

# X Vremenska sinhronizacija

- 1. Karakteristike vremenske sinhronizacije**
- 2. Razlozi za sinhronizaciju SČ u BSM**
- 3. Karakteristike BSM koje utiču na vremensku sinhronizaciju**
- 4. Analitički model računarskog takta**
- 5. Razlika lokalnih vremena kod SČ**
- 6. RBS - *Reference broadcast synchronization***
- 7. TPSN - *Pair-wise sender–receiver synchronization***

# 10.1 Karakteristike vremenske sinhronizacije

- **Vremenska sinhronizacija** predstavlja jedan od **kritičnijih delova** infrastrukture bilo kog distribuiranog računarskog sistema
- Od njene preciznosti u mnogome **zavisi ispravnost rada sistema**.
- Ovo se naročito odnosi na BSM aplikacije, jer **većina njih su bazirane na tačnom vremenu** kada se neki događaj dogodio
- Skoro bilo koji vid **grupisanja podataka** ili **koordiniranog sakupljanja informacije**, zahteva sinhronizovanje sa fizičkim vremenom.
- Potrebe za tačnošću sata i njegova tačnost, **znatno su strožiji u BSM** nego u tradicionalnim distribuiranim sistemima
- Tako na primer, **kod određivanja tačne pozicije nekog objekta** koji se kreće, zahteva se da SČ-ovi koji šalju audio informaciju o tom kretanju, imaju **međusobnu vremensku usklađenost** od max. **100μs**
- Sinhronizacija vremena svih SČ-ova je od suštinskog značaja za **energetsko efikasno planiranje i upravljanje** raspoloživom energijom
- Ona omogućava da svi SČ-ovi mogu **da planiraju svoje aktivnosti** i da koordinirano uključuju/isključuju svoje periferije
- Štednja potrošnje električne energije u SČ-ima **uvek primaran zadatak**

# 10.1 Karakteristike vremenske sinhronizacije

- SČ-ovi u BSM-a aktiviraju **samo kada se desi neka promena**, tj. u većini slučajeva njihov osnovni zadatak je da očitaju senzor tek kada se desi neka promena u nadgledanom regionu ili pojavi.
- Tada dolazi do **naglog porasta saobraćaja** između SČ-ova, jer se intenzitet detekcije i količine podataka koji se šalju jako poveća.
- Međutim, to je u životnom veku BSM samo jedan mali, kratak period.
- Ostatak vremena svi SČ-ovi su dosta neaktivni pa nije potrebno da oni **stalno budu u aktivnom stanju** jer se nepotrebno rasipa elektr.energija.
- Vremenska sinhronizacija svih SČ-ova u mreži **omogućava periodično uključivanja/isključivanja** gotovo svih njihovih delova.
- Tako CPU može da radi jedan period u **režimu smanjene potrošnje** i da se posle vrati u **normalni režim** a da se **kvalitet aplikacije ne smanji**
- Odgovarajuća vremenska sinhronizacija svih SČ **nije tako jednostavan zadatak** kao što je to kod standardnih žičanih mreža.
- Većina razvijenih sinhronizacionih protokola koji sa uspehom rade kod ovih mreža, **u uslovima BSM su potpuno neupotrebljivi**.
- Vremen.sinhronizacija u BSM **zahteva razvoj potpuno novih metoda**

# 10.1 Karakteristike vremenske sinhronizacije

- Drugo rešenje koje se može ponuditi u sinhronizaciji SČ svodi se na korišćenje **globalnog sistema za pozicioniranje (GPS)**.
- **GPS** predstavlja odličan izvor informacija o vremenu koji je odlikuje **visokom rezolucijom i tačnošću**.
- Očekuje se u budućnosti da će cene GPS prijemnika padati tako da će biti moguće **da se SČ opreme** sa ovim malim hardverskim dodatkom.
- Međutim, iako će taj dodatak neznatno **povećati gabarite i cenu SČ**, i dalje će postojati **problem kod dostupnosti** tj. prijema GPS signala.
- GPS signal se emituje sa satelita u zemljinoj orbiti sa **snagom od 40W**.
- Kao posledica toga signal nije u mogućnosti **da prođe mnoge prepreke** koje se nađu na njegovom putu, pa tako čak i **malo gušće drveće** ili **jača kiša**, da ne pominjemo **građevinske objekte**, može da bude **nepremostiva prepreka za njega**.
- Znajući gde se SČ postavljaju to može da bude jako ozbiljan problem
- Neki SČ će **imati mogućnost prijema** GPS signala a **neki ne** što **automatski eliminiše** primenu ovakvog načina sinhronizacije lokalnih vremena SČ-ova u BSM.

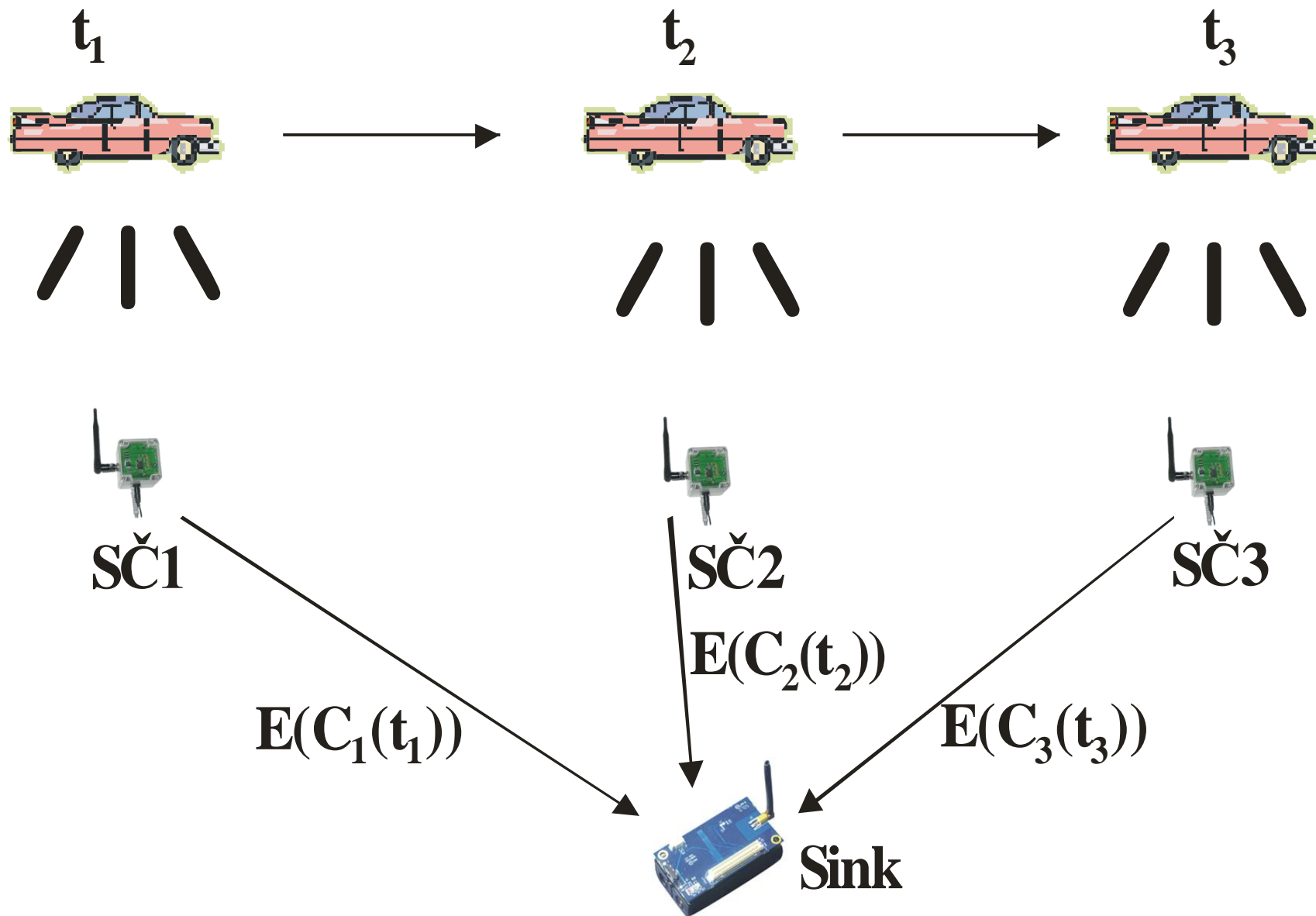
# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju

- Osnovni zadatak SČ u BSM je da **posmatraju objekte i događaje** u prirodi i da **obaveštavaju zainteresovanu stranu** o tim aktivnostima
- SČ koji poseduju magnetne, kapacitivne ili akustične senzore koriste se za detekciju kretanja nekog objekta
- Čest je slučaj da u BSM veći broj SČ **detektuje isti događaj**, a to se redovno događa u aplikacijama gde **više SČ pokrivaju isto područje**.
- Potrebna je **precizna vremenska korelacija** svih ovih događaja da bi smo mogli da damo odgovore na neka pitanja kao što su:
  1. Koliko pokretnih objekata je otkriveno?
  2. Koji je smer kretanja posmatranog objekata?
  3. Kolika je brzina kretanja posmatranog objekta?
- Važno je da posmatrač **utvrdi tačan logičan redosled** događaja

**Primer:** *kada posmatramo kretanje vozila kao na slici tada lokalna vremena koja pokazuju SČ moraju da prate realno vreme.*

- ✓ Tako, ako realna vremena imaju redosled  $t_1 < t_2 < t_3$ , tada i za lokalna vremena koja pokazuju SČ mora da važi  $C_1(t_1) < C_2(t_2) < C_3(t_3)$ .
- ✓ Ovo je važan uslov **koji mora da bude ispunjen** u BSM

# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju



# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju

- Vremenska sinhronizacija je neophodna i **za različite aplikacije i algoritme** u distribuiranim sistemima uopšte uključujući:
  1. **komunikacione protokole** (prosleđivanje samo jedne poruke),
  2. **bezbednost** (ograničavanje upotrebe određenih ključeva i pomoć u otkrivanju duplih poruka kod potvrđivanja autentičnosti – *Kerberos*),
  3. **konzistentnost podataka** - konzistentnost keša i repliciranih podataka
  4. **kontrolu konkurencije** (automnost i međusobno isključivanje).
- Protokoli sloja podataka, kao što je vremensko multipleksiranje podataka (TDMA), omogućavaju da više uređaja mogu da dele pristup zajedničkom komunikacionom mediju istovremeno.
- Prednost TDMA zasnovanih protokola je **predvidljivost pristupa medijumu** (SČ prenosi podatke tokom dodeljenog vremenskog slota)
- Omogućena je **energetski efikasna potrošnja** energije u svakom SČ, jer SČ može da bude u režimu smanjene potrošnje van svog vremen. slota
- Da bi implementirali TDMA, SČ moraju deliti zajednički prikaz vremena, tj. oni moraju biti **svesni tačnog početka i kraja svakog slota** što zahteva jako preciznu sinhronizaciju vremena u svim SČ-ima.



# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju

- U pogledu efikasne potrošnje energije, mnoge aplikacije u BSM se oslanjaju na spavanje/buđenje (*sleep/wake*) protokole
- Oni omogućavaju aplikaciji da **selektivno uključuju ili isključuju SČ**
- Osnovni cilj ovih protokola je **ušteda električne energije**, tj. da SČ-ima omoguće da provedu **maksimalno vreme u režimu smanjene potrošnje**.
- Vremenska sinhronizacija među SČ je neophodna da bi oni znali **kada mogu da uđu** režim smanjene potrošnje i **kada je potrebno da se vrate** u normalan rad.
- Potrebno je osigurati da se njihov **vremenski slot poklopi sa vremenskim slotovima susednih SČ-ova** kako bi mogla da se obavi potrebna komunikacija između njih.
- Konačno, sinhronizacija vremena u BSM je neophodna **za ispravno pozicioniranje SČ** ili objekata koje oni prate.
- Mnoge metode lokalizacije SČ se oslanjaju na tehnologijama koje **vrše procenu udaljenosti između SČ** na osnovu **merenja vremena** koje protekne dok radio ili zvučnih signal ne dođe do njih.



# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju

- S obzirom na potrebu **koordinacije komunikacije**, izračunavanja, **očitanje podataka** (*sensing*) i **aktiviranja raspoređenih SČ** kao i **prostorno i vremenski promenljive prirode** nadgledanih fenomena, nije iznenađenje što je u BSM potrebna jako precizna vreme. sinhronizacija
- Distribuirane BSM zahtevaju sinhronizaciju vremena iz više razloga:
  1. **Za vremensko označavanje poruka** (*time-stamping*)
    - ✓ najjednostavnije BSM aplikacije zahtevaju da se **dodaju vremenske oznake** pored informacija o lokaciji i očitanom podatku.
    - ✓ Ovo je naročito dolazi do izražaja kada dođe do značajnog i nepredvidljivog **kašnjenja** u slanju/prijemu poruke
  2. **Za procesiranje poruka u mreži**
    - ✓ Vremenske oznake su potrebne da bi se utvrdilo koje informacije iz različitih izvora mogu biti spojene/agregirane unutar mreže.
  3. **Za lokalizaciju**
    - ✓ **TOF** (*Time of Flight*) i **TDoA** (*Time Difference of Arrival*) tehnike koje se koriste u **lokalizaciji SČ-ova** zahtevaju jako preciznu vrem. sinhronizaciju svih SČ koji učestvuju u prikupljanju podataka.

# 10.2 Razlozi za vremensku sinhronizaciju

## 4. Za kooperativnu komunikaciju

- ✓ Neke kooperativne komunikacije tehnologije, koje na fizičkom nivou omogućavaju **istovremenu komunikaciju više SČ**, uključuju više predajnika koji prenose **fazno pomerene signale** prema odredištu.
- ✓ Takve tehnike imaju potencijal da obezbede **značajne uštede energije** i omoguće **robusnost veze**, ali zahtevaju preciznu vrem.sinhronizaciju

## 5. Za pristup medijumu

- ✓ Šeme pristupa bazirane na tehnici TDMA, zahtevaju i da se SČ sinhronizuju tako da im se mogu dodeliti **različiti vremenski slotovi**

## 6. Za određivanje *duty cycle* perioda

- ✓ **Najznačajnija** tehnika za uštede energije zasniva se na ***duty cycle***
- ✓ Za ovakav način rada **neophodna** je vremen.sinhronizacija svih SČ

## 7. Za koordinirano aktiviranje

- ✓ Napredne BSM aplikacije u kojima su pored senzora uključeni i **distribuirani aktuatori**, zahtevaju vremensku sinhronizaciju kako bi se oni **koordinirali** kroz distribuirane upravljačke algoritme.

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

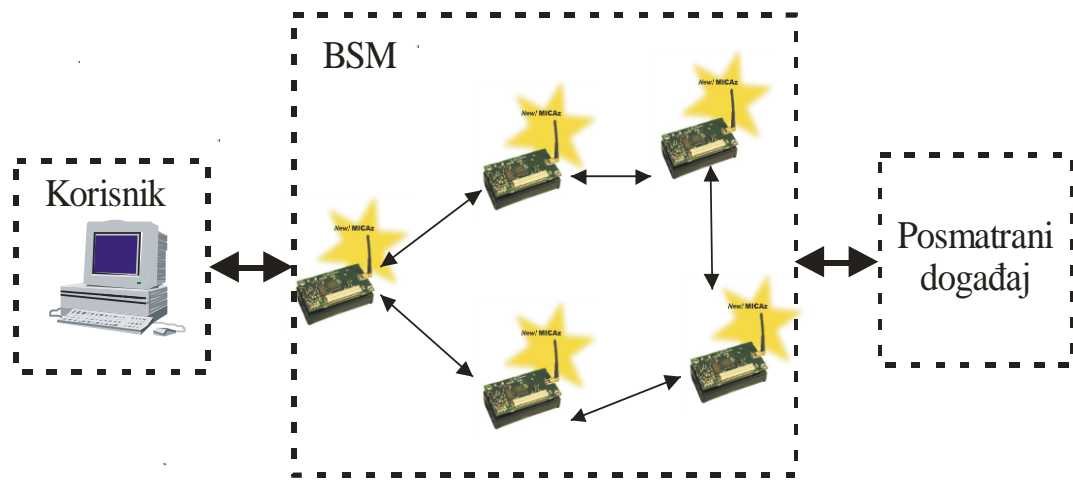
- Mnogi razlozi postoje za razvoj novog pouzdanog protokola za vremensku sinhronizaciju u BSM.
- Neke od osnovnih osobina po kojima se BSM razlikuju od standardnih mreža, i koje znatno utiču na nepodudarnost metoda sinhronizacije su:
  - 1. Dinamička promena topologije** – SČ-ovi moraju da potpuno samostalno uspostave međusobnu mrežnu komunikaciju između sebe.
  - 2. Neravnomerna zastupljenost** – SČ-ovi se najčešće proizvoljno raspoređuju u regionu koji se posmatra. Njihov broj nije svuda ravnomeran i kreće se od nekoliko SČ-ova po do nekoliko hiljada na istom prostoru, tako da može da se desi da veliki broj SČ-ova bude gusto raspoređen u okviru veoma male površine. To znači da se međusobna rastojanja kao i intenzitet saobraćaja između SČ-ova jako razlikuju. Problemi asimetričnih veza koje postoje u BSM je dodatni problem koji eliminiše većinu standardnih protokola za vremensku sinhronizaciju SČ-ova.
  - 3. Adresibilnost SČ** – većina aplikacija ne zahteva da svi SČ-ovi imaju jedinstvenu adresu već se slanje podataka odvija na principu **broadcast**

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

**4. Ograničeni resursi** –verovatno najviše otežava primenu standardnih protokola za sinhronizaciju vremena. Nestabilni kvarcni oscilatori, ograničena količina energije, mala memorija, smanjeni računarski kapaciteti kao i mali gabariti, predstavljaju glavne odlike SČ-ova.

➤ Sinhronizacija vremena u BSM je još **komplikovanija** jer ona zahteva sinhronizaciju **tri elementa**:

1. korisnika,
2. SČ-ova
3. posmatrane pojave



➤ Ona može da se posmatra sa lokalne i globalne strane.

1. **Lokalna sinhronizacija** podrazumeva sinhronizaciju samo nekoliko susednih SČ,
2. **Globalna** podrazumeva sinhronizaciju svih SČ u mreži sa nekim referentnim vremenom – postoji samo **jedno referentno vreme**

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

- 1. Sinhronizacija sa korisnikom** - U većini slučajeva realna slika posmatranog fizičkog događaja, zavisi od informacije **kada se stvarno dogodila promena** na posmatranom objektu – smer i brzina objekta.
- 2. Sinhronizacija između SČ** - cilj svake BSM-e je max. radni vek. Glavna stavka u tome je ušteda u potrošnji električne energije. Od mnogih rešenja koja se ovde primenjuju najefikasnija ušteda se postiže primenom **metode vremenskog multipleksiranja** rada SČ-ova, TDMA. Zahvaljujući njoj **izbegnute su mnoge kolizije** koje prouzrokuju ponovna slanja podataka koja nepotrebno troše el.energiju. Sa druge strane, omogućeno je da SČ-ovi mogu **duži period da budu neaktivni**, jer se oni uključuju samo kada dođe njihov vremenski interval. Da bi ova metoda uspešno zaživela neophodna je vremen.sinhronizacija SČ.
- 3. Sinhronizacija sa posmatranom pojavom** - U BSM većina SČ-ova može da **detektuje istu pojavu** pa se javlja se veliki broj redundantnih podataka. Cilj svake BSM je da redukuje te redundantne podatke i **smanji nepotreban saobraćaj** u mreži. Da bi to mogla da uradi neophodna im je informacija o vremenu kada je neki podatak očit.

