

# Komunikacijski protokoli

13. 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 licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnjeg 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

- Komunikacija strojeva/uređaja (M2M)
- Internet stvari (Internet of Things – IoT)
- Komunikacijski protokoli u sustavima M2M/IoT

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

# M2M

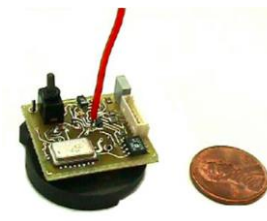
*Machine-to-Machine, M2M*

*Machine Type Communication, MTC*

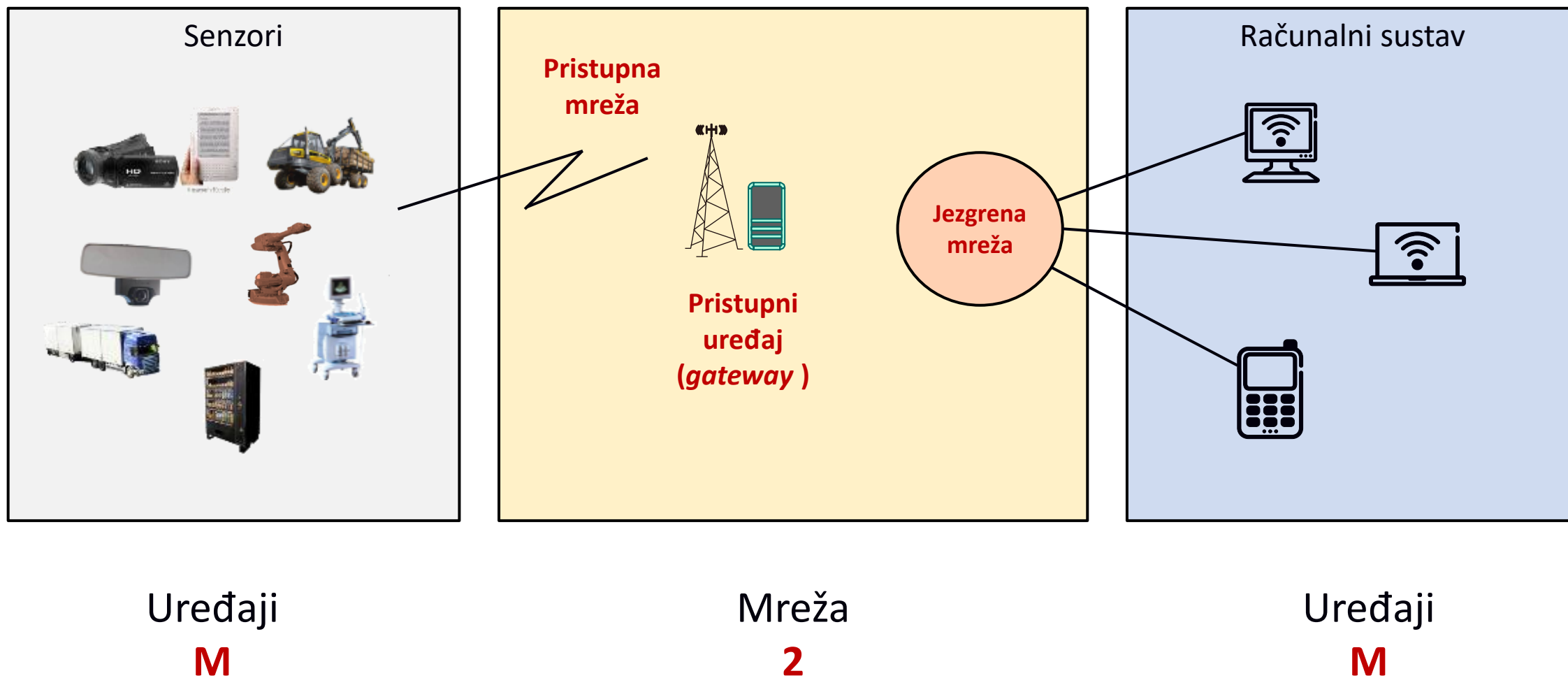
- Sustavi temeljeni na komunikaciji uređaja
  - bez, ili samo s ograničenom intervencijom čovjeka
  - jednostavni i/ili pametni (engl. *smart*) uređaji
  - komunikacija se ostvaruje različitim mrežnim tehnologijama

