

# Posrednici umreženih sustava

**Prof.dr.sc Siniša Srbljić**

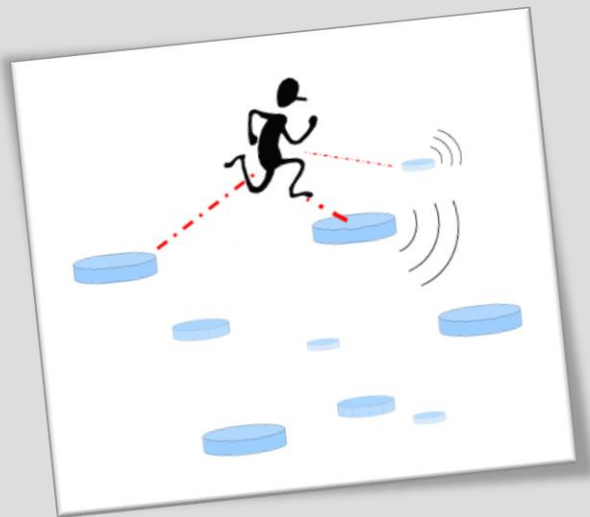
**Dr.sc. Ivan Benc**

**Dr.sc. Daniel Skrobo**

Fakultet elektrotehnike i računarstva,  
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave

## 6. Predavanje

# Posrednici zgodom oblikovanih i pokretnih mreža



**Goran Delač, dipl.ing.**

Fakultet elektrotehnike i računarstva,  
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave

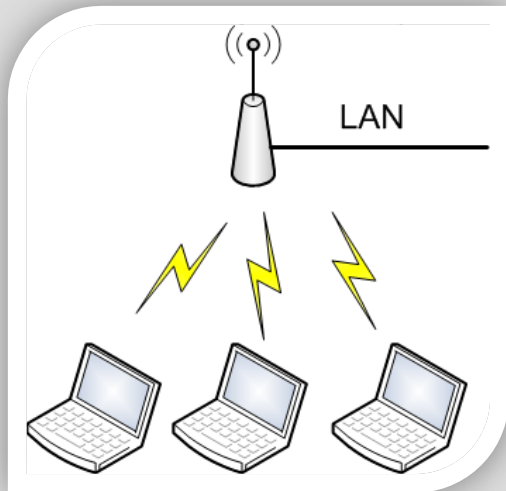
# Sadržaj predavanja

---

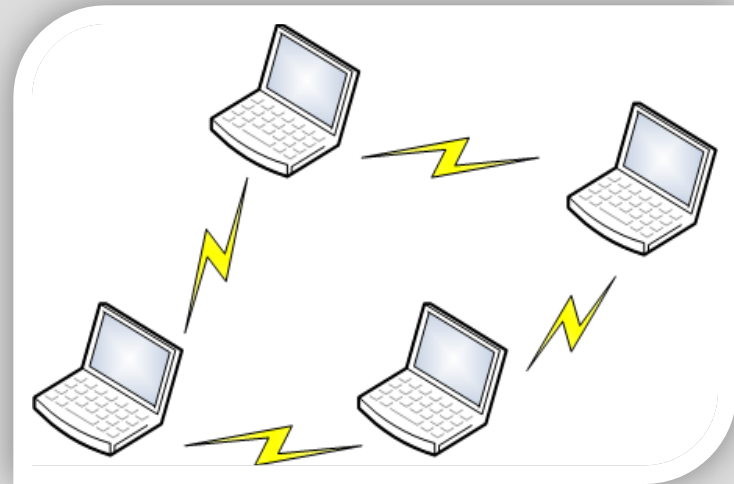
- Posrednici zgodom oblikovanih mreža
- Posrednici senzorskih mreža
- Posrednici za RFID mreže
- Literatura

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **IEEE 802.11 (Wireless LAN)**
  - način rada s baznom stanicom
  - način rada bez bazne stanice



Mreža s baznom stanicom



Mreža bez bazne stanice

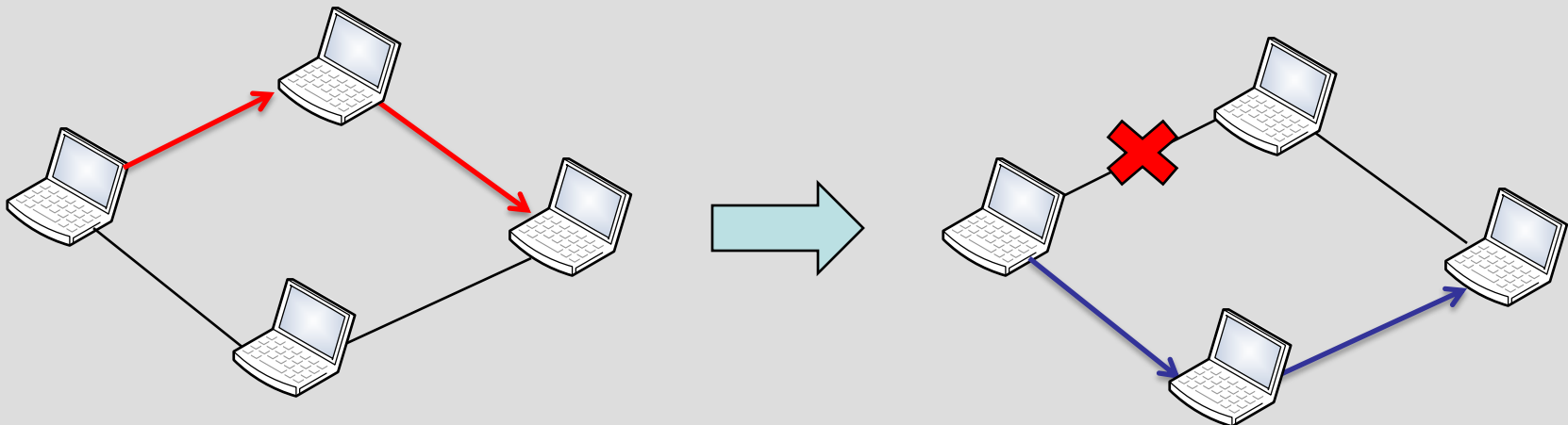


**Zgodom oblikovana mreža**

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

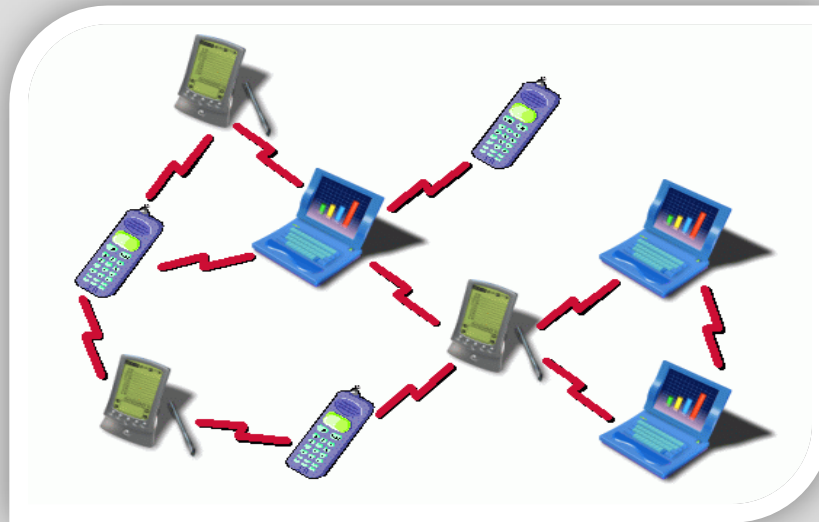
- **Zgodom oblikovani umreženi sustavi**

- engl. Ad-Hoc networks
- svaki čvor mreže je mogući usmjernik
  - prosljeđivanje podataka u ovisnosti o stanju mreže (zgodom oblikovani mreža)
- decentralizirana mreža
- promjenjiva topologija mreže



# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Pokretne zgodom oblikovane mreže**
  - engl. Mobile Ad-Hoc Networks (MANET)
  - čvorovi mreže su pokretni uređaji
  - promjena položaja uređaja utječe na karakteristike mreže (kvaliteta primljenog/poslanog signala)
  - ograničeni resursi uređaja



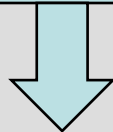
# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Prednosti**

- mreža bez infrastrukture
  - mreža je građena od dva ili više čvorova
- Primjena: vojska, službe spašavanja, poslovni sastanci...