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

- Vremenska sinhronizacija između SČ-ova može se postići kako **softverskim tako i hardverskim metodama**.
- Kako hardverski metodi **zahtevaju dodatne uređaje** koji bi gabaritno pvećali veličinu SČ, oni **nisu preporučljivi** za BSM.
- Softverski metodi su znatno prikladniji jer su jeftiniji i **ne zahtevaju dodatnu opremu**.
- Svaka vremenska sinhronizacija može se posmatrati **kroz više faktora koje definiše aplikacija** u kojoj se ona primenjuje.
- Tako na primer parametri koji se odnose na **tačnost vremenske sinhronizacije, vremenski interval** koji je potreban za **sinhronizaciju, potrošena energija, broj poruka koje se razmenjuju, dužina trajanja** kao i **mogućnost kada ona može da se uradi**, u mnogome određuju primenjeni vremenski sinhronizacioni protokol.
- Svi ovi parametri služe nam **kao referentne tačke** kada vršimo upoređivanje do sada razvijenih različitih sinhronizacionih metoda.
- Jasno je da je **veoma teško razviti jednu metodu** koja bi imala optimalne vrednosti po svim nabrojanim faktorima jer su oni oprečni.



## 10.3 Parametri koji utiču na sinhronizaciju

- **Energetska efikasnost** – kako SČ-ovi imaju ograničenu količinu energije (kapacitet baterije), svaki sinhronizacioni protokol mora da bude efikasan u pogledu štednje energije - **minimalan utrošak energije**
- **Dostupnost (Lifetime)** – sinhronizacioni metod treba uvek da bude dostupan - sinhronizaciju vremena **bilo kada i u bilo kojim uslovima**
- **Stepen tačnosti** – vrem.sinhronizacija može da **varira u svoj tačnosti** od nekoliko  $\mu\text{s}$  do nekoliko **sekundi** pa i **sati** - **zavisi od aplikacije**.
- **Otpornost** – BSM obično rade u jako otežanim uslovima, kao što su nepristupačni tereni i sredine podložne raznim promenama. Sinhron. metod mora **ostati validan i funkcionalan**, bez obzira na te promene, bilo da su one izazvane prestankom rada nekih SČ ili prekidom u vezi.
- **Dinamička promena topologije mreže** – Više razloga utiče na ovu karakteristiku i to: otežana komunikacija, otkazi pojedinih SČ-ova, usmeravanje podataka na optimalne rute, višeskokovita (*multi-hop*) topologija, vremenski uslovi, mobilnost SČ-ova i td. Upravo zbog toga ovde se zahteva da se pre početka prenosa podataka **primeni inicijalna faza uspostavljanja veze** između SČ-ova.

## 10.3 Parametri koji utiču na sinhronizaciju

- **Asimetrična komunikacija** – tradicionalne žičane mreže predstavljaju mreže kod kojih se razlike u **trajanju prenosa poruka** kao i **kašnjenja** relativno veoma male. One i ako se jave, mogu se **unapred predvideti i izračunati**. Ove mreže spadaju u mreže sa **simetričnim tokovima** podataka tj. prenos poruka u oba pravca vremenski isto traje. U BSM, zbog njihove višeskokovite topologije koja zahteva višestruko preusmeravanje podataka, **gore pomenute osobine ne važe**. Kašnjenja su **nepredvidljiva** i znatno veća, a uz sve to većina ruta je **asimetrična**.
- **Skalabilnost** – Različite gustine rasprostranjenosti SČ-ova zahtevaju od sinhronizacionog metoda da potpuno isto razreši problem.
- **Opseg sinhronizacije** – globalna sinhronizacija svih SČ-ova u mreži može da bude jako skupo rešenje. Zato se zahteva, da uz minimalne troškove, ostvari bar vremensko sinhronizovanje dva susedna SČ-a.
- **Cena i veličina** – zbog ograničene veličine SČ, svaki metod koji zahteva dodatan uređaj koji bi se dodao SČ, nije logično rešenje
- **Ograničeni resursi** – sinhronizacioni metod **ne sme da zahteva** velike resurse u pogledu CPU snage i veličine memorije.

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

- Sinhronizacioni protokoli koji sa uspehom rade kod žičanih mreža, u uslovima BSM-a su **potpuno neupotrebljivi** zbog ograničenih resursa
- Dva **tradicionalno najrasprostranjenija** metoda za vremensku sinhronizaciju, koja se danas primenjuju su:
  1. **NTP** (*Network Time Protocol*)
  2. **GPS** (*Global Positioning System*)
- **NTP** je dobro poznati protokol za sinhronizaciju koji se primenjuje na Internetu i **zahteva povećane resurse**: elekt. energije i računar.snage.
- **GPS** predstavlja poseban uređaj, koji **povećava cenu i gabarite** svakog SČ-a u BSM-i, a on ne bi ni garantovao vremen.sihronizaciju svih SČ.
- Oba ova metoda zahtevaju značajne resurse u pogledu računarske **snage, memorije, električne energije, cene** kao i **povećane gabarite**
- Kako su upravo svi ovi nabrojani resursi jako kritični kod BSM, jasno je da je **primena ovih metoda potpuno nepogodna i neopravdana**.
- Vremenska sinhronizacija u BSM-i zahteva **razvoj potpuno novih metoda**, koje će biti primenljivije uslovima koji vladaju u njima.

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

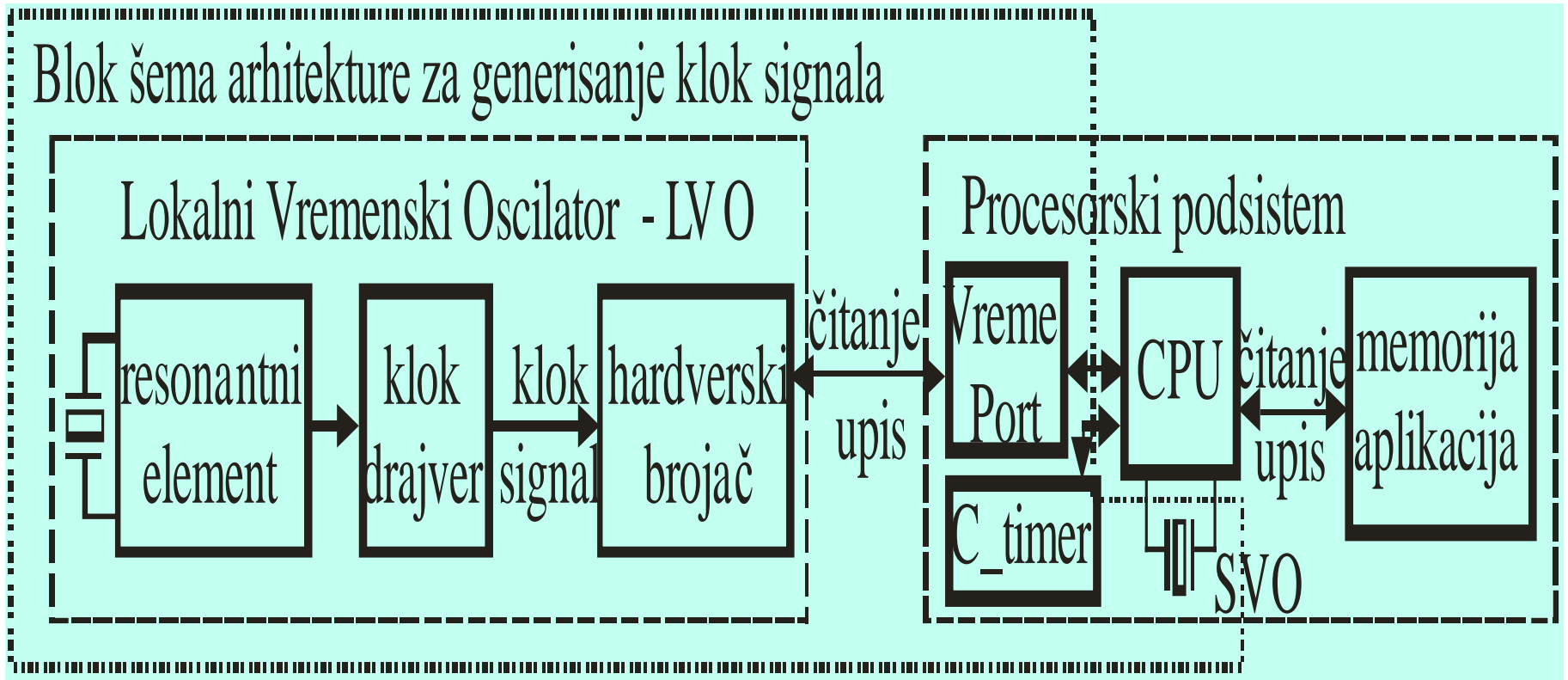
- Sinhronizacija između SČ u BSM postiže se **razmenom poruka**, što omogućava da SČ mogu da **procene svoje vreme u odnosu na druge**
- Sinhronizacija može biti **globalna** ili **lokalna**.
- U globalnoj sinhronizaciji, svi SČ se **sinhronizuju sa jednog izvora**, dok se kod lokalne **sinhronizuju samo susedni parovi**.
- Jedan od glavnih ciljeva kod projektovanja protokola za sinhronizaciju vremena je da se postigne **što kraći vremenski interval između lokalnih vremena** (*timestamp*) u SČ-ima, tj. **da je ono blizu nule**.
- Ovo se može postići kada:
  - a) **koristimo precizniji i stabilniji takt oscilatora** za merenje vremena (zahteva veće troškove i veću potrošnju energije)
  - b) **eliminišemo ili kompenzujemo sve determinističke** i predvidimo sve **nedeterminističke** faktore koji utiču na tačnost merenja vremena i uzmemo ih u obzir tokom beleženja vremena.
- Sigurno da ovo **drugo rešenje predstavlja bolji izbor**, pre svega zbog manjih troškova kao i manju potrošnju energije.
- Rešenje mora da uzme u obzir i **realnu sredinu** u kojoj taj protokol radi

