



Sveprisutno računarstvo

10. Bežične mreže osjetila

- Što su bežične mreže osjetila?
- Primjeri korištenja
- Građa i karakteristike čvorova
- Mreže osjetila
- Lociranje čvorova, sinkronizacija satova
- Primjeri

Creative Commons



[Sveprisutno računarstvo](#) by Hrvoje Mlinarić & Igor Čavrak, FER
is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

This license requires that reusers give credit to the creator.

It allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, for noncommercial purposes only.

If others modify or adapt the material, they must license the modified material under identical terms.

BY: Credit must be given to you, the creator.

NC: Only noncommercial use of your work is permitted.

SA: Adaptations must be shared under the same terms.

Promatranje okoline (makro i mikro)

- Osjetila → obrada → fuzija → zaključci
 - Različite vrste osjetila
- Pozicioniranje osjetila
 - Što dalje od prostorno velike pojave
 - bolja vidljivost, detalji nisu bitni
 - Potrebna (optička) vidljivost (*eng. line-of-sight*)
 - Prostorno raspodijeljena promatranja
 - Prostorno rijetko postavljene promatračke stanice, praćenje lokalnih parametara
 - Potrebna infrastruktura
 - Promatranja na mikro-razini
 - Gusto postavljena osjetila, promatranje na razini dimenzija pojave → osjetila smještena unutar promatrane okoline, dio te okoline



Uragan Katrina



Zavižan



Mikroklima u
krošnji stabla



?

Računala – makro i mikro

- Računala
 - Mikroračunala
 - Mikrokontroleri
- *Motes* (*Mote* - čestica, zrnce, vršak trna)

+

- Povezivanje računala "jedan na jedan"
 - Mreže računala
 - Bežične mreže
- Bežične mreže kratkog dosega

+

- Trafo stanice
 - Izvori napajanja
 - Baterijski izvori napajanja
- Izvori napajanja iz okoline



Tehnološke pretpostavke

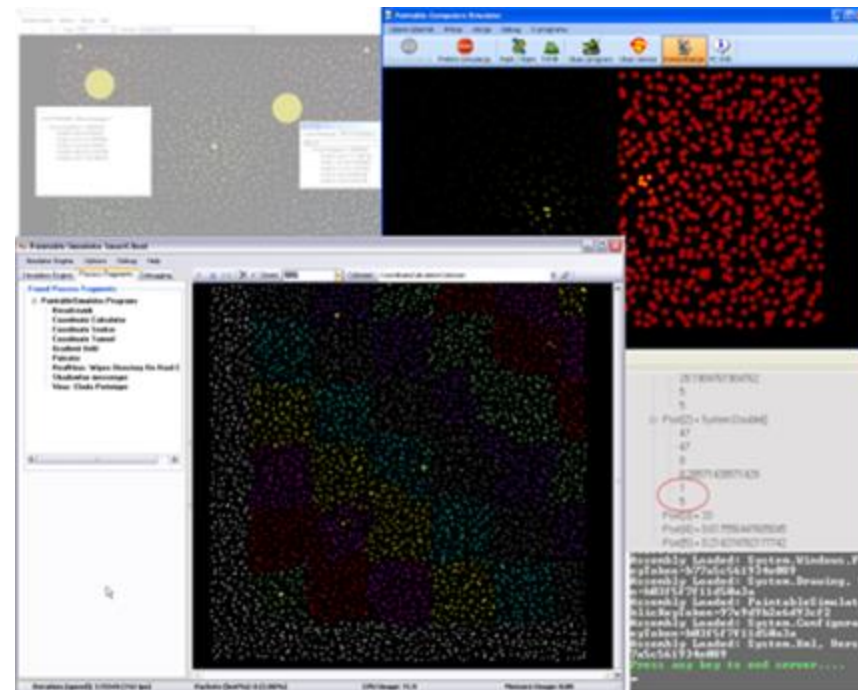
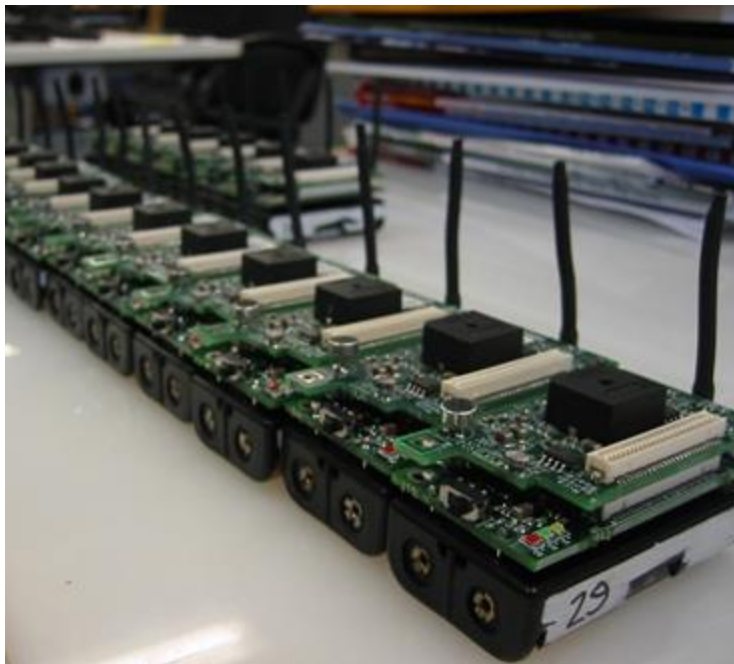
- CPU/MCU: dva efekta Mooreova zakona!
 - Niska cijena, snaga obrade, količina memorije, dimenzije, potrošnja
 - ASCII RED - 1996: 1,30 TFLOPS, 850000W, \$67M
 - Playstation4 - 2013: 1,84 TFLOPS, 150W, \$400
- Radio komunikacija vrlo niske snage
 - Niska potrošnja, pouzdana komunikacija
- MEMS osjetila
 - Male dimenzije, niska potrošnja
- Izvori energije
 - Gustoća pohrane energije, dimenzije



Sveprisutnost, prožimanje

- M. Weiser, otac termina Ubiquitous (sveprisutno), Pervasive (prožimajuće) Computing (računarstvo):

"Najprofinjenije tehnologije su one koje nestaju. Isprepletu se s materijalom svakodnevnog života sve dok ne postanu njegovim sastavnim dijelom"



Bežične mreže osjetila

- ***Wireless Sensor Networks (WSN)***

- Sastoje se od prostorno raspodijeljenih autonomnih računala (čvorova) opremljenih različitim vrstama osjetila
- Računala komunikacijski povezana u ad-hoc mrežu korištenjem najčešće radio komunikacije vrlo male snage i dosega
- Mreža kooperativno prati zadane parametre okoline u kojoj je smještena, obrađuje ih i prosljeđuje korisnicima (van ili unutar mreže)
- WSAN – (A = actuator): mreža ima sposobnost djelovati na okolinu koju promatra

Osnovna svojstva WSN

- **Niski horizont:**

- Pojedini čvor vidi samo mali dio promatrane pojave
- Doseg radio komunikacije nekoliko desetaka metara
- Za stvaranje cjelovite slike (prenošenje podataka na veće udaljenosti i fuzije opažanja) potrebna suradnja između čvorova u mreži

- **Nepotrebna infrastruktura**

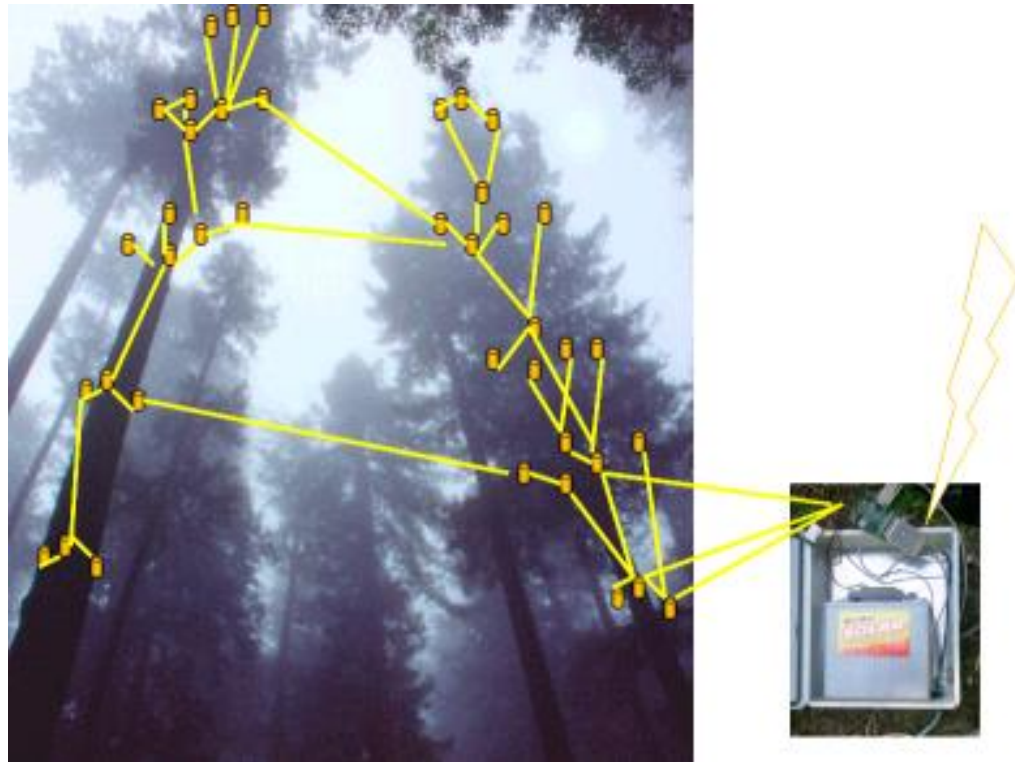
- Filozofija "postavi i koristi"

