

# VII Karakteristike Data Link sloja

- 1. Karakteristike Data-Link sloja**
- 2. Karakteristike MAC podsloja**
- 3. Protokoli zasnovani na vremenskom rasporedu**
  - 3.1 TRAMA protokol
- 4. Protokoli sa zajedničkom aktivnom periodom**
  - 4.1 S-MAC protokol
- 5. Protokoli sa semplovanjem preambule**
- 6. Hibridni MAC protokoli**

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

- Priroda bežičnog kanala ima **broadcast** prenosnu karakteristiku
- Bežični prenos je **half-duplex** prenos što znači da će svi susedni SČ morati **da dele bežični kanal** kako bi izbegli moguću koliziju paketa.
- Protokoli za kontrolu pristupa medijumu (MAC protokoli) su **prvenstveno odgovorni** za regulisanje pristupa zajedničkom medijumu.
- Pošto se komunikacija obavlja kroz isti bežični kanal, dizajn protokola za kontrolu pristupa je **od presudne važnost** kod projektovanja BSM
- MAC protokoli obezbeđuju komunikaciju na bežičnom medijumu tako da se **uspostave komunikacione veze** između svih SČ u mreži.
- Pristup kanalu treba uskladiti tako da se kolizije koje se javljaju, **minimiziraju ili potpuno eliminišu**.
- Pored tradicionalnih zahteva MAC-a u bežičnim mrežama, **dodatni izazovi za projektovanje** ovih protokola su mnogobrojna ograničenja:
  1. **skromni resursi** svakog SČ,
  2. **distribuirana priroda** BSM,
  3. **nepredvidljivi uslovi** u kojima se prenos odvija,
  4. **različiti zahtevi** BSM aplikacija.

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

- Izbor MAC protokola ima direktan uticaj na **pouzdanost i efikasnost** zbog jako **otežanih uslova** i problema **skrivenog i izloženog terminala**.
- Drugi dodatni problem uključuje **signal fading**, istovremeni pristup više SČ-a i **asimetrične** (jednosmerne) veze.
- Pošto je **energetska efikasnost primarni cilj svih BSM aplikacija**, ona takođe utiče na dizajn MAC protokola.
- Energija se ne koristi samo za **predaju i prijem paketa**, već i za **kontrolu stanja/aktivnosti medijuma** (*idle listening*).
- **Dodatna potrošnja energije** javlja se i zbog dodatnih slanja istih paketa:
  1. **retransmisija paketa** kada dođe do kolizije
  2. prenosa **dodatnih bitova** u paketu (**kontrolni podaci**)
  3. emitovanje podataka **većom snagom** nego što je potrebno
- MAC protokoli u BSM daju **prvenstvo energetskej efikasnosti**, u odnosu na **povećanje kašnjenja**,  **smanjivanju propusnosti** ili **pravičnosti**
- Ovaj nivo, zbog složenosti zadataka koje treba da obavi, deli se na:
  1. **LLC** (*Logical Link Control*) podnivo
  2. **MAC** (*Media Access Control*) podnivo.

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

- Osnovni problemi koji se rešavaju na ovom nivou se svode na:
  1. formiranje okvira (*framing*),
  2. kreiranje politike pristupa medijumu za slanje/prijem podataka (*access control*),
  3. fizičko adresiranje (*physical addressing*),
  4. multipleksiranje podataka koji se šalju (*multiplexing data streams*),
  5. upravljanje protokom podataka (*flow control*),
  6. kontrola greške (*error control*),
  7. detekcija podataka u okviru,
  8. ponovno slanje nekorekno primljenog paketa usled kolizija
  9. planiranje i upravljanje veličinom bafera za prijem podataka.
- Sve ove operacije mogu nepotrebno da potroše veliki deo energije pa su zato, u zavisnosti od podnivoa u kojima ih primenjujemo, razvijene mnoge metode koje se primenjuju sa ciljem da se uštedi energija.

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

➤ Na **LLC** podnivou to su:

- 1. ARQ** (*Automatic Repeat Request*) – očekuje se da će paket doći do odredišta bez greške, a u slučaju da se ona desi sledi **proces ponovnog slanja paketa** (retransmisija) što kao posledicu ima povećanu potrošnju energije.
- 2. FEC** (*Forward Error Correction*) – izračunava se FEC kod koji se sada **šalje sa osnovnim**, korisnim podacima što **unosí kašnjenje** u slanju paketa kao i **trošenje dodatne energije** zbog prenosa dodatnih podataka koji predstavljaju **FEC** kod.
- 3. scheduling protokoli** - kod kojih se komunikacija između SČ-ova odvija po **posebnim virtuelnim kanalima** koji se razlikuju:
  - a. po vremenu** (**TDMA** - *Time Division Multiple Access*),
  - b. po frekvenciji** (**FDMA** - *Frequency Division Multiple Access*)
  - c. posebno kodiranim podacima** (**CDMA** - *Code Division Multiple Access*).