# 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

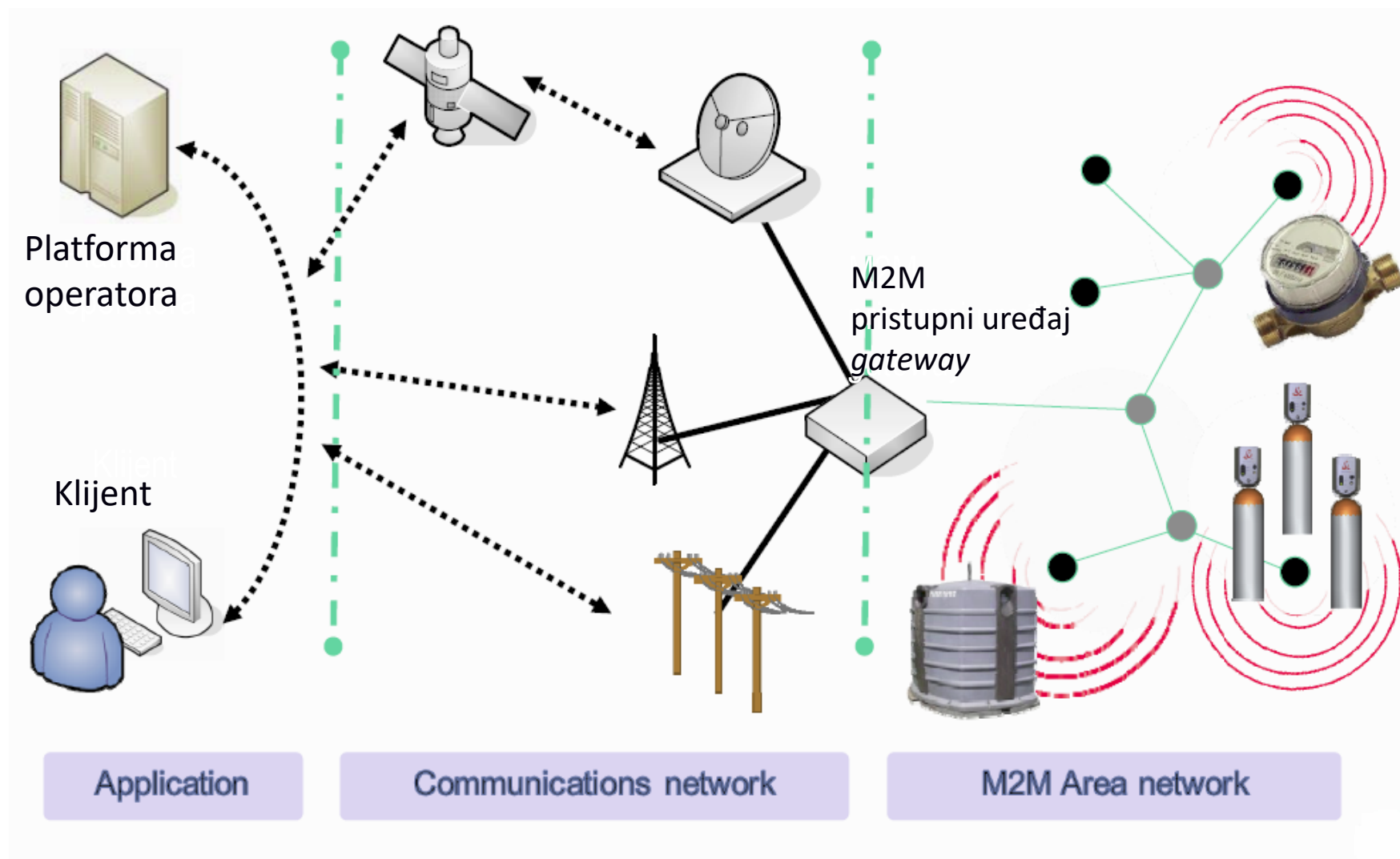


# Standardizacija

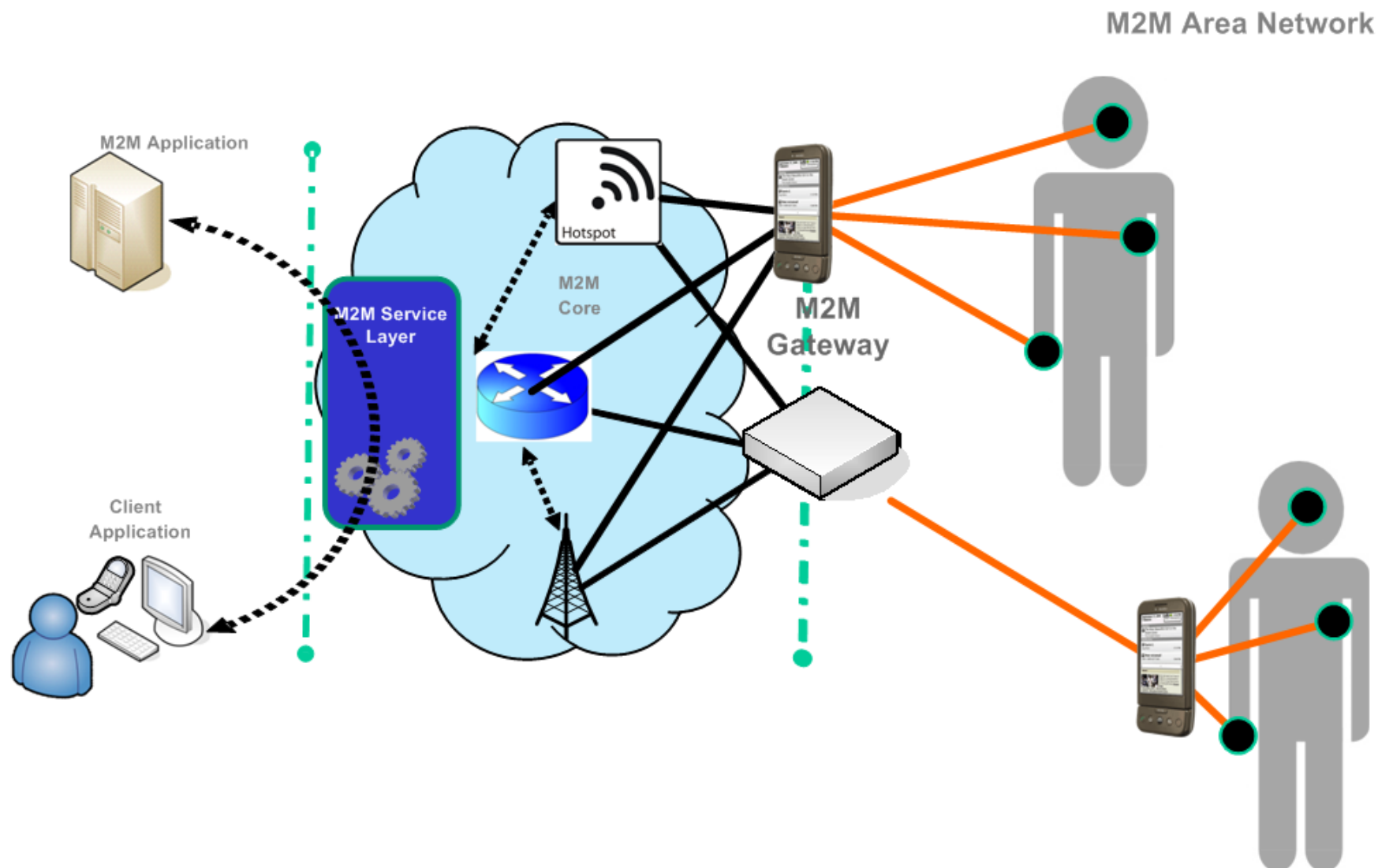
- 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
  - definira specifikaciju za pokretnu mrežu 5G
  - 3GPP koristi naziv “Machine Type Communication” (MTC)
- The European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
  - zadužen za standarde fiksne, mobilne, radio, i *konvergirane* internetske tehnologije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



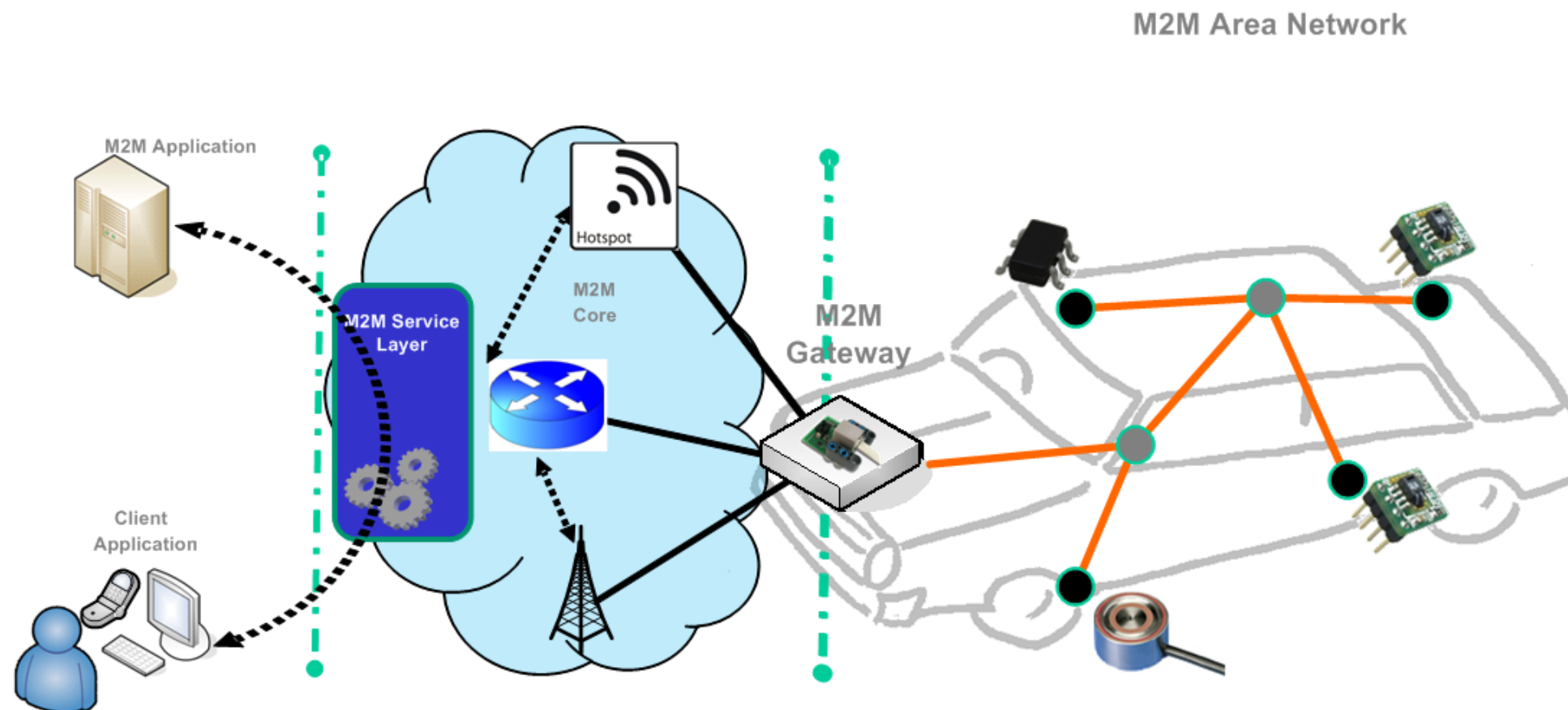
# Arhitektura prema ETSI



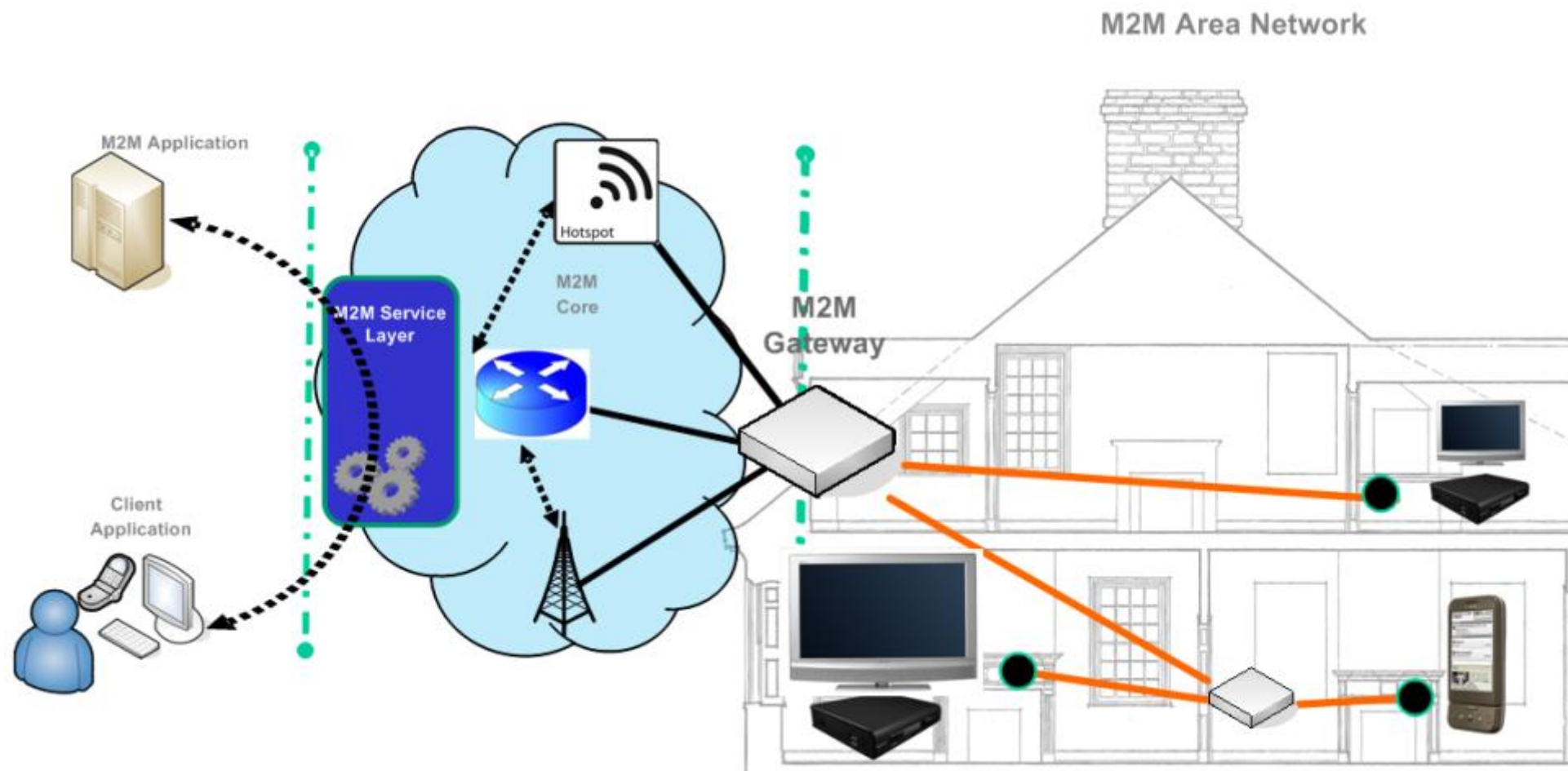
# Primjena u e-zdravstvu



# 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 Initiative, 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)