- **Ograničenost energije:**

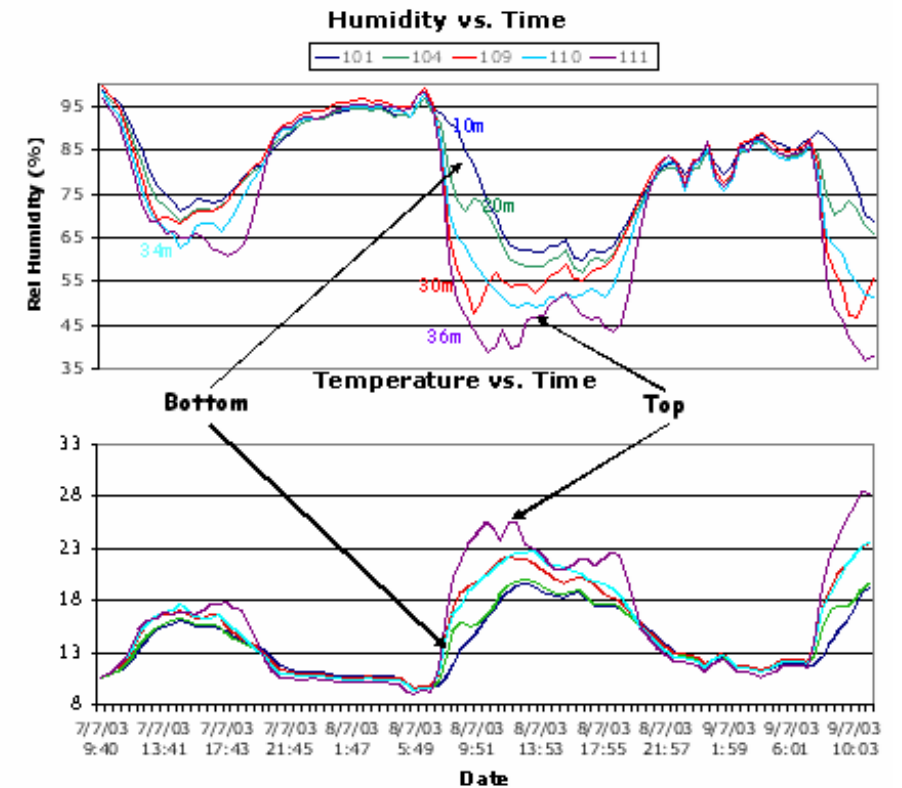
- Svaki čvor ima ograničenu količinu energije
- Nema obnavljanja energije, kad se zaliha iscrpi čvor prestaje s radom

Promatranje mikroklima

- Proučavanje mikroklimе u krošnjama stabala



2003, unpublished



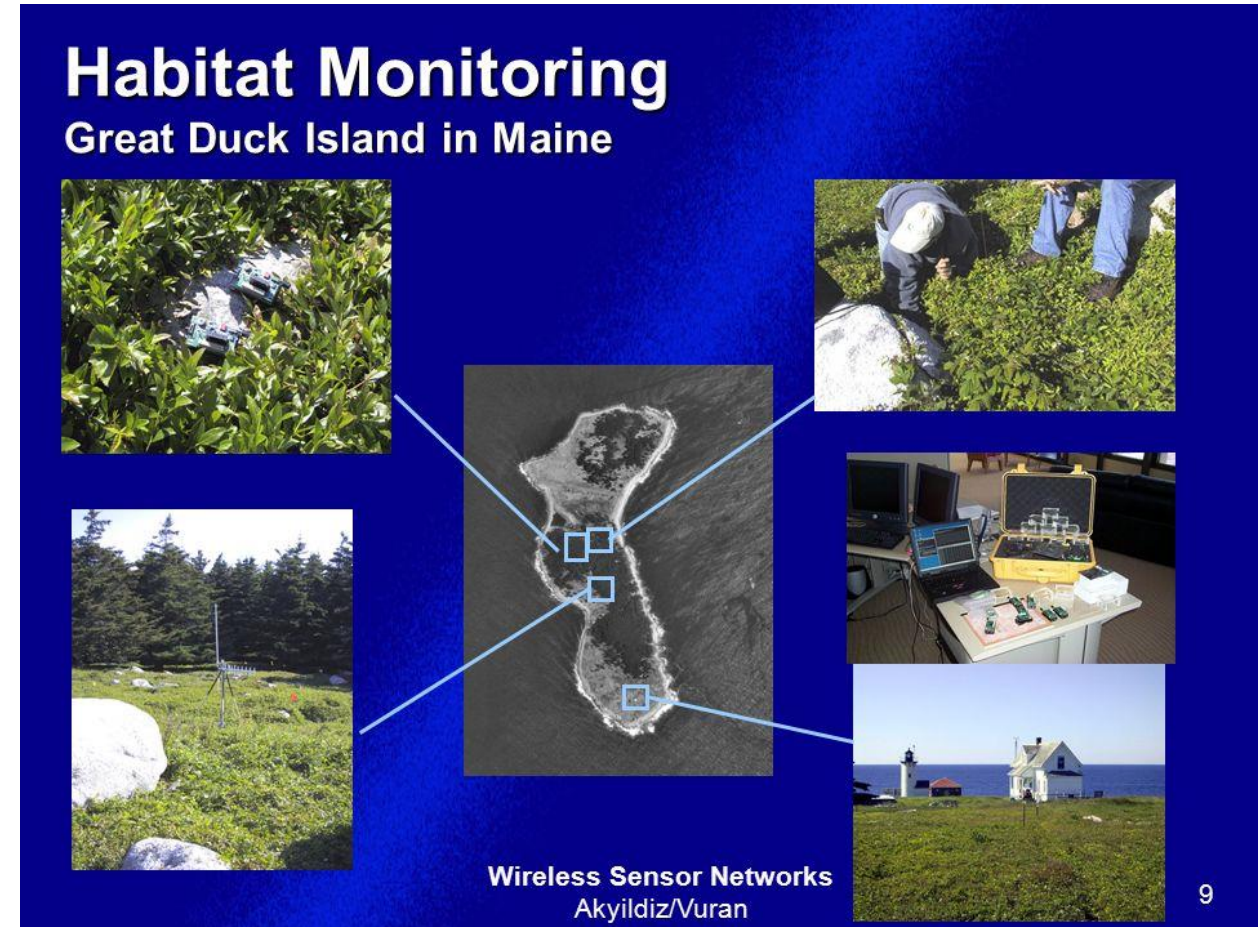
Promatranje staništa

- Problemi u promatranju životinja
 - nepristupačnost terena
 - utjecaj česte prisutnosti
- Primjeri korištenja WSN
 - ptice na nepristupačnim lokacijama (Great Duck Island)
 - divlje životinje u zaštićenim rezervatima



Habitat Monitoring

Great Duck Island in Maine



Wireless Sensor Networks
Akyildiz/Vuran

9

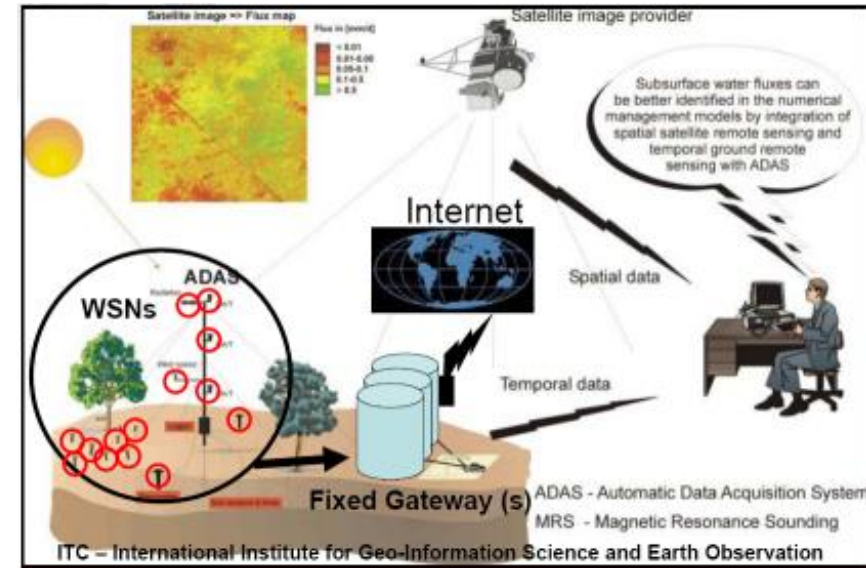
Pametna poljoprivreda

- Upravljanje navodnjavanjem
- Detekcija ili procjena pojave bolesti/nametnika
- Tretiranje tla/biljaka po potrebi (velike uštede na vodi, pesticidima, herbicidima ...)
- Praćenje mikroklima u poljima, nasadima, zatvorenim prostorima