# 10.3 K-ke BSM koje utiču na sinhronizaciju

- U BSM **razvijene su mnoge metode** za vrem.sinhronizaciju između SČ
- Većina je fokusirana na **postizanje visoke tačnosti** sinhronizacije za celu mrežu, sa veoma **malim osvrtom na potrošnju energije**
- Druga rešenja koja **poboljšavaju energetska efikasnost** to rade na račun **povećanja perioda sinhronizacije** ili **smanjivanja njene kompleksnosti**.
- Razvijene su i neke **adaptivne tehnike** za sinhronizaciju SČ-ova, čiji je zajednički cilj bio da se energija sačuva **slanjem manjeg broja sinhro. poruka** na račun **manjeg nivoa sinhronizovanosti** BSM, a da se pri tom zadovolji nivo sinhronizovanosti koju je zahtevala aplikacija.
- Sadašnji popularni protokoli sinhronizacije vremena, **uspešno rešavaju ova dva problema**, ali svi oni ne rešavaju sve probleme **vrem.kašnjenja** koja mogu da se jave zbog **determinističkih i nedeterminističkih pojava**
- Tako na primer, ni jedan od njih direktno ne uzima u obzir **kašnjenje od strane programskog izvršavanja naredbi** na procesoru do koga može da dođe prilikom slanja i primanja paketa u BSM-i.
- Ovo kašnjenje može biti reda nekoliko **ms**, što zavisi od brzine CPU i dužine prog.koda koji se izvršava, **tako da se ono ne može zanemariti**.

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Osnovni blok dijagram kola koja služe za generisanje vremenskog takta, kao i dodatnih kola koja služe za generisanje lokalnog vremena u SČ-u, prikazani su na sledećoj slici:





# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Kao što se sa slike vidi ovaj blok se sastoji iz dva osnovna dela i to:
  1. **LVO**, kao samostalna jedinica
  2. **procesorskog podsistema** koji je zadužen da generiše lokalno vreme
- LVO se sastoji iz tri elementa: **rezonantnog elementa**, **drajvera** i **hardverskog brojača**.
- Procesorski podsistem prihvata stanje hardverskog brojača preko posebnog porta, TP, i može da koristi ovu vrednost **za postavljanje početne vrednosti svog lokalnog vremena**.
- U okviru ovog podsistema nalazi se i dodatni programibilni brojač, **C\_Timer**, koji je opšte namene i može da se koristi **za definisanje različitih vremenskih intervala** (na primer definisanje dužine neaktivnog perioda u kome se nalazi SČ).
- Treba naglasiti da LVO **nastavlja da radi** i kada se processor ili neke druge komponente prebace u neaktivni režim rada.

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Lokal. vreme kod svakog SČ definisano je **frekvencijom koju generiše vremenski sklop** čiji je osnovni pobudni elemenat **kvarcni oscilator**.
- Kod svakog SČ-a postoje dva različita vremenska sklopa i to: **sistemski vremenski oscilator-SVO** i **lokalni vremenski oscilator-LVO**
- Tako na primer kod popularnog SČ Mica, postoji **4MHz** sistemski takt i jedan spoljni takt koji generiše kristalni oscilator od **32,768 Hz**.
- U nameri da imamo različite periode za formiranje vremena, LVO se može konfigurisati sa **promenljivim vremenskim intervalom**
- Razlog za korišćenje dva različita izvora (oscilatora) u okviru jednog SČ-a je sledeći: **LVO radi neprekidno** i to sa **frekvencijom koja se ne menja**, za razliku od SVO koji **može da menja frekvenciju svoga rada**
- Zbog promenljive frekvencije koju daje SVO, **javljaju se nejednake periode vremena**, koje je **teže detektovati**, i **formirati adekvatno vreme**.
- Sasvim je jasno da zbog toga **SVO nije uvek pogodan** za generisanje vremenskih impulsa i formiranje lokalnog vremena.
- Zato se za beleženje lokalnog vremena u SČ-u **većinom koristi LVO**.
- LVO je **potpuno nezavistan** od ostalih komponenti u SČ-u.

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Većina ovih hardverskih oscilatora **ne daje stabilnu i tačnu frekvenciju**, tako da oni nikada **ne generišu iste vremenske intervale**.
- Samim tim i **lokalna vremena**, koja direktno zavise od frekvencije primenjenog kvarcnog oscilatora u SČ-ima, **se dosta razlikuju**.
- Iako sam kristalni oscilator u SČ daje **relativno stabilnu frekvenciju**, **mnogi parametri utiču da se ona razlikuje**.
- Neki od tih parametara su: **tehnologija proizvodnje, napon napajanja SČ, ambijentalna temperatura, pritisak, starost kvarcnog oscilatora ...**
- Svi ovi parametri mogu da prouzrokuju **trenutne ili stalne promene** u frekvenciji kvarcnog oscilatora.
- Kao rezultat toga imamo **različitu frekvenciju kod kvarcnih oscilatora**
- Zato dolazi **do razlike u lok.vremenima** koje pokazuju pojedinačni SČ
- Preciznost nekog oscilatora prikazuje se u jedinicama od **1ppm** (*parts per million*) do **50 ppm**.
- To znači da ukoliko je nominalna frekvencija od samo **1MHz**, vremenska razlika između dva SČ sa istom frekvencijom može da varira od **1-50 μs** u okviru samo **1s** (u toku 24 h. **0,864 s - 4,32s**).

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Da bi se objasnio funkcionisanje sinhronizujućih vremenskih protokola uvodi se **matematički model kvarcnog oscilatora**.
- Neka je  $f$ , osnovna frekvencija koju generiše rezonantni element, tj. predstavlja **osnovni takt na kome rade sva prateća kola** zadužena za generisanje lokalnog vremena u SČ.
- Ovaj signal je periodičan sa periodom ponavljanja  $T = 1/f$ .
- On se dovodi na **hardverski brojač** koji broji te periode.
- U bilo koje vreme  $t$ , može se pročitati vrednost koju on pokazuje i neka je ta vrednost definisana izrazom:  $c(t) = \lfloor f * t \rfloor \bmod 2n$ .
- Učestanost kojom se te periode javljaju,  $1/f$ , nazivamo **rezolucijom sata** a najveću učestalost (brzinu) očitavanja hardverskog brojača nazivamo **preciznošću sata**.
- U principu, **visoka rezolucija signala nije poželjna** ako odgovarajući **softver nije u stanju** da čita brojač sa tom brzinom.
- Obično svaka od ovih vremenskih arhitektura podešena je da beleži vreme po **međunarodnom kalendaru: Universal Time Coordinated**

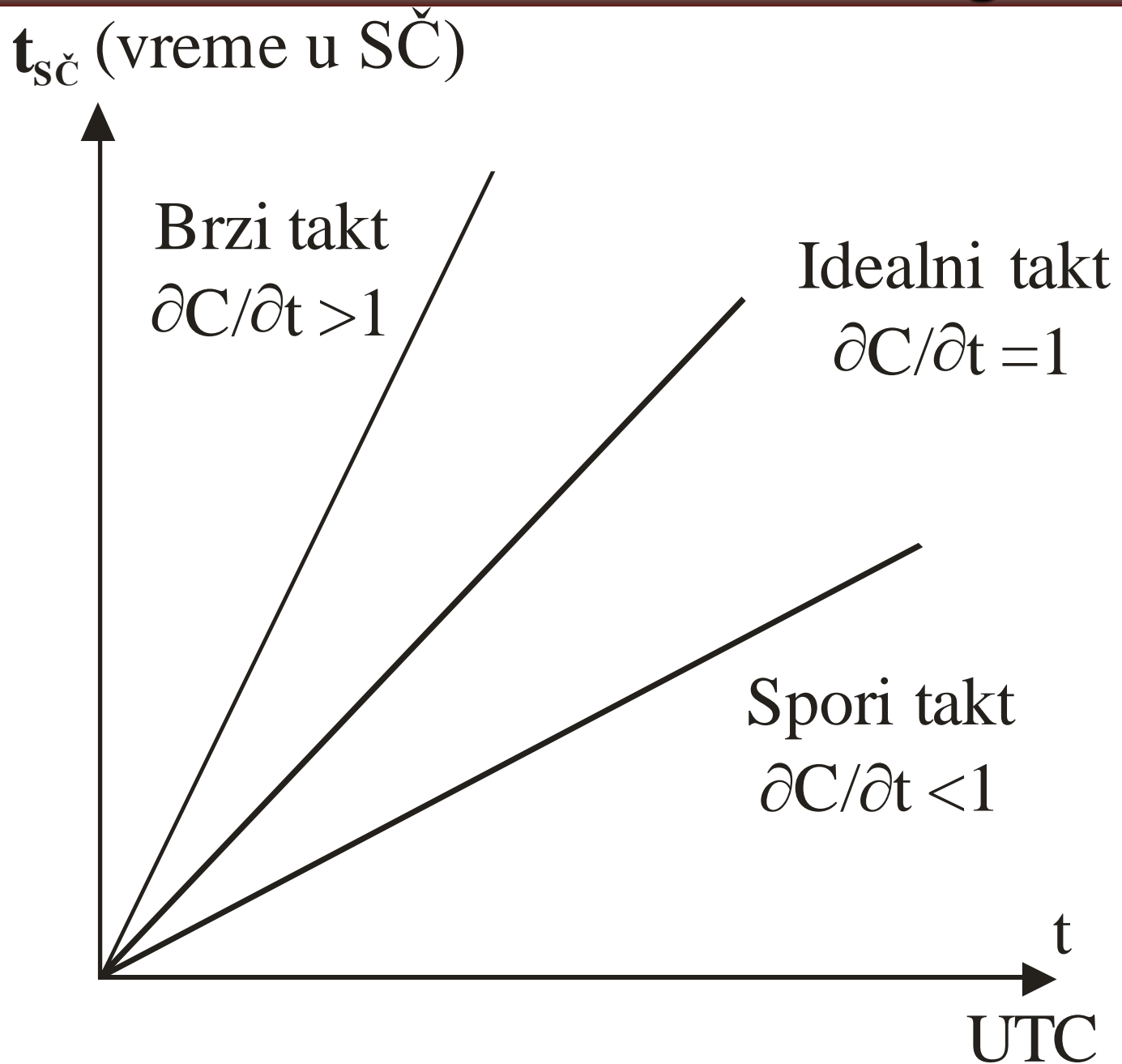
# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Međutim, zbog nesavršenosti kvarcnih oscilatora, u toku svog rada dolazi do **formiranja različitih vrednosti** tih vremena kod SČ-ova.
- Što je vrednost koju formira hardverski brojač bliža UTC, kažemo da je **njegova tačnost veća**.
- Svaki proizvođač **definiše opseg nepreciznosti** satnog mehanizma i ona se definiše na sledeći način:

$$1 - \rho \leq \frac{\partial C}{\partial t} \leq 1 + \rho$$

- ✓ gde je  **$\rho$  maksimalno odstupanje** (*skew rate*) od nominalne deklaracije proizvođača za taj satni mehanizam.
- Na sledećoj slici prikazani su **uporedni dijagrami za brzi, spori i idealni satni klok** u odnosu na međunarodni kalendar (UTC).

# 10.4 Analitički model računarskog takta



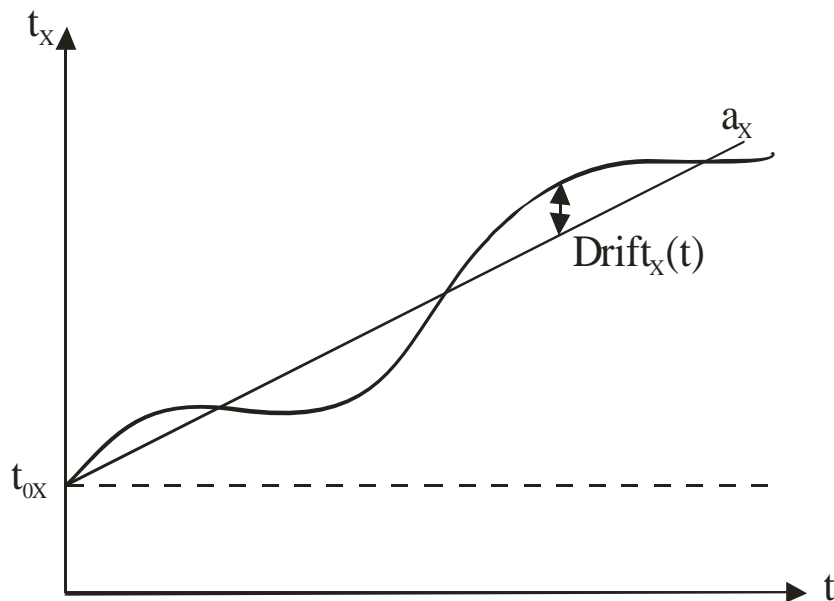


# 10.4 Analitički model računarskog takta

➤ Može se zaključiti da se lokalna razlika u vremenima,  $\Delta C$ , koja odgovara realnoj razlici vremena,  $\Delta t$ , može prikazati sledećim intervalom:  $\left[ (1 - \rho) * \Delta t, (1 + \rho) * \Delta t \right]$

➤ Sada se može postaviti funkcija koja povezuje lokalno vreme u svakom SČ sa univerzalnim UTC

➤ Možemo da kažemo da za svaki SČ<sub>x</sub> u BSM-i, gde svaki SČ ima svoj interni hardverski oscillator X, koji omogućuje relativno stabilnu frekvenciju, na osnovu koje se beleži lokalno vreme u svakom SČ<sub>x</sub>, važi sledeća relacija:



$$t_x = a_x t + t_{0x} + Drift_x(t)$$

✓ gde  $t_x$  predstavlja lokalno vreme SČ<sub>x</sub>,

✓  $t$  je UTC vreme,

✓  $a_x$  je odstupanje takta (*clock skew*) razlika f-ja oscilatora u SČ<sub>x</sub> i UTC

✓  $t_{0x}$  je inicijalna vremenska razlika između ova dva vremena.

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Iako važi da svi SČ-ovi u BSM-i, koji imaju isti kvarcni oscillator deklarativno rade sa istom frekvencijom, to u stvarnosti nije slučaj.
- **Teško je naći samo dva SČ-a koja će pokazivati isto vreme.**
- To znači da oni ne mogu da rade na potpuno istoj frekvenciji, tj. svaki lokalni sat formiraće vreme na osnovu svoje nominalne frekvencije
- Ona će se međusobno razlikovati zbog **dinamičkih uslova** u kojima SČ radi (**promene u ambijentalnoj sredini, pritisak, temperatura, kretanje SČ-a**) i **statičkih razlika** (razlika u **hardver. komponentama** i **nepreciznosti u izradi štampane pločice**).
- Ova razlika naziva se **greška u frekvenciji** ili stabilnost frekvencije, i definiše se kao:  
$$f_e = f_0 - f(t)$$
- ✓ gde je  $f_0$  nominalna frekvencija
- ✓  $f(t)$  je frekvencija signala u nekom vremenskom trenutku  $t$ .
- Ova greška je **jako mala** i prikazuje se u **milionitim delovima sekunde (ppm)** tako da se dobija iz sledeće relacije:  $f_e(t) = (f(t) - f_0) * 10^6 / f_0$

# 10.4 Analitički model računarskog takta

- Ukoliko imamo kvarcni oscillator kod koga frekvencija varira **60 ppm**, to znači da vremena dva SČ-a mogu da se razlikuju za **60  $\mu$ s** u okviru samo jedne sekunde, što znači da za jedan dan ta razlika iznosi **5.193s**
- Greška u frekvenciji **nije konstantna**, već se ona u toku vremena menja
- Ova promena, naziva se frekvencijski **drift** i njegove promene mogu se klasifikovati u dve kategorije:
  - 1. kratkoročne** (period od nekoliko **sekundi** pa do nekoliko **dana**), one su posledica ranije opisanih **promena u izradi SČ-ova i uslova rada**,
  - 2. dugoročne** (period od nekoliko **nedelja** pa do nekoliko **godina**) koje su posledica **starenja kvarcnih oscilatora**.
- Kratkoročne promene mogu da dovedu do razlika između kvarcnih oscilatora od **10 ppm pa do nekoliko stotina ppm**, dok dugoročne promene donose razlike od **nekoliko ppm godišnje**
- **Jako teško je matematički modelirati** frekvencijski drift jer on u toku vremena zavisi od **velikog broja različitih** kako ambijentalnih tako i hardverskih komponentata SČ.
- On predstavlja **jednu konstantu u određenom kraćem periodu vremena**.

# 10.4 Analitički model računarskog takta

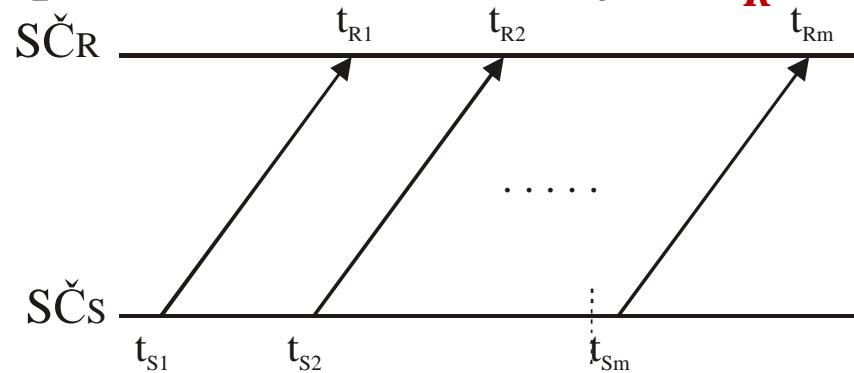
- To nam daje pravo da prethodnu krivu možemo da aproksimiramo jako dobro **kao sekvence funkcije linearne regresije**
- Na osnovu toga, moguće je izvršiti korekciju te krive u svakom periodu uzrokovanja, tj. **da se izvrši usklađivanje dva različita vremena**
- U nameri da se prikažu granice greške, do kojih pri takvoj sinhronizaciji dolazi, važi **pretpostavka da je učestalost uzrokovanja dovoljno visoka** i da su **skupovi podataka** koje koristi funkcija linearne regresije **uvek odgovarajući realnoj situaciji**.
- Na osnovu toga prethodna jednačina može biti **zamenjena sa:**

$$t_x = a_x(n)t + t_{0x}(n), \quad nT_{sam} < t < (n+1)T_{sam}$$

- ✓ gde je  **$T_{sam}$**  period uzrokovanja.
- Treba napomenuti da se **frekvencijski drift** u  $n$ -tom period uzrokovanja nalazi unutar vrednosti  **$a_x(n)$** .

# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Tradicionalni algoritmi za sinhronizaciju vremena podrazumevaju da se **podčinjeni SČ-ovi sinhronizuju sa vremenom nadređenog SČ-a**.
- Na slici su prikazana dva SČ-a: **SČ<sub>S</sub>** koji ima ulogu glavnog SČ-a koji šalje niz referentnih paketa za sinhronizaciju **SČ<sub>R</sub>**



- Postavimo **sada inicijalnu relaciju** između lokalnog vremena glavnog **SČ<sub>S</sub>**, označenog sa  $t_s$ , i lokalnog vremena **SČ<sub>R</sub>**, označenog sa  $t_R$ , koji se sinhroniše na osnovu **vremenske poruke koju dobija od SČ<sub>S</sub>**.

$$t_R = a_{RS}(n)t_s + t_{ORS}(n)$$

- ✓  $t_{ORS}(n)$  - predstavljaju relativnu vremensku razliku (**clock offset**)
- ✓  $a_{RS}(n)$  - odstupanje takta (**clock drift**) između lokalnih vremena čvorova **SČ<sub>R</sub>** i **SČ<sub>S</sub>**.

# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

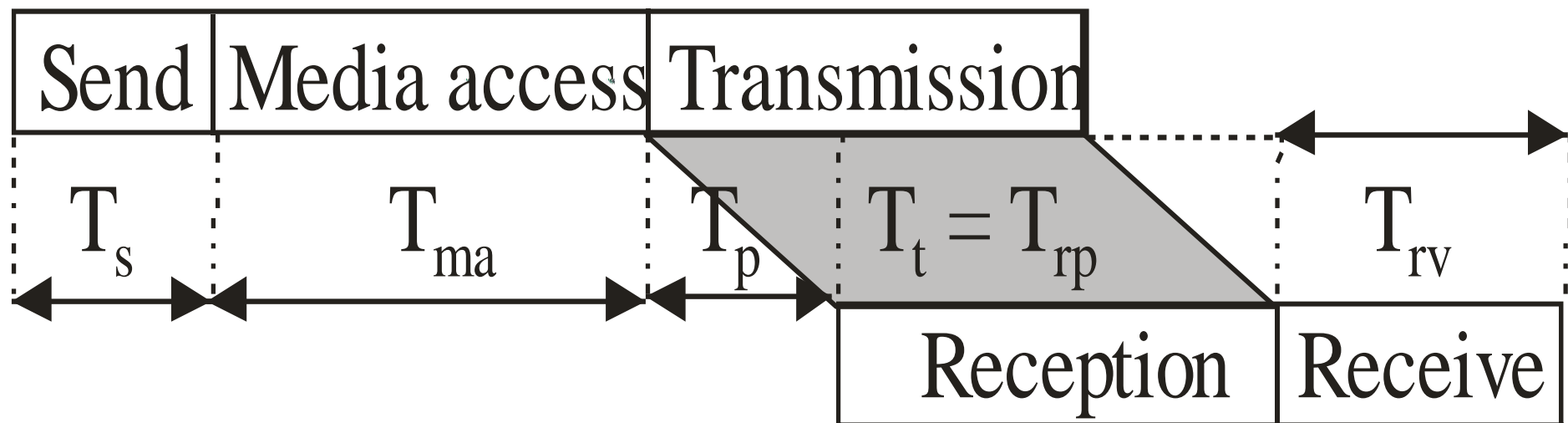
- **Clock offset** predstavlja **razliku u odnosu na vrednost nekog realnog, referentnog vremena**
- **Drift** označava **odstupanje u frekvencijama** ili predstavlja vremensku razliku dolaznog vremena dva signala koji bi trebalo da stignu u istu tačku istovremeno.
- On je **direktna posledica izvitoperenosti (skew)** takt frekvencije u dva SČ-a, bez obzira što oni imaju potpuno iste kvarcne oscilatore.
- Sasvim je jasno da u slučaju **idealne sinhronizacije** ove promenljive imaju vrednost  **$t_{ORS}(n)=0$  i  $a_{RS}(n)=1$** .
- Osnovni cilj svake sinhronizacije vremena između SČ-ova (u ovom slučaju  **$SČ_R$**  se sinhroniše na osnovu lokalnog vremena  **$SČ_S$** ) je da **predvidi vrednosti  $t_{ORS}(n)$  i  $a_{RS}(n)$**
- Na taj način, SČ koji se sinhroniše ( **$SČ_R$** ), može kad god je to potrebno da **prilagodi svoje lokalno vreme**, tj. da ga izjednači sa lokalnim vremenom  **$SČ_S$** .



# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Pored već navedenih parametara koji mogu da utiču na ove razlike vremena u SČ javljaju se i drugi kao što su: **tipovi SČ-ova, vrste primenjenog softvera, kvalitet bežičnog kanala, tipovi integrisanih kola, štampana ploča** i drugi.
- Svi ovi parametri utiču da se **takt frekvencije** dva istovetna kvarc oscilatora tokom vremena **znatno razlikuje**.
- Primenom vrem.sinhronizacionih protokola **usaglašavamo te razlike**
- Gotovo svi oni rade na jednostavnom principu **razmenjivanja poruka** koje sadrže lokalna vremena SČ-ova (*timestamp*).
- Na osnovu tog primljenog vremena, koje sada predstavlja referentno vreme, i svog lokalnog vremena, **prijemni SČ može da izvrši korekciju svog lokalnog vremena** i tako se usaglasi sa ostalim SČ-ima.
- Do sada su prikazani samo neki parametri – **hardverski**, koji su uticali na pojavu razlike u frekvencijama lokalnih oscilatora kod SČ-ova.
- U procesu sinhronizacije javljaju se i **softverski parametri** koji direktno utiču na kvalitet i preciznost sinhronizacije vremena kod SČ-ova.
- To su **razna kašnjenja** koja se javljaju kod slanja i prijema paketa

# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ



# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Ovaj tip greške je **mного važniji** jer može da unese znatno **veće vremensko kašnjenje** od hardverskih komponenti
- Možemo razlikovati **četiri osnovne komponente** koje unose grešku u sinhronizaciju a javljaju se prilikom procesa sinhronizacije:
  1. **Vreme procesiranja**,  $P$  period (*Processing*) –vremenski period koji je potreban CPU da pripremi podatke, formira strukturu paketa i isti prenese u bafer primopredajnika. Njegova dužina zavisi od **programa koji to radi**, kao i od **načina rada operativnog sistema**, koji ima isključivo pravo u odlučivanju koji, kada i koliko će se neki zadatak izvršavati u SČ-u. **To je nedeterministički period dužine oko 100 ms.**
  2. **Vreme pristupa medijumu**,  $A$  period (*Media Accessing*) - vreme koje potrebno da primopredajnik proveriti medijum kako bi mogao da pošalje paket i izbegne koliziju. Predstavlja komponentu koja je jako specifična pre svega zbog nepredvidljive dužine trajanja. Ona zavisi od **jačine saobraćaja** na medijumu kao i od **primenjenih tehnika za izbegavanje kolizije** (TDMA, CSMA or RTS/CTS). Njeno trajanje je **nedetrminističko** i iznosi od nekoliko **ms** pa sve do nekoliko **sekundi**.

# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- 3. Vreme prenošenja podataka,  $D$  period (*Propagation*)** – deli se na:
- a. *Transmission*** - vreme kod izvornog SČ koje protekne od trenutka kada je medijum slobodan pa sve dok se ceo paket ne pošalje u medijum. Kako je paket fiksne dužine, ako znamo brzinu prenosa paketa lako možemo da ga izračunamo i ono iznosi **nekoliko ms**.
  - b. *RF propagation*** - vreme koje je potrebno da bi signal prešao put od izvornog do odredišnog SČ-a. Kod tradicionalnih mreža ovo je dominantno vremensko kašnjenje zbog velikih rastojanja i dodatnih kašnjenja koje unose razni uređaji kroz koje prolazi paket. Kod BSM, zbog jako kratkih rastojanja, od nekoliko desetina metara, pri brzini prostiranja signala od  $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ , ovo vreme je **manje od  $1 \mu\text{s}$** .
  - c. *Reception*** – identičan *transmission* periodu ali se on odnosi na prijemni SČ, i predstavlja potrebno vreme da se prihvati ceo paket.
- 4) Vreme prijema podataka,  $R$  period (*Receiving*)** - vreme koje protekne od kada je paket primljen u baferu primopredajnika  $SČ_R$ , pa do kada se primljena vremenska informacija (*timestamp*) ažurira i prenese u lokalni vremenski brojač. Dužina je nekoliko **stotina ms**

