

Komunikacijski protokoli

11. 5G-mreža: protokoli i usluge

Komunikacija strojeva / Internet stvari
(M2M / IoT)

Creative Commons



- **slobodno smijete:**
 - **dijeliti** – umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
 - **remiksirati** – prerađivati djelo
- **pod sljedećim uvjetima:**
 - **imenovanje.** Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
 - **nekomercijalno.** Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
 - **dijeli pod istim uvjetima.** Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencem koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnog korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencne uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je linkom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Sadržaj predavanja

- Zahtjevi za 5G mrežu
- Arhitektura 5G-mreže
- Komunikacijski protokoli u 5G-mreži
- Komunikacija strojeva/uređaja (M2M)
- Internet stvari (Internet of Things – IoT)
- Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

5G

- Pokretne mreže sljedeće generacije i tehnologije koje se uvode nakon 4G LTE/SAE
- Smanjeno kašnjenje
- Dinamička prilagodba zahtjevima usluga i informacijskog prometa
 - virtualizacija mrežnih funkcija (*Network Function Virtualization*): odvajanje logičke mrežne funkcije i hardvera
 - programski definirana mreža (*Software Defined Network*): odvajanje podatkovne i kontrolne ravnine u jezgrenoj mreži, programsko upravljanje mrežom
 - Mrežni odsječci (*network slicing*): logička podjela mreže s kraja na kraj
- Zahtjevi usluga zasnovanih na sadržaju, velikoj količini podataka i računarstvu u oblaku



Usluge u 5G

- Višemedijske aplikacije (HD video)
- Virtualna stvarnost
- *Taktilni* internet
- IoT-usluge s velikim brojem spojenih uređaja
- Milijun po km²
- Autonomna vožnja

Usluge 5G



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

Što uvodi 5G

- Nova radijska sučelja
- Novi frekvencijski pojasevi
- Povećanje kapaciteta
- Heterogena infrastruktura
 - Različite pristupne tehnologije
- Računarstvo na rubu

5G standardizacija

- 3GPP
- ITU
- Interoperabilnost mreža i uređaja
- Povećana sigurnost sustava
- 3 tipa usluga
 - Veće brzine prijenosa (engl. *enhanced mobile broadband*, eMBB)
 - Veliki broj povezanih uređaja (engl. *massive Internet of Things*, mIoT)
 - Kritične usluge s malim kašnjenjem (engl. *ultra-reliable low latency communications*, URLLC)

Arhitektura 5G mreže

Mreža 5G

- Pristupna mreža – 5G-RAN ili NG-RAN ili NR (New Radio)
- Jezgrena mreža – 5GC (5G Core)
- Arhitekura temeljena na uslugama (Service-Based Architecture, SBA)
- Korisnička ravnina
 - UPF (User Plane Function)
 - usmjerenje datagrama
 - QoS
- Upravljačka ravnina
 - upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - upravljanje pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)

Funkcije korisničke ravnine

- Interakcija s ostalim mrežama
- Prosljeđuje korisničke podatke koji se prosljeđuju unutar PDU (packet data unit) sjednica

Upravljačka ravnina (1)

- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
 - Registracija uređaja
 - Upravljanje konekcijom uređaja
 - Sigurnosne funkcije
 - Dobiva ključ za autentifikaciju UE od AUSF
 - Lista mogućnosti uređaja
 - Upravljanje opterećenjem
 - Prosljeđuje poruke od UE za SMF
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
 - Upravljanje sjednicom i *roamingom*
 - Upravljanje IP adresama, DHCP poslužitelj

Upravljačka ravnina (2)

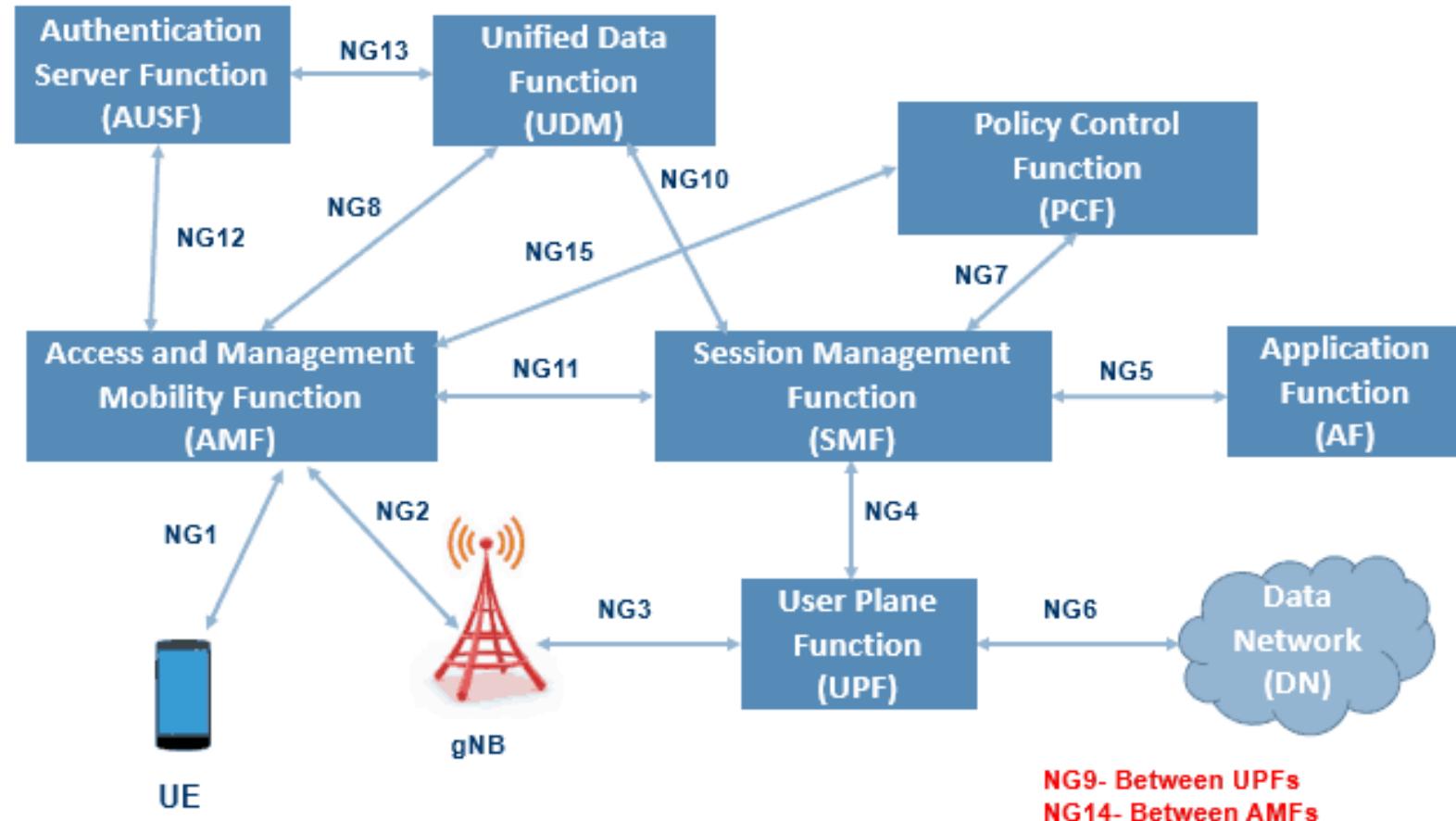
- Upravljanje autentifikacijom (Authentication server function, AUSF)
 - Podaci za autentifikaciju korisnika
 - Upravljanje ključevima za enkripciju
- Objedinjeno upravljanje podacima (Unified Data Management, UDM)
 - Podaci o korisnicima
 - Podaci o korisničkim preplatama
- Pravila za upravljanje mrežom (Policy Control Function, PCF)
 - Politike za upravljanje mrežom, npr. koliki QoS će biti dodijeljen nekoj usluzi na nekom čvoru

Upravljačka ravnina (3)

- Aplikacijska funkcija
 - Interakcija s čvorovima u jezgrenoj mreži za potreba aplikacija
 - Odabir čvora na kojem se izvršavaju aplikacije
 - Za korištenje računarstva na rubu (edge computing)
 - Krajni uređaj, bazna postaja, poslužiteljski sustav

Arhitektura 5G

- 3GPP Release 15 (2018.g.)



Značajne funkcionalnosti 5G-mreže

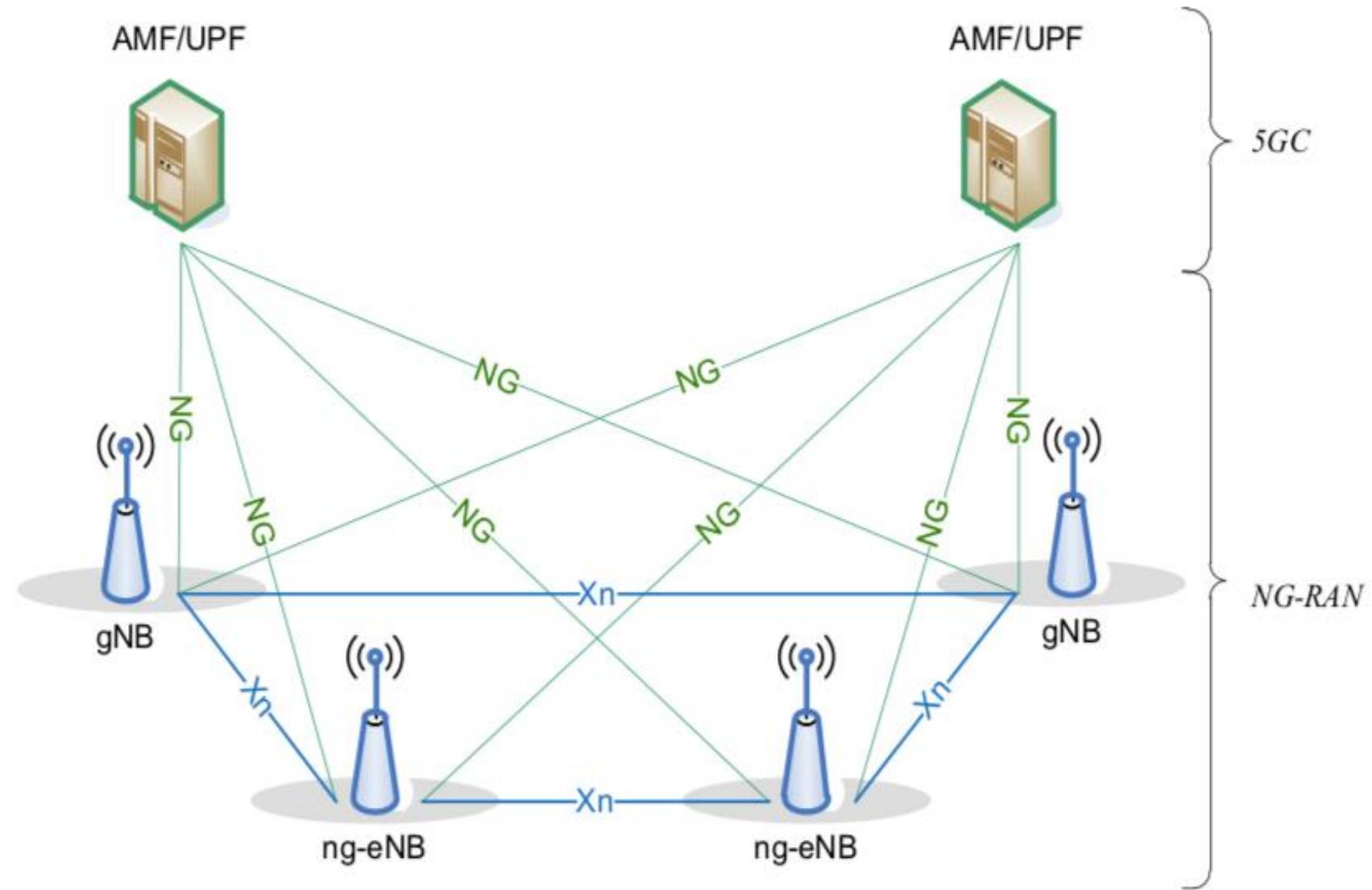
- Virtualizacija mrežnih funkcija
- Programski upravljano umrežavanje
- Mrežni odsječci

Pristupna 5G mreža

Frekvenčijski pojasevi

- 2G, 3G, 4G
 - 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz
- 5G – novi pojasevi
 - 3.3-4.2 GHz
 - 4.4-4.99 GHz
 - 24.25-29.5 GHz
- Modulacija: OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