- **Nedostaci:**

- česte promjene topologije mreže
- ograničenost resursa
- složena izrada raspodijeljenih primjenskih sustava



Posrednički sustav

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Pregled zahtjeva MANET posredničkih sustava**
  - Heterogenost
  - Pokretnost, topologija mreže
  - Razmjerni rast
  - Upravljanje resursima
  - Kvaliteta usluge (QoS)
  - Sigurnost



# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Heterogenost**

- omogočiti spajanje raznolikih uređaja na mrežu
- programske apstrakcije za povezivanje sustava zasnovanih na različitim mrežnim arhitekturama

- **Pokretljivost, topologija mreže**

- promjena položaja uređaja utječe na topologiju mreže
- promjene česte i nepredvidljive
- dinamično uspostavljanje veza među čvorovima
- prilagodba topologije s obzirom na dostupnost alternativnih mreža

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Razmjerni rast**

- dodavanje čvorova mreže bez smanjivanja performansi
- pozicija dodanog čvora ne narušava rad mreže

- **Upravljanje resursima**

- uređaji s različitim karakteristikama, posljedica heterogenosti
- Resursi uređaja: stanje baterije, sposobnost obrade podataka (upravljanje procesorom), memorijski prostor
- Resursi okoline: povezivost, propusnost mreže

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Kvaliteta usluge**

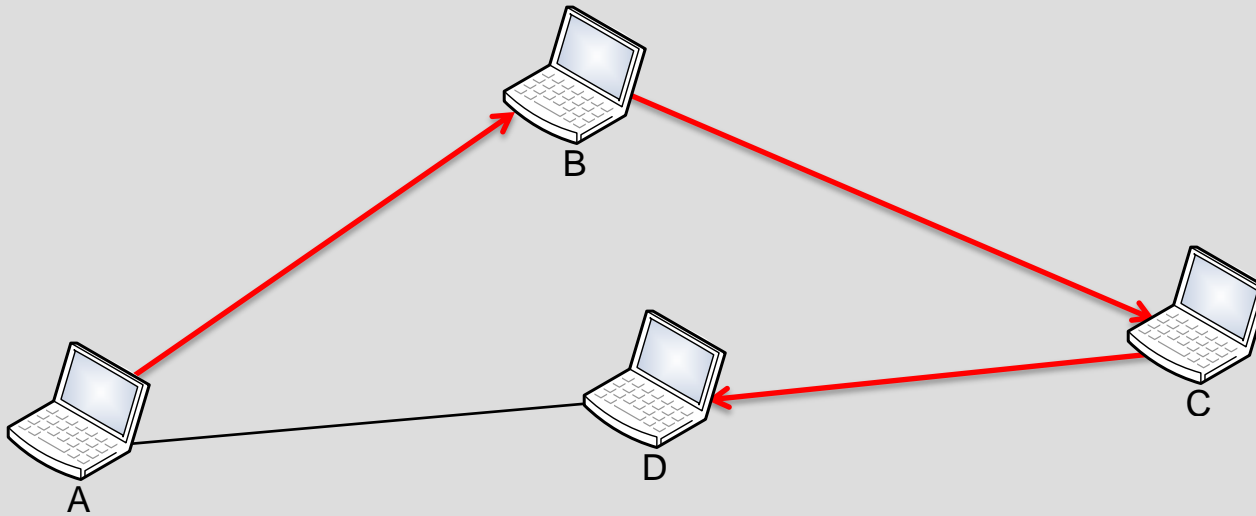
- osigurati određena svojstva mreže (razina propusnosti, pouzdanost) – ovisi o primjeni mreže
- prilagodba svojstava mreže s obzirom na zahtjeve raspodijeljenog primjenskog sustava
  - programski konstrukti za upravljanje resursima mreže na razini primjenskog sustava

- **Sigurnost**

- problem nesigurnih usmjernika (svaki čvor je usmjernik)
- česte promjene puta podataka (topologija)
- sigurnost: **otvoreno pitanje**

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

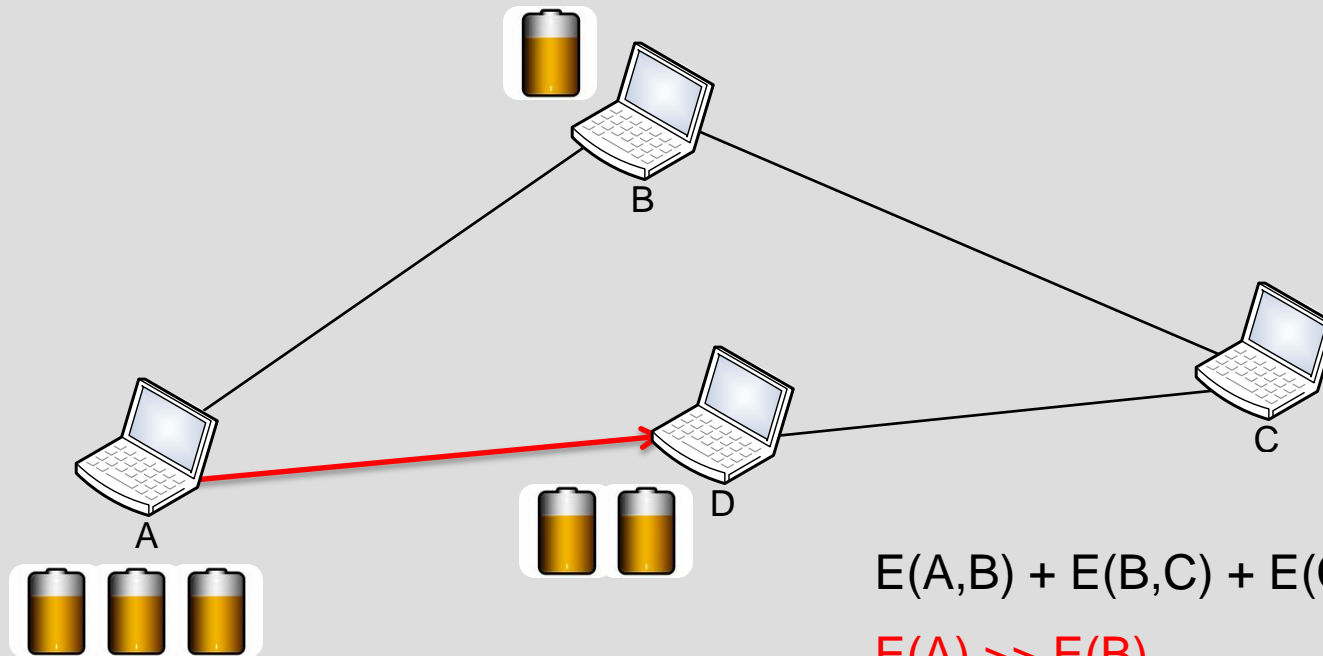
- **Primjer: Upravljanje potrošnjom energije**
  - energija prijenosa između dva čvora



