



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

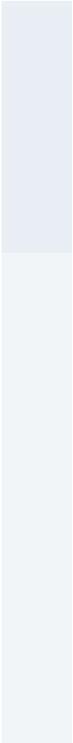
Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

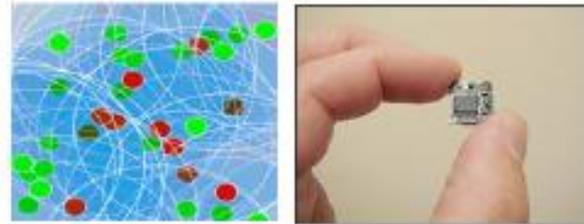
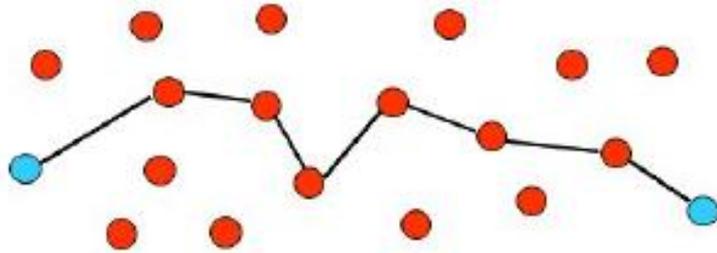
**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**



Bežične senzorske mreže (WSN)

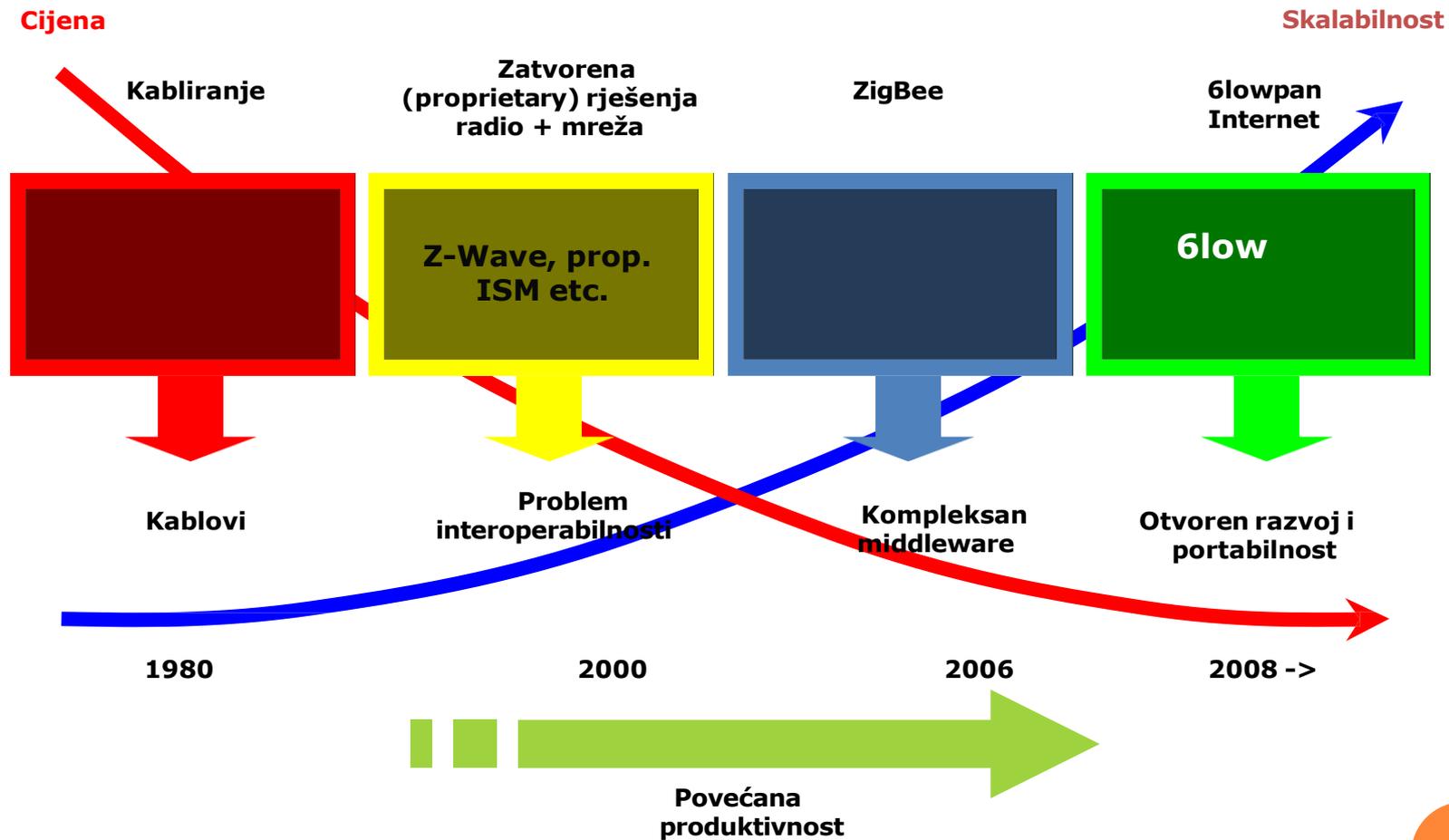


BEŽIČNE SENZORSKE MREŽE - WSN



- WSN su preduslov za razvoj Internet of Things (IoT) koncepta.
- Karakteristike WSN
 - Baterijsko napajanje čvorova
 - Ograničene mogućnosti bežične komunikacije
 - Mobilnost čvorova
 - Nema centralnog entiteta (ako postoji, ima ograničene mogućnosti)

EVOLUCIJA WSN



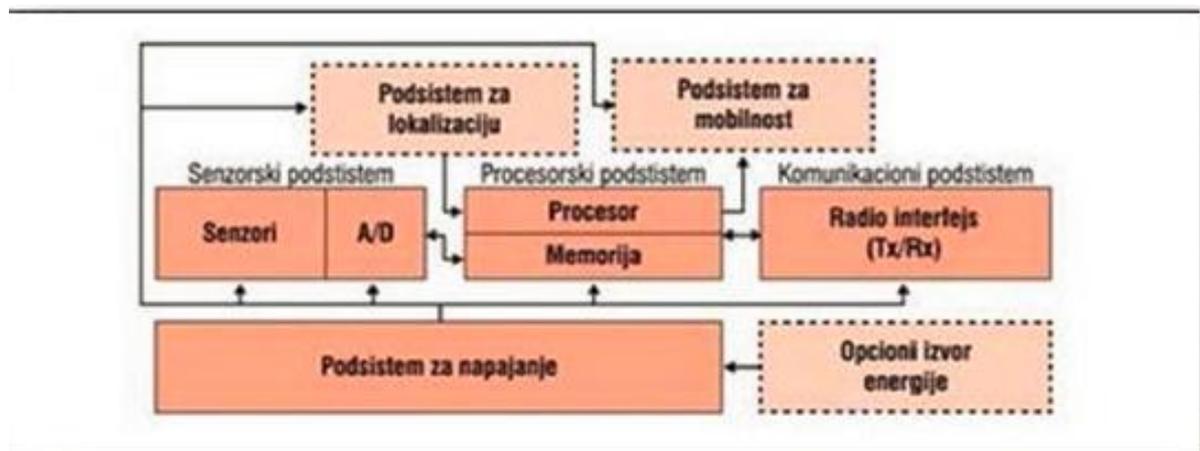
WSN TEHNOLOGIJE

- **Tradicionalno**: mala kompleksnost realizacije, mala potrošnja, mala snaga i težina, dug životni vijek baterije, autonomni sistemi, niska cijena realizacije, ...
- **Standardizovane tehnologije**
 - IEEE 802.15.4 - Low Rate WPAN (PHY i MAC)
 - ZigBee, 6LoWPAN, WirelessHART, Dash7, Wavenis ...
 - IEEE 802.15.1 – Bluetooth (BT 3.0 Low Energy Mode)
 - IEEE 802.11x – Wi-Fi
 - Ostale komunikacione tehnologije (Ethernet, GPRS, ...) u WSN konceptu – gateway
- **Proprietary rješenja**
 - Z-Wave, ANT, MiWi, SimpliciTI, DigiMesh ...

