

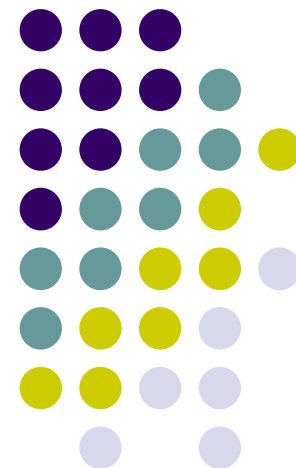
Lekcija 7:

Bežične mreže u industrijskoj automatizaciji

Prof.dr.sc. Jasmin Velagić
Elektrotehnički fakultet Sarajevo

Kolegij: Distribuirani sistemi

2012/2013



Sadržaj poglavlja:

- + Bežične mreže u industrijskoj automatizaciji
 - ad-hoc mobilne mreže
 - senzorske ili senzor/aktuator mreže

- + Tehnike bežičnog prijenosa
 - Bluetooth
 - WLAN
 - ZigBee
 - UWB
 - GPRS (UMTS)
 - Usporedba bežičnih tehnologija

- + Primjene u upravljanju
 - Otvoreni sistemi upravljanja
 - Zatvoreni sistemi upravljanja

Cilj:

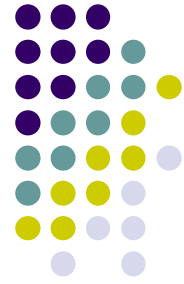
- Pregled bežičnih tehnologija primijenjenih u industrijskoj automatizaciji.
- Upoznavanje sa novim konceptima bežičnih mreža, kao što su ad-hoc i senzor/aktuator mreže, te njihovo korištenje u gradnji decentraliziranih upravljačkih arhitektura.



7. BEŽIČNE MREŽE U INDUSTRIJSKOJ AUTOMATIZACIJI

Definicija i podjela bežičnih mreža

- **Bežična mreža je fleksibilni podatkovni komunikacijski sistem koji koristi bežični medij, kao što je tehnologija radio frekvencija, za slanje i primanje podataka zračnim putem, minimizirajući potrebu za žičanim vezama.**
- Bežične mreže se koriste za povećanje mogućnosti, a ne za zamjenu, žičanih mreža i najviše se koriste da bi osigurali povezivanje mobilnog korisnika sa žičanom mrežom.
- One koriste elektromagnetne valove za prijenos informacije sa jedne na drugu tačku ne oslanjajući se na fizičku konekciju.
- Radio valovi se koriste kao radio nosioci jer jednostavno obavljaju funkciju isporuke energije udaljenom prijemu.
- Odošli podatak se modulira radio nosiocem tako da se može tačnije rekonstruirati na prijemnom mjestu.
- Kada se podatak modulira radio nosiocem, radio signal zauzima više od jedne frekvencije, budući da se frekvencija ili brzina prijenosa bita modulirajuće informacije dodaje nosiocu.



Bežične mreže u industrijskoj automatizaciji

Definicija i podjela bežičnih mreža

- Više radio nosilaca može postojati na istom prostoru u isto vrijeme bez uzajamnog ometanja ako se radio valovi prenose različitim radio frekvencijama.
- Za ekstrakciju podataka, radio prijemnik podešava jednu frekvenciju, a odbija ostale frekvencije.
- Zatim se prima modulirani signal i vrši njegova demodulacija i na taj način se podatak izdvaja iz signala.
- Bežične mreže, sa stajališta produktivnosti, pogodnosti i manjih troškova, su u prednosti u odnosu na standardne žičane mreže, a što se ogleda u sljedećem:
 - **mobilnost:** omogućuju mobilnim korisnicima pristup informacijama u realnom vremenu, tako da se oni mogu kretati (roaming) unutar mreže bez diskonekcije od strane mreže. Ova mobilnost pruža produktivnost i uslužne mogućnosti koje nisu moguće sa žičanim mrežama.
 - **brzina i jednostavnost instalacije:** instalacija bežičnog sistema može biti brza i jednostavna i može eliminirati potrebu za provlačenjem kabela kroz zidove i plafone.



Bežične mreže u industrijskoj automatizaciji

Definicija i podjela bežičnih mreža

- **doseg (domašaj) mreže:** mreža može biti proširena do mjesta koja ne mogu biti povezana žicama.
- **veća fleksibilnost:** bežične mreže pružaju veću fleksibilnost i lakše se adaptiraju na promjene u konfiguraciji mreže.
- **smanjenje vlastitih troškova:** dok početno ulaganje zatijevano za bežične mreže može biti veliko, troškovi cjelokupne instalacije i troškovi njihovog “doživotnog” održavanja mogu biti značajno niži u dinamičkim sredinama.
- **skaliranje:** bežični sistemi mogu biti konfigurirani u različitim topologijama s ciljem postizanja specifične aplikacije i instalacije. Konfiguracije mogu biti lahko promijenjene od peer-to-peer mreža za mali broj korisnika do velikih infrastrukturnih mreža koje omogućuju roaming preko širokog područja.

Vrste bežičnih mreža:

- **ad-hoc mobilne mreže,**
- **senzorske mreže.**



7.1. Mobilne ad-hoc mreže

Kolekcija “slobodnih” mobilnih čvorova koji su sposobni komunicirati svaki sa svakim bez pomoći bilo kakve uspostavljene infrastrukture ili centralizirane administracije.



6/83

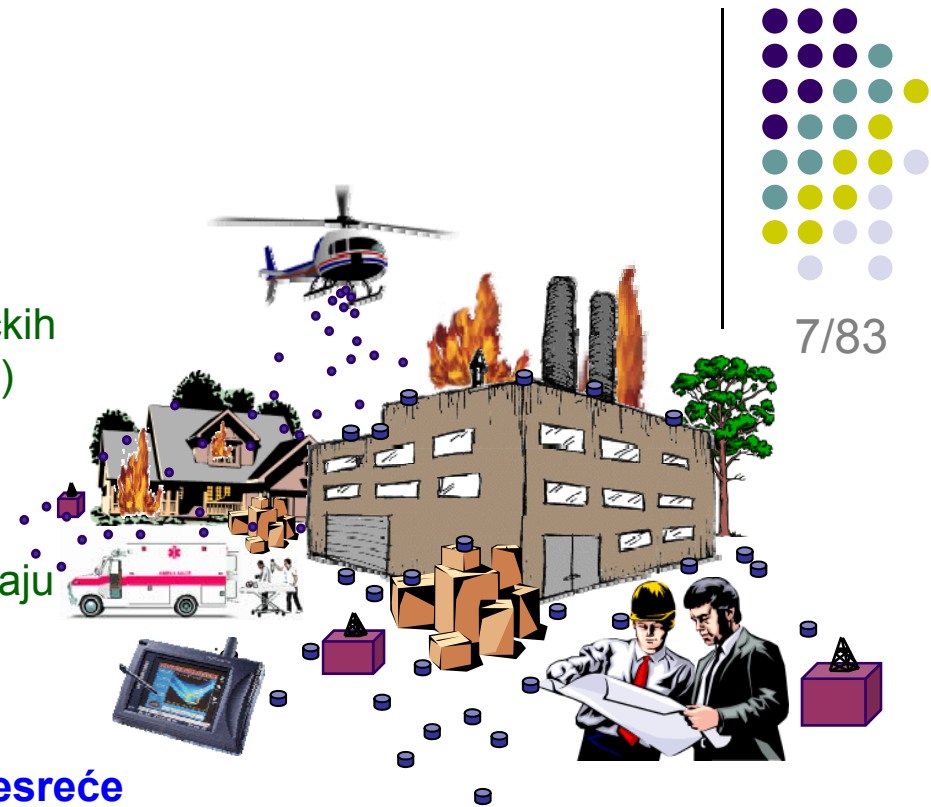
Glavne karakteristike:


- Dinamička topologija.
- Svaki čvor djeluje kao neovisni usmjerivač.
- Zbog bežičnog načina komunikacije:
 - ograničen pojas propuštanja i promjenjiv kapacitet veza,
 - ograničeno prijenosno područje,
 - ograničeno korištenje energije,
 - limitirana fizička zaštita.
- MAC i mrežni protokoli su distribuirane prirode.
- Složeni protokoli usmjeravanja sa velikim prijenosom i velikim procesnim opterećenjem svakog čvora.


Mobilne ad-hoc mreže

- ❑ Čvorovi koji se nalaze unutar područja prijenosa komuniciraju direktno jedan sa drugim, dok se komunikacija preko velikih udaljenosti ostvaruje korištenjem posredničkih čvorova kao kod višerefleksivnog (multihop) načina prijenosa.
- ❑ Operacije mreže su samoorganizirajuće i “samoizlječive”: ako prijenos “padne”, alternativne staze se automatski uspostavljaju da bi se podaci ponovno rutirali i održali konekciju (povezanost) mreže.

- Oporavak od nesreće
- Bojno polje
- ‘Pametni’ ured, itd.

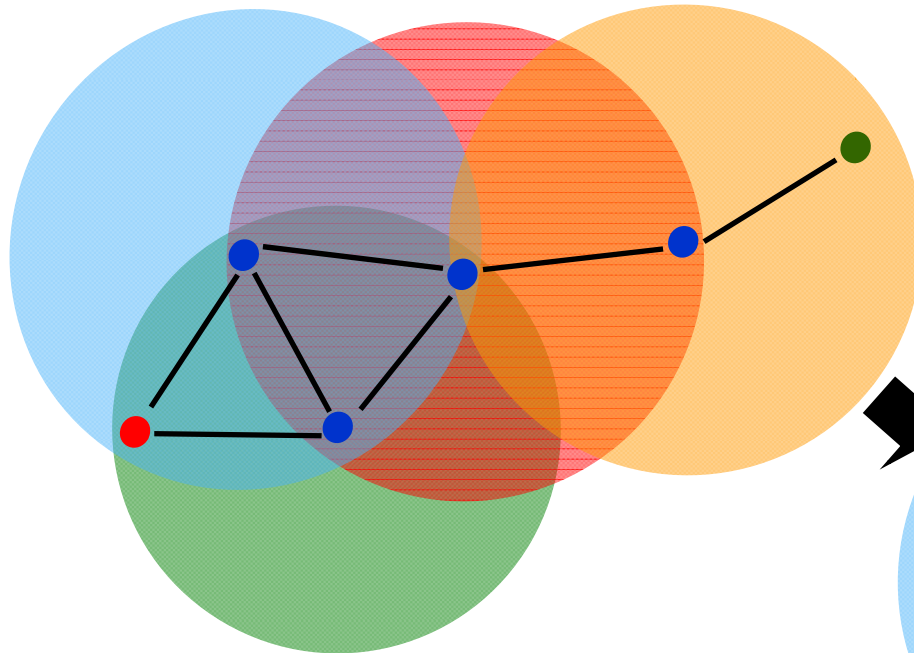


- Rapidni razvoj infrastrukture
 - Wireless: nepraktični kabeli
 - Ad-Hoc: nema unaprijed planiranja
-  **Backbone mreža:** wireless IP usmjerivači

- Mreža pristupnih uređaja
 - **Wireless:** bezlančana
 - **Ad-hoc:** slučajni razvoj
-  **Mreža vrhova:** Senzorske mreže, PAN (Personal Area Networks), itd.

Mobilne ad-hoc mreže

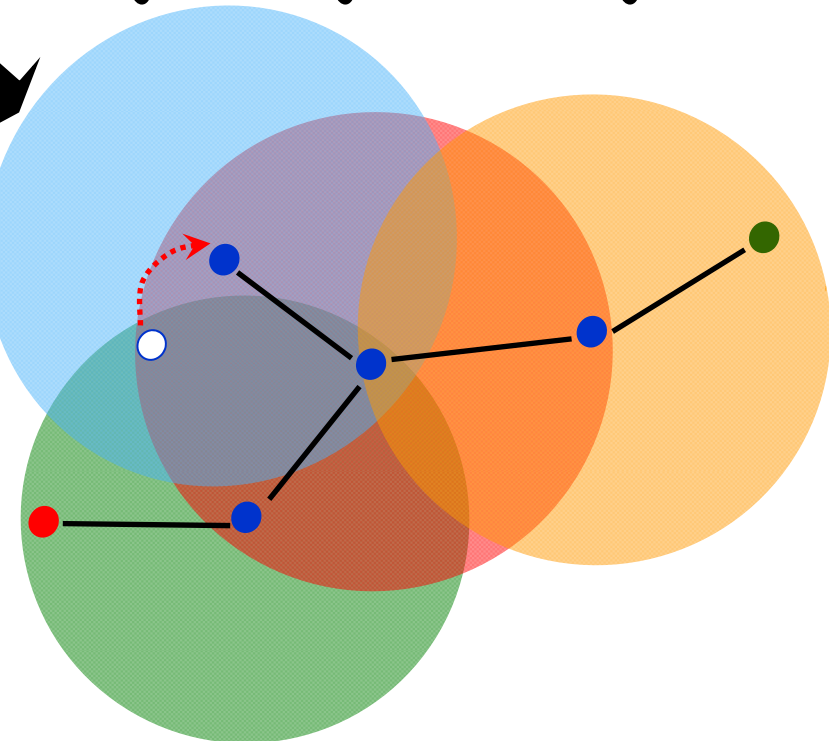
Mobilne ad-hoc mreže – dinamička topologija



Mobilnost čvorova ima veliki utjecaj na dizajniranje protokola usmjeravanja (rutiranja)



Mobilnost čvorova formira dinamičku topologiju, tj. promjene u povezivanju između čvorova.

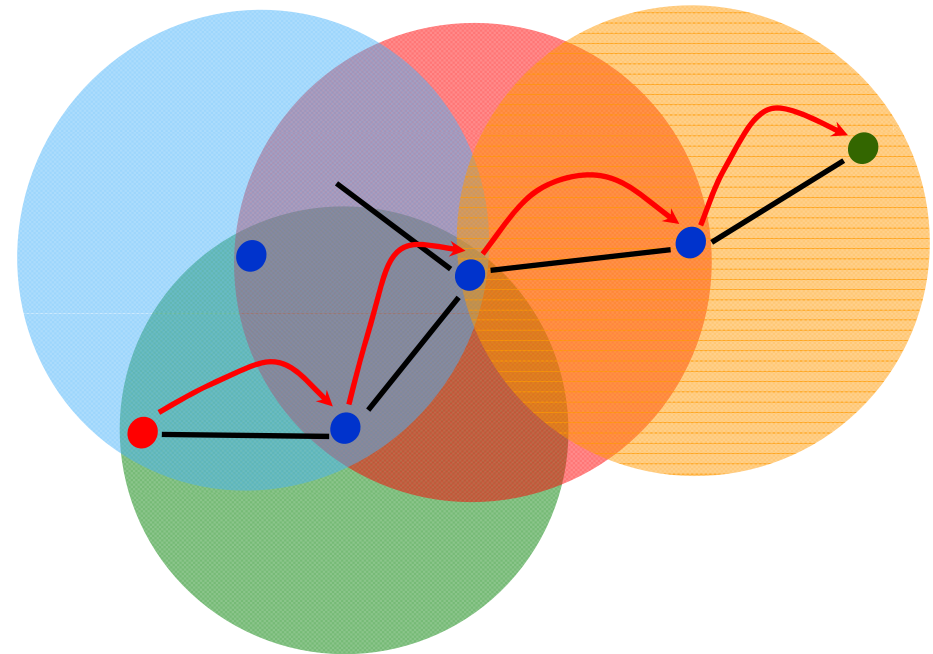
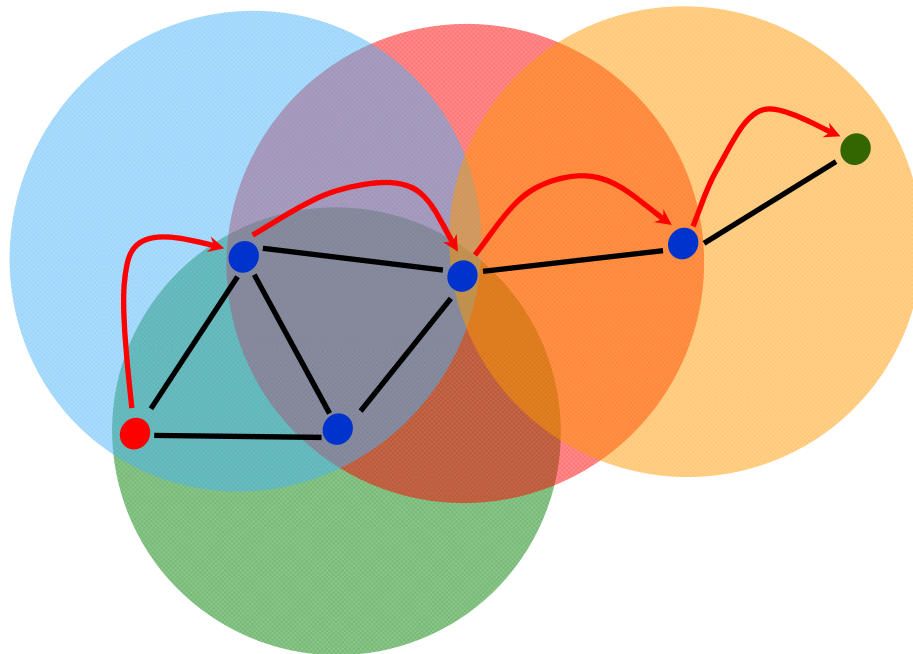


Mobilne ad-hoc mreže

Mobilne ad-hoc mreže – rutiranje

Dinamičko rutiranje

Održavanje rutiranja



Protokoli rutiranja

Željena svojstva:

- distribuiranost
- energetska iskoristivost
- sigurnost.

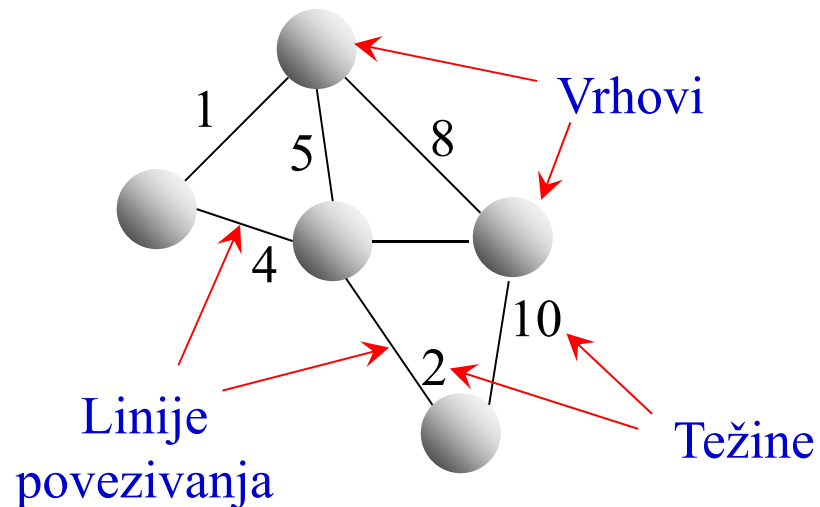
Performanse-metrika:

- protok podataka
- kašnjenje
- opći troškovi
- potrošnja energije.

Mobilne ad-hoc mreže

Primjena teorije grafova

- Mreže se mogu predstaviti težinskim grafovima.
- Čvorovi su vrhovi grafova.
- Komunikacijske veze su linije koje povezuju vrhove.
- Težine linija predstavljaju metriku, npr. troškovi pridruženi komunikacijskim linijama (vezama).