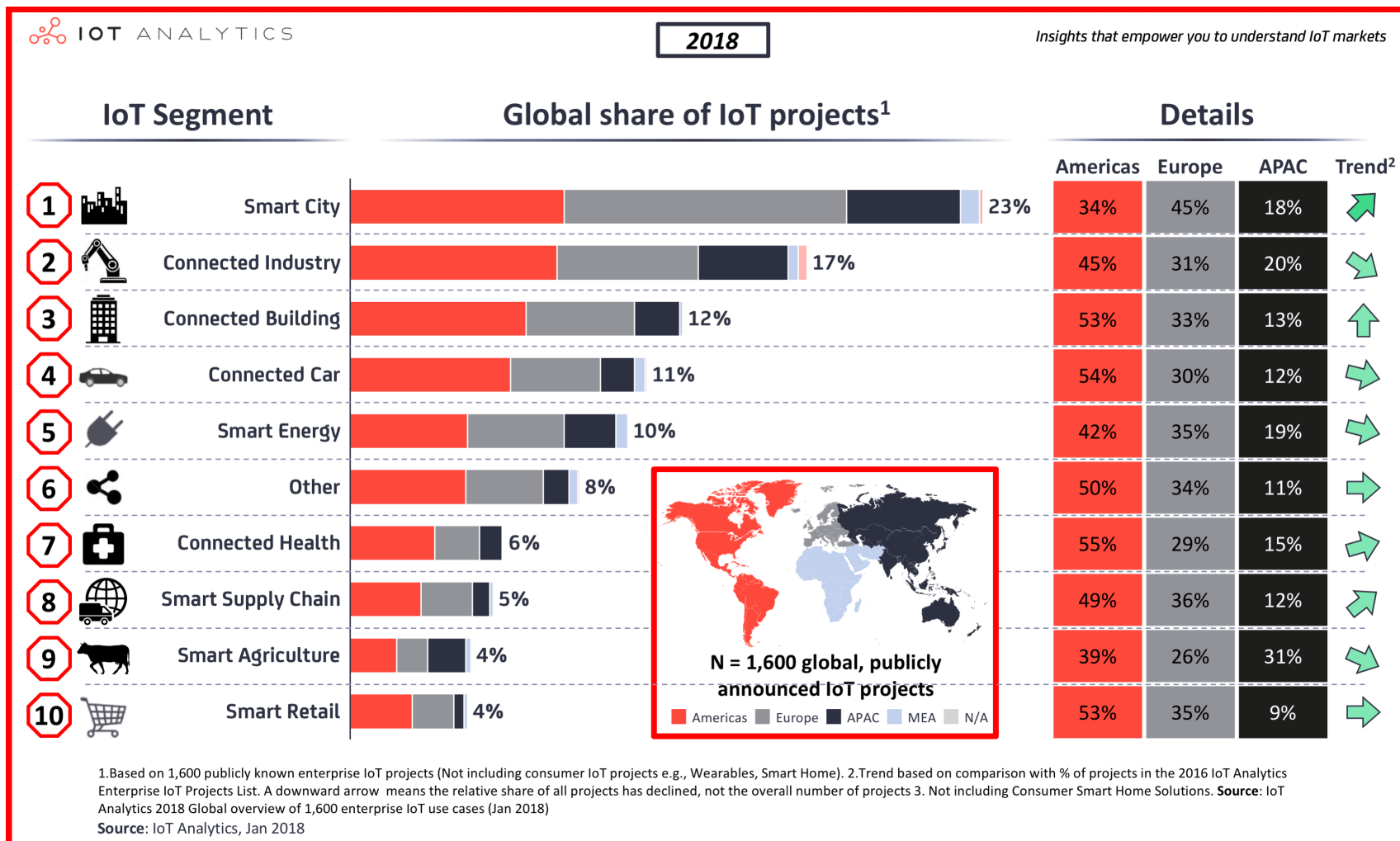
- Veoma različita područja u kojima se ostvaruju usluge, s različitim zahtjevima:
  - za industriju (energija, transport, proizvodnja, hrana i drugo),
  - izravno povezane s ljudima (medicina, zdravstvena zaštita, samostalno življenje i drugo).
- Od posebne su važnosti za IoT-usluge njihov kontinuitet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

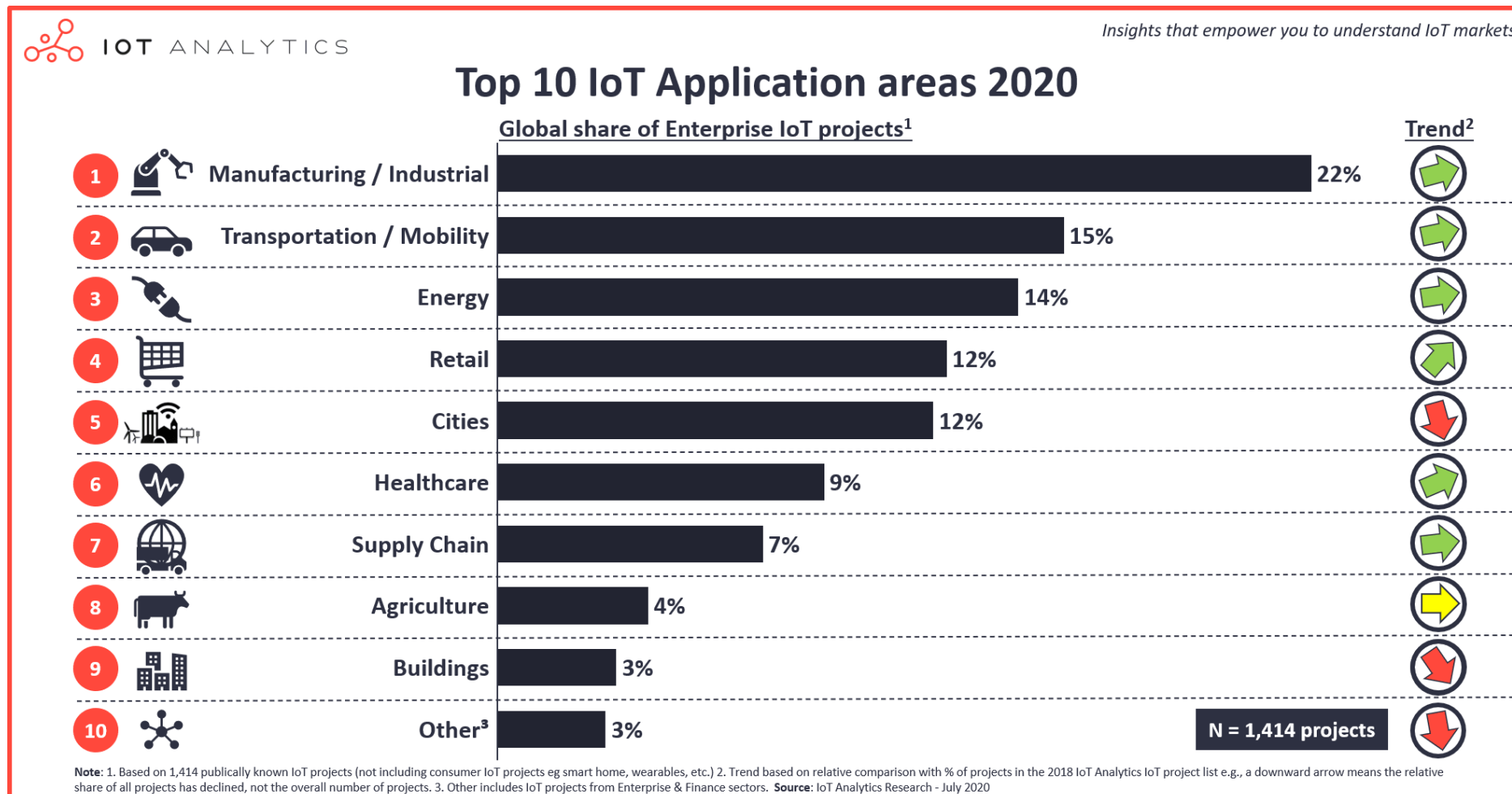
- Pametni grad (engl. *Smart City*)
- Pametno kućanstvo (engl. *Smart Home*)
- Pametna energija (engl. *Smart Energy*)
- Pametni transport (engl. *Smart Transport*)
- Pametna proizvodnja (engl. *Smart Manufacturing*)
- Pametno zdravstvo (engl. *Smart Health*)
- Pametna vlada (engl. *Smart Government*)
- 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**



Kašnjenje!

Pouzdanost!

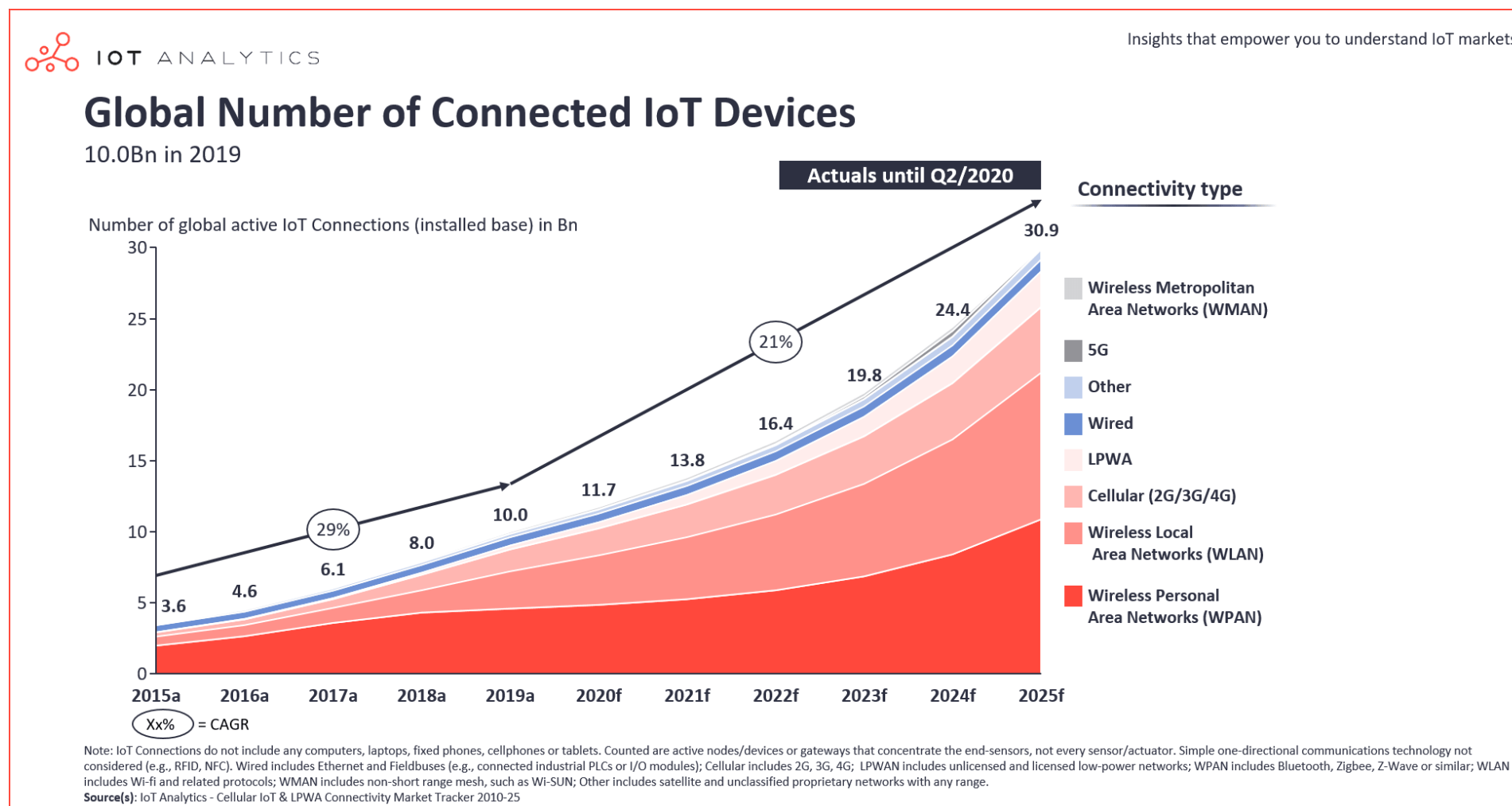
# Zahtjevi na IoT vezani uz informacijsku sigurnost i privatnost (1)