SENZORI U WSN

□ Multifunkcionalna platforma senzorskog čvora (sensor node – SN) sastoji se od 4 osnovne komponente (podsistema):

- senzorskog,
- procesorskog,
- komunikacionog i
- podsistema za napajanje energijom.



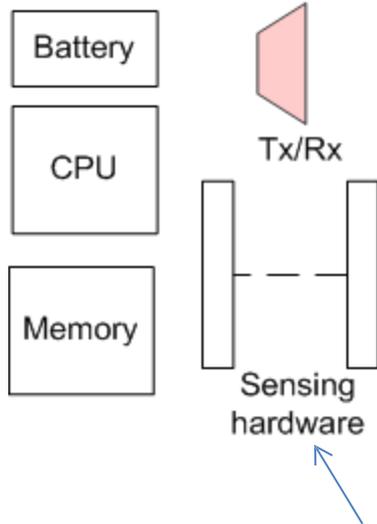
- Struktura multifunkcionalne platforme SN

SENZORI U WSN

► Senzorski čvor

- Ograničeni memorijski resursi, potrošnja, kapacitet, domet, brzine prenosa i dr.

► Primjer: TelosB mote:



TelosB



UC Berkeley:
Smart Dust

- MSP430 microcontroller with 10kB RAM
- 16-bit RISC with 48K Program Flash
- IEEE 802.15.4 compliant radio (< 250 kbps)
- 1MB external data flash
- Runs TinyOS 1.1.10 or higher
- Two AA batteries/USB
- 1.8 mA (active); 5.1 uA (sleep)

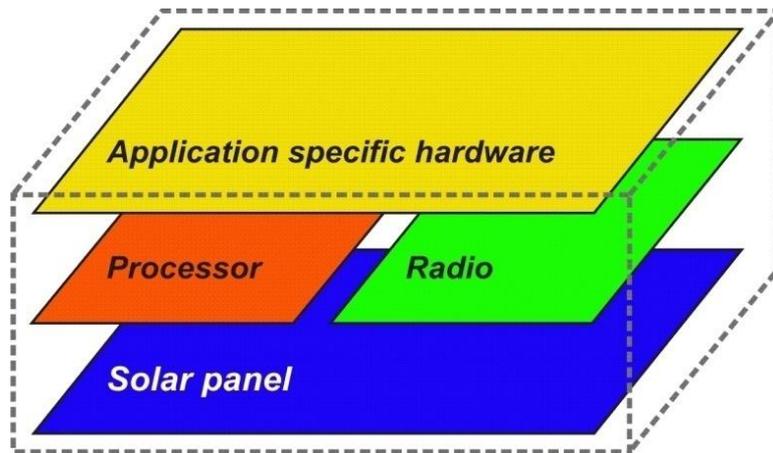
Temperatura, pritisak, osvjetljenje, orijentacija, vibracija, itd.

► WSN: Wireless Sensor Networks

- Skup senzora sa mogućnostima umrežavanja

MOGUĆNOSTI SENZORSKIH ČVOROVA

- Modularna platforma za WSN
 - Velika procesna moć i mala potrošnja
 - Senzorski čvor i gateway (multi-tier / IP)
 - Baterijsko, solarno ili vanjsko napajanje
 - Rekonfigurabilni radio



MOGUĆNOSTI SENZORSKIH ČVOROVA

○ Operativni sistemi i memorija

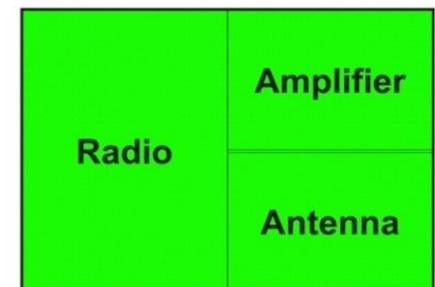
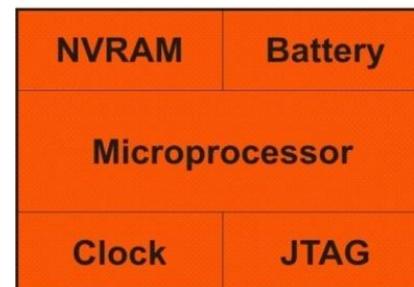
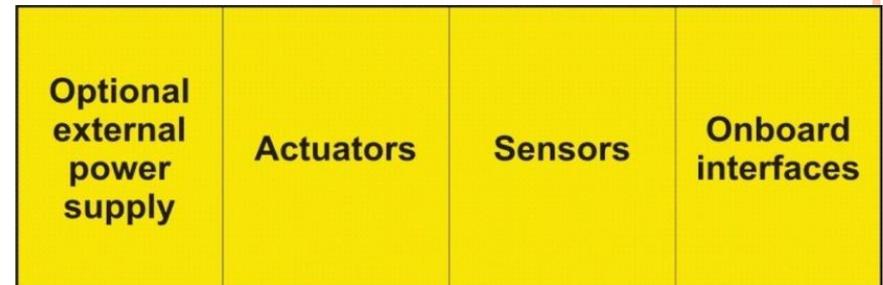
- Analogni i digitalni interfejsi za senzore/aktuatore
- Mogućnosti korišćenja operativnih sistema (real-time, event-driven)
- Brojne opcije za proširenje
- Otvorene C/C++ biblioteke
- Onboard memorija

○ Radio-interfejsi

- 300-900 MHz, 2.4 GHz radio-interfejs (svi ISM opsezi)
- ZigBee, 6LoWPAN i ostala IEEE 802.15.4 bazirana rješenja

○ Arhitekture

- Bluetooth, Wi-Fi, Ethernet, GSM/GPRS
- Senzori/aktuatori
- Power over Ethernet Sensor (PoE)



