

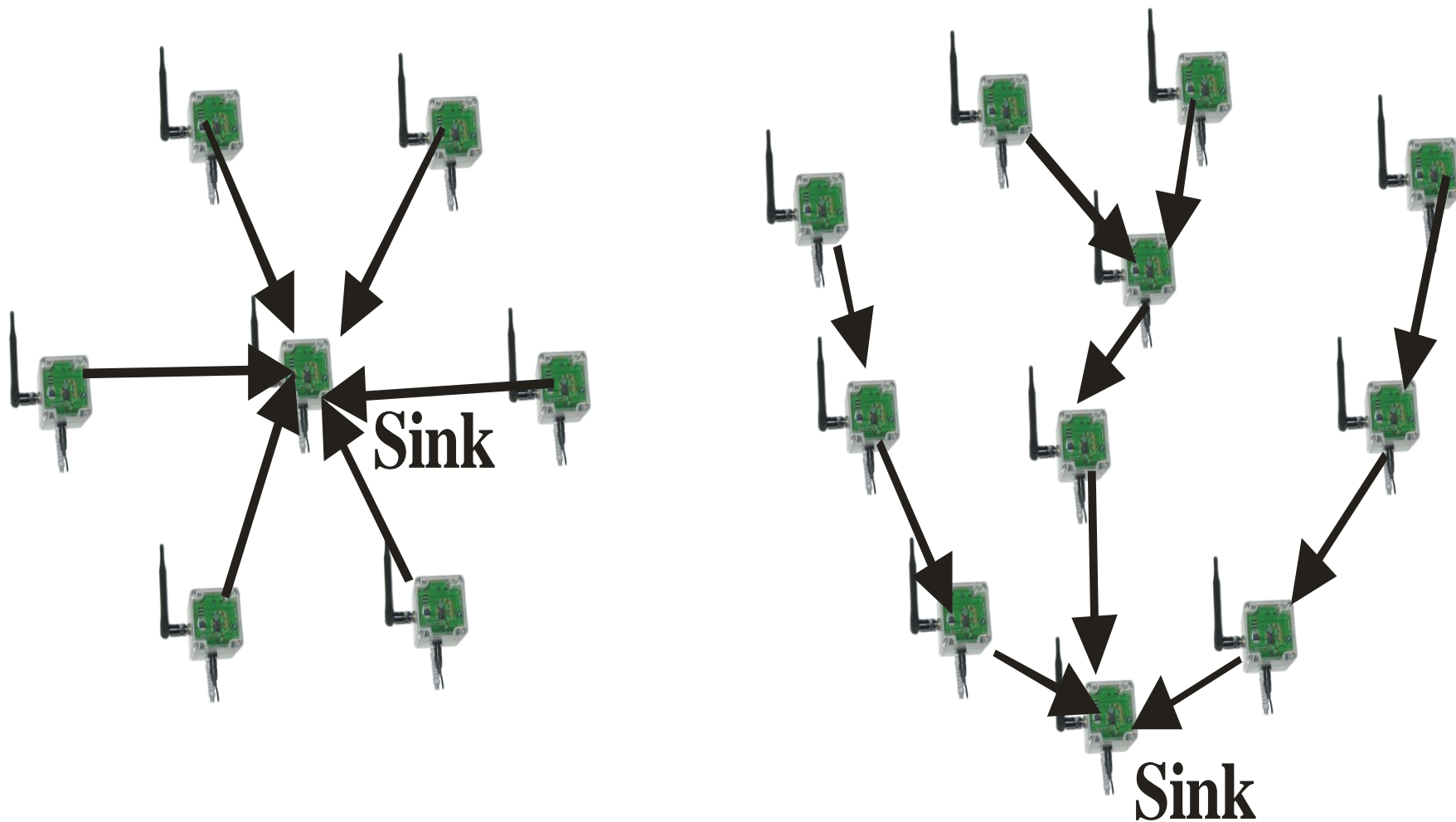
VIII Karakteristike mrežnog sloja

- 1. Karakteristike Mrežnog sloja**
- 2. Karakteristike usmeravanja paketa u BSM**
- 3. Parametri protokola usmeravanja**
- 4. Tehnike usmeravanja paketa u BSM**
 - 4.1 Plavljenje i Brbljanje
 - 4.2 Data-centring protokoli
 - 4.3 Usmerene difuzije
- 5. Podela protokola usmeravanja u BSM**
- 6. Pravci daljeg razvoja protokola usmeravanja**

8.1 Karakteristike Mrežnog sloja

- Osnovni zadatak svih SČ u BSM je da **prikupe podatke** iz nadgledanog regiona i da te podatke obično **prenesu do bazne stanice** (*gateway*).
- U malim BSM gde su SČ i *gateway* u **neposrednoj blizini** to ne predstavlja problem jer su oni u **direktnoj** (*single-hop*) vezi.
- Većina BSM aplikacija zahteva veliki broj SČ koji pokrivaju velike površine, što zahteva **indirektni** (*multi-hop*) komunikacioni pristup.
- SČ ne prikupljaju i ne prenose samo svoje podatke već **obavljaju i funkciju rutera** jer treba da prenesu i **ostale podatke** od drugih SČ
- Proces **uspostavljanja različitih puteva** od izvora pa sve do željenog odredišta (*sink/gateway*), preko SČ, naziva se **usmeravanje** ili **rutiranje**
- Za izvršavanje tog zadatka u OSI kom.modelu zadužen je **mrežni sloj**.
- Kada se SČ raspoređuju na **strogo deterministički način** komunikacija između njih i *sink*-a se može realizovati **po unapred određenim rutama**.
- Međutim, kada su SČ raspoređeni na **slučajan način** rezultujuće topologije su **nepredvidive**, pa samim tim i određivanje odgovarajućih ruta između SČ **nije moguće unapred definisati** tj. odrediti.
- Neophodno je **samoorganizacija SČ** da bi otkrili odgovarajuće puteve

8.1 Karakteristike Mrežnog sloja



8.1 Karakteristike Mrežnog sloja

- Nije potrebno samo da se omogući uspostavljanje komunikacije već i da se **izvrši energetski efikasno povezivanje** i usmeravanje paketa
- Mrežni sloj ima znatno **veću ulogu** u BSM-a nego kod standardnih žičanih i bežičnih račun.mreža zbog **višeskokovite (*multi-hop*)** prirode
- Pravilnom izborom putanje za slanje paketa, **štedi se energija** svakog SČ, a takođe omogućava **ravnomernije opterećenje svih SČ-ova**
- **Pronalaženje optimalnih putanja** kojima će se podaci upućivati predstavlja **osnovni i nezaobilazni** deo razvoja BSM-a.
- Sožena topologija BSM-a kao i **veliki broj parametara** koji utiču na protokole usmeravanja, **otežava razvoj energetski efikasnog protokola**
- Većina protokola za usmeravanje baziraju svoj rad na **korišćenju usluga koje pružaju protokoli za upravljanje topologijom BSM-a.**
- **Dva pristupa** u rešavanju ovog problema:
 - 1. formiranjem okosnice** putanje (*backbone*)
 - 2. upravljanje** samom topologijom mreže.
- Oba pristupa nalaze se negde između **sloja veze i mrežnog sloja**, jer se svi potrebni podaci o usmeravanju nalaze na sloju veze: **pozicija, snaga**

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

- BSM razlikuju se po svojim **ograničenjima i karakteristikama**, koje se moraju uzeti u obzir prilikom projektovanja protokola za rutiranje.
- Većina BSM je **jako ograničena** u količini raspoložive energije, računarske snage kao i memorijskih kapaciteta.
- Takođe se mogu značajno razlikovati po **broju SČ, veličine prostora koji pokrivaju, adresibilnost SČ i lokacije** gde se pojedini SČ nalaze.
- Šeme globalnog adresiranja (IP adrese) **teško su primenljive** ovde, pa čak i **neizvodljive**, posebno u BSM sa **heterogenim i mobilnim SČ**.
- **Poseban problem** se javlja zbog **načina** na koji pojedine BSM aplikacije **prikupljaju podatke**:
 1. Kod aplikacija koje se **zasnivaju na vremenu** (*time-driven schemes*), SČ prenose svoje prikupljene podatke **periodično** u određenim vremenskim intervalima
 2. U aplikacijama koje se **zasnivaju na nekom događaju** (*event-driven schemes*) SČ samo šalju svoje prikupljene podatke **kada se to desi**
 3. Šeme koje se **zasnivaju na upitima** (*query-driven schemes*), podaci se šalju tek kada *sink* ili *gateway* **zatraži podatak od SČ**.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

- Bez obzira na šemu koja se koristi, dizajn rutiranja protokola je direktno zavistan od **raspoloživih resursa** u mreži kao i **zahteva aplikacije**.
- Potrebno je **razmotriti sve karakteristike BSM** koje direktno **utiču na dizajn** tog protokola kako bi mogli da odgovorimo na zahteve BSM.
- **Jedan od glavnih ciljeva** koji stoji pred projektantima je da omoguće da sa podaci prenesu od izvorišta do odredišta, putem raspoloživih komunikacionih kanala, a da se **pri tome potroši što manje el.energije**.
- Potrebna je jedna **efikasna politika štednje el.energije**, koja neće samo u obzir uzimati svaki SČ pojedinačno, već i **sve SČ-ove tj. celu BSM**.
- Za dugovečan život aplikacije **nije toliko bitan pojedinačno svaki SČ**, već i rad svih SČ-ova u BSM-i **kroz koje prolazi paket** koji se šalje.
- Važnu ulogu ima **efikasan protokol rutiranja**, koji će usmeriti podatke na one putanje na kojima se značajno štedi na utrošku elektr.energije
- Izbor i primena jednog **”štedljivog”** protokola rutiranja nije ni malo lak zadatak, jer pred njim **stoje mnogi problemi** koje on treba da reši.
- **Kompleksna struktura BSM-e**, kao i **uslovi** u kojima ona funkcioniše, gotovo u **potpunosti eliminiše** primenu standardnih protokola rutiranja

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

1. Tip podataka:

✓ U BSM-a, tip podataka koji se prikuplja i prenosi uglavnom **zavisi od namene i zadatka** koji treba da izvrši aplikacija u BSM-a.

