

# Bežične senzorske mreže

**Visoka Tehnička škola strukovnih studija – Niš**  
**Master studije**

**Profesor: dr Mirko R. Kosanović**  
**[mirko.kosanovic@vtsnis.edu.rs](mailto:mirko.kosanovic@vtsnis.edu.rs)**

**ESPB bodovi: 7**

**Semestar: II**

**Fond časova: 3+0+2**

# LITERATURA

- **Ian F. Akyildiz, Mehmet Can Vuran, Wireless Sensor Networks, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication, 2010**
- **W.Dargie, C.Poellabauer, Fundamentals of Wireless Sensor Networks – Theory and Practice, John Wiley & Sons, 2010**
- **Anna Hać, Wireless Sensor Network Designs, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication, 2003**
- **Mirko Kosanović, Skripta sa predavanja u elektronskom obliku i PowerPoint prezentacije**

# Bežične senzorske mreže

## Polaganje ispita:

### ➤ Predispitne obaveze:

- ✓ Laboratorijske vežbe - **obavezne** 5 - 15
- ✓ Predavanja 0 - 5
- ✓ I kolokvijum (-25) - 25
- ✓ II kolokvijum (-25) - 25

Ukupno 0-70 poena, **minimum 30** za izlazak na ispit

- Ispit 0 - 30

# Bežične senzorske mreže

## Ocene:

<b>51 - 60</b>	<b>:</b>	<b>6 (šest)</b>
<b>61 - 70</b>	<b>:</b>	<b>7 (sedam)</b>
<b>71 - 80</b>	<b>:</b>	<b>8 (osam)</b>
<b>81 - 90</b>	<b>:</b>	<b>9 (devet)</b>
<b>91 - 100</b>	<b>:</b>	<b>10 (deset)</b>

# Bežične senzorske mreže

## Sadržaj predmeta

1. Uvod u BSM i njihovi preduslovi za nastanak. Faktori koji utiču na dizajn BSM. Primeri primene BSM
2. Prikupljanje podataka i senzori. Osobine bežične komunikacije i podela bežičnih računarskih mreža
3. Karakteristike Bežičnih senzorskih mreža, OSI model, Optimizacioni ciljevi projektovanja
4. Fizički sloj, kodiranje kanala, modulacije i topologije BSM
5. Arhitektura senzorskog čvora: senzorska, procesorska, komunikaciona komponenta i napajanje
6. Upravljanje potrošnjom el.energije, alternativni izvori napajanja uzeti iz prirode (*energy harvesting*)

## 7. Prvi kolokvijum

# Bežične senzorske mreže

## Sadržaj predmeta

8. Sloj podataka: MAC protokoli zasnovani na nadmetanju i vremenskom rasporedu, Error kontrola
9. Mrežni sloj – adresiranje, protokoli rutiranja, plavljenje i gosiping, hierahijski protokoli, QoS protokoli
10. Transportni sloj – protokoli RMST, PSFQ, CODA, ESRT
11. Aplikacioni sloj , operativni sistemi, programiranje bežičnih senzorskih mreža, programski jezici (nesC).
12. Vremenska sinhronizacija, Lokalizacioni servisi, tehnike za direktnu i indirektnu lokalizaciju
13. Cross-layer rešenja, Sigurnost BSM
14. Multimedijalne bežične senzorske mreže, Internet of things

