

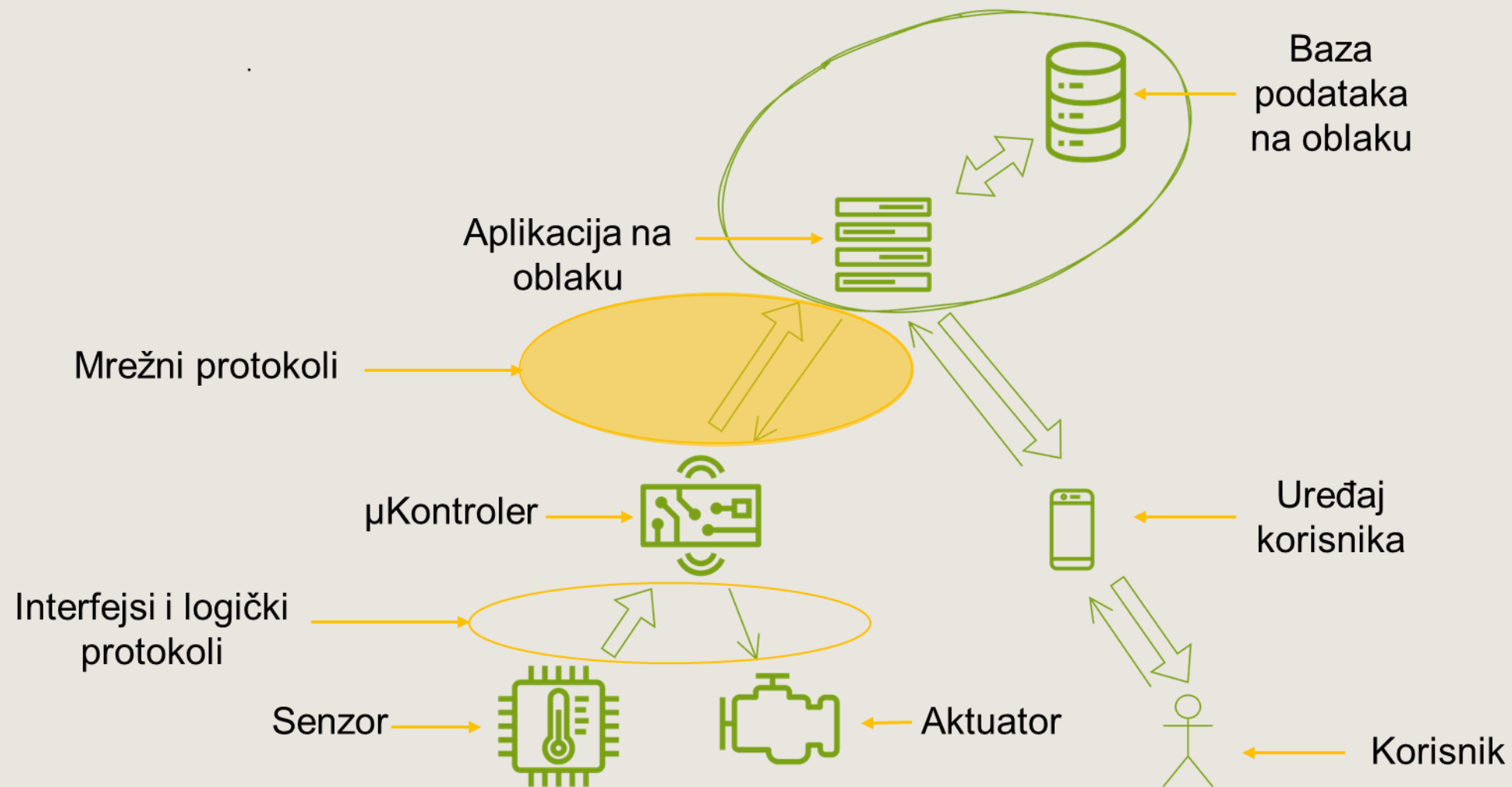
Abstract geometric lines in the top left corner of the slide, consisting of several overlapping, irregular polygons and lines in a light gray color.

INTERNET PAMETINI UREĐAJA

prof. dr Dejan S. Aleksić

Prirodno-matematički fakultet, Niš

05. MREŽNI PROTOKOLI ZA IOT UREĐAJE



❑ Šta je Internet pametnih uređaja (IoT)?

Mreža fizičkih uređaja koji prikupljaju, **razmenjuju** i analiziraju podatke bez ljudske intervencije.