ISTORIJAT RAZVOJA WSN



DARPA DSN node, 1960



Tmote-sky, 2003

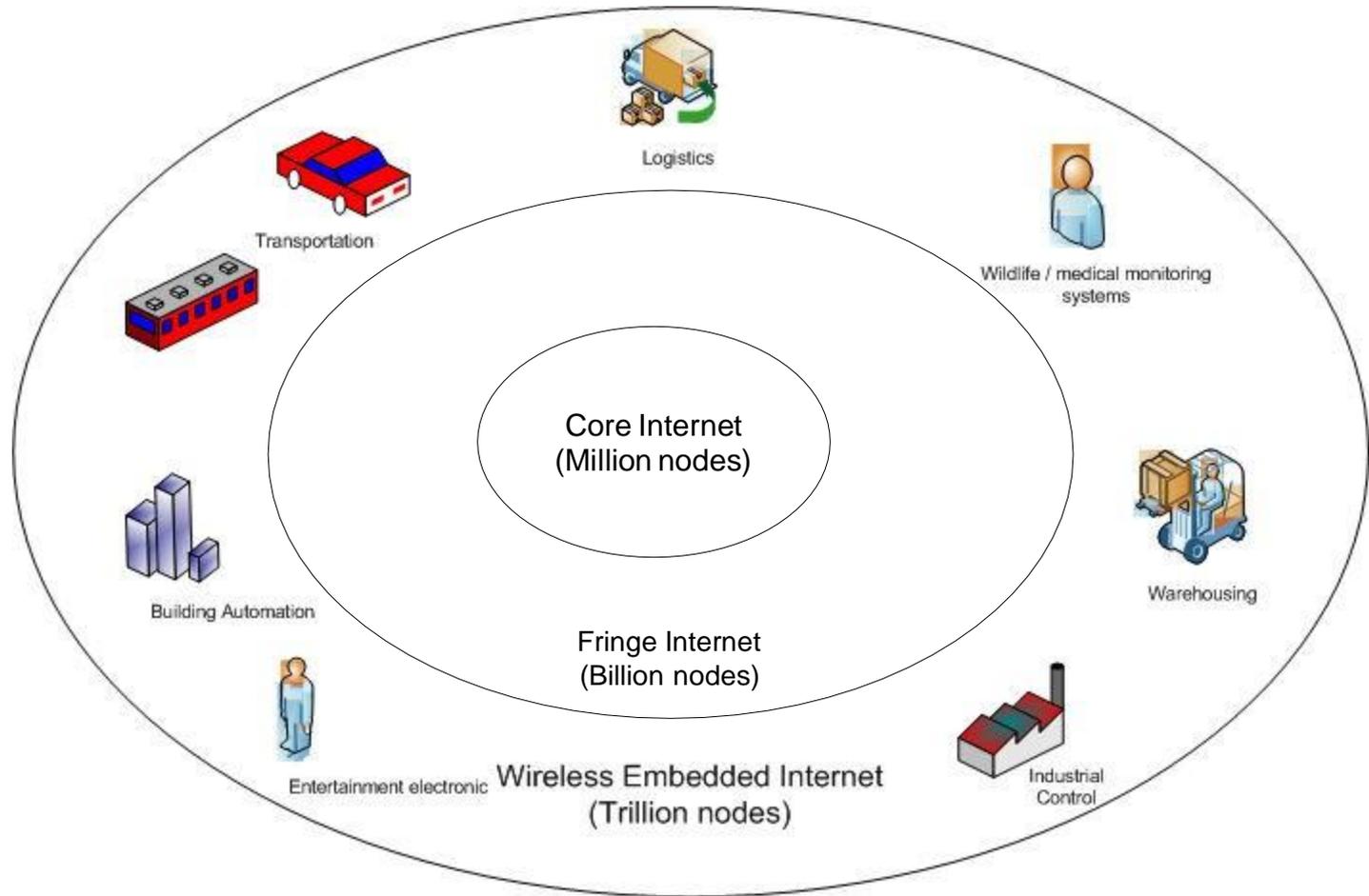


Mica2 mote, 2002



Smart Dust

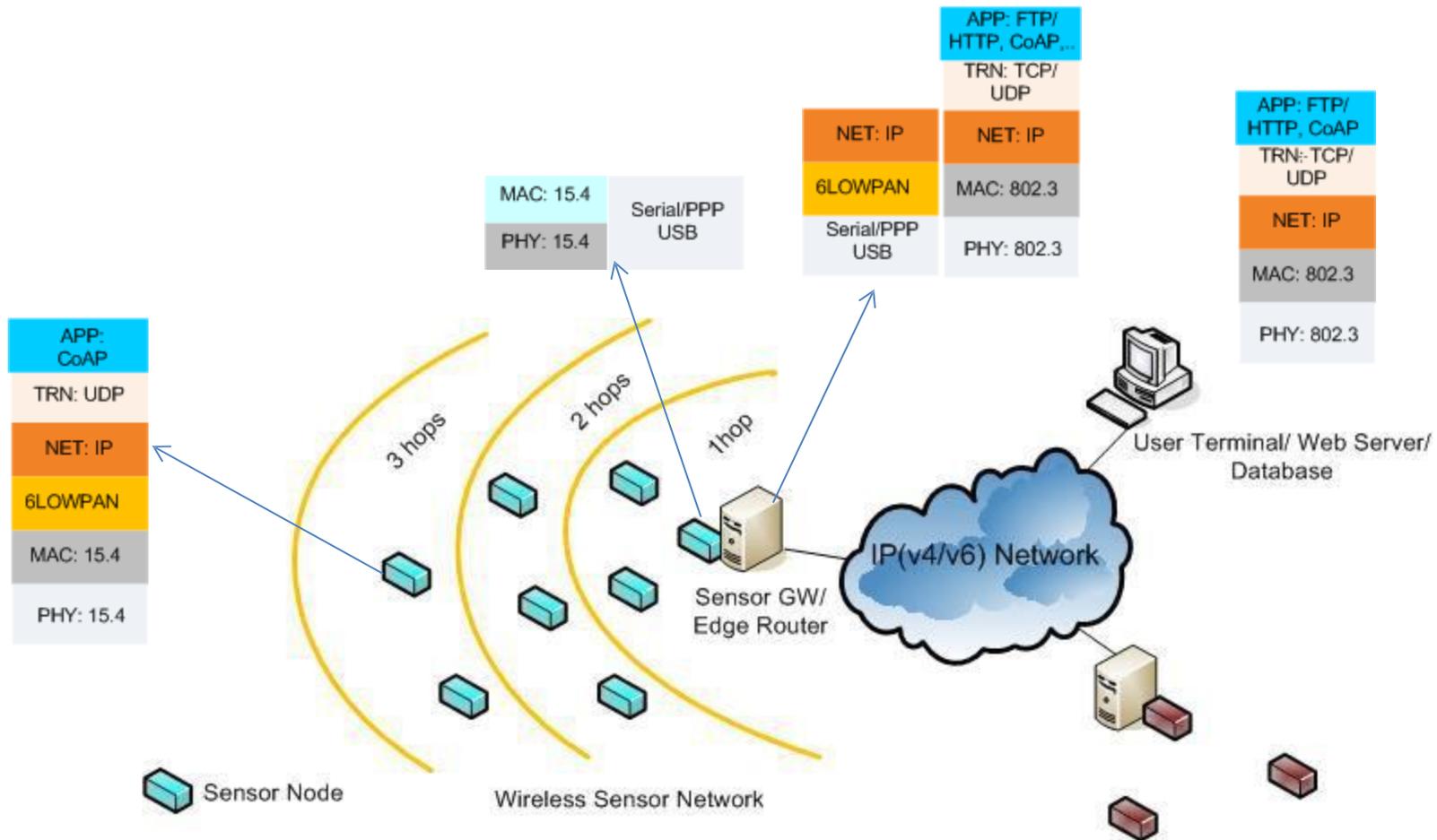
WSN / WIRELESS EMBEDDED INTERNET



Internet umrežavanje uređaja vrlo male snage

- Senzori, aktuatori, RFID, itd.
- **Internet of Things (IoT)**

WSN: ARHITEKTURA



Poređenje: jedan čvor i WSN

- ▶ Proširen domet:
 - Pokrivanje većih oblasti i mogućnost skaliranja mreže
- ▶ Povećana funkcionalnost:
 - Senzorski čvor može imati i funkciju rutera, tj. omogućava prosljeđivanje informacija
- ▶ Redundansa:
 - Veći broj čvorova povećava otpornost na greške