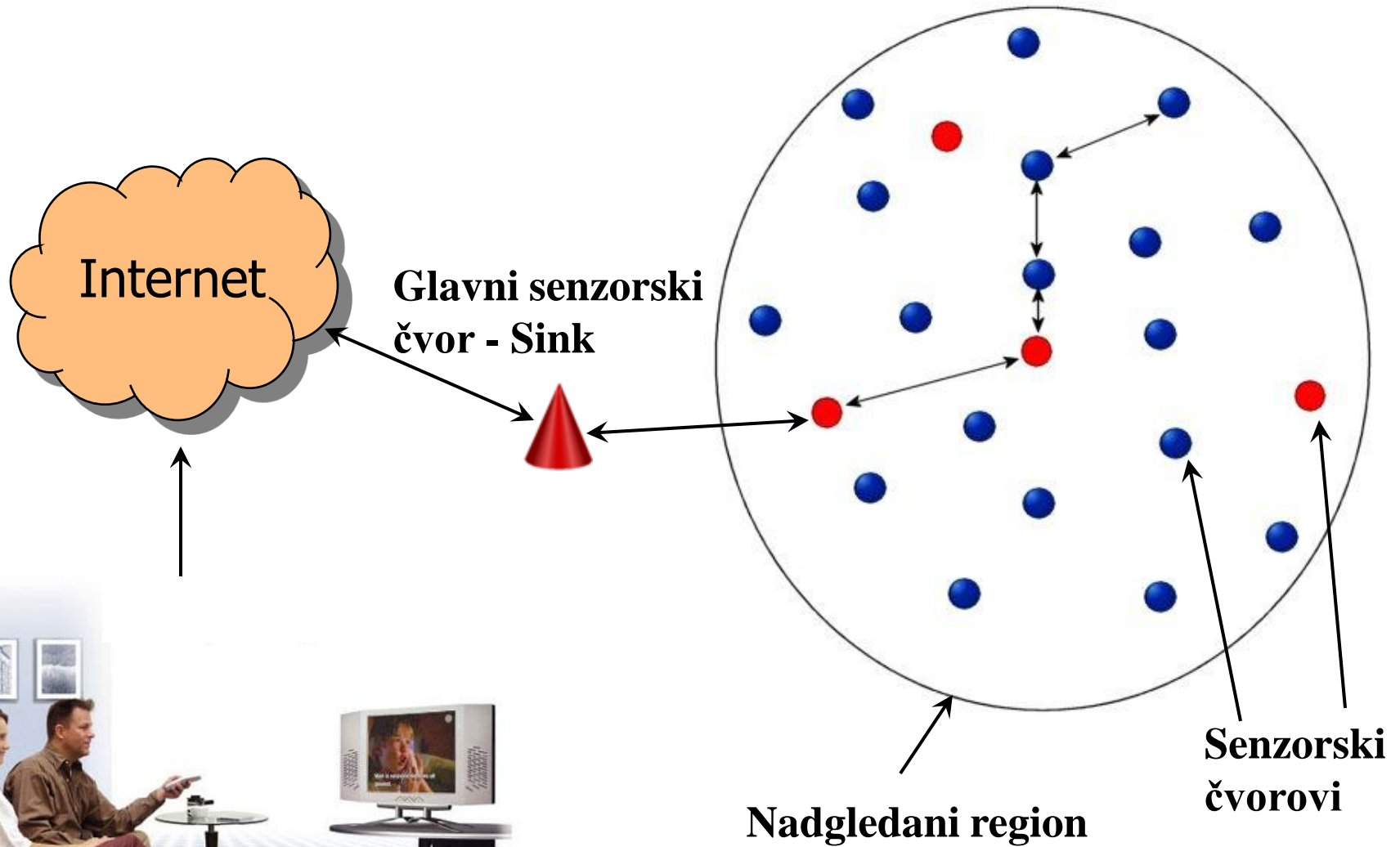
## 15. Drugi kolokvijum

# I-Osnovni preduslovi nastanka BSM

- Povećani zahtevi u pogledu informacija
- Veliki razvoj mikro elektro-mehaničkih sistema (*Micro Electro-Mechanical Systems* – MEMS)
- Veliki napredak senzorskih tehnologije
- Ubrzani razvoj bežičnih komunikacionih tehnologija
- Smanjivanje gabarita i cene a povećanje računarske snage u SČ (memorija, CPU)
- Jednostavna primena i održavanje
- Velike mogućnosti u rešavanju problema

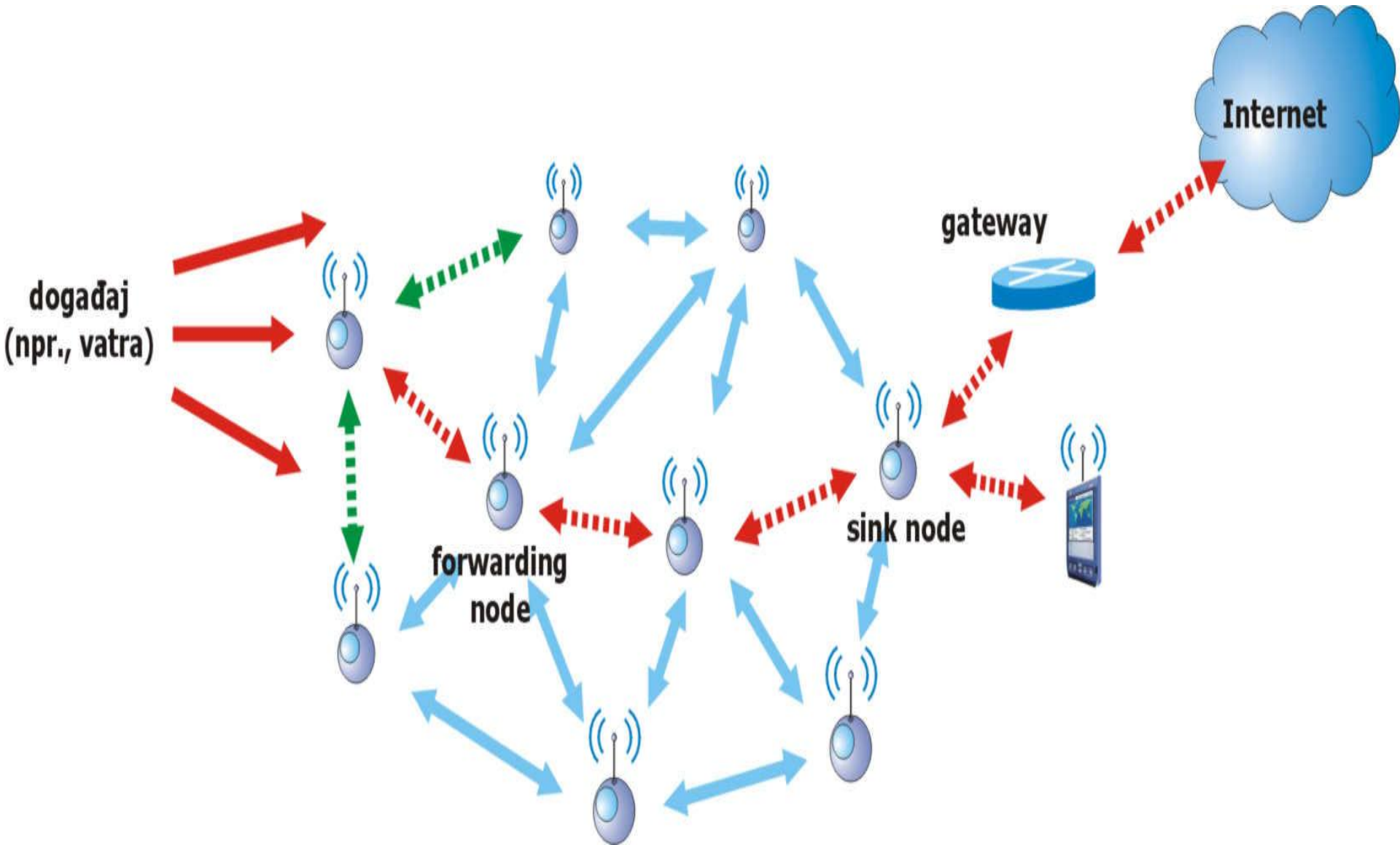
**Jedna od 10 tehnologija koja će bitno uticati i menjati svet u 21 veku**

# I - Komunikaciona arhitektura BSM





# I - Komunikaciona arhitektura BSM



# I - Defenicija BSM

*Bežične senzorske mreže (BSM) predstavljaju skup jefinih minijaturnih senzorskih čvorova (nekoliko  $\text{mm}^3$ ), koji mogu da se postave u gotovo svim uslovima i sredinama u kojima potpuno nezavisno, samostalno formiraju mrežnu strukturu u okviru koje su sposobni da međusobno prikupljaju, obrađuju i razmenjuju podatke i da iste prosleđuju nadređenim računarima.*

# II - Načini prikupljanja podataka

➤ U zavisnosti od interakcije između izvora i odredišta, kao i prirode događaja koji se posmatra, razlikujemo nekoliko standardnih načina:

- 1. Detekcija događaja** – SČ-ovi šalju podatke nadređenom *sink*-u samo kada se dogodi neka promena u nadgledanom regionu.
- 2. Periodično javljanje** – SČ-ovi šalju podatke o nagledanoj pojavi u tačno određenim vremenskim periodima. Dužina te periode zavisi od tipa aplikacije kao i od prirode nadgledane pojave.
- 3. Kontinualno nadgledanje** – kontinualno praćenje nekog objekta, čoveka ili životinje u nadgledanom regionu i to u vremenu i prostoru.
- 4. Predviđanje događaja** – Svi podaci koje SČ-ovi prikupljaju sa različitih mesta mogu se posmatrati kao određena funkcija tog mesta. Moguća je aproksimacija vremenskih ili prostornih funkcija a na osnovu tih postavljenih funkcija moguće je predvideti neke buduće događaje (lokacija, putanja, osobine nadgledanog objekta, izrada temperaturne mape) koji mogu da se dogode u regionu koji se posmatra.