❑ Karakteristike IoT mreža:

- Ogroman broj uređaja (do 40 milijardi do 2030. **To znači da će prosečan čovek imati barem 5-10 ličnih IoT uređaja.**)
- Ograničeni resursi (CPU, RAM, energija)
- Nestabilni bežični uslovi (lossy and intermittent links)
- Potreba za efikasnom i pouzdanom komunikacijom

❑ Zašto posebni mrežni protokoli?

Klasični internet protokoli nisu optimizovani za male pakete, baterijske uređaje i nestabilne mreže.

❑ Naš ESP32 je tipičan IoT čvor – programiramo ga da štedi resurse!

ZAŠTO IOT ZAHTEVA POSEBNE PROTOKOLE?

- ❑ "Zašto jednostavno ne koristimo dobro poznati **HTTP/HTTPS** i **Wi-Fi** za sve IoT uređaje?"
- ❑ Odgovor leži u ograničenjima IoT uređaja i njihovom okruženju, koja se često nazivaju **ograničenja "3C"**:
 - **Procesorska moć (Compute)**: Ograničeni procesori i memorija.
 - **Komunikacija (Communication)**: Slaba propusnost, visoka kašnjenja, nestabilne veze.
 - **Energija (Battery)**: Često se napajaju baterijom koja traje godinama.

Dodajmo tome i **skalabilnost**. Milioni uređaja koji neprestano komuniciraju zahtevaju vrlo efikasne protokole.

ZAŠTO IOT ZAHTEVA POSEBNE PROTOKOLE?

❑ Stoga, IoT protokoli su dizajnirani da budu:

- **Lagani (Lightweight):** Mali overhead (dodatni podaci uz poruku), štede propusnost i procesorsko vreme.
- **Štedljivi s energijom:** Omogućuju uspavljivanje (deep sleep) uređaja.
- **Robusni:** Podnose loše mrežne uslove.
- **Skalabilni:** Mogu podneti ogroman broj uređaja.

IOT MREŽNA ARHITEKTURA (SLOJEVI)

❑ IoT komunikacija se organizuje u slojevima:

1. Fizički sloj

Prenos signala - radio talasi, modulacija, frekvencije

2. Sloj linka podataka (MAC)

Kontrola pristupa medijumu (802.11, 802.15.4, LoRa, BLE)

3. Mrežni sloj

Adresiranje i rutiranje (IPv6, 6LoWPAN)

4. Transportni sloj

Prenos podataka (TCP, UDP)

5. Aplikativni sloj

IoT protokoli (MQTT, CoAP, HTTP)

Važna napomena:

U IoT-u mrežni sloj često koristi modifikovane protokole da smanji veličinu paketa i potrošnju.