✓ Sve podatke možemo svrstati u sledeće **četiri kategorije**:

1. Kontinualne ili vremensko inicirani podaci (*time-driven*) - podaci koji se u tačno određenim vremenskim intervalima prikupljaju i predaju ostalim SČ kako bi oni došli do -a

2. Povremeni podaci se prikupljaju samo ako se desi da je neki unapred zadati parametar narušen,

3. Podaci na upit šalju se samo na zahtev nekog nadređenog SČ-a

4. Mešoviti podaci kod aplikacija koje objedinjuju prethodna dva slučaja pa prikupljaju podatke i na zahtev i ukoliko se naruši neki unapred postavljeni uslov tj. desi neka promena.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

2. Prenosni medijum

- ✓ BSM-a predstavlja mrežu koja je zasnovana na **više-skokovitoj** (*multy-hop*) organizaciji.
- ✓ To znači da podaci prođu **kroz više SČ-ova** pre nego što od izvorišta dođu do odredišta.
- ✓ Problemi koji se javljaju kod klasičnih bežičnih komunikacija prisutni su i ovde: **fading**, **interferencija**, **slabljenje signala** a samim tim i **veliki procenat grešaka** u prenosu paketa.
- ✓ Sa druge strane u BSM-a prisutan je i **veliki broj asimetričnih veza**, jer mnoge veze između dva SČ-a nisu ostvarljive u oba smera.
- ✓ To znači da $SČ_A$ može **da pošalje pakete** $SČ_B$, ali da nije u mogućnosti **da primi pakete** od $SČ_B$.
- ✓ Rešavanje ovog problema u mnogome **diktira realizaciju** kako transportnih tako i protokola rutiranja.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

3. Mrežna dinamika

- ✓ Većina mrežnih aplikacija za BSM-a podrazumeva da su SČ-ovi **stacionarni** tj. da ne menjaju svoju poziciju.
- ✓ To bi značilo da bi mogli **unapred da se odrede optimalni putevi** između SČ-ova koji bi važili dok se aplikacija izvršava.
- ✓ U realnosti to nije tako, jer se arhitektura BSM **često menja**, pa umesto **statične topologije** SČ dolazi do čestih promena koje utiču da se ta topologija **menja tokom vremena** i postane **dinamička**.
- ✓ **Najčešći razlozi** koji dovode do promene topologije BSM-a su:
 - a) **prestanak rada nekih SČ** usled gubitka energije za funkcionisanje,
 - b) **smanjena emisiona snaga**,
 - c) **povećan procenat grešaka**
 - d) **nemogućnost uspostave nekih veza** između SČ-ova.
- ✓ Svi ovi razlozi utiču da se putevi rutiranja podataka **veoma često menjaju u zavisnosti od trenutnih uslova** u nadgledanom regionu.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

4. Raspored SČ

- ✓ SČ u BSM-a mogu biti **proizvoljno** (*random*) raspoređeni u regionu ili **tačno postavljeni** na unapred definisanim mestima.
- ✓ Način kako su SČ-ovi raspoređeni **utiče na izbor protokola rutiranja**

5. Potrošnja električne energije

- ✓ U BSM-a svaki SČ poseduje **tačno određenu količinu** el. energije koju u većini slučajeva **nemoguće dopuniti ili zameniti**.
- ✓ Svaki SČ ima **višestruku ulogu**, od prikupljanja podataka, njihove obrade i slanja putem RF predajnika, **potrošnja el.energije je velika**.
- ✓ Ako se tome još doda da svaki SČ u višeskokovitoj organizaciji **ima još i funkciju rutera**, potrošnja el.energije se **još više povećava**.
- ✓ Tu su najviše opterećeni SČ koji se nalaze u **blizini odredišta**, jer svi podaci koji se šalju iz perifernih izvorišta **moraju da prođu kroz njih**.
- ✓ Prestanak rada bilo kojeg SČ **izaziva promenu topologije** BSM a samim tim i promenu politike rutiranja u svakom od SČ-ova
- ✓ Zato se pred protokolima rutiranja u BSM postavlja još jedan zadatak, a to je **da mogu samostalno da izvrše promene puteva**

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

6. *Otpornost na greške*

- ✓ SČ predstavljaju **male, nezaštićene i jeftine** elektronske sklopove koji se proizvode za **jednokratnu upotrebu**.
- ✓ Kako se oni **raspoređuju u prirodnim uslovima** gde je njihov rad u mnogome otežan, često se dešava da neki od njih vrlo brzo otkažu svoj rad ili zbog nekih prirodnih sila **budu neupotrebljivi**.
- ✓ Sa druge strane, BSM moraju da budu **otporne na sve te greške** kako njihovo funkcionisanje ne bi zavisilo od otkaza pojedinih SČ-ova.
- ✓ Protokoli rutiranja moraju **da odgovore na sve ove izazove** i da na vreme obaveste pojedine SČ-ove o:
 - a) **smanjivanju snage emitovanja** na pojedinim vezama,
 - b) **o promeni puteva usmeravanja** paketa (na drugim putevima nalaze se SČ-ovi koji imaju više el.energije pa su povoljniji izbor).

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

7. Prilagodljivost

- ✓ Broj SČ-ova u BSM, u zavisnosti od aplikacije, **varira od nekoliko stotina do nekoliko hiljada** pa i više jedinica koje **nisu ravnomerno raspoređene** u regionu koji se nadgleda.
- ✓ Tako može da se desi da na prostorima iste veličine **imamo drastično različiti broj SČ-ova**.
- ✓ Poseban problem koji dosta komplikuje rad BSM, je da **broj aktivnih SČ-ova može jako da varira** tokom rada jedne BSM.
- ✓ Sve to postavlja pred protokole rutiranja jedan ozbiljan zadatak a to je da **njihova efikasnost ne sme da zavisi od broja SČ-ova**.
- ✓ Glavna stvar koju mora da ispuni protokol rutiranja, koji pretenduje da bude efikasan, je **da njegove performanse ne smeju da se menjaju** u zavisnosti od broja SČ-ova.
- ✓ To znači da bilo kakvo **povećanje ili smanjivanje** broja SČ-ova **ne sme mnogo da utiče** na rad protokola rutiranja.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

8. *Prikupljanje podataka*

- ✓ Zbog velikog broja SČ-ova koji su neravnomerno raspoređeni, kao i velikog broja podataka koje oni prikupljaju, **mnogi SČ-ovi mogu da daju potpuno iste informacije.**
- ✓ To prouzrokuje nepotrebno trošenje električne energije, jer te podatke prenosi više SČ-ova, pa je **neophodno da se i to eliminiše.**
- ✓ Poznata su **dva načina** kojima možemo da sprečimo suvišne ili indentične podatke koje SČ prikupljaju:
 1. Da se svakom SČ **definiše opseg parametra** koji on kontroliše. SČ sada šalje samo podatak **koji izlazi iz definisanog opsega** u odnosu na prethodno poslani podatak. Na taj način količina poslatih podataka se **drastično smanjuje.**
 2. Da se ne šalju svi podaci već se podaci iz različitih SČ sakupljaju u jednom SČ, gde se ti **podaci obrađuju u vidu nekih statističkih izveštaja** kao što su: **minimum, maksimum ili srednja vrednost**, pa se sada samo ta vrednost dalje prenosi.

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

9. Različite šeme adresiranja

- ✓ Idealno rešenje za rutiranje podataka i komunikaciju u BSM bi bilo da imamo **potpunu slobodu kod davanja adresa** svim SČ-ima.
- ✓ Unikatno adresiranje svakog SČ u **većini slučajeva nije neophodno**.
- ✓ Postoji **više različitih šema** adresiranja u BSM i to:
 - 1. adresi orijentisano** - klasičan slučaj kada svi SČ **imaju jedinstvenu indentifikaciju** (ID broj), pa protokoli rutiranja koriste taj ID. Svaki SČ poseduje **sopstvenu tabelu** na osnovu koje se prave odluke gde treba usmeriti pojedine potatke (*table-driven routing protocols*)
 - 2. podacima orijentisano** - **nema jedinstvene identifikacije SČ** već se komunikacija odvija na bazi *broadcast* poruke. **Dve vrste poruke: poruka upita** (*Interest packet*) i **poruka odgovora** (*Advertisement packet*). **Upit se prenosi do svih SČ** u mreži a **samo oni koji imaju potvrđan odgovor** na postavljeni upit odgovaraju porukom
 - 3. lokaciji orijentisano** - imamo **prostorno adresiranje više SČ-ova**. Naime, svaki SČ **koristi svoju lokaciju** kao primarno sredstvo kod adresiranja i daljeg usmeravanja podataka. Moguće je i **grupisanje više SČ-ova**, koji se prostorno nalaze na istoj lokaciji od interesa, u jednu **jedinstvenu prostornu adresu** koja zavisi od fizičke lokacije