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

- Druge metode primenjuju se na **MAC** podnivou, među kojima se ističu ***sleep scheduling*** protokoli.
- Oni omogućavaju **periodično uključivanje i isključivanje** pojedinih delova SČ, što omogućava znatnu uštedu energije.
- Ovi protokoli su **jako efikasni** ali je problem u tome što većina njih zahteva **jako preciznu vremensku sinhronizaciju** između SČ-ova
- Nivo kontrole medijuma za pristup je **veoma važan aspekt prenosa**
- Uloga MAC podnivoa je **da identifikuje kada i kako** svaki SČ može da predaje po bežičnom komunikacionom kanalu.
- MAC atributi koji utiču na prenos i koje treba identifikovati su:
  - a. izbegavanje kolizije (*collision avoidance*)**,
  - b. energetska efikasnost (*energy efficiency*)**,
  - c. skalabilnost i adaptivnost (*scalability & adaptivity*)**,
  - d. efikasno korišćenje propusnog opsega (*efficient bandwidth utilization*)**,
  - e. kašnjenje signala (*latency*)**
  - f. propusnost (*throughput*)**.

# 7.1 Karakteristike Data-Link sloja

- Klasični protokoli BSM-a **potpuno su neupotrebljivi** za BSM
- Postoji **puno razloga koji eliminišu** te protokole iz primene ali na prvom mestu je **energetska efikasnost** tih protokola.
- Mnogi od "klasičnih" protokola kao što su ALOHA ili CSMA **ne sadrže rešenja** za smanjivanje energetske potrošnje.
- Parametri MAC protokola, kao **pravednost** (*fairness*), **propusnost** (*throughput*) i **kašnjenje** (*delay*) ne igraju značajnu ulogu za BSM.
  - 1.Pravednost** nije važna jer SČ u BSM-i ne predstavljaju **samostalne uređaje** koji se takmiče za propusni opseg već oni pripadaju jednom **zajedničkom distribuiranom sistemu**.
  - 2.Propusnost** ne predstavlja problem jer se uglavnom prenose **male količine podataka na kratkom rastojanju**
  - 3.Kašnjenje** koje se javlja kod pristupa medijumu kao i kod prenosa paketa uglavno je **nevažno u odnosu na energetska efikasnost**.
- Od ovih protokola **zahteva** se njihova **skalabilnost** i **robustnost**.
  - 1.Skalabilnost** proizilazi iz **jako velikog broja različitih SČ-ova**
  - 2.Robustnost** sa obzirom **na česte promene topologije** kao i **broja SČ**.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Problemi sa energijom na sloju MAC

- Tri glavna potrošača energije u SČ su očitavanje senzora, procesiranje očitanih podataka i primopredaja podataka
- Najviše energije se izgubi u primopredaji podataka
- MAC podsloj predstavlja osnovu za primopredaju podataka između SČ, pa je značaj ovog nivoa sa gledišta uštede energije jako bitan
- Primopredajnik radi u sledećim *mode* rada: *prenos*, *prijem*, *idle* i *sleep*
- U ovim modovima rada primopredajnik troši različite količine energije
- SČ troši približno istu energiju kada se nalazi u *mode prijem/predaja*
- U *idle* modu troši se manje energije ali zbog dužine trajanja ovog perioda potrošnja može da bude približna potrošnji u prijemnom modu
- Najmanja potrošnja energije je u *sleep* modu ali je tu SČ neaktivan
- Problem što može da propusti neki podatak ili detekciju neke promene
- Glavni izvori potrošnje energije kod komunikacije su:
  - Slušanje u pasivnom režimu (*Idle listening*)
  - Sudari (*Collisions*) i Preslušavanje (*Overhearing*)
  - Prenos kontrolnih podataka i predaja/prijem paketa



# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## 1. Slušanje u pasivnom režimu (*Idle listening*)

- ✓ primopredajnik je spreman da primi podatke ali ne prima ništa.
- ✓ Ova spremnost je skupa i beskorisna jer troše značajn deo energije.
- ✓ Izvori potrošnje energije *idle* slušanja treba minimizirati u MAC sloju.
- ✓ Jedno od rešenja je da se izvrši isključivanje primopredajnika

## 2. Sudari (*Collisions*)

- ✓ Predstavljaju jedan od glavni izvora nepotrebne potrošnje energije
- ✓ Poludupleksna priroda bežičnog kanala sprečava otkrivanje sudara
- ✓ Koriste se druge tehnike za izbegavanje sudara kod MAC protokola.

## 3. Prenos kontrolnih podataka (*protocol overhead*)

- ✓ Kontrolni podaci se šalju u okviru paketa kao i paketa za sinhronizaciju
- ✓ Omogućavaju robusnost rada MAC protokola, ali troše energiju

## 4. Predaja/prijem paketa

- ✓ primopredaja paketa predstavljaja glavni izvor potrošnje energije.

## 5. Preslušavanje (*Overhearing*)

- ✓ *Unicast* okviri imaju jedan izvor i jedan odredišni SČ.
- ✓ Bežični medijum je *broadcast* medijum i svi susedni SČ koji su u stanju prijema primaju paket koji nije njima namenjen.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Kontrola odnosa trajanja aktivnog i neaktivnog stanja SČ

- Kako je intenzitet saobraćaja u BSM često mnogo manji od kapaciteta mreže, normalno je da nema potrebe da SČ bude aktivan sve vreme.
- Kada nema potreba da se prenos podataka obavlja preko nekog SČ-a, taj SČ prelazi u neaktivno stanje, u kome troši manje energije.
- *Duty Cycle* se definiše kao odnos trajanja aktivnog stanja SČ i zbira trajanja aktivnog i neaktivnog stanja.
- U BSM je ovaj odnos često ispod 1%.
- *Duty Cycle* kod svih SČ treba definisati u fazi dizajna mreže.
- Postiže se 2-6 puta veća energetska efikasnost od MAC protokola koji su baziranih na IEEE 802.11 standardu.
- Ukoliko se *Duty Cycle* smanji toliko da sistem ne može da odgovori zahtevanom intenzitetu saobraćaja, kod MAC protokola sa fiksnom periodom pristupa, doći će do povećanja verovatnoće kolizije paketa.
- Kod MAC protokola sa promenljivom periodom pristupa, smanjivanje *Duty Cycle* prouzrokuje smanjivanje aktivnog perioda slanja, pa mora da se koristi više perioda prenosa za istu količinu korisnih podataka.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Vreme života senzorskog čvora.

