

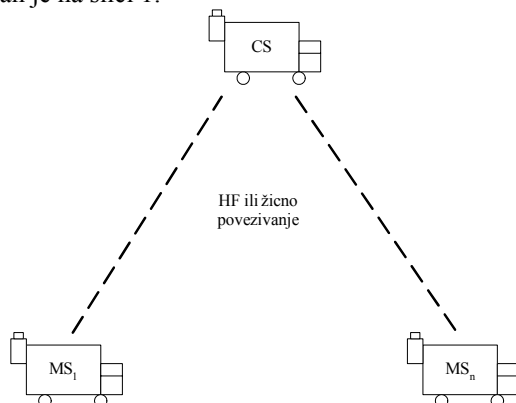
VREMENSKA SINHRONIZACIJA U DISTRIBUIRANOM RAČUNARSKOM SISTEMU ARTIS

Nikola Zogović, Institut „Mihajlo Pupin“, IMP-Računarski sistemi, Beograd

Sadržaj – U ovom radu su razmotrene tehnike za sinhronizaciju vremenskih referenci za tri različita procesa u distribuiranom C2 sistemu ARTIS. Prikazana je jednostavna realizacija sinhronizacije sa komercijalno raspoloživim resursima, koja zadovoljava postavljene zahteve.

1. UVOD

ARTIS je deo C2 (Command and Control) sistema namenjen za RT (Real-Time) prikupljanje podataka o EM (electromagnetic) aktivnosti u okolini, detektovanje, lociranje, identifikovanje i praćenje promene parametara izvora EM zračenja [1]. Sastoji se od više izviđačkih stanica MS (Monitor Station) i jedne komandne stanice CS (Command Station). Svaka stanica je opremljena računarom opšte namene tipa PC sa operativnim sistemom (OS) Windows NT 2000. Na ovim računarima konkurentno se obavljaju poslovi prikupljanja i obrade podataka, kao i poslovi vezani za komunikaciju između stanica [2]. Stanice su povezane mrežom topologije zvezda, a komunikacija se odvija kroz kanal ekvivalentan telefonskom kanalu. Za prilagođenje signala koristi se modemska uređaj [3], koji se na PC povezuje preko serijskog porta. Izgled razvijenog sistema prikazan je na slici 1.



Sl 1. Izgled razvijenog sistema

MS stanice izveštavaju CS stanicu o svakom detektovanom događaju odgovarajućim porukama. Za prenos poruka koristi se RT protokol na link sloju [4], a svakoj poruci dodaje se vremenska oznaka radi dalje obrade na CS stanici.

U distribuiranim senzorskim sistemima, kao što je ARTIS, generalno postoji potreba za sinhronizacijom tri različita procesa. Prvi proces je vremenska korelacija poruka pristiglih sa različitih MS stanica, na CS stanici. Stoga, potrebno je da vremenske reference, na osnovu kojih se formiraju vremenske oznake za poruke na MS stanicama, budu sinhronizovane. Ova sinhronizacija će nadalje u radu da bude označena kao aplikaciona sinhronizacija. Za RT prenos podataka u ovakvim sistemima najčešće se koristi komunikacioni protokol za pristup medijumu baziran na vremenskoj raspodeli. Drugi proces podrazumeva određivanje potrebnih vremenskih trenutaka za sinhronizaciju pristupa medijumu. Ova sinhronizacija će nadalje u radu da

bude označena kao komunikaciona sinhronizacija. Treći proces vezan je za testiranje performansi komunikacionog podsistema, odnosno određivanje kašnjenja u prenosu poruka te će i potrebna sinhronizacija da bude označena kao test sinhronizacija. Ova tri procesa imaju različite tolerancije za sinhronizaciju te se stoga odvojeno analiziraju.

U ovom radu razmotrene su mogućnosti za sinhronizaciju u ARTIS sistemu i predstavljena je jedna konkretna realizacija. Rad je organizovan u pet delova. U drugom delu dat je pregled postojećih tehnika za sinhronizaciju u distribuiranim računarskim sistemima. U trećem delu razmotrene su mogućnosti za postizanje sinhronizacije u ARTIS sistemu. U četvrtom delu prikazana je konkretna realizacija sinhronizacije. U petom delu su sumirani rezultati i naznačene su smernice daljeg istraživanja.