KLASIFIKACIJA IOT MREŽA

❑ **Kratki domet (PAN/LAN)**

- BLE
- ZigBee
- Thread (IPv6 preko 6LoWPAN-a)
- Wi-Fi

❑ **Veliki domet (WAN/LPWAN)**

- LoRaWAN
- NB-IoT
- LTE-M

❑ **Industrijske žične mreže**

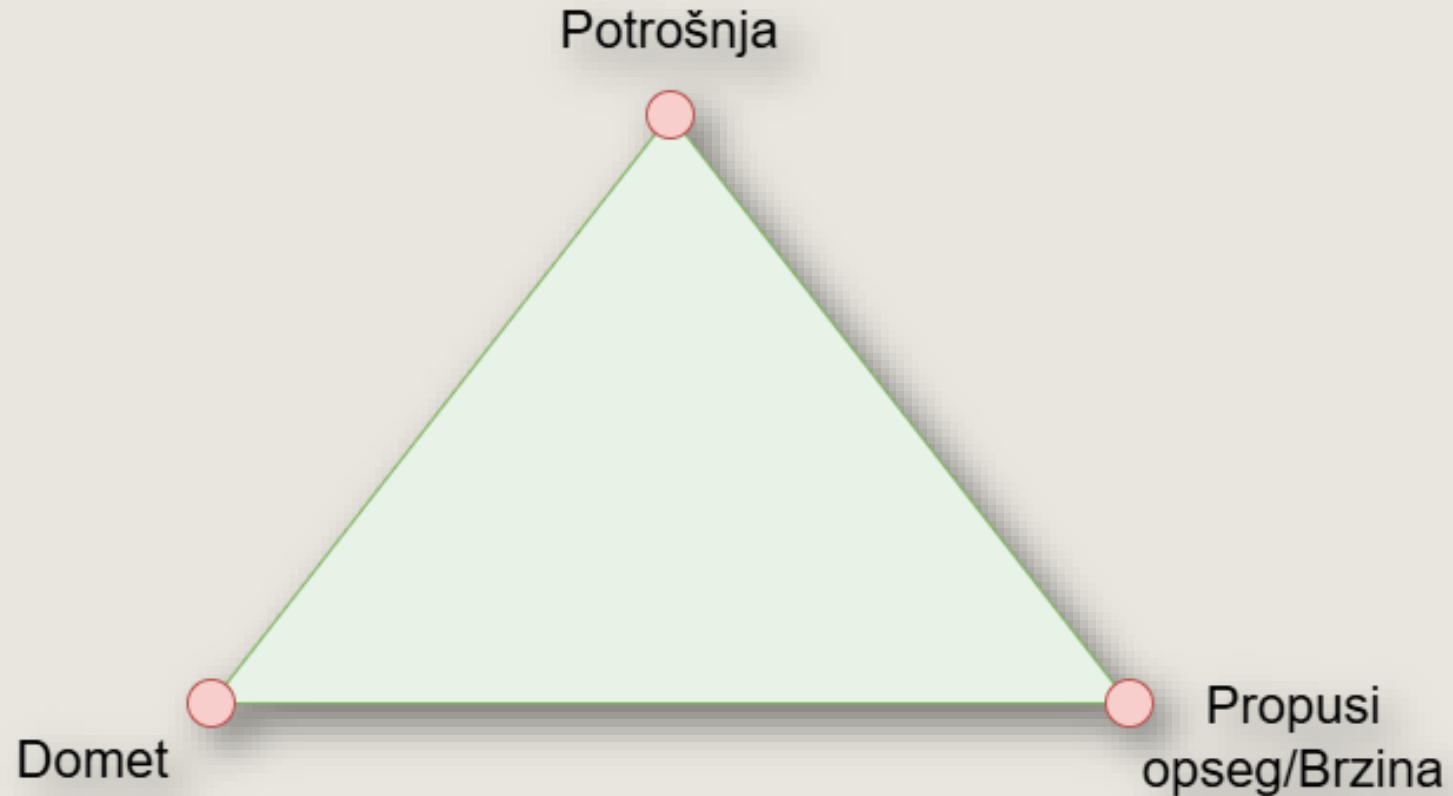
- Ethernet
- Modbus/TCP

❑ Naš ESP32 po defaultu podržava Wi-Fi i BLE. Za korišćenje LoRaWAN-a i NB-IoT-a potrebni su nam eksterni moduli (modemi), dok novije varijante (poput ESP32-C6) integrišu i Zigbee/Thread podršku.

➤ **Ključni kompromis:** domet vs. potrošnja energije vs. protok

GVOZDENI TROUGAO IOT MREŽA

1. **Potrošnja energije (Battery Life)**
2. **Propusni opseg / Brzina prenosa (Bandwidth / Data Rate)**
3. **Domet komunikacije (Range)**



Ove tri stvari čine trougao jer **poboljšanje jedne obično pogoršava neku od druge dve.**

KAKO SE GVOZDENE TROUGAO PRIMENJUJE U IOT-U?

1. Domet

- obično zahteva nižu frekvenciju i veću snagu emisije
- što povećava potrošnju energije
- smanjuje propusni opseg

(Primer: LoRaWAN – ogroman domet, ali samo nekoliko kbps)

2. Potrošnja energije

- uređaj mora da šalje retko, kratkim paketima, malom snagom
- što smanjuje domet
- što ograničava brzinu prenosa

(Primer: baterijski NB-IoT senzor koji šalje poruku jednom dnevno)

3. Propusni opseg

- zahteva šire kanale, više frekvencije, duže aktivno vreme
- povećava potrošnju energije
- smanjuje domet

(Primer: Wi-Fi – brz ali kratkog dometa i velike potrošnje)

PRAVILA U GVOZDENOM TROUGLU IOT-A

Želiš da optimizuješ	Gubiš
Veći domet	brzinu + bateriju
Dužu bateriju	domet + brzinu
Veću brzinu	domet + bateriju

Zato se različite IoT tehnologije pozicioniraju na različita mesta u trouglu:

- Wi-Fi → visoka brzina, visoka potrošnja, mali domet
- BLE → mala potrošnja, mali domet, mali protok
- LoRaWAN → veliki domet, mala potrošnja, mali protok
- NB-IoT → veliki domet, mala potrošnja, srednji protok