- Produženje životnog veka svakog SČ je veoma važno
- Idealno bi bilo kad bi svi SČ istovremeno prestali s radom.
- U tom slučaju, vreme života mreže bi bilo jednako vremenu života SČ
- Iako je BSM otporna na otkaze pojedinih SČ, njihovo postepeno otkazivanje neizostavno vodi ka preuranjenom prekidu rada mreže
- Zato je osim prosečnog vremena života i standardna devijacija vremena života bitna karakteristika senzorskog čvora.
- Minimizovanjem standardne devijacije vremena života SČ poboljšava se predvidljivost životnog veka celokupne mreže.
- Treba istaći da na životni vek SČ utiče mnoštvo faktora, kao što su protokol za rutiranje ili mehanizam za kontrolu topologije.
- Ipak, energetska neefikasnost MAC protokola ima dominantan negativan uticaj na ovu metriku.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Kontrola dužine paketa

- Svi komunikacioni nivoi iznad fizičkog, **unose svoje zaglavlje** koje sadrži **kontrolne podatke** potrebne za pravilno funkcionisanje tog nivoa
- Tako mrežni nivo dodaje **adrese primaoca i pošiljaoca** a nivo veze **kontrolnu sumu i tip okvira**.
- Tako dok osnovni podatak koji se šalje dođe do fizičkog nivoa, on se dosta promeni u smislu da **ima dosta dodatnih kontrolnih podataka**
- Gledano sa stanovišta nekog nivoa, **bitno je odrediti energiju** koja je potrošena po jedinici podataka kojom on operiše.
- Recimo, sa stanovišta mrežnog sloja, **bitno je koliko će energije da se potroši za prenos jednog bita paketa**.
- U tom slučaju, podaci dodati na nižim slojevima se **teriraju kao dodatan trošak** i bitno je koliko iznosi taj trošak **po bitu korisnih podataka**.
- U zavisnosti od **slabljenja kanala** i **smetnji na prijemu**, može se naći **optimalan odnos dužine paketa** i **količine dodatih informacija** na nižim slojevima, koji **minimizuje utrošenu energiju** po bitu korisnih podataka
- Koriste se **adaptivni mehanizmi** koji određuju optimalnu dužinu okvira

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Agregacija paketa sa istim zaglavljem

- Jedna od tehnika koja se koristi za smanjivanje potrošnje energije u SČ-ima je i **kontrolisanje dužine paketa koji se šalje**.
- Ideja je da se kontrolom dužine paketa **smanji uticaj dodatne potrošnje električne energije**, usled višestrukog slanja kontrolnih podataka koji su nastali kao **rezultat umetanja zaglavlja** na višim slojevima.
- Ova tehnika podrazumeva da se pokuša da se ta količina podataka **smanji u zaglavljima**, tako što će se izvršiti **sažimanje (agregacija)** više paketa sa istim zaglavljem u **jedan jedinstven paket**.
- Agregacija može da ima **pozitivne efekte i na intenzitet saobraćaja** jer može da utiče na njegovo smanjenje
- Postavlja se **pitanje retransmisije** paketa koji su primljeni sa greškom.
- Kako se agregacijom **formiraju znatno duži paketi**, postojaće i **veća verovatnoća prenosa sa greškom**.
- Razvijena je posebna **metoda agregacije paketa sa retransmisijom fragmenata** koja otklanja ovaj problem uz neznatno povećanje količine podataka u zaglavlju.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Prilagodljivost

- Mnogi bežični MAC protokoli dizajnirani su za korišćenje u klasičnoj infrastrukturi mreže, gde pristupne tačke određuju pristup kanalu ili izvode neke druge **centralizovane funkcije koordinacije i upravljanja**.
- U većini aplikacija koje se primenjuju u BSM komunikacija između SČ-ova se zasniva ili na **višeskokovitim (multihop)** ili **peer-to-peer**
- **Nema centralnog koordinatora** koji treba da koordinira rad između SČ
- MAC protokoli moraju biti u mogućnosti da **potpuno samostalno bez nekih dodatnih uređaja** omoguće efikasnu upotrebu svih resursa.
- To se posebno odnosi na velike BSM (sa većim brojem SČ-a)
- Kod projektovanja MAC protokola za BSM treba uvek imati u vidu i **veoma skromne računarske resurse** u SČ.
- MAC protokoli koji se zasnivaju CDMA tehnicima **zahtevaju veliki broj različitih kodova** koji mogu biti **problematični** za ograničene memorijske resurse u SČ-ima.
- Prema tome, MAC protokoli ne smeju da budu **računarski zahtevni** tj. da ne zahtevaju **prekomerno računsko opterećenje** ili **veću memoriju**.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Samoorganizovanje

- Jedna od ključna karakteristika BSM-a je njihova sposobnost samoorganizovanja, odnosno da se mogu prilagoditi trenutnim promenama u mreži koje se odnose na promene u topologiji, karakteristikama saobraćaja, veličini mreže i gustini SČ-a.
- MAC protokoli za BSM trebaju biti u stanju da se prilagode ovakvim promenama ali bez nekih dodatnih značajnih zahteva kako za energijom tako i za računarskim resursima.
- Generalno ti protokoli moraju da budu dinamički po prirodi, odnosno protokoli koji donose odluke za pristup medijumu na osnovu trenutnih zahteva kao i stanja mreže.
- Protokoli sa fiksnim podelama (npr., TDMA sa okvirom fiksne veličine i slotiranim podacima) mogu imati velike zahteve u pogledu vremenske sinhronizacije svih SČ zbog višeskokovite prirode BSM.

# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Malo kašnjenje (latencija) i predvidljivost

- Mnoge BSM aplikacije imaju vremenske zahteve (*real-time* aplikacije), odnosno podaci sa senzora moraju biti **očitan, obrađeni i poslani u tačno definisanim vremenskim intervalima** ili rokovima.
- Različite mrežne aktivnosti, protokoli i mehanizmi za prenos podataka **doprinosu dodatnom kašnjenju** kod distribucije podataka.
- **Velika veličina okvira i mali broj vremenskih slotova** koji su dodeljeni SČ u TDMA baziranom protokolu **dovodi do mogućeg kašnjenja**
- Kod MAC protokola koji su bazirani sudarima (*contention based protocols – CBPs*) SČ-ovi mogu **brže da pristupe** bežičnom medijumu, ali **mogući sudari (retransmisija)** dovodi do povećanja kašnjenja
- **Izbor MAC protokola** takođe može uticati da **unapred možemo da predvidimo maksimalnu dužinu kašnjenja** u isporuci paketa.
- Kod protokola koji su bazirani na sudarima a primenjuju TDMA, **lako je odrediti max. kašnjenje** do koga može doći kod isporuke paketa.
- Međutim, ovde je problem **kako odrediti koliko je garantovano min.kašnjenje** do koga sigurno dolazi kod isporuke paketa



# 7.2 Karakteristike MAC podsloja

## Pouzdanost

- Pouzdanost u prenosu paketa je **uobičajeni zahtev** za većinu mreža.
- Posebno ovo važi za BSM, gde su **otkazi SČ** i **smetnje i ometanja u komunikaciji** česti, tako da pouzdanost postaje ključna za protokole.
- Izborom MAC protokola može se doprineti **povećanju pouzdanosti** pre svega u **detektovanju i otklanjanju greške** i **otkrivanju kolizije**.
- Zadovoljavajući nivo pouzdanosti se **može postići izborom pouzdanog linka**, **izbegavanjem preopterećenih SČ** i **otkrivanjem izgubljenih paketa** i **ponavljanjem prenosa**.
- Postoje **kompromisi** između kontrolnih podataka i **nivoa pouzdanosti**
- Kod bežičnih mreža **paketi se gube** uglavnom zbog **prekoračenja veličine bafera** i **interferencije RF signala**.
- Izbegavanje prekoračenja veličine bafera je zajednički **zadatak** protokola za rutiranje i MAC protokola.
- **Balansiranje opterećenja raspoloživih putanja** može da smanji mogućnost da se prekorači kapacitet bafera.
- Učestanost grešaka je **manja kod MAC protokola** koji **sprečava pojavu kolizija**, ili bar značajno smanjuju verovatnoću kolizije.

## 7.2 Ustupci pri projektovanju MAC protokola

- Teško je naći protokol koji je skalabilan, izuzetno energetski efikasan, veoma adaptivan, pouzdan i predvidiv i sa definisanim kašnjenjem.
- Potrebno je izabrati odgovarajuće zahteve aplikacije koje treba ispuniti
- **Energetska efikasnost** je obično uvek na vrhu zahteva
- Pored energ.efikasnosti, **skalabilnost** i **adaptabilnost** su takođe u vrhu zahteva kod većine aplikacija, dok su **predvidivo kašnjenje**, **visoka pouzdanost** i **velika propusna moć** retko zahtevi na kojima se insistira
- **Opšte karakteristike** osnovnih tipova MAC protokola za BSM su:
  - ✓ MAC protokoli zasnovani na **nadmetanju** mogu da budu dobar izbor za BSM, jer ne zahtevaju centralizovanu koordinaciju i velike resurse.
  - ✓ **Mane** ovih protokola: **problem skalabilnosti**, **nepredvidivost kašnjenja**, **veliki nivo interferencije signala** i **velika verovatnoća kolizije**
  - ✓ Jedna od metoda za smanjenje potrošnje je da se primeni **duty cycle** koja zahteva **TDMA** - zahteva **preciznu vremensku sinhronizaciju SČ**
  - ✓ **CDMA** zadovoljava mnoge zahteve koji se postavljaju kod BSM: izbegava pojavu kolizije, adaptabilan je, može da se predvidi kašnjenje.
  - ✓ Ali **CDMA nije odgovarajući izbor** za BSM, zbog toga što **zahteva previše resursa za implementaciju** (memorija, brži CPU i veće antene).