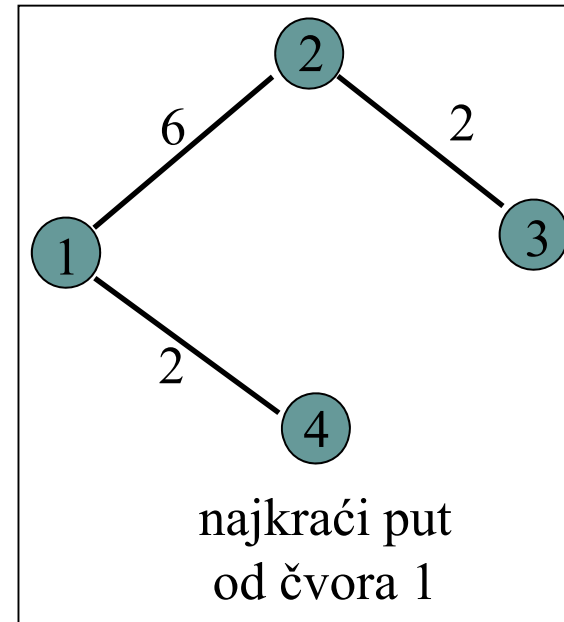
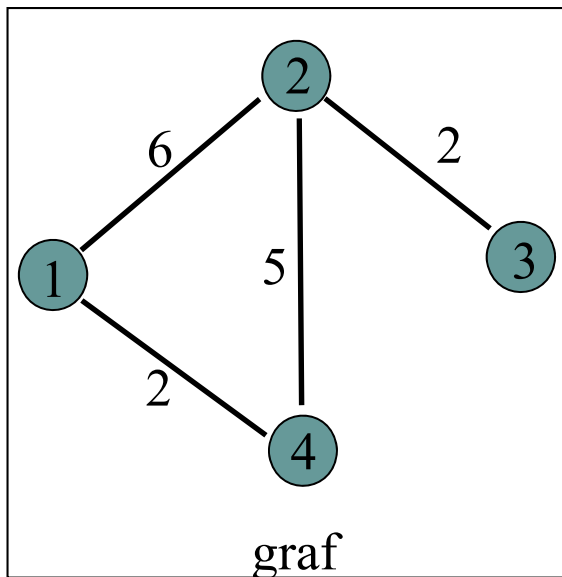


- Protokoli usmjeravanja često koriste algoritme najkraćeg puta.

Mobilne ad-hoc mreže

Algoritmi najkraćeg puta

- Pretpostavimo ne-negativne težine linija.
- Za zadani težinski graf i čvor s , staza najkraćeg puta T sa početkom u s je ona, za bilo koji drugi čvor v , kod koje je put između s i v u T najkraći.



- Primjeri algoritama koji računaju stabla najkraćih puteva su **Dijkstra** i **Bellman-Ford** algoritmi.

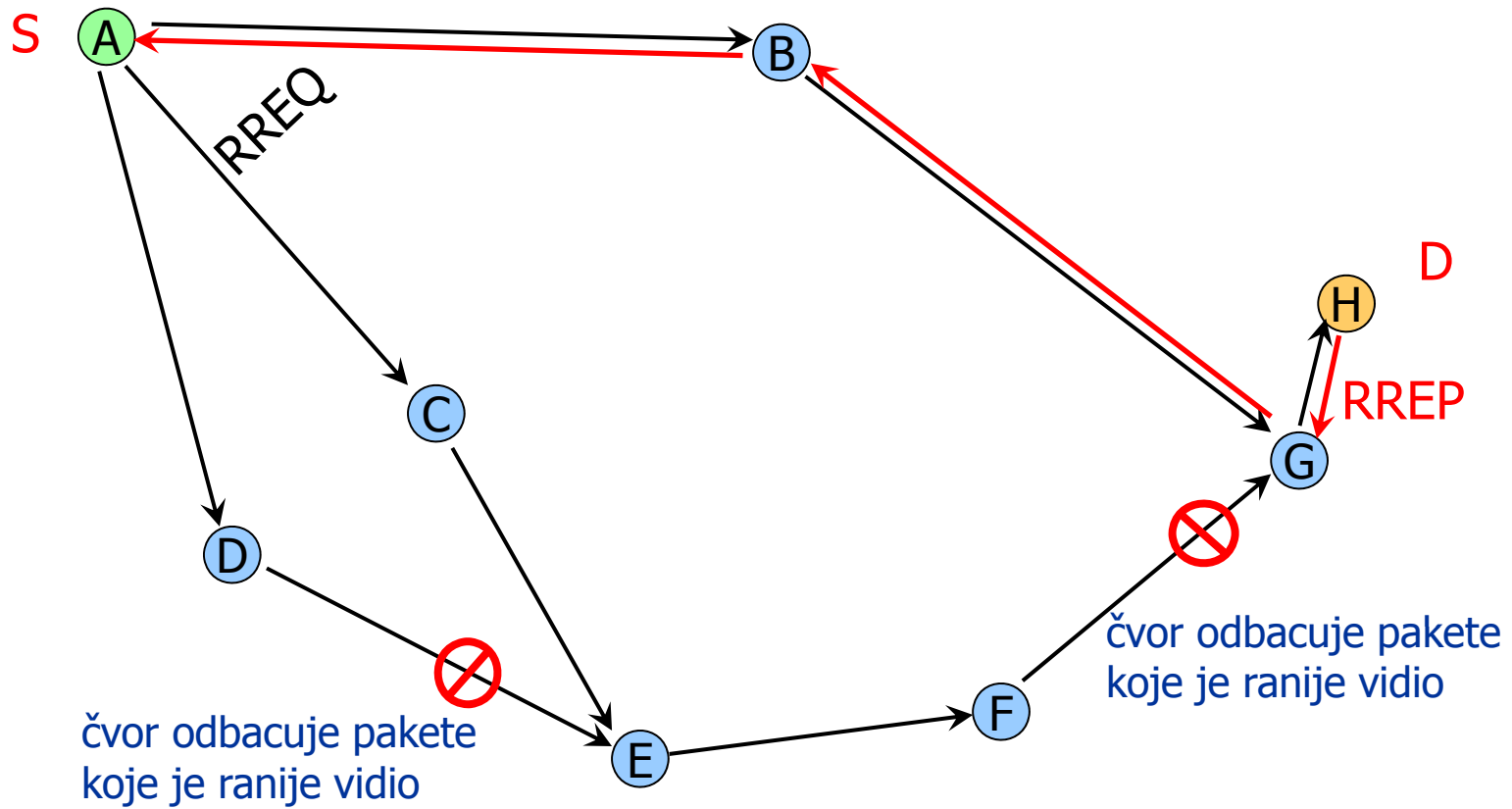
Mobilne ad-hoc mreže

AODV pronalaženje puta



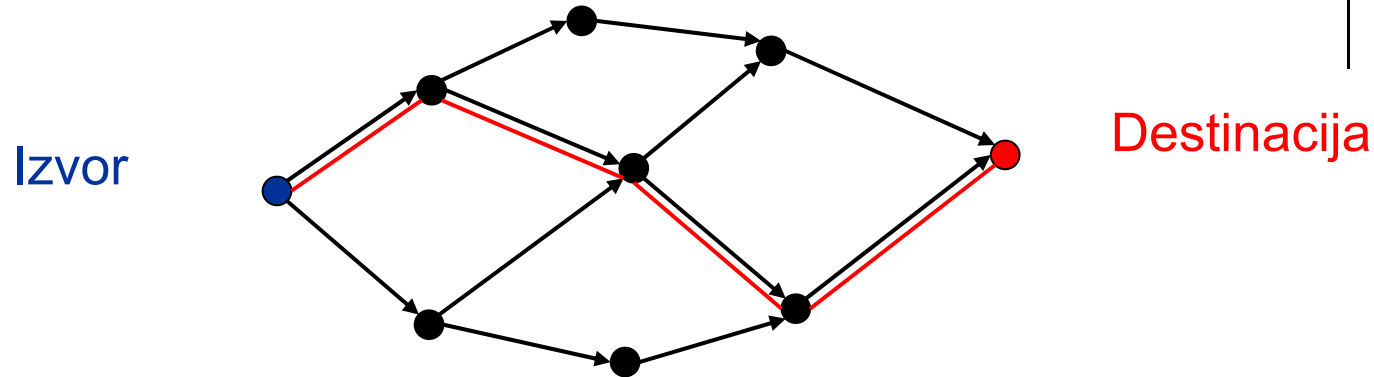
Izvor putanje paketa

susjedi ponovno šalju paket dok ne dostignu željenu destinaciju



Mobilne ad-hoc mreže

Tradicionalni protokoli usmjeravanja



Promatrati nekoliko ruta

Pronaći najbolju

Nakon toga koristiti je što je moguće više.

Problemi

- Trošenje energije u pouzdanim (sigurnim) čvorovima.
- Nisu pogodni za **bežične senzorske mreže**.

7.2. Senzorske mreže

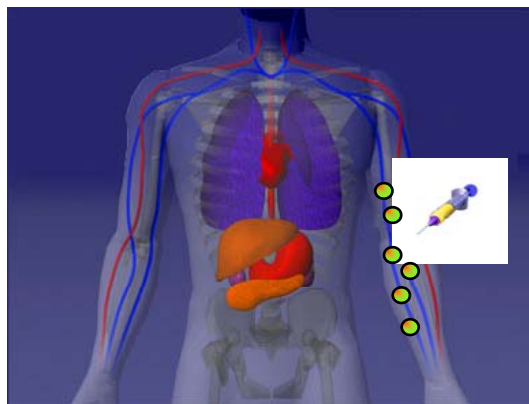
Kolekcija jeftinih, niskoenergijskih, višefunkcionalnih i malih senzorskih čvorova.



14/83

Njihova korist proizlazi iz napretka sljedeće tri tehnologije:

- Digitalnih strujnih krugova.
- Bežičnih komunikacija.
- Silicijskih mikro strojeva.



Cirkulacijska mreža

Nove tehnologije smanjuju troškove, dimenzije i snagu mikro-senzora i bežičnih sučelja.



Nadgledanje okoline

Senzorske mreže

Karakteristike

- Veliki broj čvorova.
- Nesimetrični tok informacija.
- Komunikacije izazvane pitanjima ili događajima.
- U svakom čvoru postoji ograničena količina energije.
- Gotovo statička topologija.
- Mali troškovi, veličina i težina po čvoru.
- Sklone kvarovima.
- Difuzijske komunikacije umjesto tačka-tačka linija.
- Čvorovi nemaju globalni ID kao ni IP broj.
- Ograničena sigurnost.

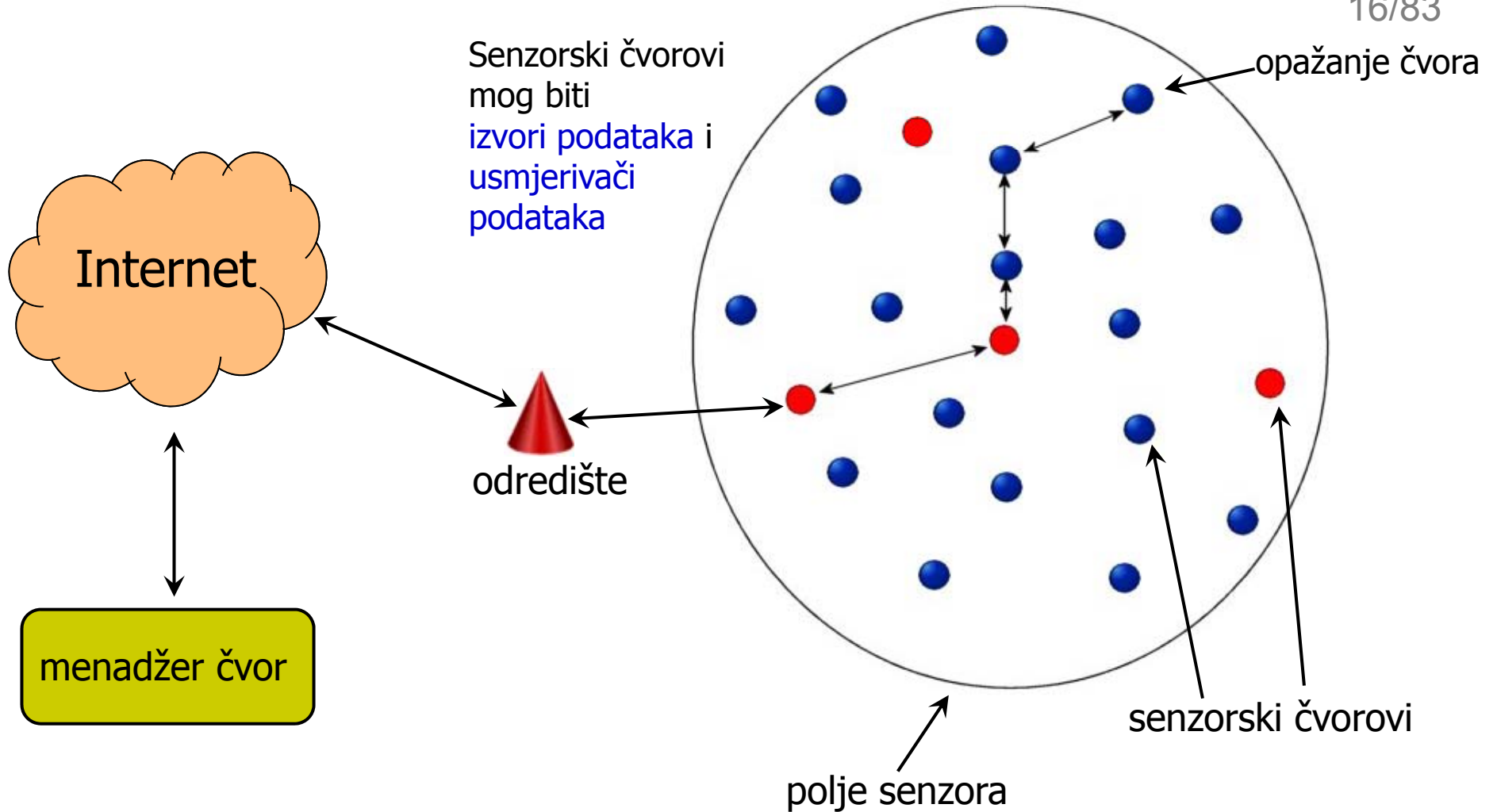


Senzorske mreže

Arhitektura bežične senzorske mreže



16/83

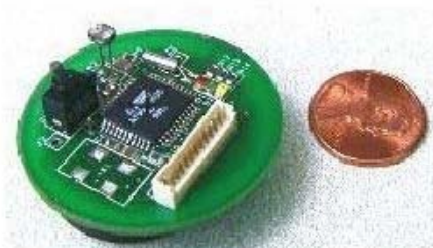


Senzorske mreže

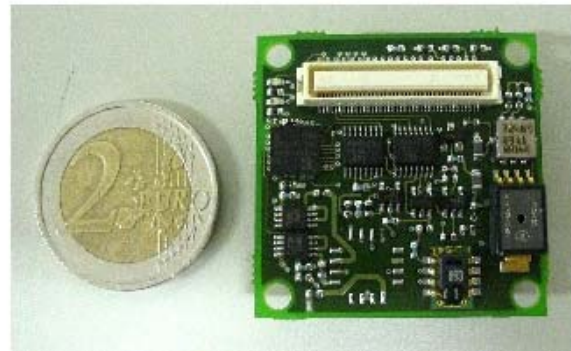
Primjeri senzorskih čvorova



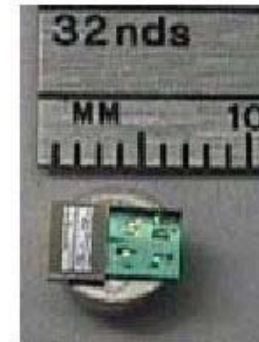
17/83



UC Berkeley: COTS Dust



CWC: WIRO



UC Berkeley: Smart Dust



VTT Electronics
SoapBox



Rockwell: WINS



JPL: Sensor Webs

Senzorske mreže

Ograničenja pri projektiranju

- ❑ **Tolerancija na kvar** – Kvar (greška) čvorova ne smije degradirati performanse cjelokupne mreže.
- ❑ **Skaliranje** – Primijenjeni mehanizam treba biti sposoban adaptirati se širokom području dimenzija mreža (broj čvorova).
- ❑ **Troškovi** – Troškovi pojedinačnog čvora trebaju biti niski.
- ❑ **Potrošnja energije** – Treba se držati minimalnom kako bi se proširio koristan vijek mreže.
- ❑ **Hardverska i softverska ograničenja** – Senzori, pronalaženje lokacije sistema, antena, pojačala snage, modulacija, kodiranje, CPU, RAM, operacijski sistem.
- ❑ **Održavanje topologije** – Osobito suočavanje sa velikom brzinom kvara čvorova.
- ❑ **Razvoj** – Mehanizmi predrazvoja i planovi za zamjenu i/ili održavanje čvorova.
- ❑ **Okolina** – U kući, u prostoru, u divljini, na cesti, itd.
- ❑ **Prijenosni medij** – ISM područja, infracrveni, itd.



Senzorske mreže

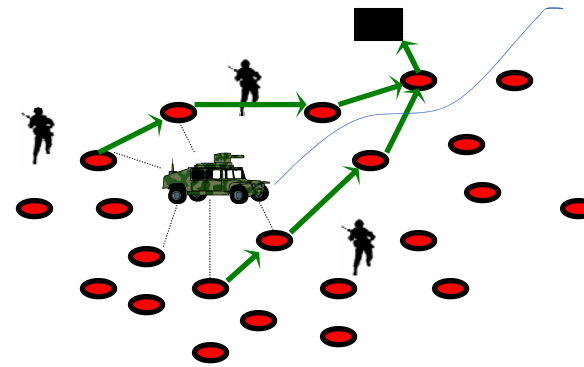
Neke primjene senzorskih mreža

□ Bojna polja

Detekcija, klasifikacija i slijeđenje

Primjer: AWAIRS

(UCLA & Rockwell Science Center)



□ Nadziranje prebivališta: mikro-klimatska i područja divljine.

Primjeri:

- ZebraNet (Princeton)
- Nadziranje morskih ptica na Maine's Great Duck otoku (Berkeley & Intel)



Senzorske mreže

Neke primjene senzorskih mreža

- **Strukturalni, seizmički**

Mostovi, autoputevi, građevine

Primjeri: Coronado Bridge San Diego (UCSD),
Factory Building (UCLA)

- **“Pametne ceste”**

Nadziranje prometa, detekcija sudara,
asistiranje u oporavku

Primjeri: ATON projekt (UCSD)

- **Detekcija kontaminacija**

Primjeri: Višesvrсни senzorski program (Boise
State University)



20/83



autoput

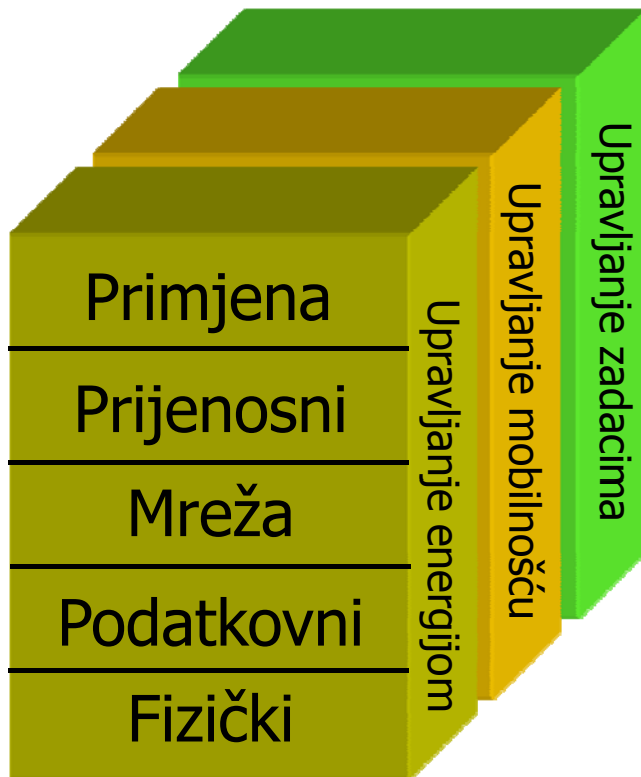


kamera

mikrofon

Senzorske mreže

Slojnost protokola senzorske mreže



Upravljanje energijom - Kako senzor koristi svoju energiju, npr. isključiti senzorski krug nakon primanja poruke.