TABELA POREĐENJA

Tehnologija	Domet	Brzina	Potrošnja (deep-sleep)	Cena modula 2025	Licenca
Wi-Fi	50 m	50–800 Mbps	5–20 μ A	2–5 €	Ne
BLE 5.x	50–200 m	1–2 Mbps	1–5 μ A	1–3 €	Ne
Zigbee/Thread	30–100 m	250 kbps	1–10 μ A	3–6 €	Ne
LoRaWAN	2–15 km	0.3–50 kbps	0.5–5 μ A	8–15 €	Ne
NB-IoT	1–10 km	20–250 kbps	1–6 μ A	4–8 € + SIM	Da
LTE-M	1–10 km	do 1 Mbps	10–50 μ A	10–18 € + SIM	Da

PROTOKOL: BLUETOOTH LOW ENERGY (BLE)

Bežični protokol kratkog dometa dizajniran za periodičnu razmjenu malih količina podataka uz vrlo malu potrošnju energije.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Kratak (do 10m)
- **Potrošnja Energije:** Izuzetno niska (mjeseci/godine na bateriji)
- **Topologija:** Point-to-Point, Zvijezda (Star)
- **Primena:** Pametni satovi, bežični senzori, dijeljenje podataka sa pametnim telefonima.

Zašto se koristi u IoT-u?

Idealan za lične uređaje (Personal Area Network) koji ne prenose velike količine podataka kontinuirano. Glavna prednost je štedljivost.

Mane:

Ograničena brzina prenosa podataka, kraći domet od nekih drugih bežičnih tehnologija.

ESP32 kontekst:

svi modeli (C3, S3, original) imaju ugrađen BLE 5.0

PROTOKOL: ZIGBEE - MREŽA SENZORA ZA PAMETNU KUĆU

Protokol baziran na IEEE 802.15.4 standardu, koji stvara mesh mreže za pouzdanu komunikaciju na kratkom dometu.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Kratak (10-100m, proširuje se mesh-om)
- **Potrošnja energije:** Niska
- **Topologija:** Mesh mreža (uređaji prosljeđuju signal)
- **Primena:** Automatizacija kuće (ZigBee Alliance/CSA), industrijska kontrola senzora.

Zašto se koristi u IoT-u?

Pouzdanost mesh mreže - ako jedan uređaj prestane s radom, signal pronalazi drugi put. Dobar kompromis između potrošnje energije i pouzdanosti.

Mane:

Niža brzina prenosa u poređenju sa Wi-Fi, ograničen domet po čvoru.

ESP32 kontekst:

ESP32-H2 i ESP32-C6 imaju hardversku Zigbee podršku

PROTOKOL: THREAD- - MOĆNA MESH MREŽA ZA KUĆU

IPv6-based mesh protokol za pametne domove, koji koristi 6LoWPAN za efikasnu IP komunikaciju među uređajima.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Kratak (proširuje se mesh-om)
- **Potrošnja energije:** Niska
- **Topologija:** Mesh Mreža sa IPv6 jezgrom
- **Primena:** Pametna kuća visoke pouzdanosti.

Zašto se koristi u IoT-u?

Rešava nedostatke ZigBee-a direktnim IPv6 povezivanjem, što eliminiše potrebu za posebnim "gateway"-em za prevod. Budućnost pametne kuće.

Mane:

Relativno nov, manja zastupljenost u odnosu na ZigBee ili Wi-Fi.

ESP32 kontekst:

ESP32-C6 i ESP32-H2 imaju punu hardversku podršku.

Tipična upotreba:

Apple HomeKit, Google Home, Amazon Alexa (Matter)

WI-FI - BRZINA I PROPUSNOST ZA UREĐAJE NA STRUJI

Bežični protokol visoke propusnosti (IEEE 802.11) za opštu upotrebu u lokalnim mrežama (LAN).

Ključne karakteristike:

Domet: Srednji (do ~50m)

Potrošnja energije: Visoka

Topologija: Zvezda (Star - svi se povezuju na Access Point)

Zašto se koristi u IoT-u?

Kada su brzina i direktan pristup internetu kritični, a potrošnja energije nije problem.

Mane:

Veća potrošnja energije, manje pogodan za uređaje sa ograničenim resursima.

ESP32 kontekst:

svi modeli, Wi-Fi 6 od S3/C6 nadalje.

Tipična upotreba:

Pametni TV, kamere, pametni uređaji koji zahtijevaju veliku propusnost i imaju konstantno napajanje.

PROTOKOL: LORAWAN - EKSTREMNO ŠTEDLJIV I VELIKI DOMET

Low Power Wide Area Network (LPWAN) protokol koji omogućuje komunikaciju na vrlo velikim udaljenostima uz izuzetno nisku potrošnju.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Vrlo dug (do 15km u ruralnim područjima)
- **Potrošnja energije:** Izuzetno niska (baterija traje 10+ godina)
- **Brzina podataka:** Vrlo niska (0.3 - 50 kbps)

Zašto se koristi u IoT-u?