2. PREGLED TEHNIKA ZA SINHRONIZACIJU

Lokalni časovnici u distribuiranom sistemu mogu međusobno da budu sinhronizovani generalno na dva načina. Pri način je spoljna sinhronizacija, koja podrazumeva da svi lokalni časovnici dobijaju informaciju o vremenu od jednog spoljnog izvora, naprimer, od GPS-a (Global Positioning System) [5]. Drugi način je unutrašnja sinhronizacija i podrazumeva međusobnu sinhronizaciju između lokalnih časovnika. Za međusobnu sinhronizaciju potrebno je da čvorovi distribuiranog sistema budu umreženi i da postoji sinhronizacioni protokol. Sinhronizacija može da bude apsolutna i relativna. Kod apsolutne sinhronizacije potrebno je da svi sinhronisani časovnici pokazuju isto vreme, a kod relativne sinhronizacije [6] potrebno je da bude zadovoljen redosled događaja i tačnost njihove relativne pomenosti jednih u odnosu na druge.

GPS zahteva postojanje posebnog GPS prijemnika, koji poskupljuje sam sistem i ukupnu potrošnju energije sistema. Ova dva parametra zauzimaju posebno mesto u savremenom konceptu senzorskih mreža pri čemu se teži da budu minimizirani. Problem kod GPS-a je nemogućnost prijema ukoliko se prijemnik nalazi ispod vode, u šumi ispod lišća ili ako na bilo koji način prijemnik nije u mogućnosti da primi signal od dovoljnog broja satelita.

Za unutrašnju sinhronizaciju do sada je razvijen veliki broj protokola [7-10] među kojima NTP (Network Time Protocol) [10] zauzima najznačajnije mesto. NTP služi za sinhronizaciju bilo koja dva računara na Internetu i spada u mrežne protokole. Druga grupa protokola služi za sinhronizaciju računara koji su direktno povezani. Protokoli za sinhronizaciju mogu da se podele na predajnik-prijemnik sinhronizacione protokole i prijemnik-prijemnik sinhronizacione protokole.

Predajnik-prijemnik sinhronizacija koristi prost *handshake* princip da sinhroniše predajnika poruke sa prijemnikom poruke i prvi put je upotrebljena kod NTP-a, a kasnije i kod TPSN protokola [11]. U trenutku T_1 predajnik šalje poruku, koja na prijemnik stiže u trenutku T_2 . U

trenutku T_3 prijemnik vraća odgovor, koji na predajnik stiže u trenutku T_4 . Odgovor sadrži informacije o trenucima T_2 i T_3 . T_1 i T_4 su mereni lokalnim časovnikom na predajniku, a T_2 i T_3 lokalnim časovnikom na prijemniku. Prostom proračunom, uz pretpostavku da je vreme prenosa poruka jednako u oba smera, predajnik može da izračuna razliku vremena, koju pokazuju lokalni časovnici. Ovom razlikom predajnik može da koriguje svoj lokalni časovnik i podesi ga tako da pokazuje isto vreme kao i časovnik prijemnika.

Prijemnik-prijemnik sinhronizacija koristi se za međusobnu sinhronizaciju grupe prijemnika. Kod ovog pristupa dva prijemnika upoređuju vremenske oznake nakon prijema paketa od istog predajnika. Na ovaj način eliminiše se predajnik iz kritične putanje. Ovaj princip prvi put je razmotren u [12], i nalazi primenu u RBS [13] i FTSP [14] protokolima za sinhronizaciju u bežičnim mrežama.

3. ZAHTEVI I MOGUĆNOSTI ZA SINHRONIZACIJU U ARTIS SISTEMU

Na osnovu zahteva postavljenih u [1] tolerancija za aplikacionu sinhronizaciju može da se proceni na 100 ms. Ukoliko se vrši korelacija poruka vremenski pomerenih više od 100 ms, korelisani podaci će imati grešku veću od dozvoljene. Zahtev za aplikacionu sinhronizaciju je da lokalni vremenski časovnici na MS stanicama, na osnovu kojih se dodeljuju vremenske oznake porukama, budu apsolutno sinhronisani sa tolerancijom do 100 ms.