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

10. Jednostavan programski kod

- ✓ Kako SČ-ovi imaju limitirane resurse neophodno je da algoritam rutiranja **bude što jednostavniji** kako bi programski kod, koji treba da razreši taj problem, zauzeo **što manji deo memorije** u svakom SČ.
- ✓ Tabele rutiranja takođe trebaju **da budu što jednostavnije** i za manji broj SČ, kako bi se i tu uštedela memorija.
- ✓ Jednostavnost protokola rutiranja **treba da smanji i opterećenost CPU** što će opet **doprineti smanjenoj aktivnosti** i uštedi električne energije.
- ✓ Protokol rutiranja treba da se **lako implementira na različitim hardverskim platformama** na kojima se realizuju SČ-ovi,

11. Malo zaglavlje u odnosu na korisne podatke

- ✓ U većini aplikacija, komunikacija u BSM-u se **odvija između dva SČ**.
- ✓ Svaki od SČ-ova pored detekcije nekog događaja, **treba da zadovolji i funkciju rutera** kod preusmeravanja velikog broja paketa
- ✓ U tim paketima najčešće se nalazi **veoma mali broj korisnih podataka**
- ✓ Od velikog je značaja da zaglavlje (*header*) tih paketa **smanji na najmanju moguću meru** kako bi se **smanjila ukupna veličina paketa**

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

12. SČ moraju da imaju ravnopravan tretman

- ✓ Kako se radi o mreži sa velikim brojem senzora koji nadgledaju neki region, **uvek postoji mogućnost da neki od SČ bude zaspostavljen** u komunikaciji.
- ✓ Iz tog razloga informacije koje dolaze **moгу biti pogrešne** jer nisu kompletne, pa samim tim mogu da dovedu do pogrešnih odluka.
- ✓ Zato treba obezbediti da svi SČ-ovi u BSM **будu ravnopravno tretirani**, kako bi se obezbedila **pravovremena i realna informacija** o promenama u nadgledanom regionu.
- ✓ **Izbalansiranost** svih SČ jako je bitna i **sa gledišta potrošnje elektr.energije** koja direktno može da utiče na životni vek neke BSM
- ✓ Idealno bi bilo da ta potrošnja u SČ **bude ujednačena** kako bi svi SČ približno imali isti životni vek

8.2 Karakteristike usmeravanja paketa

13. Saradnja sa susednim slojevima

- ✓ Poželjno je da postoji **međusobna komunikacija između susednih slojeva** tj. sa *data-link* slojem i transportnim slojem.
- ✓ Ako ta komunikacija postoji tada protokol rutiranja **može da obavesti transportni protokol** o nekim problemima koji su se javili u mreži.
- ✓ Na primer da obavesti da je **gubljenje paketa** zbog prekida nekog puta (*route failure*) a ne zbog pojačanog saobraćaja.

14. Pouzdanost informacija

- ✓ Stepen kvaliteta i pouzdanost informacija koje SČ-ovi sakupljaju u mnogome **zavise od primenjene aplikacije**.
- ✓ U nekim aplikacijama informacija mora biti dostavljena u **određenom vremenskom intervalu** od trenutka detektovanja (*real time*)
- ✓ Međutim, nekada je **količina potrošene električne energije relativno mnogo bitnija** od kvaliteta informacije koja je poslata.
- ✓ Potrebno je da **postoji mogućnost smanjivanja kvaliteta, količine i pouzdanosti podataka**, da bi se tako smanjila i potrošnja el. energije
- ✓ Takvi protokoli su poznati pod nazivom **energy-aware routing**

8.3 Parametri protokola usmeravanja

1. Minimalan broj preskoka

- ✓ Najčešća metrika koja se koristi u protokolima rutiranja je **najkraći put (minimalni broj preskoka)**.
- ✓ To znači da protokol pokušava da pronađe rutu od pošiljaoca (*source*) do odredišta (*destination*) koja u ruti **ima najmanji broj SČ** (skokova).
- ✓ U ovoj jednostavnoj tehnici smatra se **da svaka veza (link) između SČ ima istu težinu** pa protokol za rutiranje bira putanju koja ima minimalnu težinu tj. minimalni broj preskoka.
- ✓ Osnovna ideja da se podaci za **najkraće vreme** prenesu od izvora do odredišta uz **najmanje kašnjenje i najmanjim korišćenjem resursa**
- ✓ Međutim, ova metoda **ne uzima u obzir stvarnu dostupnost resursa** na svakom SČ, rezultirajuća ruta je u većini slučajeva **neoptimalna** u smislu **kašnjenja, potrošene energije i izbegavanja zagušenja**.
- ✓ Ipak, ova metrika se koristi u mnogim protokolima rutiranja **zbog svoje jednostavnosti i prilagodljivosti** kod poronalaženju ruta kod dinamičke promene topologije mreže.

8.3 Parametri protokola usmeravanja

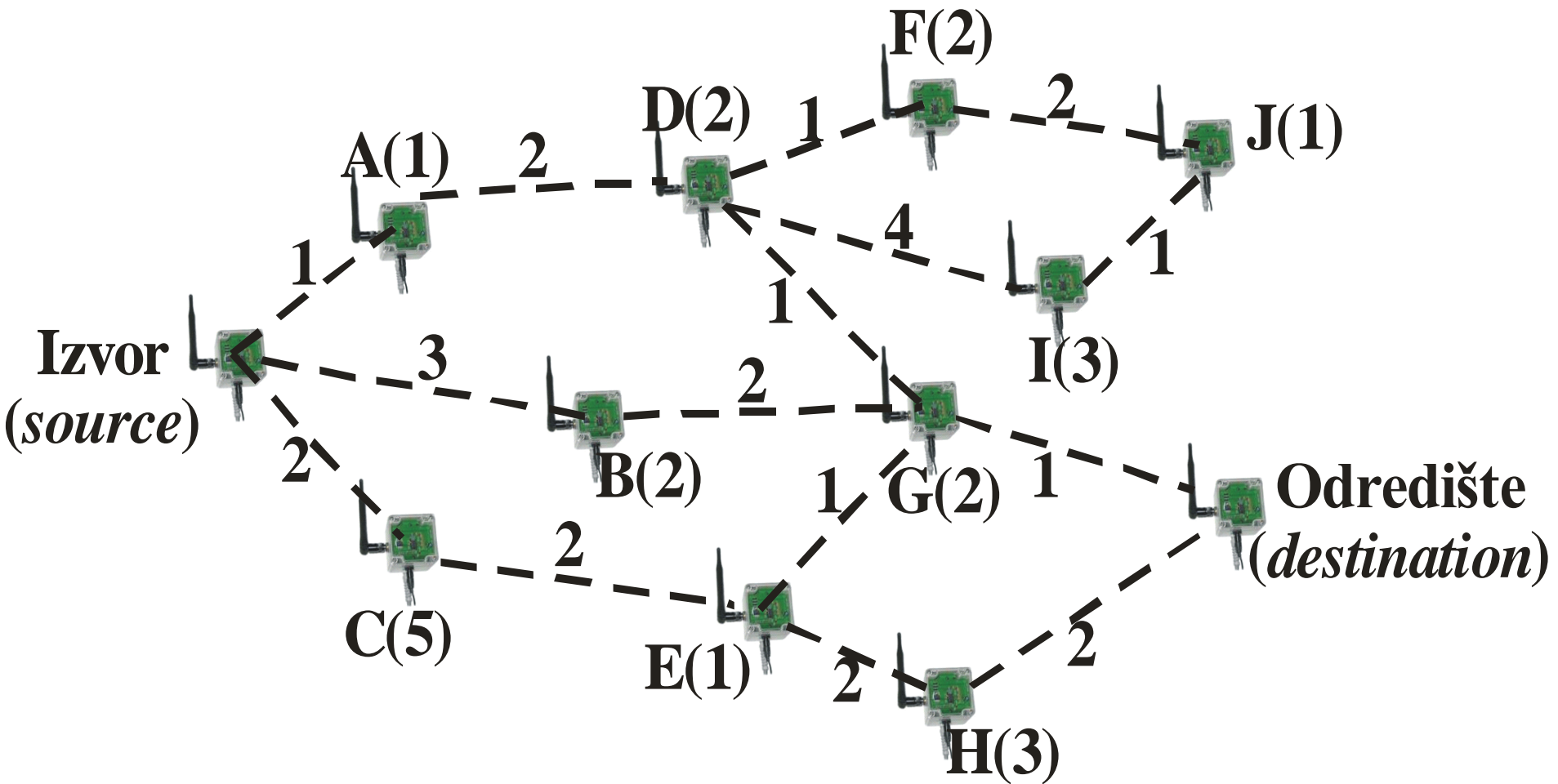
2. Energetska efikasnost

- ✓ Bez sumnje, **najvažniji aspekt protokola** usmeravanja u BSM je njihova energetska efikasnost.
- ✓ Međutim, **ne postoje jedinstvene energetske metrike** koje se mogu primeniti na problem rutiranja.
- ✓ Umesto toga, postoje **različita tumačenja energetske efikasnosti** protokola usmeravanja kao što su:

1. *Minimalna potrošnja energije po paketu*

- To je najprirodniji koncept energetske efikasnosti koji podrazumeva **da se potroši najmanja moguća ukupna količina energije** da bi se paket poslao od jednog SČ (izvor) do drugog SČ (odredište).
- Ukupna količina energija **predstavlja zbir energije koju potroši svaki SČ** duž rute za prijem i prenošenje paketa.
- Prema slici to je ruta preko SČ **A-D-G**, čija je ukupna potrošnja **5**.
- Treba zapaziti da **ova ruta nije najkraća**, tj. nema minimalan broj preskoka (*hops*) jer ruta koja ide preko SČ **B** i **G** ima samo **3 skoka** za razliku od prethodne rute koja ima **4 skoka**.