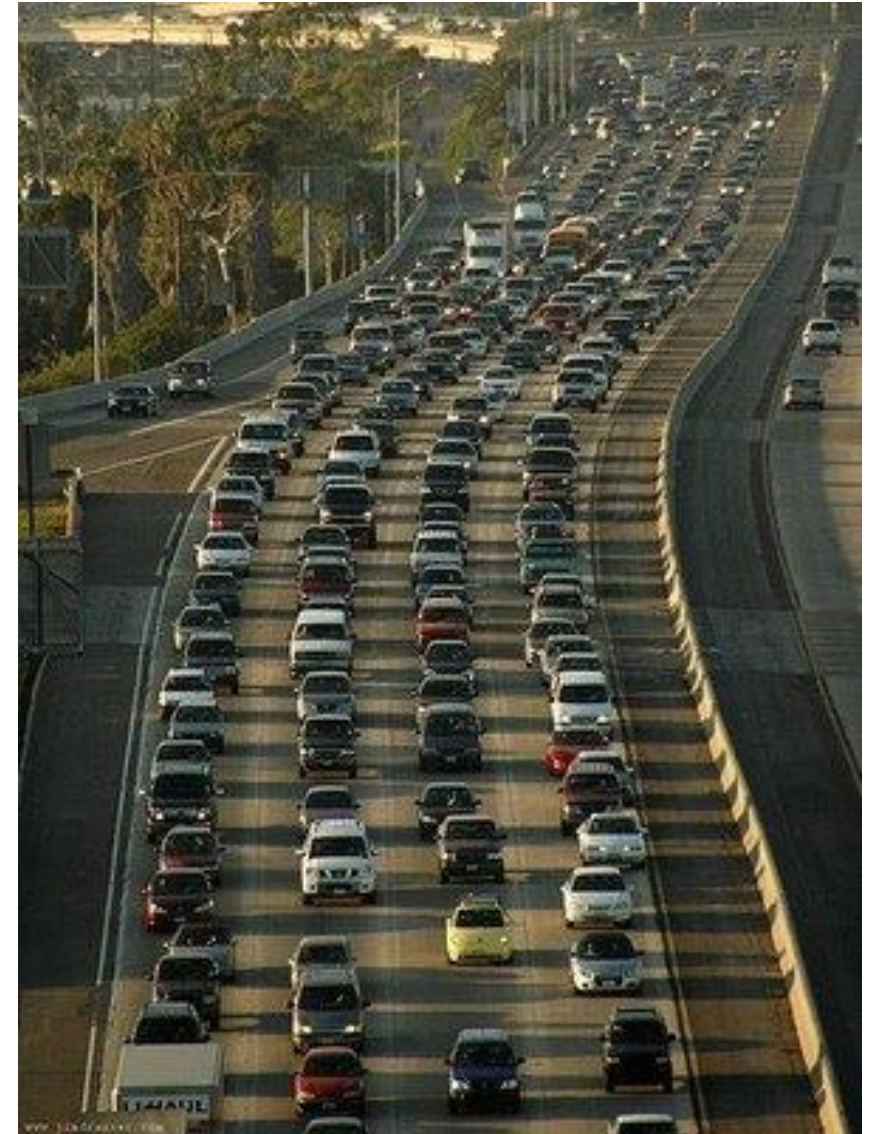
Promatranje pojava u prirodi

- Dinamika glečera
- Ponašanje vulkana
- Pojava algi
- Praćenje vodotokova
- Detekcija požara
- ...



Pametani promet

- Razmjena podataka
 - vozilo-prometnica
 - vozilo-vozilo
 - vozilo-vozač



Održavanje, proizvodnja, distribucija

- Praćenje strukturnih parametara i stanja objekata
- Održavanje na osnovu stanja (*eng. condition-based maintenance*)
- Praćenje proizvodnje i transporta dobara

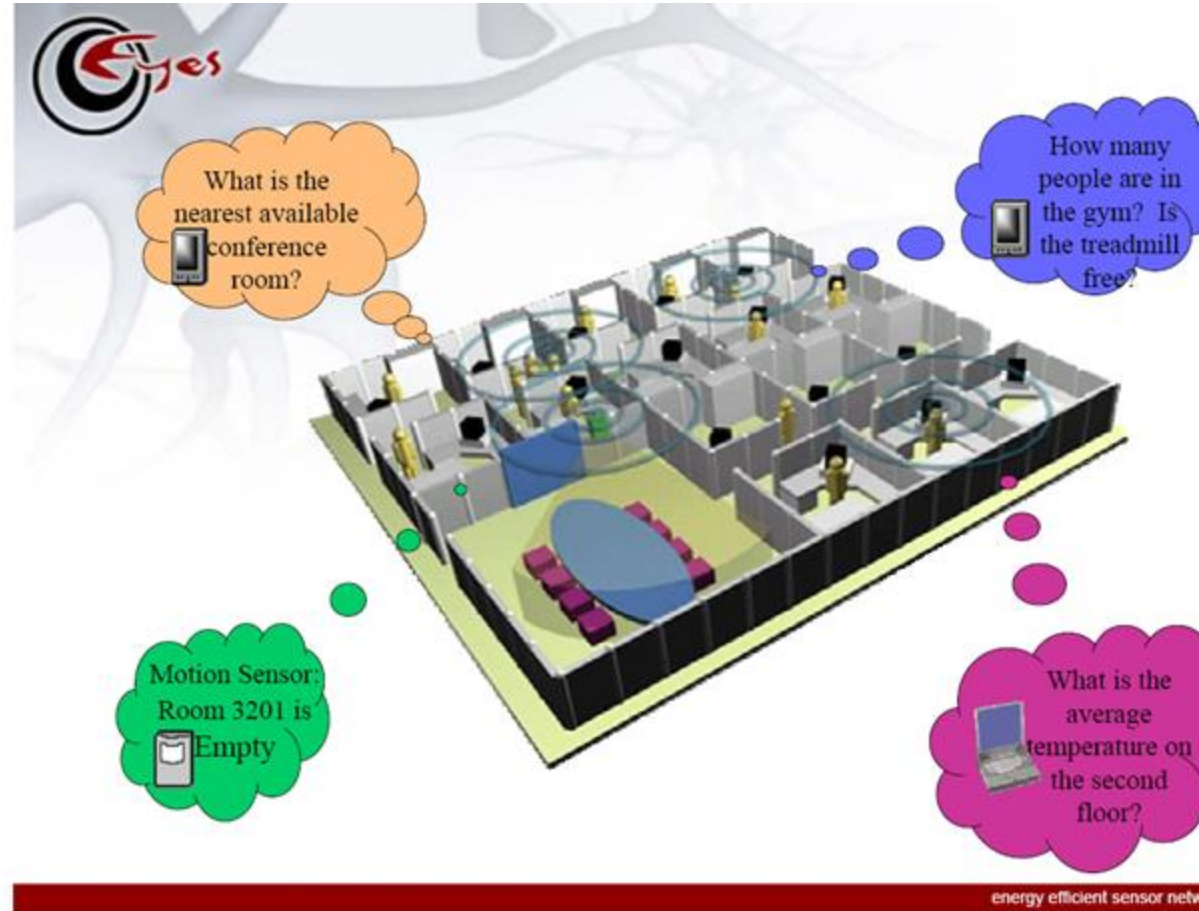


Sigurnost infrastrukture

- Brza detekcija i lokalizacija kvarova/diverzija (naftovodi, plinovodi, vodovodi)
- Detekcija neovlaštenog prisustva (granice, čuvani objekti)
- Projekt ExScal (2004.g.):
 - Trošak tornja s video nadzorom (domet kamera ~8km) otprilike \$100k (\$500 /km²)
 - Trošak pokrivanja terena mrežom osjetila ~\$160k/km², past će do ~\$10k/km²
 - Kamere ne mogu pokriti čitavo područje (ovise o konfiguraciji terena), traže fiksnu infrastrukturu, vrijeme za postavljanje ...



Pametni prostori



Izazovi pred WSN

- Osnovi cilj: što dulji životni vijek mreže
- Osnovna metoda: štednja energije
 - Na čvoru: građa i programska podrška
 - U mreži: kolaborativna priroda odnosa čvorova
- Mreža mora raditi nenadzirano
 - Velik broj čvorova, lokacija mreže, promjenljivi uvjeti unutar mreže i u okolini
- Potrebna svojstva mreže:
 - Samo-organizacija
 - Samo-cijeljenje
 - Prilagodljivost

Vrste čvorova

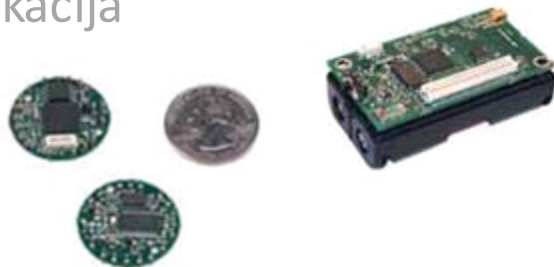
▪ Specijalizirani

- Jednostavna građa, specijalizirana uloga, SoC
- Građa određuje ulogu
- Male dimenzije ($\sim 1\text{mm}^3$), mala potrošnja, niska cijena
- Samo odašiljanje, kratak domet



▪ Opće namjene

- Modularna građa, univerzalni radio-modul i dodaci sa osjetilima
- Srednje veličine, srednja cijena
- Duplex komunikacija