3GPP NG-RAN

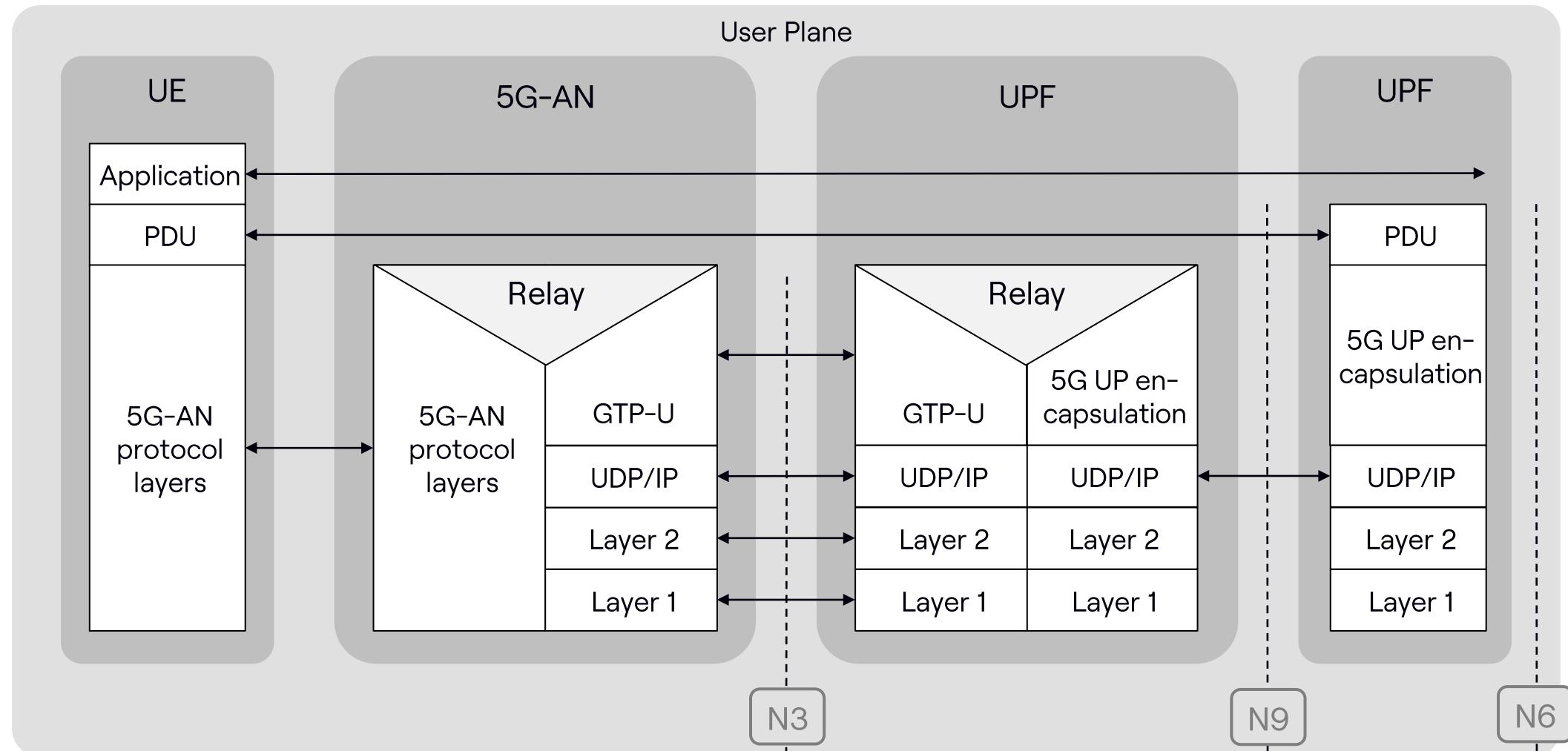


Funkcionalnosti čvorova gNB i ng-eNB

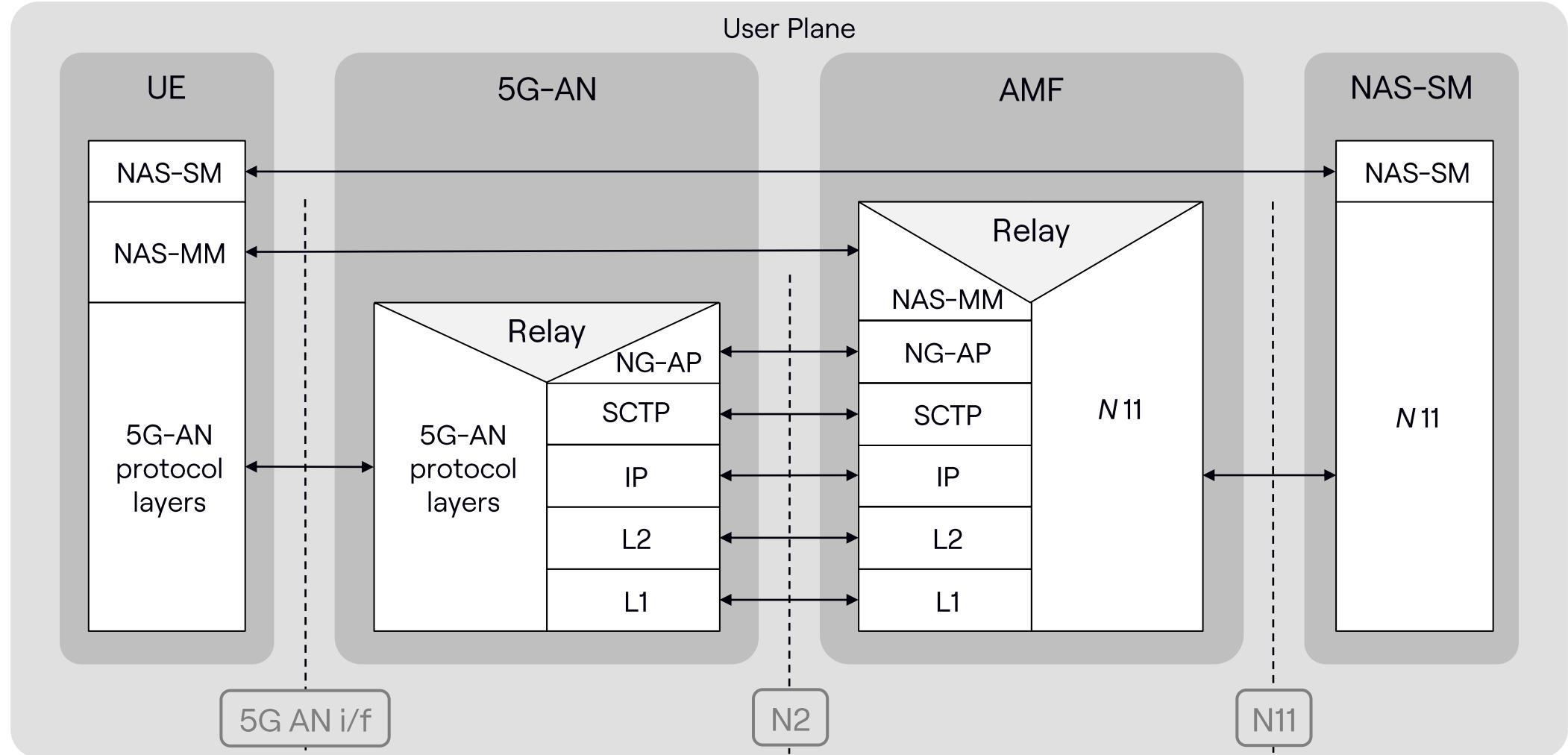
- Upravljanje radijskim sučeljem (Radio Resource Management, RRM)
- Upravljanje pristupom i pokretljivošću (Access and Management Mobility Function, AMF)
- Upravljanje sjednicom (Session Management Function, SMF)
- Upravljanje konekcijom s krajnjim uređajima
- Upravljanje rasporedom spajanja uređaja
- Korištenje mrežnih odsječaka

Komunikacijski protokoli u 5G mreži

Korisnička ravnina



Kontrolna ravnina



Kontrolna ravnina

- Protokol NAS (engl. *non-access stratum*)
 - Upravljački protokol
 - Upravljanje sjednicama (*Session management*, SM)
 - Upravljanje pokretljivošću (*Mobility management*, MM)
 - Registracija i upravljanje konekcijom
 - Prenosi poruke između UE i jezgrene mreže
 - Čvorovi AMF, SMF
- Protokol NG-AP (engl. *Next Generation – Application Protocol*)
 - Dedicirani protokol za komunikaciju između 5G pristupne mreže i čvora AMF
 - Pruža transportnu uslugu za poruke protokola NAS

Protokol SCTP

- *Stream Control Transmission Protocol*
- Protokol transportnog sloja
- Spojna usluga
- Nastao radi prijenosa signalizacije u mreži PSTN (javna komutirana telefonska mreža)
- Rješava nedostatke protokola TCP
 - Kašnjenje zbog isporuke ispravnog redoslijeda paketa
 - Slanje paketa u oktetima – protokoli višeg sloja moraju pratiti koji okteti čine poruku
 - Nije moguće adresiranje mrežnih entiteta s više mrežnih pristupnih točki (engl. *multi-homed hosts*)
 - Osjetljivost na DoS napade korištenjem zastavice SYN

Komunikacija strojeva (Machine-to-Machine communication, M2M)

M2M

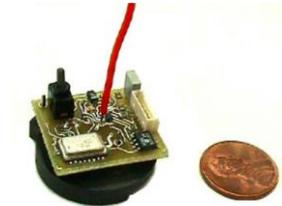
Machine-to-Machine, M2M

Machine Type Communication, MTC

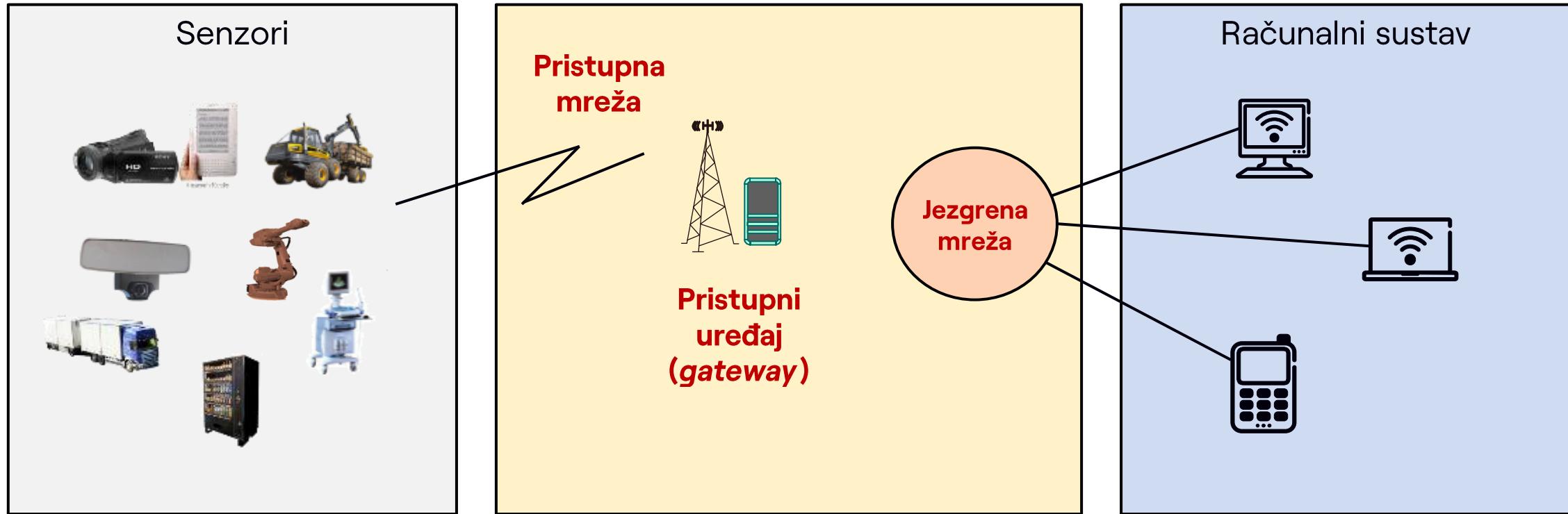
- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
 - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
 - jednostavni i/ili pametni (engl. *smart*) uređaji
 - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

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, radijska, žična)
 - jezgrena mreža
 - **pristupni uređaj** (engl. gateway)
- Machine-to-**Machine**
 - **računalni sustav** koji upravlja drugim uređajima
 - računala i pokretni uređaji koji prikazuju informacije



