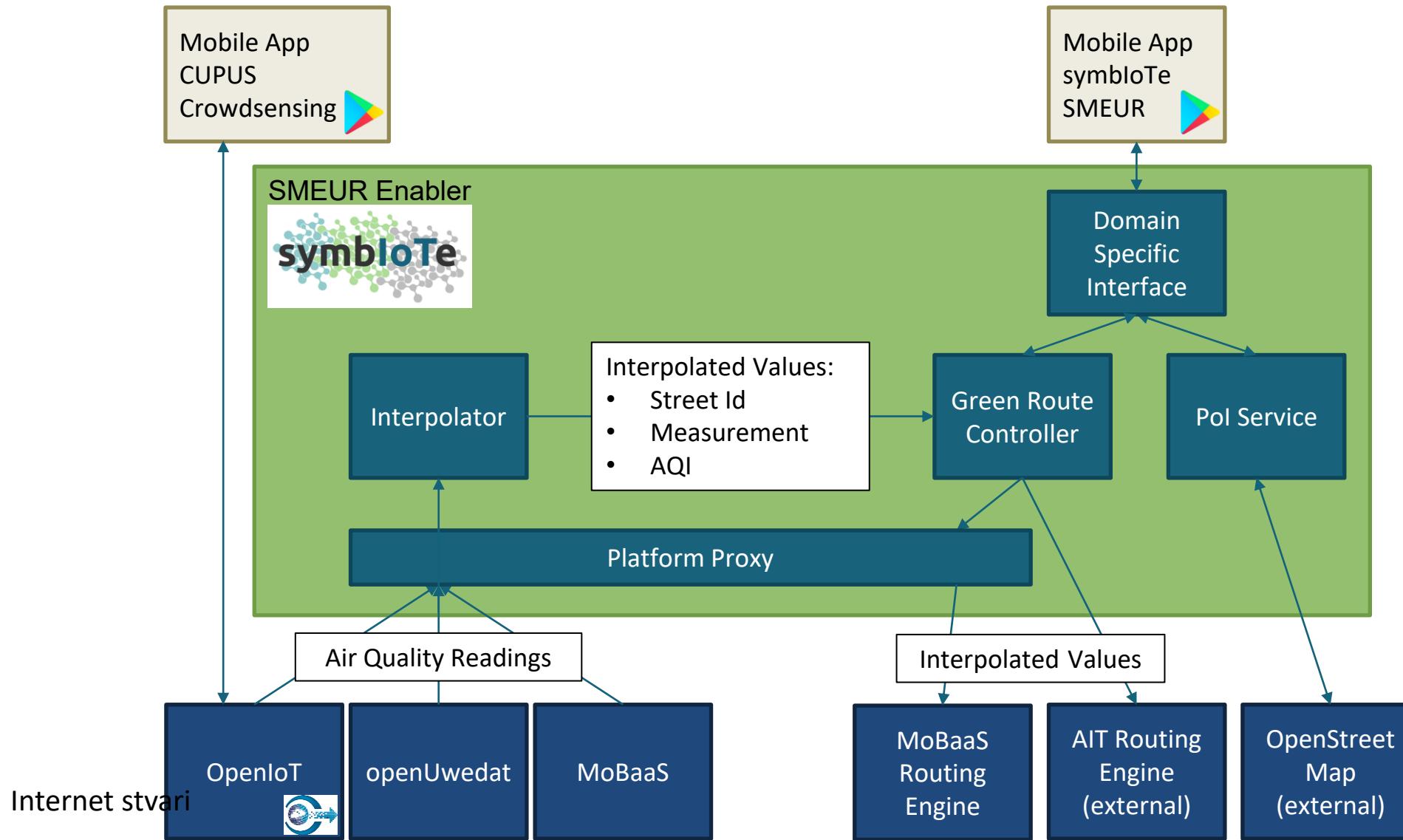
technical manager: Prof. Ivana Podnar Žarko, PhD
(2016 – 2018)