Protokol za komunikaciju u ARTIS sistemu [4] baziran je na vremenskoj raspodeli i tehnici prozivanja. Pristup medijumu organizovan je po ciklusima, a u okviru jednog ciklusa svaka stanica treba da dobije svoj vremenski prozor. CS stanica jednim emisionim okvirom na početku svakog ciklusa proziva sve MS stanice i saopštava im redosled pristupa i veličine dodeljenih vremenskih prozora. Na osnovu ovih podataka svaka stanica treba da proračuna trenutak u kojem treba da počne sa emitovanjem svog odzivnog okvira, odnosno početak dodeljenog vremenskog prozora. Referentni trenutak, u odnosu na koji se proračunavaju sva vremena, je kraj emisionog okvira. Kontrola vremena na svakoj stanici obavlja se na osnovu lokalnog časovnika. Za ispravno funkcionisanje komunikacionog protokola, odnosno, da ne bi dolazilo do preklapanja emitovanih okvira, potrebno je da lokalni časovnici na stanicama budu relativno sinhronisani sa greškom ne većom od vremena potrebnog za emitovanje jednog bita. Budući da se komunikacija odvija na 2400 bps tolerancija za komunikacionu sinhronizaciju je 0,42 ms. Uvođenjem separacije, trajanja t_s , između dva uzastopna vremenska prozora može da se poveća tolerancija za komunikacionu sinhronizaciju za t_s , pri čemu se performanse komunikacionog protokola neznatno degradiraju.

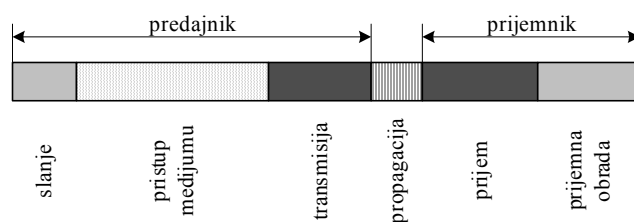
Merenje kašnjenja u prenosu poruka od MS stanica do CS stanice potrebno je da bi se odredile i uporedile performanse nekoliko razmatranih verzija komunikacionog protokola. Test sinhronizacija je apsolutna, a zadovoljavajuća tačnost je do nekoliko desetina ms. Testovi traju do 10 min.

Za određivanje lokalnog vremena OS Windows NT 2000 nudi dve mogućnosti. Prva mogućnost je određivanje vremena upotrebom sistemskog časovnika, koji meri vreme sa rezolucijom od 1 ms. Ovaj časovnik je moguće podešavati i očitavati pri čemu je očitana vrednost apsolutna. Druga

mogućnost je upotreba 64-bitnog brojača visoke rezolucije, koji broji brzinom 3579545 otkucaja u sekundi. Ovaj brojač je moguće samo očitavati. Neka su $hpcv_1$ i $hpcv_2$ vrednosti brojača visoke rezolucije u trenucima t_1 i t_2 , respektivno. Dužina vremenskog intervala t_{21} , određenog trenucima t_1 i t_2 može da se izračuna na osnovu formule 1.

$$t_{21} = t_2 - t_1 = \frac{hpcv_2 - hpcv_1}{3579,545} [ms] \quad (1)$$

Kod interne sinhronizacije neophodno je da učesnici razmenjuju sinhronizacione poruke. Dekomponovano kašnjenje, koje se javlja u u prenosu sinhronizacionih poruka prikazano je na slici 2. Kašnjenje se meri od trenutka kada predajnik očita svoj lokalni časovnik i postavi zahtev za slanje sinhronizacione poruke do trenutka kada prijemnik primi sinhronizacionu poruku i može da izvrši podešavanje svog časovnika. Kašnjenje je podeljeno u 6 faza. Iako je slična dekompozicija urađena u [13] ovde su izneti specifični detalji vezani za primopredajnike u ARTIS sistemu.



Sl 2. Dekompozicija kašnjenja sinhronizacione poruke

U fazi „slanje“ predajnik vrši očitavanje svog lokalnog časovnika, formira sinhronizacionu poruku i predaje je link sloju. Kako se očitavanje časovnika i menadžment link sloja obavljaju u paralelnim procesima [2], faza „slanje“ unosi kašnjenje zbog izmene konteksta procesa na procesoru.