8.3 Parametri protokola usmeravanja



8.3 Parametri protokola usmeravanja

2. *Maksimalno vreme za particionisanje mreže*

- Podela BSM na manje (particije) vrši se **kada iz nekog razloga zadnji SČ** koji povezuje dva dela mreža **prestane da radi**.
- Kao posledica njegovog prestanka **deo mreže** koji je on povezivao **neće biti dostupan**, čineći sve SČ u tom delu potpuno beskorisnim.
- Zadatak rutinog protokola je da **izvrši preraspodelu SČ** po rutama kako bi se **poštedeli SČ** koji su ključni za održavanje mreže i kako bi omogućili **da svaki SČ bude dostupan preko najmanje jedne rute**.
- Na primer, **minimalan broj SČ**, čije će uklanjanje uzrokovati da mora da se izvrši particionisanje mreže, **može se naći pomoću *max-flow–min-cut* teoreme**.
- Kada protokol usmeravanja **indentifikuje te kritične SČ**, može pokušati **da izbalansira saobraćaj** kroz mrežu i tako spreći da ti SČ **prestanu da rade** zbog nedostatka napajanja.
- Na primer datu na prethodnom slajdu čvor **D** je kritičan SČ, jer ako se isprazni baterija SČ **D**, čvorovi **F, I i J** ne bi bili dostupni tj. bili bi potpuno beskorisni.

8.3 Parametri protokola usmeravanja

3. *Minimalna varijacija nivoa snage SČ*

- Kod ovog kriterijuma svi SČ unutar BSM **smatraju se jednako važnima** i težnja je da svi oni imaju **ujednačenu potrošnju energije**.
- Cilj ovakvog pristupa može biti da se **maksimalno poveća životni vek** celokupne BSM.
- Na primer, umesto nekih SČ koji imaju manje energije, pa postoji mogućnost da ranije prestanu sa radom i tako onemoguće rad dela mreže, teži se **da se više aktiviraju SČ koji imaju više energije**.
- Težnja ovih protokola je **izbalansirana potrošnja energije u svim SČ** koji pripadaju toj mreži.
- U idealnim, ali praktično nemogućim, slučajevima trebalo **bi da svi SČ prestanu istovremeno sa radom**.

8.3 Parametri protokola usmeravanja

4. *Maksimalni (prosečni) energetska kapacitet*

- Ovde se više vodi računa o količini energije kojom raspolažu svi SČ u ruti i na bazi toga se biraju SČ koji će se naći u toj ruti.
- Bez obzira da li je ta ruta sa gledišta potrošnje energije veća od neke druge rute, bira se ona ruta koja u sebi **sadrži SČ-ove koji imaju veću količinu energije** u odnosu na druge rute.
- Protokol koji koristi ovaj kriterijum tada bi **favorizovao rute koje imaju najveći ukupni energetska kapacitet** od izvora do destinacije.
- Na prethodnom slajdu brojevi u zagradama ispod SČ ukazuju na **preostali kapacitet energije u njima**.
- Na prethodnom slajdu protokol rutiranja može odabrati putanju **C-E-G**, koja ima najveći ukupan kapacitet energije a to je **8**.
- Protokol rutiranja koji koristi ovu **metriku mora biti pažljivo dizajniran** da bi izbegao zamku **izbora nepotrebno dugih puteva** kako biste maksimizirali ukupan iznos energetska kapacitet.
- Ovaj problem može se izbegnuti **jednom varijacijom ove metrike** a to je **maksimiziranjem prosečnih energetska kapaciteta**.

8.3 Parametri protokola usmeravanja

5. *Maksimalni minimalni kapacitet energije*

- Umesto maksimiziranja energetske kapaciteta celog puta, kod ovih protokola cilj primarnog usmeravanja mogao bi biti izbor rute sa najvećim minimalnim energetske kapacitetom.
- Ova tehnika takođe podržava rute u kojima se nalaze SČ sa većim rezervama energije, ali takođe štiti i SČ koji imaju manje kapacitete
- Na prethodnom slajdu to bi bila ruta **B-G**, pošto je minimum **2**, što je veće od minimalnih kapaciteta svih ostalih SČ u drugim rutama.

➤ Ove različite formulacije energetske efikasnosti dovode do veoma različitih implementacija protokola usmeravanja koji se razlikuju u odabranim rutama kao i u postignutoj energetske efikasnosti.

➤ Tako na primer, da bi se utvrdila minimalna potrošnja energije po paketu, utrošak energije za prijem i slanje može se predstaviti u funkciji od veličine paketa koji se prima i šalje.

➤ Na drugoj strani, energetske kapacitete se vremenom menjaju i zato protokoli rutiranja koristeći princip merenja kapaciteta baterije, moraju sa vremena na vreme dobijati ove informacije od drugih SČ u BSM

8.3 Parametri protokola usmeravanja

3. Kvalitet usluge (QoS)

- ✓ Izraz "kvalitet usluga" (QoS) odnosi se na **definisanje određenih nivoa performansi u mrežama**, uključujući **kašnjenje (*latency*)** u prenosu paketa od izvorišta do odredišta (***end-to-end***), **propusnost (*throughput*)**, **džiter** (varijacija u latentnosti) i **gubitak paketa**
- ✓ Koji **nivo performansi** će biti izabran tj. zadovoljavajući za našu BSM u najvećoj meri **zavisi od vrste aplikacija**.
- ✓ BSM koje trebaju da **detektuju neki događaj** ili da prate neki objekat zahtevaće **nizak nivo *end-to-end* kašnjenja** u prenosu paketa
- ✓ Sa druge strane BSM koje imaju **jako intezivan saobraćaj** (npr. multimedijalne senzorske mreže) mogu zahtevati **visoku propusnost**.
- ✓ Očekivano vreme prenosa (***Expected Transmission Time***) je uobičajena metrika za izražavanje kašnjenja i definisana je kao:

$$ETT = ETT \times S/B$$

gde je **S prosečna veličina paketa** i **B je propusni opseg linka**. Ovo vreme predstavlja očekivano vreme koje je potrebno za uspešno prenošenje paketa na MAC nivou.

8.3 Parametri protokola usmeravanja

4. Robustnost

- ✓ Mnoge BSM aplikacije imaju zahtev da koriste puteve koji su **stabilni i pouzdani u dužem vremenskom periodu vremena**.
- ✓ Prema tome, SČ treba da **izmeri ili proceni kvalitet veze** u odnosu na sve svoje susedne SČ, a zatim da **izabere najpovoljniji susedni SČ**.
- ✓ Na taj način **povećava se verovatnoća uspešnosti prenosa**.
- ✓ Međutim, **ova metrika retko se koristi sama**.
- ✓ Protokol rutiranja mogao bi da identifikuje nekoliko ruta za prenos paketa koje imaju **minimalni broj preskoka** (*hops*), a zatim da izaberite onu rutu koja **ima najveći ili prosečni kvalitet veze** (*link*) duž cele rute.
- ✓ U mrežama sa mobilnim čvorovima, protokol rutiranja takođe može **koristiti stabilnosti veze** (*link stability*) kao parameter.
- ✓ Taj parameter pokazuje koliko je verovatno da će **link u budućnosti biti dostupan**.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

1. Plavljenje

- Stara i jednostavna strategija **širenja informacija** u mreži
- Izvorni SČ **emituje** (*broadcast*) pakete **svim svojim susednim SČ**, koji će **ponoviti ovaj proces** tako što će ponovo emitovati te pakete svojim susedima, i tako dalje sve dok svi SČ u mreži ne dobiju pakete ili se ne dostigne **maksimalan broj preskoka** koji je specificiran u paketu.
- Plavljenje je **reaktivna tehnika i ne zahteva skupo održavanje** mrežne topologije, kao i složene algoritme za rutiranje.
- Sa ovom tehnikom, **ako postoji put do odredišta**, a komunikacija je bez gubitaka, **garantuje se da će odredište primiti podatke**.
- Glavna prednost plavljenja je njena **jednostavnost**.
- Glavna mana je to što to **prouzrokuje povećani saobraćaj**.
- Zato se moraju preduzeti neke mere kako bi se osiguralo da paketi ne prolaze kroz mrežu nekontrolisano:
 - 1. maksimalan broj preskoka** da se ograniči broj prosleđivanja paketa
 - 2. sekvencijalni broj** (*sequence number*) u paketima (u kombinaciji sa adresom izvora) koristi se za jedinstveno identifikovanje paketa.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

➤ Plavljenje se suočava sa mnogim dodatnim izazovima:

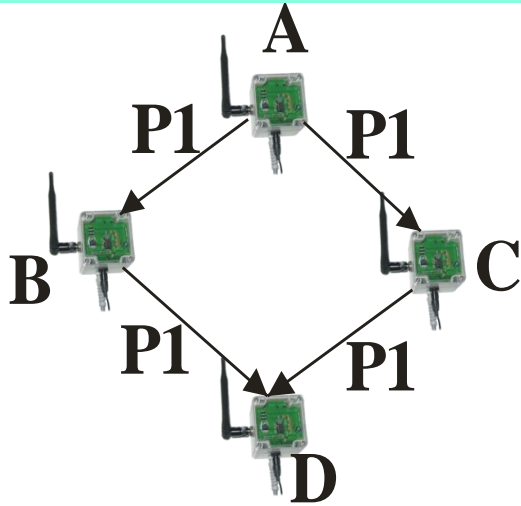
1. Implozija (Implosion): SČ koji primi paket **upućuje ovaj paket svim susednim SČ** koristeći **broadcast** emitovanje, bez obzira da li su ovi susedni SČ ranije već primili ovaj paket od svojih suseda. To dovodi **do gubitka resursa** zbog nepotrebnih operacija prenosa i prijema istog paketa.