WSN PRIMJENE

- ▶ “Pametne zgrade” i infrastruktura
- ▶ Industrijske primjene
 - Monitoring veličina (pritisak, jačina struje, sila, temperatura, korozija, protok, podaci o stanju mašina).
- ▶ Monitoring životnog okruženja
- ▶ **Logistika** - <http://intelligentcontainer.com/>
- ▶ Praćenje
 - Primjena aktivnih tagova u praćenju ljudi, robe, usluga.
- ▶ Smart mjerenja

“PAMETNE” ZGRADE

- WSN za kontrolu temperature, osvjetljenja, alarme itd.



“PAMETNE” ZGRADE



STRUKTURNI MONITORING

- ❑ Senzori se koriste za mjerenje saobraćaja, otpornosti materijala, seizmičkih aktivnosti itd.
- ❑ Primjer: Golden Gate Bridge



SMART ENERGY GRIDS

- Smart grids: Smart Grids: It's All About Wireless Sensor Networks

(<http://stanford.wellsphere.com>)



source: <http://deviceace.com/>

MONITORING ŽIVOTNOG OKRUŽENJA

- Senzori mjere nivo zagađenja vode, vazduha...



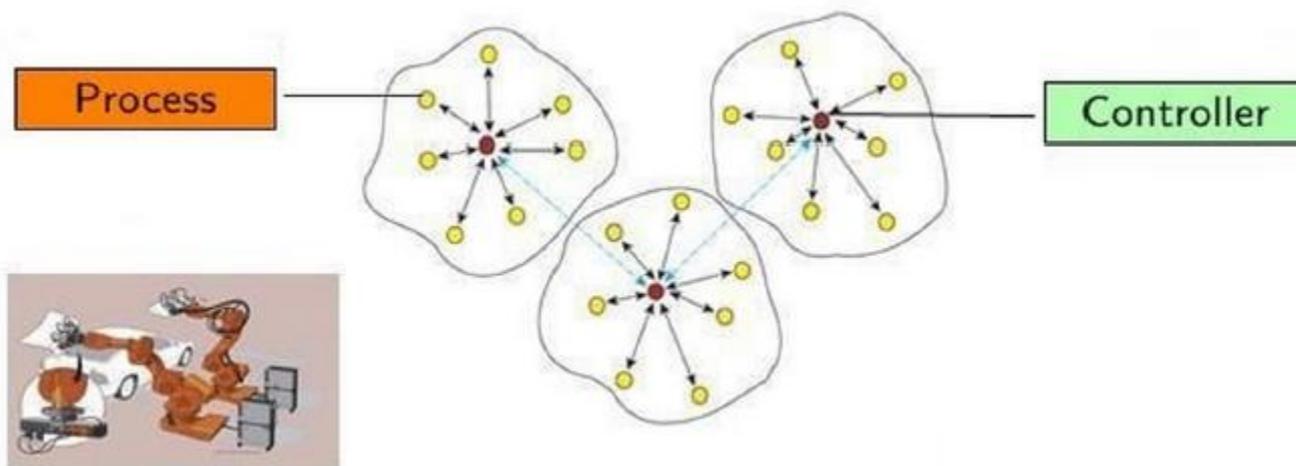
WSN U INDUSTRIJSKIM APLIKACIJAMA

○ Fleksibilnost

- Velike mogućnosti u postavljanju senzorskih i aktuatorskih čvorova
- Manja ograničenja u smislu kontrolnih aktivnosti
- Distribuirana obrada obezbeđuje bolje upravljanje

○ Smanjeni troškovi instalacije i održavanja

○ Efikasniji monitoring i dijagnoza

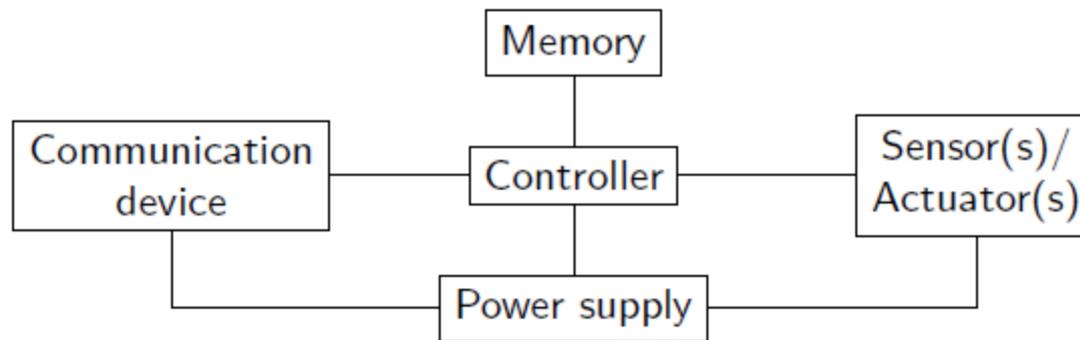


DISTRIBUIRANO POZICIONIRANJE

- WSN omogućava distribuiranu kalibraciju kamera, pozicioniranje i dr.
- Primjene: masovni efekti u filmskoj produkciji