U fazi „pristup medijumu“ okvir, u koji je sinhronizaciona poruka upakovana, čeka da dođe red da predajnik pristupi medijumu. Ova faza zavisi od primenjenog MAC protokola i u velikoj meri doprinosi ukupnom kašnjenju poruke. Spuštanjem sinhronizacije na MAC nivo kašnjenje u ovoj fazi može u potpunosti da se predvidi.

Faza „transmisija“ podrazumeva sam proces slanja okvira, bit po bit na fizičkom nivou. Budući da su upotrebljeni modemi transparentni u oba smera, kašnjenje prouzrokovano ovom fazom približno je jednako proizvodu bitske brzine prenosa i dužine okvira. Pošto se komunikacija odvija na 2400 bps ova faza može značajno da utiče na kašnjenje poruke.

Faza „propagacija“ podrazumeva prostiranje signala od predajnik do prijemnika. Kašnjenje koje unosi ova faza praktično je jednako vremenu potrebnom da elektromagnetni talas, koji nosi signal, pređe put kroz komunikacioni medijum od predajnika do prijemnika. U poređenju sa kašnjenjima u ostalim fazama može da se smatra da je ovo kašnjenje zanemarljivo.

Faza „prijem“ obuhvata sve poslove vezane za detektovanje bita, formiranje bajtova i prosleđivanje primljenih bajtova MAC sloju. Ovi poslovi su organizovani u dva paralelna procesa, koji se izvršavaju konkurentno [2], pa višestruka izmena konteksta procesa unosi neodređeno kašnjenje u prenosu sinhronizacione poruke.

Faza „prijemna obrada“ obuhvata poslove vezane za dekodovanje sinhronizacione poruke iz primljenog okvira i

donošenje odluke o postavljanju lokalnog časovnika. Ovi poslovi se generalno obavljaju u različitim procesima ali ovde je donošenje odluke o postavljanju lokalnog časovnika spušteno na MAC nivo, tako da se svi poslovi obavljaju u okviru istog procesa. Kašnjenje koje unosi ova faza jednako je vremenu potrebnom da se izvrše prethodno nabrojani poslovi.

Nadalje će da bude razmatrano samo kašnjenje u komunikacionom podsistemu sistema ARTIS. Kako u procesu prenosa sinhronizacione poruke učestvuje više paralelizovanih procesa, na predajniku i prijemniku, a neki poslovi se preklapaju ukupno kašnjenje je manje od zbira pojedinačnih kašnjenja po fazama. Ukupno kašnjenje može da se podeli na dva dela. Prvi deo je determinisan i sastoji se od poznatih kašnjenja prouzrokovanih fazama transmisije, pristupa medijumu i prijema. Drugi deo kašnjenja je nedeterminisan i sastoji se od nepoznatih kašnjenja u svim fazama komunikacije. Nedeterminisani deo kašnjenja je promenljiv od ciklusa do ciklusa.

Neka su A i B predajni i prijemni računari, respektivno. Neka su t^A i t^B vremena, koja daju časovnici na računarima A i B, respektivno. Između časovnika na računarima A i B postoji linearna razdešenost D^{AB} , koja se sastoji od fiksnog dela D_0^{AB} i dela, koji linearno zavisi od vremena, sa koeficijentom linearnosti k^{AB} . Ova zavisnost izražena je formulom 2.

$$t^B = t^A + D_0^{AB} + k^{AB} * t \quad (2)$$

Nedeterminisani deo kašnjenja u prenosu poruka između računara A i B, d^{AB} , može da se posmatra kao zbir fiksnog dela d_0^{AB} i promenljivog dela d_e^{AB} , izraz 3.

$$d^{AB} = d_0^{AB} + d_e^{AB} \quad (3)$$

Kod procesa sinhronizacije predajnik-prijemnik kašnjenje poruke može da se izrazi formulama 4 i 5.

$$T_2 = T_1 + D_0^{AB} + d_0^{AB} + d_{e1}^{AB} \quad (4)$$

$$T_4 = T_3 - D_0^{AB} - k^{AB} * t + d_0^{AB} + d_{e2}^{AB} \quad (5)$$

Ukoliko je interval između slanja poruke i odziva dovoljno mali, može da se smatra da razlika u pokazivanju časovnika na A i B neće da se promeni pa kombinovanjem izraza 4 i 5 dolazi se do formule za proračun kašnjenja u prenosu poruka, izraz 6 i formule za razdešenost, datom izrazom 7. Neodređenost zbog promenljivog dela kašnjenja kod određivanja d_0^{AB} i D_0^{AB} jednaka je polovini algebarskog zbira promenljivih kašnjenja pri prenosu poruke i odziva.