$$E(A,B) + E(B,C) + E(C,D) < E(A,D)$$

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Primjer: Upravljanje potrošnjom energije**
  - energetske zalihe čvora



$$E(A,B) + E(B,C) + E(C,D) < E(A,D)$$

$$E(A) \gg E(B)$$

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Primjer: Upravljanje potrošnjom energije**
  - Centralizirano upravljanje
    - poseban čvor zadužen za prikupljanje i podataka o energetsom stanju mreže
    - proslijeđivanje podataka optimalno s obzirom na potrošnju energije
    - **nedostatak**: potrebna veza s upravljačkim čvorom
  - Raspodijeljeno upravljanje
    - čvor podatke prikuplja iz okoline
    - čvor samostalno upravlja potrošnjom energije
    - **nedostatak**: lokalno energetske stanje mreže

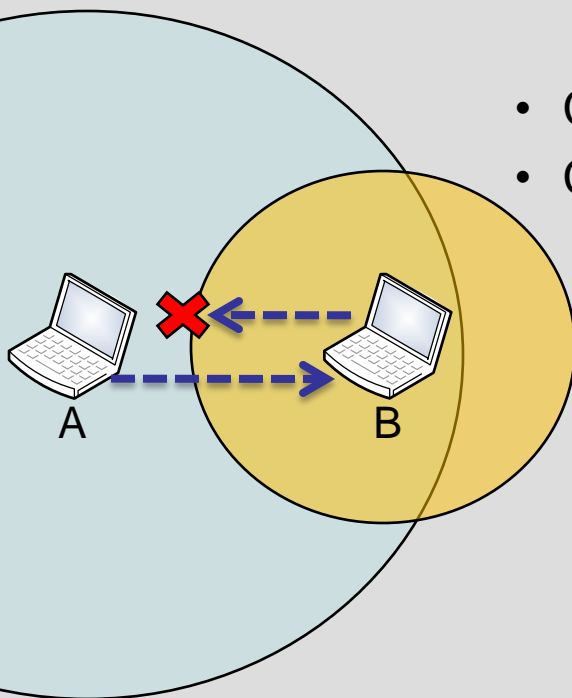


# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Primjer: Povezivost**

- različite snage odašiljača i prijemnika - veze nisu simetrične

- Čvor A može uspostaviti vezu prema čvoru B
    - Čvor B ne može uspostaviti vezu prema čvoru A



# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Upravljanje zgodom oblikovanih mreža**
  - posrednički sustav ostvaruje protokole usmjeravanja
- **Protokoli usmjeravanja**
  - Jednorazinski
    - Zasnovani na tablici
    - Reaktivni
    - Hibridni
  - Hijerarhijski
  - Geografski





# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Protokol usmjeravanja zasnovan na tablici**
  - princip preuzet iz “žičanih” mreža (Link State, Distance Vector)
  - periodička razmjena tablica s podacima o svim čvorovima mreže
  - čvorovi u svakom trenutku imaju približnu sliku mreže
  - Prednosti: brzo usmjeravanje podataka
  - Nedostaci: potrebna razmjena velike količine podataka prilikom osvježavanja tablice
  - pogodni za mreže s rjeđim promjenama u topologiji
  - OLSR, DSDV, WRP

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Reaktivni protokoli usmjeravanja**
  - osvježavanje topoloških podataka po potrebi (engl. On-demand routing)
  - put podataka određuje se prije prosljeđivanja – šalje se poruka za otkrivanje puta (broadcast)
  - Prednosti: dobre prosječne performanse
  - Nedostaci: moguće veliko kašnjenje prilikom otkrivanja puta podataka, zagušenje mreže (koristi se broadcast)
  - DSR, AODV

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Hibridni protokoli usmjeravanja**
  - kombinacija tabličnih i reaktivnih algoritama
  - razdjela sustava na podmreže
  - Usmjeravanje podataka unutar podmreže ostvaruje se algoritmima zasnovanim na tablici
  - Usmjeravanje prema udaljenim čvorovima (izvan podmreže) ostvaruje se reaktivnim algoritmima
  - ZRP, TORA

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Hijerarhijski protokoli usmjeravanja**
  - poopćenje hibridnog algoritma
  - rastavljanje mreže na hijerarhijske cjeline
  - odabir algoritma usmjeravanja za pojedinu hijerarhijsku razinu (najčešće tablični ili reaktivni)
  - odabir čvora unutar hijerarhijske razine zaduženog za osvježavanje topologijskih podatka
  - neprikladni za mreže uređaja s malim resursima (algoritam dekompozicije mreže je zahtjevan)
  - CBRP, CEDAR

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Geografski protokoli usmjeravanja**
  - zasnovani na položaju čvorova mreže
  - čvor osvježava podatke o svojim susjedima (čvorovima s kojima je izravno spojen)
  - podatci se prosljeđuju susjedu koji je najbliži odredištu
  - učinkovitost algoritma ovisi o rasporedu čvorova
  - dobro podržana pokretnost čvorova
  - GPSR, BGR

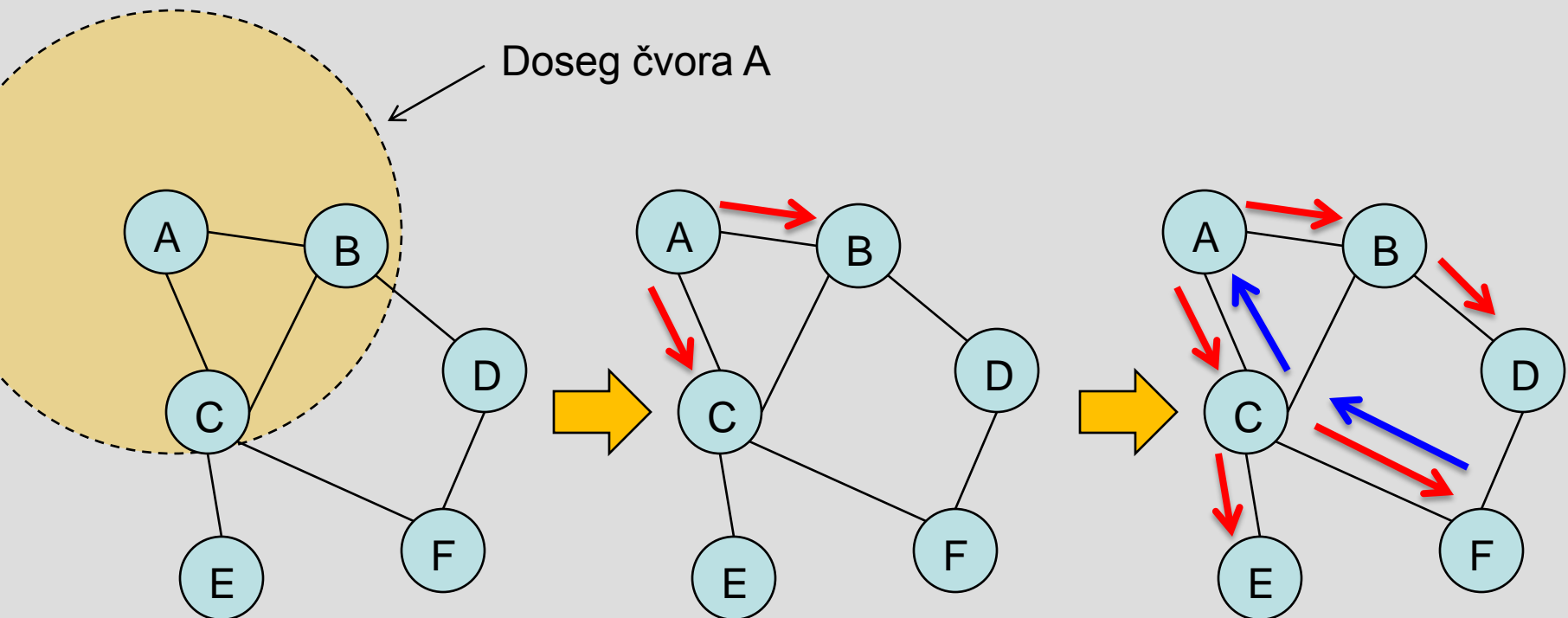
# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Protokol usmjeravanja: Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV)**
  - reaktivni protokol
  - otkrivanje puta podataka po potrebi
    1. postoji valjani zapis u tablici usmjeravanja: podaci se prosljeđuju prema odredišnom čvoru
    2. ne postoji zapis u tablici prosljeđivanja: šalje se zahtjev za otkrivanje puta svim susjednim čvorovima (broadcast)
    3. ponavlja se 2. korak dok zahtjev ne stigne do čvora sa zapisom u tablici usmjeravanja ili do odredišnog čvora
    4. odgovor se šalje na adresu izvorišnog čvora (ne koristi se broadcast)