# 7.3 Podela MAC protokola u BSM

- Da bi se rešili jedinstveni problemi sa kojima se MAC podsloj susreće u BSM, **razvijen je veliki veliki broj MAC protokola.**
- Svi oni svrstavaju se u različite kategorije u **odnosu na vrstu problema koji oni rešavaju**, najčešće **prema stepenu energetske potrošnje SČ**
- U početku gotovo svi MAC protokoli za BSM su se delili na:
  - 1. protokole koji se bore za pristup medijumu** (*contention based protocols - CBPs*) - umesto da se unapred odredi trenutak kada će koji SČ vršiti predaju, SČ se takmiče za kanal, što rezultira koordinaciji zasnovanoj na verovatnoći i upotrebi mehanizma za rešavanje kolizije
  - 2. protokole bazirani na planiranju** (*reservation-based ili Contention-Free MAC Protocols*) – koriste mehanizam TDMA koji deli kanal na **N** vremenskih slotova koji predstavljaju jedan okvir, koji se ciklično ponavlja. U vremenskom intervalu u kome traje svaki slot samo jednom SČ je dozvoljena primopredaja okvira. Svaki SČ zna svoj slot i on vrši primopredaju okvira samo u njemu - izbegava se kolizija.
  - 3. Mešovite (hybrid) protokole** – kombinuju rešenja iz prethodne dve kategorije.

# 7.3 Podela MAC protokola u BSM

- MAC protokoli za tradicionalne bežične mreže **ne odgovaraju za BSM**.
- Ove šeme **troše previše energije**, pošto zahtevaju da mrežni čvorovi **konstantno oslušuju medijum**.
- Zahtevaju i **razmenu kontrolnih paketa** da bi se izbegla kolizija.
- Kontrolni paketi su **veličine paketa podataka**, koji su kod BSM mali
- Sa druge strane, konvencionalni MAC protokoli bazirani na TDMA podrazumevaju da se svi **SČ nalaze u opsegu transmisije** jednog **centralnog čvora**, suprotno **multihop** načinu transmisije kod BSM.
- Pošto topologija BSM zavisi od konkretne primene, razvijeno je više različitih grupa MAC protokola:
  1. protokoli zasnovani na vremenskom rasporedu (*scheduled protocols*) (optimizovani za gust, periodičan saobraćaj, tipično za multimediju),
  2. protokoli sa zajedničkim aktivnim periodom (optimizovani za saobraćaj srednje gustine, tipično za industrijsku primenu),
  3. protokoli sa semplovanjem preambule (odgovarajući za retko slanje izveštaja, npr. razna merenja)
  4. hibridni protokoli (kombinuju prednosti više protokola).

## 7.3 MAC protokoli zasnovani na vremenskom rasporedu

- U primenama gde je saobraćaj **periodičan i gust** najbolje je koristiti MAC protokole **zasnovane na alokaciji resursa** - fiksnim rasporedom.
- Kod BSM ovi protokoli se zasnivaju na **TDMA**
- Radi postizanja boljih performansi, **TDMA se kombinuje sa FDMA**
- Problem TDMA protokola je **uspostavljanje i održavanje vremenskog rasporeda** koji definiše podelu vremena na slotove i dodelu slotova SČ
- Postojeći MAC protokoli koriste jedan od sledeća **tri pristupa**:
  1. **Kreiranje rasporeda linkova** - pod linkom se podrazumeva uređeni par susednih čvorova ( $N_A$  i  $N_B$ ), gde je  $N_A$  pošiljaoc a  $N_B$  primalac. Ova tehnika podrazumeva da se vremenski slotovi dodele svakom linku u mreži, tako da se u potpunosti eliminišu kolizije i nepotrebno slušanje.
  2. **Kreiranje rasporeda pošiljalaca** - podrazumeva da se slot dodeljuje pošiljaocu čime se eliminišu kolizije i minimizuje nepotrebno slušanje i delimično smanjuje potreba resinhronizacije, ali ostaje problem veće potrošnje energije usled prijema tuđih poruka: svi primaoci su aktivni.
  3. **Kreiranje rasporeda primaoca** - vremenski slot se dodeljuje primaocu. Ovo eliminiše prijem tuđeg saobraćaja, smanjuje nepotrebno slušanje i smanjuje potrebu resinhronizacije (pošto promene na strani pošiljaoca nisu bitne za raspored), ali ostaje problem kolizija.

## 7.3 MAC protokoli zasnovani na vremen.rasporedu

- Prve dve varijante TDMA protokola **odgovaraju primenama sa gustim saobraćajem** i sa **ograničenim kašnjenjem** a treća **saobraćaju srednje gustine**.
- MAC protokoli sa fiksnim rasporedom **imaju sledeće probleme**:
  - 1. Sinhronizacija**: preduslov za rad bilo koje TDMA šeme je mogućnost postizanja relativno čvrste sinhronizacije između svih SČ u mreži. Potreba za sinhronizacijom povećava složenost protokola i dovodi do povećanog utroška energije.
  - 2. Skalabilnost**: TDMA raspored je validan samo ukoliko garantuje ekskluzivnu dodelu slotova u 2-hop okolini bilo kog čvora u mreži. Kreiranje validnog TDMA rasporeda na decentralizovan način se rešava složenim distribuiranim algoritmima. Vreme potrebno za kreiranje rasporeda i energija koja se za to troši je srazmerna veličini i gustini mreže.
  - 3. Brodkast**, tj prenos podataka od jednog izvorišta do svih odredišta zahteva, osim u slučaju kreiranja rasporeda pošiljaoca, da se ista poruka emituje u više slotova, što nije energetski efikasno.