2. Preklapanje (Overlap): SČ se često koriste za praćenje geografskih područja koja se preklapaju, Zato, SČ **prikupljaju iste podatke** koji se višestruko prosleđuju. Slično kao kod implozije, to takođe vodi do **bespotrebnog trošenja resursa** jer se iste informacije više puta šalju istom primaocu. Problem preklapanja je **teže rešavati**, jer rešenje za ovaj problem mora ne samo da razmatra **topologiju mreže senzora**, već i da **proverava sakupljene informacije** koje se dobijaju od SČ.

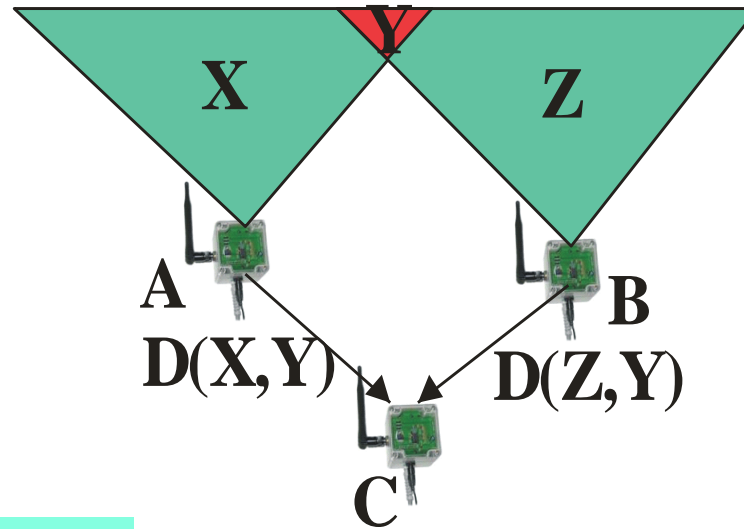
3. Zaslepljenost resursa (Resource Blindness): jednostavnost protokola takođe znači da tehnika plavljenja **nije svesna ograničenja resursa** u pojedinim SČ. Kao posledica toga, ova tehnika nije sposobna da **prilagodi svoje ponašanje** na osnovu količine energije u SČ.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

Implozija (Implosion)



Preklapanje (Overlap)



- ✓ SČ A *broadcast*-uje paket P1 za oba susedna SČ, B i C.
- ✓ B prosleđuje ovaj paket svom susednom SČ D i, konačno, C takođe prosleđuje taj paket u SČ D.
- ✓ Čak i ako D odbaci duplirani paket, energija je potrošena na prenos paketa od C do D.

- ✓ Ovde, SČ A i B dele isti region označen kao Y.
- ✓ Zbog toga, ovi SČ prikupljaju podatke koji se preklapaju i jedan i drugi prosleđuju svoje prikupljene informacije SČ C.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

2. Brbljanje

- ✓ Modifikacijom tehnike plavljenja dobija se tehnika **brbljanja** (*gossiping*), gde SČ ne mora uvek da emituje podatke.
- ✓ Umesto toga, koristi se **probabilistički pristup**, gde SČ odlučuje da prosledi podatke svojim susednim SČ sa **verovatnoćom p** a odbacuje prosleđivanje podataka sa verovatnoćom **$1 - p$** .
- ✓ Zbog ovakvog načina **smanjuje se količina saobraćaja** i postiže se smanjivanje potrošnje energije u SČ.
- ✓ Međutim, ovo **rešava samo problem implozije** kod plavljenja, ali ne i preklapanje i problema zaslepljenosti resursa.
- ✓ Moguće je da **prosleđivanje podataka ne uspe** kada postoji samo **jedan susedni SČ koji odluči da ne prosleđuje** podatke ovom čvoru.
- ✓ Ako se izabere **velika verovatnoća** za prosleđivanje, posledica je da će **količina poruka za prosleđivanje biti velika** (verovatnoća 1 odgovara plavljenju), a time se **ograničavaju prednosti tehnike brbljanja**.
- ✓ Ako je verovatnoća niska, broj dupliranih poruka se **značajno smanjuje** ali će se zato **povećati verovatnoća neuspešnih prenetih podataka**.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

3. Data-centric protokoli

a) SPIN 1

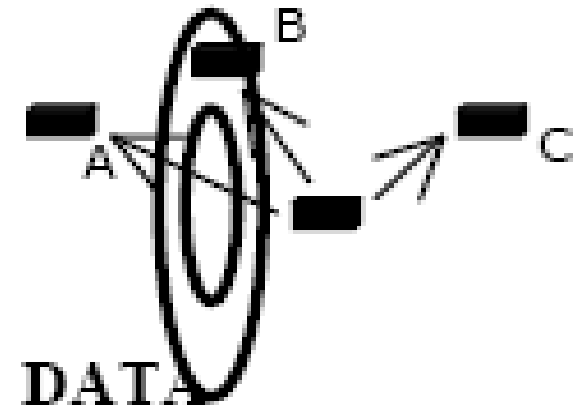
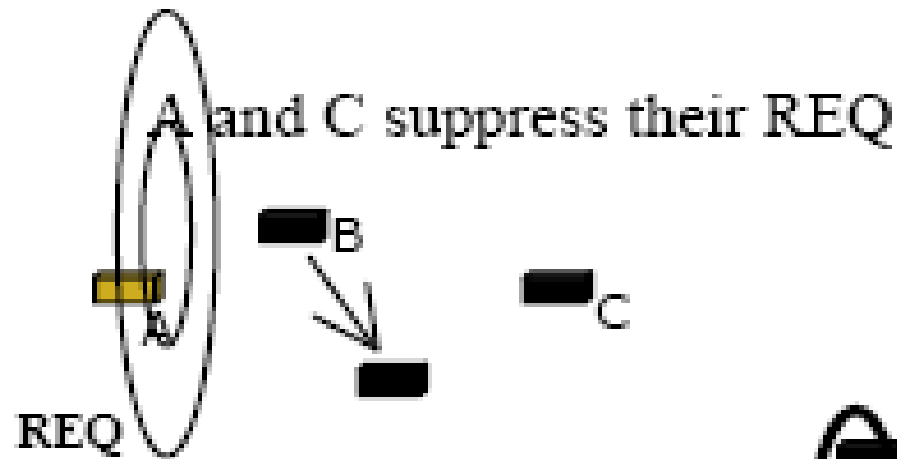
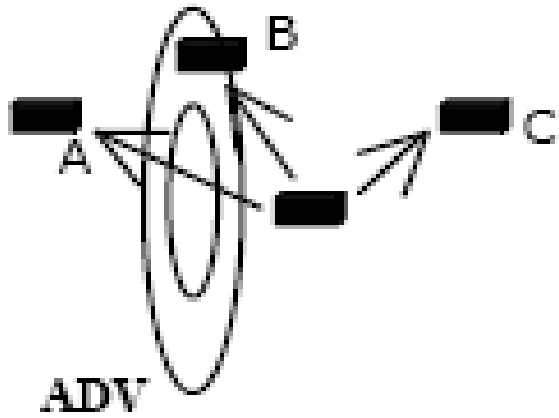
- Familija adaptivnih protokola nazvanih *SPIN* (*Sensor Protocol for Information via Negotiation*) **prenosi sve podatke** od svakog SČ ka svakom SČ u mreži
- Ovo omogućava korisniku **da traži podatke od svakog SČ**, kao i da **trenutno dobije željenu informaciju** od bilo kog SČ.
- Protokol koristi osobinu da bliski čvorovi **poseduju slične podatke** pa zato distribuiraju samo podatke koje **ostali čvorovi ne poseduju**.
- Protokol radi **proaktivno** i distribuira informaciju po celoj mreži, čak i u slučaju **kada korisnik ne zahteva podatke**.
- Za razmenu podataka između SČ *SPIN* koristi **tri tipa poruka**, a to su:
 - 1. ADV poruke** - omogućavaju SČ da oglašava pojedine meta-podatke,
 - 2. REQ poruke** - vrše upis specifičnih podataka,
 - 3. DATA poruke** - sadrže aktuelne podatke
- Svaki SČ ima **ugrađen menadžer-resursa** koji čuva trag o:
 - a. izračunavanjima** koja obavlja resurs
 - b. prekidu aktivnosti** radi uštede energije

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

b) SPIN 2

- U odnosu na *SPIN 1* protokol *SPIN 2* ima implementirano **energetsko-konzervativnu** heuristiku.
- To znači da čvor inicira protokol **samo ako ima dovoljno energije** da završi sa prenosom.
- Ako je nivo **raspoložive energije SČ nizak**, tada čvor može i dalje da prima poruke, ali **ne može da predaje/prima** poruke tipa *DATA*.
- **Glavna prednost** *SPIN* protokola je ta što su **topološke promene lokalizovane**.
- To znači da svaki čvor treba **da zna samo svoje *single-hop* susede**.
- **Glavni problem** koji se javlja kod *SPIN*-a je sledeći:
 - Ako su čvorovi **koji se interesuju za podatke** udaljeni u odnosu na izvorišni čvor, a čvorove **koji su locirani između izvorišta i odredišta** ne interesuju ti podaci, tada se **zahtevani podaci ne mogu dostaviti odredištu**.