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- Primjer: Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV)**

Zahtjev za otkrivanje puta  $A \rightarrow F$

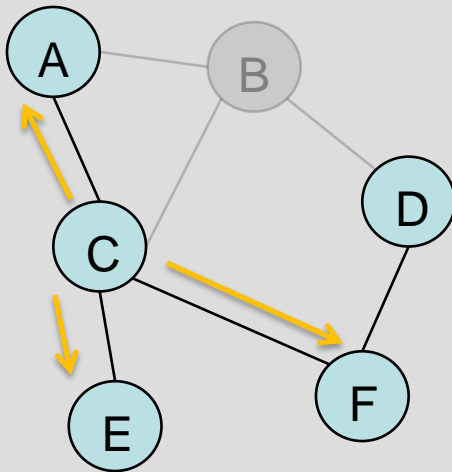


- čvorovi B,C,D,F,E osvježavaju podatke o čvoru A
- čvorovi A i C osvježavaju podatke o čvoru F

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- Primjer: Ad-hoc On Demand Distance Vector (AODV)**

Uklanjanje čvora B iz mreže



Čvor C



Odredište	Idući čvor	Udaljenost	Aktivni susjedi
A	A	1	E, F
<del>B</del>	<del>B</del>	<del>1</del>	<del>F</del>
<del>D</del>	<del>B</del>	<del>2</del>	<del>A, E</del>
E	E	1	
F	F	1	E

→ Zahtjev za osvježavanje tablice usmjeravanja

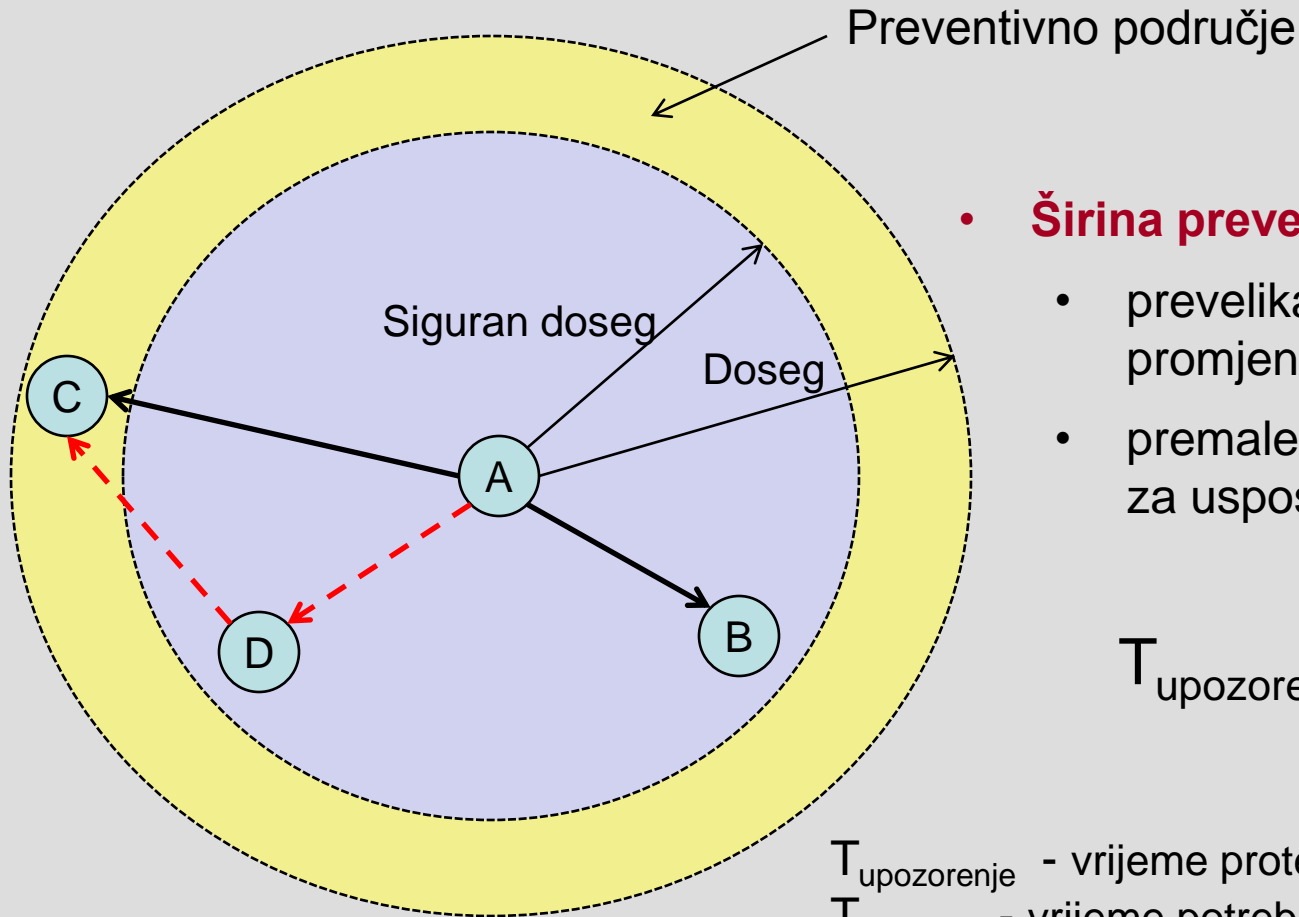


# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Preventivno usmjeravanje (engl. Preemptive Routing)**
  - nadogradnja reaktivnih algoritama usmjeravanja
  - promjena puta podataka prije prekida veze
  - prekid veze uzrokuje dodatnu komunikaciju (ponovna slanja)
  - otkrivanje kvalitete veze (snaga signala, starost zapisa u tablici, udaljenost, kolizije)