M2M



Uredaji
M

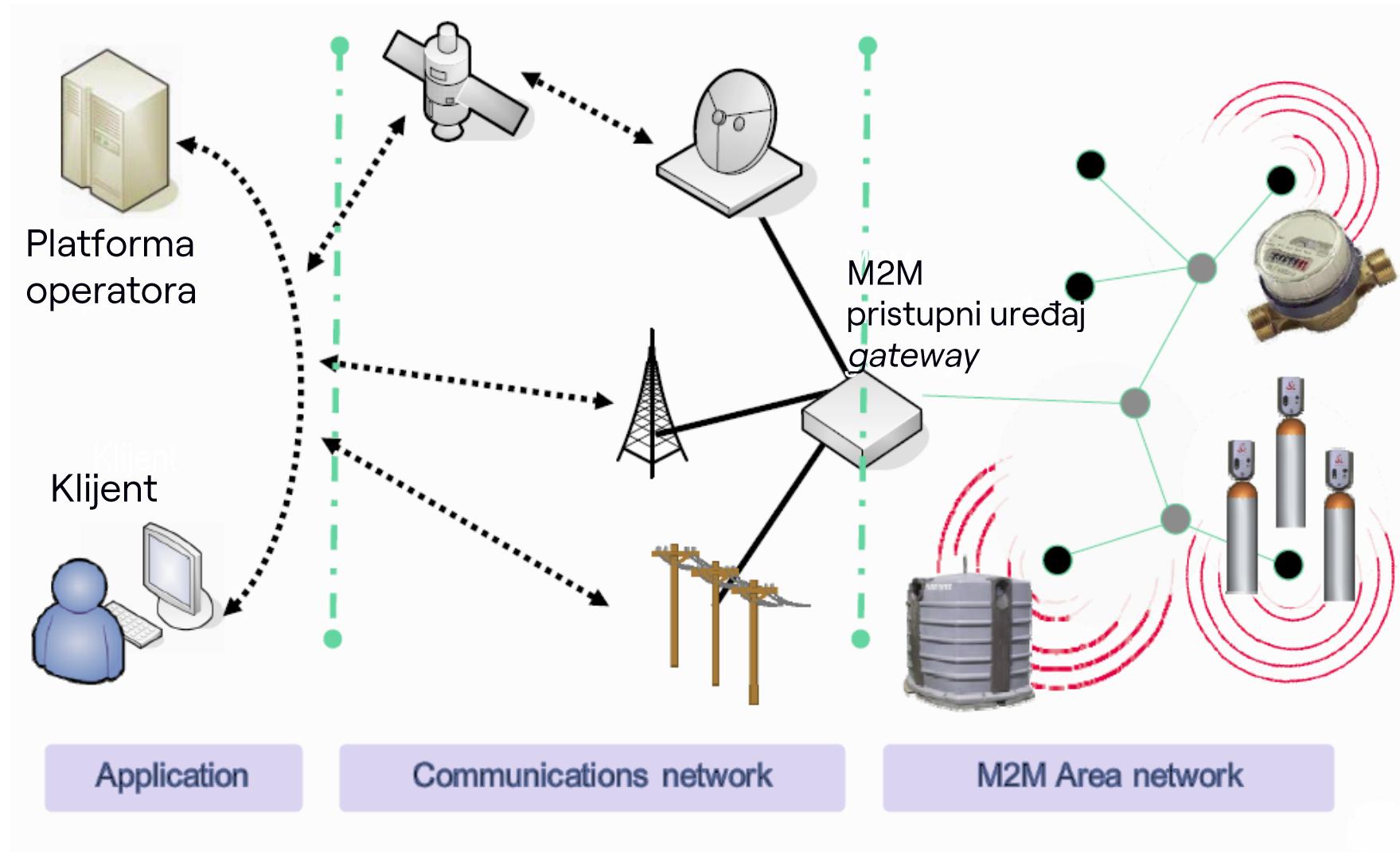
Mreža
2

Uredaji
M

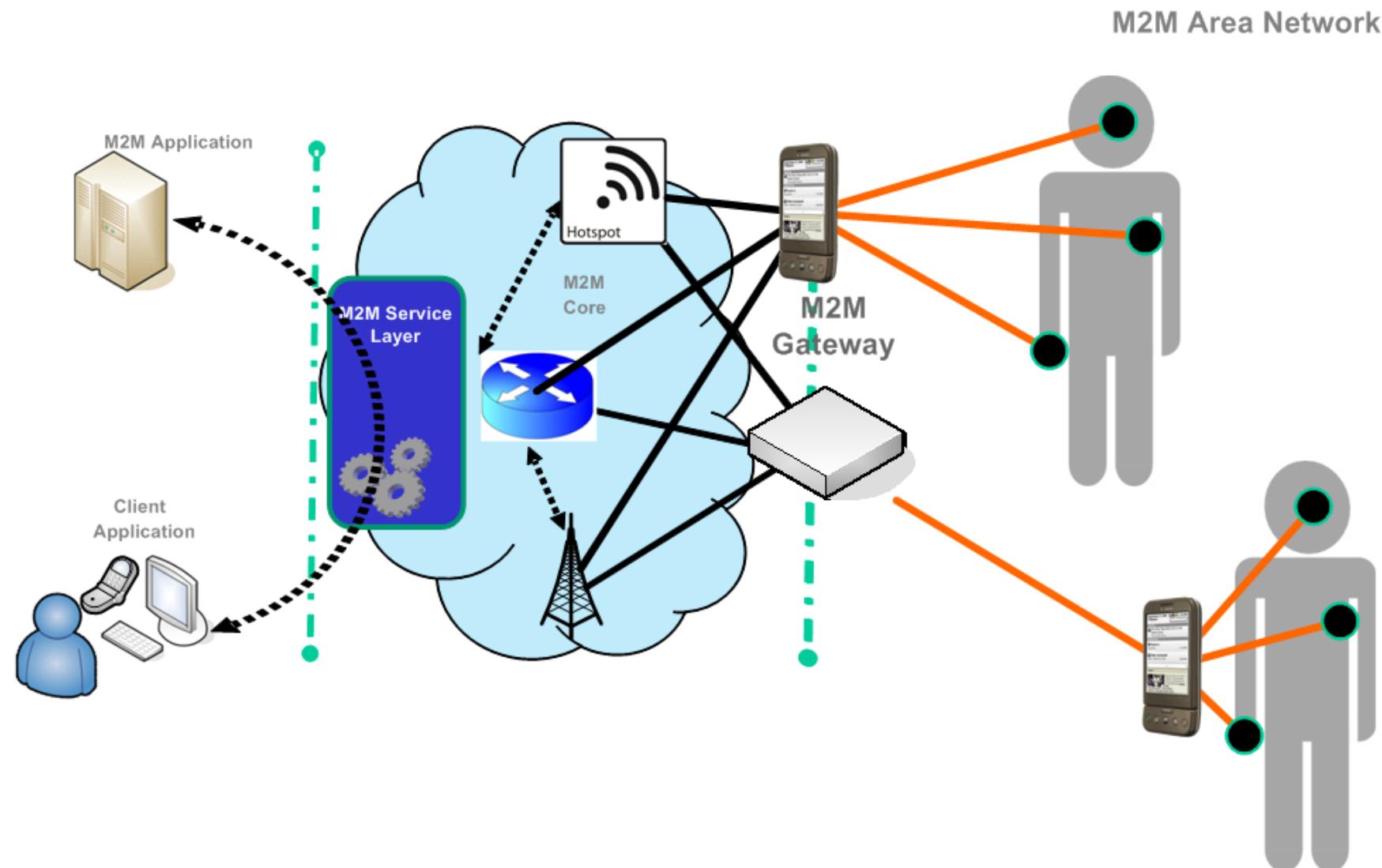
Standardizacija

- 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
 - definira specifikaciju za pokretnu mrežu 5G
 - 3GPP koristi naziv "Machine Type Communication" (MTC)
- The European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
 - zadužen za standarde fiksne, mobilne, radio, i konvergirane internetske tehnologije
 - ETSI Technical Committee – razvija standarde za M2M-komunikaciju
 - povezani su s ostalim standardizacijskim tijelima (BBF, 3GPP, OMA, ZigBee, ...)

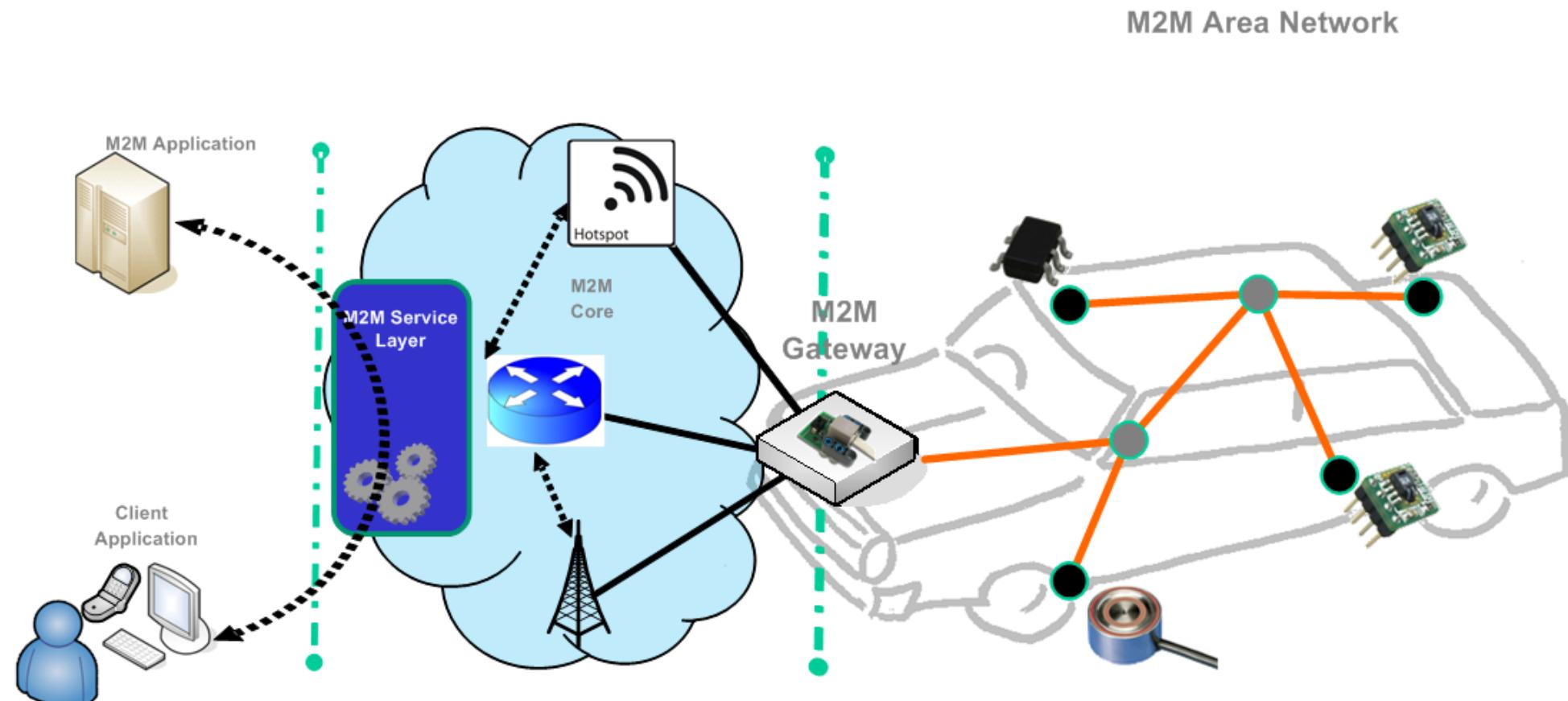
Arhitektura prema ETSI



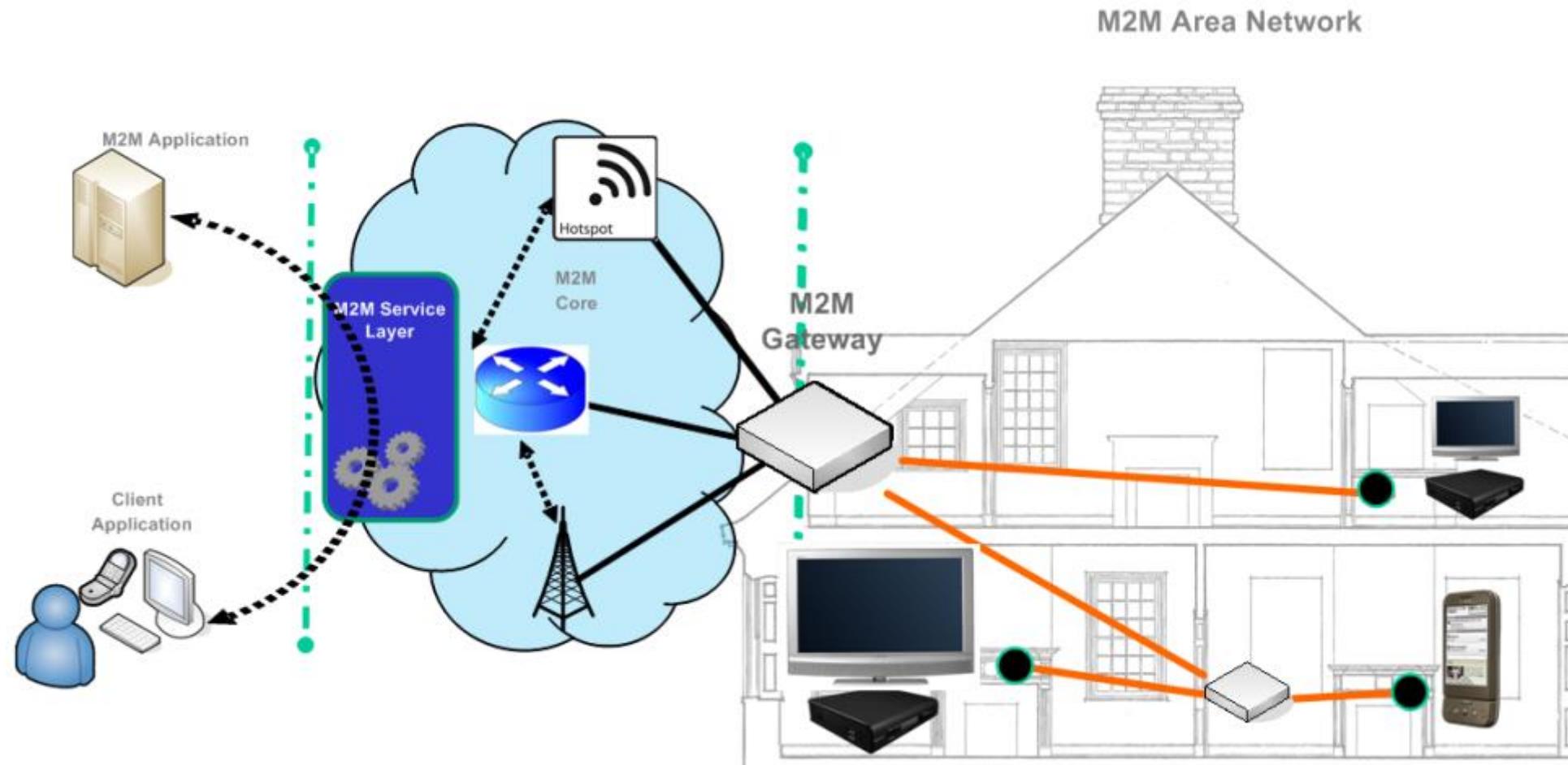
Primjena u e-zdravstvu



Primjena u automobilskoj industriji



Primjena u kućanstvu



Internet stvari (*Internet of Things, IoT*)