Upravljanje mobilnošću - Detektirati i registrirati kretanje senzorskih čvorova.

Upravljanje zadacima - Balansiranje i raspoređivanje senzorskih zadataka za zadani specifični region.

Senzorske mreže

Fizički sloj

- **Izbor frekvencije** – Korištenje industrijskih, naučnih i medicinskih (ISM) opsega često se preporučuje.
- **Generiranje frekvencije nosioca i detekcija signala** – Ovisi o predajniku i ograničenjima na njegov hardverski dizajn, a što ima za cilj pojednostavljenje, manji utrošak energije i manje troškove po jedinici.
- **Modulacija**
 - *Binarne i M-ary modulacijske* sheme mogu prenositi više bitova po simbolu u složenim krugovima.
 - *Binarne modulacijske* sheme su jednostavnije za implementaciju i stoga se smatra da su energijski efikasnije za WSN primjene.
- **Mali utrošak energije u prijenosu i jednostavniji prijenosni krug** čini *UWB (Ultra Wideband)* atraktivnim kandidatom za
 - prijenos u osnovnom opsegu, tj. nema srednjih ili frekvencija nosioca,
 - općenito koristi PPM (engl. pulse position modulation),
 - elastičnost na više staza,
 - mala energija prijenosa i jednostavan krug za prijenos podataka.

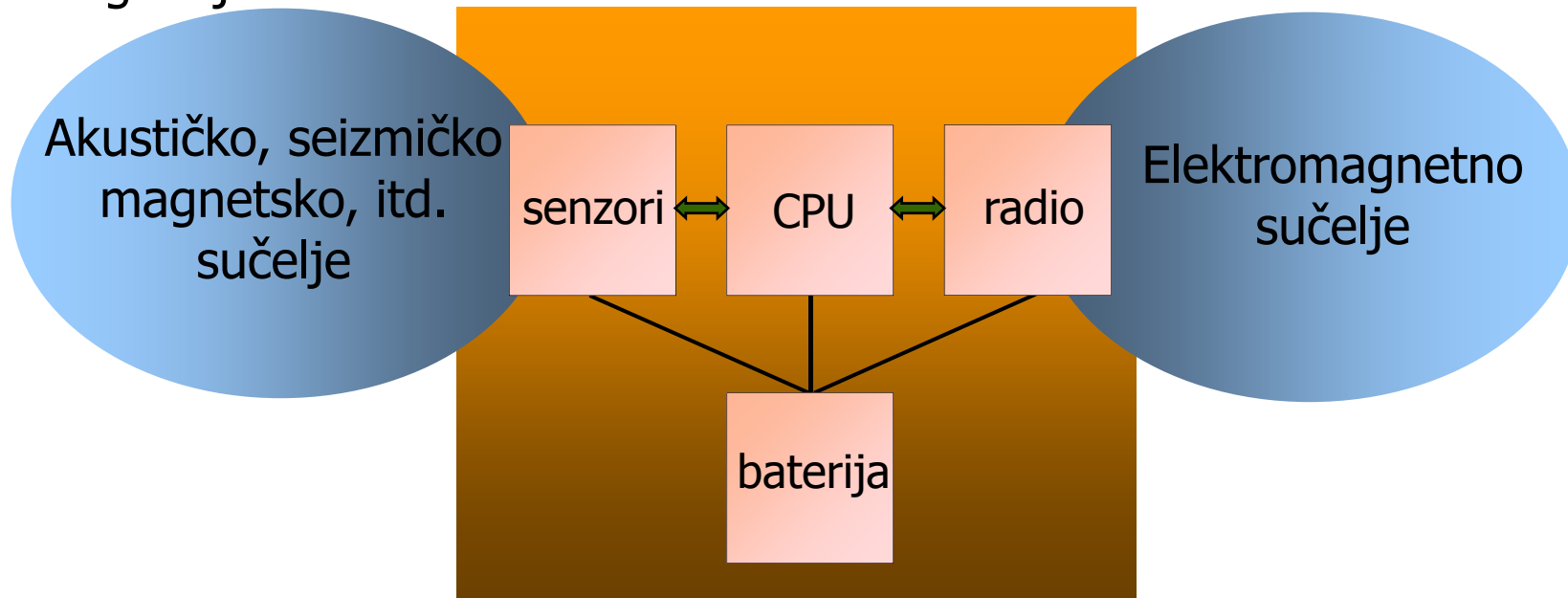


22/83



Senzorske mreže

Hardver čvora



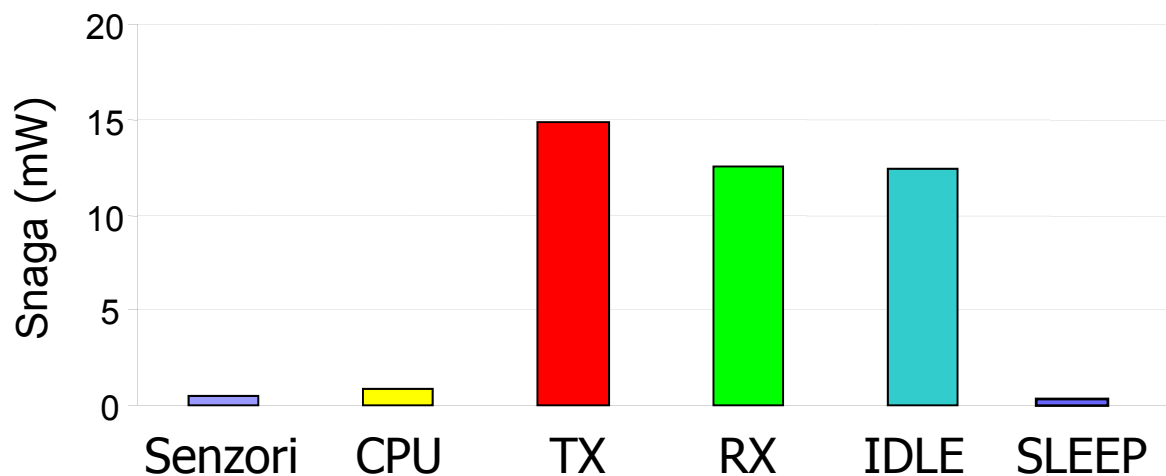
Ograničeno napajanje baterijom



Senzorske mreže

Ograničenja na energiju

- Svaki senzorski čvor ima ograničeno napajanje.
- Čvorovi ne mogu biti energijski dopunjavani.
- Energija se troši za
 - **opažanje** (sensing),
 - **obradu podataka**,
 - **komunikaciju** (najviše energije).

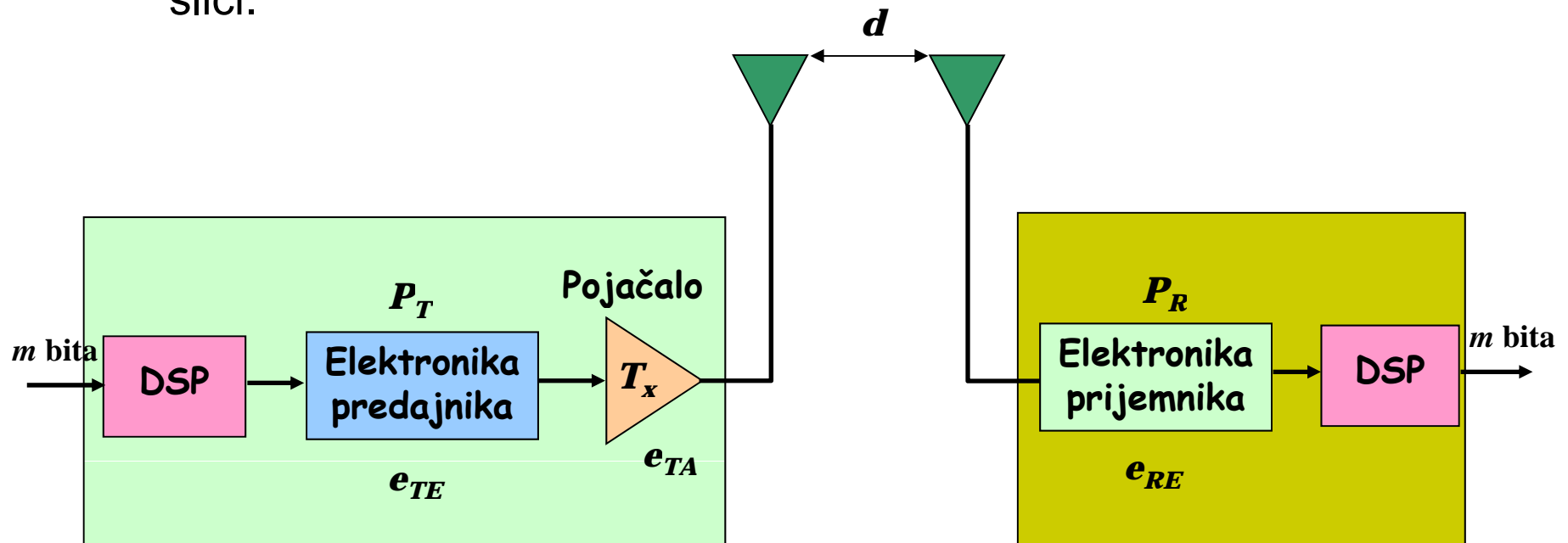


Korištenje energije tipičnih podsistema čvora

Senzorske mreže

Energijski model

- ❑ Tipičan čvor ima senzorski sistem, krug za A/D pretvorbu, DSP i radio predajnik i prijemnik.
- ❑ Senzorski sistem veoma ovisi o primjeni.
- ❑ Komunikacijske komponente troše većinu energije.
- ❑ Jednostavan model wireless linije prikazan je na sljedećoj slici.



Senzorske mreže

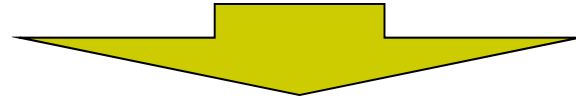
Energijski model

Energija koja se troši pri slanju paketa od m bita preko jedne wireless linije može se izraziti kao:

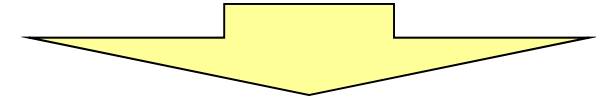


26/83

Predajnik



Prijemnik



$$E_L(m, d) = \{E_T(m, d) + P_T T_{st} + E_{kodiranje}\} + \{E_R(m) + P_R T_{st} + E_{dekodiranje}\}$$

gdje je

E_T = energija korištena za el. krugove predajnika i pojačala snage,

E_R = energija korištena za el. krugove prijemnika,

P_T = energija potrošena na el. krugove predajnika,

P_R = energija potrošena na el. krugove prijemnika,

T_{st} = vrijeme startanja predajnika,

$E_{kodiranje}$ = energija korištena za kodiranje,

$E_{dekodiranje}$ = energija korištena za dekodiranje.

Senzorske mreže

Energijski model

Pretpostavljajući linearnu relaciju za potrošnju energije po bitu predajnika i prijemnika, vrijedi:

$$E_T(m, d) = m(e_{TC} + e_{TA}d^\alpha) \qquad E_R(m) = me_{RC}$$

e_{TC} , e_{TA} i e_{RC} su parametri ovisni o hardveru.

Eksplicitan izraz za e_{TA} može se izvesti kao:

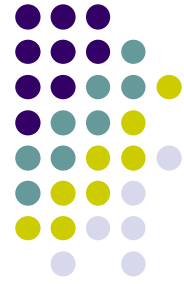
$$e_{TA} = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_r (NF_{Rx})(N_0)(BW)\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^\alpha}{(G_{ant})(\eta_{amp})(R_{bit})}$$



Senzorske mreže

Energijski model

$$\zeta = \frac{(NF_{Rx})(N_0)(BW)\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^\alpha}{(G_{ant})(\eta_{amp})(R_{bit})} \quad \longrightarrow \quad e_{TA} = \zeta \left(\frac{S}{N}\right)_r$$



28/83

$(S/N)_r$ = minimalno zahtijevani omjer signala i šuma u demodulatoru prijemnika za prihvatljivi E_b/N_0 ,

NF_{rx} = šum u prijemniku,

N_0 = toplotni šum u 1 Hz propusnom opsegu (W/Hz)

BW = propusni opseg šuma kanala,

λ = valna duljina u metrima,

α = eksponent čija vrijednost se mijenja od 2 (za slobodni prostor), do 4 (za modele kanala sa više staza),

G_{ant} = pojačanje antene,

η_{amp} = efikasnost energije predajnika,

R_{bit} = brzina sirovih podataka u bitima po sekundi.

Senzorske mreže

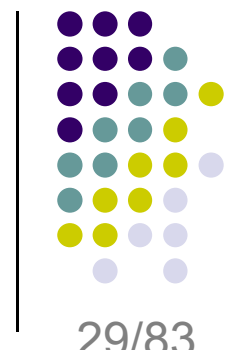
Podatkovni sloj

Odgovoran za multipleksiranje nizova podataka, detekciju okvira, pristup mediju i ispravljanju greški. Osigurava pouzdano tačka-tačka i tačka-više tačaka povezivanje u komunikacijskim mrežama.

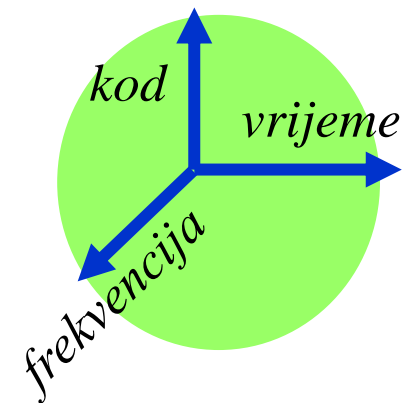
MAC

Više radija dijele isti komunikacijski kanal.

MAC protokoli za senzorske mreže moraju imati **ugrađen mehanizam čuvanja energije** i strategije za ispravno rukovanje **mobilnošću i greškom čvora**.



29/83

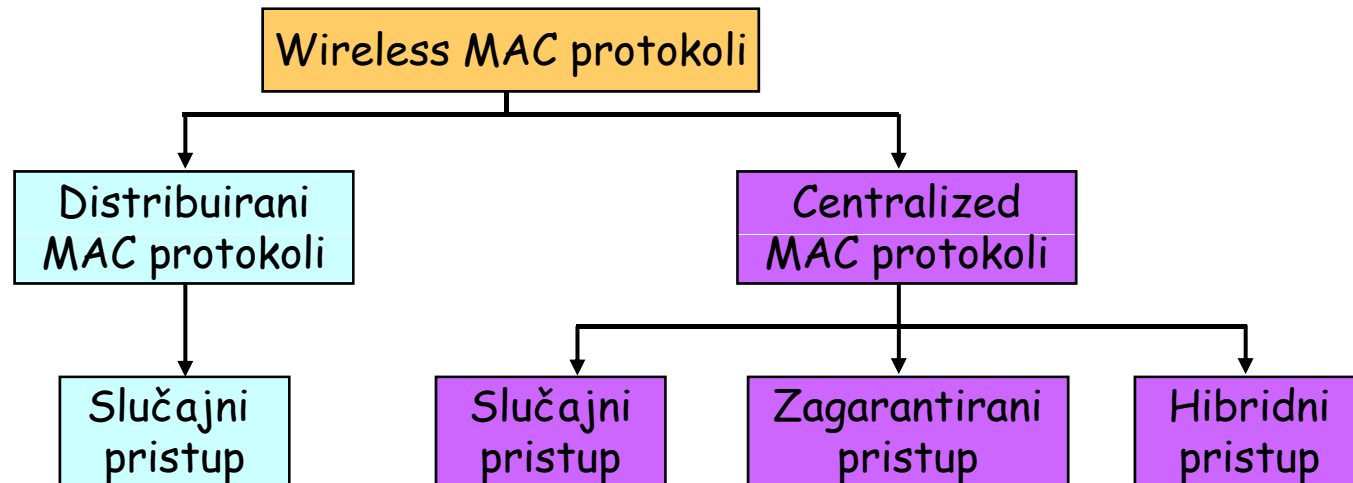


Senzorske mreže

MAC protokoli

Wireless MAC protokoli se mogu klasificirati u dvije kategorije, **distribuirani** i **centralizirani**, u skladu sa tipom mrežne arhitekture za koju se oni dizajniraju.

Protokoli se nadalje mogu klasificirati, ovisno o načinu operiranja, u protokole sa slučajnim pristupom, protokole garantiranog i protokole hibridnog pristupa.



Budući da je poželjno gasiti radio što je moguće više puta kako bi se sačuvala energija – neki tipovi TDMA se često preporučuju za primjene bežičnih senzorskih mreža.

Senzorske mreže

Upravljanje greškom

Upravljanje greškom je važno područje u bilo kojoj radio vezi. Općenito postoje dva načina upravljanja greškom:

- ❑ **FEC (Forward Error Correction)** – Postoji direktna relacija između overhead-a dodanog na kod i broja grešaka koje treba ispraviti. Broj bita u kodnoj riječi ima utjecaj na složenost predajnika i prijemnika. Ako je energija obrade veća od pojačanja koda (coding gain), tada je cijeli proces energijski neefikasan.
- ❑ **ARQ (Automatic Repeat Request)** – Temelji se na retransmisiji paketa koji su detektirani kao pogrešno preneseni. Paketi sa sobom prenose i provjerenu sumu (checksum) koja se koristi da bi prijemnik na temelju nje mogao detektirati grešku. Zahtijeva povratni kanal (povratna veza).

Sa FEC-om su povezani problemi trošenja energije baterije i kašnjenje paketa povezanog sa računanjem FEC koda i prijenosa extra bita. U povratku on dobiva smanjenu vjerojatnost gubitka paketa.

Sa ARQ-om rizikuje se da će se primiti paket i ako nema trošenja energije baterije i kašnjenja usljed procesa retransmisije.

Da li će FEC ili ARQ ili hibridni sistem upravljanja biti energijski efikasan ovisit će o uvjetima kanala i zahtjevima na mrežu, kao što su protok i kašnjenje.