$$d^{AB} = \frac{T_2 + T_4 - T_1 - T_3}{2} = d_0^{AB} + \frac{d_{e1}^{AB} + d_{e2}^{AB}}{2} \quad (6)$$

$$D^{AB} = \frac{T_2 - T_4 - T_1 + T_3}{2} = D_0^{AB} + \frac{d_{e1}^{AB} - d_{e2}^{AB}}{2} \quad (7)$$

Ukoliko je interval između slanja poruke i odziva dovoljno veliki, može da se smatra da je t približno jednako razlici vremena T_3 i T_2 , odnosno T_4 i T_1 , a da je odstupanje kašnjenja poruke d_{e1}^{AB} zanemarljivo pa kombinacijom izraza 4 i 5 dolazi se do formule za izračunavanje razdešenosti, izraz 8. D_0^{AB} i k^{AB} mogu da se odrede iz dva merenja, odnosno jednog, ako je trenutak T_1 odabran tako da se poklopi sa trenutkom sinhronizacije, kada se D_0^{AB} postavlja na nulu.

$$D^{AB} = \frac{T_2 - T_4 - T_1 + T_3}{2} = D_0^{AB} + \frac{k^{AB} * t}{2} \quad (8)$$

Lokalni časovnik na računaru A moguće je sinhronizovati sa lokalnim časovnikom na računaru B ako se vreme na lokalnom časovniku na računaru A pomeri unapred za D^{AB} , pri čemu se D^{AB} izračunava po formuli 7.

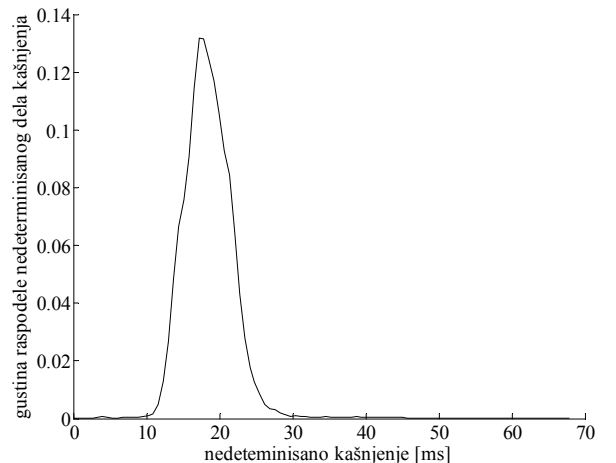
Koliko često treba da se vrši sinhronizacija časovnika na računaru A u odnosu na časovnik na računaru B može da se odredi na osnovu koeficijenta linearnosti k^{AB} , maksimalne greške prilikom određivanja razdešenosti, $D_{e1}^{AB} = (d_{e1}^{AB} - d_{e2}^{AB})_{\max} \sqrt{2}$, i maksimalne dozvoljene razdešenosti (D_{e1}^{AB}). Maksimalno vreme, koje može da prođe između dva procesa sinhronizacije, t_{\max}^s , dato je formulom 9.

$$t_{\max}^s = \frac{D_{\max}^{AB} - D_{e1}^{AB}}{k^{AB}} \quad (9)$$

D_{e1}^{AB} , k^{AB} su parametri koji se eksperimentalno utvrđuju, a D_{\max}^{AB} je parametar dat u zahtevu za sinhronizaciju.

Da bismo odredili statističke karakteristike nedeterminisanog dela kašnjenja, d^{AB} , izvršili smo 15703 merenja po formuli 6. Vršeno je paralelno merenje uz pomoć sistemskih časovnika i časovnika visoke rezolucije na računarima A i B. Upotrebljeni računari imaju sledeće osnovne karakteristike: računar A, na poziciji MS stanice, ima procesor *Celeron*, koji radi na 566 MHz i 128 MB radne memorije tipa SDR SDRAM (*Single Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory*); računar B, na poziciji CS stanice, ima procesor *Celeron*, koji radi na 800 MHz i 256 MB radne memorije tipa SDR SDRAM. Računari A i B izabrani su tako da imaju lošije karakteristike od računara koji se koriste u ARTIS sistemu. Na ovaj način je osigurano da kašnjenja u prenosu poruka u ARTIS sistemu budu sigurno manja od kašnjenja izmerenog na računarima A i B.