- **Tajnost:**
  - informacija nije dostupna ili izložena neovlaštenim osobama, entitetima ili procesima;
- **Cjelovitost:**
  - točnost i potpunost informacije;
- **Raspoloživost:**
  - informacija je dostupna na zahtjev i omogućeno je njeno korištenje od strane ovlaštenih osoba, entiteta ili procesa;
- **Vjerodostojnost:**
  - osoba, entitet ili proces je zaista onaj kojim se predstavlja;

# Zahtjevi na IoT vezani uz informacijsku sigurnost i privatnost (2)

- **Odgovornost:**
  - obveza izvještavanja o aktivnostima i preuzimanja odgovornosti za njih;
- **Neporicanje:**
  - sposobnost dokazivanja događaja ili aktivnosti i osoba, entiteta ili procesa koji su ih pokrenuli ili u njima sudjelovali;
- **Pouzdanost:**
  - konzistentno ponašanje i rezultati.
- **Potencijalni problemi vezani uz privatnost:**
  - mogućnost lociranja stvari predstavlja prijetnju privatnosti i kad osoba nije izravno povezana s nekom stvari,
  - posredno je moguće povezati stvar s osobom (stvar pripada osobi, stvar se nalazi u istom prostoru s osobom)

# 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.

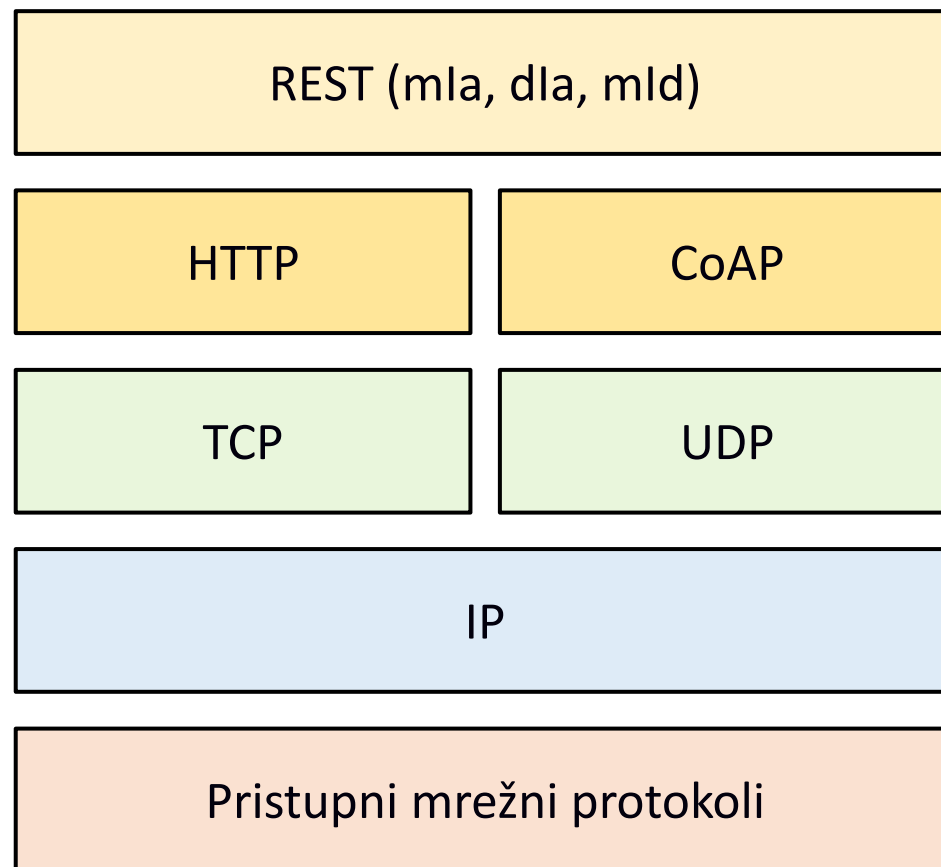
# Paradigma REST

- *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

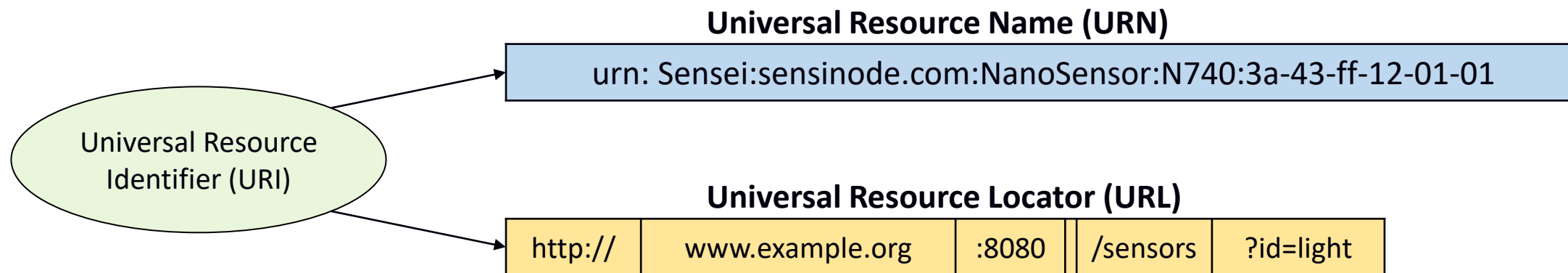
```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Mon, 23 May 2005 22:38:34 GMT
Server: Apache/1.3.3.7 (Unix) (Red-Hat/Linux)
Last-Modified: Wed, 08 Jan 2003 23:11:55 GMT
ETag: „3f80f-1b6-3e1cb03b”
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
Content-Length: 138
Accept-Ranges: bytes
Connection: close
```

HTTP odgovor

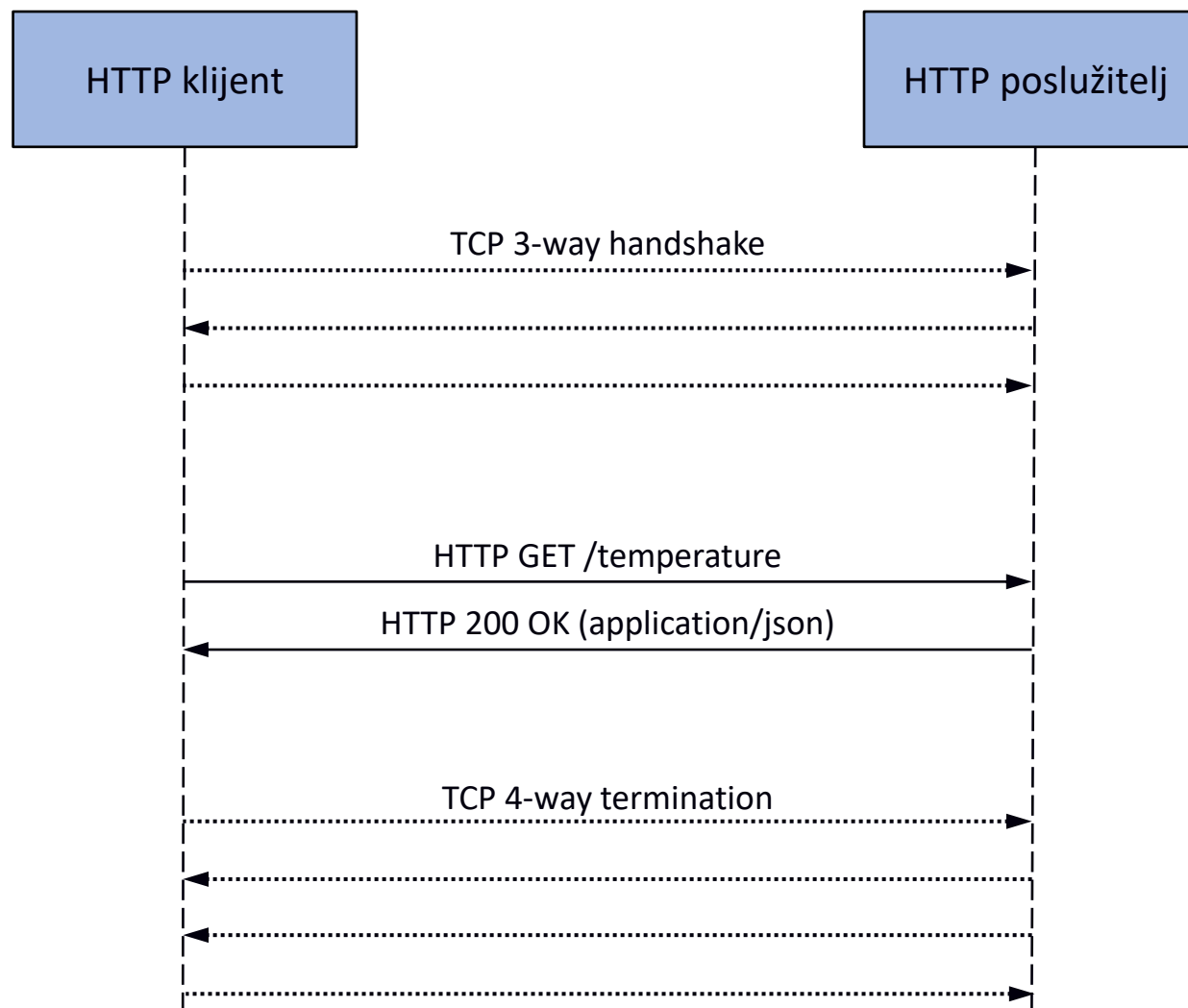
```
<html>
<head><title>An Example Page</title></head>
<body>Hello World, this is a very simple HTML
document.</body>
</html>
```