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- Preventivno usmjeravanje: snaga signala



- Širina preventivnog područja

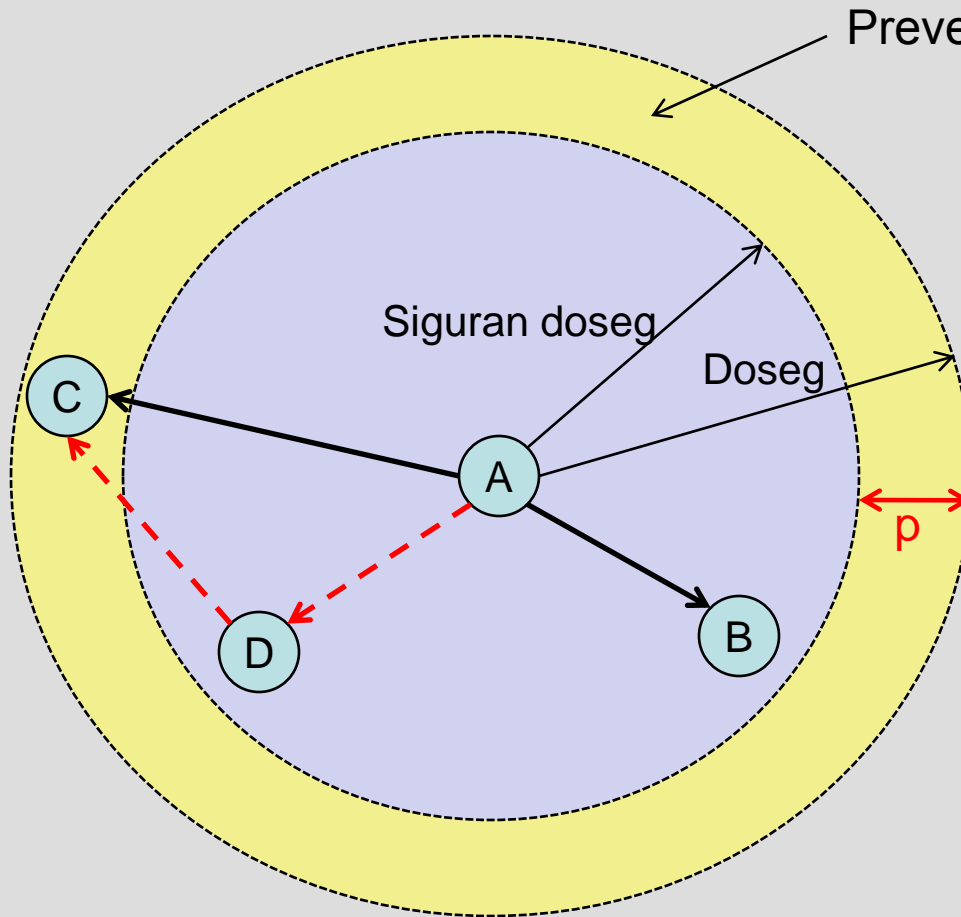
- prevelika – nepotrebni zahtjevi za promjenom puta
- premalena – nedovoljno vremena za uspostavu novog puta

$$T_{\text{upozorenje}} = T_{\text{oporavak}}$$

$T_{\text{upozorenje}}$  - vrijeme proteklo od upozorenja do prekida  
 $T_{\text{oporavak}}$  - vrijeme potrebno za uspostavu novog puta

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- Preventivno usmjeravanje: snaga signala



$$P_{\text{primljeni}} = \frac{P_0}{r^4}$$

$$P_{\text{preventivni}} = \frac{P_0}{(\text{doseg} - p)^4}$$

$$p = v_{\text{relativna}} * T_{\text{oporavak}}$$

$$P_{\text{primljeni}} \leq P_{\text{preventivni}}$$



Uspostavljanje novog puta

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Ujednačavanje sudjelovanja**

- glavna uloga čvorova mreže nije usmjeravanje podataka
- zahtjevi za štedljivim upravljanjem resursima oprečni usmjeravanju nekorisnih podataka
- pojava “pohlepnih” čvorova narušava rad mreže



# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

---

- **Sustav za ujednačavanje sudjelovanja**
  - Jednostavan sustav kažnjavanja
  - Sustav zasnovan na ugledu
  - Sustav zasnovan na cijenama

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Jednostavan sustav kažnjavanja**

- faktor sudjelovanja

$$U = F \left( \frac{u_{\text{poslani\_paketi}}}{u_{\text{primljeni\_paketi}}} \right)^{\alpha} \frac{u_{\text{utrošena\_energija}}}{u_{\text{primljeni\_paketi}}} -$$

- ujednačavanje faktora sudjelovanja
- smanjivanje faktora sudjelovanja čvorovi kažnjavaju smanjujući svoj faktor sudjelovanja

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Jednostavan sustav kažnjavanja**
  - smanjivanje faktora sudjelovanja smanjuje sveukupnu propusnost mreže
  - Nedostaci:
    - određivanje propusnosti na razini mreže
    - neotpornost na kvar čvora
    - Neotpornost na zlonamjerne čvorove

# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Sustav zasnovan na ugledu**
  - čvorovi održavaju tablicu ugleda (povijest prosljeđivanja)
  - prosljeđivanje podataka uvećava ugled čvora, a odbijanje prosljeđivanja umanjuje ugled
  - zahtjev za prosljeđivanje od čvora s “negativnim” ugledom neće biti obrađen



# Posrednici zgodom oblikovanih mreža

- **Sustav zasnovan na cijenama (Price Mechanism)**
  - središnji sustav za nadgledanje sudjelovanja: “blagajna”
  - čvorovi koji prosljeđuju podatke zarađuju “novac” iz “blagajne”
  - čvorovi koji su izvorište prometa uplaćuju “novac” u “blagajnu”

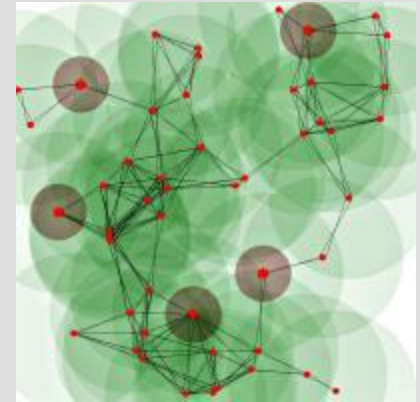
# Sadržaj predavanja

---

- Posrednici zgodom oblikovanih mreža
- Posrednici senzorskih mreža
- Posrednici za RFID mreže
- Literatura

# Posrednici senzorskih mreža

- **Wireless Sensor Networks (WSN)**
  - skup senzorskih uređaja povezanih bežičnom mrežom (802.11, Bluetooth)
- **mreža građena od velikog broja čvorova s ograničenim resursima**
  - $V_{\text{senzor}} \geq 1\text{mm}^3$
- **poveznica fizičkog i računalnog (“virtualnog”) svijeta**
- **široka primjena**
  - mjerenje seizmičke aktivnosti, praćenje divljih životinja, praćenje prometa, vojni sustavi, ...