7.3. Pregled tehnika bežične komunikacije

Bežične ad-hoc mreže u industrijskoj automatizaciji



32/83

- ❑ **Bluetooth (IEEE 802.15.1)**
- ❑ **Wireless LAN (IEEE 802.11)**
- ❑ **ZigBee (IEEE 802.15.4)**
- ❑ **UWB (IEEE 802.15.3a)**

Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth (Ericsson, 1994, IEEE 802.15.1)

- Stvaranje ad-hoc mreža, u kombinaciji sa mrežnom infrastrukturom - omogućuje pristup internetu s mobilnog uređaja.
- Povezivanje uređaja i prijenos podataka na razmjerno uskom prostoru (ured, stan, razne informativne tačke na aerodromima, sajmovima...),
- Omogućuje povezivanje različitih komunikacijskih uređaja, kao što su mobilni telefoni, PDA-ovi (Personal Digital Assistants), desktop i notebook računara.
- Postoji mogućnost primjene u medicini i slično.
- Tehnologija temeljena na malenom čipu koji stane u sve, čak i najmanje vrste mobilnih uređaja - mobilni telefon, ručni i prijenosni računari.
- Izlazna snaga mu je vrlo mala, što minijaturnim uređajima posebno pogoduje zbog male potrošnje električne energije.
- Trenutačna proizvodna cijena bluetooth čipa manja je od 10 dolara.
- Besplatne usluge bluetooth-a.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth

- Trenutno omogućuje brzine prijenosa od 2 Mbps i područje dosega od 500 stopa u unutarnjim prostorijama.
- Operira u 2.4 GHz besplatnom licenciranom pojasu korištenjem FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) pristupa.
- Frekvencijsko područje 2.4 – 2.4835 GHz podjeljeno je u 79 odvojenih kanala i pseudo-slučajna hopping shema se koristi na nominalnoj brzini od 1.600 hops/sec.
- Glavna prednost frekvencijskog hoppinga je povećana elastičnost na nepovoljne radio smetnje (šumove). Ovo također pomaže u prevenciji od prislušivanja, iako je on samo potreban da “uhvati” jedan prijenosni paket za sinhronizaciju sa komunikacijom.
- Bluetooth pruža veoma kvalitetne usluge (QoS, Quality of Service).
- Garantira nisku latentnost za aktivne čvorove, ali je vrijeme “buđenja” uspavanih čvorova oko 3 sekunde.
- Prikladan je za primjene gdje se zahtijeva visok kvalitet usluga i gdje je napajanje dostupno, npr. komunikacija između wireless slušalica i mobilnih telefona.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth (Ericsson, 1994)



Bluetooth telefon i slušalica



Bluetooth printer modul

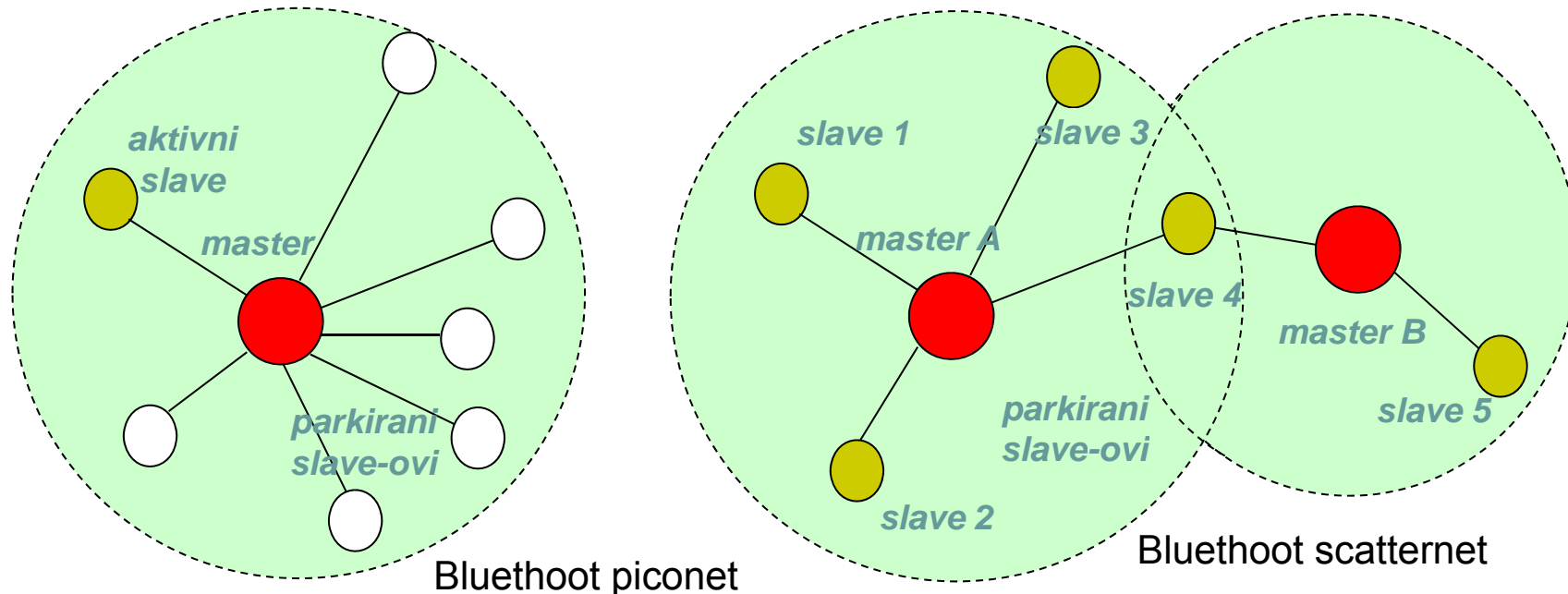


iPaq sa Bluetooth-om

Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth mreže

- Sastoji se od jednog master čvora i do sedam slave čvorova povezanih u zvijezdastu mrežu u odnosu na master, koja se naziva piconet.
- Master dodjeljuje jedinstvene adrese svojim slave čvorovima i uspostavlja povezivanje fizičkih podataka u slučaju prijenosa podataka.
- Bluetooth čvorovi imaju sposobnost da pripadaju istovremeno većem broju mreža i formiraju tzv. “razdvajače” (scatternets).



Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth - nedostaci

Bluetooth ima neka svojstva koja ograničavaju njegovo korištenje u industrijskoj automatizaciji:

1. Iako se koristi u jeftinim aplikacijama i aplikacijama koje zahtijevaju male snage, njegova potrošnja energije proporcionalna je postignutom prijenosnom području i on nije usporediv sa standardima tipa ZigBee.
2. Piconet mreže mogu imati samo sedam slave čvorova povezanih na jedan master.
3. Bluetooth master/slave arhitekture ne omogućuju više od jedne refleksije (hop) između dva master čvora nakon što su oni formirali scatternet.
4. Uspavani čvorovi imaju veoma dugo vrijeme “buđenja”, tipično 3 sekunde, što čini veliki izazov za optimizaciju potrošnje energije.

Zbog navedenih razloga Bluetooth nije prikladan za ad-hoc mreže u industrijskim sredinama.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Bluetooth - poboljšanja

Poboljšanje performansi, sigurnosti, potrošnje energije i prikladnosti:

- 1. Performanse i potrošnja energije.** Bluetooth 2.0 + EDR (Enhanced Data Rate) omogućuju povećanje brzine prijenosa do 3 Mbps uz istovremeno smanjenje potrošnje energije.
- 2. QoS, sigurnost i potrošnja energije.** U 2005 godini Bluetooth SIG (Special Interest Group) je testirala i probala novu verziju budućeg povećanja upotrebljivosti višeuređajnih scenarija, omogućujući bolju zaštitu privatnosti pomoću dužih alfanumeričkih PIN-ova, kao i poboljšanja QoS preko prioritizacije prometa. Mogućnost povezivanja 255 slave-a na master i dodatno smanjenje potrošnje energije učinit će Bluetooth prikladnijim za zahtjeve senzorskih mreža.
- 3. Multicast, sigurnost i performanse.** Povećanje područja do 100 metara uz zadržavanje niske potrošnje energije, multicast funkcionalnosti i povećane zaštite privatnosti.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Wireless LAN (WLAN)

- Generičko ime za IEEE 802.11 standard.
- Podijeljena primarno u tri podstandarda 802.11a,b i c.
- Infrastrukturno temeljena, što znači da je svaki uređaj spojen kao klijent na fiksne pristupne tačke (AP, access point).
- Nakon spajanja uređaj komunicira sa drugim uređajima preko TCP/IP protokola.
- "Tehnologija kartice", radi većom snagom i troši više energije u odnosu na Bluetooth.
- Desetorostruko skuplji od bluetooth-a.
- Ima tendenciju zamjene žičanog Etherneta.
- Wi-Fi alijansa je neprofitabilna internacionalna organizacija formirana 1999. godine sa zadatkom certificiranja WLAN povezivanja uređaja.
- Trenutno ima preko 200 članova i više od 1500 proizvoda koji imaju Wi-Fi certifikat.
- Trenutne tipične primjene su mobilno Internet povezivanje u kancelarijama ili lokalne mreže.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Tehnike prijenosa u WLAN-u

- **Infracrveni zraci**
- **Uskopojasni frekvencijski kanal**
- **Tehnika raširenog spektra**
- Tehnologija prijenosa infracrvenim zracima koristi kao nosilac signal infracrvenu svjetlost male snage.
- Pošto ova tehnologija nudi limitiranu mobilnost i pokrivenost signalom, te zahtjeva liniju vidljivosti za prijenos signala, ona nije doživjela veću primjenu u WLAN okruženju.
- Kod druge tehnike, klasični radio signali nisu prikladni za 2.4 GHz propusni pojas zbog velike interferencije.
- Predajnici radio signala moraju imati, u urbanim naseljima, malu snagu, a samim time i veoma mali domet signala, pa se odustalo i od ove tehnike prijenosa.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Tehnika raširenog spektra

- Postala dominantna tehnika prijenosa podataka u bežičnoj mreži, jer zadovoljava sve postavljene kriterije koje ne zadovoljavaju prethodne dvije tehnike.
- Omogućuje ispravan prijenos podataka i u prisustvu **izraženih interferencija**.
- Rašireni spektar predstavlja širokopojasnu RF-tehniku originalno razvijenu od strane vojnih struktura s ciljem ispravnog i sigurnog prijenosa informacija.
- Ovom tehnikom se “širi” uskopojasni signal na spektar prijenosnog kanala koji omogućuje prijemnoj strani da dobije jači, i sa aspekta detekcije, lakše prepoznatljiv signal.
- Drugi prijemnici koji nisu podešeni na prijemnu sekvencu (poznatu samo predajniku i ciljnom prijemniku), će primljene signale interpretirati kao šum.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Tehnika raširenog spektra

- Postoje dvije vrste tehnika raširanog spektra, **FH-SS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** i **DS-SS (Direct Sequence Spread Spectrum)**.
- **FH-SS** koristi uskopojasni nosilac koji mijenja frekvenciju po “ključu” poznatom samo prijemniku i predajniku.
- Na temelju pseudo-slučajne sekvence (PN), poznate objema stranama, dolazi do skokova frekvencije unutar željenog opsega, prenoseći po dio podataka za vrijeme svakog frekvencijskog skoka.
- Širina i dužina trajanja skoka zavise od nacionalnih regulativa, ali je uobičajeno da se za ISM opseg koriste kanali širine 1 MHz, a vrijeme trajanja iznosi 400 μ s.
- Ukoliko su ispravno sinhronizirane, obje strane vide ovaj prijenos kao prijenos po jednom kanalu. Neprilagođenu stranu (uljez), osjeća FH-SS signal kao kratkotrajni impulsni šum.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Tehnika raširenog spektra

- **FH-SS tehnika je jako otporna na interferenciju**, jer je interferentni signal frekventno-selektivna smetnja, tako da FH-SS signal biva zahvaćen interferencijom samo jako kratko vrijeme, jer u veoma kratkom vremenu FH-SS signal skače na drugu frekvencu koja je slobodna od interference.
- Zbog mogućnosti upotrebe raznih kombinacija PN sekvence, ako se koristi npr. 75 hopping kanala na ISM pojasu, moguće je implementirati više logičkih kanala na istom opsegu.
- Kod FH-SS tehnike može se dodavati više AP-ova i na taj način povećati korisni spektar bez povećavanja interferencije.
- FH-SS predajnici troše manje energije nego isti kod DS-SS signala, pa ukoliko ne postoje alternativni načini napajanja, baterija FH-SS prijemnika traje duže. FH-SS tehnika se koristila kod originalnog 802.11 standarda sa brzinama prenosa podataka od 1 i 2 Mbps.

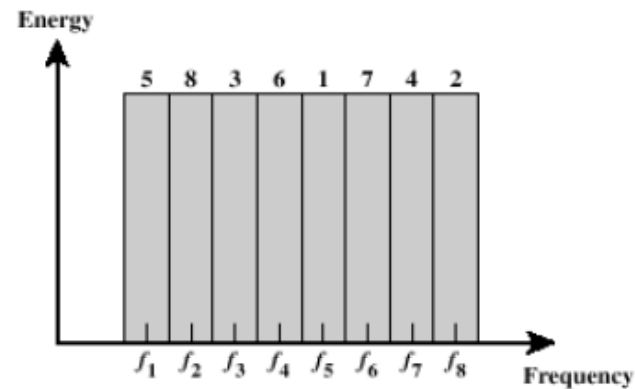


Pregled tehnika bežične komunikacije

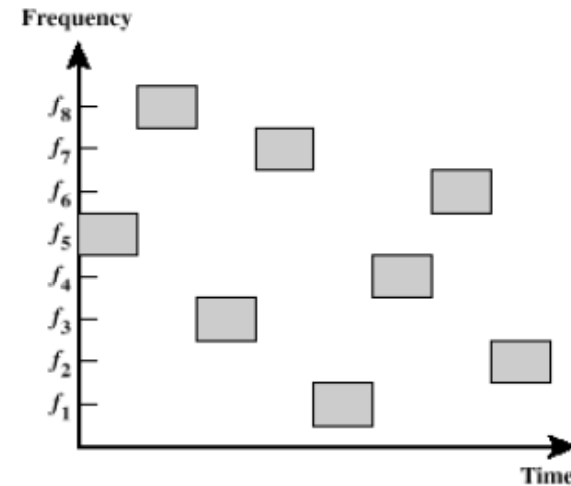
Tehnika raširenog spektra – princip rada FH-SS



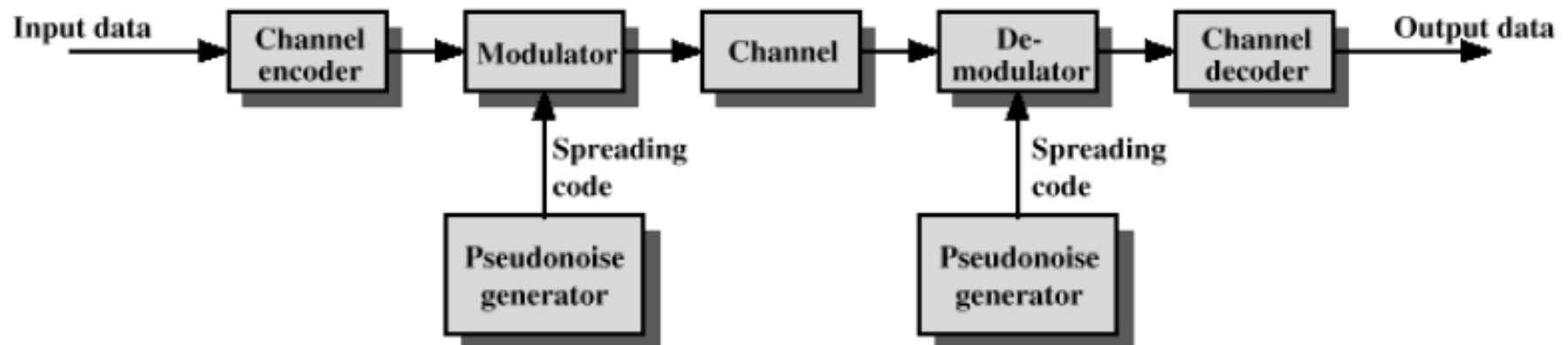
44/83



(a) Channel assignment



(b) Channel use



Pregled tehnika bežične komunikacije

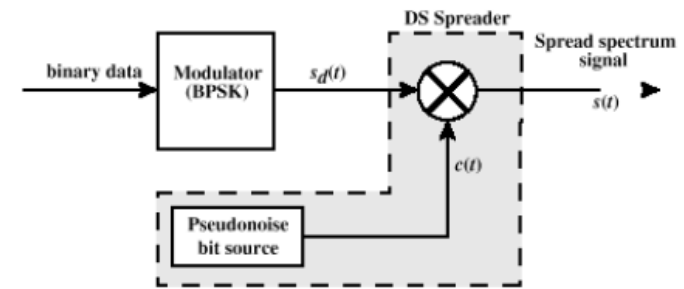
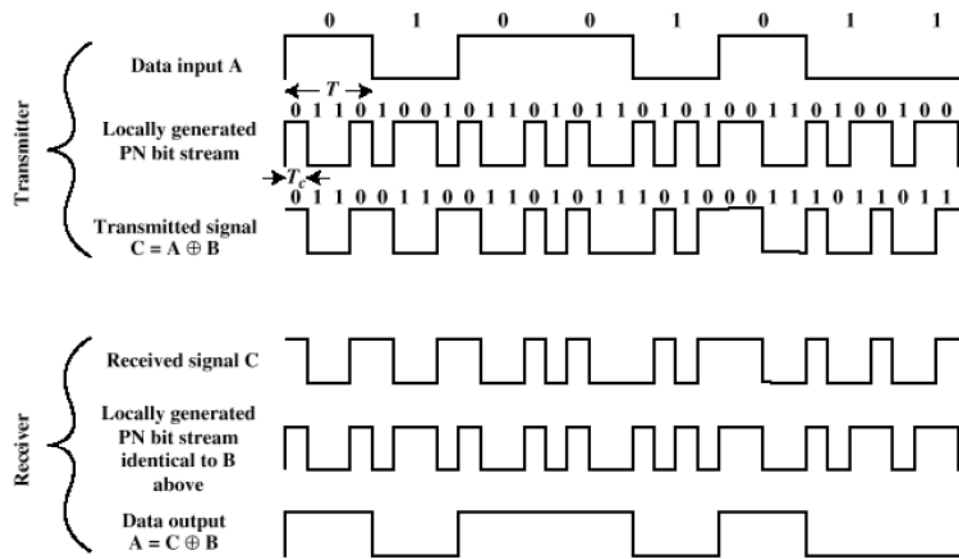
Tehnika raširenog spektra

- **DS-SS** signal, za razliku od FH-SS tehnike, koristi nosilac fiksne noseće frekvencije u specificiranom području.
- Informacija se šalje, umjesto uskopojasnim signalom, spektrom koji je raširen pomoću “chip”-sekvence.
- Naime, jedan ili više informacijskih bitova se kodira PN-sekvencom, koja se naziva chip-sekvencica i koja svojom dužinom širi uskopojasni spektar na željenu veličinu.
- Međutim, duža sekvenca zahtijeva i duži i širi propusni opseg, ali omogućava i veću zaštitu od interferirajućih signala.
- Širenjem spektra istovremeno dolazi i do smanjenja razine prenošene snage u odnosu na razinu uskopojasnog signala. Na ovaj način DS-SS signal može biti sakriven ispod šuma što povećava sigurnost prijenosa.