Internet stvari

Definicija*:

- „Samokonfigurirajuć i adaptivan sustav koji se sastoji od mreže senzora i pametnih objekata sa svrhom povezivanja *svih* stvari na Internet, uključujući svakodnevne i industrijske objekte, kako bi ih se učinilo inteligentnima, programabilnima i sposobnijima za interakciju s ljudima.“

*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), New Technology Connections: Future Directions, Future Directions Innitiative, 2015

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
 - Velika količina podataka
- **Standardizacija i interoperabilnost imaju ključnu ulogu!**

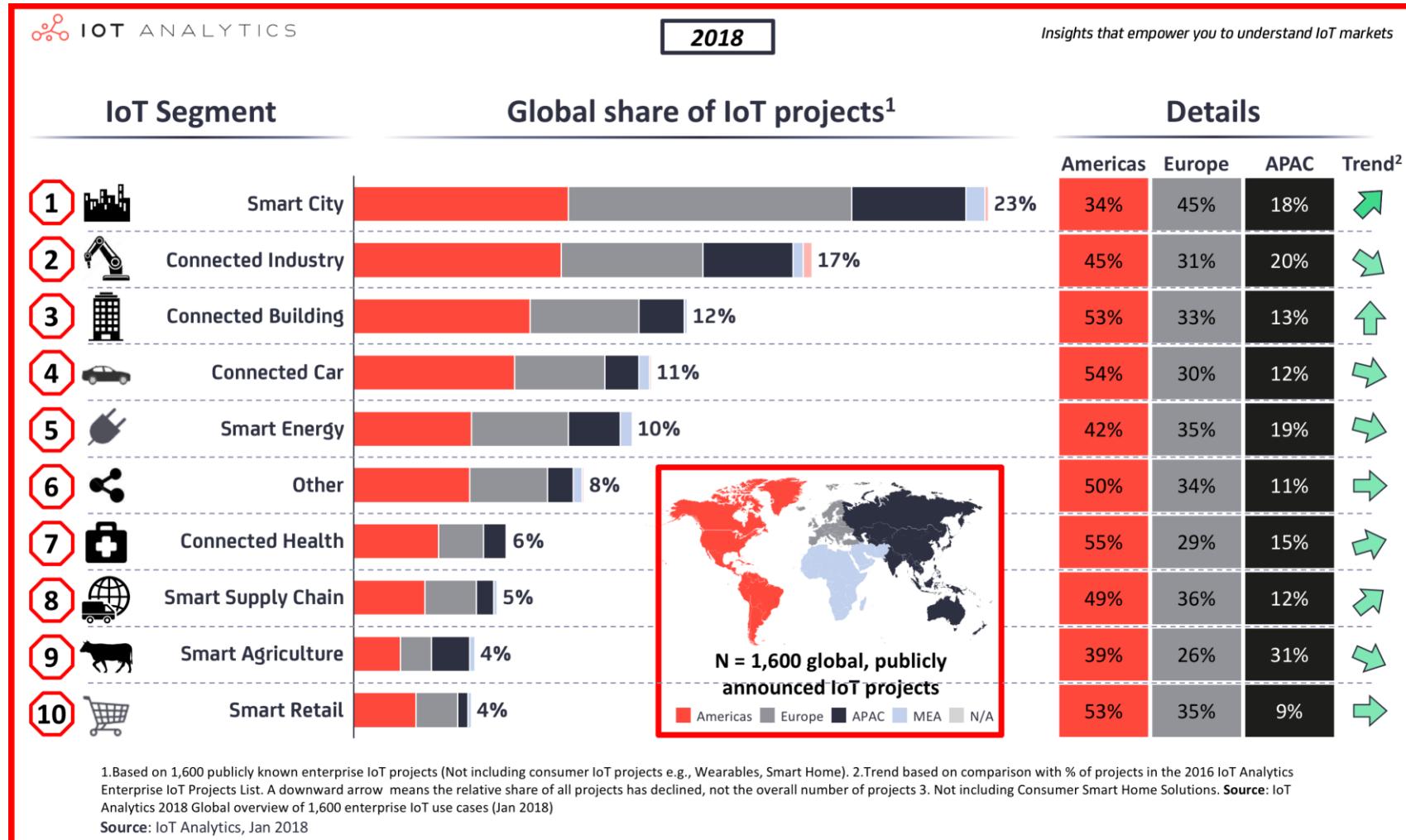
Područja primjene IoT (1)

- Veoma različita područja u kojima se ostvaruju usluge, s različitim zahtjevima:
 - za industriju (energija, transport, proizvodnja, hrana i drugo),
 - izravno povezane s ljudima (medicina, zdravstvena zaštita, samostalno življenje i drugo).
- Od posebne su važnosti za IoT-usluge njihov kontinuitet 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).

Područja primjene IoT (2)

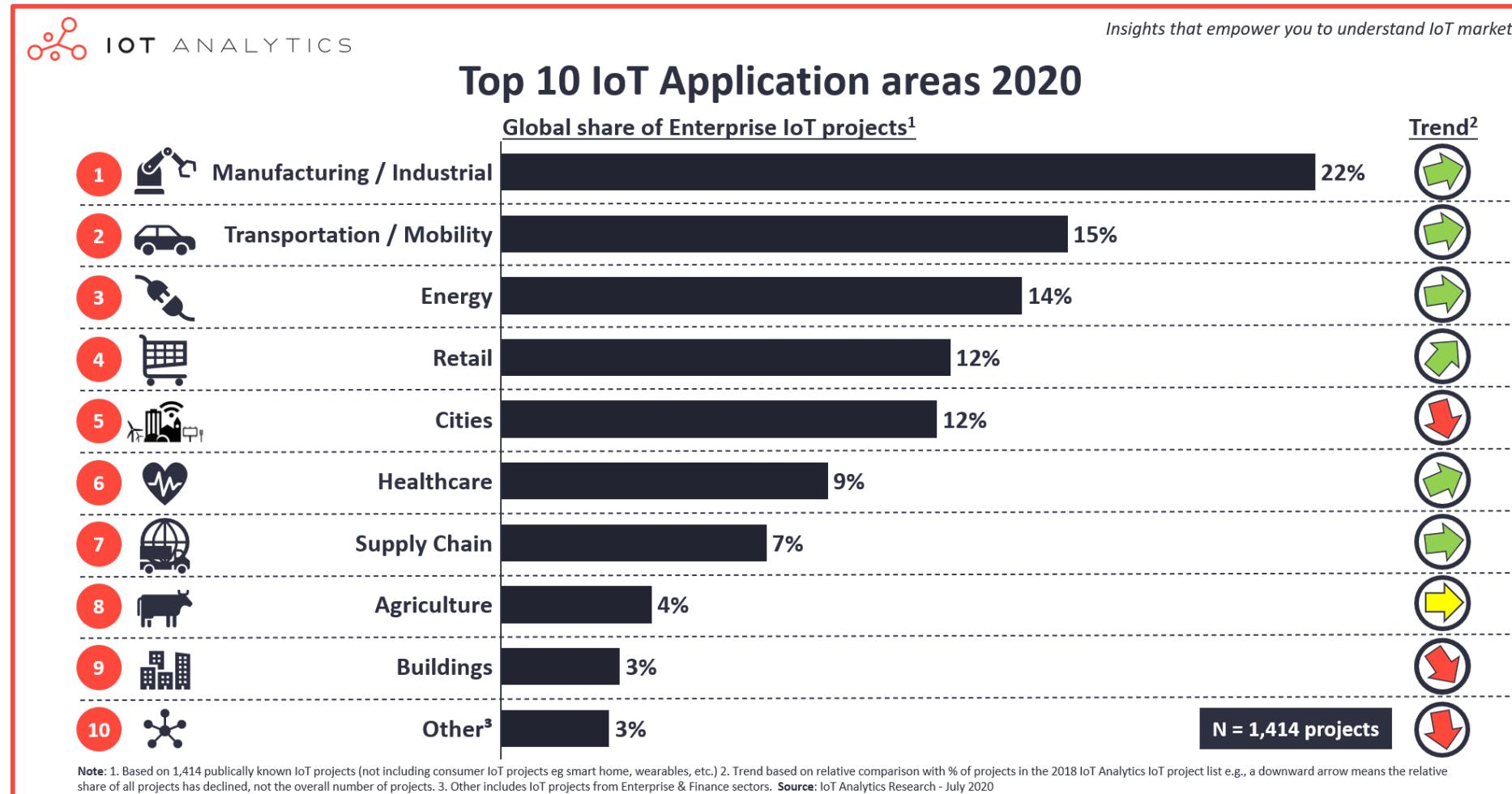
- Pametni grad (engl. *Smart City*)
- Pametno kućanstvo (engl. *Smart Home*)
- Pametna energija (engl. *Smart Energy*)
- Pametni transport (engl. *Smart Transport*)
- Pametna proizvodnja (engl. *Smart Manufacturing*)
- Pametno zdravstvo (engl. *Smart Health*)
- Pametna vlada (engl. *Smart Government*)
- Pametno iskustvo kupca (engl. *Smart Customer Experience*)
- Pametne financije (engl. *Smart Finance*)
- ...

Predviđanje IoT-tržišta 2020



Izvor: The Top 10 IoT Segments in 2018 – based on 1,600 real IoT projects, <https://iot-analytics.com/top-10-iot-segments-2018-real-iot-projects/>, 2018.

IoT-tržište 2020



Izvor: Top 10 IoT Applications in 2020 – based on 620 IoT platforms, <https://iot-analytics.com/top-10-iot-applications-in-2020/>, 2020.

Zahtjevi usluga

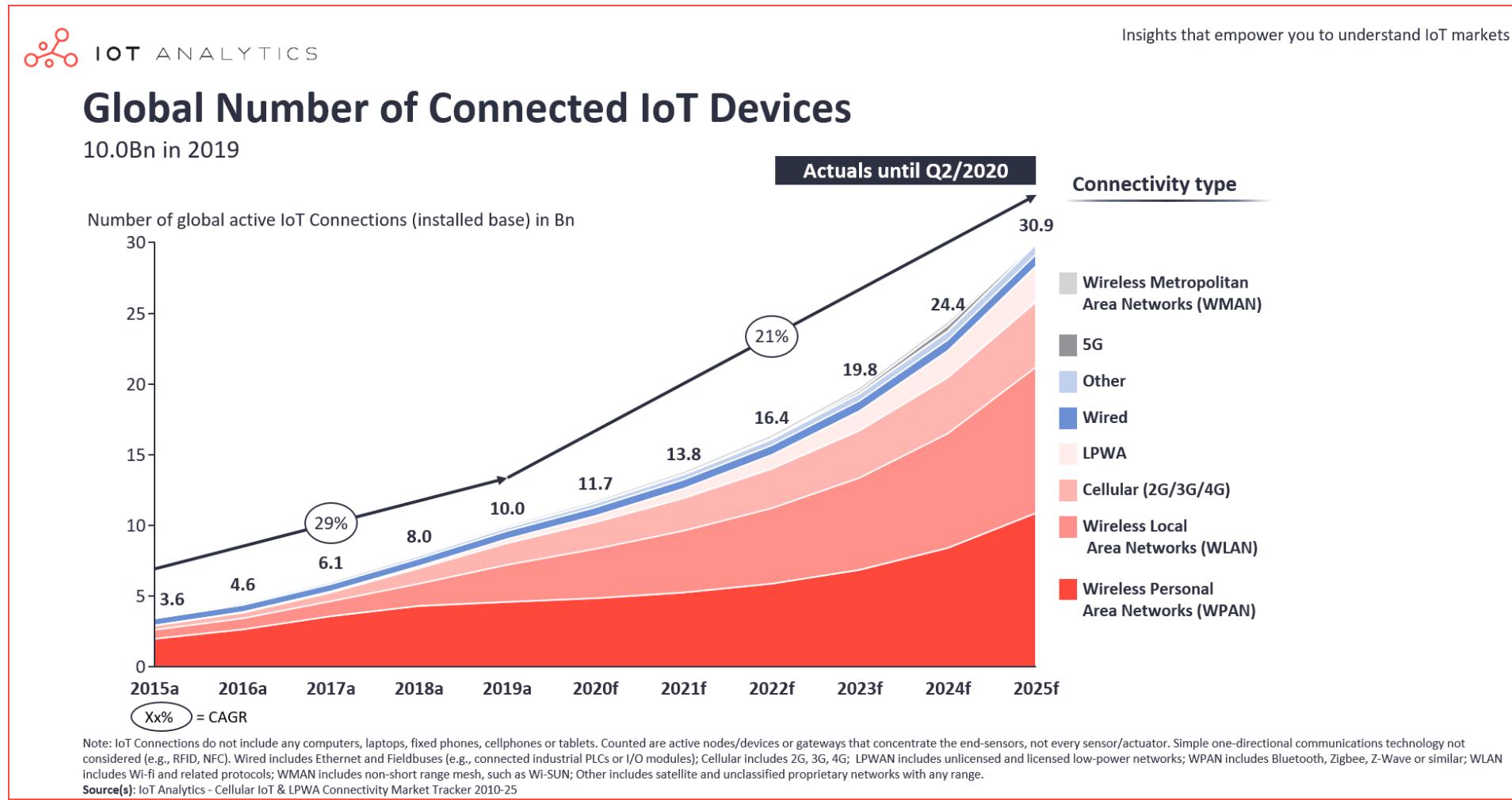
Prostorna pokrivenost!
Mnogo uređaja!