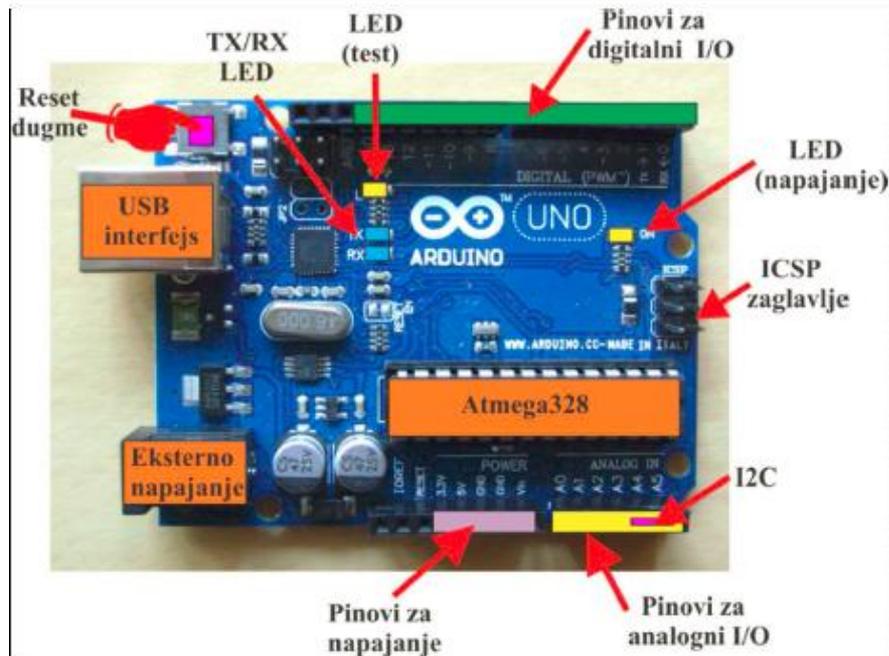


KOMPONENTE WSN ČVORA



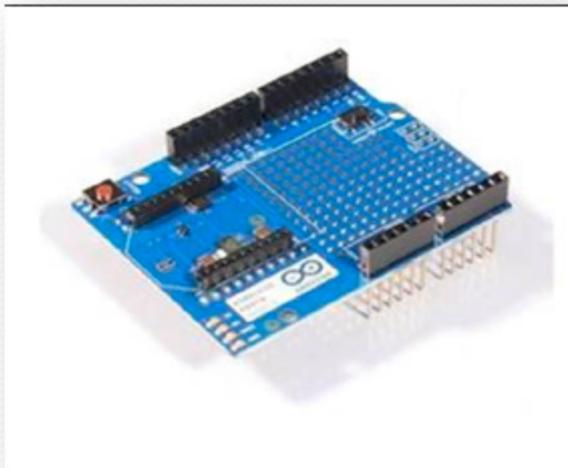
1. Kontroler
2. Komunikacioni uređaj (uređaji)
3. Senzori/aktuatori
4. Memorija
5. Napajanje

Arduino UNO



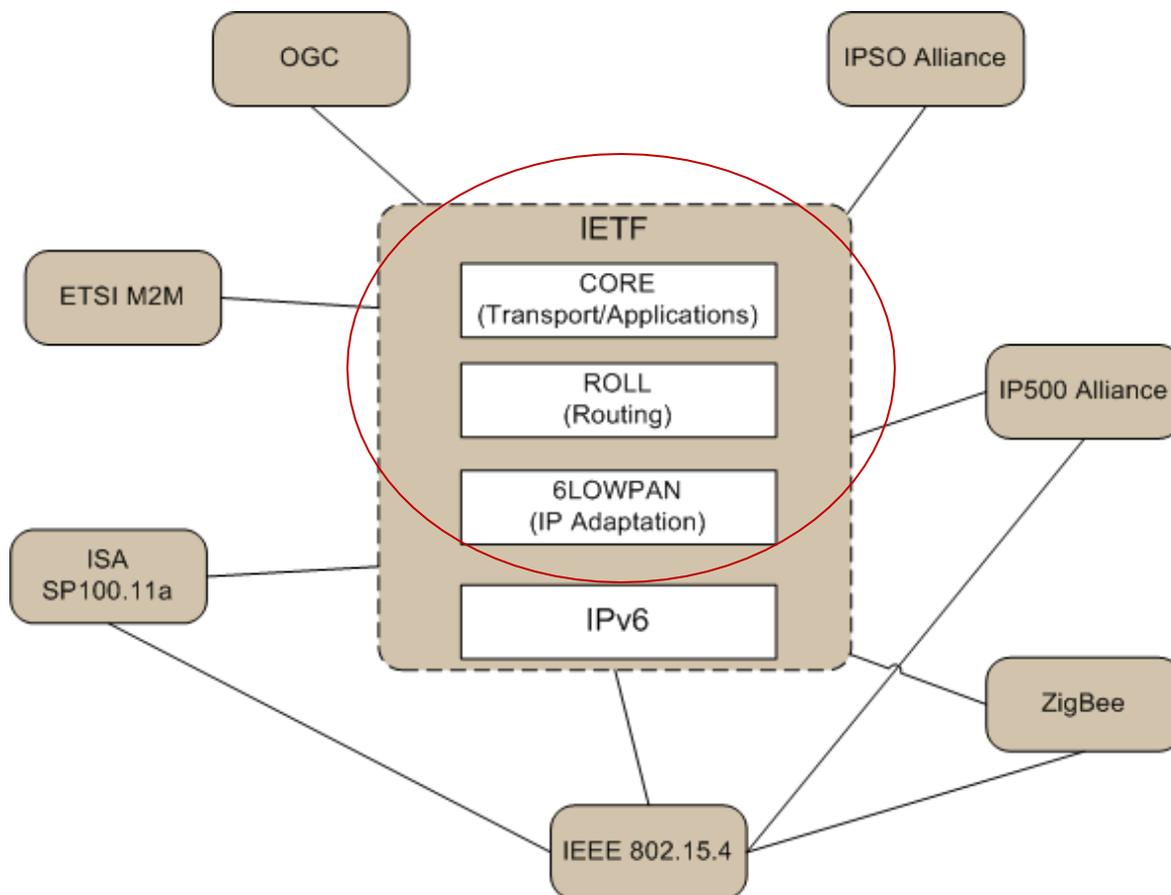
- Mikroprocesor : ATmega328
- Frekvencija procesora : 16MHz
- Radni napon : 5V
- Ulazni napon (preporučeno): 7-12V
- Ulazni napon (ograničeno): 6-20V
- Digitalni I/O pinovi : 14 (od toga moguće 6 PWM izlaza)
- Analogni ulazni pinovi : 6
- DC struja za I/O pinove: 40mA
- DC struja za 3,3V pin: 50mA
- Flash memorija: 32 KB (0,5KB rezervirano za bootloader)
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB

Arduino Wireless Proto Shield



- Arduino Wireless Shield omogućava Arduino ploči da komunicira bežično koristeći ZigBee.

STANDARDIZACIJA



IETF: Internet Engineering Task Force
CORE: Constrained RESTful Environments
ROLL: Routing Over Low power Lossy networks
6LOWPAN: IPv6 over Lower power Wireless PAN

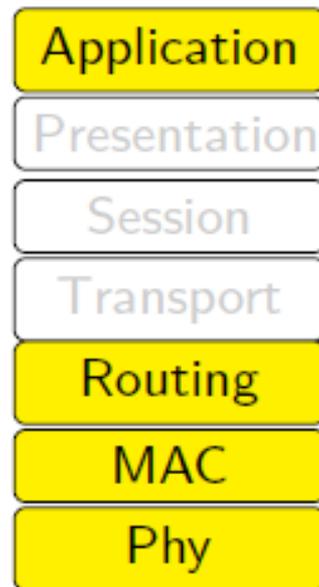
IPSO: IP for Smart Object
OGC: Open Geospatial Consortium
ETSI: European Telecommunications Standards Institute
ISA: Industrial Standardisation for Automation

IP BAZIRAN PROTOKOL

- ▶ Omogućeno je korišćenje postojeće infrastrukture – IP bazirani uređaji se jednostavno povezuju na IP mrežu
- ▶ IP tehnologija omogućava primjenu otvorenih platformi i protokola
- ▶ **Problemi**
 - Propusni opseg i veličina rama (npr. IPv6 ram je veličine 1280 bajtova, a IEEE 802.15.4 samo 127 bajtova)
 - Web usluge (HTTP, SOAP & XML)
 - Napajanje i duty cycle
 - Pretpostavka na kojoj je bazirana primjena IP protokola jeste da je uređaj uvijek povezan
 - Pouzdanost
 - Npr. TCP ne omogućava diferencijaciju paketa koji su odbačeni usljed saobraćajnog preopterećenja ili paketa izgubljenih na bežičnom linku.
 - Rutiranje
 - IP protokoli rutiranja su projektovani za jedan broadcast domen. Nisu prilagođeni mesh ili konekcijama malog dometa.