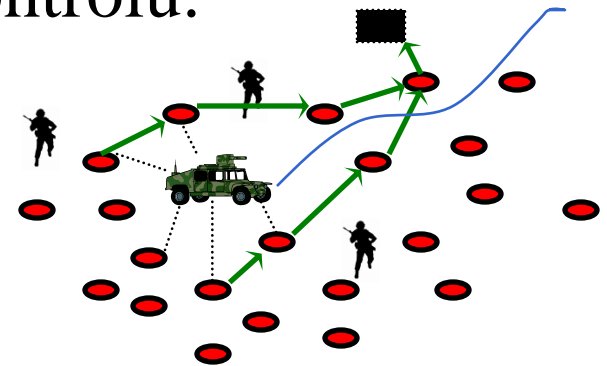
# II - Primena BSM

- **Vojne potrebe**
- **Praćenje životne sredine**
- **Medicinska i zdravstvena kontrola**
- **Industrijske primene**
- **Primena u saobraćaju**
- **Naučne, biološke i ekološke primene**
- **Nadgledanje objekata od važnosti**
- **Precizna lokacija ljudi i objekata**
- **Inteligentne zgrade (*smart house*)**

# II - Primena BSM

## Vojne potrebe

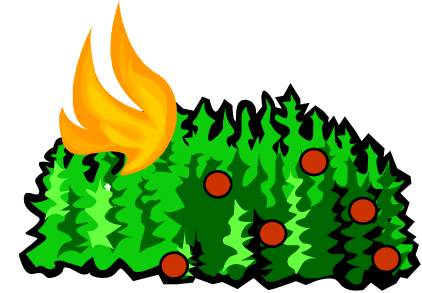
- Praćenje i osmatranje ljudstva, opreme i municije
- Prepoznavanje protivničkih jedinica i pokreta na kopnu i moru
- Sistemi za detekciju izvora protivničkih projektila
- Sistemi za navođenje projektila
- Detekcija nuklearnih, hemijskih i bioloških pretnji.
- Nadgledanje bojišta.
- Sistemi za komandu, komunikaciju i kontrolu.
- Sistemi osmatranja i nadgledanja.
- Sistemi za procenu nanešene štete



# II - Primena BSM

## Praćenje životne sredine

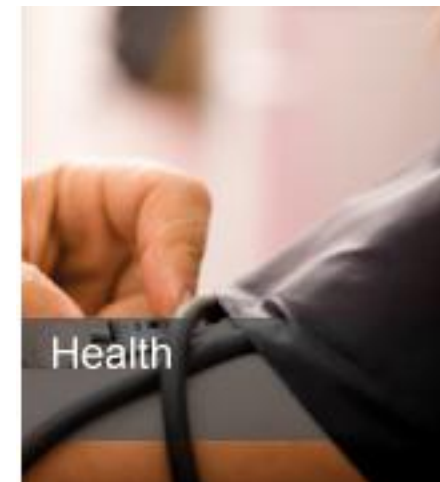
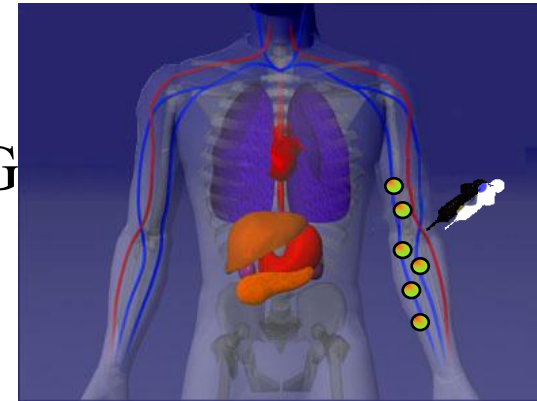
- Praćenje prirodnih uslova, temperature, pritiska i vlažnosti.
- Sistemi za upozoravanje na prirodne katastrofe: seizmičku aktivnost, vulkan, cunami, tornado i td.
- Detekcija požara, poplava, hemijskih i bioloških otrova.
- Nadgledanje oblasti nesreće.
- Praćenje nivoa opasnih supstanci i gasova u vazduhu.
- Praćenje zagađenja vazduha
- Praćenje kvaliteta vode
- Nadgledanje zemljišta (vlaga, pesticidi, herbicidi, pH, ..)
- Akustična detekcija buke
- Kontrola uslova u voćarstvu, poljoprivredi i stočarstvu
- Određivanje mikro-klimatskih uslova
- Senzori kontrolišu nedostupna mesta ili je opasno ljudsko prisustvo
- Svaki čvor meri temperaturu i na osnovu toga se pravi “temperaturna mapa” na osnovu koje se predviđa kako se požar širi



# II - Primena BSM

## Medicinska i zdravstvena kontrola

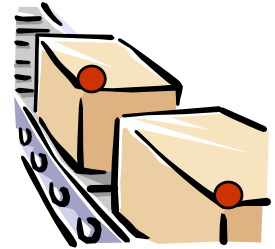
- Kontrola i praćenje medicinskog osoblja i pacijena unutar bolničkog kruga
- Praćenje količine, izdavanja i korišćenja lekova u bolnicama
- Nadgledanje lokacije i zdravstvenog stanja osoba.
- Praćenje vitalnih funkcija pacijenata (pritisak, ECG puls, procenat kiseonika i sl.)
- Pružanje pomoći nepokretnim i hendikepiranim osobama.
- Biomedicinske primene i umrežavanje instrumenata
- Brza reakcija i praćenje nastradalih u nesrećama (izbor kritičnih slučajeva).
- Kontrola vitalnih funkcija pacijenata
- Post-operativna nega
- Nadzor dece i starijih osoba



# II - Primena BSM

## Industrijske primene

- Nadgledanje i kontrola industrijske opreme i procesa.
- Nadgledanje proizvodnje.
- Kontrola fabričkih procesa. Industrijska automatizacija.
- Praćenje i nadgledanje kvaliteta proizvoda.
- Praćenje stanja u skladištima.
- Praćenje robe u prodavnicama
- Detekcija provala u industrijskim postrojenjima
- Kontrola curenja otrovnih materija
- Opremanje transportnih dobara (“kontejner”) sa senzorskim čvorom
- Logističko praćenje kretanja i stanje robe u svakom trenutku
- Nadzor i preventivno održavanje mašina