Merenja uz pomoć sistemskih časovnika i časovnika visoke rezolucije pokazala su identične rezultate, a gustina raspodele nedeterminisanog dela kašnjenja, d^{AB} , prikazana je na slici 3. Najveća gustina kašnjenja je 0,1318 za kašnjenje od 17,2 ms, a varovatnoća da će kašnjenje da se nalazi između 10 ms i 30 ms približno je jednako jedinici. Sa slike se vidi da konstantna komponenta d_0^{AB} , kašnjenja d^{AB} ima vrednost 17,2 ms, a verovatnoća da će polovina algebarskog zbira promenljivih kašnjenja pri prenosu poruke i odziva da izađe van opsega ± 13 ms približno je jednaka nuli. 13 ms je ujedno i vrednost za maksimalnu grešku prilikom određivanja razdešenosti, D_{e1}^{AB} , odnosno sistemski časovnik računara A može da se sinhroniše sa sistemskim časovnikom računara B sa tačnošću od ± 13 ms.



Sl. 3. Gustina raspodele nedeterminisanog dela kašnjenja

Za određivanje koeficijenta linearne zavisnosti razdešenosti od vremena, k^{AB} , izvršeno je merenje razdešenosti D^{AB} po formuli 8. Trenutak slanja poruke, T_l , preklapljen je sa trenutkom sinhronizacije, a slanje odziva pomeren je u odnosu na slanje poruke za 201874,361 s. Koeficijent k^{AB} određuje se na osnovu jednog merenja, kao količnik izmerene razdešenosti i proteklog vremena. Izmerene vrednosti razdešenosti D^{AB} za sistemske časovnike i časovnike visoke rezolucije su 12233 ms i 2403 ms, respektivno, pri čemu su napravljene relativne greške merenja manje od $2 \cdot 10^{-5}$. Na osnovu ovih vremena određene su vrednosti za koeficijente k^{AB} , 3,6358 i 0,7142, za razdešenost sistemskih časovnika i časovnika visoke rezolucije, respektivno.

4. REALIZACIJA SINHRONIZACIJE U ARTIS SISTEMU

Na osnovu razmotrenih mogućnosti i zahteva za sinhronizaciju realizovane su aplikaciona sinhronizacija, komunikaciona sinhronizacija i test sinhronizacija.

Aplikaciona sinhronizacija je realizovana kao pedajnik-prijemnik sinhronizacija korišćenjem lokalnih sistemskih časovnika. Sinhronizaciju vrše računari na MS stanicama u odnosu na računar na CS stanici. Računari na MS stanicama vrše sinhronizaciju nezavisno jedni u odnosu na druge. Uz pretpostavku da računari u ARTIS sistemu imaju bolje karakteristike od oglednih računara A i B, usvojene su vrednosti izmerenih parametara za upotrebu u aplikacionoj sinhronizaciji. Kako je tolerancija za ovu sinhronizaciju 100 ms, na osnovu izraza 9 određuje se maksimalno dozvoljeno vreme između dva procesa sinhronizacije, koje iznosi oko 24 min. Da bi se komunikacija minimalno opterećivala MS stanice osvežavaju svoje sistemske časovnike na 20 min, pri čemu je ostavljeno 4 min rezervnog vremena, ako u periodu kada je proces sinhronizacije aktivan postoje smetnje u komunikaciji.

Komunikaciona sinhronizacija se odvija kao nepotpuna prijemnik-prijemnik sinhronizacija korišćenjem lokalnih sistemskih časovnika. Sve MS stanice se sinhronišu u odnosu na trenutak detektovanja kraja emisije poruke. Sinhronizacija se vrši u svakom ciklusu prozivanja, a greška je jednaka neodređenosti kašnjenja u prenosu poruke i kreće se u intervalu ± 13 ms, što je znatno više od tolerancije. Uvođenjem separacije od 26 ms između dva uzastopna vremenska prozora prevazilazi se problem velike greške. Treba naglasiti da je komunikaciona sinhronizacija relativna pa u procesu ove sinhronizacije nije potrebno postavljati sistemski časovnik, odnosno sistemski časovnik se postavlja samo u procesu aplikacione sinhronizacije.