8.4 Tehnike usmeravanja podataka



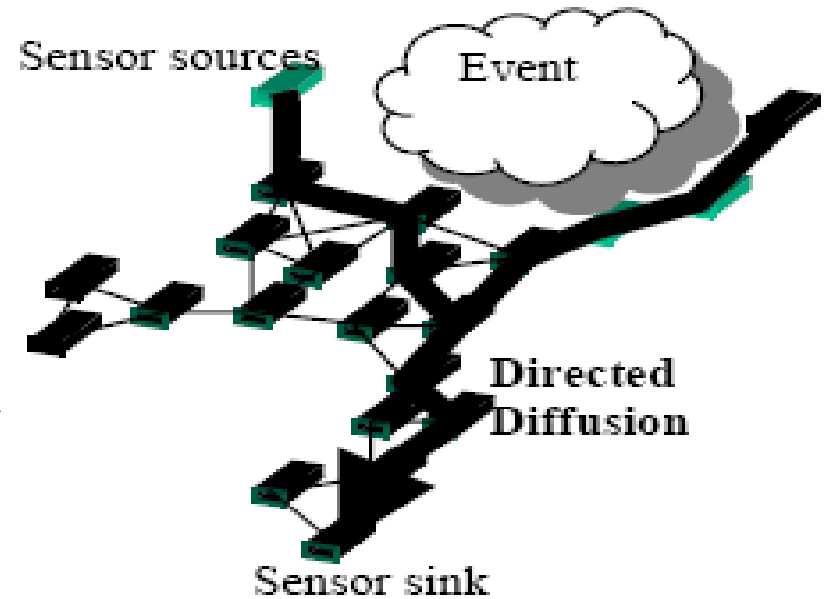
8.4 Tehnike usmeravanja podataka

4. Usmerena difuzija

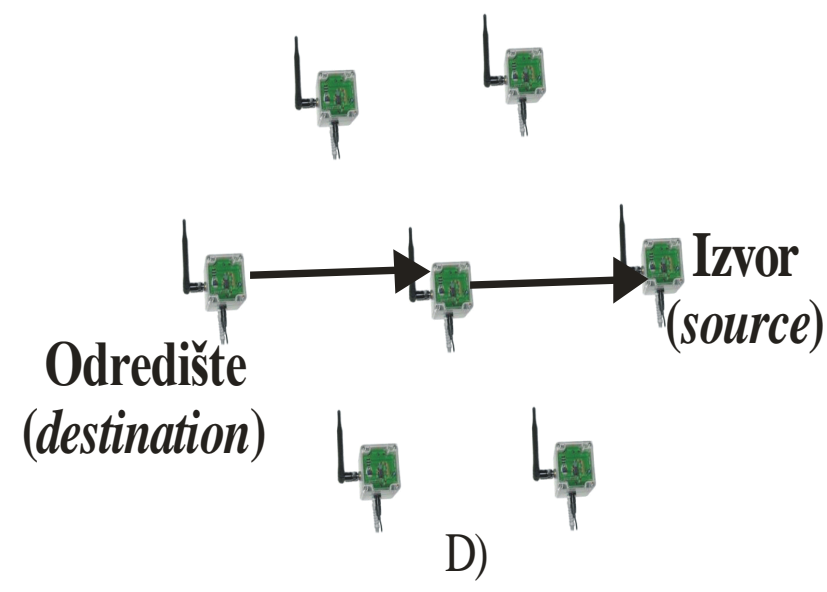
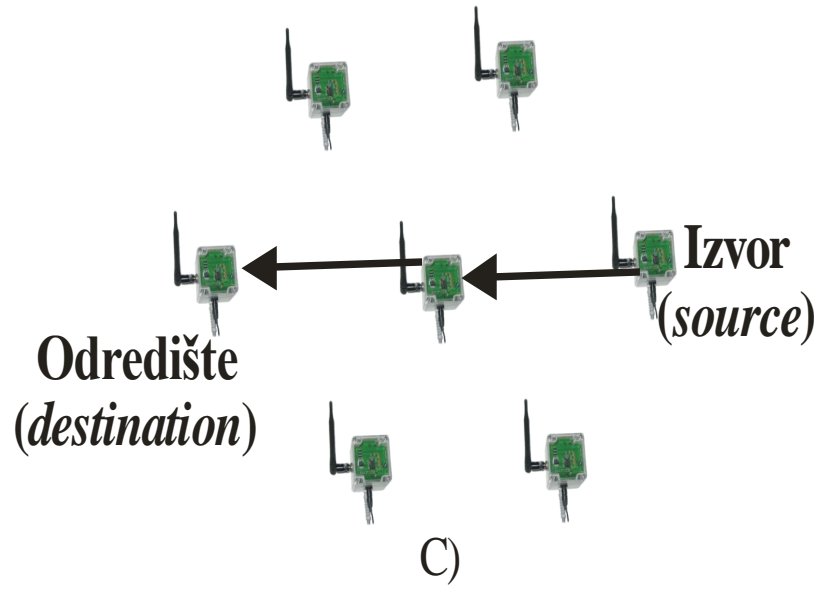
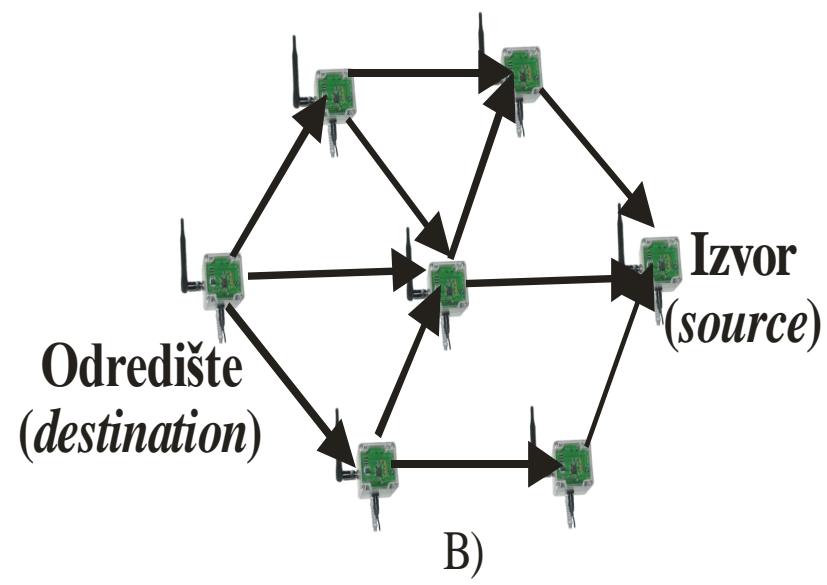
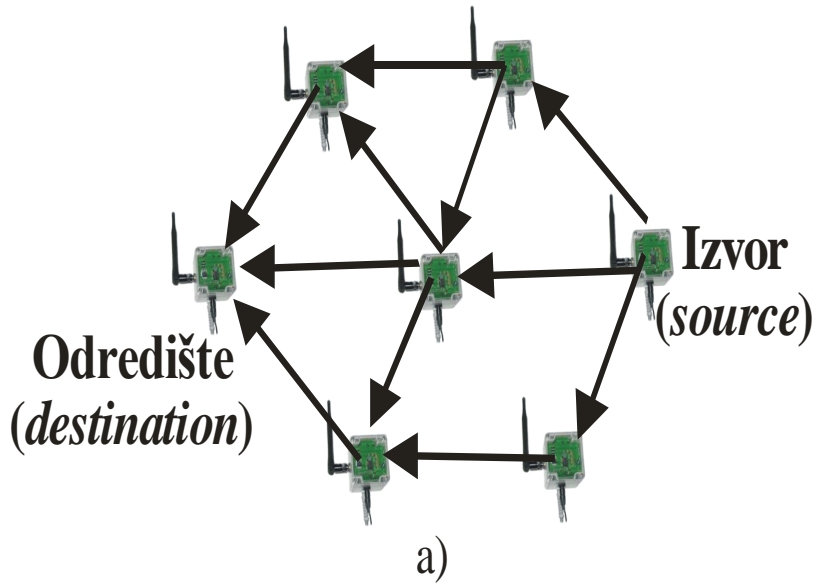
- SPIN obezbeđuje **efektivne mehanizme** koji omogućuju svakom SČ da distribuira svoje podatke zainteresovanim SČ.
- Ova vrsta ruta ne može uvek biti dobra i efikasna u slučajevima kada **sink zahteva neki podatak od određenog SČ**.
- Kada god neki region zahteva nadgledanje nekog događaja kakav je recimo širenje štetnog gasa, kretanje vozila, seizmičkih vibracija, i dr., tada se **koristi tehnika usmerene difuzije**.
- To znači da kada se **desi neki događaj**, podatak se prihvata i procesira od strane SČ, a **podaci se prosleđuju** prema odredištu koje to interesuje
- Protokoli usmerene difuzije su upravo razvijeni da reše ovaj problem
- Usmerena difuzija se sastoji od **četiri faze** da bi se uspostavila ruta između sink-a i SČ od kojih se zahteva informacija:
 1. **emitovanje upita** (*interest*),
 2. **uspostavljanje gradijenta**,
 3. **izbor najpovoljnije rute**
 4. **prenos podataka**

8.4 Tehnike usmeravanja podataka

- Pri tome se koristi model **upit-odgovor** (*query-response model*).
- Sink emituje upit (*interest*) svim SČ
- Tokom svoje propagacije upit dolazi do SČ (*source*) koji može da odgovori
- Nakon ovoga SČ se aktivira, prihvata podatak sa senzora i procesira ga.
- Kada je podatak dostupan izvorište predaje podatak nazad preko pojačanog puta (debeli linija).
- Sink izražava interes, I , koristeći atributne vrednosti.
- Senzori tipa izvorište (*source*) koji mogu da pruže uslugu I , odazivaju se podacima.
- Upit se definiše korišćenjem atributa - parovi vrednosti.
- Raspitivač (*sink*) emituje svima izviđački interes, i_1 , sa ciljem da otkrije (sazna) puteve između *source*-a i *sink*-a.
- Susedi ažuriraju keš-interesa i prosleđuju i_1 .