# 7.3 Podela MAC protokola u BSM

4. **Fleksibilnost** je smanjena pošto svaka promena u topologiji mreže zahteva novo kreiranje rasporeda. Zato ovi protokoli nisu primenjivi kod čestih promena topologije, npr. kod BSM sa mobilnim SČ
5. **Veličina memorije** je problem, pošto se zahteva da svaki SČ zna vremenski raspored svih SČ iz svoje 2-hop okoline.

<i>Funkcija</i>	<i>Protokoli</i>
Tipični predstavnici	IEEE 802.15.4
Centralizovano kreiranje rasporeda	Arisha, PEDAMACS, BitMAC, G-MAC
Lokalizovano kreiranje rasporeda	TRAMA, FLAMA, $\mu$ MAC, EMACs, PMAC
Rotiranje uloga čvorova	PACT , BMA
Rad u mobilnom okruženju	MMAC , FlexiMAC
Prilagod. promenama saobr.	PMAC
Dodela slota prijemnicima	O-MAC
Ostali	LMAC, AI-LMAC, SS-TDMA, RMAC

# 7.3 TRAMA protokol

- TRAMA (*Traffic Adaptive Medium Access protocol*) je protokol sa **lokalizovanim kreiranjem vremenskog rasporeda**.
- Protokol **radi u ciklusima**.
- Svaki ciklus se sastoji **iz dve faze**:
  - 1) **kreiranje lokalizovane topologije** (period sa proizvoljnim pristupom)
  - 2) **rad čvorova po rasporedu** (gde se čvorovi bude samo da bi emitovali ili primili paket).
- U prvoj fazi SČ **razmenjuju podatke o susedima**, čime upoznaju svoju 2-hop okolinu.
- SČ **periodično razmenjuju i informaciju o rasporedu** (odnosno spisak primaoca).
- Na osnovu ovih informacija SČ **sprovodi distribuirani algoritam** za kreiranje vremenskog rasporeda (za svaki slot druge faze **određuje SČ koji ostaju budni** zbog prijema ili predaje i **SČ koji mogu da pređu u stanje smanjene potrošnje**).
- Protokol **potpuno eliminiše nepotrebno slušanje i preslušavanje**.
- Mane su **kompleksnost i potreba za sinhronizacijom** cele mreže.



## 7.3 Protokoli sa zajednič. aktivnim periodom

- Kod ovog pristupa, SČ definišu zajedničke aktivne periode (za razmenu podataka) i periode smanjene potrošnje (za uštedu energije).
- Ovo zahteva određeni nivo vremenske sinhronizacije.
- Za vreme aktivnog perioda, SČ se nadmeću za medijum koristeći metod zasnovan na nadmetanju, kao što je CSMA, 802.11 DCF.
- Pristup zasnovan na nadmetanju postiže najbolje rezultate kod primena kod kojih saobraćaj postoji periodično, kao što je nadgledanje, ili se periodično razmenjuju poruke.
- Ovi protokoli nisu odgovarajući za primene kod kojih je saobraćaj neregularan, jer bi se u nekim periodima nepotrebno uključivali, a u drugim bi zbog pojačanog saobraćaja dolazilo do kolizije.

## 7.3 Protokoli sa zajednič. aktivnim periodom

<i>Funkcija</i>	<i>Protokol</i>
Tipičan predstavnik	S-MAC
Povećana fleksibilnost	TMAC, E2MAC, SWMAC
Minimizovanje kašnjenja usled prelaska u režim smanjene potrošnje	Adaptive Listening, nanoMAC, DSMAC, FPA, DMAC, QMAC
Uzimanje mobilnosti u obzir	MSMAC
Minimizovanje broja rasporeda	GSA
Statički pristup	RL-MAC, U-MAC
Korišćenje radija za buđenje	RMAC , E2RMAC

# 7.1 S-MAC protokol

- Osnovni cilj S-MAC protokola je da smanji nepotrebnu potrošnju energije kao i da obezbedi dobru skalabilnost i izbegavanje kolizije.
- Uvodi princip **duty-cycle**, to jest, SČ periodično prelaze između stanja slušanja (*listen*) i stanja spavanja (*sleep*).
- Koristeći ovu operaciju, **aktivnost čvora je planirana** u skladu sa određenim vremenskim intervalom, nazvanim **okvir**.
- SČ **periodično menja** svoj mod rada, tako što **jedan deo okvira** bude u aktivnom (osluškuje kanal) a **ostatak u neaktivnom** (*sleep*) režimu rada
- Svaki SČ **bira sopstveni raspored**, mada je poželjno kada SČ **sinhronizuju svoje rasporede** tako da slušaju ili spavaju istovremeno
- Cilj S-MAC je da **formira virtuelne klastere** u kojima svi SČ iz klastera imaju **sinhronizovano vreme aktivnog i neaktivnog** režima rada.
- **Prava klasterizacija ovde ne postoji** jer svaki SČ je slobodan da potpuno samostalno komunicira sa bilo kojim SČ iz njegovog okruženja a koji ne pripada virtuelnom klasteru.
- Čvorovi **periodično razmenjuju** svoje rasporede sa svojim susednim SČ koristeći sinhronizacione (**SYNC**) poruke (**ID+preostalo vreme**).