Tehničko ostvarenje

- Koristi 3 IoT-platforme (OpenIoT, openUWEDAT, MoBaas)
 - Integriraju mjerena sa stacionarnih senzora i senzora u pokretu za praćenje kvalitete zraka, svaka se koristi u drugome gradu, jedino OpenIoT svugdje u svijetu jer podržava pokretljivost korisnika
- symbIoTe Enabler
 - Komponenta za razvoj usluga s dodanom vrijednosti na temelju podataka prikupljenih s različitih platformi
 - Analiza podataka
 - Interpolacija, izračun ruta i traženje interesnih lokacija
- Dvije mobilne aplikacije za krajnje korisnike
 - Izračun zelene rute (Green Routing App)
 - Prikupljanje podataka sa nosivih senzora putem mobitela (CUPUS)

Arhitektura rješenja



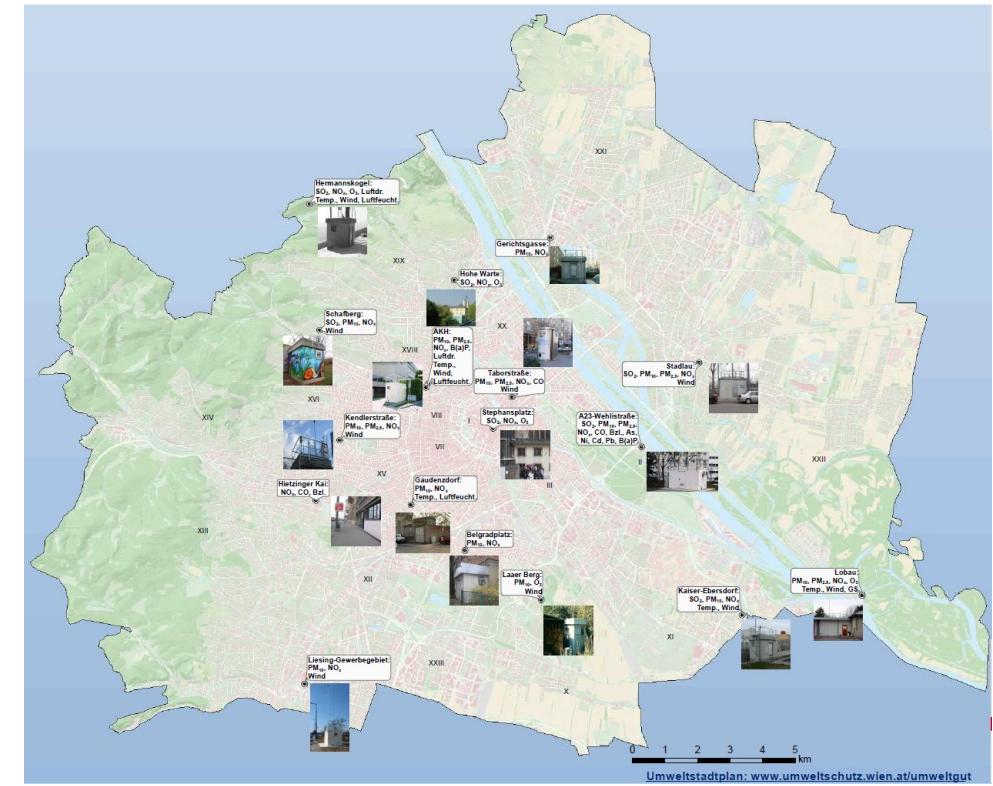
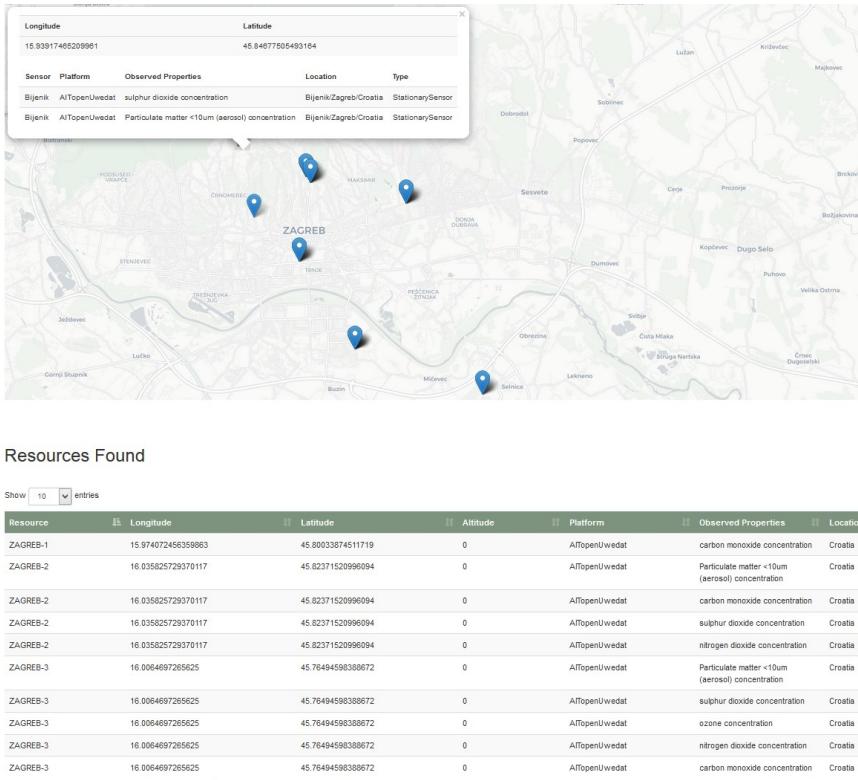
Senzori za kvalitetu zraka