Potrošnja energije!

NB-IoT, LTE-M, 5G



Predviđanje rasta broja IoT-uređaja



Izvor: IoT Analytics
Research, 2020.

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M / IoT

Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

- pristupne mreže (engl. *access networks*)
 - skupljanje i prijenos senzorskih podataka, upravljanje aktuatorima
 - Lokalne i osobne mreže (WLAN, WPAN): Zigbee (XBee), X10, Bluetooth LE, itd.
 - Mrežne tehnologije širokog područja (LPWAN): NB-IoT, LTE-M, LoRaWAN, Sigfox
- aplikacije (engl. *end-user applications*)
 - prikaz senzorskih podataka na web aplikaciji ili aplikaciji za pokretne uređaje
 - HTTP, CoAP, MQTT, XMPP, itd.
- upravljanje uređajima (engl. *device management*)
 - konfiguracija uređaja, prijava grešaka u radu
 - OMA-DM, TR-069, LWM2M, itd.

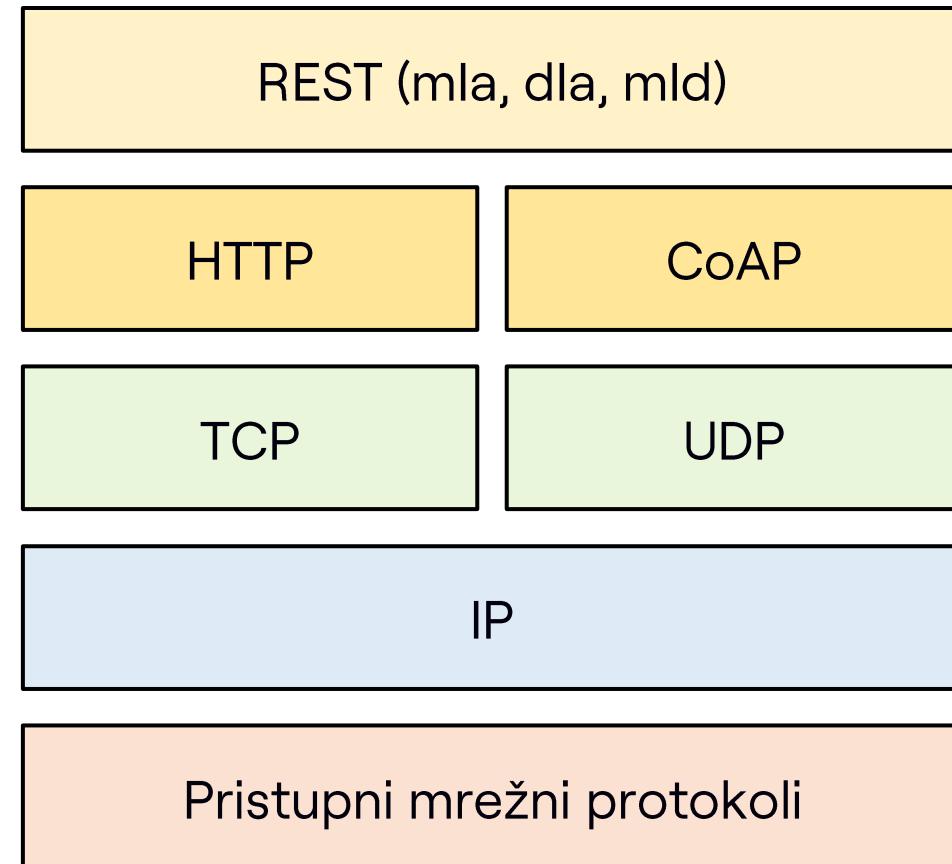
Paradigma REST

- *REpresentational State Transfer*
- autor: Roy Fielding (2000.)
 - vrsta softverske paradigme za raspodijeljene komunikacijske sustave
 - sastoji se od minimalno dva entiteta: klijenta koji šalje zahtjev i poslužitelja koji nakon obrade zahtjeva vraća odgovor klijentu
 - zahtjevi i odgovori zasnovani su na prijenosu reprezentacije resursa
 - resurs može biti bilo kakav tip podatka koji mora imati jedinstvenu adresu

Paradigma REST – Obilježja

- zasniva se na sljedećim obilježjima:
 - model klijent-poslužitelj (engl. *client-server*)
 - ne pamti stanje (engl. *stateless*)
 - priručna memorija (engl. *cacheable*)
 - slojeviti sustav (engl. *layered system*)
 - trenutna izgradnja koda (engl. *code on demand*)
 - uniformno sučelje (engl. *uniform interface*)
- CRUD:
 - create, read, update and delete

Paradigma REST – Protokolni složaj



Protokol HTTP

HyperText Transfer Protocol

- aplikacijski protokol
 - HTTP verzija 1.1 (RFC 2616, 6/1999)
 - HTTP verzija 2 (HTTP/2) (RFC 7540, 5/2015)
 - HTTP verzija 3 u izradi (zasnovan na draftu „Hypertext Transfer Protocol (HTTP) over QUIC“)
- definira format i način razmjene poruka
- tekstualan zapis, sličan formatu e-mail poruke i MIME-standarda
- vrste poruka:
 - zahtjev (engl. *request*)
 - odgovor (engl. *response*)

Protokol HTTP – Poruke

```
GET /index.html HTTP/1.1  
Host: www.example.com
```

HTTP zahtjev

```
HTTP/1.1 200 OK  
Date: Mon, 23 May 2005 22:38:34 GMT  
Server: Apache/1.3.3.7 (Unix) (Red-Hat/Linux)  
Last-Modified: Wed, 08 Jan 2003 23:11:55 GMT  
ETag: „3f80f-1b6-3e1cb03b”  
Content-Type: text/html; charset=UTF-8  
Content-Length: 138  
Accept-Ranges: bytes  
Connection: close
```

```
<html>  
<head><title>An Example Page</title></head>  
<body>Hello World, this is a very simple HTML  
document.</body>  
</html>
```

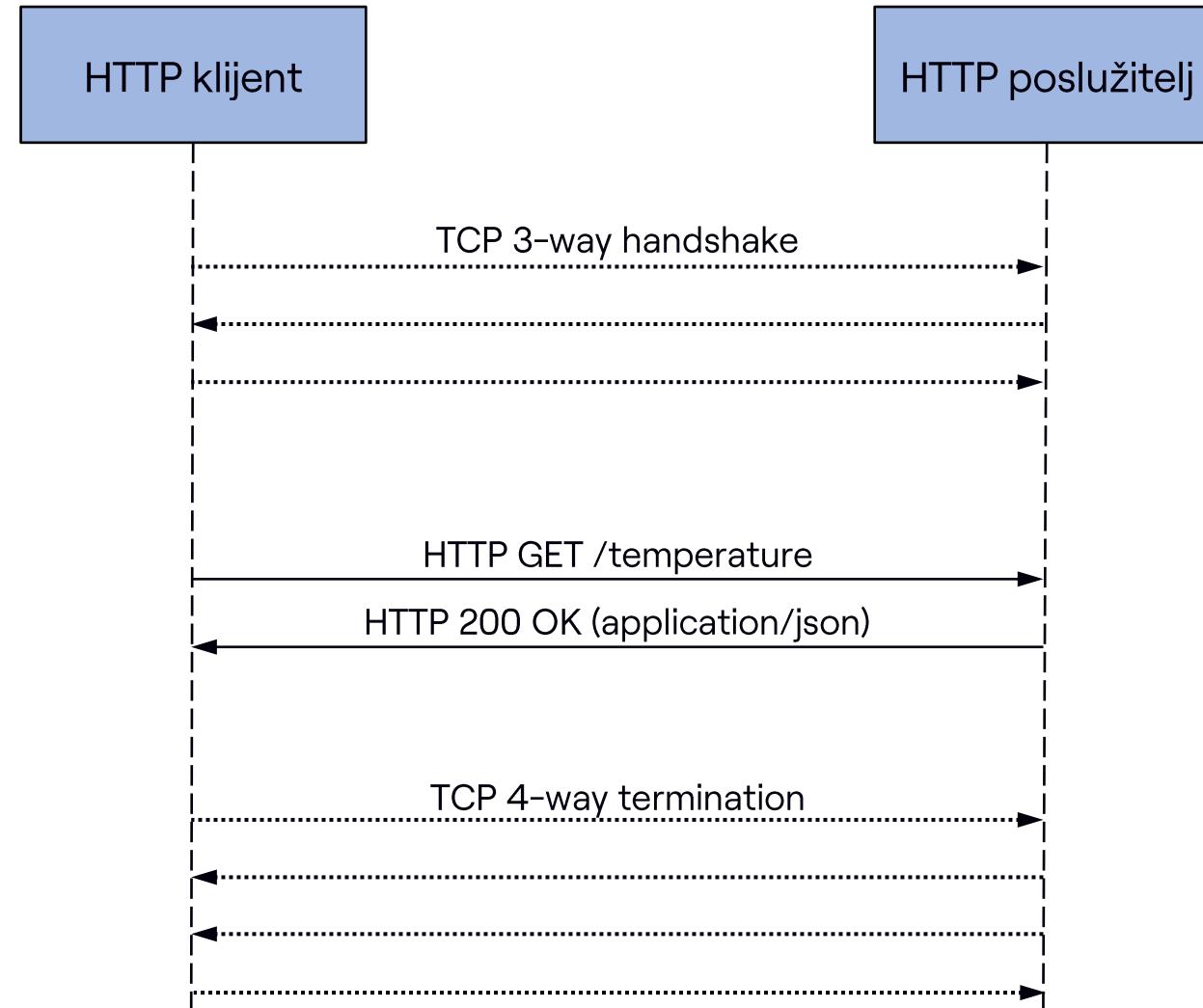
HTTP odgovor

Protokol HTTP – URI

- Universal Resource Identifier (URI)
 - jedinstveni identifikator resursa (RFC 3986, 1/2005)
- Universal Resource Name (URN):
 - identificira resurs po imenu u određenom prostoru imena
- Universal Resource Locator (URL):
 - sadrži shemu, ime ili IP-adresu poslužitelja, broj porta, putanju te po potrebi još upit

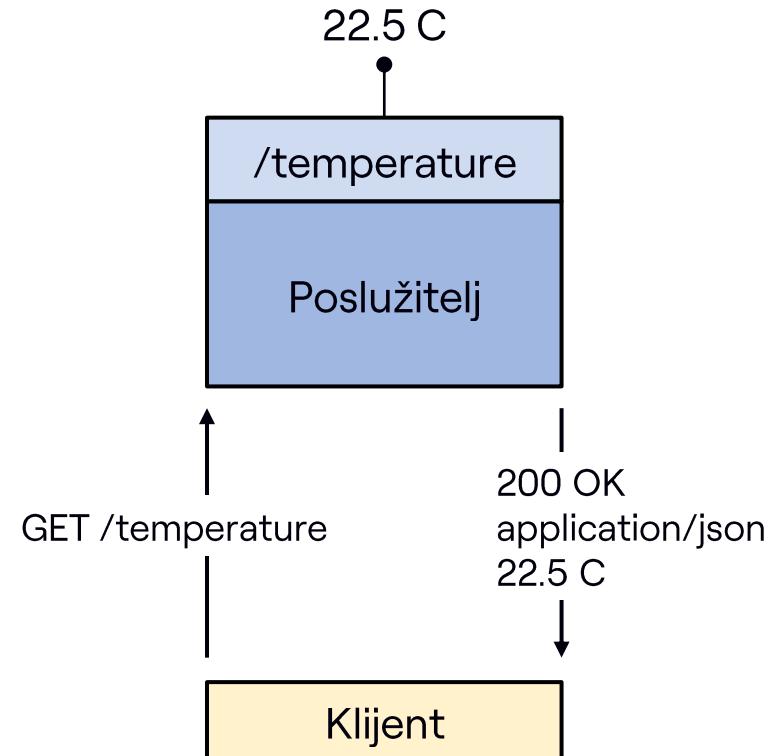


Protokol HTTP – Tijek komunikacije



Protokol HTTP – REST

- podrška za CRUD: POST/GET/PUT/DELETE
- tipovi podataka (RFC 6838, 1/2013)
- Primjer:



Protokol CoAP

Constrained Application Protocol

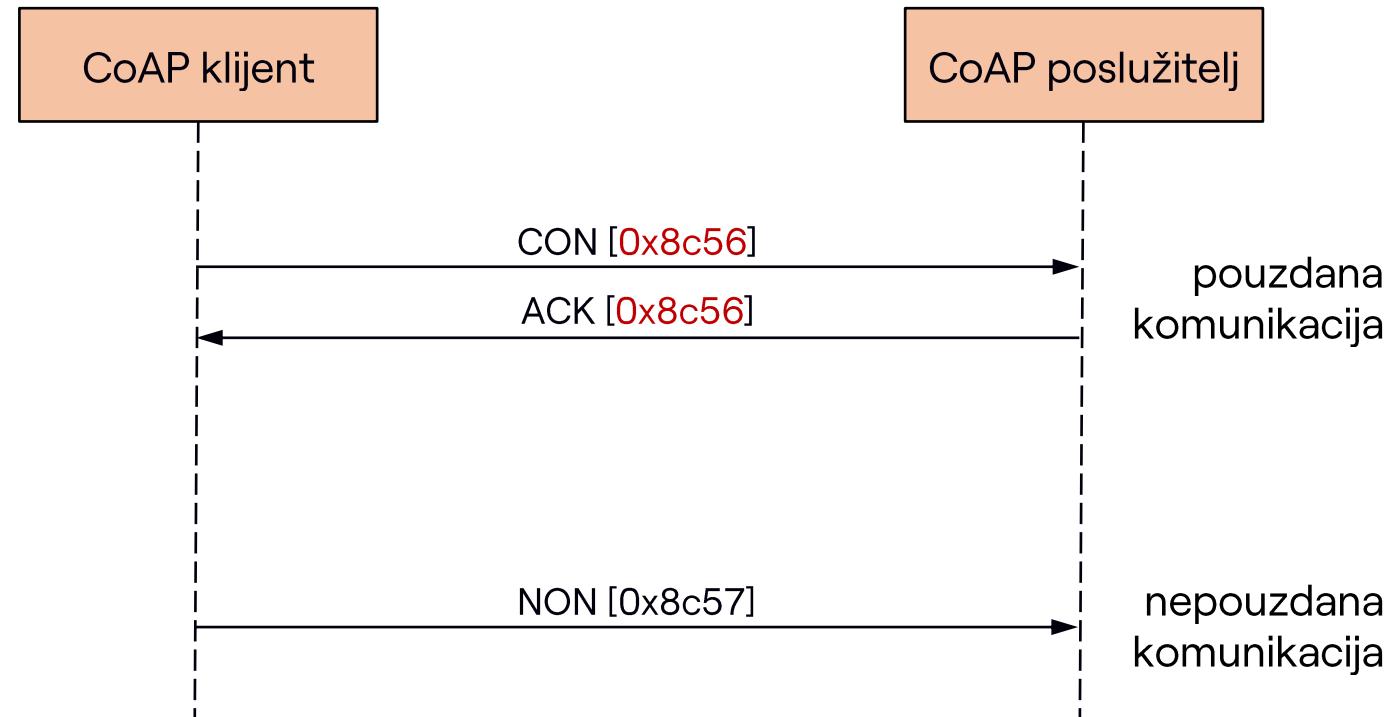
- aplikacijski protokol
 - definiran u RFC 7252 (6/2014)
- vrlo učinkovit RESTful protokol
- idealan za uređaje s manjom potrošnjom energije
- specijaliziran za M2M/IoT aplikacije
- podrška za višeodredišno razašiljanje
- jednostavna translacija u/iz protokola HTTP

Protokol CoAP – Obilježja

- **Obilježja:**
 - ugrađena podrška za web-prijenos (*coap://*)
 - jednostavno zaglavlje (4 byte) s puno opcionalnih polja
 - asinkrona razmjena poruka
 - koristi protokol UDP na transportnom sloju (podrška za *unicast* i *multicast* komunikaciju)
 - podrška za URI i CRUD (koristi slični skup metoda kao i HTTP, te slične statusne kôdove) → jednostavna translacija iz/u HTTP
 - sigurnost: protokol DTLS (*Datagram Transport Layer Security*)
 - dodatne opcije u prijenosu: *Observe* (*pub / sub*) i *Block* (fragmentacija)

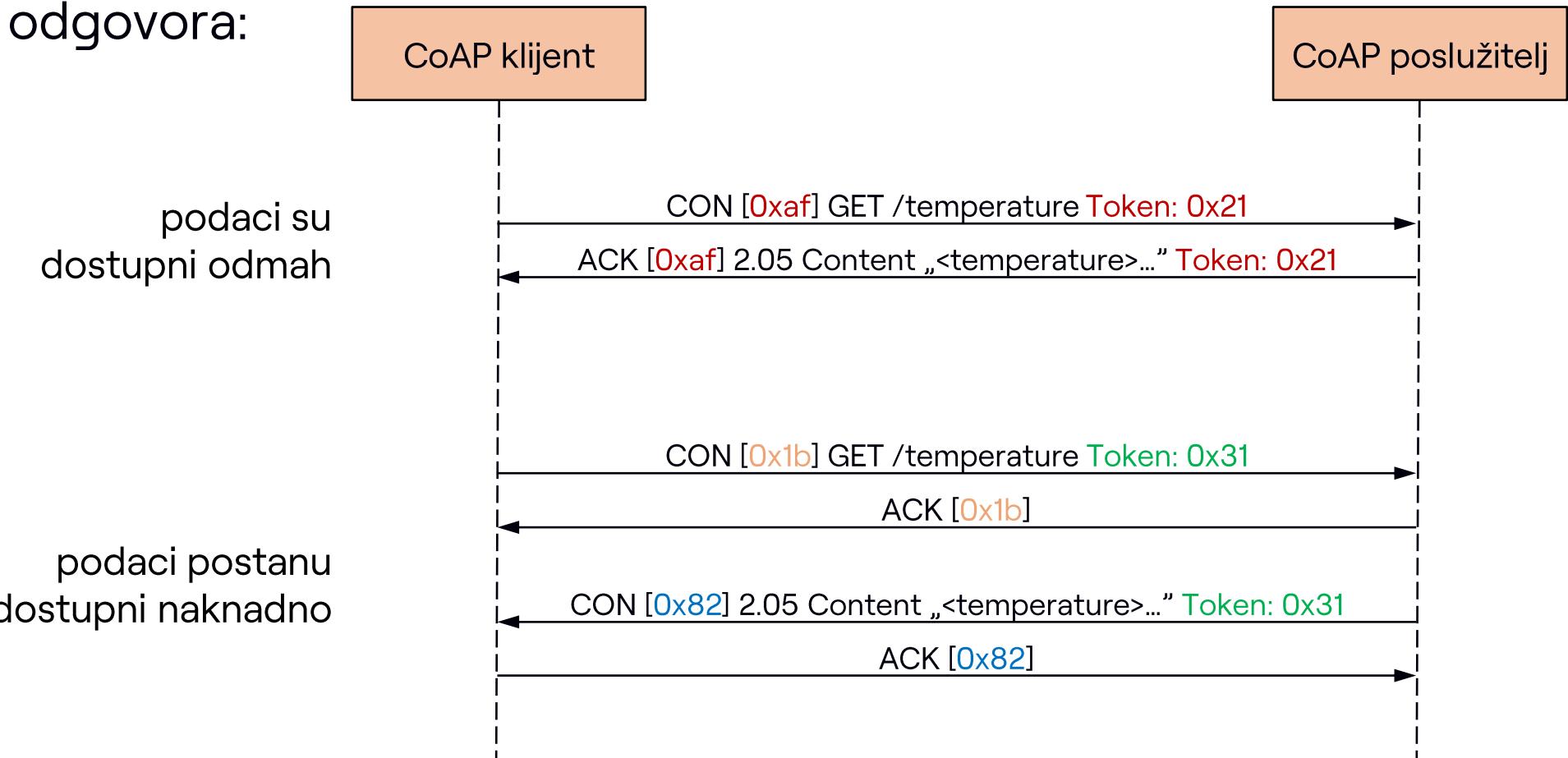
Protokol CoAP – Poruke

- četiri tipa poruka: CON (*Confirmable*), NON (*Non-confirmable*), ACK (*Acknowledgement*), RST (*Reset*)
- dvije vrste slanja podataka: pouzdan ili nepouzdan način



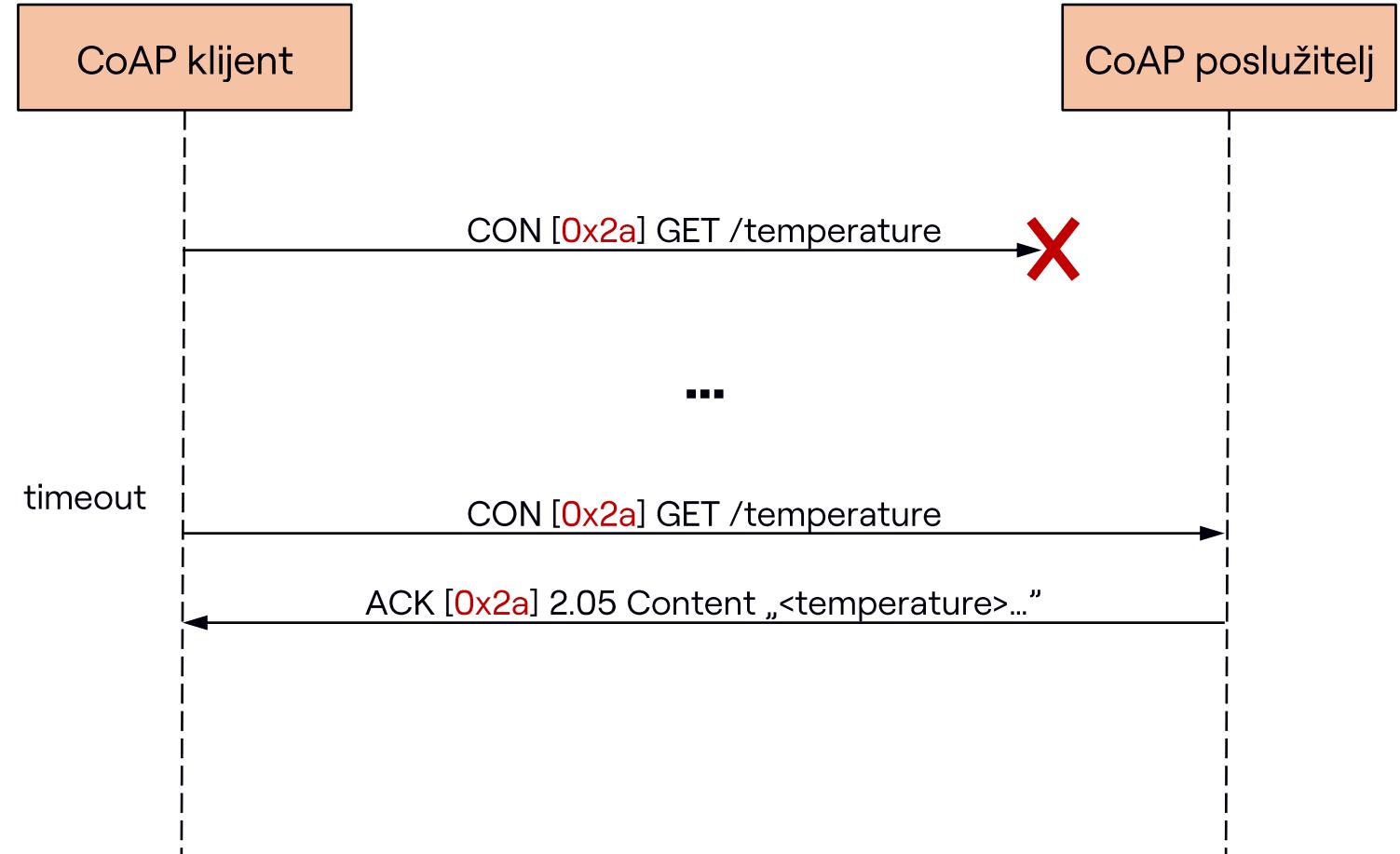
Protokol CoAP – Tijek komunikacije

- dvije vrste odgovora:



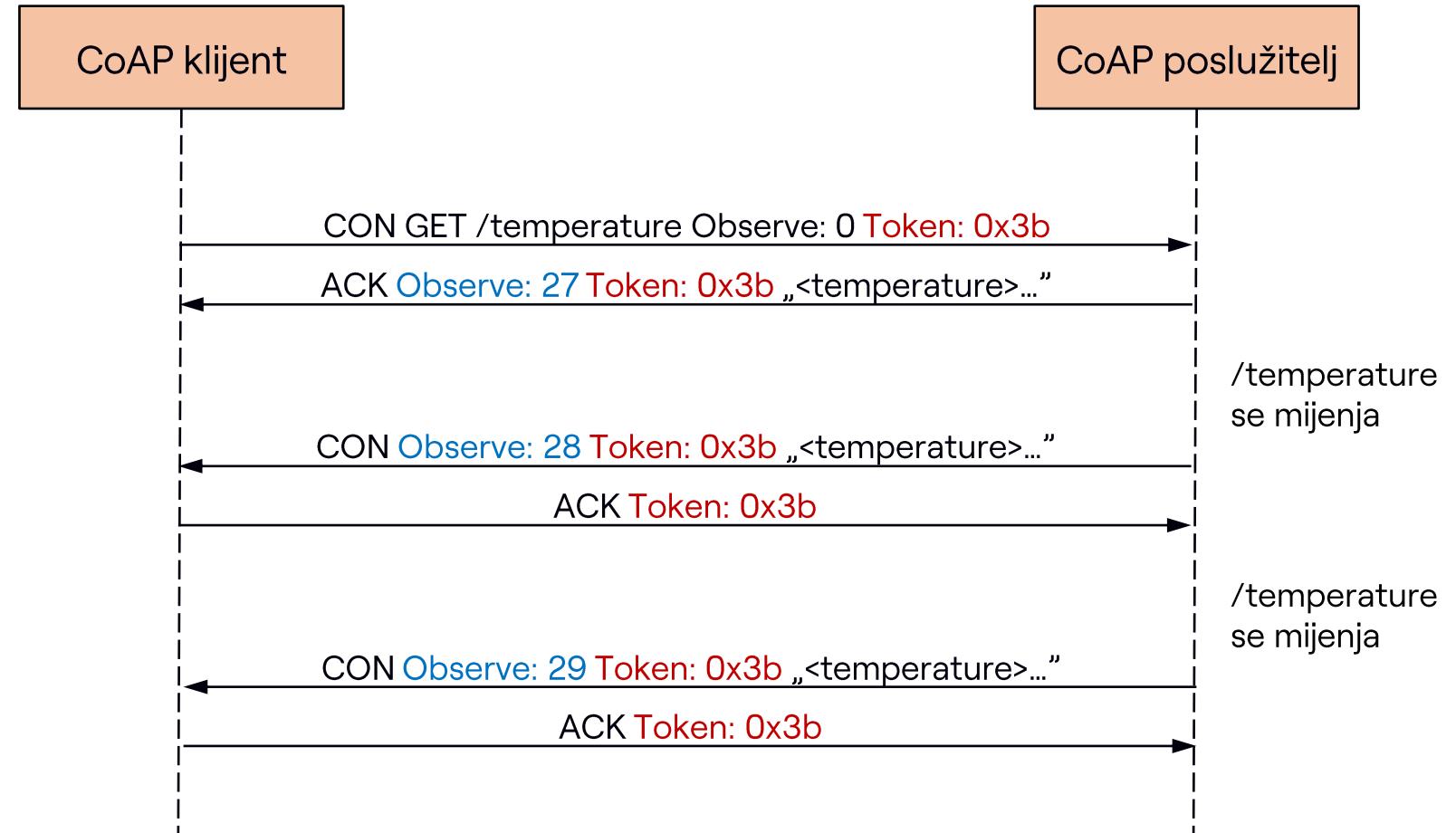
Protokol CoAP – Greška u prijenosu

- greška u prijenosu:



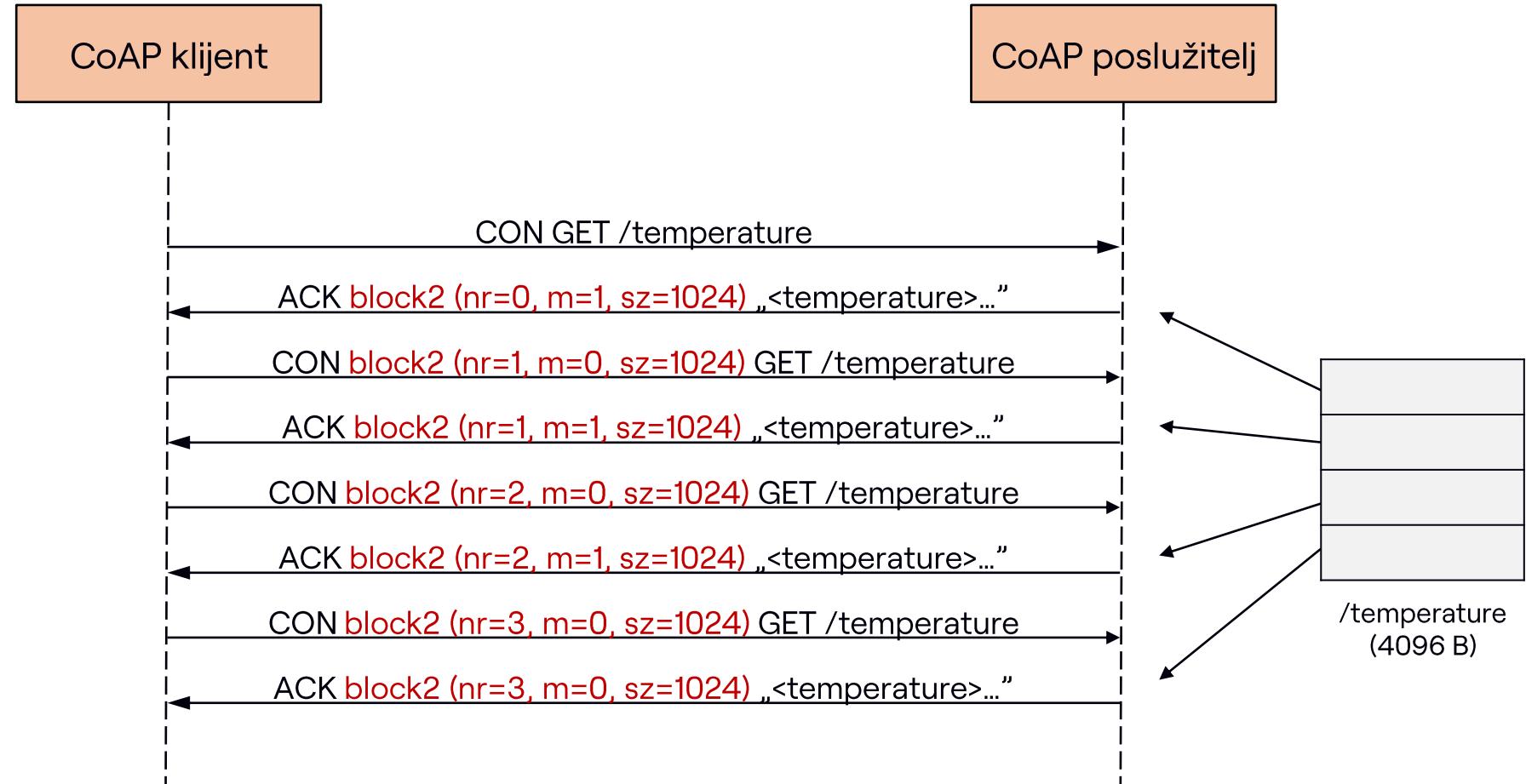
Protokol CoAP – Observe

- polje *Observe*:



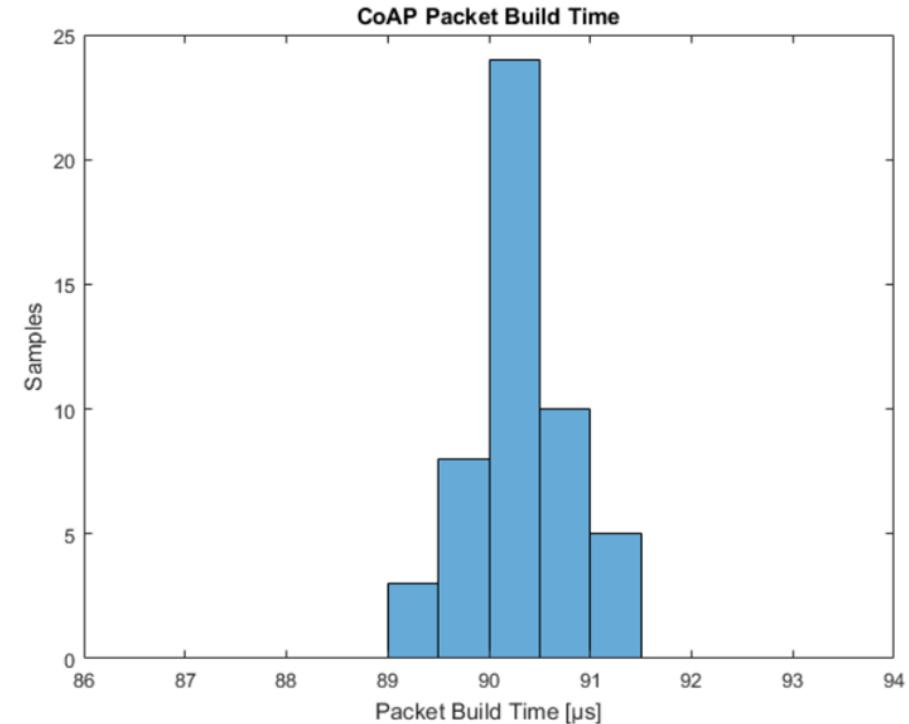
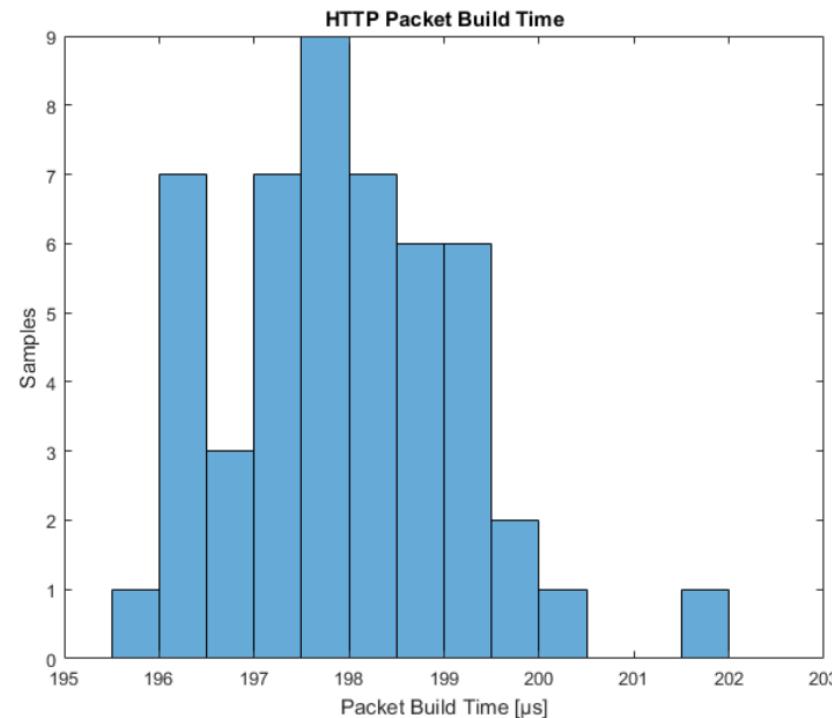
Protokol CoAP – Block

- polje *Block*:



Usporedba: HTTP–CoAP

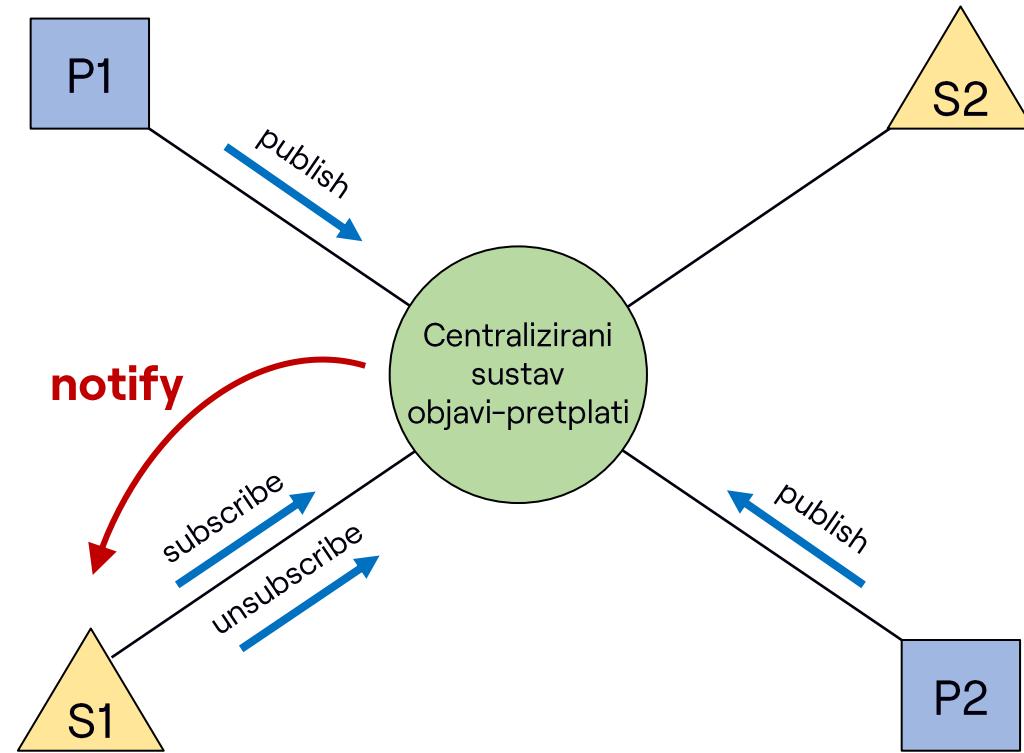
- Vrijeme stvaranja paketa



Izvor: D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017

Paradigma Objavi-Pretplati (1)