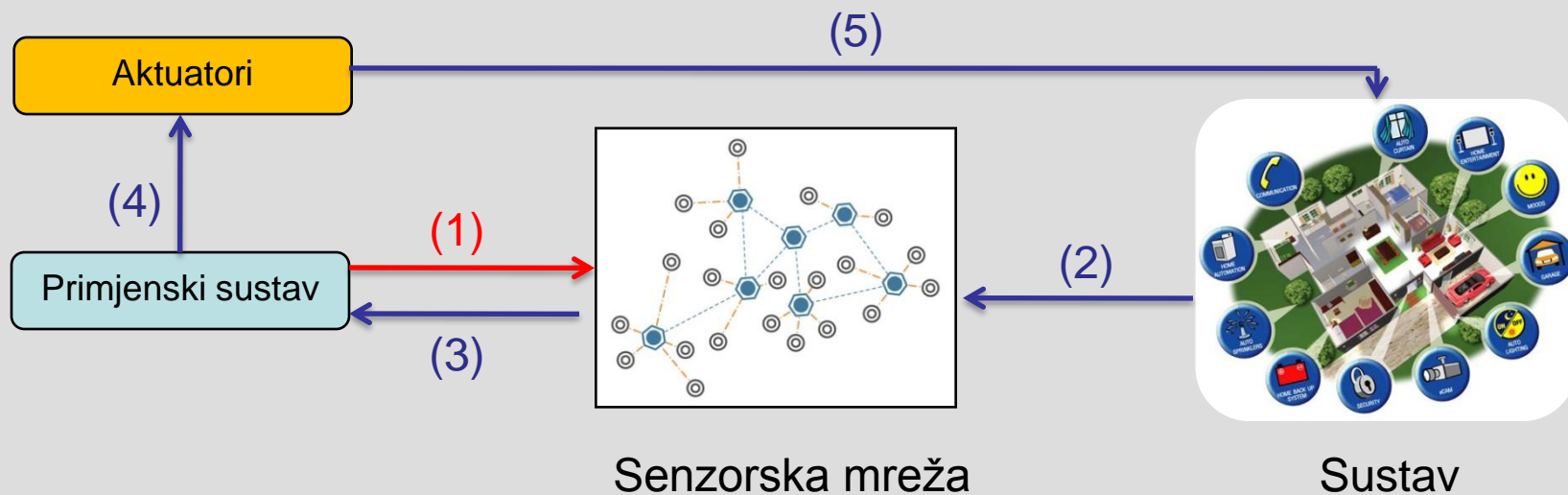


# Posrednici senzorskih mreža

- **Razredba senzorskih mreža**

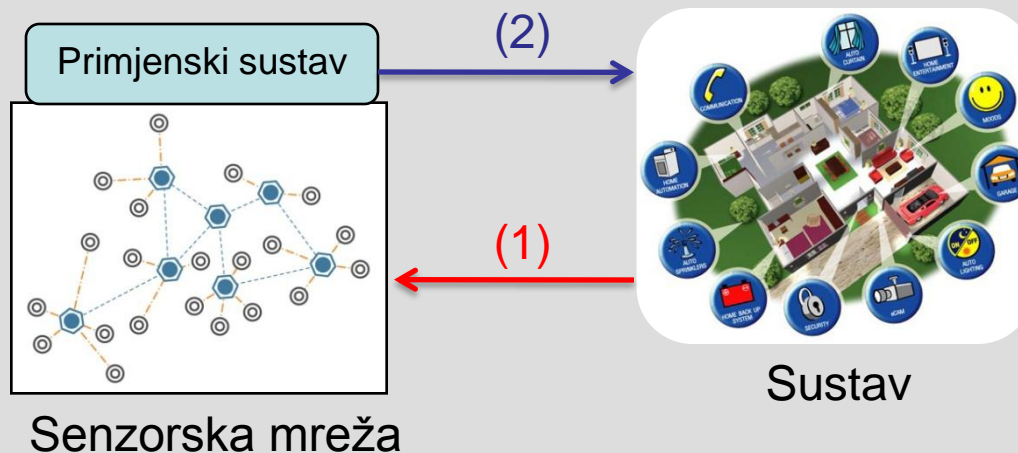
- Upravljanje
- Samoupravljanje
- Hibridne

Upravljanje senzorske mreže

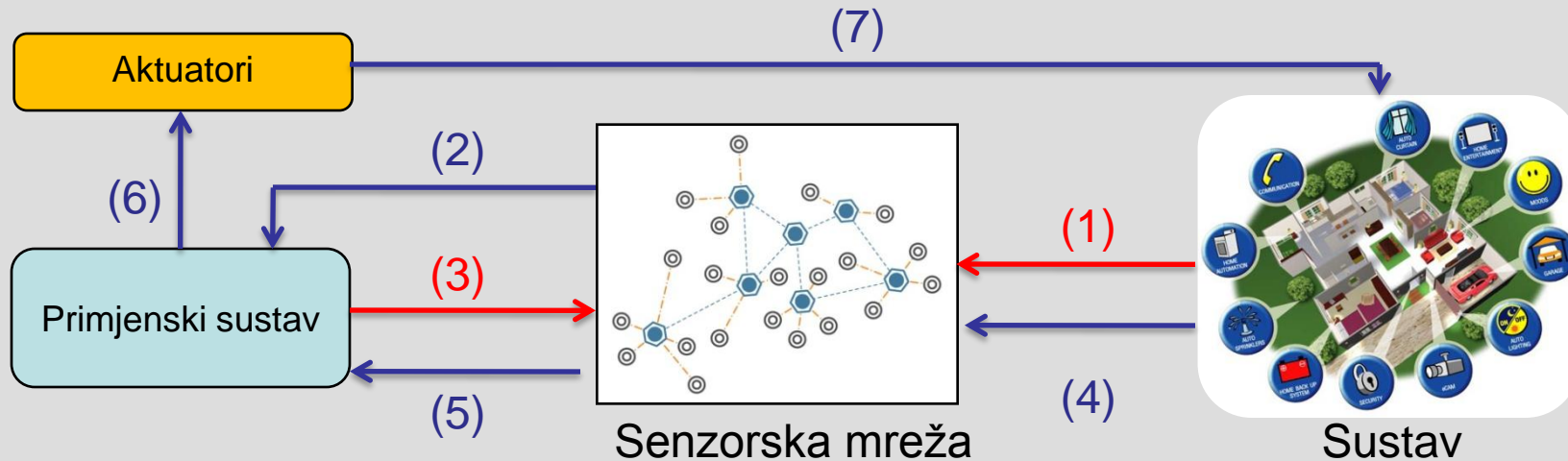


# Posrednici senzorskih mreža

## Samoupravljajuće senzorske mreže



## Hibridne senzorske mreže



# Posrednici senzorskih mreža

- **Posrednički sustavi za senzorske mreže**

- Izgradnja, održavanje i postavljanje primjenskih sustava zasnovanih na senzorskim mrežama

Primjenski sustav

Posrednički sustav

WSN

- **Pregled zahtjeva posrednika senzorskih mreža**

- Upravljanje resursima
- Upravljanje topologijom mreže
- Održavanje mreže
- Skupljanje i obrada senzorskih podataka
- Pružanje programskih apstrakcija
- Podrška za operacijske sustave

# Posrednici senzorskih mreža

- **Upravljanje resursima**

- inherentno ograničeni resursi (energija, procesorska snaga, memorijski spremnik, propusnost mreže)
- prilagodljivo upravljanje resursima s obzirom na potrebe primjenskog sustava
- uspostavljanje optimalnog odnosa između kvalitete rada senzora i potrošnje resursa

# Posrednici senzorskih mreža

- **Upravljanje topologijom mreže**
  - zgodom oblikovane senzorske mreže
- **Održavanje mreže**
  - veliki broj čvorova mreže: mehanizmi za samostalno početno postavljanje i održavanje mreže
- **Sakupljanje i obrada senzorskih podataka**
  - središnja uloga senzorskih mreža
  - raspodijeljena obrada podataka
  - agregacija podataka