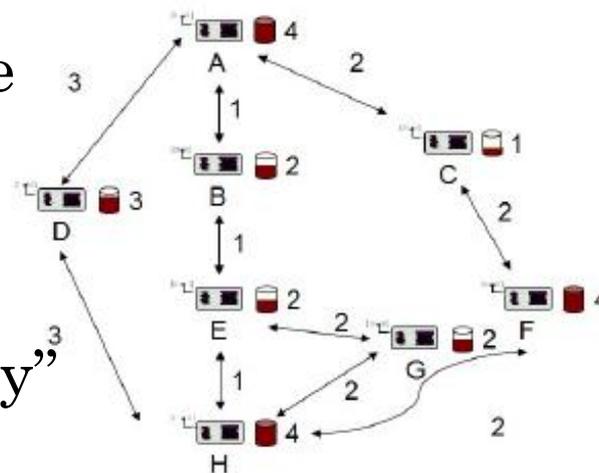
WSN PROTOKOLI - ISO-OSI STEK

- Ponašanje čvora definisano je skupom protokola ili skupom pravila na osnovu kojih čvor funkcioniše



RUTIRANJE – IZBOR ODGOVARAJUĆE PUTANJE

- Maksimalan ukupan raspoloživi kapacitet baterije
 - Metrika putanje: zbir nivoa napajanja
 - Primjer: A-C-F-H
- Minimalno “battery cost” rutiranje
 - Metrika putanje: zbir recipročnih baterijskih nivoa
 - Primjer: A-D-H
- Uslovno “max-min battery capacity” rutiranje
 - Uzimaju se u obzir samo nivoi ispod definisanog praga
- Minimalna ukupna prenosna snaga



POREĐENJE: IPV4 I IPV6 ADRESIRANJE

128-bitna IPv6 adresa = 64-bitna prefix + 64-bitna Interface ID (IID)

An IPv4 address (dotted-decimal notation)

172 . 16 . 254 . 1



10101100.00010000.11111110.00000001



One byte = Eight bits

Thirty-two bits ($4 * 8$), or 4 bytes

An IPv6 address (in hexadecimal)

2001:0DB8:AC10:FE01:0000:0000:0000:0000



2001:0DB8:AC10:FE01:: Zeroes can be omitted



10000000000001:0000110110111000:1010110000010000:1111111000000001:

0000000000000000:0000000000000000:0000000000000000:0000000000000000

128-bitna IPv6 adresa: svakih 16 bita (četiri heksadecimalna digita) razdvajaju se dvotačkama; ako se u sekvenci 16-bitskih vrijednosti nalaze sve nule, onda se koristi oznaka ::

KONFIGURACIJA IPV6 ADRESE

64-bitiski mrežni prefiks

64-bitiski Suffix / Interface Identifier (IID)

Stateless Address Auto Configuration

EUI 64-bit

IEEE 15.4 kratke adrese

Stateful Address Configuration

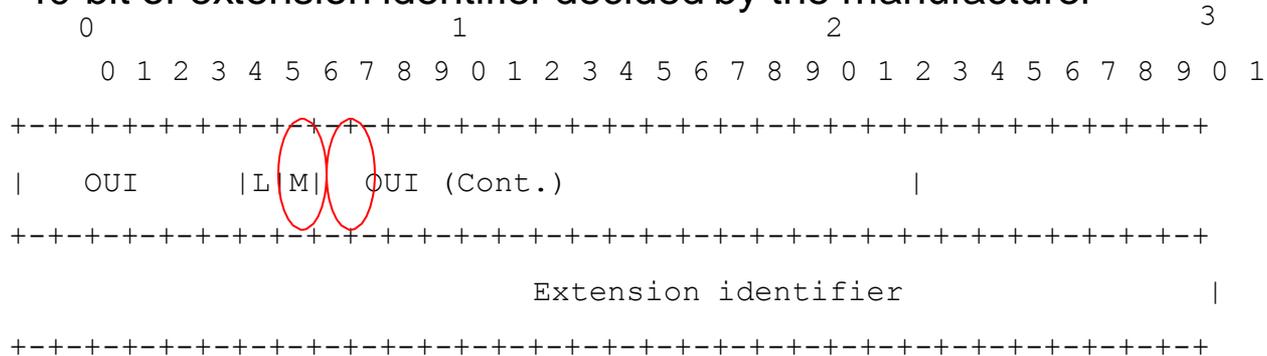
DHCPv6

IPv6 ADRESA: 64 BITA IID

64-bit IEEE EUI-64 bit (Extended Unique Identifier)

24-bit OUI (Organizationally Unique Identifier)

40-bit of extension identifier decided by the manufacturer



Primjer: **MAC adresa:** 00:1D:BA:06:37:64 konvertuje se u 64-bitski IID
IID: 00:1D:BA:**FE:FE**:06:37:64 - bazirano na MAC adresi

Mrežni prefiks: 2001:db8:1:2::/64

Kompletna IPv6 adresa : 2001:db8:1:2:**021D:BAFF:FE06:3764**

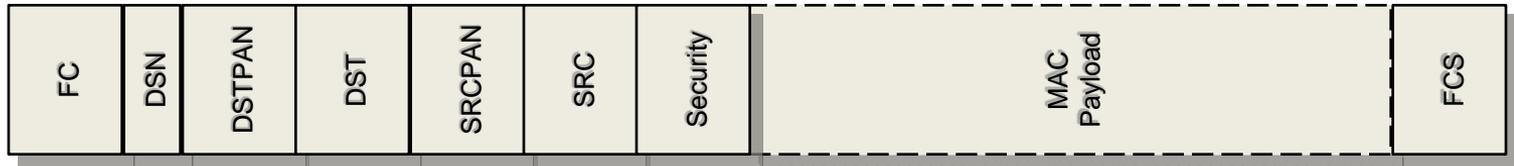
IPv6 ADRESE U HEKSADECIMALNOJ NOTACIJI

| Long form | Abbreviated form | Explanation |
|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 2001:DB8:0:0:8:800:200C:417A | 2001:DB8::8:800:200C:417A | A unicast address |
| FF01:0:0:0:0:0:0:101 | FF01::101 | A multicast address |
| 0:0:0:0:0:0:0:1 | ::1 | Loopback address |
| FE80:0:0:0: | FE80:: | A Link Local address |