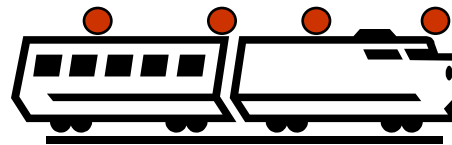
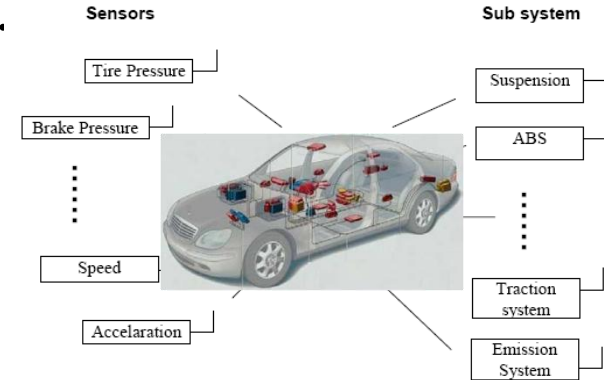




# II - Primena BSM

## Primena u saobraćaju

- Praćenje, detekcija i lokalizacija mesta nesreća.
- Koordinisano praćenje vozila.
- Kontrola i detekcija zagušenja u saobraćaju.
- Detekcija slobodnih parking mesta
- Prevoz opasnih materija
- Kontrola pritiska u točkovima
- Monitoring i kontrola stanja u avionskom saobraćaju.
- Kontrola rada delova motora i detekcija mogućih kvarova
- Umreženi automobili, automobili kao senzorski uređaji
- Bolja kontrola saobraćaja na osnovu informacija o prolazu i stanju na raskrsnicama dobijenim putem senzorske mreže



# II - Primena BSM

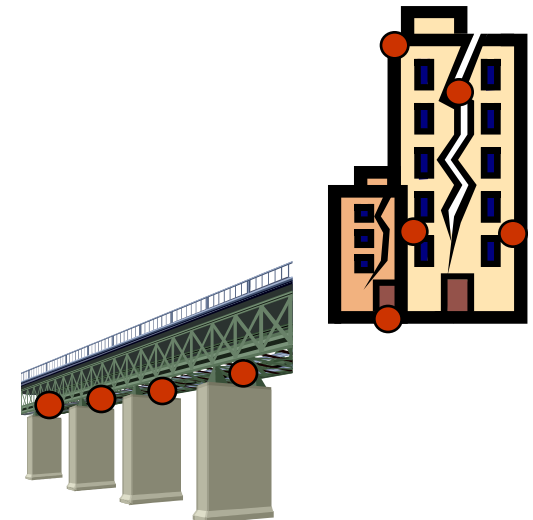
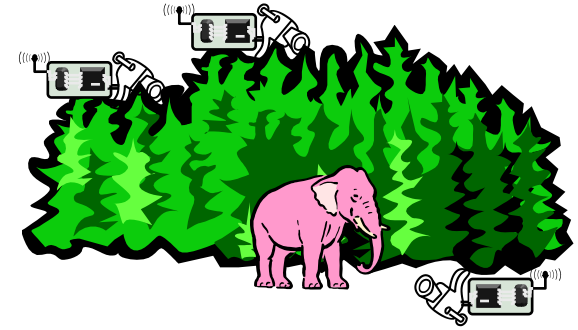
## **Naučne, biološke i ekološke primene**

- Nadgledanje i kontrola fizičkog okruženja.
- Biološke i ekološke primene u nadgledanom regionu (tlo, stanište, more, jezera, reke).
- Nadgledanje bioloških i ekoloških sistema.
- Praćenje životinja, objekata i ljudi u biološkim, zdravstvenim i sociološkim istraživanjima.

# II - Primena BSM

## Nadgledanje objekata i životinja

- Praćenje objekata i detekcija mogućih krađa.
- Praćenje strukturne stabilnosti objekata.
- Automatizacija životnog prostora.
- Zaštita i sigurnost objekata i dobara
- Praćenje kontejnera, kutija i inventara
- Koristi senzore za posmatranje životinjskog sveta (ZebraNet – Princeton)



# II - Primena BSM

## Lokacija ljudi i objekata

- Praćenje ljudi, dobara i drugih pokretnih objekata u raznim okruženjima (industrijsko, skladišta, prodajni objekti, bolnice, poslovni i stambeni prostor), uz održavanje komunikacije za potrebe nadgledanja, javljanja i kontrole.
- Logistička podrška
- Pronalaženje ljudi (zemljotres)

# II - Primena BSM

## Inteligentne kuće i zgrade (smart house)

- Ušteda potrošnje električne energije
- Racionalno grejanje, hlađenje i provetravanje prostorija
- Automatizacija kancelarija i kuće
- Pametni(*smart*) uređaji i prostori
- Kontrola životne sredine u kućama i zgradama
- Urbanističko planiranje (otpadne i podzemne vode, procenat CO<sub>2</sub>, ...)
- Smanjivanje potrošnje energije (*smart home*)
- Određivanje zauzetosti prostorija
- Kontrola životnih uslova (temperatura, vlažnost, pritisak ili kvalitet vazduha i vode)
- Kontinuirani nadzor mehaničkih naprezanja (posebno za vreme ili posle zemljotresa)