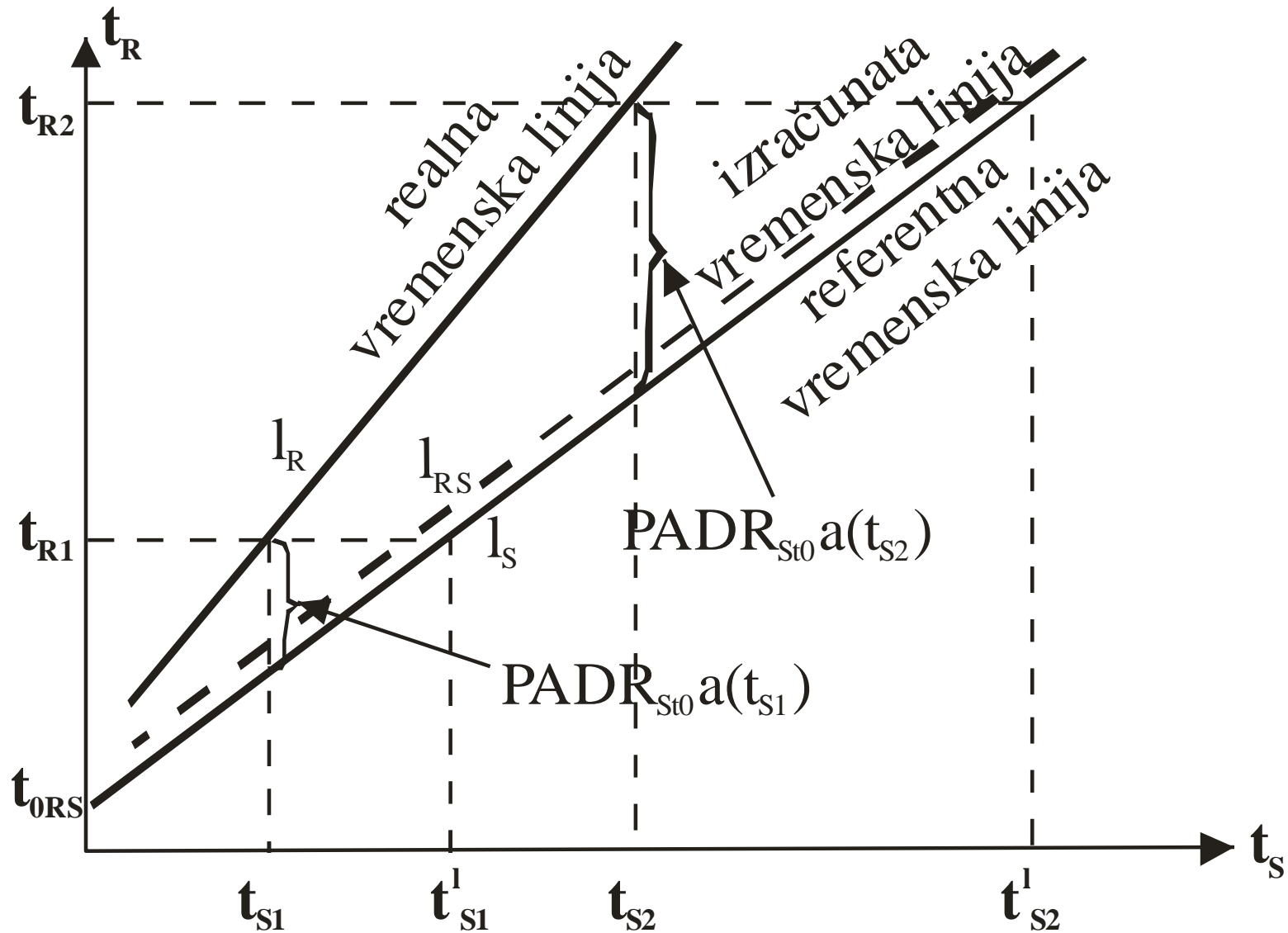
# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Posmatrajući ove vremenske komponente može se definisati jedan **zajednički period-kašnjenje** koji se neminovno javlja prilikom prenosa vremenskih podataka i to je **PADR period** (inicijali perioda kašnjenja)
- U realnim uslovima trajanje perioda procesiranja, pristupa medijumu i prijema podataka ( $P$ ,  $A$  i  $R$  periodi) zavise od vrste **korišćenog primopredajnika**, **opterećenosti komunikacionog kanala** i SČ-ova, kao i od vrste primenjenog **MAC protokola**.
- Period prenošenja podataka ( $D$  period) je vreme koje zavisi od **fizičkog rastojanja** između  $SČ_S$  i  $SČ_R$ , tako da je ono **lako izračunljivo** ako se zna međusobno rastojanje između čvorova.
- Sasvim je jasno da svi ovi periodi utiču na tačnost sinhronizacije tako da oni **moraju da budu uključeni** u funkciju koja nam definiše relaciju između dva lokalna vremena u SČ-ima.
- Kada se to uradi dobijamo da ta jednačina **ima sledeći oblik**:

$$t_R = a_{RS} (n) t_s + t_{0RS} (n) + \text{PADR}_{S-R}$$

# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Na osnovu ove jednačine prikazan je **analitički model vremenske sinhronizacije** između dva  $SČ_S$  i  $SČ_R$  na donjoj slici





# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Posmatrajući sliku može da se zaključi sledeće:
  - ✓ da ako želimo što precizniju sinhronizaciju dva SČ-a, u slučaju kada se dva događaja istovremeno odvijaju u vremenu  $t_R$  (posmatrano u  $SČ_R$ ) i  $t_S$  (posmatrano u čvoru  $SČ_S$ ), tačka  $(t_S, t_R)$  mora da se nalazi **što bliže referentnoj vremenskoj liniji,  $l_S$ .**
  - ✓ Pri tome, sve te tačke koje u stvari predstavljaju trenutke kada se vrši sinhronizacija, treba da **definišu novu izračunatu vremensku liniju,  $l_{RS}$**
- U idealnom slučaju, kada bi se ove **dve vremenske linije poklopile** imali bi tačnu sinhronizaciju dva lokalna vremena  $SČ_S$  i  $SČ_R$ .
- U realnim uslovima to nikada nije slučaj, tako da je osnovni cilj svake vremenske sinhronizacije **da izračuna vrednosti tačaka  $(t_S, t_R)$** , tako da postigne da nagibi vremenskih linija  $l_S$  i  $l_{RS}$  **budu identični**, što znači da ove dve linije budu koliko, toliko paralelne.
- **Vremen. sinhronizacija je tačnija** ako se postigne da nagibi izračunate vremenske linije  $l_{RS}$  i referentne vremenske linije  $l_S$  **budu približniji**.

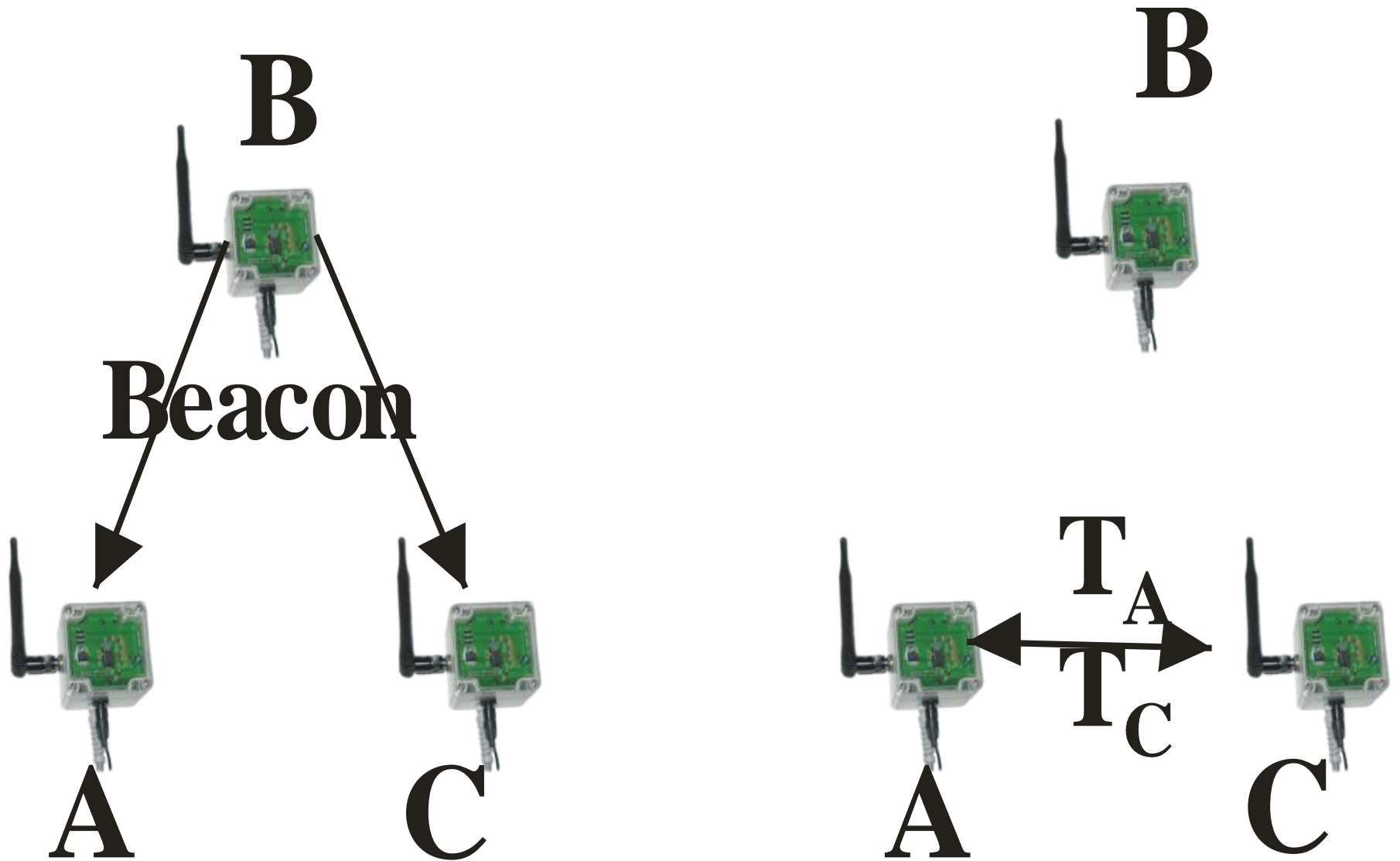
# 10.5 Razlika lokalnih vremena kod SČ

- Pretpostavimo sada da u nekom vremenskom trenutku  $t_{S1}$ ,  $SČ_S$  (referentni SČ) šalje paket sa svojim lokalnim vremenom  $SČ_R$ .
- $SČ_R$  prima ovaj paket u vremenskom trenutku  $t_{R1}$  koji odgovara lokalnom vremenu  $t^l_{S1}$  u  $SČ_S$
- Nakon prijema drugog referentnog paketa koji odgovara vremenskim trenutcima  $t_{S2}$  i  $t_{R2}$ , kod  $SČ_S$  i  $SČ_R$ , respektivno,  $SČ_R$  može odrediti izračunatu vremensku liniju koja prolazi kroz tačke  $(t_{S1}, t_{R1})$  i  $(t_{S2}, t_{R2})$ .
- Razlika između izračunate vremenske linije i referentne vremenske linije odgovara ranije definisanom vremenskom kašnjenju **PADR** između  $SČ_S$  i  $SČ_R$ .
- Da bi se postigla što preciznija vremenska sinhronizacija između dva SČ-a, potrebno je da glavni cilj svakog sinhronizacionog protokola bude da adekvatno proceni **PADR** kašnjenje, kako bi sa tom vrednošću mogao da koriguje lokalno vreme SČ-a koji se sinhroniše.
- Što je ta procena tačnija, razlika između lokalnih vremena SČ-ova biće manja a samim tim i algoritam vremenske sinhronizacije bolji.