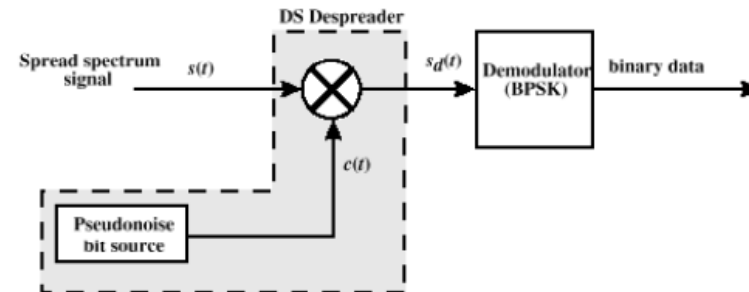


Pregled tehnika bežične komunikacije

Tehnika raširenog spektra – princip rada DS-SS



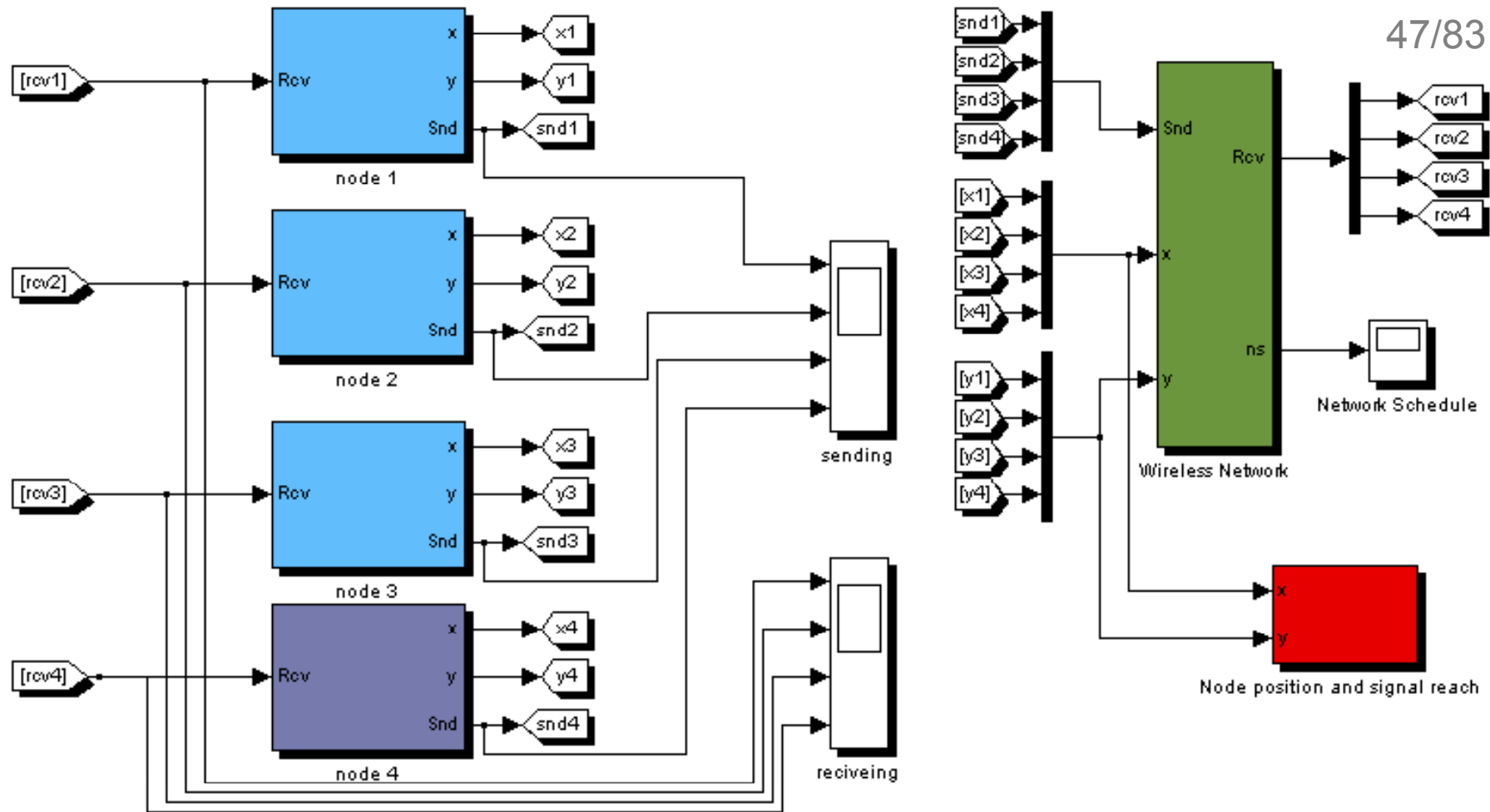
(a) Transmitter



(b) Receiver

Pregled tehnika bežične komunikacije

Primjer – komunikacija između čvorova bežične mreže

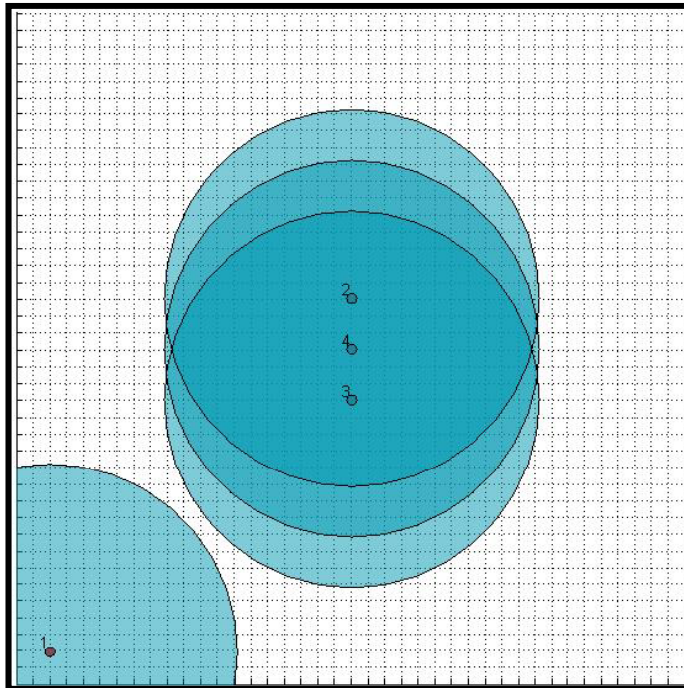


WLAN mreža sa 802.11 IEEE standardom

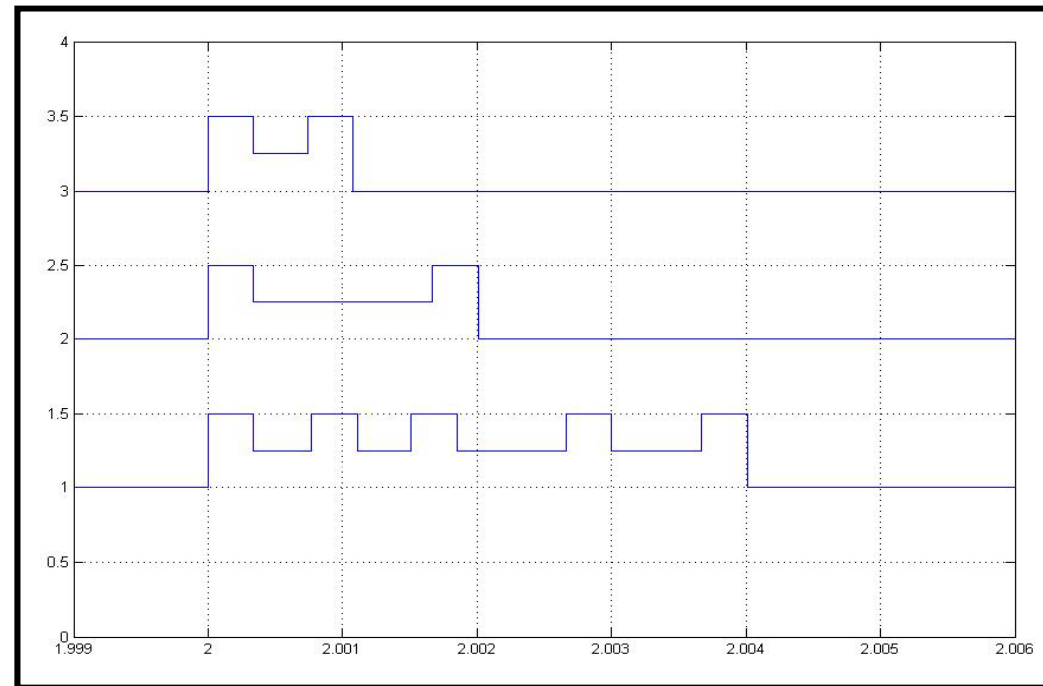
Pregled tehnika bežične komunikacije

Primjer– komunikacija između čvorova bežične mreže

Situacija 1: Jedan čvor van dometa ostalih čvorova



Položaj čvorova u prostoru

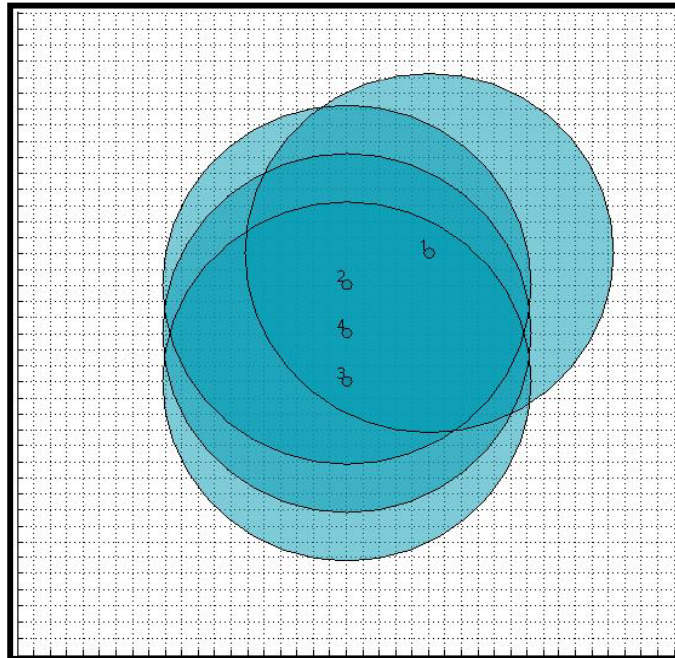


Vremenski dijagrami slanja pojedinih čvorova

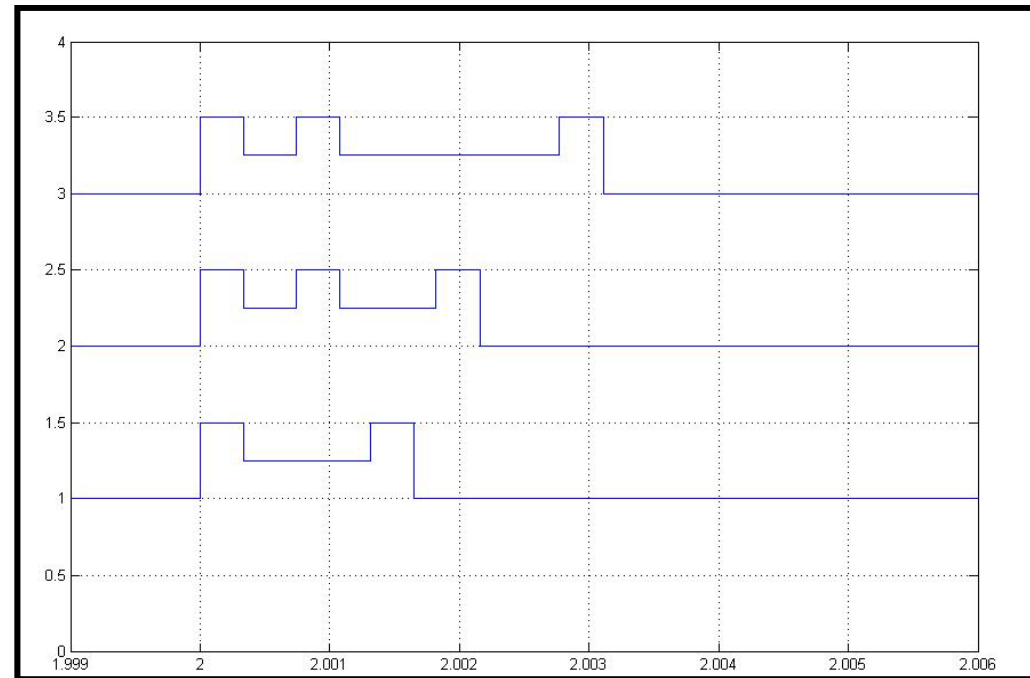
Pregled tehnika bežične komunikacije

Primjer – komunikacija između čvorova bežične mreže

Situacija 2: Svi čvorovi u dometu



Položaj čvorova u prostoru

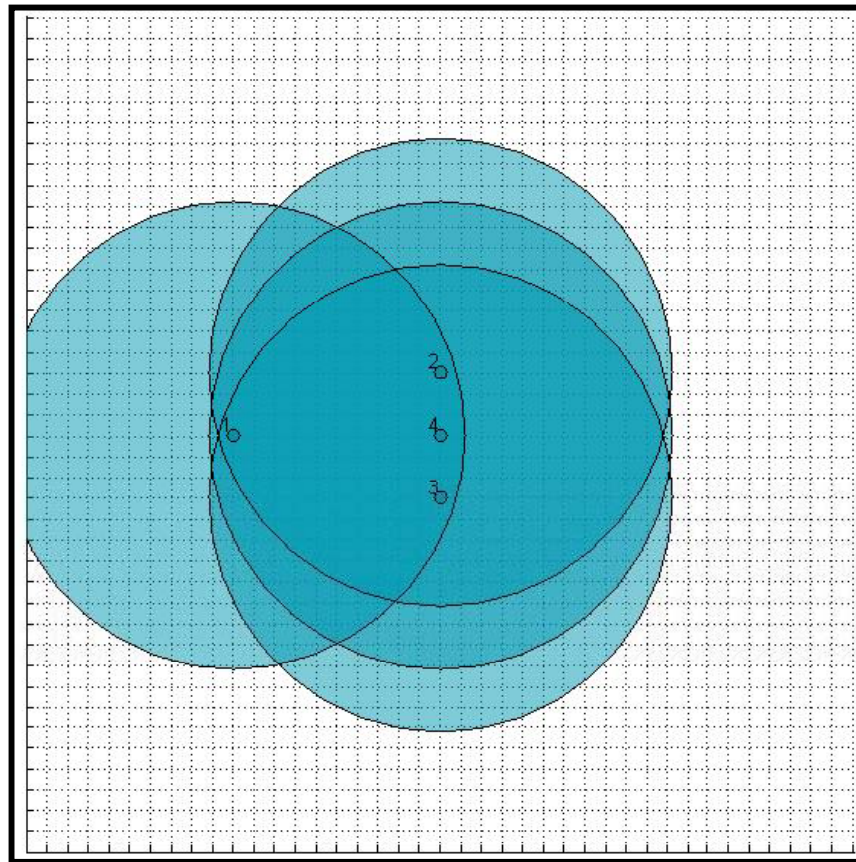


Vremenski dijagrami slanja pojedinih čvorova

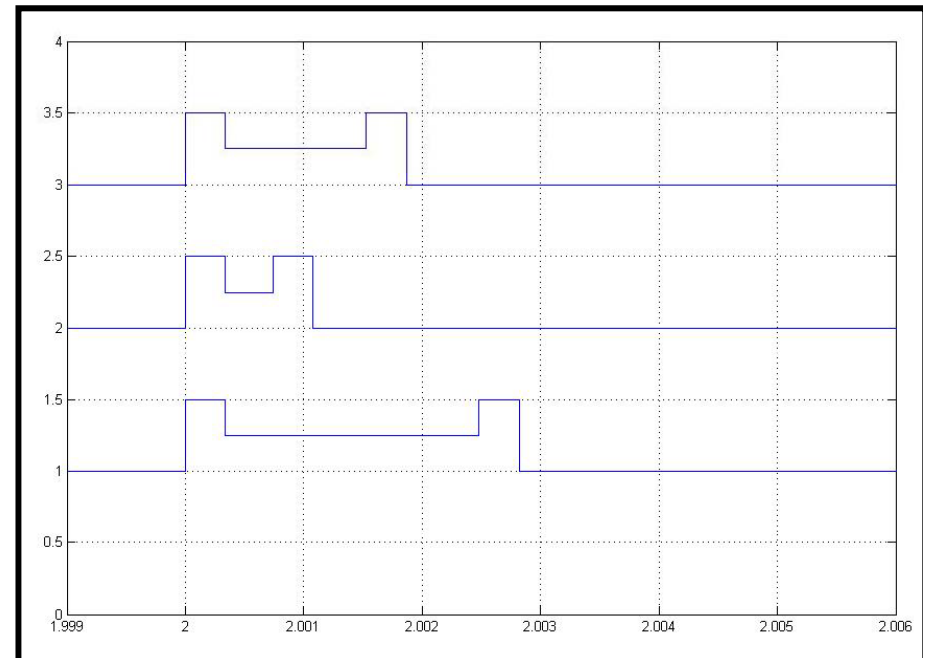
Pregled tehnika bežične komunikacije

Primjer – komunikacija između čvorova bežične mreže

Situacija 3: Čvor na granici dometa signala



Položaj čvorova u prostoru



Vremenski dijagrami slanja pojedinih čvorova

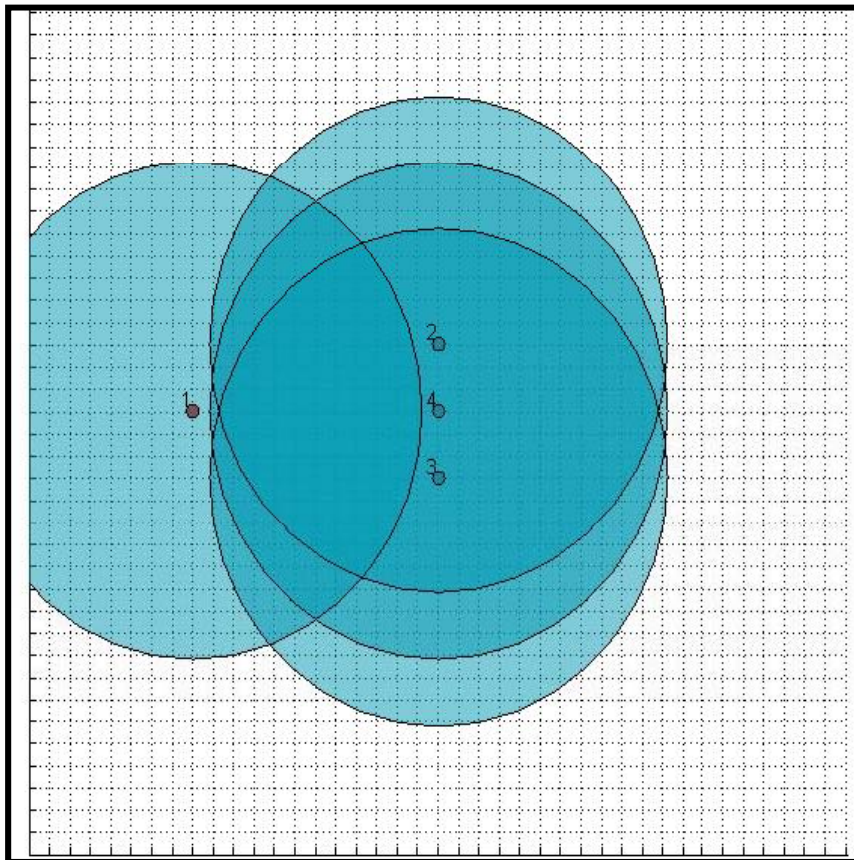
Pregled tehnika bežične komunikacije

Primjer – komunikacija između čvorova bežične mreže

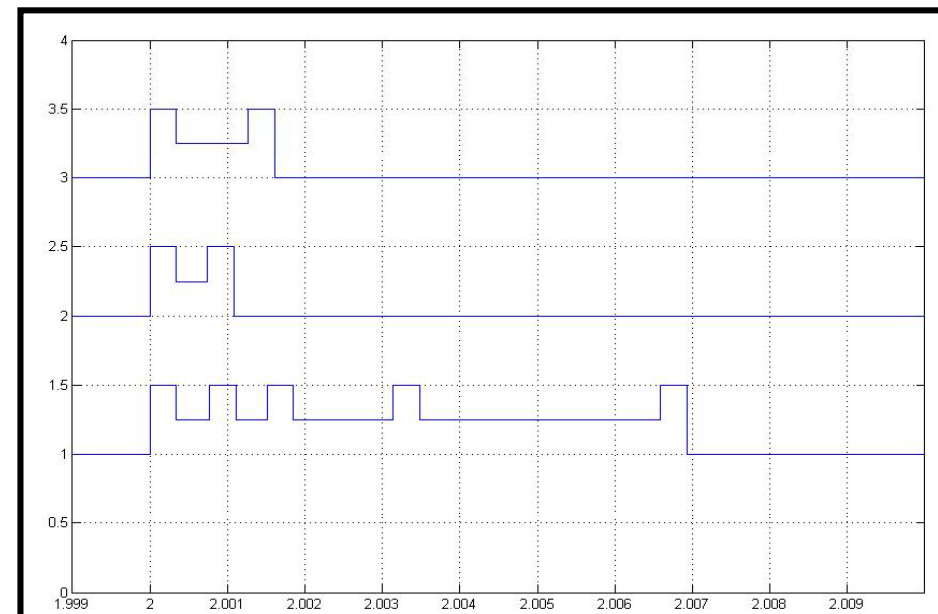
Situacija 4: Čvor van granice dometa signala



51/83



Položaj čvorova u prostoru



Vremenski dijagrami slanja pojedinih čvorova

Pregled tehnika bežične komunikacije

Wireless LAN podstandardi i protokoli

- **802.11b** je najviše korišteni WLAN standard. Operira na 2.4 GHz, osigurava područje duljine do 100 metara i brzine prijenosa do 11 Mbps (IEEE 802.11b, 1999).
- **802.11a** je manje popularan standard budući da operira na 5 GHz, omogućujući manja područja dostupnosti ali sa većom brzinom prijenosa do 54 Mbps. Proširenja ovog standarda nastoje povećati brzinu na 108 Mbps (IEEE 802.11a, 1999).
- **802.11g** je najnoviji standard WLAN familije i kombinira prednosti gore opisana dva standarda. Operira na 2.4 GHz i omogućuje brzine prijenosa do 54 Mbps. Kompatibilan je sa 802.11b (802.11g, 2003).
- Iako su sva tri standarda infrastrukturno temeljena, oni također uključuju ad-hoc načine koji omogućuju one-hop prijenose između AP-ova i mobilnih uređaja.
- WLAN nema prikladnu zaštitu. Ovo je ponajviše zbog protokola kojeg koristi (WEP, Wireless Encryption Protocol). WEP ključ može biti “uništen” nakon prenošenja velikog broja wireless podataka. Da bi se prevazišao ovaj problem 802.11g standard koristi novi standard zaštite nazvan WPA (Wi-Fi Protected Access), koji je mnogo “snažniji” od WEP-a.