8.4 Tehnike usmeravanja podataka



8.5 Podela protokola usmeravanja

- Osnovni zadatak protokola rutiranja je da **izvrše efikasno usmeravanje prikupljenih podataka** od izvorišta (SČ), do kontrolnog, odredišnog računara (*sink*).
- Normalno, sve to treba da se izvrši u **što kraćem vremenskom intervalu** i sa najmanjom mogućom potrošnjom električne energije.
- Kako su dometi u BSM vrlo mali a gustina SČ-ova velika, to se **proces pronalaženja optimalnih ruta dosta komplikuje**.
- Navešćemo **tri bitna detalja** koji utiču na nemogućnost efikasnog korišćenja standardnih protokola rutiranja u BSM:
 - 1. implozija** (*implosion*) – pojava gde više SČ-ova imaju isti podatak koji trebaju da proslede.
 - 2. preklapanje** (*overlap*) – to je pojava kada dva ili više SČ nadgledaju isti region, tj. dolazi do preklapanja.
 - 3. upravljanje resursima** – za razliku od standardnih protokola rutiranja, oni se ovde zasnivaju na raspoloživosti i veličini resursa kojim pojedini SČ-ovi raspolažu. To je primarni podatak na osnovu koga se donosi odluka o izboru odgovarajuće rute.

8.5 Podela protokola usmeravanja

- Kako u literaturi postoji veliki broj radova koji se bavi rešavanjem problema rutiranja u BSM, **postoji veliki broj predloženih rešenja**.
- Mehanizam rutiranja u tim rešenjima zasnivao se **na zahtevima koje je postavljala aplikacija** ili je diktirala arhitektura mreže.
- Teško je dati **neku sveopštu podelu** svih protokola rutiranja u BSM
- Postoji **veliki broj kriterijuma** na osnovu kojih možemo izvršiti podelu.
- **Dva kriterijuma** za koje se smatra da su najvažnija sa gledišta rutiranja podataka su: 1. **mrežna arhitektura BSM**
2. **način funkcionisanja protokola**.
- Sa gledišta **mrežne arhitekture** možemo ih podeliti na **tri velike grupe**:
1. Ravne (Flat) - svi čvorovi u mreži su **ravnopravni** i podaci se prenose od čvora do čvora (multi hop). Tipični predstavnici ovih protokola su: DD (*Directed Diffusion*), SPIN (*Sensor Protocols for Information via Negotiation*), AOVD (*Ad-hoc On-demand Distance Vector*), SAR (*Sequential Assigment Routing*) [102].

8.5 Podela protokola usmeravanja

- 2. Hijerahijske** (*Hierarchical*) – grupišu deo SČ-ova u manje celine u okviru nadgledanog regiona - **klaster**, pa su prema njima često ovi protokoli u literaturi poznati kao **klaster orijentisani protokoli**. U okviru svakog klastera **postoji jedan glavni čvor** - bazni(*master*) čvor, sa kojim komuniciraju svi ostali SČ-ovi iz tog klastera. Tipični predstavnici su: LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*) TEEN (*Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol*) PEGAGIS (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*)
- 3. Prostorne** (*Location*) - baziraju svoje rutiranje **na unapred poznatoj poziciji SČ-a**. Ukoliko je poznata pozicija svakog SČ-a moguće je znatno **smanjiti vreme pristupa** svakom čvoru kao i **unapred izračunati utrošak el.energije** kod prenosa paketa. Izračunata potrošnja energije na svakoj putanji pomaže da se odredi optimalni put sa gledišta potrošnje el.energije. Tipični predstavnici ovih protokola su: MENC (*Minimum Energy Communication Network*), SMENC (*Small Minimum Energy Communication Network*) i GAF (*Geography*)

8.5 Podela protokola usmeravanja

➤ Po drugom kriterijumu, **kako je protokol organizovan**, tj. kako on funkcioniše, protokoli rutiranja se dele u sledeće **četiri grupe**:

1. Protokoli odbijanja podataka (*Negotiation*) - usmeravanje podataka vrši se **na osnovu unapred poznatih uslova**. SČ koji poseduje neki novi podatak, putem specijalnog meta-podataka koji opisuje taj podatak, **objavljuje tu činjenicu** svim SČ-ima u mreži. SČ-ovi koji su zainteresovani za taj podatak tj. žele da ga prime, vraćaju potvrđan odgovor, u suprotnome se ne oglašavaju. Tek kada izvorišni SČ primi taj odgovor šalje se stvarni podatak.

2. Protokoli koji omogućuju višestruke putanje (*multypath*) - za neki protokol rutiranja kažemo da je **prilagodljiv** ako može vrlo jednostavno **da pronade alternativni put**. Održavanje alternativnih puteva zahteva **periodično** da se neke od poruka šalju tim putevima. Normalno da to zahteva dodatno trošenje električne energije u BSM-i, jer su ti putevi duži a i obično je više SČ-ova na njima. Međutim pokazalo se da je to **bolje sa gledišta energetske efikasnosti**, nego kada otkaže neki SČ pa treba **iznova pokrenuti inicijalni proces** kako bi se pronašao novi put

8.5 Podela protokola usmeravanja

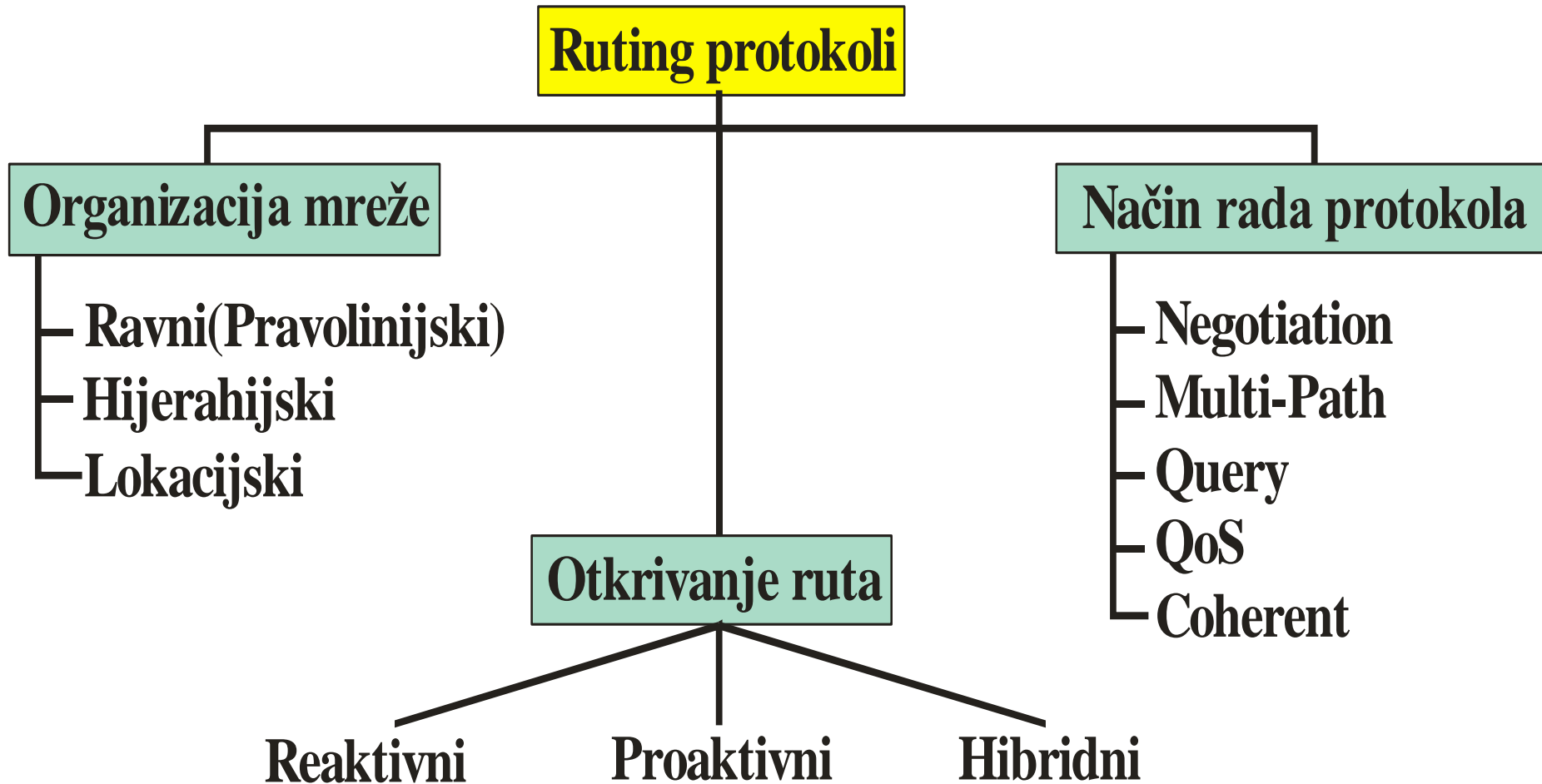
3. Protokli zahteva (*query*) - kreiraju puteve u odnosu na vrstu podataka koje SČ-ovi sakupljaju. Pojedini SČ-ovi (*sink*) periodično emituju **zahteve-agente** za određenim podacima. Ostali SČ beleže te zahteve i kada **detektuju traženi podatak** prosleđuju ga *sink*-u. Prednost ovog načina je da kada stigne traženi podatak do SČ-a, on već, na osnovu tog podatka, **zna povratnu putanju** kojom treba dalje proslediti taj podatak prema SČ-u koji je emitovao zahtev-agent za tim podatkom.