Uvod u 6LoWPAN

802.15.4 MAC FRAME

Num of bytes: 2 1 0/2 2/8 0/2 2/8 0/5/6/10/14 variable 2



← 127 bytes MAX →

802.15.4 MAC ram sa 64-bitским adresama (bez sigurnosnih elemenata)



← 21 B →

2 B

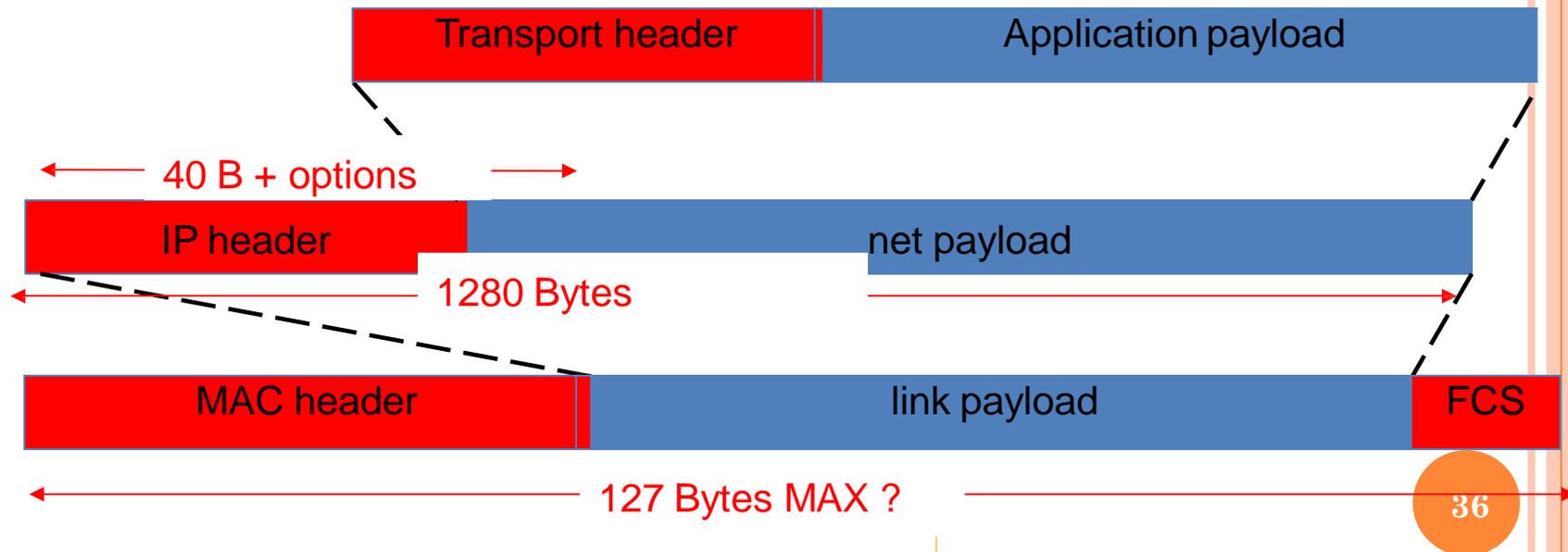
IP OVER 802.15.4

▶ Header overhead

- Standardno IPv6 zaglavlje je veličine 40 bajtova [RFC 2460]
- Kompletan 802.15.4 MTU je veličine 127 bajtova

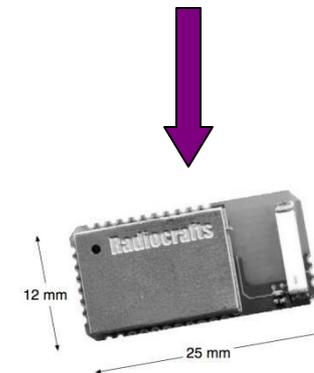
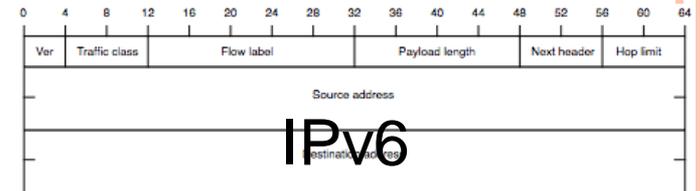
▶ Fragmentacija

- IPv6 zahtijeva da svi linkovi podržavaju prenos paketa veličine 1280 bajtova [RFC 2460]
- Kompletan IPv6 paket se ne može prenijeti u okviru 802.15.4 rama!



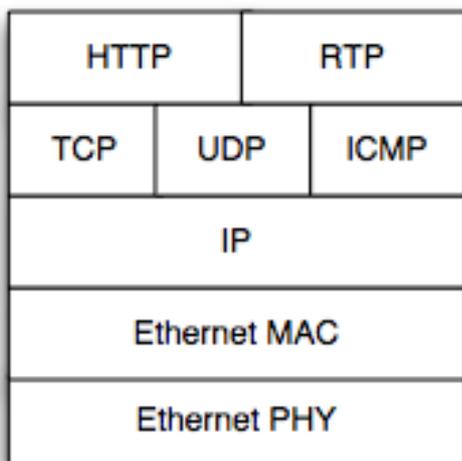
6LoWPAN

- ▶ 6LoWPAN : IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Networks
- ▶ Definisan IETF standardima (draft-ietf-6lowpan-hc)
 - RFC 4944
 - RFC 6282
- ▶ Kompresija zaglavlja
 - Stateless
 - Context based
- ▶ Neighbor discovery
 - draft-ietf-6lowpan-nd (RFC 6775)
- ▶ Minimalni memorijski i programski resursi
- ▶ Direktna Internet integracija

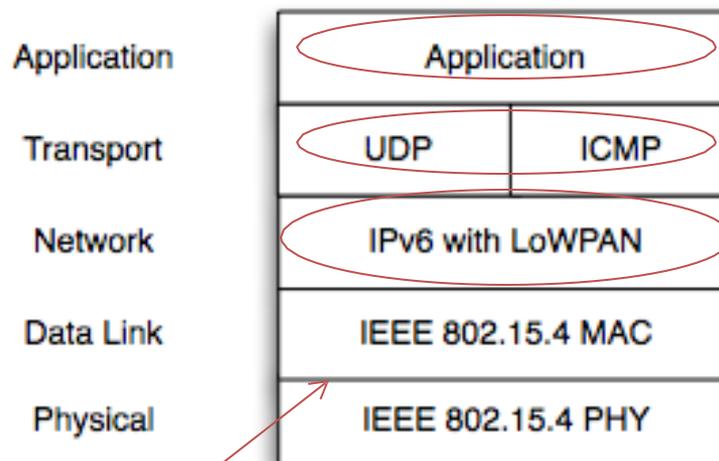


PROTOKOL STEK

TCP/IP Protocol Stack



6LoWPAN Protocol Stack



Bežične tehnologije male snage

6LoWPAN arhitektura

▶ LoWPANs

- ▶ čvorovi (Host/Router)