# 10.6 RBS-Reference broadcast synchronization

- RBS ili sinhronizacija putem **referentnog pozivnog signala** zasniva se na prenosnoj karakteristici bežičnih kanala.
- Princip rada se sastoji u tome da postoji jedan **centralni server** koji emituje **referentni signal** (*reference broadcast*), koji se naziva **beacon**
- Signal se **broadcast**-uje tj. predstavlja vrstu prenosa **jedan prema više**.
- Svi SČ koji su **primili ovaj signal, beacon, resetuju** svoja vremena.
- Sve **propagacione neodređenosti** koje su vezane za prenos poruke, kašnjenje signala između CPU i RF, vreme pristupa medijumu, vreme prostiranja signala **se zanemaruju** tj. ista su za sve SČ (**jedan je signal**).
- **Kašnjenje kod prijema signala** putem antene kod prijemnika su **za red veličine manje** od prethodnog kašnjenja pa se takođe **moгу zanemariti**.
- Na ovaj način **sinhronizujemo logičko vreme** koje predstavlja vreme unutar proizvoljnog vremenskog perioda, kao što je merna perioda.
- **Fizičko vreme** predstavlja stvarno vreme i **na njega se ne utiče**.
- Procedura lokalne sinhronizacije se **može ponavljati** tako što će sada SČ koji su primili *beacon* u prethodnom intervalu emitovati nove *beacone* za svoje susede i tako **izvršiti sinhronizaciju cele BSM mreže**.

# 10.6 RBS-Reference broadcast synchronization



## 10.6 RBS-Reference broadcast synchronization

- Princip rada RBS protokola prikazan je na prethodnom slajdu:
  - ✓ pretpostavimo da imamo SČ A, B i C koji su u **istom emision.domenu**
  - ✓ Neka je **SČ B** referentni čvor **koji emituje referentni signal *beacon*** (koji ne sadrži informacije o vremenu) koji istovremeno primaju SČ-ovi A i C (zanemarićemo propagaciono kašnjenje).
  - ✓ Dva SČ, A i C, u trenutku prijema signala ***beacon***-a **pamte svoja lokalna vremena**.
  - ✓ Nakon toga SČ A i C **razmjenjuju lokalna vremena** putem poruka.
  - ✓ To je sasvim dovoljno da ovi SČ **odrede svoje relativne razlike** u vremenima u trenutku prijema referentne poruke.
- Ova osnovna šema, koja je sasvim slična mehanizmu *CesiumSpray* za sinhronizaciju SČ koji koristi GPS prijemnik, **može se bez problema proširiti i na veći broj SČ** koji se hijerarhijski nalaze u drugom nivou.
- Poboľšanja u vremenskoj sinhronizaciji mogu se postići **ubacivanjem višestrukih referentnih *beacon*** signala.
- To omogućava **ublažavanje grešaka** kod prijema paketa, kao i procenjivanje odstupanja takta (*clock drift*).

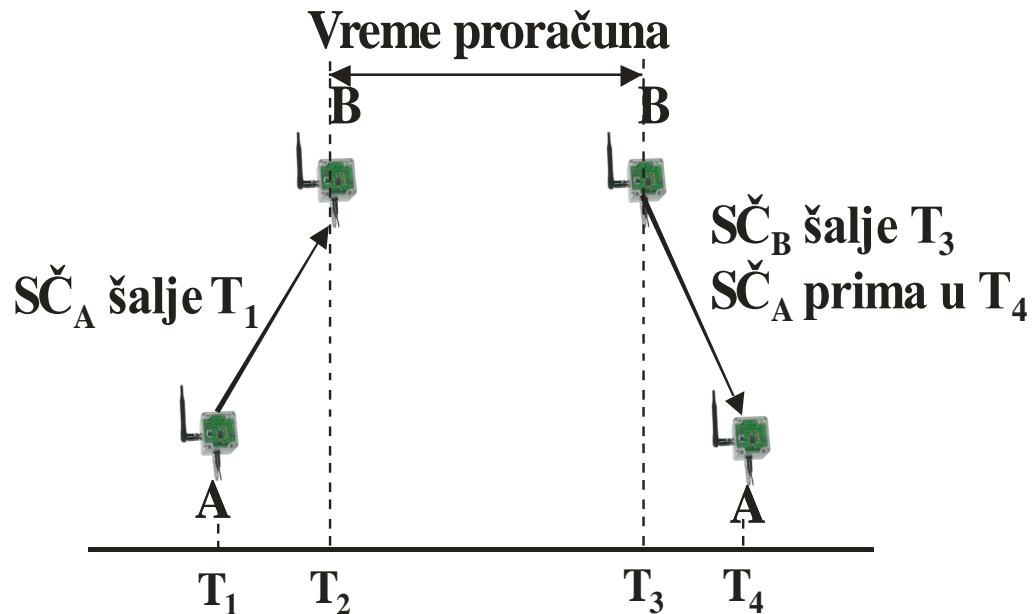
# 10.6 RBS-Reference broadcast synchronization

- Ključna karakteristika RBS-a je da on u **potpunosti eliminiše sva kašnjenja** koja mogu da se jave kod SČ (pošiljalac) koji šalje referentni signal *beacon* **jer se šalje samo jedan signal**.
- U scenarijama gde kašnjenje pošiljaoca **može biti značajno** (naročito kada se vremenski podatak priprema za slanje na sloju aplikacije umesto na sloju veze), to rezultira **značajno poboljšanom vremenskom sinhronizacijom**.
- RBS se može proširiti i **na multi-hop mreže** na sledeći način:
  - ✓ ako postoji **nekoliko odvojenih referentnih signala** i svaki od njih ima svoj emisijski domen može doći **do njihovog preklapanja**.
  - ✓ SČ - prijemnici koji leže u regionu koji se preklapa (to su područja u kojima postoji više referentnih signala koji se emituju) **obezbeđuju "mostove"** koji dozvoljavaju SČ-ima da preko ovih domena odrede **odnos između svojih lokalnih vremena**.
  - ✓ Tako na primer ako su **SČ A i C** u opsegu emitovanja **SČ B**, i **SČ C i D** su u opsegu emitovanja **SČ E**, tada **SČ C** obezbeđuje ovaj most.



## 10.7 TPSN- Pair-wise sender-receiver synchronization

- TPSN predstavlja protokol za sinhronizaciju vremena u BSM koji omogućava **klasičnu sinhronizaciju tipa predajnik-prijemnik**.



- Kao što je prikazano na slici SČ A prenosi poruku sa **podatkom o svom lokalnom vremenu** u trenutku **T<sub>1</sub>**.
- Ova poruka se prima na SČ B, koji markira vreme prijema kao svoje lokalno vreme **T<sub>2</sub>**.
- SČ B zatim šalje povratni paket ka SČ A, označavajući svoje lokalno vreme kao **T<sub>3</sub>**.
- Ovo se konačno prima na SČ A u vremenskom trenutku **T<sub>4</sub>**.

## 10.7 TPSN-*Pair-wise sender-receiver synchronization*

- Pretpostavimo da je razlika lokalnih satova u SČ A i B iznosi  $\Delta$ , a da je *propagaciono kašnjenje* između njih  $d$ . Onda je:

$$T_2 = T_1 + \Delta + d$$

$$T_4 = T_3 - \Delta + d$$

- što rezultira sledećim:

$$\Delta = ((T_2 - T_4) - (T_1 - T_3)) / 2$$

$$d = ((T_2 + T_4) - (T_1 + T_3)) / 2$$

- U kompletnoj BSM vremenska sinhronizacija TPSN protokolom vrši se *slojevito* tj. jedan nivo, pa drugi i td.
- Korenski SČ *prvo sinhronizuje SČ-ove na nivou 1*.
- Zatim SČ sa nivoa 1 postaju referenti za *sinhronizaciju SČ sa nivoa 2*.
- Postupak se ponavlja sve *dok se svi SČ u BSM* ne sinhronizuju
- Kako se nedeterministička kašnjenja na strani pošiljaoca mogu ublažiti tako što se *priprema vrem.informacije vrši na sloju veze*, protokol daje *duplo precizniju* sinhronizaciju u odnosu na prethodno opisani RBS
- Pošto je greška duplo manja, on potencijalno može da ostvari još *veće prednosti* kada se primeni za sinhronizaciju SČ kod *multi hop BSM*.

Hvala na pažnji !!!



Pitanja

? ? ?