- 20 IoT uređaja s FER-a (Zagreb), nosivi senzori dizajnirani na ZESOI
- 20 senzora tvrtke DunavNET (korišteni u Beču i Zagrebu) u pokretu značajno su veći od FER-ovih
- Stacionarni senzori za kvalitetu zraka u Zagrebu i Beču
- 20 fiksnih postaja tvrtke Ubiwhere (Porto)
- 10 fiksnih i nosivih senzora tvrtke MONITAR (Porto)



Stacionarni senzori za kvalitetu zraka

- Zagreb i Beč



Internet stvari

CUPUS Crowdensing App

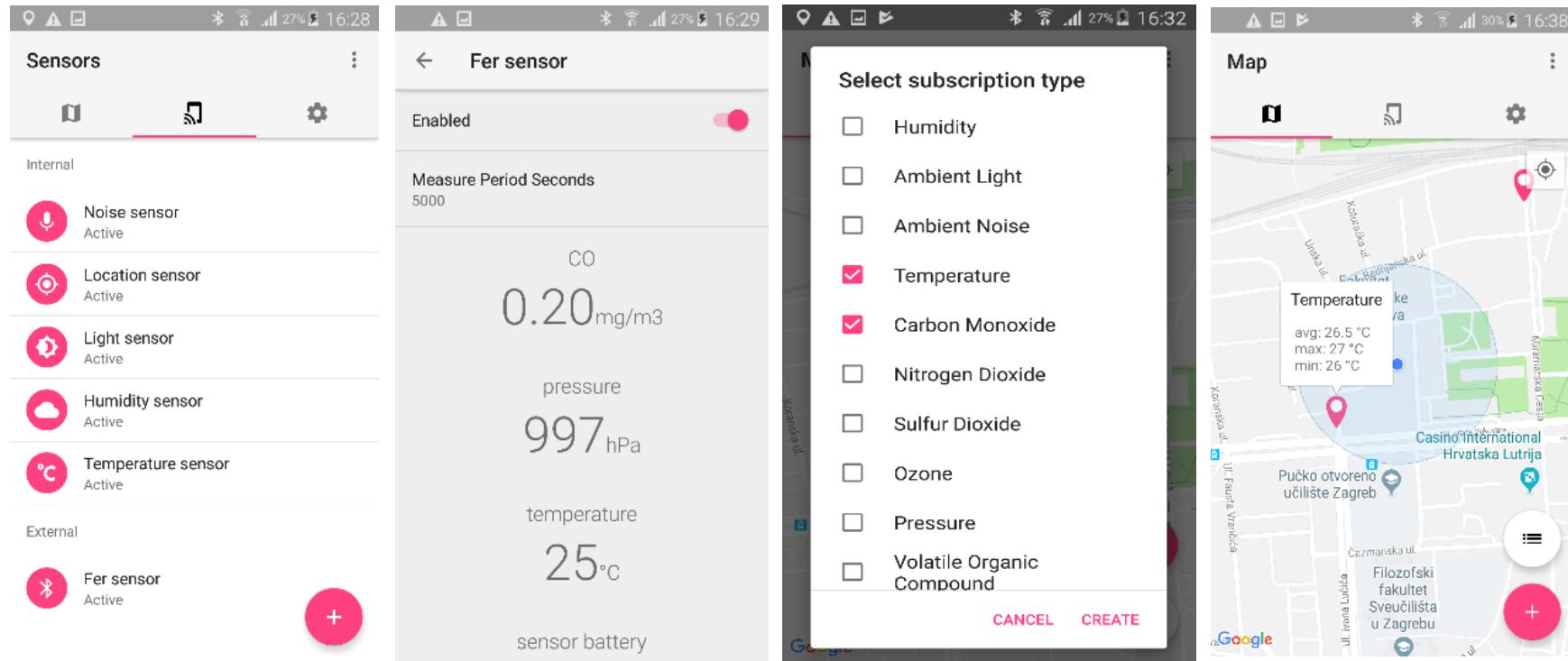


CUPUS Crowdensing

Koristi se nosivim senzorima za prikupljanje podataka o kvaliteti zraka (ovo su izvori podatka), senzori se spajaju pomoću BLE na mobitel, koristi se GPS na mobitelu za određivanje lokacije mjerena

Primjer aplikacije koja se temelji na načelu *mobile crowdsensing* (pokretni korisnici opažaju svoju okolinu)

Internet stvari



Pregled aktivnih senzora

Manji dio korisnika senzorira okolinu (jer ima i koristi nosivi senzor), a svo građani mogu pristupiti podacima (saznati trenutno stanje zraka koje je netko upravo izmjerio i podijelio putem IoT-rješenja)