4. Protokoli za grupisanje podataka (*Data aggregation/coherent/cooperative*) - mnogi SČ-ovi prikupljaju **iste ili slične podatke**. Na taj način, generiše se **veliki broj paketa** koji nose istu informaciju, pa potpuno nepotrebno **povećavaju intenzitet** saobraćaja u mreži. To utiče na **pogoršanje preformansi** jedne mreže, pa se nameće zadatak da se ti nepotrebni podaci koji opterećuju mrežu izbace. Zato se kod ovih protokola svi slični podaci, koji dolaze sa različitih SČ-a, **grupišu u jedinstveni paket koji se dalje prosleđuje**. Normalno, tu se sada postavljaju pitanja kada, **gde i kako izvršiti grupisanje podataka i kako rasporediti SČ-ove** da bi se dobile optimalne performanse jedne BSM, na koja ovi protokoli treba da daju odgovore.

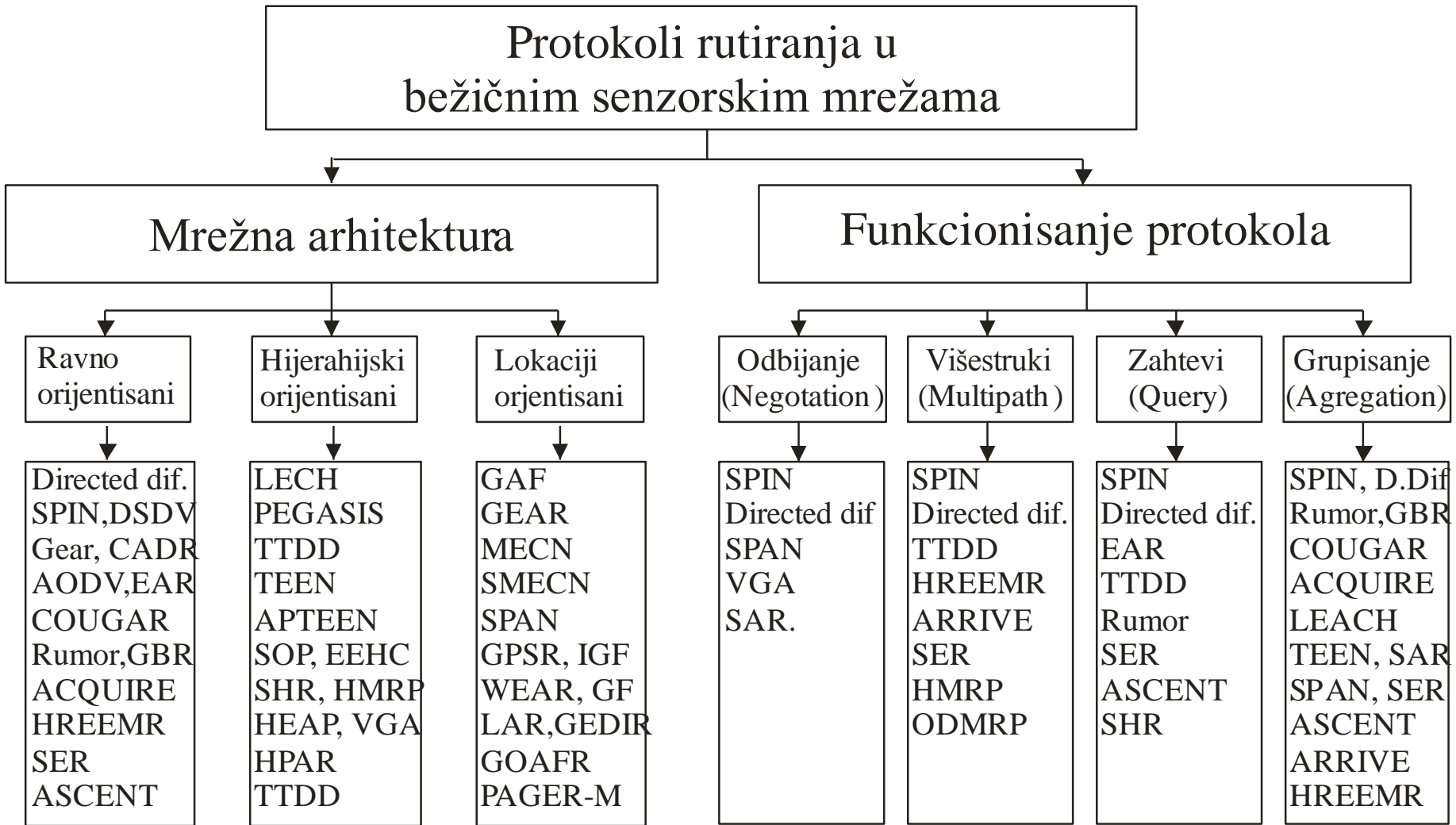
8.5 Podela protokola usmeravanja

- Postoje i mnogi **drugi kriterijumi** na osnovu kojih delimo protokole:
- 1. statički i dinamički SČ-ovi** – one koji **podržavaju mobilnost** i one koji to ne podržavaju.
 - 2. proaktivne** (*proactive*), **reaktivne** (*reactive*) i **mešovite** - Kod proaktivnih protokola rutiranje se vrši **po unapred određenim putanjama** koje se pamte u tabelama koje su smeštene u svakom SČ-u, dok se kod reaktivnih protokola rutiranje vrši **prema trenutnoj potrebi**
 - 3. smer kretanja podataka** (*downstream/upstream*) - po ovom parametru se protokoli rutiranja u BSM najviše razlikuju od standardnih protokola rutiranja. Intenzitet saobraćaja u *downstream* smeru (od *sink*-a ka SČ) znatno manji nego u *upstream* (od SČ ka *sink*)
 - 4. zahtevni i nezahtevni** (*stateful/stateless*) - da li su kod odluke za usmeravanje paketa potrebni još neki dodatni resursi ili ne. *Stateful* protokoli zahtevaju da se zna geografska pozicija susednih SČ
 - 5. stepen pouzdanosti** (QoS) - nova grupa protokola koji zasnivaju svoje rutiranje na tzv. kvalitetu uspostavljanja veze. Analiziraju kašnjenje, prolaznost, širinu opsega ili količinu el. energije svakog SČ.

8.5 Podela protokola usmeravanja



8.5 Podela protokola usmeravanja



8.6 Pravci daljeg razvoja protokola

- Iz do sada izloženog, sasvim je jasno da je razvoj jednog efikasnog protokola rutiranja za BSM, **jako izazovan ali i veoma težak zadatak**.
- Zbog velikog broja faktora koji utiču na usmeravanje podataka teško je napraviti protokol koji će **optimalno zadovoljiti** sve te uslove.
- Razvijeni su **mnogi protokoli rutiranja** koji su ovde predstavljeni.
- Međutim, svi oni sa jedne strane **davali su prednost nekim faktorima**, ali su zato zanemarivali druge, ili su pak davali neko **kompromisno**, ali ne i **optimalno rešenje**.
- I dalje je ovo područje otvoreno, jer se još uvek ni jedan od predloženih protokola **nije izborio za primat na ovom području**.
- **Dalji razvoj protokola** rutiranja moraće da se pozabavi nekim novim elementima koji do sada nisu mnogo istraženi i to:
 - 1. IP adresiranje** - Bilo bi jako dobro kada bi bilo kom SČ-u moglo da se pristupi putem Interneta (*Internet of Things*).
 - 2. Rad u realnom vremenu (real time)** - Svaka promena u prirodnoj sredini predstavlja u neku ruku **real time** događaj, čije detektovanje može da bude jako osetljivo na vremensko kašnjenje koje se javlja BSM

8.6 Pravci daljeg razvoja protokola

- 3. Multimedijalni podaci** – u većini dosadašnjih BSM aplikacija SČ su prikupljali **skalarne podatke**. Sa napretkom tehnologija, senzori su postajali **sve složeniji** i mogli su da prikupljaju i multimedijalne podatke: **zvuk i sliku**, pa je došlo do **povećanja obima podataka**.
- 4. Klijent/server model** - Internet arhitektura **zasniva se na klijent/server modelu**. Tu postoji pasivan server koji očekuje upite na koje daje odgovore. Klijent je aktivna komponenta koji putem RPC (*Remote Procedure Call*) postavlja upite. Bilo bi **jako poželjno kada bi se ova logika primenila na SČ-ove** u BSM-a.
- 5. Ravnomerno opterećenje** (*Congestion/Load Balancing*) - omogućava da se paketi šalju **višestukim različitim putevima**. Na taj način vrši se **ravnomerno opterećenje** svih SČ-ova u BSM-i, **izbegava se pojava uskih grla** tj. **zagušenja saobraćaja**, **smanjuje se broj grešaka** i omogućuje se da **potrošnja energije u svim SČ-ima bude ravnomerna**.
- 6. Sive zone** - Eksperimentisanje sa slanjem podataka u BSM u realnim uslovima dovelo je do pojave tzv. **sivih zona**. Naime, studije su pokazale da neki SČ-ovi **ispavno primaju preko 90%** poslatih paketa, a da susedi tog istog SČ primaju pakete sa **50% uspešnosti ???**.

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?