# 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



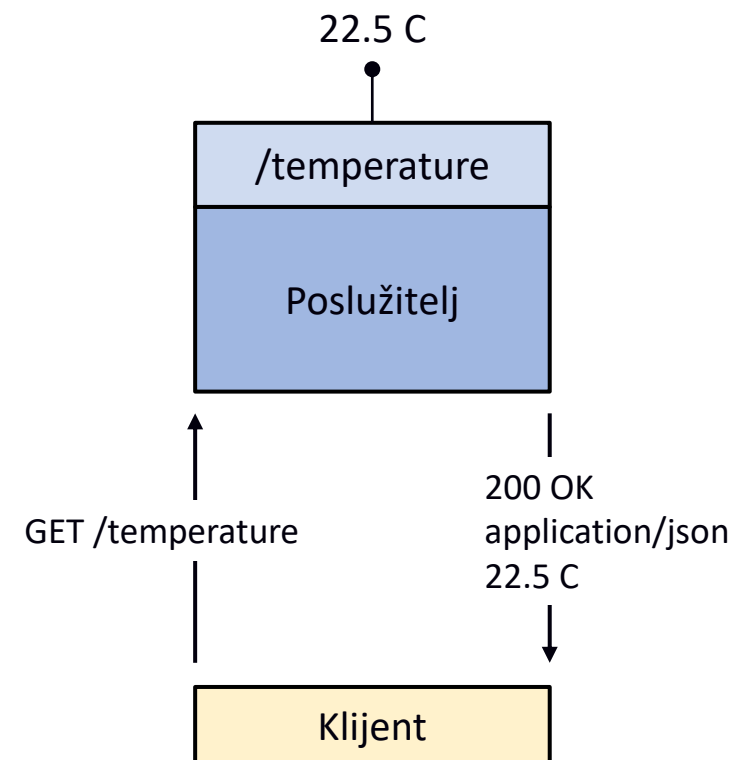
# Protokol HTTP – Tijek komunikacije





# Protokol HTTP – REST

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



# Protokol CoAP

## *Constrained Application Protocol*

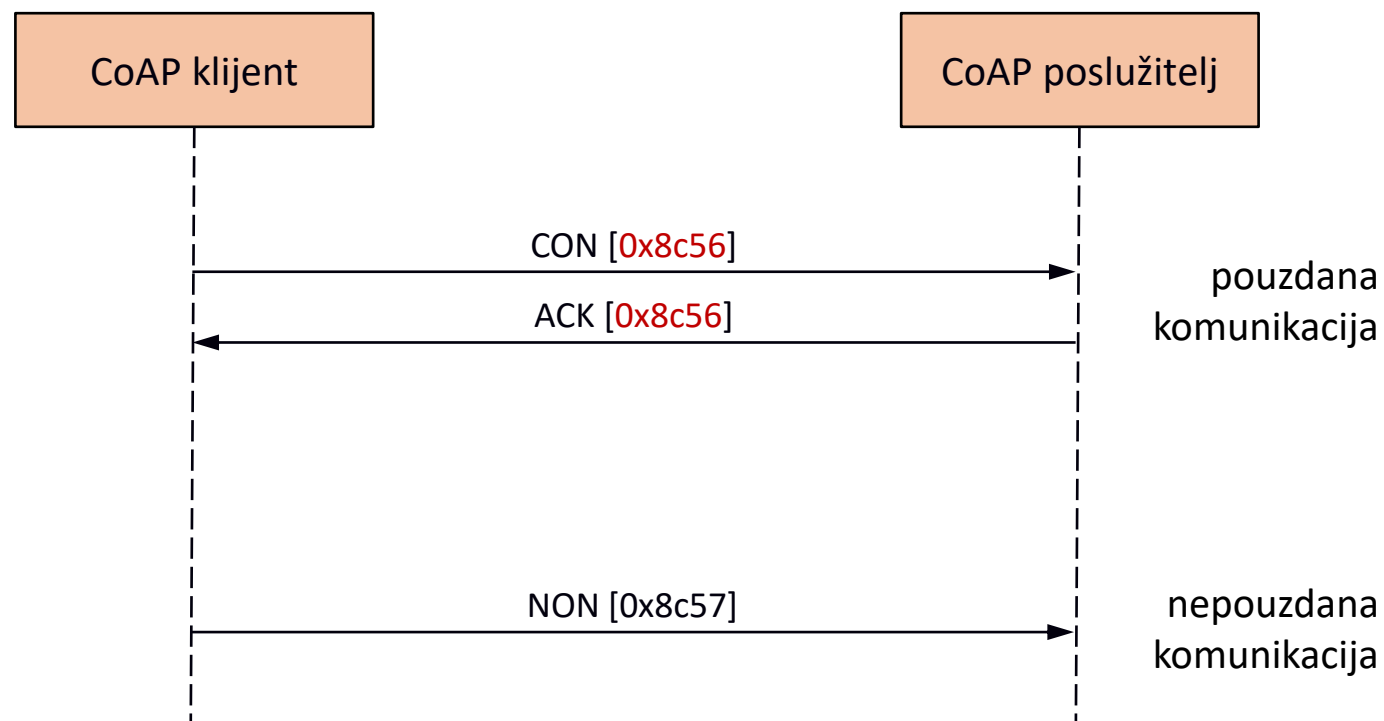
- aplikacijski protokol
  - definiran u RFC 7252 (6/2014)
- vrlo učinkovit RESTful protokol
- idealan za uređaje s manjom potrošnjom energije
- specijaliziran za M2M/IoT aplikacije
- podrška za višeodredišno razošiljanje
- jednostavna translacija u/iz protokola HTTP