Pregled tehnika bežične komunikacije

Wireless LAN protokoli - WAP

- **WAP** je skup protokola koji omogućuju razmjenu podataka za mobilne ćelijske (cellular) sisteme.
- Neovisan o tipu mreže i tipu uređaja.
- Trenutni standard za Wireless mreže razvijen od strane WAP foruma da bi pružio usluge:
 - bežičnim telefonima, pager-ima, PDA-ima, Internet, web, itd.
- Dizajniran da radi sa svim wireless mrežnim tehnologijama.
- Temeljen na Internet standardima:
 - IP, XML, HTML i http
- WAP specifikacije uključuju:
 - WWW programski model.
 - WML (Wireless markup language).
 - Specifikacije malih pretraživača (browsers).
 - Jednostavan slog komunikacijskog protokola.
 - Kostur bežičnih telefonskih aplikacija (WTA).



Pregled tehnika bežične komunikacije

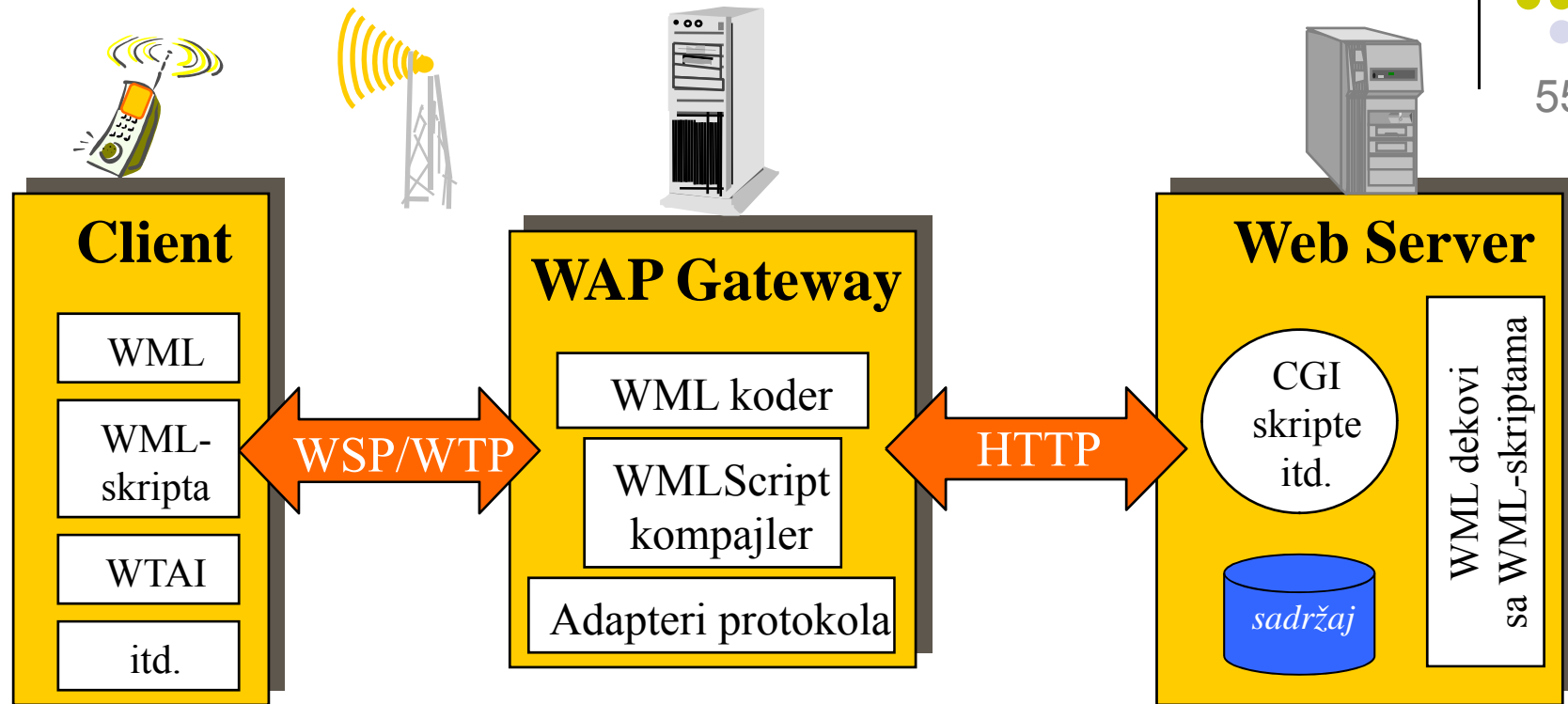
Zašto WAP?

- Wireless mreže i telefoni imaju specifične potrebe i zahtjeve koje im ne mogu pružiti postojeće Internet tehnologije.
- Omogućuje sve vrste prijenosa podataka: TCP/IP, UDP/IP, GUTS (IS-135/6), SMS, ili USSD.
- WAP arhitektura ima nekoliko modularnih entiteta koji zajedno formiraju potpuno usaglašen Internet entitet. Svi WML sadržaji su pristupačni preko HTTP 1.1 zahtjeva.
- WAP iskorištava standardni Internet XML (markup language technology).
- Optimizira sadržaj protokola za zračni prijenos.
- WML UI komponente se dobro mapiraju u postojeća korisnička sučelja mobilnih telefona. Nema potrebe za ponovnom edukacijom krajnjih korisnika.
- WAP jednostavno koristi Web HTTP 1.1 servere.



Pregled tehnika bežične komunikacije

WAP arhitektura



55/83

WAP protokoli

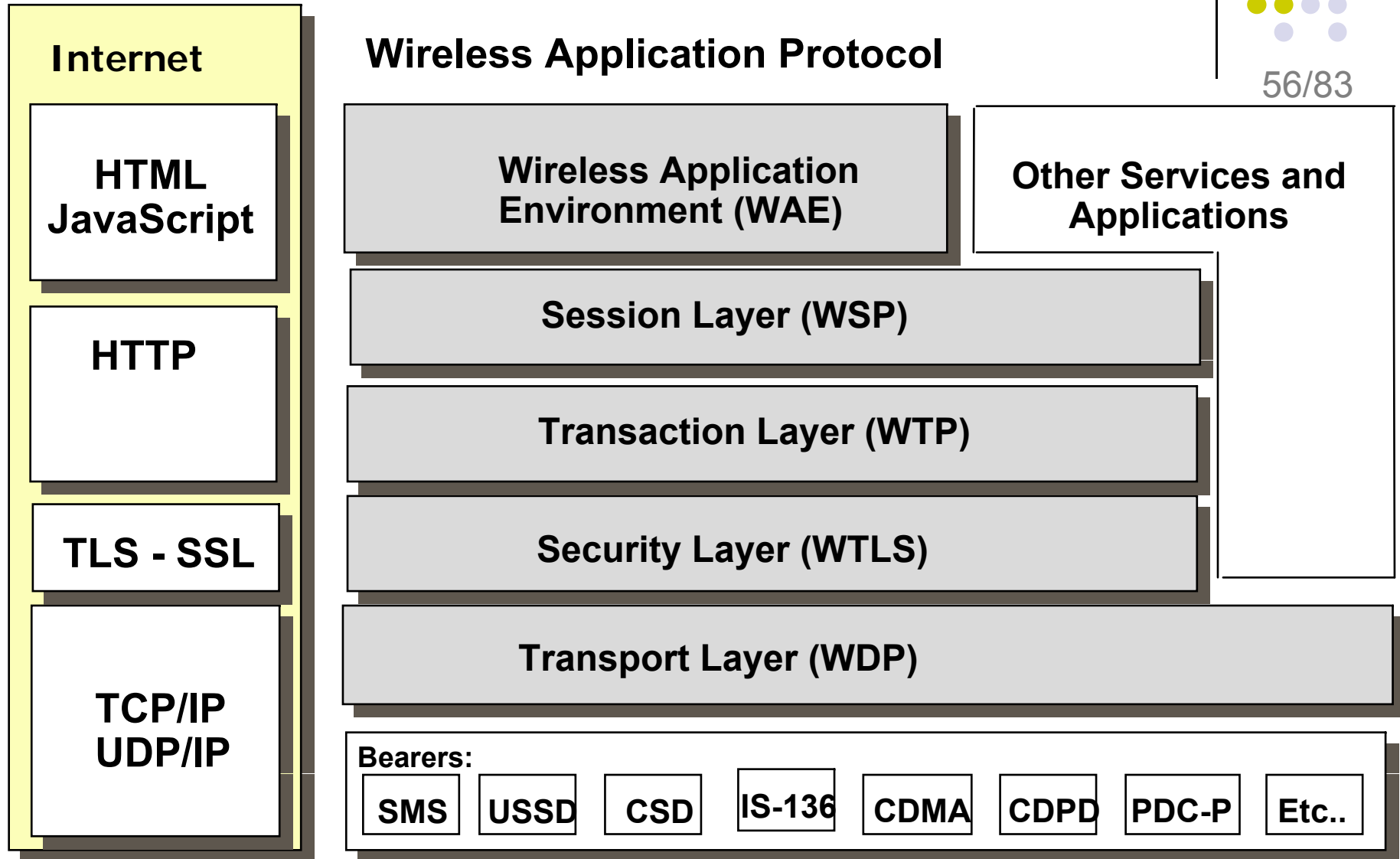
- WAE - Wireless Application Environment
- WSP - Wireless Session Protocol
- WTP - Wireless Transaction Protocol
- WTLS - Wireless Transport Layer Security
- WDP - Wireless Datagram Protocol

Pregled tehnika bežične komunikacije

Usporedba WAP i Internet modela



56/83



Pregled tehnika bežične komunikacije

Wireless LAN –primjene u industrijskoj automatizaciji

- WLAN je odlična alternativa kablovskom Ethernetu ili mobilnim kancelarijskim aplikacijama.
 - Dostupnost off-the-shelf proizvoda i smanjenje cijene čini ga idealnim za veoma brze bežične aplikacije, kao i tehničke aplikacije.
 - Zbog većih zahtjeva za potrošnjom energije on nije pogodan za komunikaciju između malih autonomnih uređaja.
 - Također, stvarna latentnost i osjetljivost na smetnje sa drugim uređajima koji rade na 2.4 GHz čini WLAN potencijalno delikatnim rješenjem za real-time aplikacije.
 - Proširenja kao npr. 802.11n i 802.11s će eventualno premostiti navedena ograničenja i nedostatke trenutno dostupnih WLAN standarda.
1. **802.11n** definira standard za WLAN-ove sa brzinama većim od 200 Mbps. Nekoliko grupa velikih industrijskih poduzeća nastoji se pojaviti sa odvojenim, jasnim prijedlozima poboljšanja svojih proizvoda uvođenjem ovog standarda. Oko 60 prijedloga u 2006 godini.
 2. **802.11s** ima za cilj uspostaviti povezanu mrežu 802.11 familije. Ovaj podstandard će omogućiti multihop komunikaciju između 32 AP-a, načinivši ad-hoc arhitekturu moguću za WLAN.



Pregled tehnika bežične komunikacije

ZigBee (IEEE 802.15.4)

- ZigBee je novi internacionalni standard za mrežno povezivanje temeljen na IEEE 802.15.4 specifikaciji (IEEE 802.15.4, 2003).
- On je fokusiran na uzajamnu operativnost između jedinica unutar područja automatizacije u stambenim objektima, upravljanju i nadzoru u industriji, te perifernim računarima.
- ZigBee je posebno fokusiran na potrošnju energije i ima tendenciju da uređaji mogu raditi godinama sa istim jeftinim baterijama.
- Ovo je postignuto veoma malim duty cycle-om, osim ako se ne zahtijeva bliska sinhronizacija.
- ZigBee se oslanja na IEEE 802.15.4 fizički sloj i operira na različitim nelicenciranim frekvencijskim područjima: 2.4 GHz (globalni) , 915 Mhz (Amerika) i 868 MHz (Europa).
- Na 2.4 GHz postiže se brzina prijenosa do 250 kbs, na 915 MHz brzina 40 kbs i na 868 MHz brzina 20 kbs (1 kanal).
- Područje prijenosa je od 10 do 100 metara, ovisno o izlaznoj snazi i karakteristikama sredine.



Pregled tehnika bežične komunikacije

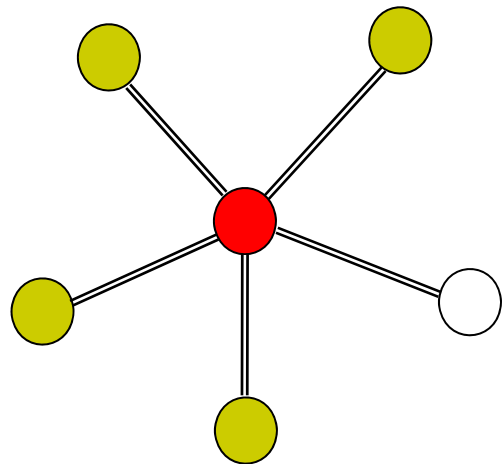
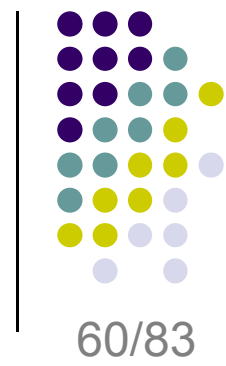
ZigBee mreže

- IEEE 802.15.4 fizički sloj je temeljen na DS-SS-u (Direct Sequence Spread Spectrum) i uključuje detekciju energije prijemnika, indikaciju kvaliteta veze i određivanje da li je kanal slobodan.
- Obje metode pristupa kanalu, spojne i bespojne, su podržane sa maksimalnom duljinom paketa od 128 bajtova.
- Koristi 64-bit IEEE i 16-bitno kratko adresiranje, podržavajući preko 65.000 čvorova po mreži.
- IEEE 802.15.4 MAC sloj omogućuje povezivanje i razvrgavanje povezanih mreža, ima opcijsku super-frame strukturu sa farovima za vremensku sinhronizaciju i mehanizam garantiranog vremena slota za visoko prioritetne komunikacije.
- Koristi CSMA/CA (CA-collision avoidance) metod pristupa kanalu.
- ZigBee definira mrežu, sigurnost i primjenu profila okvira za IEEE 802.15.4 sisteme.
- Mrežni sloj podržava tri vrste topologija: **zvijezda**, **mreža** (mesh) i **grozd** (cluster tree).

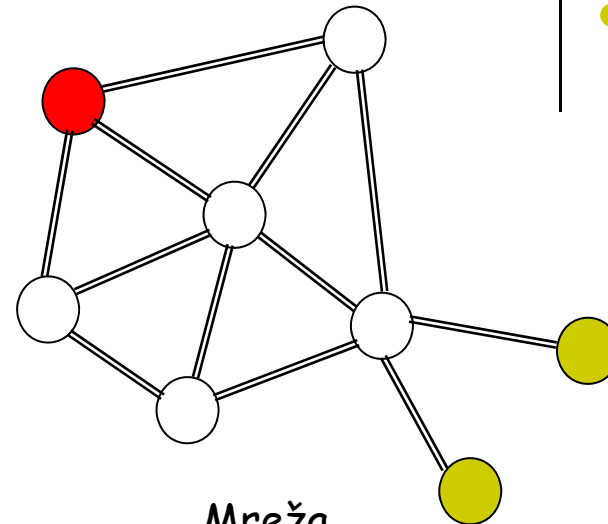


Pregled tehnika bežične komunikacije

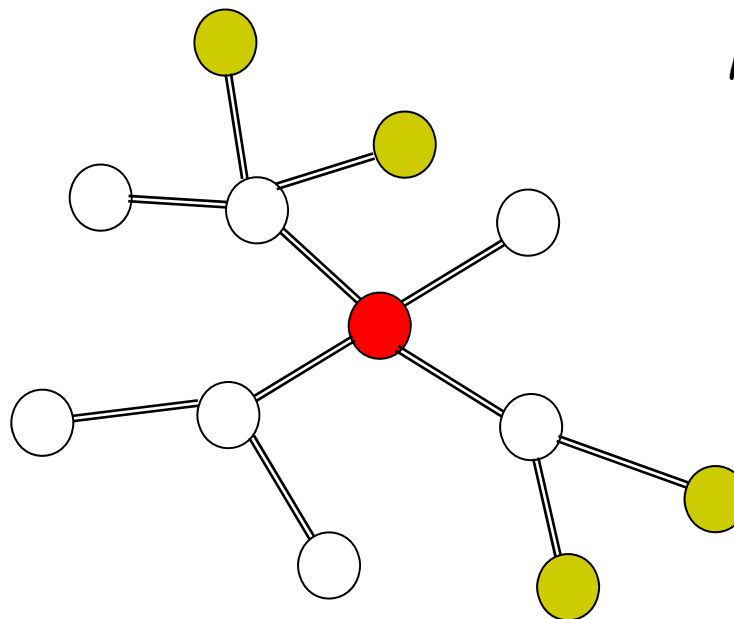
ZigBee mreže - topologije



Zvezda



Mreža



Grozd

Pregled tehnika bežične komunikacije

ZigBee mreže (IEEE 802.15.4)

- Zvezdasta mreža osigurava operacije dugog trajanja (dug vijek baterije), dok mrežasta topologija omogućuje visoku razinu pouzdanosti i skaliranja kroz multihop prijenose.
- Grozd mreže koriste hibridnu zvezdasta/mrežastu topologiju koja kombinira prednosti obje mreže za visoke razine pouzdanosti i podrške baterijski napajanim čvorovima.
- ZigBee sigurnost je temeljena na AC (access control) listama, vremenskim satom svježine paketa i 128-bitnom enkripcijom.
- ZigBee je specijalno razvijen za primjene ad-hoc umrežavanja, uključujući duty-cycle i male brzine prijenosa podataka.
- Aplikacije koje zahtijevaju npr. brzo “pričvršćivanje” ili odvajanje informacija rezultiraju u malom utrošku energije i omogućuju dulji vijek trajanja baterija.
- Primarni industrijski ciljevi uključuju energijski kritične senzore i male autonomne uređaje i sklopove.