Trenutna očitanja senzora

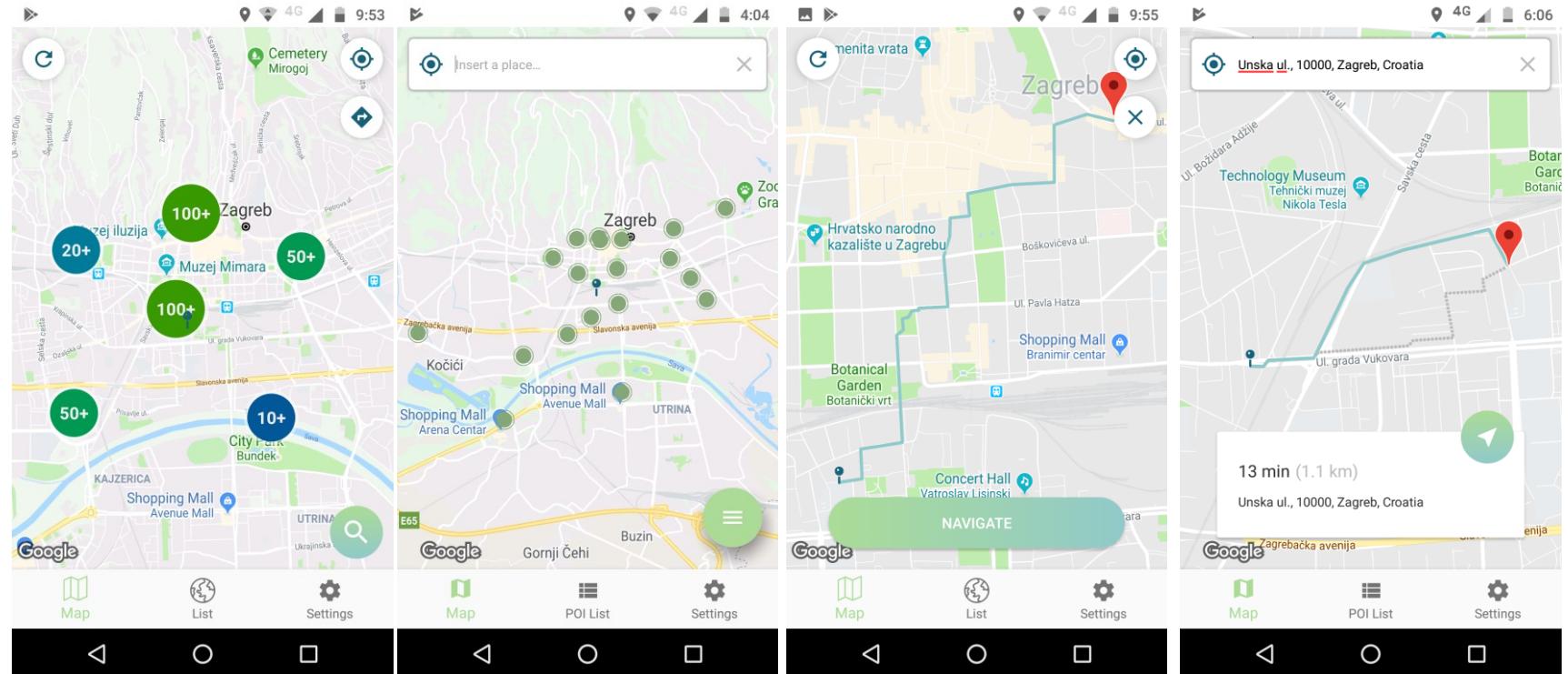
Pretplate na senzorska mjerena

Dostupni senzori

symbloTe SMEUR Green Routing App



symbloTe-enabled App namijenjena velikom broju korisnika
Zelene rute se određuju za bicikliste i pješake na temelju dostupnih stvarnovremenskih podataka o kvaliteti zraka na pojedinim dionicama rute



Početni zaslon,
Interesne lokacije
s OpenStreetMap

POI filter
“bike_rental”,
pronalazi
zanimljive lokacije

Biciklistička
 ruta (zelena, bira
dionice s najmanje
zagađenja trenutno)

Dvije pješačke rute
zelena i najkraća
(označena sivo, na
njoj je opažena loša
kvaliteta zraka)

Tekući projekti IoTLab-a

IoT-field: An Ecosystem of Networked Devices and Services for IoT Solutions Applied in Agriculture



research project funded by the European Structural and Investment Funds

project leader: Prof. Ivana Podnar Žarko, PhD (03/2020 – 11/2023)

<https://iot-polje.fer.hr/iot-polje/en>

IoT4us: Human-centric smart services in interoperable and decentralised IoT environments



research project No. 1986 funded by the Croatian Science Foundation (HRZZ)

project leader: Prof. Ivana Podnar Žarko, PhD (01/2020 -12/2023)

<https://iot4us.fer.hr/iot4us/en>

Pinova: Development of agrometeorological platform and IoT device network for company Pinova Ltd.



research project funded by the European Structural and Investment Funds

project leader: Prof. Mario Kušek, PhD (08/2020 – 08/2023)

M2MCC: Communication Challenges in Machine-to-Machine Communications

cooperation project between UNIZG-FER and [Ericsson Nikola Tesla](#)



project leader: Prof. Gordan Ježić, PhD (2011 – now)

[Ericsson Nikola Tesla d.d.](#)

Novi projekt iz programa Obzor Europa



AIoTwin
Twinning action for spreading excellence in Artificial Intelligence of Things