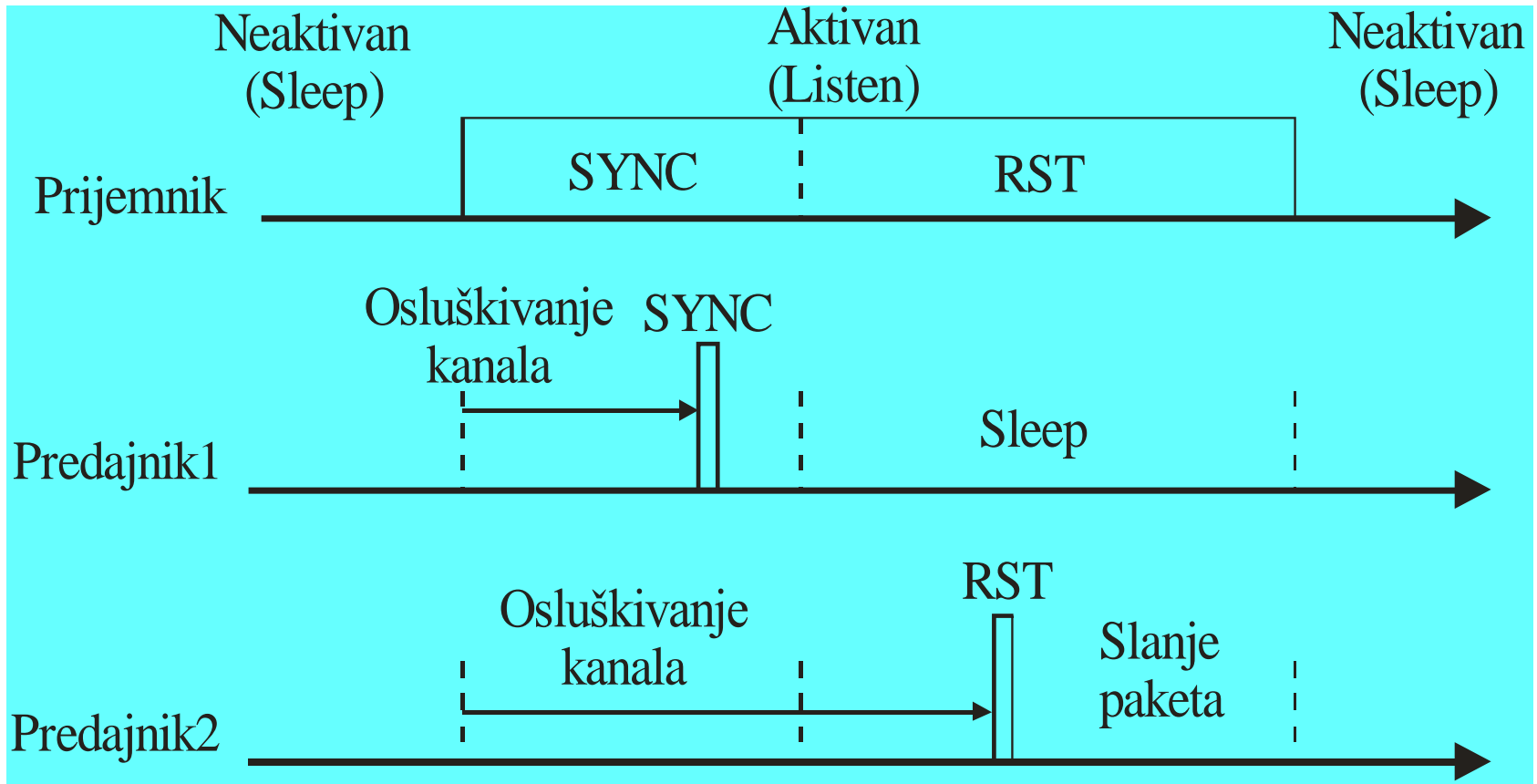
# 7.1 Funkcionisanje S-MAC protokola

- Ako čvor A želi da komunicira sa susednim čvorom B koji koristi drugačiji raspored, A **sačeka dok B ne bude na prijemu** i zatim inicira prenos podataka sa njim.
- Za zauzimanje komun.kanala **koristi se standardna šema RTS/CTS**.
- Tokom inicijalizacije protokola, SČ **sluša kanal određeni vremenski interval**, dovoljno dugo da bi **primio bilo koji SYNC paket** koji su poslali njegovi susedni SČ, kako bi mogao da odredi svoj raspored
- Ako oslušujući kanal SČ primi raspored od susednog SČ, **on bira ovaj raspored kao svoj** i ovaj čvor postaje **sledbenik (follower)**.
- SČ emituje svoj **novi raspored nakon slučajnog kašnjenja  $t_d$**  (da bi se smanjila mogućnost kolizije od više novih sledbenika).
- SČ mogu usvojiti **više rasporeda**; ako SČ **primi drugačiji raspored** nakon emitovanja sopstvenog rasporeda, **usvaja oba rasporeda**.
- Ako u ovom intervalu **nije primljen nikakav SYNC paket**, čvor određuje **sopstveni raspored duty cycle intervala** i emituje svoj SYNC
- Tada ovaj čvor postaje **sinhronizator (synchronizer)** jer će drugi SČ početi da se sinhronizuju s njim.