▶ Simple LoWPAN

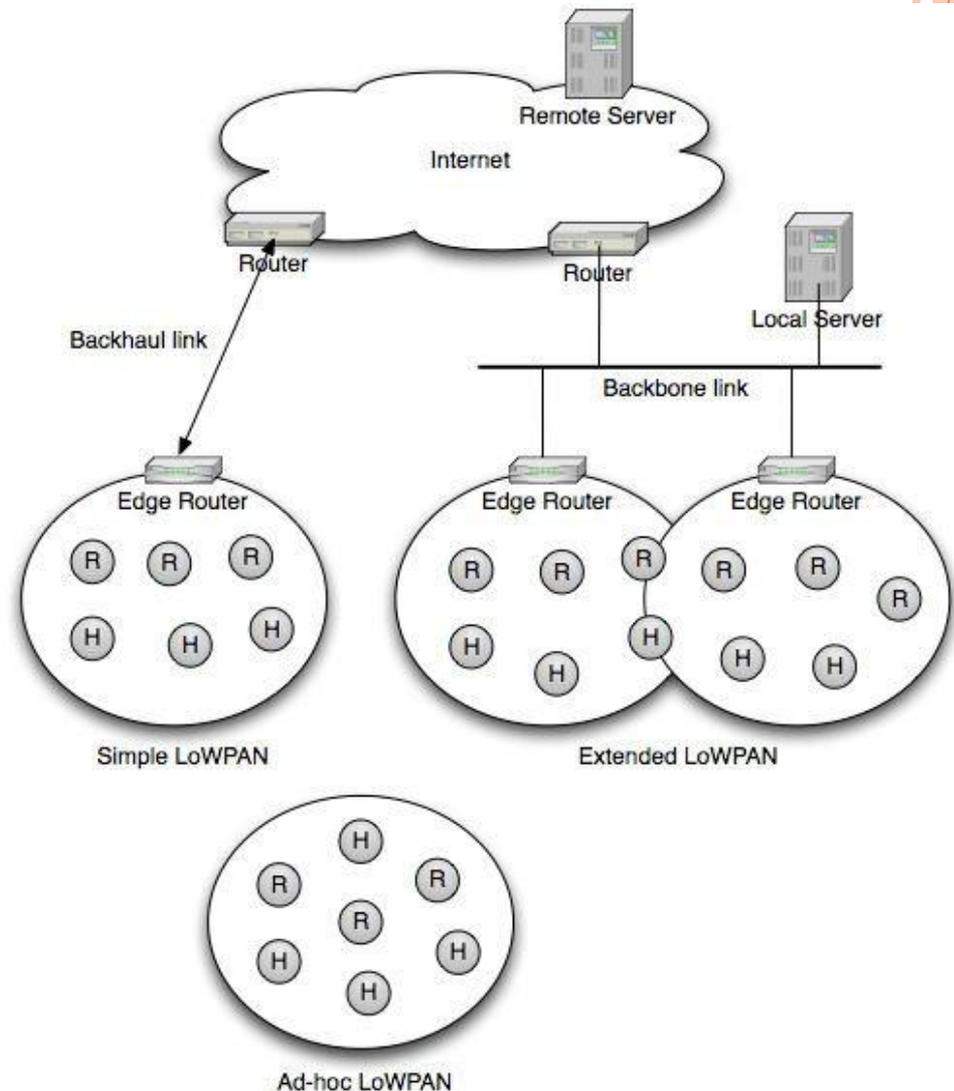
- Skup čvorova koji dijele isti **IPv6 adresni prefiks**
- Edge Router (funkcije kompresije i ND, IPv4 interkonektivnost)

▶ Extended LoWPAN

- veći broj Edge rutera sa zajedničkim backbone linkom

▶ Ad-hoc LoWPAN

- nije povezana na Internet

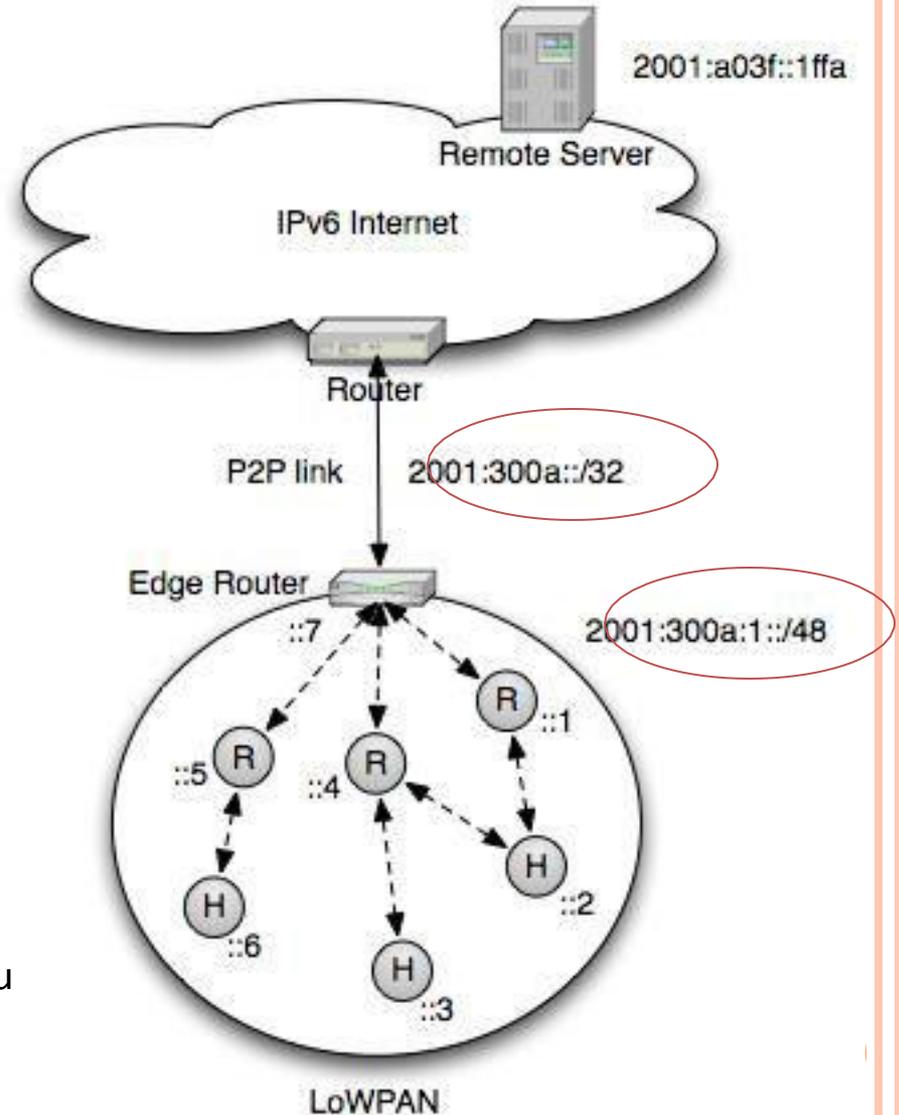


WSN: ADRESIRANJE

- ▶ IPv6 adrese se formiraju na osnovu:
 - **Network Prefix:** LoWPAN prefiks
 - **IID:** Link Layer adresa bežičnog linka (64bit EUI / 16 bita kratka adresa)
- ▶ *Flat* LL adresiranje za sve uređaje
 - Jedinstvene duge adrese (EUI-64)
 - Kratke adrese (od 8 do 16 bita)
- ▶ Podrška broadcast adresiranju (0xFFFF u IEEE 802.15.4), ali nije podržan standardni multicast

ADRESIRANJE : PRIMJER 6LoWPAN

- ▶ Pretpostavka: LoWPAN koristi IEEE 802.15.4 i IP rutiranje
- ▶ Edge Router
 - konfiguriše IPv6 prefiks na njegov 802.15.4 bežični interfejs (2001:300a:1::/48)
 - Oglašava IPv6 prefiks čvorovima u LoWPAN
- ▶ LoWPAN node
 - IPv6 adresa sa 64-bit IID
 - Prima generisanu IPv6 adresu sa 16 bita IID (HOST :: 1 -> 2001:300a:1::1)
- ▶ Rutiranje
 - Paketi koji se šalju unutar LoWPAN ne zahtijevaju IPv6 mrežni prefiks *inline*
 - Paketi koji se šalju izvan LoWPAN zahtijevaju IPv6 adresu *inline*





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission

This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

**Digital Broadcasting &
Broadband Technologies**