# II - Primena BSM

Vojne potrebe	Praćenje životne sredine	Medicinske potrebe
<p>Praćenje ljudstva, opreme i municije Prepoznavanje protivničkih jedinica i pokreta na kopnu i moru Sistemi za detekciju izvora protivničkih projektila Sistemi za navođenje projektila Detekcija nuklearnih, hemijskih i bioloških pretnji. Nadgledanje bojišta. Sistemi za komandu, komunikaciju i kontrolu. Sistemi osmatranja i nadgledanja. Sistemi za procenu nanešene štete</p>	<p>Praćenje prirodnih uslova, temperature, pritiska i vlažnosti. Sistemi za upozoravanje na prirodne katastrofe: seizmičku aktivnost, vulkan, cunami i td. Detekcija požara, poplava, hemijskih i bioloških otrova. Nadgledanje oblasti nesreće. Praćenje nivoa opasnih supstanci i gasova u vazduhu. Praćenje zagađenja vazduha Praćenje kvaliteta vode Nadgledanje zemljišta (vlaga, pesticidi, herbicidi, pH, ..) Akustična detekcija buke Kontrola uslova u voćarstvu, poljoprivredi i stočarstvu</p>	<p>Kontrola i praćenje medicin. osoblja i pacijenata unutar bolnice Praćenje količine, izdavanja i korišćenja lekova u bolnicama Nadgledanje lokacije i zdravstvenog stanja osoba. Praćenje fizioloških podataka pacijenata (pritisak, ECG, puls, procenat kiseonika i sl.) Pružanje pomoći nepokretnim i hendikepiranim osobama. Biomedicinske primene i umrežavanje medicinskih instrumenata. Brza reakcija i praćenje nastradalih u nesrećama (izbor kritičnih slučajeva).</p>
Industrijske primene	Primena u saobraćaju	Naučne, biološke i ekološke primene
<p>Nadgledanje i kontrola industrijske opreme i procesa. Nadgledanje proizvodnje. Kontrola fabričkih procesa. Industrijska automatizacija. Praćenje i nadgledanje kvaliteta proizvoda. Praćenje stanja u skladištima. Praćenje robe u prodavnicama</p>	<p>Praćenje, detekcija i lokalizacija mesta nesreća. Koordinisano praćenje vozila. Kontrola i detekcija zagušenja u saobraćaju. Preventivna kontrola u avionskom saobraćaju. Kontrola rada delova motora i detekcija mogućih kvarova Umreženi automobili Prevoz opasnih materija</p>	<p>Nadgledanje i kontrola fizičkog okruženja. Biološke i ekološke primene u nadgledanom regionu (tlo, stanište, more, jezera, reke). Nadgledanje bioloških i ekoloških sistema. Praćenje životinja, objekata i ljudi u biološkim, zdravstvenim i sociološkim istraživanjima.</p>
Nadgledanje objekata	Precizna lokacija	Inteligentne kuće i zgrade
<p>Praćenje objekata i detekcija mogućih krađa. Praćenje strukturne stabilnosti objekata. Automatizacija životnog prostora. Zaštita i sigurnost objekata i dobara Praćenje kontejnera, kutija i inventara</p>	<p>Praćenje ljudi, dobara i drugih pokretnih objekata u raznim okruženjima (industrijsko, skladišta, prodajni objekti, bolnice, poslovni i stambeni prostor), uz održavanje komunikacije za potrebe nadgledanja, javljanja i kontrole. Logistička podrška Pronalaženje ljudi (zemljotres)</p>	<p>Ušteda potrošnje elektr. energije Racionalno grejanje, hlađenje i provetravanje prostorija Automatizacija kancelarija i kuće Pametni(smart)uređaji i prostori Kontrola životne sredine u kućama i zgradama Urbanističko planiranje (otpadne i podzemne vode, procenat CO2, ...)</p>

# Example of WSN



## II - Primena BSM

*Da li uopšte postoji neko područje ljudskog delovanja gde nije moguće naći primenljivost BSM ?*

**Ne**

**Samo je ljudska ideja i znanje prepreka za primenljivost BSM**



# III - Parametri za izbor aplikacije

## 1. Razmeštaj senzorskih čvorova

- nasumično(*randrom*) ili ih postaviti na tačno definisanim mestima.
- može biti jednokratna(aktivnosti oko instaliranja i korišćenja čvorova strogo su odvojene aktivnosti) ili kontinuirana aktivnost.
- Razmeštaj senzorskih čvorova može znatno da utiče na parametre rada BSM kao što su: gustina pokrivenosti, lokacija smeštanja čvorova, tačnost očitanih podataka na određenoj lokaciji, stepen odziva senzorske mreže kao i dužina životnog veka rada BSM.

## 2. Mobilnost senzorskih čvorova

- prirodnih uticaja, kao što su vetar ili voda;
- mogu biti                   eniili ne neki mobilni entitet,
- mogu imati samostalnu mogućnost kretanja (roboti, aktuatori).
- Razlikujemo i mobilnost svih ili delimičnog broja SČ.
- Stepen mobilnosti može da bude povremeni ili kontinualni
- Utiće na izbor mrežnih i transportnih protokola i distribu. algoritama.
- Brzina promene može da izazove privremene prekide u prenosu

# III - Parametri za izbor aplikacije

## 3. Cena, veličina i resursi senzorskog čvora

- od nekoliko  $\text{dm}^3$  do mikroskopski male čestice od nekoliko  $\mu\text{m}^3$
- Cena može da varira od nekoliko stotina evra pa do nekoliko centi
- Resursi u mnogome zavise od gabarita i cene samog SČ
- Sva ograničenja resursa ograničavaju kompleksnost softvera

## 4. Heterogenost senzorskih čvorova

- Početkom razvoja BSM one su bile tipično homogene i sastojale su se od uređaja koji su bili identični u pogledu hardvera i softvera.
- Nisu imali ni jedinstvenu identifikaciju (ID)
- Danas u mnogim aplikacijama one su heterogene, sastoje se od veoma velikog broja različitih SČ koji imaju različite namene.
- Stepem heterogenosti primenjenih senzorskih čvorova predstavlja značajan faktor jer on značajno utiče na izbor odgovarajućeg softvera a samim tim i na efikasnost rada aplikacije u BSM.

# III - Parametri za izbor aplikacije

## 5. Način komunikacije

- Radio talasi (najpremenjivaniji), infracrveni talasi, laserom, induktivno/kapacitivnim tehnikama ili zvučnim signalima.
- Induktivna/kapacitivna komunikacija koristi se samo kod malih razdaljina i prednost je energetski efikasna komunikacija – RFID
- Način komunikacije je očigledno vrlo bitan faktor kod određivanja protokola koji se odvijaju na drugom nivou OSI referentnog modela

## 6. Infrastruktura

- mreža zasnovana na infrastrukturi i *ad hoc* mreže bez infrastrukture
- U *ad hoc* mrežama (*multihop*) čvorovi imaju dvostruku ulogu
- Nekada se koristi i kombinacija *ad hoc* i infrastrukturnih mreža kada se pojedini klasteri *ad hoc* mreža putem nekog master senzorskog čvora (*sink*) povezuju sa infrastrukturom mrežom (Internet).
- Treba imati na umu da se gore navedeni argumenti ne primjenjuju samo na komunikaciju između senzorskih čvorova već i na njihovu lokalizaciju kao i vremensku sinhronizaciju (npr. GPS sateliti).

# III - Parametri za izbor aplikacije

## 7. Mrežna topologija

- U najjednostavnijem obliku WSN formira mrežu sa jednim skokom.
- Mreža bazirana na infrastrukturi sa jednom baznom stanicom formira mrežu topologije zvezda gde se veza uspostavlja putem uređaja.
- *Multihop* mreže mogu da formira proizvoljan raspored, ali se često topologija svodi na topologiju stablo ili mešovitu topologiju
- Izbor topologije je bitan faktor jer on utiče na mnoge karakteristike mreže, npr. kašnjenje u prenosu poruke, robustnost i otpornost mreže na otkaze, kapacitet, obradu podataka, izbor protokola za rutiranje.