# 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)

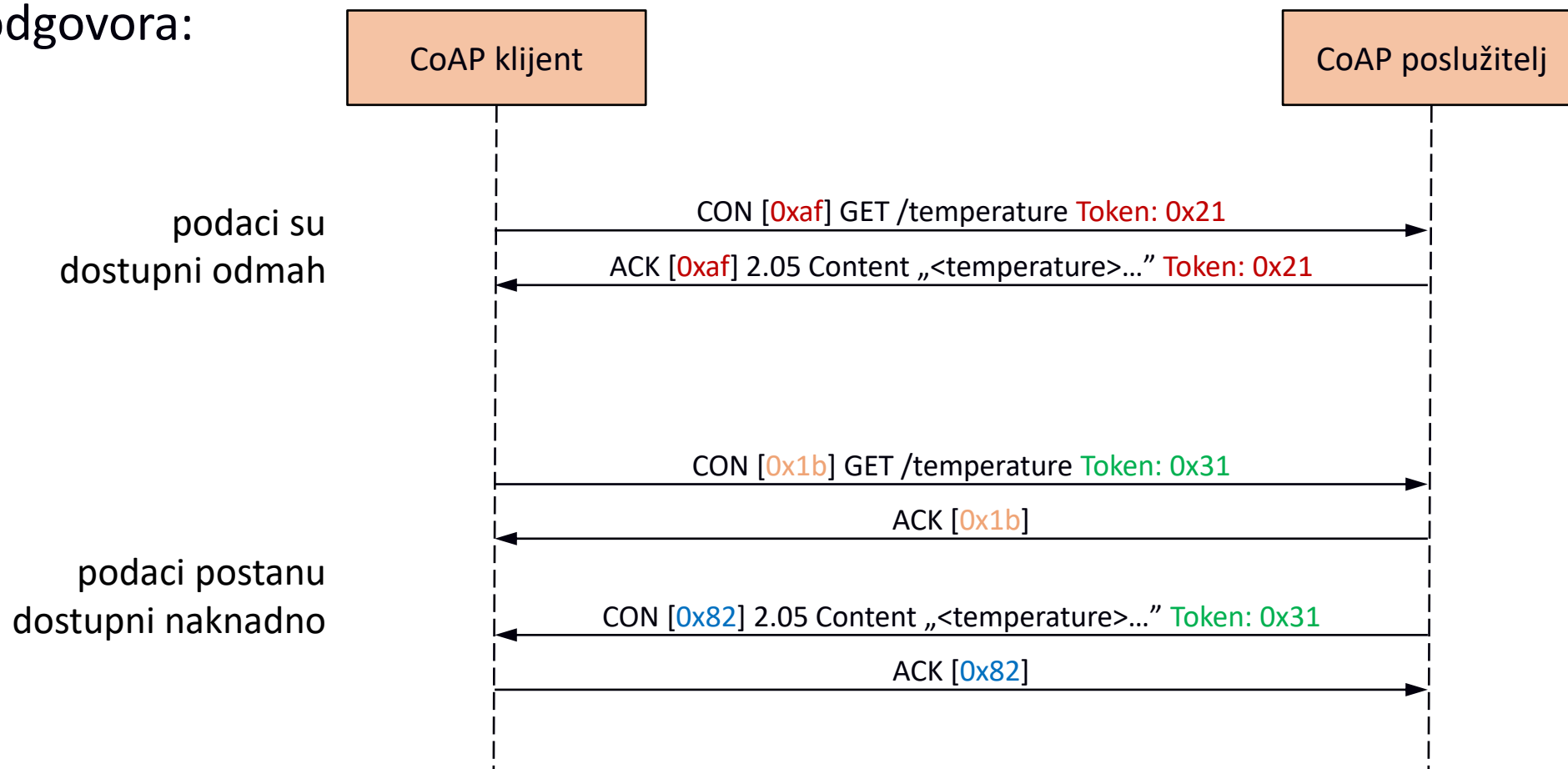
# Protokol CoAP – Poruke

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



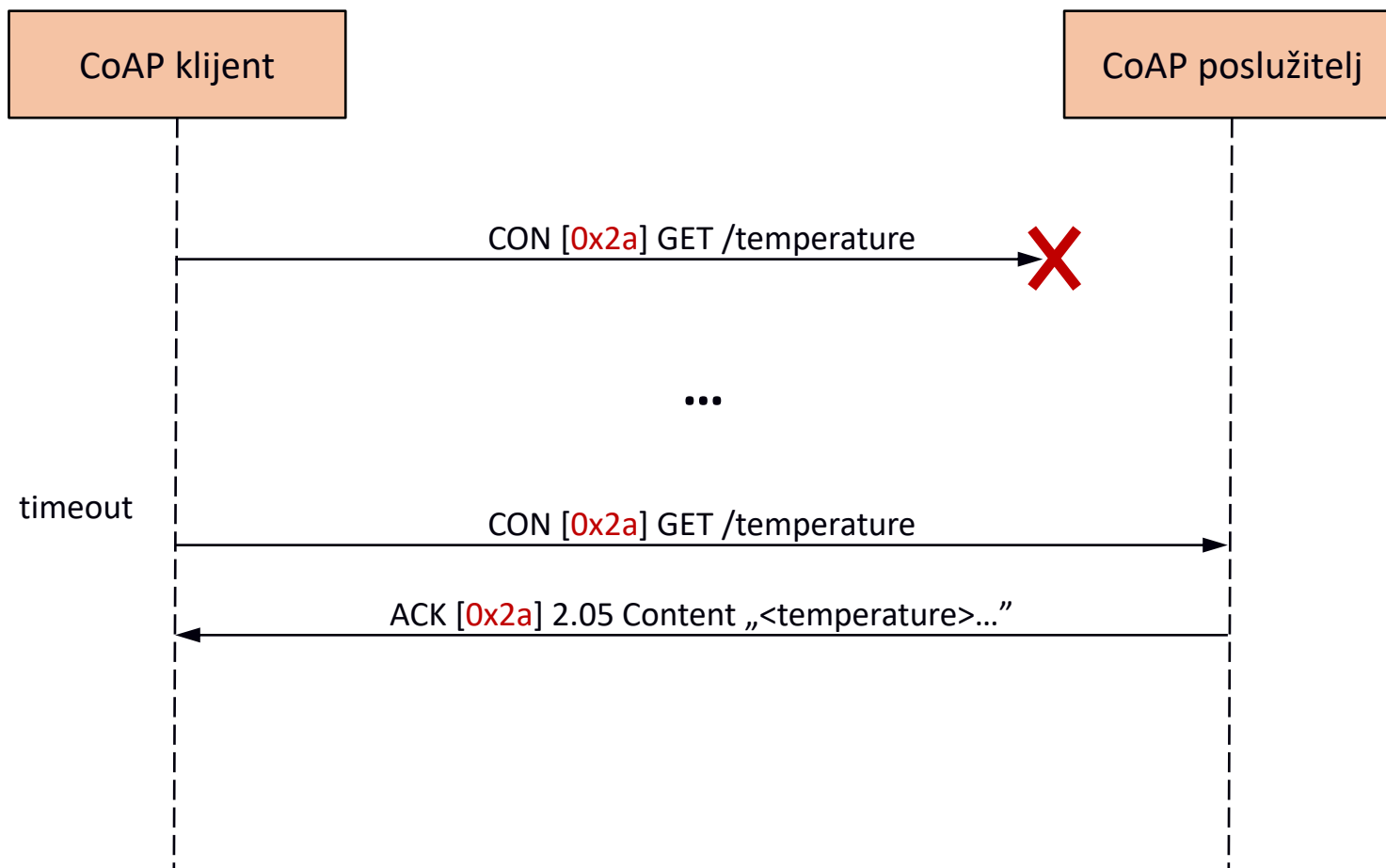
# Protokol CoAP – Tijek komunikacije

- dvije vrste odgovora:



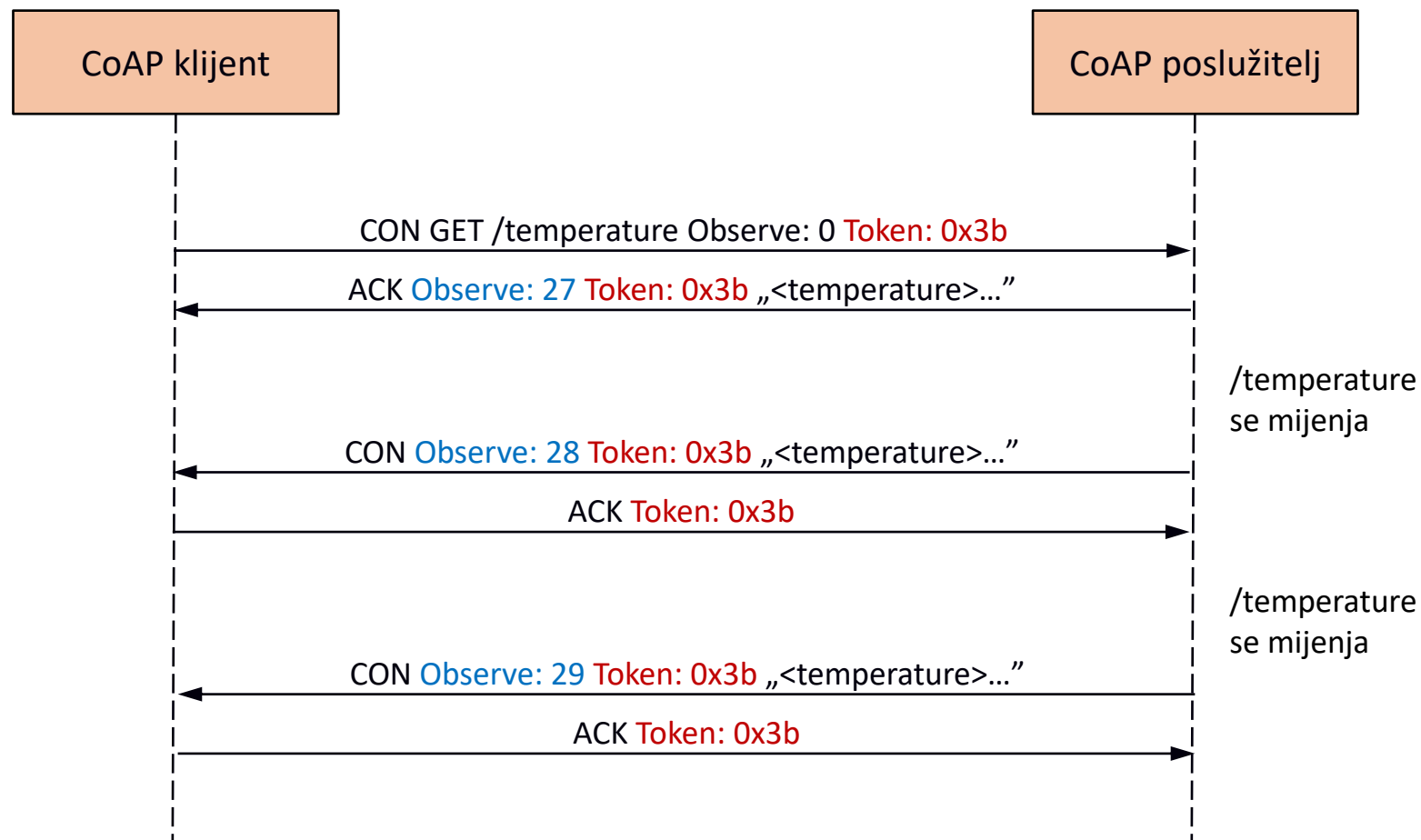
# Protokol CoAP – Greška u prijenosu

- greška u prijenosu:



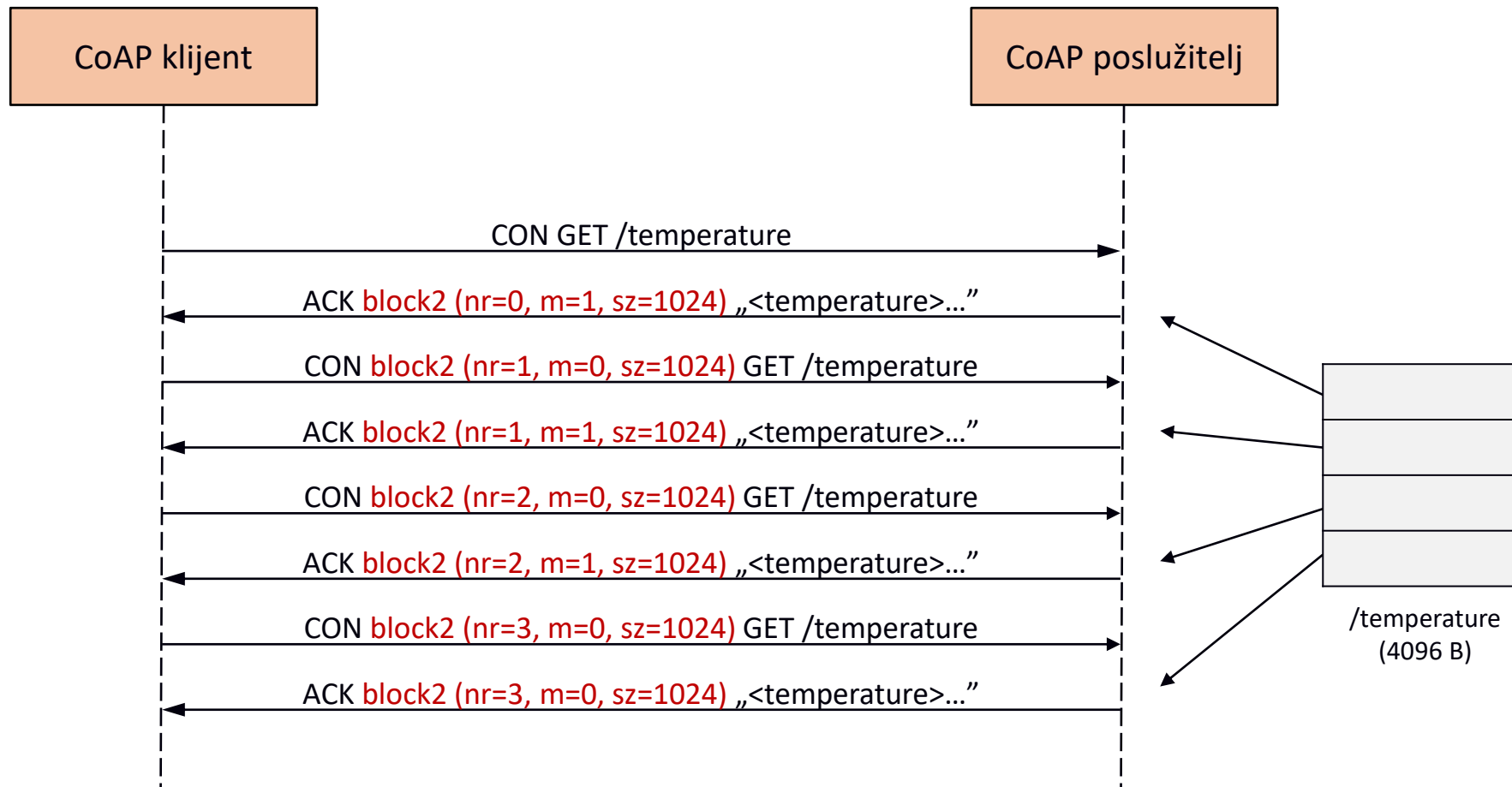
# Protokol CoAP – Observe

- polje *Observe* :



# Protokol CoAP – Block

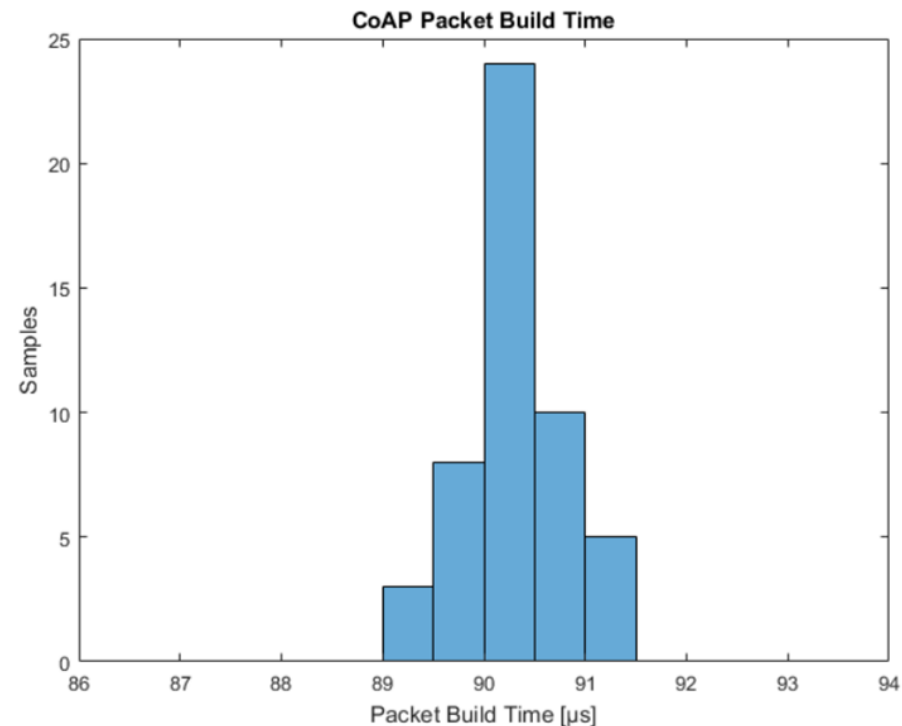
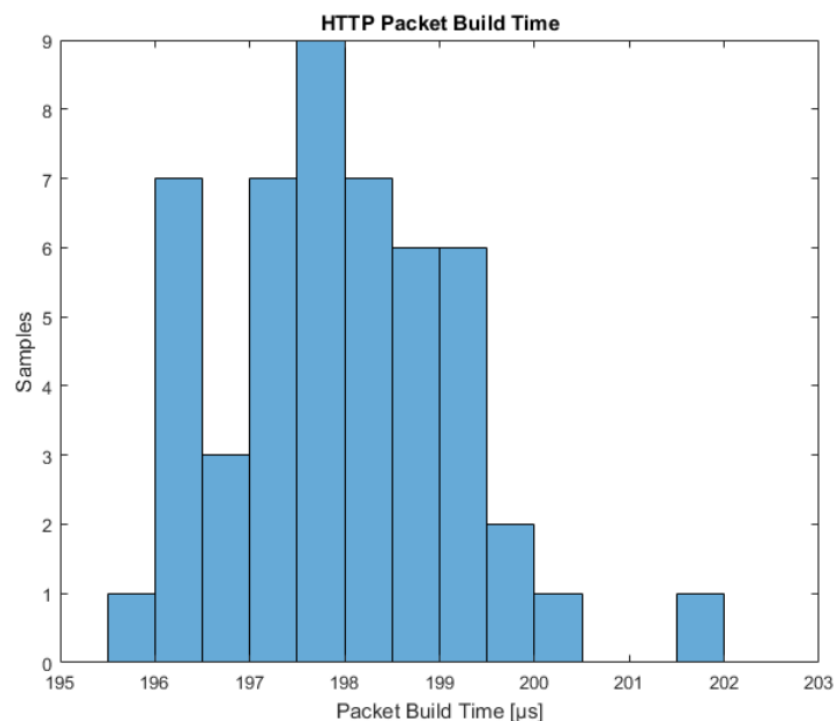
- polje *Block* :