▪ Snažni čvorovi

- Sličnih karakteristika kao čvorovi opće namjene
- Red veličine više resursa (i veća cijena) od čvorova opće namjene

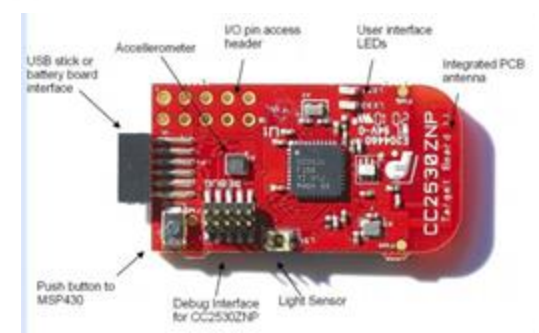
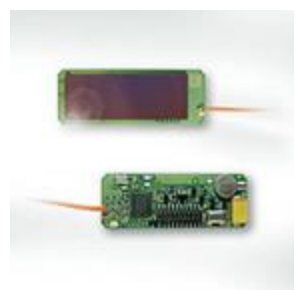


▪ Poveznici

- Priključeni na infrastrukturu
- Poveznici vanjskog svijeta i mreže osjetila

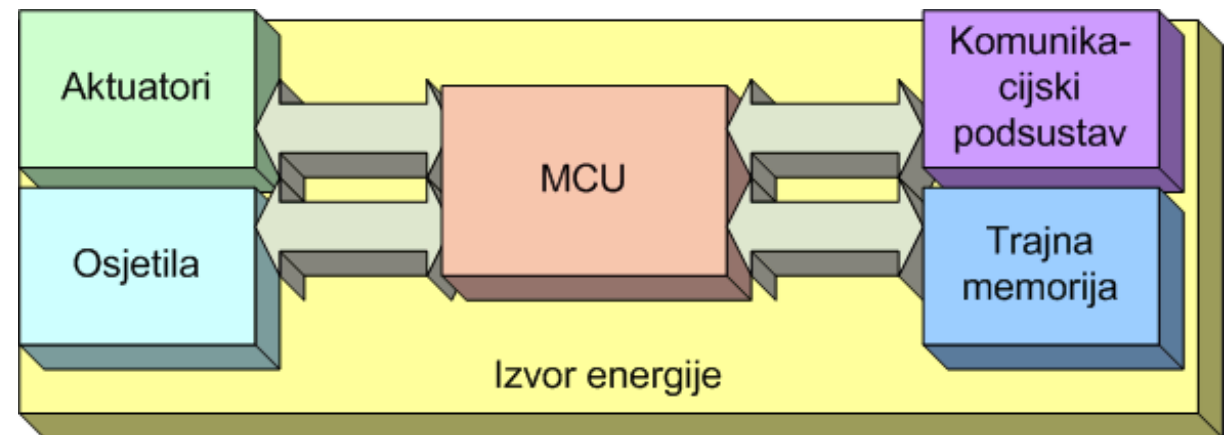


Čvorovi



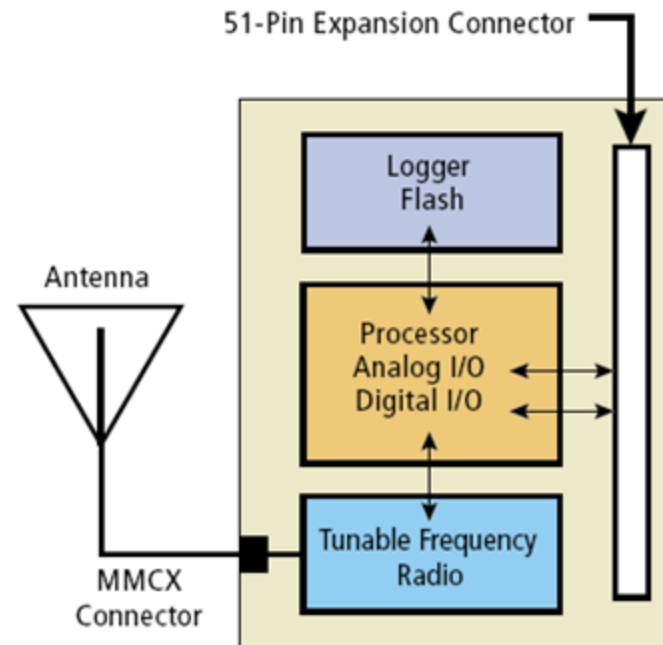
Model čvora WSN

- Kanonički model čvora sastoji se od:
 - CPU/MCU
 - Komunikacijskog podsustava
 - Osjetila (analognih ili digitalnih)
 - Aktuatora
 - Trajne memorije
 - Izvora energije



Grada Mica2 čvora

- ATmega 128L MCU
- 4 KB radne, 128KB programske memorije
- 2 AA baterije
- Dodatne pločice s osjetilima:
 - termometar, akcelerometar, magnetometar, svjetlomjer, mikrofon, zujalica, higrometar, ...



Processor/Radio Board	MPR400CB
Processor Performance	
Program Flash Memory	128K bytes
Measurement (Serial) Flash	512K bytes
Configuration EEPROM	4K bytes
Serial Communications	UART
Analog to Digital Converter	10 bit ADC
Other Interfaces	DIO,I2C,SPI
Current Draw	8 mA
	< 15 μ A
Multi-Channel Radio	
Center Frequency	868/916 MHz
Number of Channels	4/ 50
Data Rate	38.4 Kbaud
RF Power	-20 to +5 dBm
Receive Sensitivity	-98 dBm
Outdoor Range	500 ft
Current Draw	27 mA
	10 mA
	< 1 μ A
Electromechanical	
Battery	2X AA batteries
External Power	2.7 - 3.3 V
User Interface	3 LEDs
Size (in)	2.25 x 1.25 x 0.25
(mm)	58 x 32 x 7
Weight (oz)	0.7
(grams)	18
Expansion Connector	51-pin

Osnovne karakteristike čvorova

- **Količina raspoložive energije** ograničena (baterije) ili teško nadoknadiva (prikupljanje energije iz okoline)
- **Broj čvorova velik**, izravno održavanja čvora u pravilu nije moguće
- **Čvor sam za sebe** ne znači ništa
 - Niska cijena čvora
 - Visoka pouzdanost nije nužna (kolektiv nadoknađuje pojedinačne pogreške i kvarove)
 - Nužna suradnja sa susjednim čvorovima
 - Paradoks suradnje – "nužna, a štetna"
- Striktno upravljanje potrošnjom energije
- Samo-konfiguracija, adaptacija rada čvora

Podsustav za obradu podataka

- Karakteristike korištenog MCU/CPU

- Procjena kompleksnosti zadatka čvora
 - Preslab – dugo izvršavanje – veća ukupna potrošnja energije ili nemogućnost izvršenja zadatka u predviđenom vremenu
 - Prejak – prevelika potrošnja, kompleksnost popratnog sklopovlja, ...
- Načini rada procesora (*active ~mW, idle ~ μ W*) na 3-5 V

- Načešće korišteni MCU/CPU male potrošnje:

- *ATMEL ATmega* (8-bitni)
- 8051 (8-bitni)
- *TI MSP430* (16-bitni)
- ARM Cortex-M3 (32-bitni)
- Intel Atom (32-bitni)

Specifičnosti programske podrške

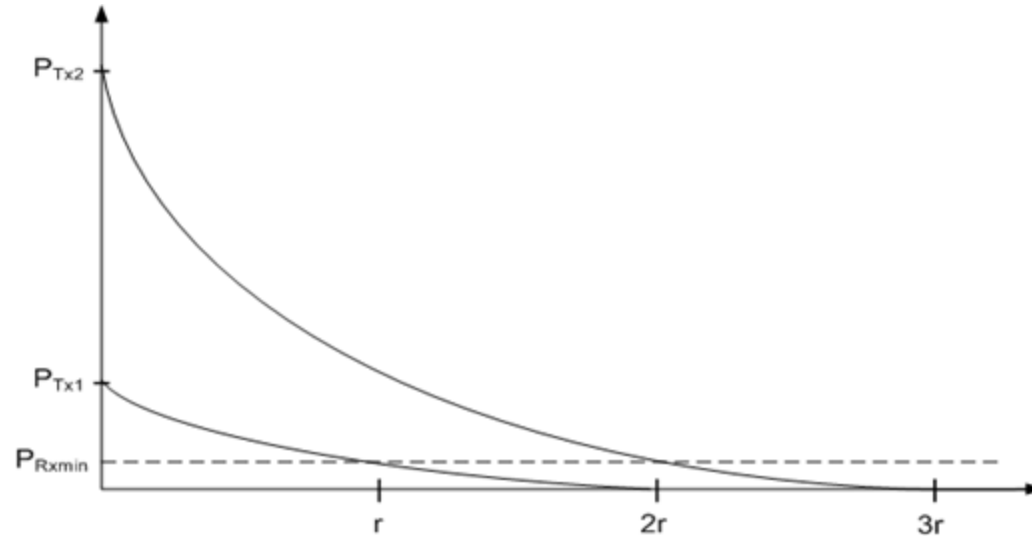
- Dva aspekta programske podrške ključna:
 - Ograničenost raspoloživih resursa
 - Potrošnja energije
- Programska podrška temeljena na paradigmi događaja (eng. event-based)
- Asimetričnost veličina programske i podatkovne memorije ($10^2:1$):
 - Veličina programskog kôda nije ograničavajući faktor
 - Algoritmi s minimalnom potrošnjom podatkovne memorije, ponovno korištenje istih područja
 - Statička alokacija memorije, nema dinamičke alokacije