# Posrednici senzorskih mreža

- **Pružanje programskih apstrakcija**
  - izlaganje senzorske mreže kao objekta
  - ostvarivanje primjenskih sustava na razini senzorskog zadatka (izbjegavati izravan pristup čvorovima mreže)
- **Podrška za operacijske sustave**
  - funkcionalno razdvajanje sučelja operacijskog sustava i posredničkog sustava
  - TinyOS
    - OS za ugrađene sustave
    - zasnovan na događajima (event-driven)
    - Razvoj: UC Berkeley, Intel: <http://www.tinyos.net>



# Posrednici senzorskih mreža

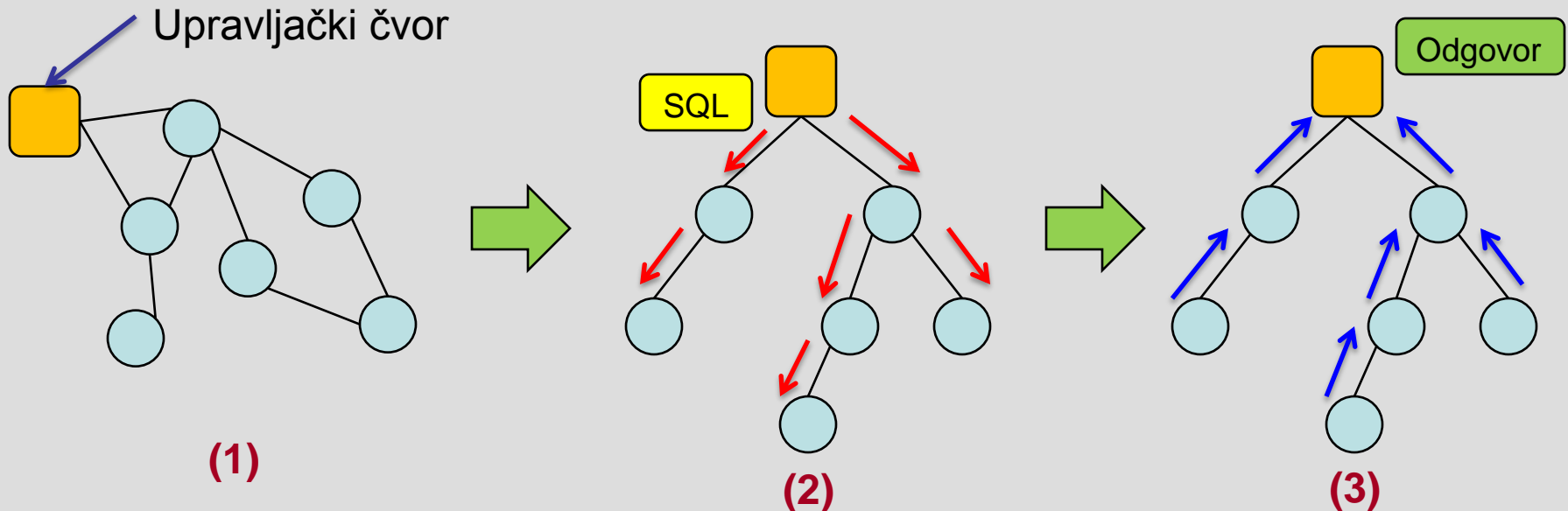
- **Razredba posrednika senzorskih mreža**
  - Posrednici zasnovani na bazi podataka
  - Posrednici zasnovani na pokretnim agentima
  - Posrednici zasnovani na događajima

# Posrednici senzorskih mreža

- **Posrednici zasnovani na bazi podataka**
  - pristupanje senzorskim mrežama kao raspodijeljenoj bazi podataka
  - upiti slični jeziku SQL (podskup jezika SQL proširen vremenskim naredbama)
  - Primjer: TinyDB (<http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/>)

```
SELECT AVG(volume), room FROM sensors
WHERE floor = 6
GROUP BY room
HAVING AVG(volume) > 10
EPOCH DURATION 30s
```

# Posrednici senzorskih mreža



1. Upravljački čvor stvara stablo usmjeravanja. Stablo se održava emisijom paketa (broadcast). Obavlja se usklađivanje vremena na svim čvorovima.
2. Upravljački čvor proslijeđuje SQL upit. Svaki čvor pribavlja i **OBRADUJE** podatke kako je opisano SQL upitom.
3. Obradeni podatci šalju se upravljačkom čvoru u dogovorenom vremenskom trenutku. Upravljački čvor obavlja agregaciju podataka.

# Posrednici senzorskih mreža

- **Posrednici zasnovani na pokretnim agentima**
  - u senzorsku mrežu umeće se primjenski sustav u obliku pokretnog agenta
  - pokretni agent obilazi čvorove i prikuplja senzorske podatke (agregaciju podataka obavlja pokretni agent)
  - Primjer: SensorWare (<http://www.sensorwaresystems.com/>)

# Posrednici senzorskih mreža

- **Posrednici zasnovani na događajima**
  - posrednički primjenski sustav postavlja događaje u čvorovima mreže
  - događajima se opisuje stanje senzora koje je potrebno dojaviti posredničkom sustavu (primjer: temperatura u sobi je veća od 25 °C)
  - asinkrona komunikacija

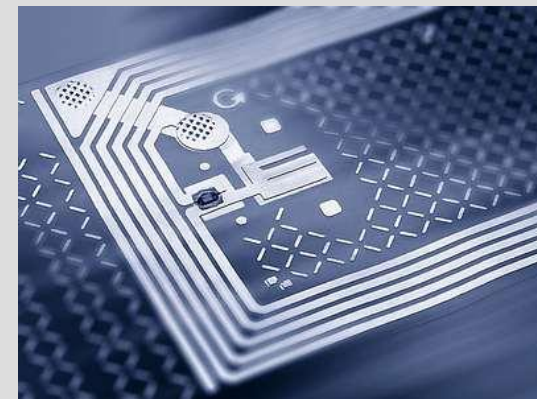
# Sadržaj predavanja

---

- Posrednici zgodom oblikovanih mreža
- Posrednici senzorskih mreža
- Posrednici za RFID mreže
- Literatura

# Posrednici za RFID mreže

- **Radio Frequency Identification**
- **otkrivanje prisutnosti objekta**
  - korištenje radiosignala
- **RFID mreža**
  - čitači (RFID Readers)
  - transponderi (RFID Tags)
- **Primjena**
  - skladišta, proizvodni pogoni, “pametna kuća”, ...