## 8. Oblast pokrivenost područja osmatranja

- delimična pokrivenost - samo su neki delovi oblasti pokriven
- potpuna pokrivenost - područje interesa je u potpunosti prekriveno
- redundantna pokrivenost – postoji više SČ koji pokrivaju istu oblast
- Stvarni stepen pokrivenosti uglavnom se određuje u zavisnosti od potrebne preciznosti i redundantnosti koja se zahteva od aplikacije.
- Stepen pokrivenosti ima jako veliki uticaj na izbor algoritama za obradu i slanje podataka kao in a životni vek jedne aplikacije u BSM.

# III - Parametri za izbor aplikacije

## 9. Povezanost

- potpuno povezana (*full connected*) uvek postoji mrežna komunikacija
- periodična povezanost - ako su neki čvorovi izolovani neko vreme ili ulaze u komunikacioni opseg drugih čvorova periodično.
- Senzorski čvorovi mogu biti potpuno povezani u vidu određenih grupa (particija) između kojih ne postoji komunikacija.
- Kod nekih BSM taj problem se rešava pomoću mobilnih čvorova.
- Povezivanje uglavnom utiče na izbor odgovarajućih komunikacionih protokola kao i metoda za prikupljanja podataka.

## 10. Veličina mreže

- Broj čvorova koji učestvuju u BSM je uglavnom zavistan od zahteva koji se odnose na mrežnu pokrivenost, povezanost i veličine područja
- Od nekoliko čvorova pa sve do nekoliko hiljada SČ.
- Broj senzorskih čvorova u mreži direktno utiče na parametar skalabilnosti u odnosu na izabrane protokole i algoritme, jer veći broj direktno smanjuje izbor protokola i algoritama koji se primenjuju

# III - Parametri za izbor aplikacije

## 11. Životni vek aplikacije

- U zavisnosti od aplikacije, životni vek trajanja aplikacije u BSM može da se e od nekoliko sati do nekoliko godina.
- Dužina životnog veka aplikacije ima veliki uticaj na izbor napajanja kao i na stepen energetske efikasnosti i robusnosti SČ- ova

## 12. QoS zahtevi

- *real-time* - fizički događaj mora biti prijavljen unutar određenog vremenskog intervala,
- *robustness* - mreža treba da ostane operativna čak i ako se neki unapred definisani propusti pojave,
- *tamper-resistance* - mreža treba da ostane operativna čak i kada je predmet nekog namernog napada,
- *eavesdropping-resistance* - spoljni subjekti ne bi trebali da imaju mogućnost prisluškivanja komunikacionog kanala,
- *unobtrusiveness or stealth* - prisustvo mreže mora nevidljivo tj. teško za otkrivanje.
- QoS zahtevi mogu da utiču na izbor drugih parametra BSM

# IV - Realizovane aplikacije u BSM



# IV – Realizovane aplikacije u BSM

- 1. enje vojnih vozila** – BSM se koristi za enje puta i brzine kretanja vojnih vozila. Senzorski čvorovi se raspoređuju iz bespilotne letilice (dron) i cilj je da oni budu teško vidljivi. Opremljeni su sensorima koji detektuju metal (magnetometer) i na osnovu toga mogu da prepoznaju blizinu vozila-tenka. Sistem mora da zadovolji *real-time* uslove jer očitane podatke mora da prijavi u određenom vremenu. Rezultati enja se prenose u bespilotno vozilo gde se sada na osnovu njih može izvršiti procena putanje i brzine eg vozila.
- 2. Lokalizacija snajpera** - BSM se koristi za lociranje snajpera i trajektorije metaka, dajući bitne podatke za njegovo pronalaženje. Sistem se sastoji od senzorskih čvorova koji formiraju *multihop ad hoc* mrežu preko koje mogu mere eksploziju pucnja i udarnog talasa u akustičnih senzora. Upoređivanjem vremena dolaska na pojedine senzorske čvorove, snajper može biti lokalizovan sa u od oko 1m i sa latencijom ispod 2sec. Radi se o dosta složenim matem. proračunima pa SČ poseduju posebne FPGA čipove za izračunavanje.



# IV – Realizovane aplikacije u BSM

**3. Praćenje ptica na Great Duck ostrvu** – posmatraju se ponašanja ptica zvane Leach's Storm Petrel. Ove ptice lako ometa prisustvo ljudi, pa je BSM jedan od načina da se one posmatraju a da se ne uznemire. Biolozi su zainteresovani kako ptice koriste svoja gnezda, kako utiče promena životne sredine izvan i unutar gnezda tokom sezone parenja, varijacije između lokacija za parenje i karakteristika mesta za parenje. Čvorovi senzora ugrađeni su unutar samog gnezda i na njihovoj površini. Senzorski čvorovi imaju senzore putem kojih mogu meriti nivo vlage, pritiska, temperature i nivoa ambijentalne svetlosti, a opremljeni su i infracrvenim sensorima za detekciju prisustva ptica. Senzori su podeljeni po klasterima u kojima je moguća višeskokovita komunikacija između čvorova. Svaki mrežni klaster sadrži senzorski čvor sa usmerenom antenom dugog dometa koji povezuje klaster sa računarom centralne bazne stanice. Računar bazne stanice je povezan sa sistemom *back-end* baze podataka preko satelitske veze. Čvorovi senzora uzorkuju svoje senzore oko 1 min. i šalju svoje očitane podatke

# IV - Realizovane aplikacije u BSM

**4. ZebraNet** - posmatra se ponašanje divljih životinja u prirodi (divljih konja, zebra i lavova) u Mpala istraživačkom centru u Keniji (koje pašnjake koriste, koliko se brzo kreću i menjaju staništa), ponašanja unutar vrste, ponašanja između različitih vrsta (koje životinje se grupišu i struktura grupe), i uticaj ljudskih faktora na pojedine vrste. Oblast posmatranja obuhvatao je prostor od nekoliko stotina do čak hiljada km<sup>2</sup>. Svaka posmatrana životinja je opremljena senzorskim čvorovima. Integrisani GPS prijemnik koristi se za procenu njihove pozicije i brzine kretanja. Senzori svetlosti se koriste da daju indikaciju trenutnog okruženja. Svaki senzorski čvor svaka tri minuta vrši očitavanje sa svojih senzora i beleži rezultate. Uvek kada senzorski čvor uđe u komunikacioni opseg drugog čvora, dođe do razmene podataka između senzorskih čvorova. U određenim intervalima, mobilna bazna stanica (automobil ili avion) prolazi kroz područje posmatranja i prikuplja snimljene podatke od životinja koje su dometu.