Specifičnosti programske podrške

- Pasivno čekanje na događaj
 - MCU u sleep modu rada kad god je to moguće
 - Vanjske jedinice dižu prekide, bude MCU iz stanja spavanja, obavlja se obrada, MCU se vraća u sleep mod
- Vremenski okidači za (a)periodičke poslove
- Izvođenje algoritma ima svoju cijenu u energiji
 - veća kompleksnost = više energije
 - veća točnost = više energije
 - primjer: floating point (emulacija) – fixed point aritmetika u računanju Fourierove transformacije signala na Mica2 (30s:0,5s)

Komunikacijski podsustav (I)

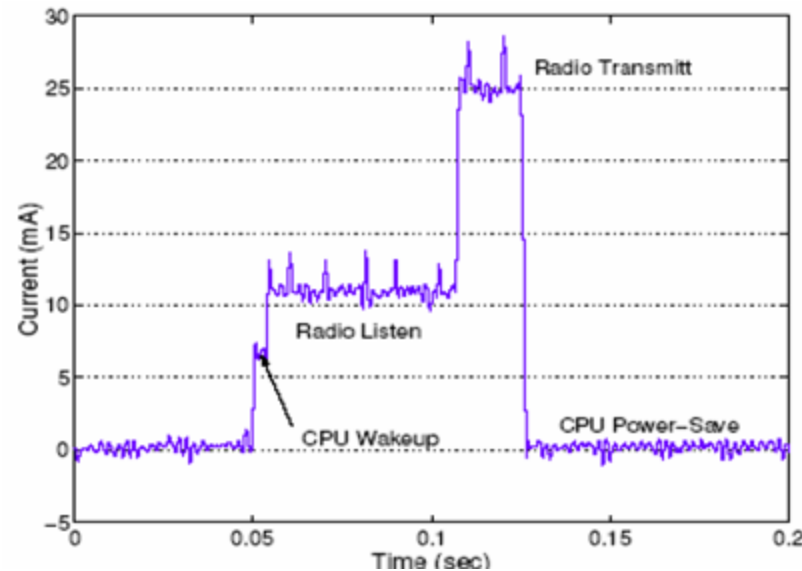
- Energija potrebna za prijenos jednog bita podataka na udaljenost r : r^2 do r^4



- Radio male snage osjetljiv na smetnje, zapreke, blizinu tla, atmosferske prilike, kretanje ...
- Omjer energije potrebne za obradu ili prenošenje jednog bita: **1:1000 !!!**

Komunikacijski podsustav (II)

- Strategija:
 - Što više obrade za što manje prijenosa
 - Komunikacija na što manju udaljenost, korištenje više skokova (eng. multi-hop) za prijenos na veće udaljenosti
- Potrošnja radio podsustava čvora Mica2 (Chipcon CC1000 38.4kbps)



- Dodatna energija i vrijeme za promjenu moda rada!

Osjetila

- Vrste osjetila:
 - Digitalna – spojena na vanjske sabirnice MCU (I2C, SPI, UART ...)
 - Analogna – spojena na AD pretvornik MCU ili dodatni AD pretvornik
- Sva osjetila mogu biti **uključena/isključena programski**
- Odabir osjetila prema:
 - Energiji potrebnoj za obavljanje mjerenja
 - Razlučivosti nužnoj za željenu primjenu

Primjeri osjetila



- MTS310 pločica s osjetilima:
 - Akcelerometar (2 osi) $\sim 600\mu\text{A}$
 - Magnetometar (2 osi) $\sim 5\text{mA}$
 - Termometar
 - Svjetlomjer
 - Mikrofon $\sim 4.7\text{mA}$
 - Zujalica $\sim 2\text{mA}$

Trajna memorija

- Uloga u čuvanju mjerenih podataka
 - Daleko veći kapacitet od podatkovne memorije MCU-a
 - Oslobađanje prostora u podatkovnoj memoriji
 - Sačuvani i ako čvor ostane bez energije
- Nedostaci:
 - Veća potrošnja energije kod pisanja i čitanja.
 - Sporije pisanje i čitanje od SRAM-a (nepogodno za npr. pohranu rezultata visokofrekvencijskog uzorkovanja)
 - Blokovski način rada s podacima
- Mica2 EEPROM
 - *čitanje*: 6.2 mA, 565μs, *pisanje*: 18.4 mA, 12.9 ms, veličina bloka 16 okteta

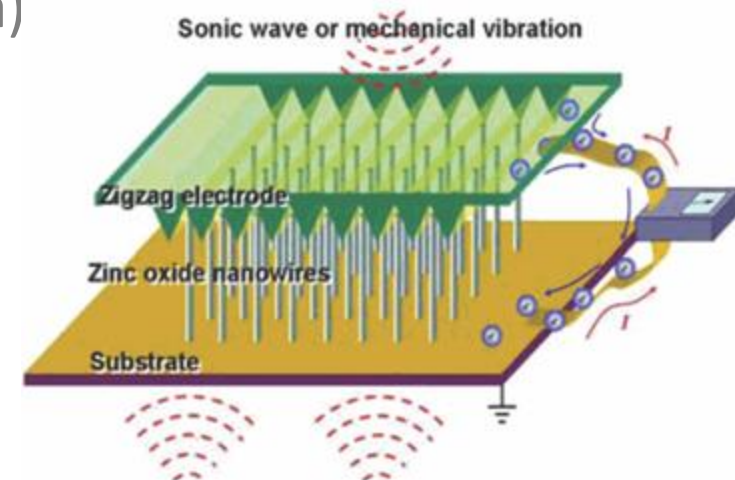
Izvori energije (I)

- Najsporije razvijani aspekt WSN
 - Gustoća pakiranja energije još uvijek nedovoljna
- Izvori energije za rad čvora:
 - Neobnovljivi izvori
 - Prikupljanje energije iz okoline (*eng. energy harvesting*)
- Primjeri neobnovljivih izvora:
 - baterije, akumulatori, gorive ćelije ...
- Karakteristike izvora
 - Modeliranje karakteristika za upravljanje potrošnjom
 - Maksimalna snaga
 - Preostali kapacitet (uz određeni obrazac potrošnje)
 - Oporavak (pogodniji kraći intervali veće potrošnje uz dulje vrijeme oporavka uz minimalnu potrošnju)



Izvori energije (II)

- Raspoloživost informacija o izvoru energije na razini aplikacijskog koda
 - donošenje "energetski-svjesnih" odluka unutar aplikacije
- Posebni čvorovi temeljeni na prikupljanju energije
 - Vršna potrošnja čvora do $100\text{ }\mu\text{W}$
 - solarne ćelije, mikro-generatori (protok zraka, tekućine ...), temperaturni gradijent (iskorištavanje disipacije topline tijela ili objekta), vibracije (vibracija stepeništa) itd.



Scenariji korišćenja sustava

1. Postavljanje mreže osjetila

- Ad-hoc – bez planiranja, npr. izbacivanje iz UAV
- Determinističko – planirano, npr. promatranje mosta