Pregled tehnika bežične komunikacije

UWB (Ultra Wideband Communications, IEEE 802.15.3a)

- UWB je novija komunikacijska tehnologija, čiji korijeni sežu u 60-te godine i povezani su sa radarskim prijenosom.
- Većina ranijih radova je obavljena unutar programa US vlade.
- Od 1994. godine uključuju se intenzivno mnogi u UWB istraživanja.
- UWB još nije standardizirana i različiti poslodavci su razvili vlastita rješenja temeljena na UWB tehnologiji.
- Neki od njih, npr. Freescale's XS110 je postao kandidat za budući standard.
- IEEE 802.15.13a specifikacija je također respektirani kandidat za UWB temeljen WPAN.
- UWB tehnologija je slobodno definirana kao bilo koja bežična komunikacija koja zauzima propusni pojas više od 25% centralne frekvencije, ili širine veće od 1.5 GHz (2004).
- U principu, širina pojasa UWB signala se proširuje na nekoliko GHz.



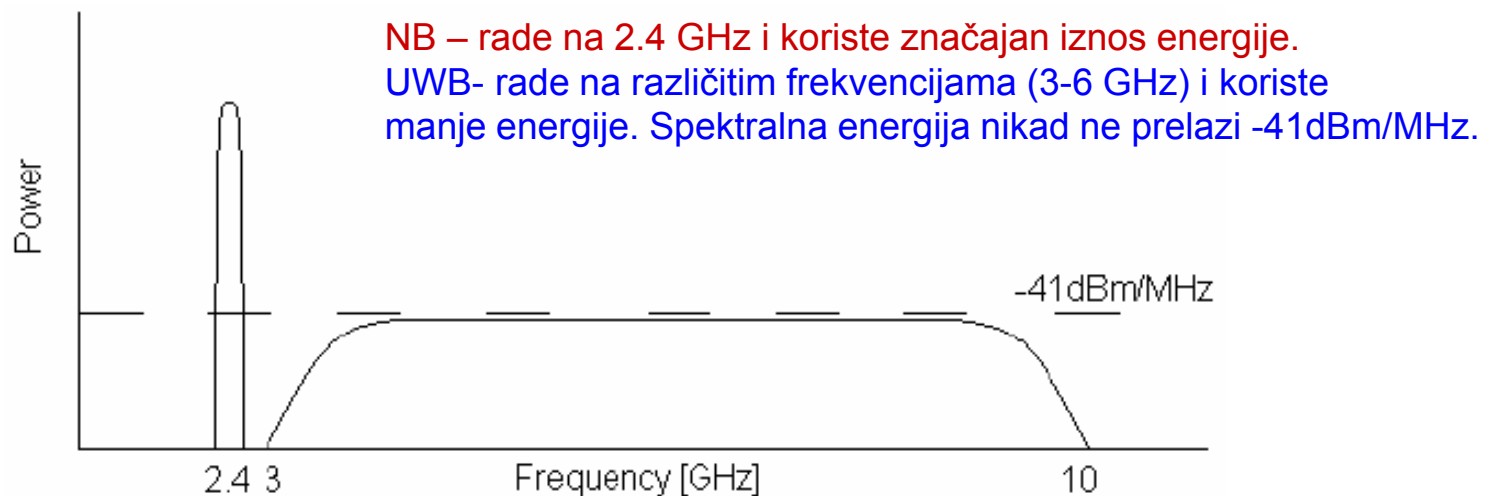
Pregled tehnika bežične komunikacije

UWB (Ultra Wideband Communications)



63/83

- UWB komunikacije se razlikuju od tradicionalnih radio frekvencijskih (RF) tehnologija; umjesto nosioca podataka iz uskog frekvencijskog pojasa, koriste se energijski impulsi duž širokog spektra frekvencija (tipično od 3 do 10 GHz).
- UWB ne iziskuje velike troškove i potrošnju energije RF komponenti, kao što su filtri i oscilatori.
- Na sljedećoj slici prikazana je razlika između uskopojasnih (NB, narrowband) i UWB tehnika.



Pregled tehnika bežične komunikacije

UWB (Ultra Wideband Communications)



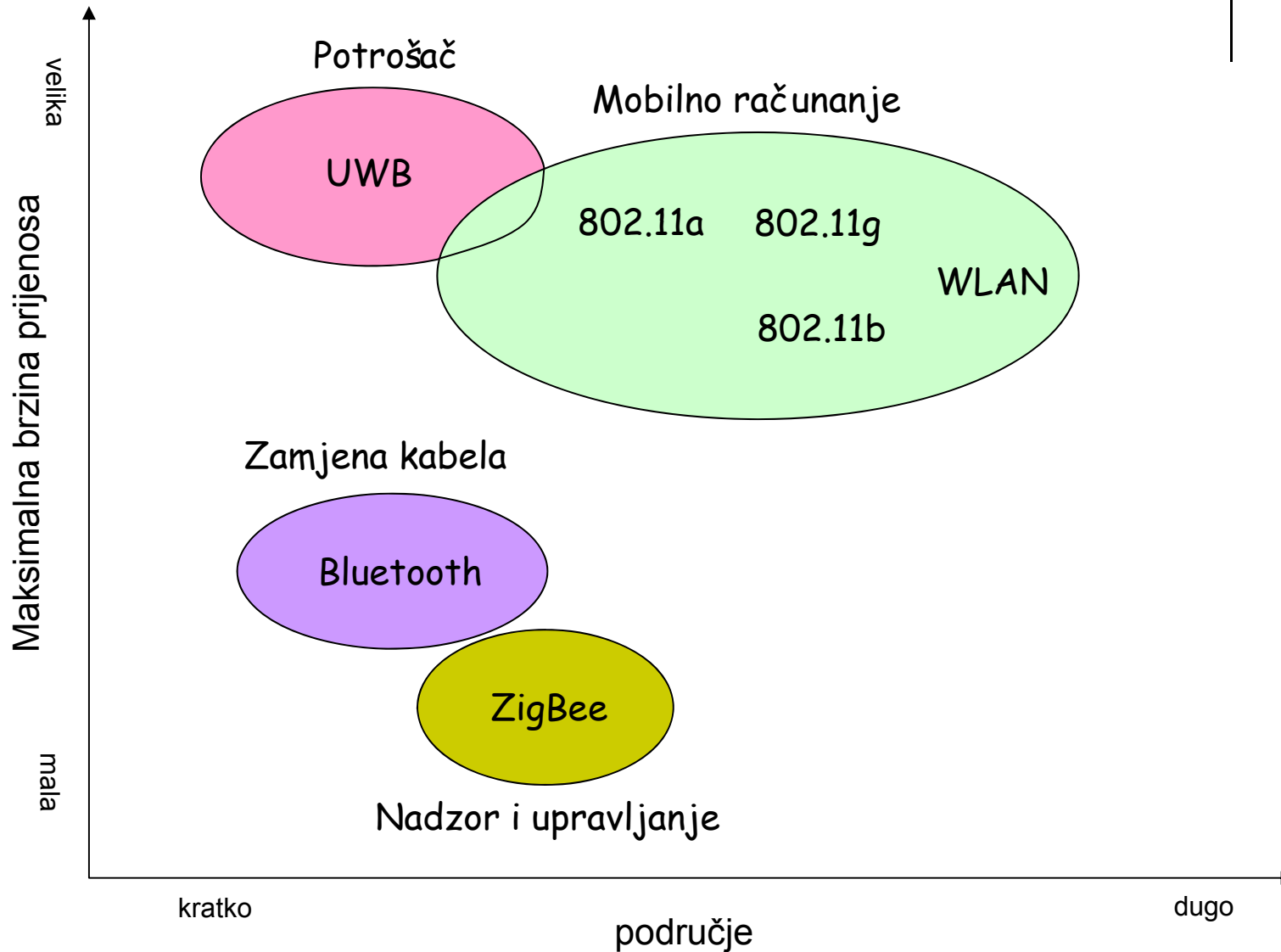
64/83

Potencijalne prednosti UWB-a:

- Visoka brzina prijenosa podataka.
- Robusnost.
- Dobra kontrola emitirane energije.
- Mogućnost visoko-precizne lokalizacije.
- Može se očekivati veća sigurnost u odnosu na uskopojasne tehnike.
- Stabilnost za industrijsku automatizaciju. Zbog kratkog područja UWB-a (10 m) i trenutnih FCC (Federal Communications Commission), njihova primjena je ograničena na automatsku koliziju i informacijske sisteme, potrošačku elektroniku (wireless video i muzika), obrada medicinskih slika, itd. Njihova primjena u industrijskoj automatizacije je u fazi istraživanja.

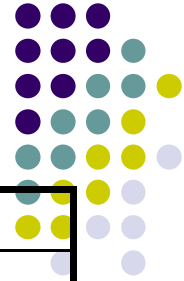
Pregled tehnika bežične komunikacije

Usporedba tehnika



Pregled tehnika bežične komunikacije

Usporedba tehnika



66/83

Parametar	Bluetooth	WLAN	ZigBee	UWB
Područje	10 m	100 m	30-100 m	10m
Pridruženi standard	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11a/b/g	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.3a
Frekven. područje	2.4 GHz	2.4 GHz ili 5 GHz	0.868, 0.915, 2.4GHz	3.1-10.6 GHz
Fizički sloj	FHSS	DSSS ili OFDM	DSSS	UWB SS
Max. brzina prijenosa	1 Mbps	5.5/11/54 Mbps	20/40/250 kbps	50/480 Mbps
Prosječna RF energija	1/2.5/100 mW	40-800 mW	200-500 μ W	20-40 mW
Trajanje baterije	1-7 dana	0.5-5 dana	100-1000 dana	30 dana
Maksimalno područje	10-100 m	20-100 m	30-100 m	10-15
Mrežna topologija	Zvijezda, piconet, scatternet	Zvijezda	Zvijezda, mrežasta, grozd	Ovisi o budućim standardima
Max. broj čvorova	7 slave-ova	32 AP-a	65.000	~ ~
Vrijeme prikupljanja čvora	3 s	2 s	30 ms	
Vrijeme oporavka čvora	3 s	1 s	15 ms	
Cijena po čvoru	15 \$	20 \$	10 \$	10 \$
Troškovi infrastrukture	400 \$ po masteru	100 \$ po AP	100 \$ po AP	
Resursi sistema	250 kB	1 MB	4-20 kB	
Zaštita	40-bitni RC4	128-bitni RC4	128-bit AES	Inherentna
Glavna primjena	Zamjena kabela	Wireless Ethernet, mobilni uredi	Nadzor i upravljanje, autonomni uređaji	Kratko područne Visoko brze aplikacije

Pregled tehnika bežične komunikacije

GPRS (UMTS)

- Ova tehnologija vezana uz mobilne operatere kao usluga koja se naplaćuje.
- Cijena usluga preskupa.
- GPRS/UMTS preostaju područja koja nisu pokrivena kratkodomnim mrežama bluetootha i prijenos podataka u pokretu kada nije moguće ostati vezan za bluetooth mrežu.

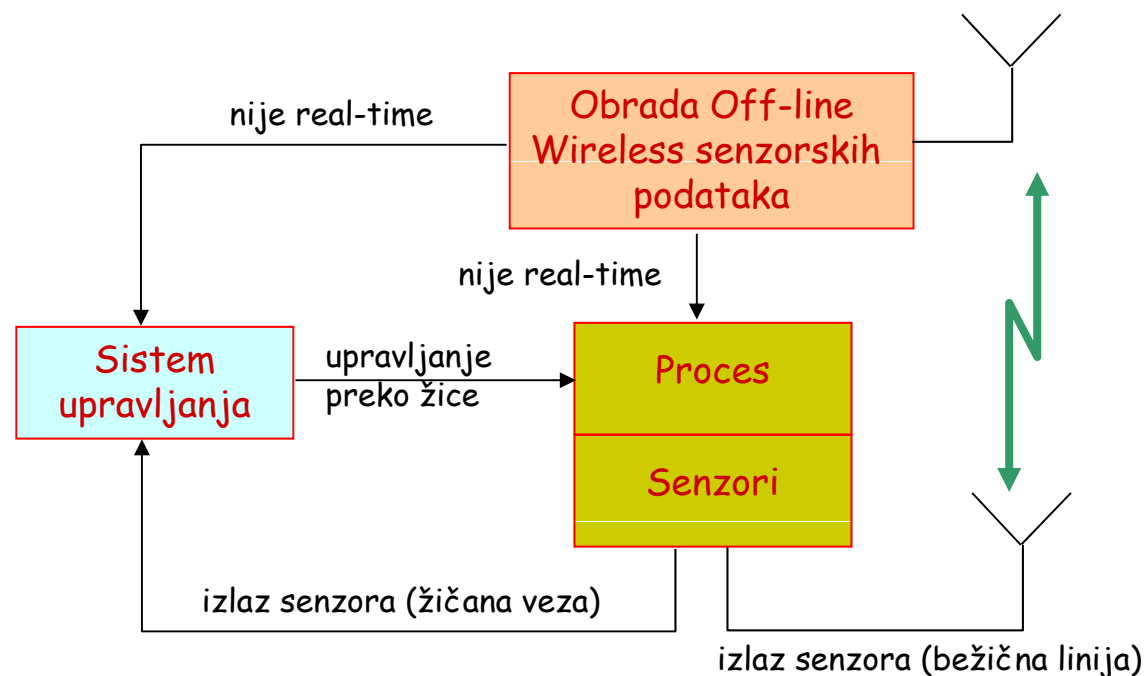




7.4. Primjene u upravljanju

Otvoreni sistemi upravljanja

- Primjena otvorenog sistema upravljanja je karakterizirana posjedovanjem bežičnih veza (linija) samo za prikupljanje podataka.
- Ne postoji wireless linija u povratnoj vezi sistema upravljanja.
- Realni proces je upravljani preko različitih aktuatora.
- Izlazi senzora, koji detektiraju stanje procesa, proslijeđuju se do sistema upravljanja. Nema wireless linija koje su pridružene obradi ili operacijama koje se ne odnose na klasičnu povratnu vezu sistema upravljanja.



Otvoreni sistemi upravljanja

- Obrada off-line podataka ne obavlja se u realnom vremenu.
- Primjeri upotrebe:
 - Održavanje pokretljivosti (mobile maintenance)
 - Upravljanje procesima
 - Ad-hoc usklađenost (benchmarking).
 - Redundancija
 - Mobilnost.
- Za svaku od navedenih primjena postoji različit skup zahtjeva koji se odnosi na propusni opseg, potrošnju energije, vrijeme odziva, itd.
- Zajedničko za sve ove primjene, a što će se razmatrati u nastavku, jest da one imaju fiksnu žičanu strukturu koja obavlja normalne operacije nad procesom, odnosno objektom upravljanja.



Otvoreni sistemi upravljanja

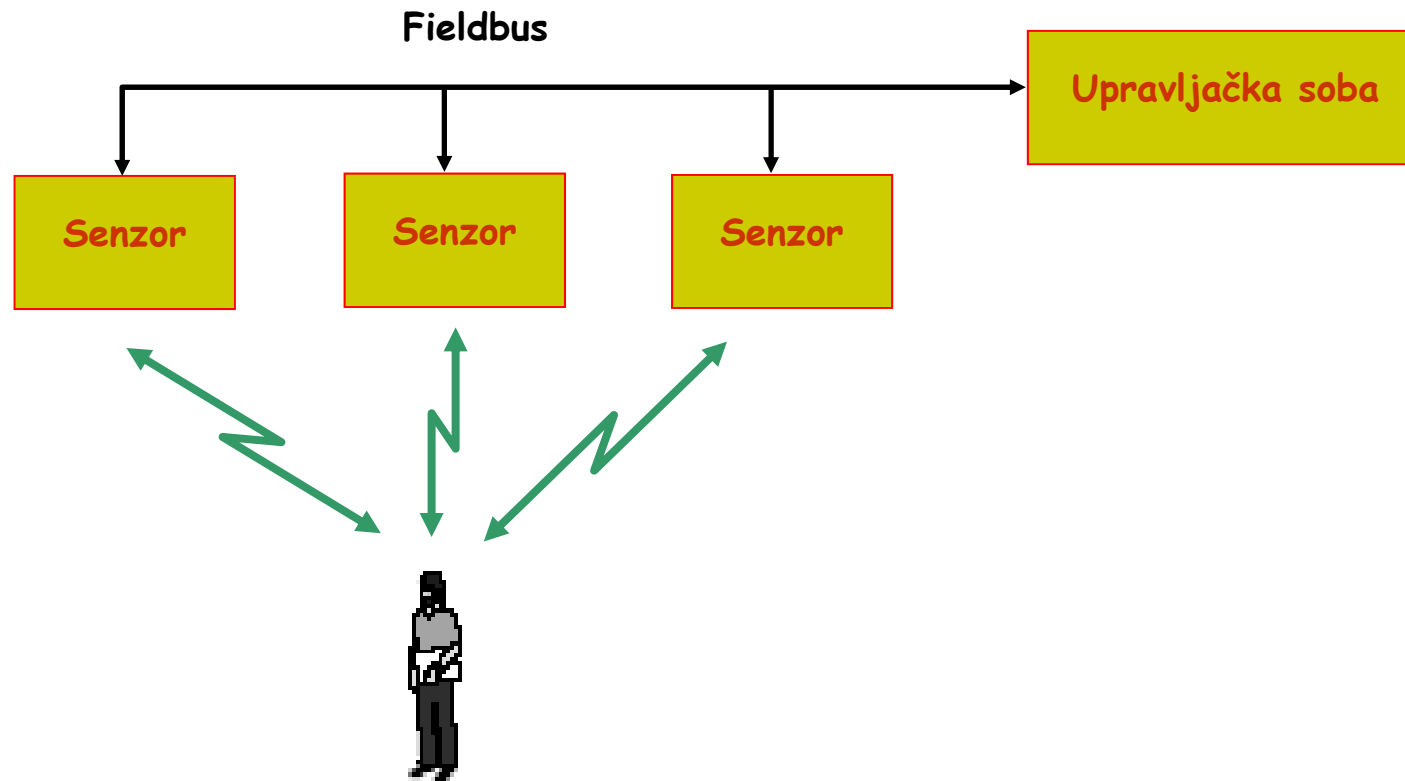
Održavanje mobilnosti

- U okolinama procesnog upravljanja servisno osoblje često se susreće sa uređajima, bilo za potrebe testiranja, kalibracije ili praćenja pojave kvara.
- Tradicionalno, tehničko osoblje ostvaruje kablovsku vezu sa ovim uređajima i na odgovarajući način ih fizički održava.
- Dodavanjem svojstava bežične komunikacije značajno se povećavaju mogućnosti i broj operacija nad procesom.
- Prvo, stvarna veza sa uređajima nije u potpunosti fizička. Na ovaj način operator ima jednostavniji pristup uređajima kojima je teško pristupiti.
- Drugo, korištenje radio veze sa uređajima olakšan je korisniku pristup informacijama na osjetljivim lokacijama, npr. sučelje promatrača može biti limitirano na uređaje koji su fizički blizu i podaci ce mogu sakupljati i prezentirati u odnosu na funkcionalnost ili razmještaj.
- Na ovaj način dobiveni podaci obično se mogu postaviti na terminal i koristiti za kasniju off-line obradu ili pohranjivanje.



Otvoreni sistemi upravljanja

Održavanje mobilnosti



- Zahtjevi na širinu propusnog opsega mogu biti znatni ako se podaci održavanja prenose preko zračnog sučelja.
- Međutim, ne postoje ograničenja na latentnost i veoma “ležerna” ograničenja energije, čineći ovo idealnom aplikacijom bežičnih ad-hoc mreža.