# IV - Realizovane aplikacije u BSM

**5. Stočarstvo**-mreža se ovde koristi za implementaciju virtuelnih ograda, uz akustični stimulans koji se daje životinjama koje prelaze granicu virtuelne ograde. Podaci o kretanju krava kontroliše algoritam virtuelne ograde koji dinamički pomera linije ograde. Sistem smanjuje troškove postavljanja fizičkih ograda i može poboljšati korišćenje pašnjaka za ishranu. Svaki SČ se sastoji od PDA-a sa GPS prijemnikom, WLAN karticom i zvučnikom za obezbeđivanje akustičnih stimulansa za kontrolisanu stoku dok se približavaju ogradi. Ovi uređaji su eni za vrat krava. SČ putem *ad hoc* mreže, prenose podatke o kretanju stoke na baznu stanicu. Omogućena je i suprotna komunikacija tako da bazna stanica obaveštava SČ o trenutnim koordinatama virtuelne ograde.

**6. Monitoring grožđa** - koristi se za enje uslova koji utiču na rast vinove loze (temperatura, vlaga u tlu, svetlost i vlažnost). Omogućuje određivanje optimalnog dana za berbu grožđa, kada je procenat šećera najveći, preciznu biljnu zaštitu (prilagođavanje količine vode, đubriva i pesticida potrebama pojedinih biljaka), zaštita od smrzavanja, zaštita od insekata, štetočina i gljivica i razvoj novih sorti grožđa.

# IV – Realizovane aplikacije u BSM

**7. Monitoring glečera** (*Glacier Monitoring*) - **BSM** se koristi za enje okruženja glečera u Briksdalsbreen, Norveška, sa opštim ciljem boljeg razumevanja Zemljine klime. Prati se pomeranje i dinamika unutar glečera u periodu od mesec do godinu dana. SČ su raspoređeni u bušotinama na različitim dubinama u ledenom bregu i ispod glečera. Opremljeni su senzorima za pritisak i temperaturu i senzorom nagiba za merenje svog položaja. Komuniciraju sa baznom stanicom raspoređenom na vrhu glečera koja je zadužena da meri pomeranje glečera u diferencijalnog GPS-a i da prenese podatke prikupljene preko GSM-a.

**8. Praćenje uticaja vetroelektrane** – koristi se za enje uticaja vetroelektrane na obali Engleske na okolnu sredinu pre svega na strukturu okeanskog sloja (formiranje peska) i uticaj na aktivnosti plime. SČ su raspoređeni na površini okeana tako što su postavljeni sa broda na izabranim položajima, a njihova lokacija je fiksirana putem sidra. Svaki SČ je povezan preko kabla do plutajuće bove na površini okeana koja sadrži radio opremu i GPS. Meri se pritisak, temperatura, provodljivost, struja i enost vode.

# IV – Realizovane aplikacije u BSM

**9. enje vode u okeanu** - Projekat ARGO posmatra temperaturu, slanost i trenutni profil vode u okeanu. Cilj je kvantitativni opis stanja vode u okeanu i ustanovljenja šablona promenljivosti klime u okeanu, i skladištenje i transport toplote i slatkovodnih voda. Projekat koristi SČ protoka koji su opremljenih senzorima temperature i slanosti. Čvorovi se polažu u okean sa brodova ili aviona i spuštaju se do dubine od 2000m na svakih deset dana. Podaci prikupljeni tokom ovih ciklusa se prenose na satelit kada su čvorovi na površini gotovo u *real time* režimu.

**10. Spasavanje žrtava lavine** – pomoć spasilačkim ekipama prilikom spašavanja ljudi koji su nastradali u snežnim lavinama. Omogućava bolje lociranje zatrpanih ljudi i daje dodatne podatke o stanju žrtava kako bi spasilački timovi pravili prioritet u spašavanju: srčani puls, respiratorna aktivnost i nivo svesti. Potencijalne žrve(skijaši,snouborderi ili planinari) imaju SČ koji je opremljen sa oksimetrom (meri nivo kiseonika u krvi) i koji dozvoljava merenje srčane frekvencije i respiratorne aktivnosti. Akcelerometar se koristi da bi se utvrdila orijentacija žrtve. Spasilački tim koristi PDA uređaj da bi dobio podatke od zatrpanih žrtava.

# IV - Realizovane aplikacije u BSM

**11. Monitoring vitalnih funkcija pacijenata** - imaju za cilj poboljšanje tačnosti nadgledanja, a bolje su prilagođeni pa samim tim i pogodniji za pacijente. Sistem se sastoji od 4 komponente: identifikacije pacijenta, medicinskih senzora, uređaja za prikaz i olovke za konekciju sa pacijentom. Identifikator pacijenta je poseban SČ koji sadrži podatke o pacijentu i koji se daje pacijentu kada on uđe u bolnicu. Različiti medicinski senzori (elektrokardiogram) mogu biti naknadno priključeni. Podaci o pacijentu i vitalne funkcije mogu se pregledati u uređaja za prikazivanje. Medicinsko osoblje nosi olovku za vezu sa pacijentom koja emituje ID preko infracrvene mreže da bi ograničila opseg. SČ-i koji prime ovaj ID formiraju jedinstvenu mrežu putem koje šalju podatke

**12. Praćenje potrošnje energije** – prati potrošnju energije u velikim zgradama. Treba otkriti lokacije ili uređaje koji troše puno struje kako bi se omogućilo potencijalno smanjenje potrošnje. Sastoji se od 3 dela: SČ, primopredajnika i centralne jedinice. SČ su povezani na el.mrežu (na utičnicama ili kutijama sa osiguračima) za merenje potrošnje i vrše direktno očitavanje. Očitani podaci se direktno daju primopredajnicima

# IV – Realizovane aplikacije u BSM

**13. Kontrola prevoza proizvoda** - Komercijalni SECURIfood™ sistem predstavlja BSM za enje usklađenosti temperature proizvoda tokom transporta od proizvođača, do distributivnih centara i prodavnica pa sve do potrošača. Sistem se nudi kupcima kao usluga jer omogućuje da svako može, putem Interneta da prati kretanje temperature željenog proizvoda. Sistem omogućuje izdavanje alarma u slučaju neke incidentne situacije (previsoka temperature) ili nekog prekida u lancu snabdevanja. Sastoji se od 4 komponente: SČ, relejne jedinice, pristupne kutije i centralna baza podataka. SČ se transportuju zajedno sa proizvodima i prikupljaju podatke o temperaturi u svojoj memoriji. Radio pokrivenost obezbeđuju relejne jedinice. Jedna jedinica je potrebna za oko 1000 m<sup>2</sup> prostora. Svaka jedinica sadrži lokalnu procesnu jedinicu, stalni izvor energije i radio prijemnik. Sve relejne jedinice prikupljaju podatke o temperaturi od SČ, čuvaju ih u svojoj memoriji i međusobno komuniciraju putem samoformirane *multihop ad hoc* mreže. Pristupna kutija je još niji uređaj koji predstavlja lokalni server celog sistema, i ima ulogu *gateway*-a, kako bi te podatke preneo na Internet.