2. Pokretanje sustava

- Aktiviranje čvorova, samo-dijagnostika, podešenja

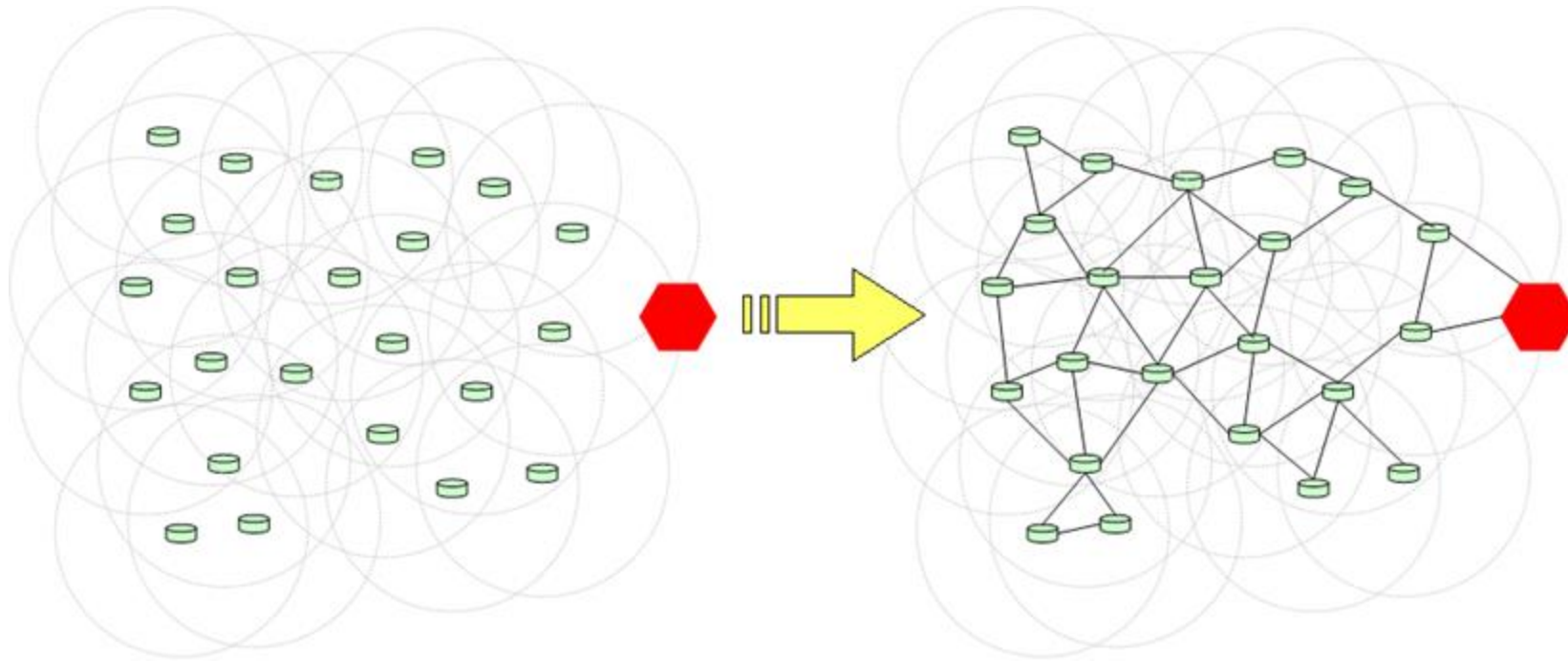
3. Samo-organizacija

- Uspostava komunikacije s okolnim čvorovima, formiranje logčke kom. mreže, sinkronizacija satova, lokalizacija čvorova, podjela poslova ...

4. Diseminacija i adaptacija

- Koordinacija rada, kooperativno prikupljanje, obrada i diseminacija informacija o promatranim pojavama
- Prilagodba mreže unutarnjim i vanjskim čimbenicima

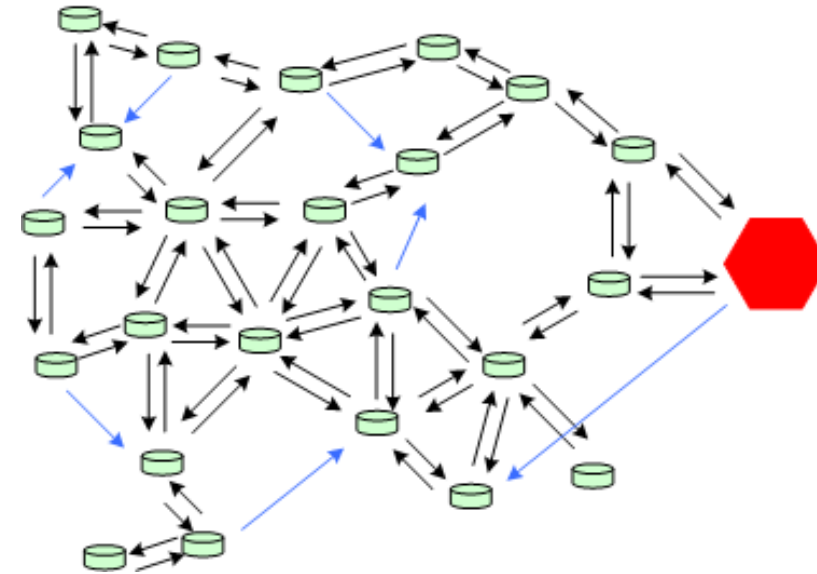
Topologija komunikacijske mreže



- Graf povezanosti određuje moguće dvosmjerne komunikacijske kanale između čvorova mreže (idealni slučaj)
- Graf je temelj samo-organizacije mreže osjetila

Statički problemi povezanosti

- Različitosti radio podsustava, kvarovi tijekom rada čvora
- Zapreke širenju radio signala u okolišu mreže osjetila
- Posljedice:
 - Nepostojanje očekivanih veza
 - Asimetrične kom. veze
 - Pojava neočekivanih veza (većinom asimetričnih!)



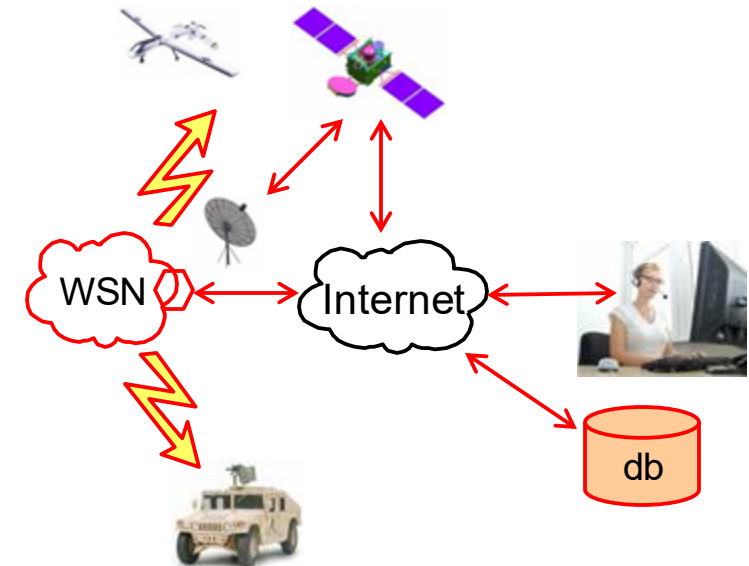
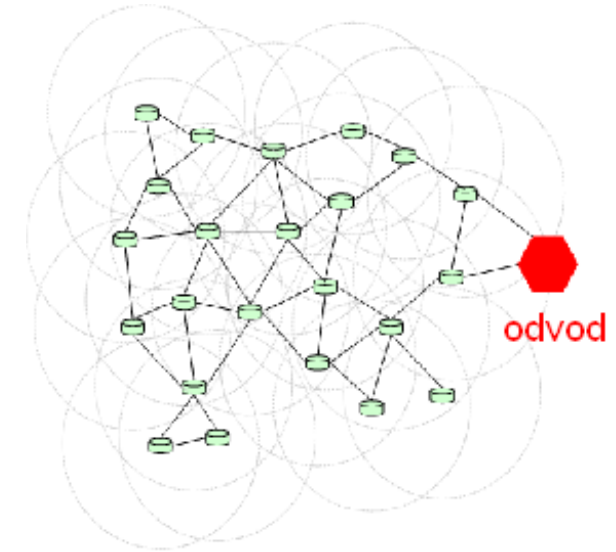
$A \rightarrow B$ ne povlači za sobom $B \rightarrow A$!!!

Dinamički problemi povezanosti

- Iste posljedice kao i kod statičkih problema
- Uzroci:
 - Gibanje čvorova
 - Atmosferske prilike
 - Iscrpljivanje energije čvorova
 - Dinamičke zapreke unutar mreže osjetila
 - ...

Povezanost s korisnicima podataka

- Tipična organizacija mreže:
 - Čvorovi mreže
 - Odvod (*eng. sink*) – poveznica između mreže i "vanjskog svijeta", jedan ili više odvoda u mreži
- Uloga odvoda čvoru većih resursa
 - Veća raspoloživa energija i snaga (akumulator ili stalno napajanje)
 - Kom. sredstva dugog dometa ili trajna povezanost (satelitska veza, radio dugog dometa, ethernet ...)
- Podaci prikupljeni od fiksnih ili pokretnih korisnika/posrednika



Tokovi podataka u mreži

- Čvorovi mreže → odvod (*eng. event-to-sink*)
 - Podaci o promatranoj pojavi
 - Podaci o stanju mreže
- Odvod → čvorovi mreže (*eng. sink-to-sensor*)
 - Naredbe za upravljanje mrežom
 - Programski kôd
- Između čvorova mreže
 - Koordinacija rada čvorova

Pouzdanost komunikacije (I)

- "Tradicionalni" pristup pouzdanosti prijenosa (TCP) je pouzdanost "od točke do točke"
 - Primatelj detektira gubitak paketa
 - šalje zahtjev za retransmisijom
 - Pošiljatelj prima zahtjev za retransmisijom
 - ponovno šalje izgubljene pakete
- Ovakav pristup u bežičnim mrežama osjetila energentski vrlo neučinkovit
 - Velik broj čvorova troši energiju na prenošenje poruka
 - Potrebno iskorištavanje specifičnosti mreža osjetila i lokaliziranih mehanizama retransmisije

Pouzdanost komunikacije (II)

- Prenošnje podataka iz mreže (*eng. event-to-sink*):
 - Korištenje prostorno-vremenske koreliranosti opažanja
 - Pouzdanost prijenosa podataka o događaju određena s pouzdanošću prepoznavanja događaja
 - Pouzdanost prijenosa pojedinog paketa nebitna:
 - ukoliko je dovoljno paketa susjednih čvorova doprlo do odljeva, rekonstruirana informacija o događaju bit će dostatne kvalitete
 - Detekcija događaja uzrokuje istovremeno slanje velikog broja paketa, što uzrokuje zagušenje, gubitak paketa, i energije, kašnjenje dojave, nižu kvalitetu informacija o događaju ... MANJE JE VIŠE

Pouzdanost komunikacije (III)