Za senzore "postavi-i-zaboravi" na lokacijama bez izvora struje i bez mobilne mreže.

Mane:

Niska brzina prenosa podataka, ograničen broj poruka po jedinici vremena.

ESP32 kontekst:

ESP32 + SX1276/1262 modul (Heltec, TTGO)

Tipična upotreba:

Pametni gradovi, poljoprivreda, pametna brojila.

PROTOKOL: NB-IOT - IOT PREKO MOBILNE MREŽE

Narrowband IoT - LPWAN tehnologija koja radi unutar licenciranih spektara mobilnih operatera.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Veliki (pokrivenost mobilne mreže)
- **Potrošnja energije:** Vrlo niska (ali obično viša od LoRaWAN-a)
- **Brzina podataka:** Niska (~200 kbps)

Zašto se koristi u IoT-u?

Kada je potrebna pouzdanost i sigurnost mobilne mreže, dobra pokrivenost u zatvorenom prostoru i mobilnost. Idealno za fiksne aplikacije u urbanim sredinama.

Mane:

Ograničena brzina prenosa, zavisi od dostupnosti mreže operatora.

ESP32 kontekst:

ESP32 + Quectel BG96 / SIM7080G modem

Tipična upotreba:

Pametna brojila, pametni gradovi, praćenje.

PROTOKOL: LTE-M - MOBILNI IOT

Long-Term Evolution for Machines - LPWAN tehnologija takođe u licenciranom spektru, ali sa većom brzinom od NB-IoT-a.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Veliki (pokrivenost mobilne mreže)
- **Potrošnja energije:** Niska (bolja od klasičnog LTE-a, lošija od NB-IoT/LoRa)
- **Brzina podataka:** Srednja (~1 Mbps) - podržava i glas!

Zašto se koristi u IoT-u?

Za aplikacije gdje su pokretljivost i veća brzina prijenosa podataka važniji od apsolutne štedljivosti baterije.

Mane:

Veća potrošnja energije i složenost u poređenju sa NB-IoT.

ESP32 kontekst:

ESP32 + BG96 / SIM7600 serija

Tipična upotreba:

Praćenje vozila i logistika, wearable uređaji, aplikacije koje zahtevaju pokretljivost.

PROTOKOL: ETHERNET - ŽIČANA VEZA

Standard za žičano povezivanje u lokalnim mrežama (LAN). IEEE 802.3.

Ključne karakteristike:

- **Domet:** Ograničen dužinom kabla (do 100m po segmentu)
- **Potrošnja energije:** Nije problem (priključen na struju)
- **Brzina podataka:** Vrlo visoka (100 Mbps - 100 Gbps)

Zašto se koristi u IoT-u?

Za fiksne, kritične aplikacije gdje bežična veza nije dovoljno pouzdana ili brza. Nema problema sa smetnjama i garantovanim propusnošću.

Mane:

Ograničena mobilnost, potreba za fizičkom infrastrukturom (kablovima).

ESP32 kontekst:

ESP32 + LAN8720 / W5500 čip (Ethernet shield)

Tipična upotreba:

Industrijska automatizacija, fiksne kamere, mrežna oprema, uređaji gdje je pouzdanost i nisko kašnjenje kritično.

PROTOKOL: MODBUS/TCP - INDUSTRIJSKI STANDARD ZA KOMUNIKACIJU

Protokol aplikacijskog sloja koji se koristi za komunikaciju između industrijskih uređaja (PLC, HMI, senzori). Modbus/TCP je verzija koja radi preko TCP/IP mreže.

Ključne karakteristike:

- **Sloj:** Aplikacijski (koristi Ethernet/TCP kao transport)
- **Komunikacija:** Master-Slave
- **Jednostavnost:** Vrlo jednostavan i otvoren protokol

Zašto se koristi u IoT-u?

Za povezivanje "starih" industrijskih uređaja u moderne IIoT (Industrial IoT) sisteme. Omogućuje "Industriju 4.0" bez potpune zamjene postojeće opreme.

Mane:

Ograničena sigurnost bez dodatnih mera, nije pogodan za prenos velike količine podataka ili kompleksne mreže.

ESP32 kontekst:

Biblioteka ModbusRTU ili ModbusIP

Tipična upotreba:

Industrijska automatizacija (SCADA sistemi), upravljanje zgradama (BMS)..