# Usporedba: HTTP-CoAP

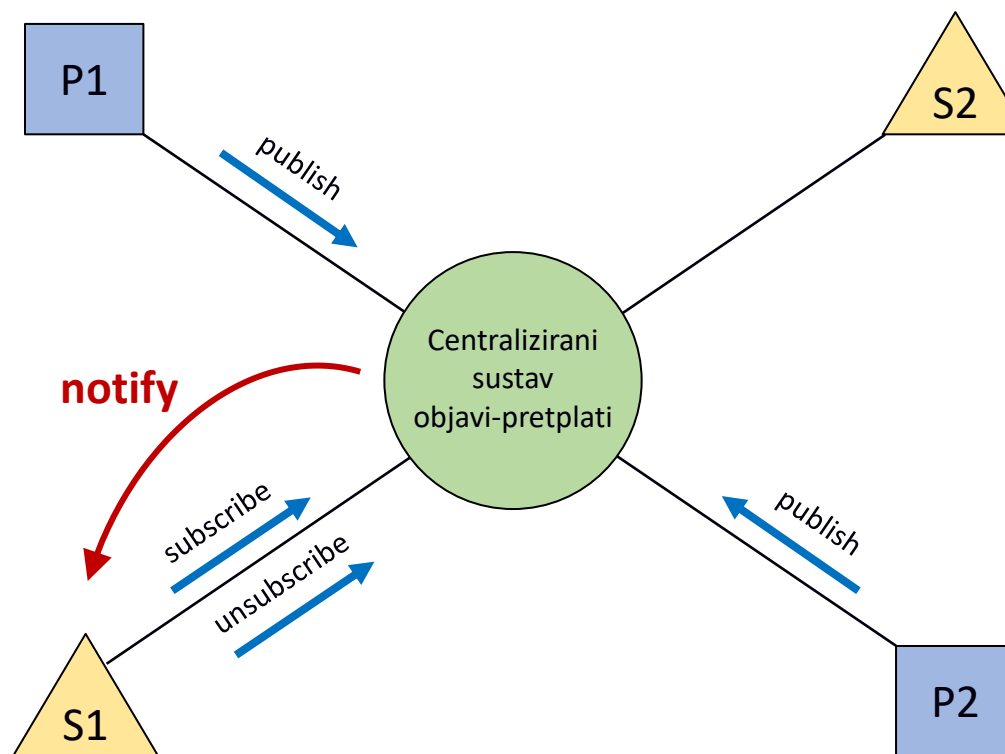
- Vrijeme stvaranja paketa



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

# Paradigma Objavi-Pretplati (1)

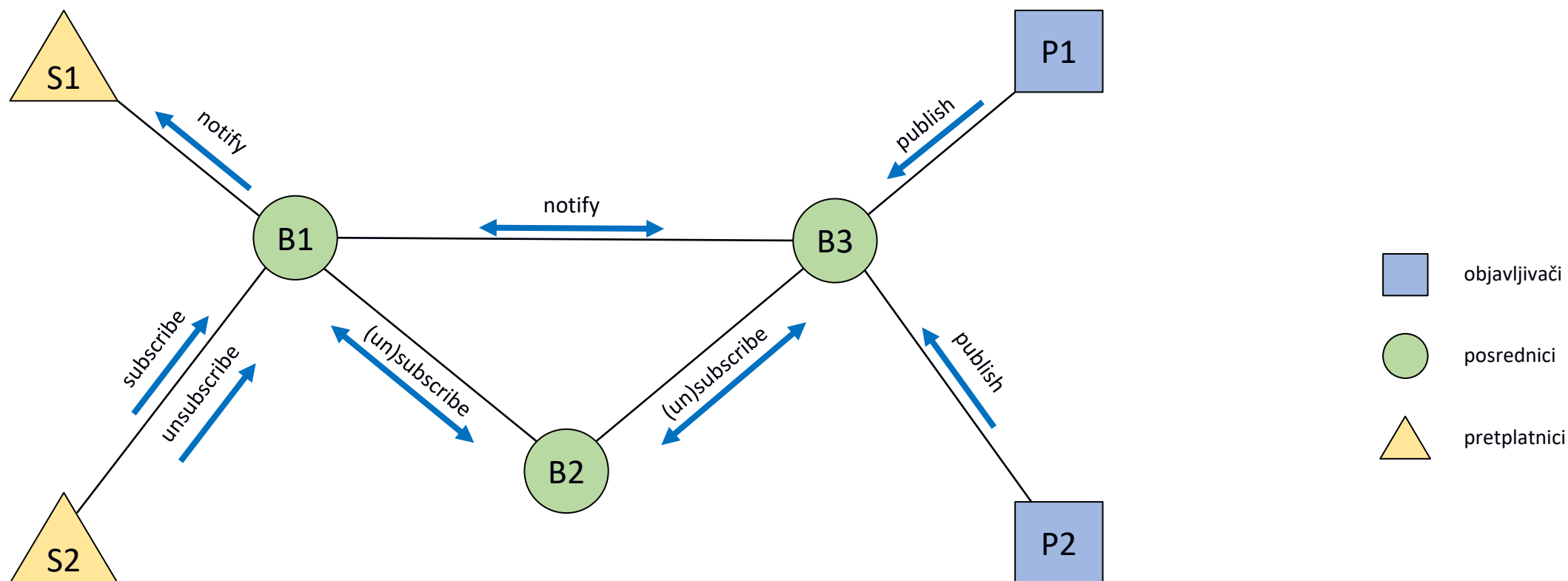
- centralizirana arhitektura:



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

# Paradigma *Objavi-Pretplati* (2)

- raspodijeljena arhitektura:



# Protokol MQTT

- nekada: *MQ (message queuing) Telemetry Transport*
- aktualna verzija: MQTT v5.0 (OASIS Standard, 5/2018)
- zasniva se na arhitekturi objavi-pretplati 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-objavljiivača i klijenata-pretplatnika
    - prihvaća konekcije od klijenata
    - prihvaća poruke koje objavljuju klijenti-objavljiivači
    - prosljeđuje poruke klijentima-pretplatnicima
    - obrađuje zahtjeve klijenata za početkom odnosno krajem pretplate na temu
    - gasi konekcije klijenata prema poslužitelju
  - klijenti: razlikuju se klijenti-objavljiivači i klijenti-pretplatnici
    - spajaju se na poslužitelja
    - objavljuju 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

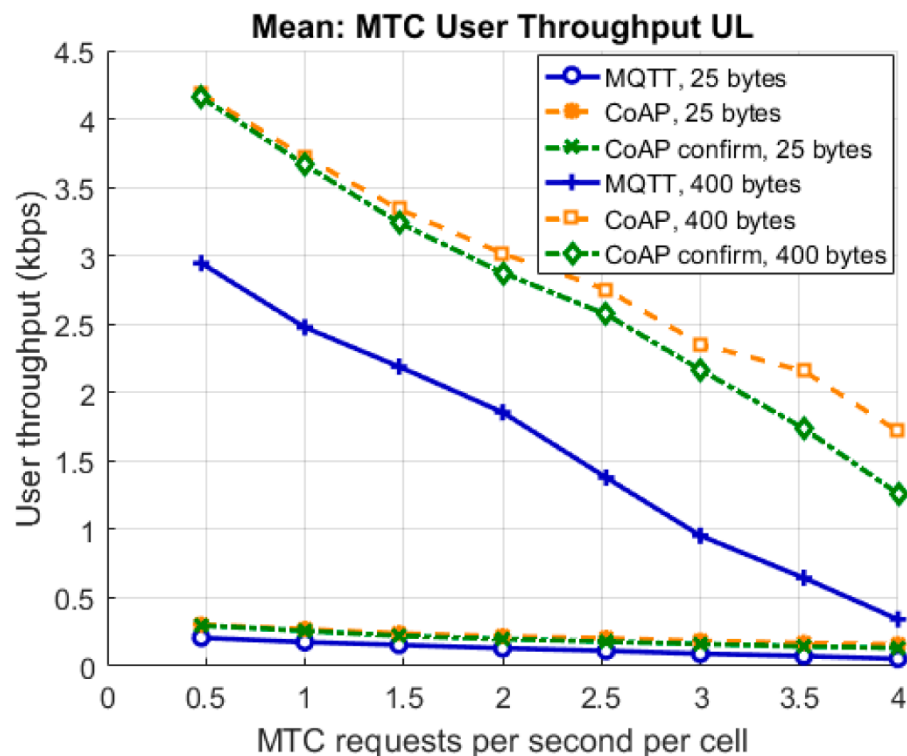
# Protokol MQTT – Poruke

- tipovi MQTT poruka (nastavak):

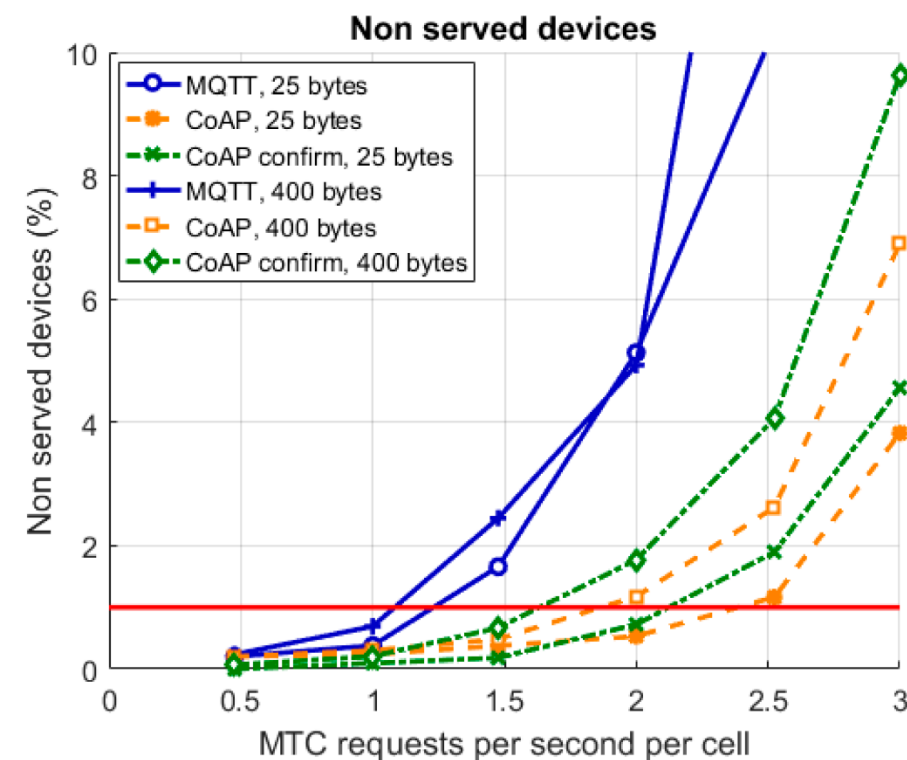
Tip poruke	Objašnjenje
SUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za pretplatom
SUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o pretplati
UNSUBSCRIBE	Klijent šalje poslužitelju zahtjev za ukidanjem pretplate
UNSUBACK	Poslužitelj klijentu vraća potvrdu o ukidanju pretplate
PINGREQ	Klijent šalje poslužitelju 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



# Protokol XMPP

- originalno razvijen 1999. pod imenom Jabber
- inicijalno u širokoj uporabi u okviru sustava trenutnog poručivanja (engl. *instant messaging*) i praćenja prisutnosti, kasnije se uporaba širi na sustave objavi-pretplati, VoIP, mrežne igre, društvene mreže, itd.
- arhitektura:
  - decentralizirani model klijent-poslužitelj (ne postoji centralni poslužitelj!)
  - klijenti su raspoređeni u domene
  - na transportnom sloju koristi se protokol TCP
  - svaki entitet ima jedinstvenu adresu, tzv. JabberID (korisničko\_ime@domena.tld/resurs)

# Protokol XMPP – XML strofa

- najmanja jedinica u komunikaciji protokolom XMPP: XML strofa (engl. *XML stanza*)
- razlikuju se:
  - strofa za poruke (*message*):
    - normal, chat, groupchat, headline, error
  - strofa za prisutnost (*presence*)
  - strofa za informacije (*info/query, iq*)
- namespace deklaracija: npr. „jabber:client“ ili „jabber:server“

# Protokol XMPP – Poruke

- Primjer isječka za prijenos poruke:

```
<message
  to='romeo@example.net'
  from='juliet@example.com/balcony'
  type='chat'
  xml:lang='en'>
  <subject>I implore you!</subject>
  <subject
    xml:lang='cz'>&#x00DA;p&#x011B;nliv&#x011B; prosim!</subject>
  <body>Wherefore art thou, Romeo?</body>
  <body xml:lang='cz'>Pro&#x010D;e&#x017D; jsi ty, Romeo?</body>
</message>
```

# Protokol XMPP – XEP

- XMPP Extension Protocol (XEP): mogućnost proširivanja osnovnog standarda
- primjeri XEP-a za IoT područje:
  - XEP-0323: Internet of Things – Sensor Data
  - XEP-0324: Internet of Things – Provisioning
  - XEP-0325: Internet of Things – Control
  - XEP-0326: Internet of Things – Concentrators

# 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 zaglavlja 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)
- MQTT vs. XMPP
  - MQTT je iznimno efikasan protokol
  - XMPP je vrlo prilagodljiv protokol (XEP) dokazan u velikim decentraliziranim raspodijeljenim sustavima u praksi

# 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/>
- Tapio 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](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](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](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>