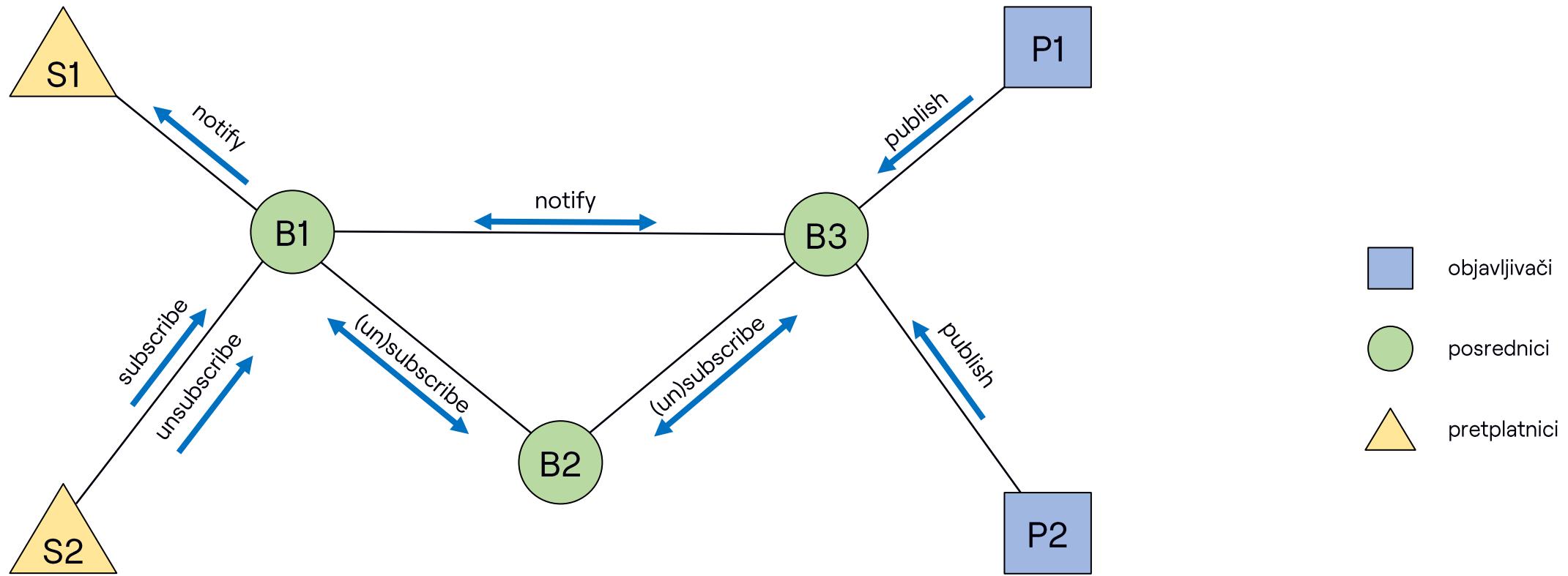
- centralizirana arhitektura:



(Izvor: *Raspodijeljeni sustavi – 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi-pretplati, dijeljeni podatkovni prostor, FER, 2018./2019.*)

Paradigma Objavi-Pretplati (2)

- raspodijeljena arhitektura:



(Izvor: Raspodijeljeni sustavi – 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi-preplatni, dijeljeni podatkovni prostor, FER, 2018./2019.)

Protokol MQTT

- nekada: *MQ (message queuing) Telemetry Transport*
- aktualna verzija: MQTT v5.0 (OASIS Standard, 5/2018)
- zasniva se na arhitekturi objavi-preplati i izvodi se preko konekcije temeljene na protokolnom složaju TCP/IP
- namijenjen je za rad na uređajima s:
 - malom procesorskom i memorijskom snagom
 - baterijama malog kapaciteta
 - niskim prijenosnim brzinama
 - ali potencijalno visokim kašnjenjem i promjenjivom dostupnošću

Protokol MQTT – Entiteti

- entiteti:
 - MQTT poslužitelj (broker): posreduje u prijenosu poruka između klijenata-objavljavača i klijenata-preplatnika
 - prihvaca konekcije od klijenata
 - prihvaca poruke koje objavljaju klijenti-objavljavači
 - prosljeđuje poruke klijentima-preplatnicima
 - obrađuje zahtjeve klijenata za početkom odnosno krajem pretplate na temu
 - gasi konekcije klijenata prema poslužitelju
 - klijenti: razlikuju se klijenti-objavljavači i klijenti-preplatnici
 - spajaju se na poslužitelja
 - objavljaju poruke u temama
 - pretplaćuju se na određenu temu odnosno ukidaju pretplatu na temu
 - gase konekciju prema poslužitelju

Protokol MQTT – QoS

- tri QoS (*Quality of Service*) razine MQTT poruka:

QoS 0	isporuka najviše jedan put (engl. <i>at most once delivery</i>)
QoS 1	isporuka barem jedan put (engl. <i>at least once delivery</i>)
QoS 2	isporuka točno jedan put (engl. <i>exactly once delivery</i>)

- tipovi MQTT poruka:

Tip poruke	Objašnjenje
CONNECT	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za stvaranjem konekcije
CONNACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o konekciji
PUBLISH	Slanje poruke
PUBACK	Potvrda o slanju poruke
PUBREC	Potvrda o primanju poruke
PUBREL	Potvrda o otpuštanju poruke
PUBCOMP	Potvrda o uspješnom slanju poruke

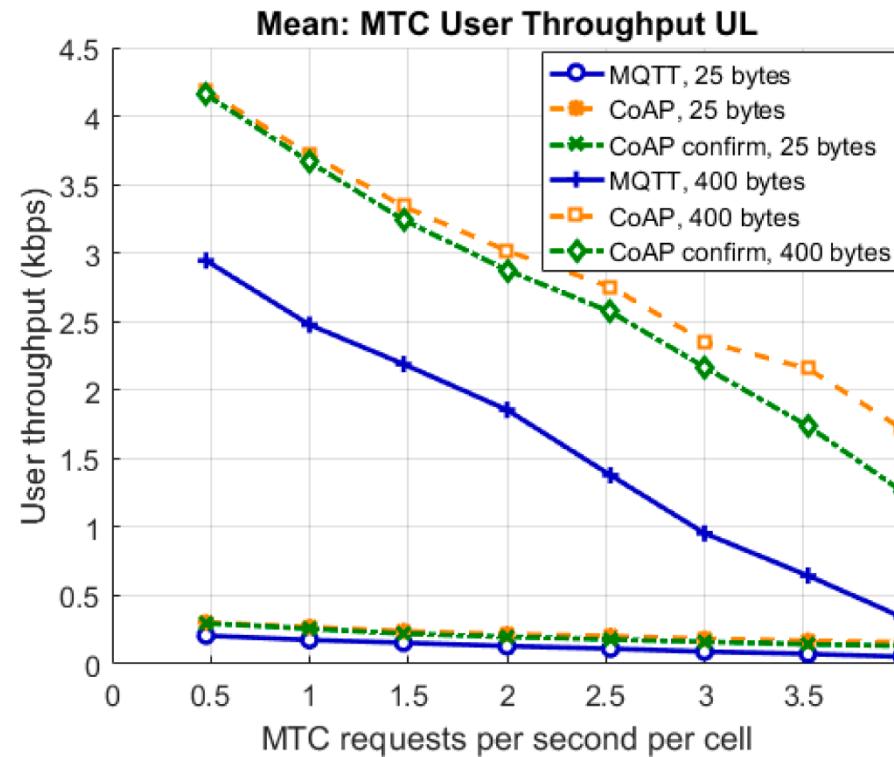
Protokol MQTT – Poruke

- tipovi MQTT poruka (nastavak):

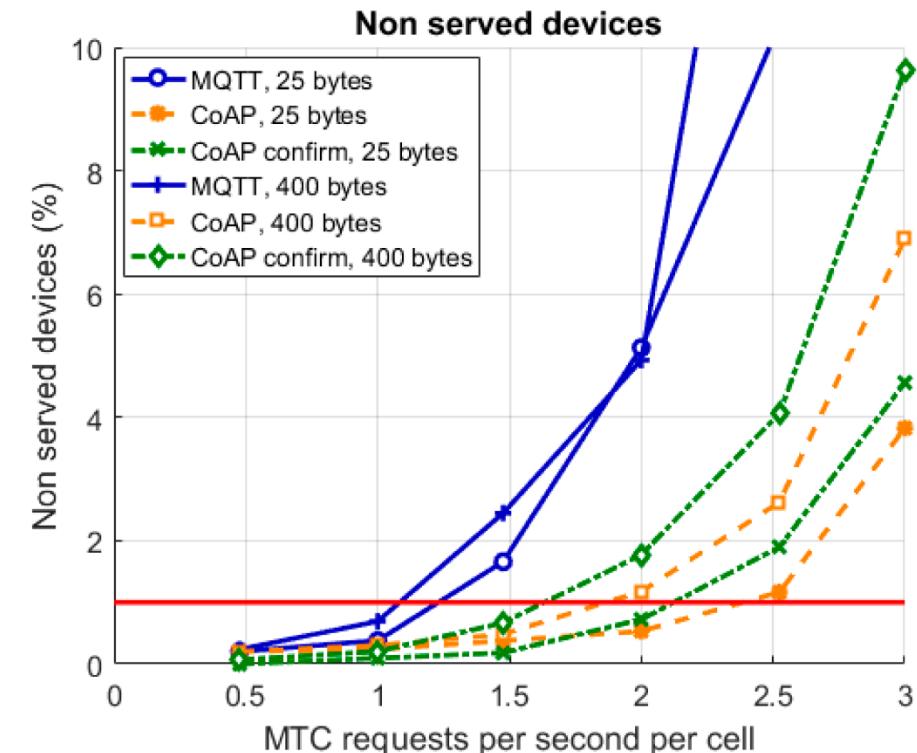
Tip poruke	Objašnjenje
SUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za pretplatom
SUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o pretpлатi
UNSUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za ukidanjem preplate
UNSUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o ukidanju preplate
PINGREQ	Klijent šalje poslužitelju zahtjev PING
PINGRESP	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o zahtjevu PING
DISCONNECT	Klijent javlja poslužitelju da ukida stvorenu konekciju
AUTH	Razmjena informacije o autentifikaciji između klijenta i poslužitelja

Usporedba: CoAP-MQTT

- Propusnost



- Broj odbačenih zahtjeva



Izvor: A. Larmo, A. Ratilainen, J. Saarinen, *Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance*, Sensors 19 (1), 2018

Aplikacijski protokoli: Zaključak

- HTTP vs. CoAP
 - HTTP je osnova weba i kao takav sigurno neće biti zamijenjen CoAP-om
 - nova verzija protokola HTTP uvodi kompresiju zaglavja te podršku za *push* s poslužiteljske strane
 - CoAP osigurava financijske uštede zbog efikasnije komunikacije s velikim brojem uređaja i njihove smanjene potrošnje baterija
 - protokol CoAP nudi veću fleksibilnost (Observe, Block)

Literatura

- Jyrki T.J. Penttinen, 5G Explained, Wiley, 2019
- Sassan Ahmadi, 5G NR, Academic Press, 2019
- IETF RFC 4960 – Stream Control Transmission Protocol, 2007,
URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4960>

Literatura

- 3GPP Technical Report 22.868, v8.0.0, 3GPP, 2007.
- G. Lawton: Machine-to-Machine Technology Gears Up for Growth, IEEE Computer, vol. 37(9), pp. 12–15, 2004.
- oneM2M - Standards for M2M and the Internet of Things, <http://www.onem2m.org/about-onem2m/why-onem2m>
- oneM2M Technical Specification TS-0001-V1.6.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Specification TS-0002-V1.0.1, oneM2M, 2015.
- oneM2M Technical Report TR-0009-V0.7.0, oneM2M, 2014.
- Roy T. Fielding: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, doctoral thesis, University of California, Irvine, 2000.
- M. Belshe, R. Peon i M. Thomson: Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2), RFC 7540, 2015.
- T. Berners-Lee, R. Fielding i L. Masinter: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax, RFC 3986, 2005.
- ARM IoT Tutorial – CoAP: The Web of Things Protocol, Zach Shelby, 2014.

Literatura

- Z. Shelby, K. Hartke i C. Bormann: The Constrained Application Protocol (CoAP), RFC 7252, 2014.
- A. Castellani, S. Loreto, A. Rahman, T. Fossati i E. Dijk: Guidelines for HTTP-CoAP Mapping Implementations, draft-ietf-core-http-mapping-07, 2015.
- MQTT Version 5.0, OASIS Standard, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/cs02/mqtt-v5.0-cs02.pdf>, 2018.
- P. Saint-Andre: Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP): Core, RFC 6120, 2011.
- Jabber.org, <http://www.jabber.org/>
- Tatio Levä: Feasibility analysis of new Internet protocols, doctoral thesis, Aalto University, 2014.
- Komunikacijske mreže – 10. Internetske usluge: World Wide Web, Elektronička pošta, FER, 2018./2019.
- D. Wildmark, J. Tengvall, *Designing Applications for use of NB-IoT*, Bachelor thesis, Malmö University, 2017
- Raspodijeljeni sustavi – 3. Procesi i komunikacija: komunikacija porukama, model objavi pretplati, dijeljeni podatkovni prostor, FER, 2018./2019.

Literatura

- A. Larmo, A. Ratilainen, J. Saarinen, Impact of CoAP and MQTT on NB-IoT system performance, Sensors 19 (1), 2018
- OMA Device Management Protocol (2016), http://www.openmobilealliance.org/release/DM/V1_3-20160524-A/OMA-TS-DM_Protocol-V1_3-20160524-A.pdf
- Lightweight Machine to Machine Technical Specification: Core, http://openmobilealliance.org/RELEASE/LightweightM2M/V1_1-20180612-C/OMA-TS-LightweightM2M_Core-V1_1-20180612-C.pdf
- K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, F. Meyer, ICT Express, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, ICT Express 5 (1), 2019, pp. 1-7
- Izvor: NB-IoT networks – Traffic engineering and advanced wireless network planning, https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/ITU-ASP-CoE-Training-on-/Session5_NB_IoT%20networks.pdf
- Mobile IoT guide: How NB-IoT and LTE-M are helping IoT take off, <https://iot.telekom.com/resource/blob/data/177214/02ccc79436c73ed5a6632ffc04a438d6/mobile-iot-guide-2019.pdf>