# 7.1 S-MAC protokol

- S-MAC deli aktivni interval SČ na deo za prijem SYNC paketa i deo za prijem RTS poruka
- Svaki deo je dalje podeljen u male vremenske slotove kako bi se olakšalo oslušivanje komunikacionog kanala.
- Čvor pokušava da pošalje poruku SYNC ili RTS slučajno birajući jedan od ovih vremenskih slotova (u okviru SYNC ili RTS dela intervala, respektivno) i ispituje da li je medijum slobodan za slanje ali tek u intervalu kada je prijemnik spreman da primi podatke
- Ako aktivnost nije otkrivena na medijumu, SČ počinje sa prenosom
- S-MAC primenjuje pristup zasnovan na borbi za pristup medijumu, kod koga se za izbegavanje kolizije koristi metod RTS/CTS.
- Kada čvor čuje RTS ili CTS on zaključuje da ne može da emituje ili prima u isto vreme, pa zato prelazi u neaktivno (*sleep*) stanje
- Ukratko, S-MAC je protokol zasnovan na borbi za pristup medijumu koji koristi neaktivni režim primopredajnika kako bi smanjio energetske potrošnje ali zato dolazi do povećanja kašnjenja kao i smanjenja propusnosti komunikacionog kanala.

# 7.1 S-MAC protokol



# 7.3 Protokoli sa semplovanjem preambule

- Kod protokola sa semplovanjem preambule SČ **nemaju zajednički aktivan period**, već svaki SČ bira svoj raspored buđenja.
- SČ provode veći deo vremena u neaktivnom stanju, **periodično se bude** na kratak vremenski period i **proveravaju da li ima aktivnosti na mreži**.
- Period na koji se budi SČ naziva se **interval provere** (*check interval*).
- Ako **nema preambule**, SČ se brzo **vraća u režim smanjene potrošnje**.
- Ako **detektuje preambulu**, SČ ostaje u aktivnom stanju, **prima celu poruku**, eventualno **pošalje ACK** i tek se tada vraća u neaktivno stanje.
- Trajanje preambule treba da bude **najmanje dužine trajanja intervala provere**, da bi se omogućilo da je svi potencijalni prijemnici detektuju.
- **CCA** (*Clear Channel Assignment*) je postupak pomoću kojeg se utvrđuje **da li je kanal slobodan**.
- Koristi se kod **CSMA** pre emitovanja poruke da bi se **utvrdilo da li je kanal zauzet**, da ne bi došlo do kolizije.
- **Ispituje se prag signala** (*thresholding*), kao kod IEEE 802.15.4, koja se sastoji iz merenja snage primljenog signala **RSS** (*Received Signal Strength*) i **upoređivanja dobijene vrednosti** sa pragom šuma.

# 7.3 Protokoli sa semplovanjem preambule

➤ Preambula smanjuje potrošnju energije usled razmene kontrolnih paketa (RTS/CTS) jer eliminiše potrebu za sinhronizacijom, ali uvodi dugotrajno emitovanje preambule, koje stvara dva nova problema:

## 1. Povećanje cene kolizija

- ✓ Korišćenje preambule eliminiše problem nepotrebnog slušanja na strani prijemnika, ali povećava potrošnju na strani predajnika, zbog potrebe da se emituje duga preambula.
- ✓ Zbog toga su ovi protokoli efikasni samo kod primena kod kojih se poruke razmenjuju retko a nisu pogodni za česte promene - poruke.

## 2. Ograničen *duty cycle*

- ✓ Da bi se produžio životni vek SČ, javlja se potreba za povećanjem *duty cycle*, da se produži vreme koje SČ provodi u neaktivnom stanju
- ✓ Ovo podrazumeva **produžavanje intervala provere**.
- ✓ Iako se na ovaj način smanjuje potrošnja energije usled nepotrebnog slušanja na strani prijemnika, **povećava se potrošnja na strani predajnika jer duži interval provere zahteva dužu preambulu**, što povećava potrošnju.



# 7.3 Protokoli sa semplovanjem preambule

<i>Funkcija</i>	<i>Protokoli</i>
Tipični predstavnici	Preamble-Sampling ALOHA, Preamble- Sampling CSMA, Cycled Receiver, LPL, Channel Polling
Poboljšanje	CCA BMAC
Adaptive Duty Cycle	EA-ALPL
Smanjenje dužine preambule pomoću paketizacije	CSMA-MPS, X-MAC, MH-MAC, DPS-MAC, CMAC, GeRAF, 1-hopMAC, RICER, SpeckMAC-D, MXMAC
Smanjenje dužine preambule dodavanjem podatka o sinhronizaciji	WiseMAC, RATE EST, SyncWUF
Korišćenje odvojenih kanala	STEM
Izbegavanje nepotrebnih prijema	MFP, 1-hopMAC

# 7.3 Hibridni protokoli

- Svi do sada obrađeni protokoli imaju **neke prednosti, ali i nedostatke**.
- Protokoli iz ove grupe pokušavaju da **kombinuju postojeće protokole**, da bi iskoristili **sve prednosti i otklonili neke nedostatke**, posebno u slučajevima kad je **intenzitet saobraćaja promenljiv**.
- Pri **većim gustinama saobraćaja** bolje performanse pokazuju **protokoli zasnovani na rasporedu**, dok pri **malim gustinama saobraćaja** bolje funkcionišu **protokoli zasnovani na nadmetanju**.

## 7.3 Hibridni protokoli

<b>Funkcija</b>	<b>Protokoli</b>
MAC protokol fleksibilne strukture	IEEE 802.15.4
CSMA u okviru TDMA slota	ZMAC
Minimizovanje convergecast efekta	Funneling MAC
Slotted semplovanjem	SCP
Raspored zasnovan na prijemniku	Crankshaft

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?