# IV – Realizovane aplikacije u BSM

**14. Montaža nameštaja** – uloga ovog sistema je da pomogne ljudima prilikom sastavljanja složenih kompozitnih predmeta, kao što je nameštaj, po principu uradi sam. Sistem oslobađa kupce od toga da moraju da proučavaju i razumeju složene priručnike za upotrebu i sprečava ih da naprave grešku u sklapanju. Delovi i alati nameštaja opremljeni su senzorskim čvorovima koji poseduju različite senzore: senzore sile (za sklapanje delova), žiroskop (za šrafcigere) i akcelerometar (za čekiče). Senzorski čvorovi formiraju *ad hoc* mrežu za otkrivanje određenih radnji i njihovih sekvenci i daju vizuelnu povratnu informaciju korisniku u LED dioda integrisanih u delove nameštaja.



# V – Problemi kod korišćenja BSM

1. Standardizacija kako softverskih tako i hardverskih komponenti još uvek nije završena.
2. Velika količina podataka, generisanih od strane bežičnih senzora, prete da preoptereće komunikacioni kanal a većina tih podataka je suvišna jer obezbeđuju samo ograničene vrednosti nadgledane pojave.
3. Slaba robusnost senzorskih čvorova i veliki procenat loše primljenih paketa (veliki broj retransmisija).
4. Postojeći komunikacioni protokoli nisu primenljivi u BSM i zahtevaju promene što otežava povezivanje ovih mreža sa postojećom IT strukturom.
5. Nemogućnost primene složenih algoritama zbog ograničenih resursa kojima raspolaže senzorski čvor.
6. BSM su poznate kao mreže sa u kojima imamo izraženu latenciju tj. Kašnjenje u prijemu paketa tako da oni nisu pogodno rešenje za neke *real-time* aplikacije.

# V – Problemi kod korišćenja BSM

7. Kompatibilnost sa postojećim sistemima nije prilagođena, tako da oni sprečavaju uvođenje bežične tehnologije kako bi proširili svoje mogućnosti.
8. Složenost i visoki troškovi pokrivanja velikih prostora sprečavaju brzo usvajanje ove tehnologije
9. Pouzdanost BSM ostaje veliki problem pa se one smatraju previše rizičnim za osetljive zadatke.
10. Ograničeni kapacitet električne energije kojom raspolaže senzorski čvor je uvek veliki problem kod bežičnih sistema. U daljem periodu razvoja BSM-a, sa gledišta energetske efikasnosti, velika pažnja biće posvećena novim alternativnim izvorima energije iz prirode koji treba da omoguće nesmetani rad SČ-ova. Problem je što ova tehnologija povećava gabarite samog senzorskog čvora.
11. Nedovoljan broj iskusnog osoblja za projektovanje, instalaciju i održavanje ovih mreža.

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?

# Laboratorijske vežbe

Upoznavanje sa programom lab.vežbi

1. Upoznavanje sa operativnim sistemom Tiny OS, njegova instalacija i podešavanje za rad  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Getting\\_Started\\_with\\_TinyOS](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Getting_Started_with_TinyOS)
2. Tiny OS model izvršavanja, task-ovi, događaji i komande. Objašnjavanje njihove veze sa interfaces-om  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Modules\\_and\\_the\\_TinyOS\\_Execution\\_Model](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Modules_and_the_TinyOS_Execution_Model)
3. Upoznavanje sa Tiny OS komunikacionim modelom, slanje i prijem paketa  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-mote\\_radio\\_communication](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-mote_radio_communication)

# Laboratorijske vežbe

4. Upoznavanje sa serijskiom vezom i povezivanje sa PC računarom [http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-PC\\_serial\\_communication\\_and\\_SerialForwarder](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Mote-PC_serial_communication_and_SerialForwarder)
5. Upoznavanje sa kontrolom rada senzora i prikazivanje očitanih podataka na displeju  
<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Sensing>
6. Instaliranje programa i njegovo pokretanje na SČ  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Boot\\_Sequence](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Boot_Sequence)
7. Upoznavanje sa memorijskim modelom Tiny OS : Mount, ConfigStorage, LogRead and LogWrite  
<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Storage>

# Laboratorijske vežbe

8. Tiny OS rešenje za izbor resursa i model upravljanja el.potrošnjom u čvoru  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Resource\\_Arbitration\\_and\\_Power\\_Management](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Resource_Arbitration_and_Power_Management)
9. Upoznavanje sa TOSSIM, TinyOS simulatorom za testiranje i debugiranje razvojne aplikacije  
<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TOSSIM>
10. Rad sa TinyOS print bibliotekom za štampanje debug poruka na PC računaru iz aplikacije.  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/The\\_TinyOS\\_printf\\_Library](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/The_TinyOS_printf_Library)
11. Pisanje energetski efiksanih aplikacija  
[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Writing\\_Low-Power\\_Applications](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Writing_Low-Power_Applications)

# Laboratorijske vežbe

12. Primena nitnog programiranja u Tiny OS

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TOSThreads\\_Tutorial](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TOSThreads_Tutorial)

13. Primena zaštitnog kodovanja u Tiny OS aplikacijama

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/CC2420\\_Security\\_Tutorial](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/CC2420_Security_Tutorial)

14. Upoznavanje sa TiniOS alatima, i sistem za izgradnju, kako napraviti svoj vlastiti Makefile i kako i više informacija o različitim alatima u TinyOS.

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS\\_Toolchain](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS_Toolchain)

15. Instaliranje TinyOS aplikacija na različitim platformama

<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Platforms>

# Laboratorijske vežbe

## 16. Primena mrežnih protokola.

### 15.1 Dissemination

<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Dissemination>

### 15.2 Tymo

<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Tymo>

### 15.3 Deluge\_T2

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Deluge\\_T2](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Deluge_T2)

### 15.4 BLIP – Implementacija protokola iz IP steka

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/BLIP\\_Tutorial](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/BLIP_Tutorial)

### 15.5 BLIP2.0 – Implementacija IPv6 protokola

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/BLIP\\_2.0](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/BLIP_2.0)

### 15.6 TinyRPL – rutinng protokol baziran na IPv6

<http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyRPL>



# Laboratorijske vežbe

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Main\\_Page](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/Main_Page)

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS\\_Overview](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS_Overview)

[http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS\\_Tutorials](http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TinyOS_Tutorials)

<http://csl.stanford.edu/~pal/pubs/tinyos-programming-1-0.pdf>