# Posrednici za RFID mreže

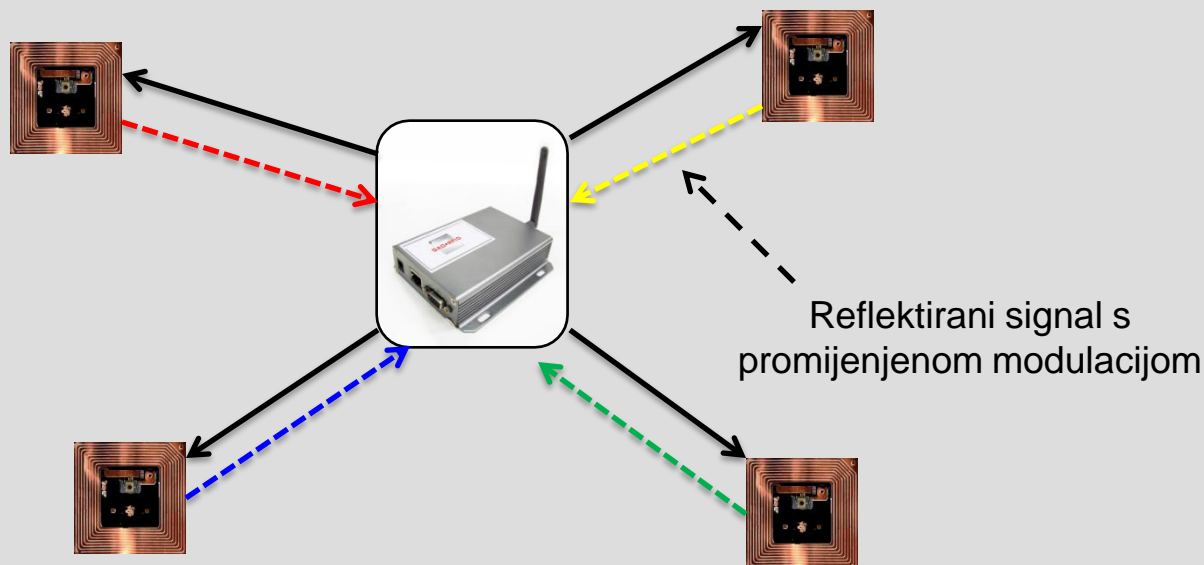
- **Razredba RFID mreža**

- aktivne

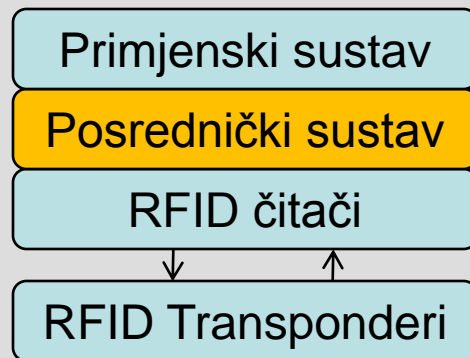
- vlastito napajanje
    - Ad-Hoc mreža, senzorska mreža

- **pasivne**

- napajanje iz signala čitača



# Posrednici za RFID mreže



- **Pregled zahtjeva za posrednik RFID mreža**
  - Filtriranje podataka
  - Agregacija podataka
  - Pristup memorijskom prostoru transpondera
  - Pouzdanost
  - Upravljanje RFID čitačima
  - Privatnost

# Posrednici za RFID mreže

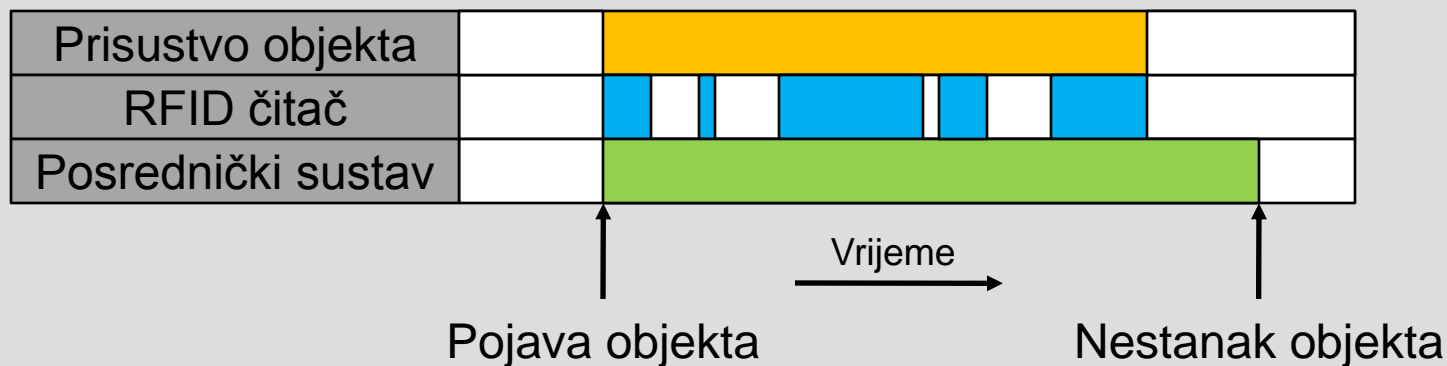
- **Filtriranje podataka**

- različiti primjenski sustavi zahtijevaju različite podskupove podataka
- problem: ograničena propusnost mreže
- usmjeravanje sadržaja (content-based routing)
  - rasterećenje prometa primjenski sustav – RFID čitači
  - odabir sadržaja na osnovi ID čitača ili transpondera
- mehanizam pretplate
  - rasterećenje prometa RFID čitači – RFID transponderi
  - primjenski sustav se pretplaćuje na podatke
  - RFID čitači rade upite za podatke za kojima postoji interes

# Posrednici za RFID mreže

- **Agregacija podataka**

- objedinjavanje više povezanih događaja otkrivanja
  - rasterećenje mrežnog prometa prema primjenskom sustavu
- izgladivanje pogrešnih očitavanja



# Posrednici za RFID mreže

- **Pristup memorijskom prostoru transpondera**
  - osigurati transparentan pristup memoriji transpondera
  - organiziranje memorije skupa transpondera u virtualni prostor
  - osigurati zalihost podataka
- **Pouzdanost**
  - ostvarivanje suradnje RFID čitača kako bi se smanjila mogućnost “lažnih” očitavanja
  - pouzdana dostava podataka primjenskom sustavu
    - sustav za rad u stvarnom vremenu
    - sustav za obradu podataka

# Posrednici za RFID mreže

- **Upravljanje RFID čitačima**
  - udaljeno postavljanje načina rada čitača
  - osvježavanje programske podrške
- **Privatnost**
  - RFID: “kontroverzna tehnologija”
  - “Orwellovski svijet”



# Literatura

- S. Hadim, et al., “**Trends in Middleware for Mobile Ad Hoc Networks**”, Journal of Communications, Volume 1, Issue 5, 2006
- R. Rajaraman, “**Topology Control and Routing in Ad hoc Networks: A Survey**”, ACM SIGACT News, Volume 33, Issue 2, 2002
- T. Goff, et al., “**Preemptive Routing in Ad Hoc Networks**”, MobiCom, Proceedings, 2001
- K. Römer, O. Kasten, F. Mattern, “**Middleware Challenges for Wireless Sensor Networks**”, Mobile Computing and Communications Review, Volume 6, Number 2, 2002
- K. Römer, “**Programming Paradigms and Middleware for Sensor Networks**”, GI/ITG Fachgespräch Sensornetze, 2004

# Literatura (2)

- K. Henriksen, R. Robinson, “**A Survey of Middleware for Sensor Networks: State-of-the-Art and Future Directions**”, MidSens, Proceedings, 2006
- W. Heinzelman, A. Murphy, H. Carvalho and M. Perillo, “**Middleware to Support Sensor Network Applications**,” *IEEE Network Magazine Special Issue*. Jan. 2004
- C. Floerkemeier, M. Lampe, “**RFID middleware design - addressing application requirements and RFID constraints**”, Proceedings of sOc-EUSAI 2005, Grenoble, October 2005
- J. E. Hoag, C. W. Thompson, “**Architecting RFID Middleware**”, IEEE Internet Computing, Volume 10, Issue 5, 2006
- A. S. Tanenbaum, “**Computer Networks**”, Prentice Hall PTR, 2003