- Pouzdanost prijenosa podataka do čvorova (*eng. sink-to-sensor*):
 - Prenošnje naredaba, novih inačica programskog kôda itd.
 - Pouzdanost na razini paketa bitna!
 - Korištenje "negativnih" potvrda prijama paketa
 - Odvod, ako je priključen na stalni izvor energije, može koristiti daleko veću snagu odašiljanja radija
 - U povratnom putu moguća *single-hop* komunikacija !
 - Primjer: Pump Slowly Fetch Quickly protokol
 - Odvod laganim ritmom injektira "kapsule" s fragmentima koda
 - Kapsule se šire metodom plavljenja mreže, čvorovi posjeduju priručnu memoriju i pamte nekoliko zadnjih kapsula
 - Ako čvor detektira da je propustio kapsulu, šalje susjednim čvorovima zahtjev za retransmisiju

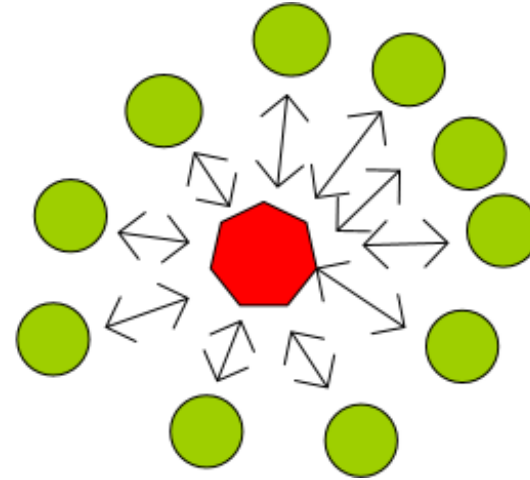
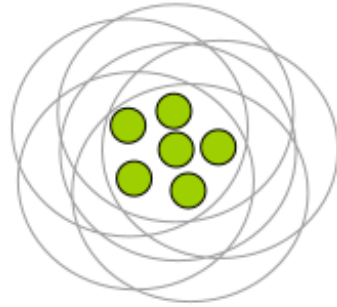
Usmjeravanje poruka

- "Tradicionalan" pristup - tablice usmjeravanja
 - Zapisi: ciljna adresa – adresa prosljeđivanja
 - Problematičan u mrežama osjetila zbog:
 - Velikog broja čvorova (kako prikupiti podatke o čitavoj mreži?)
 - Ograničene radne memorije čvora (pohrana velikih tablica?)
 - Mogućeg nepostojanja jedinstvenih identifikatora čvorova
- Priroda komunikacije u mreži osjetila:
 - Prevelik broj čvorova za izravno prozivanje
 - Potrošači informacija većinom zainteresirani za fenomen, ne za čvorove koji ga prate
 - Fenomen se može kretati po području pokrivanja mreže
- Sve odluke o usmjeravanju temelje se isključivo na lokalno dostupnim podacima

Mreže bez usmjeravanja

- Mreža jednog skoka (*eng. single-hop*)

- Čvorovi međusobno unutar komunikacijskog dosega ili
- Čvorovi čine jedan grozd – vođa ima izravnu komunikaciju sa svim članovima grozda



- Nepostojeća infrastruktura usmjeravanja

- Paketi se šire *broadcast*-om, u svim smjerovima – plavljenje mreže porukom

Plavljenje

- Plavljenje (*eng. flooding*) se koristi:
 - Za slanje podataka čvoru ili grupi čvorova u multi-hop mreži bez izgrađene infrastrukture usmjeravanja
 - Za slanje podataka svim čvorovima u mreži
- Karakteristike
 - Velika potrošnja energije na razini čitave mreže – svaki čvor šalje paket bez obzira na korisnost tog slanja
 - Nema garancije prijenosa, vjerojatnost primitka velika zbog retransmisije paketa od strane svih susjeda čvora
- Algoritam čvora:

Primi poruku

Ako se ne nalazi u međuspremniku poruka:

Pohrani poruku u međuspremnik

Emitiraj poruku (broadcast)

Plošno usmjeravanje

- Plošno (eng. flat) usmjeravanje se koristi u multi-hop mrežama
- Podgraf grafa povezanosti
 - Postoji put između bilo koja dva čvora
 - Usmjerene ili neusmjerene veze
- Simetrična ili asimetrična infrastruktura
 - Bilo koja dva čvora mogu komunicirati
 - Komunikacija čvor - odljev
- Svi čvorovi ravnopravni u izgradnji infrastrukture
- Adaptacija infrastrukture promjenama u grafu povezanosti ili obrascu korištenja

Gradijentno polje (plošno usmjeravanje)

- Aciklički usmjereni graf
 - Stvara se tijekom faze samo-organizacije mreže (modificirana metoda plavljenja mreže)
 - Svaki odljev inicira stvaranje svog gradijentnog polja
- Primjer plošnog usmjeravanja
- Razina čvora proporcionalna broju skokova poruke do čvora
 - Poruke se "spuštaju" po polju
 - U praksi problematično zbog asimetričnih veza (crne rupe)
 - Dupliciranja poruka – robusnost prijenosa bliskim putovima

Stablasta organizacija (plošno usmjeravanje)

- Organizacija razgranatog stabla (eng. spanning tree)
- Svaki čvor ima čvor roditelj kojem prosljeđuje poruke
 - Lokalne tablice usmjeravanja
- Stvaranje stabla usmjeravanja
 - Tijekom faze samo-organizacije
 - Prilagodba u fazi diseminacije
- Kriteriji odabira čvora roditelja
 - Blizina čvoru odljevu (brzina dostave podataka)
 - Količina preostale energije (dugovječnost mreže)
 - Kvaliteta veze (dugovječnost ili pouzdanost)
 - ...

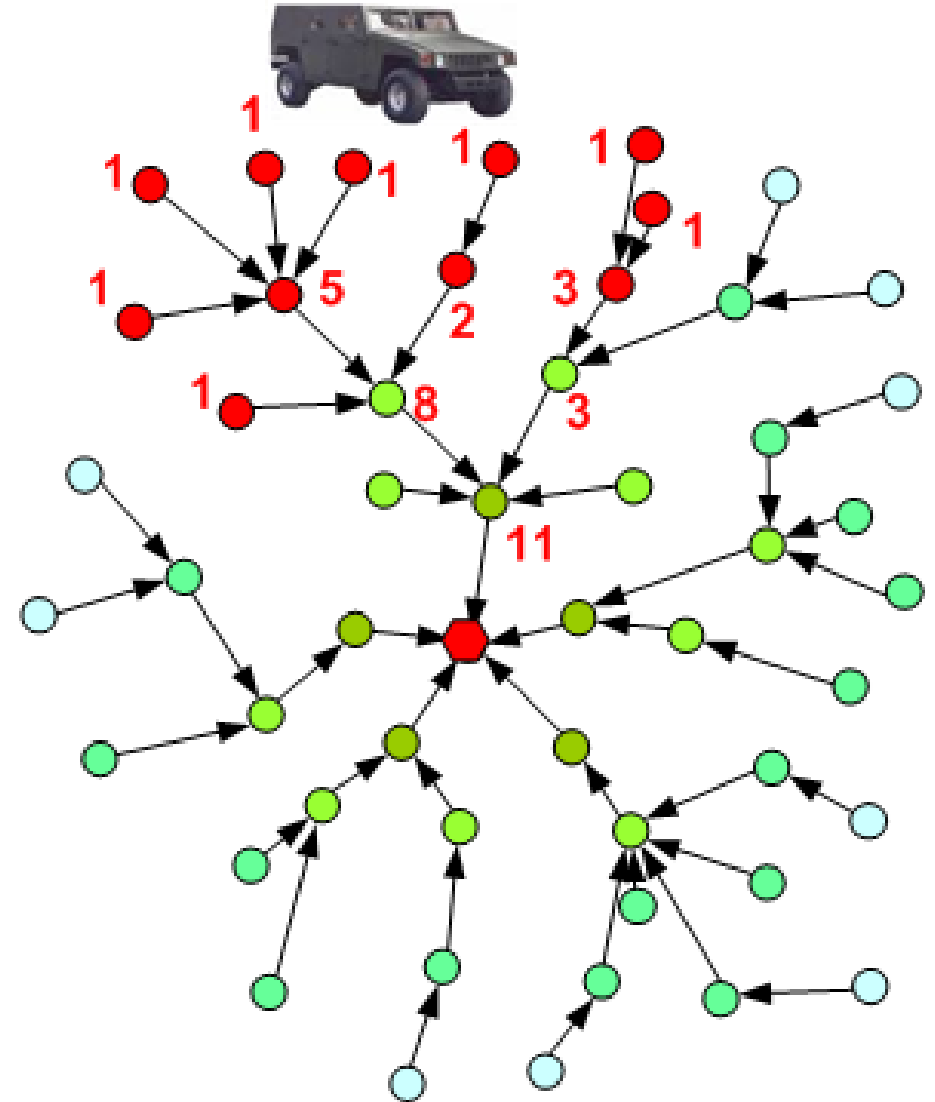
"Alternativne" metode usmjeravanja

- Nepostojanje stabilne strukture mreže
 - Pokretni čvorovi "skupljači podataka" (*eng. data mules*)