Trajanje: 01/2023-12/2025

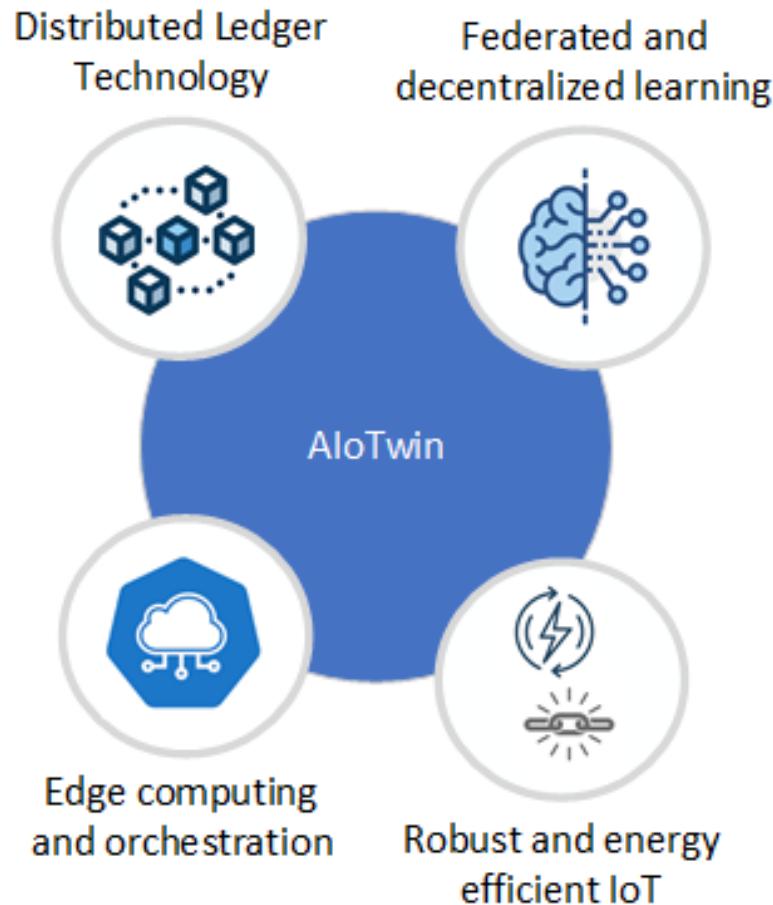
No.	Participant Logo	Participant organisation name	Short Name	Country
1 (CO)	 <small>UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTING</small>	University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing	UNIZG-FER	Croatia
2		RISE Research Institutes of Sweden AB	RISE	Sweden
3	 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN	Technische Universität Wien	TUW	Austria
4	 Technische Universität Berlin	Technische Universität Berlin	TUB	Germany



Strateški cilj projekta AloTwin

- značajno **ojačati znanstvenu izvrsnost i inovacijski kapacitet FER-a** u području Interneta stvari kroz prijenos znanja i suradnju s vrhunskim znanstvenicima iz vodećih europskih institucija
- stvoriti **poticajno istraživačko okruženje** na FER-u i povećati znanstvenu kvalitetu i produktivnost kako bi privukli nove nacionalne i međunarodne talente
- stvoriti prilike za **razvoj karijera mladih istraživača**
- ojačati kapacitete institucije za **sudjelovanje u projektima Obzor Europa**
- plan rada projekta uključuje istraživače iz **FER-ovog Laboratorija za Internet stvari**

Istraživačke teme



Istraživačke teme su uskladjene s radnim programom Obzor Europa klastera 4, tema "*From Cloud to Edge to IoT for European Data*": decentralizirana inteligencija i obrada podataka na rubu mreže u blizini IoT-uređaja.

1. Edge computing and orchestration.
2. Federated and decentralized Machine Learning.
3. AI for robust and energy-efficient IoT.
4. Distributed Ledger Technology (DLT) for IoT.

Literatura

1. Libelium: 50 Sensor Applications for a Smarter World,
http://www.libelium.com/resources/top_50_iot_sensor_applications_ranking/
2. Lu, C. „Real-Time Internet of Things”, Washington University in St. Louis,
keynote speech, <https://www.cse.wustl.edu/~lu/talks/isorc17-keynote.pdf>
3. Soldatos, J.; „A 360-Degree View of IoT Technologies”, Artech House, 2020
4. Weber, M.; Podnar Žarko, I. A Regulatory View on Smart City Services.
Sensors **2019**, *19*, 415. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/2/415>