Otvoreni sistemi upravljanja

Upravljanje procesima

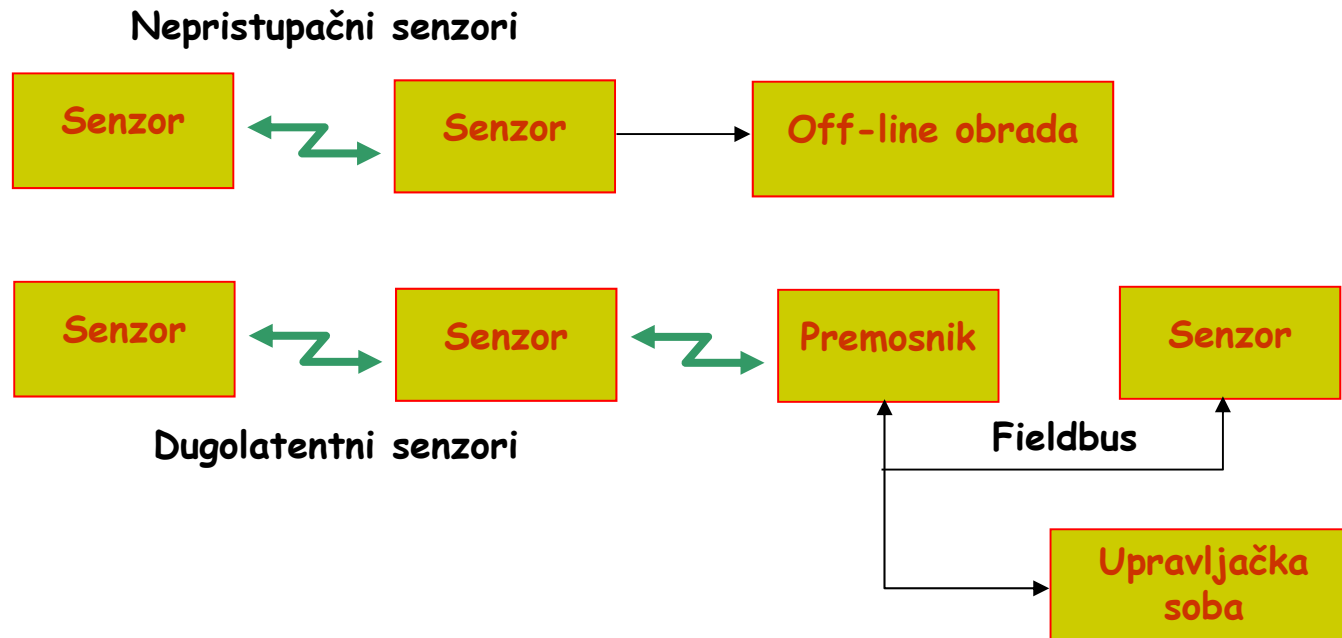
- Druga veoma važna primjena je pristup procesnim instrumentima koji nisu tipično povezani i čiji podaci nisu neophodni u formiranju integralnog dijela glavne upravljačke petlje.
- Primjer je real-time dobivanje podataka o temperaturi rotirajuće mašine.
- Ovdje se radi o lokaciji kojoj je teško pristupiti komponentama koje koriste žičane kabele.
- U procesnoj industriji se koriste brojni senzori i aktuatori. Mnoge kompanije žele koristiti bežične komunikacije u procesnoj industriji.
- **Centralni problem su sučelja između uređaja.**
- Na ovaj način se pojavljuju potencijalne prepreke i nove mogućnosti.
- Prepreke su zbog tipova senzora i konzervativne prirode posla.
- Pretpostavljajući da će ove prepreke kasnije biti prevaziđene, ipak postoji potencijalna poteškoća u dodavanjima niskolatenčnih nekritičkih senzora na postojeću infrastrukturu.
- Zbog toga je neophodno konstruirati nove uređaje koji će služiti kao **premosnici između samoorganizirajućih čvorova i žičanih mreža.**



Otvoreni sistemi upravljanja

Upravljanje procesima

- Premošćavanje je potrebno da bi se omogućilo sućelje brojnim senzorskim jedinicama i postojećim sućeljima na postojeću sabirnicu polja (field bus).
- Shematski prikaz korištenja ad-hoc bežičnog umrežavanja u upravljanju procesima.

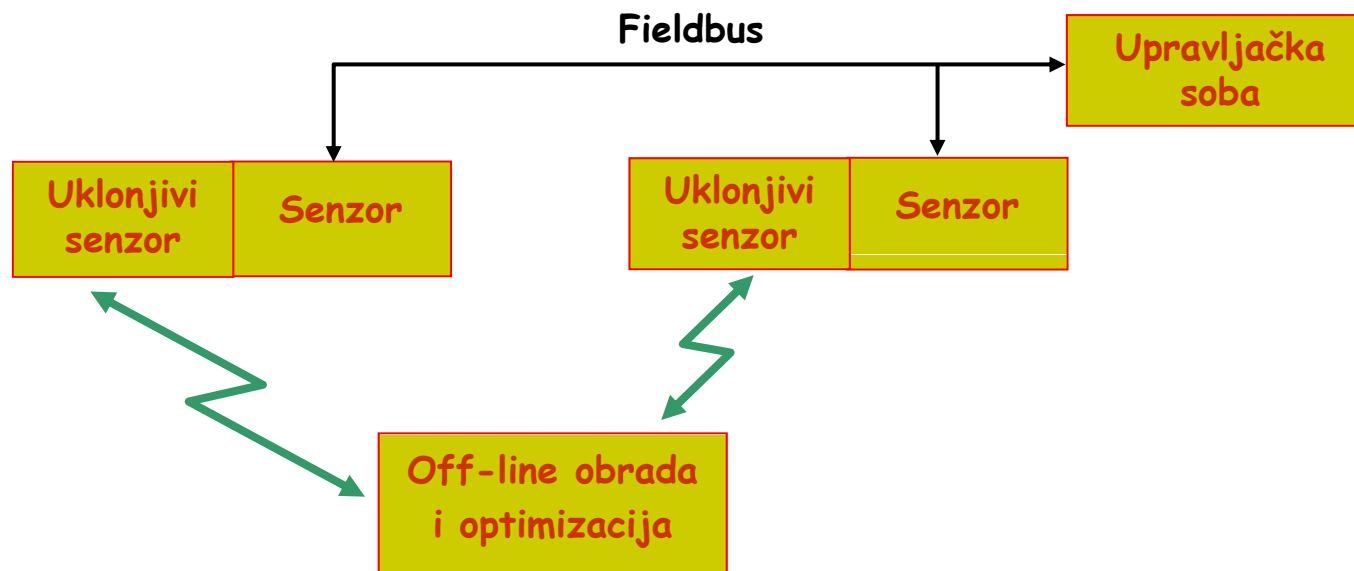


- Skup zahtjeva će se jasno mijenjati ovisno o konfiguraciji i tipu senzora.

Otvoreni sistemi upravljanja

Ad-hoc usklađenost

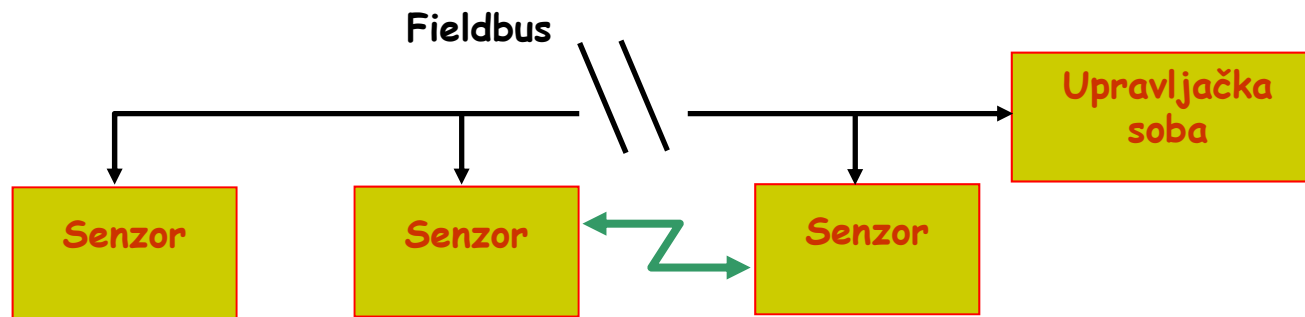
- Izrazito novo područje u procesnoj automatizaciji je ad-hoc usklađivanje.
- Uklonjivi senzori su smješteni na centralnoj lokaciji procesa.
- Kada se jednom postave oni uspostavljaju ad-hoc bežičnu mrežu i usmjeravaju svoje izmjerene vrijednosti prema nekoj agregacijskoj tački za potrebe off-line obrade.
- Draž ovog pristupa je u sljedećem: sistem je jednostavno instalirati, samokonfigurirati i može se višekратно koristiti na različitim lokacijama.
- Kada se razvije nova i optimizirana upravljačka strategija moguće ju je implementirati u regulator ili u pojedinačne dijelove opreme.



Otvoreni sistemi upravljanja

Redundancija

- Od sistema koji traže visoku razinu sigurnosti često se zahtijeva da imaju ugrađenu redundanciju u smislu opažanja, komunikacije i obrade.
- Ovaj zahtjev se tipično susreće u naftnoj i gasnoj industriji, bilo na kopnu ili u moru, gdje se rukuje sa eksplozivnim supstancama i gdje kvarovi mogu uzrokovati katastrofalne posljedice.
- Tokom kvara primarnog sistema, sekundarna mreža će na sebe preuzeti prijenos podataka.



- Nasuprot drugim aplikacijama, bežična mreža će ovdje prenositi vitalne podatke.
- Međutim, prijenos se obavlja samo kao “zadnja opcija”, u slučaju pucanja kabela ili kvarova na drugoj opremi.

Otvoreni sistemi upravljanja

Redundancija

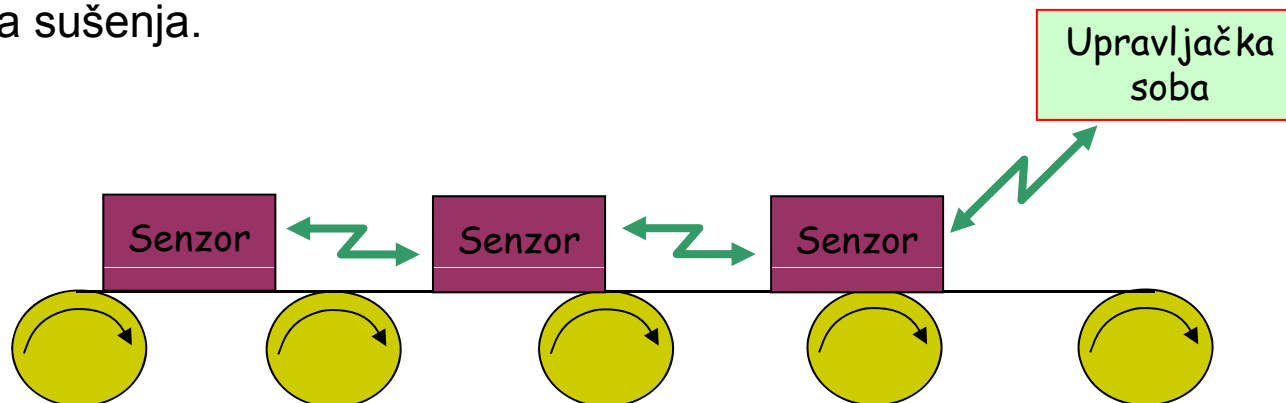
- U brojnim slučajevima pogodno je omogućiti veću razinu sigurnosti sistema budući da koristi u cijelosti različitu infrastrukturu, minimizirajući rizik djelovanja kvara na backup sistem.
- Pojas propuštanja i latentnost primarnog sistema mogu biti jako oskudni.
- Dakle, može biti neophodno implementirati uređaje algoritmima “povlačenja”, gdje se sistem povlači u manje zahtjevan skup zahtjeva čim se kvar primarnog sistema detektira.
- Bežične ad-hoc mreže trebaju biti operativne cijelo vrijeme, šaljući lažane “ja sam živ” pakete da informiraju menadžment sistem da je backup funkcionalan.



Otvoreni sistemi upravljanja

Mobilnost

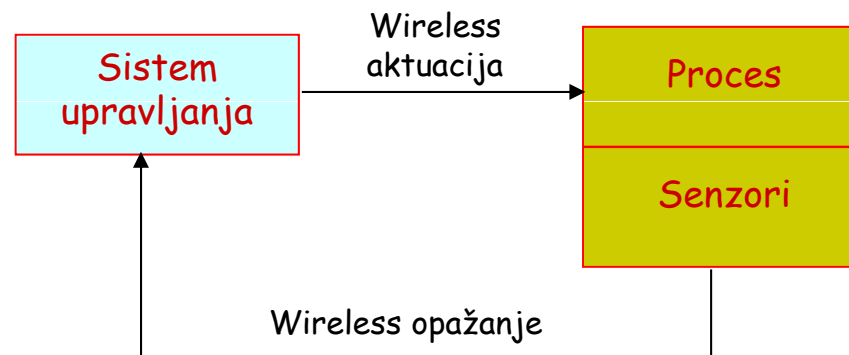
- Mobilnost je važan primjer aplikacije otvorenog sistema prikladnog za wireless ad-hoc mreže.
- Primjer proizvodnog procesa sa mobilnim jedinicama na pokretnoj traci.
- Jedinice se kreću i one teško uspostavljaju vezu sa fiksnom infrastrukturom.
- Pored toga, mobilni senzori mogu učestalo mjeriti fizičke parametre bitne za performanse ukupnog procesa.
- Trenutne primjene u papirnoj i mesnoj industriji.
- Senzori su dodani da prate proces sušenja papirne mase, mjerenje vlažnosti i temperature duž lanca.
- Podaci se prikupljaju, prenose se od senzora do senzora, ili šalju do jedne od nekoliko stacionarnih baznih stanica povezanih na fiksnu infrastrukturu.
- Nakon toga se izmjerene vrijednosti obrađuju i koriste za podešavanje procesa sušenja.



Zatvoreni sistemi upravljanja



- Osim korištenja wireless ad-hoc mreža za prikupljanje industrijskih podataka ili nadziranja proces, njihovo proširenje seže do vlastite upravljačke petlje.
- Distribuirano upravljanje sa povratnim vezama zatvorenim bežičnim linijama pojavljuje se kao atraktivno područje koje zaokuplja pažnju velikog broja istraživača.
- Wireless upravljanje u zatvorenoj petlji postat će u budućnosti prirodni element u cijelosti decentraliziranih automatiziranih arhitektura.
- Na sljedećoj slici je prikazan scenario zatvorene petlje u kome se opažanje i pogonjenje (aktuacija) obavlja kroz wireless veze (linije).



Zatvoreni sistemi upravljanja

Komunikacijski parametri u upravljanju

- Gradnja distribuiranih sistema korištenjem wireless senzorskih (/aktuator) mreža nije dobro rješenje.
- Da bi se osiguralo “glatko” upravljanje sistema upravljanja, prijenos podataka preko industrijske mreže treba biti real-time, pouzdan i tačan.
- Ovo predstavlja veliki izazov za wireless veze budući da one uvode slučajna kašnjenja i gubitke paketa zbog interferencije, pojačavanja signala i višestaznih prijenosa.
- U ovakvoj okolini postizanje upravljanja u zatvorenoj petlji pomoću wireless veza može se refrazirati kao: *Dizajnirati decentraliziranu ad-hoc wireless mrežu koja minimizira utjecaj komunikacijskih kvarova (grešaka) na sistem upravljanja.*
- Tri komunikacijska parametra posebno privlače pažnju sa stajališta upravljanja:
 - **Brzina prijenosa podataka** – visoka vrijednost znači visoku vremensku granularnost.
 - **Latentnost** – mala vrijednost implicira brz odziv.
 - **Gubitak paketa** – mala vjerojatnost je pridružena pouzdanoj komunikacijskoj vezi.
- Zaključak: fundamentalne promjene u dizajnu podatkovnog sloja se zahtijevaju za wireless zatvorene sisteme upravljanja.
- Idealno, zajednička optimizacija je najbolji pristup, sa optimiziranjem i komunikacijskih i upravljačkih varijabli istovremeno.



Zatvoreni sistemi upravljanja

Upravljanje procesima

- Wireless zatvorena petlja je idealno prikladna za poboljšanje automatizacije procesa.
- Osim funkcionalnih prednosti na organizacijskoj razini, kao što su jednostavna instalacija i rekonfiguracija procesa, ad-hoc mreže također posjeduju samoorganizirajuću strukturu kako bi olakšale obavljanje postojećih operacija.
- Jednostavne primjene koriste podatke sa wireless senzora direktno u regulatoru. Npr. Ember je dizajnirao mrežastu (mesh) mrežu za podršku procesu tretmana voda. Cilj korištenja mreže bio je povezati mjerače zagađenosti vode sa sistemom upravljanja.
- Instalacija i pouzdanost su ciljevi jedne ovakve aplikacije. Instalacija je veliki izazov sa stajališta radio komunikacije (zbog betonskih zidova i metalnih stepenica), višerefleksijski prijenosi olakšavaju komunikaciju sa kraja-na kraj gdje bi tradicionalne tačka-tačka wireless veze zahtijevale dugo i složeno mrežno planiranje.
- Slični primjeri senzorskih aplikacija su u visoko zahtjevnim okolinama, kao što su naftna i gasna industrija, gdje se ulažu kontinuirani naponi na smanjenju troškova budući da je njihovo istraživanje izuzetno skupo.
- Velike mreže sa složenim senzorskim i aktuatorskim interakcijama u visoko kritičnim sistemima upravljanja zahtijevaju robusno i optimalno upravljanje i komunikacijske algoritme.



Zatvoreni sistemi upravljanja

Proizvodne linije

- Proizvodna automatizacija i proizvodne linije također mogu imati veliku korist od wireless mrežnih tehnologija.
- **Zatvaranje upravljačkih petlji pomoću bežičnih linija i bežično povezivanje sa senzorima i aktuatorima vodi ka distribuiranim automatiziranim arhitekturama.**
- Mobilnost nije važan parametar za fabričku proizvodnju.
- Velika brzina prijenosa podataka se također ne zahtijeva, budući da se u fabričkoj proizvodnji komunikacija obavlja nad malim brojem podataka, obično ograničenih na binarne ulaze/izlaze.
- **Višerefleksivno usmjeravanje** je obično prihvatljiv zadatak i u ovakvim primjenama.
- Istovremeno, **pouzdanost i čuvanje energije** su dva važna faktora proizvodne automatizacije. ABB je razvio WPS (Wireless Proximity Sensor) koji koristi odgovarajući protokol koji osigurava pouzdanu isporuku poruka u kratkom vremenskom intervalu koju zahtijevaju trenutni PLC-ovi.
- Napajanje je postignuto induktivnom spregom sekundarnog namotaja sa senzorskom jedinicom.
- Postojanje vlastitog napajanja u potpunosti eliminira potrebu za kablovima ili zamjenu baterija.
- Buduće smjernice – wireless zatvoreni sistem upravljanja sa stvarnim višerefleksijskim i veliko razmjerskim scenarijima.



Zatvoreni sistemi upravljanja

Buduće distribuirano wireless upravljanje u realnom vremenu

- Distribuirane wireless operacije između regulatora i senzora/aktuatora su u “povoju”.
- Trenutne primjene se odnose na sisteme malih razmjera, jednorefleksivne i jednostavne upravljačke sisteme.
- Da bi se postiglo složeno upravljanje u realnim zatvorenim sistemima, nekoliko istraživačkih smjerova ima prioritet:
 - **Pouzdana komunikacijski protokoli koji su sposobni usmjeravati podatke kroz senzorske i aktuatorske mreže velikih razmjera.**
 - **Efikasne strukture pohrane energije koje su pogodne za okoline sa ograničenom energijom.**
 - **Redizajniranje optimizacijskih komunikacijskih i upravljačkih algoritama da bi se garantirao glatki prijelaz ka punoj wireless automatiziranoj arhitekturi.**



Zatvoreni sistemi upravljanja

Primjer. PDA Bluetooth upravljenje mobilnim robotom

Sistem omogućuje nadzor i upravljanje mehatroničkih uređaja. Ovi uređaji imaju sposobnost samonadzora i mogu obavljati timske zadaće.

Tri sučelja: korisnički, bluetooth i robotski.