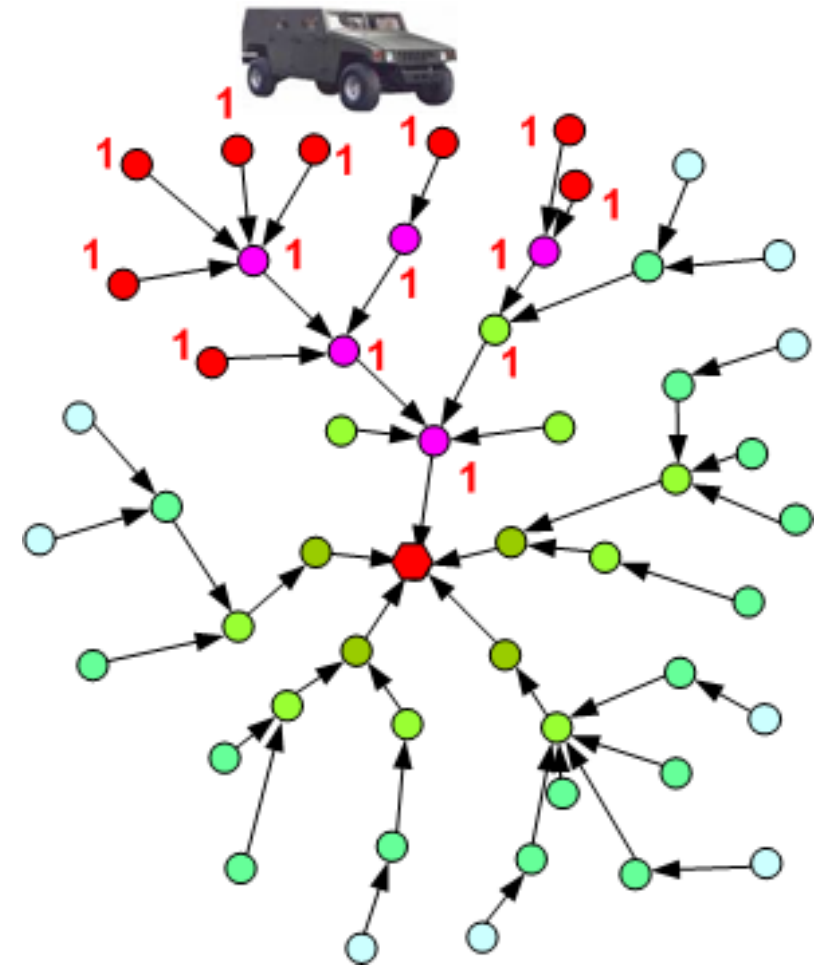
Obrada podataka u mreži

- Prikupljanje sirovih podataka sa svih čvorova i obrada van mreže energetske neučinkovita
 - Cilj: smanjiti količinu prenošenih podataka uz podnošljivi gubitak njihove kvalitete
 - Način: obradom podataka unutar mreže (*eng. in-network-processing*)
- Tipični problemi:
 - Količina mjerenjem prikupljenih podataka velika
 - Nemoguće prenijeti do odljeva u traženom vremenu, zagušenje mreže, gubitak paketa ...
 - Ubrzano trošenje energije čvorova bliže odljevu



Agregacija podataka

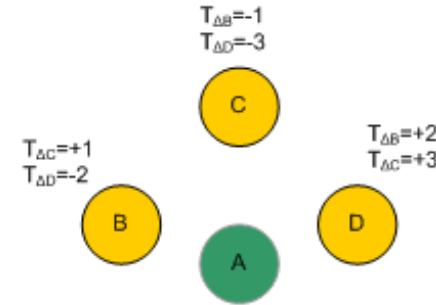
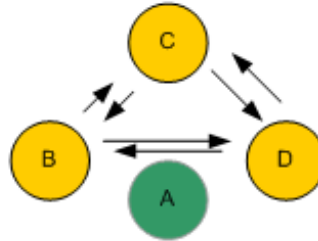
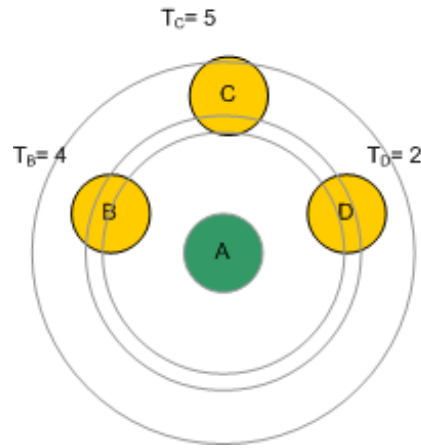
- Prikupljeni podaci prostorno i vremenski korelirani
 - Moguć visok stupanj redukcije količine prikupljenih podataka
 - Unosi kašnjenje u isporuku podataka
- Podaci se agregiraju tijekom puta
 - Moraju postojati dijeljeni segmenti puta od čvorova prema odljevu
 - Mreže s infrastrukturom usmjeravanja
 - Hijerarhijska struktura (agregacija na vođama grozdova)
 - Stablasta struktura, usmjerena difuzija (agregacija uzduž puta do odljeva)



Sinkronizacija satova čvorova

- Usklađenost satova bitna zbog:
 - Usklađivanja planova/akcija čvorova
 - Obrade mjerenih podataka
- Nemoguće uskladiti satove svih čvorova u mreži
 - Zahtijevalo bi prevelik mrežni promet
 - Nesavršenost satova čvorova – potreba za konstantnim periodičkim usklađivanjem
- Koriste se lokalizirane metode usklađivanja ili bilježenja razlike u satovima

Relativne razlike u vremenima

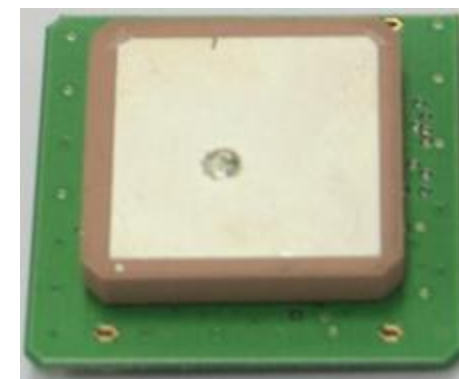


- Bilježenje razlike u lokalnim vremenima čvorova

- Čvor A šalje paket svim čvorovima u okolini (predstavlja događaj od zajedničkog interesa)
- Čvorovi B, C i D primaju paket i bilježe lokalno vrijeme (podrazumijeva se da su paket primili istovremeno)
- Čvorovi B, C i D razmjenjuju podatke o vremenu detekcije događaja (prijema paketa) i računaju razlike u lokalnim vremenima

Lokalizacija čvorova

- Lokacija čvorova bitna zbog:
 - Određivanja konteksta prikupljenih podataka
 - Korištenja usmjeravanja temeljenog na lokaciji
- Korištenje GPS-a
 - Zahtijeva puno energije
 - Potreban samo tijekom faze samo-organizacije
 - Ne radi u zatvorenom/natkrivenom području
 - Koristi se na rijetkim čvorovima, kao lokacijska "sidra" (3 čvora s GPS-om u čitavoj mreži)

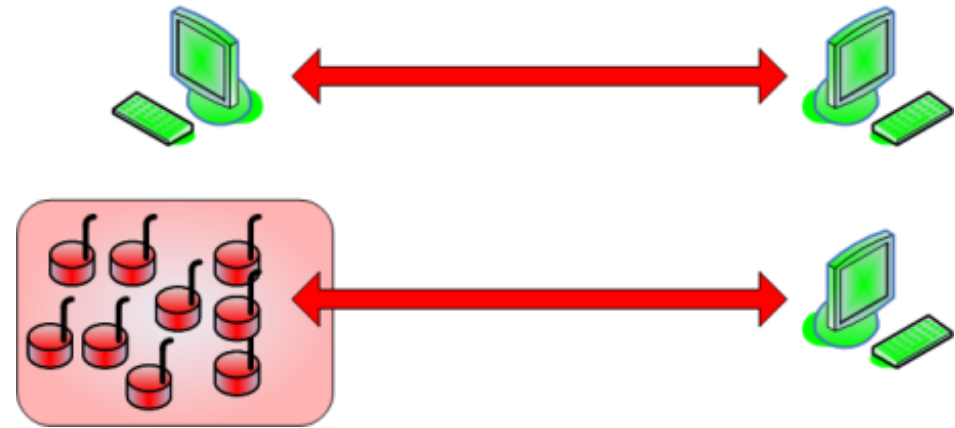


Metode lokalizacije čvorova

- Metode temeljene na apsolutnoj udaljenosti
 - Procjena udaljenosti dva čvora na osnovu mjerenja vremena putovanja signala (temelji se na razlici brzina radio signala i zvuka ili ultrazvuka)
 - Procjena na temelju jačine radio signala (iBeacon)
- Metode temeljene na relativnoj udaljenosti
 - Grube procjene udaljenosti na npr. broju skokova poruke između dva čvora

Sigurnost u mrežama osjetila (I)

- Razlike u sigurnosnoj problematici:
 - U klasičnom modelu nesiguran samo komunikacijski kanal
 - Kod mreža osjetila nesigurna osjetila, njihova okolina i komunikacijski kanal
- Štićenje povjerljivosti, integriteta i dostupnosti komunikacije i obrade podataka



Sigurnost u mrežama osjetila (II)

- Čvorovi mreže u nesigurnoj okolini:
 - Mogu postati meta "fizičkog" napada – ključevi pohranjeni u čvoru nisu sigurni
 - Da li jedna šibica čini šumski požar?
 - Da li čvor stvarno pripada originalnoj mreži?
- Cijena sigurnosti:
 - Manji kapacitet poruka, veća potrošnja energije
 - Šifriranje "s kraja na kraj" onemogućava agregaciju
 - Šifriranje "od čvora do čvora" troši energiju i vrijeme