Za test sinhronizaciju koristi se brojač visoke rezolucije. Kako ovaj brojač nije moguće postaviti, vrši se samo beleženje stanja brojača u trenutku detektovanja kraja emisije okvira u prvom ciklusu prozivanja. Sva vremena, koja se mere u testu, određuju se u odnosu na referentni trenutak. Greška merenja je zbir greške u sinhronizaciji i linearne razdešenosti. Maksimalna greška merenja je $\pm 13 + 14,2$ ms, odnosno kreće se u intervalu od 1,2 ms do 27,2 ms.

5. ZAKLJUČAK

Upotrebom jednostavnih tehnika sinhronizacije, predajnik-prijemnik i prijemnik-prijemnik, interno su sinhronizovani lokalni izvori vremena za tri procesa u ARTIS sistemu, sa zadovoljavajućom tačnošću. Na taj način su izbegnute skuplje varijante sinhronizacije: eksterna sinhronizacija korišćenjem GPS prijemnika ili upotreba

stabilisanih lokalnih časovnika, koji nisu standardno raspoloživi kod PC računara.

Nedostatak ove realizacije je korišćenje fiksnih vrednosti parametara određenih u ogledu sa opremom, koja je lošija od opreme iz ARTIS sistema, da bi se osigurala uspešnost sinhronizacije pod najnepovoljnijim uslovima. Budući rad biće orijentisan ka pronalazaženju metoda za adaptibilno određivanje parametara d^{AB}_0 , d^{AB}_e i k^{AB} u toku rada protokola, nezavisno, za svaki sinhronizacioni par.

LITERATURA

- [1] „Izrada projekta modifikacije/rekonstrukcije sistema Overlook-S1“, IMP - Računarski sistemi, Beograd, 2000.
- [2] Nikola Zogović, „Realizacija višestruke komunikacije PC računara sa periferijama preko serijskih kanala u specijalizovanom real-time sistemu“, konferencija ETRAN, jun 2005.
- [3] „Korisničko uputstvo – modem PP4800A“, IMP - Telekomunikacije, Beograd.
- [4] N. Zogović, M. Petrović, M. Stamatović, „Protokol za komunikaciju u distribuiranom računarskom sistemu male propusne moći komunikacionog kanala“, konferencija ETRAN, jun 2003.
- [5] Ahmed El-Rabbany, „Introduction to GPS: The Global Positioning System“, Artech House, 2002.
- [6] K. Romer, „Time Synchronization in Ad Hoc Networks“, Proc. MobiHoc 2001, Long Beach, CA, 2001.
- [7] F. Cristian, „Probabilistic Clock Synchronization“, Distributed Computing, vol. 3, pp. 146-158, 1989.
- [8] R. Gusell i S. Zatti, „The Accuracy of Clock Synchronization Achieved by TEMPO in Berkeley UNIX 4.3 BSD“, IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 15, pp. 847-853, 1989.
- [9] T.K. Srikanth i S. Toueg, „Optimal Clock Synchronization“, J-ACM, vol. 34, n. 3, pp. 626-645, jul 1987.
- [10] D.L. Mills, „Internet Time Synchronization: the Network Time Protocol“, IEEE Transactions on Communications vol. 39, pp. 1482-1493, oktobar 1991.
- [11] S. Ganeriwal, R. Kumir i M.B. Srivastava, „Timing-Sync Protocol for Sensor Networks“, ACM Conference SenSys, LA, 2003.
- [12] P. Verissimo i L. Rodriguez, „A Posteriori Agreement for Fault-Tolerant Clock Synchronization on Broadcast Networks“, FTCS'92 Conference, Boston, MA, jul 1992.
- [13] J. Elson, L. Girod i D. Estrin, „Fine-Grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcasts“, OSDI 2002 Conference, Boston, MA, decembar 2002.
- [14] M. Maroti i ostali, „The Flooding Time Synchronization Protocol“, ACM Conference SenSys, Baltimor, MD, 2004.

Abstract – In this paper we consider techniques for time synchronization needed in three different processes in distributed C2 system ARTIS. We present simple realization of synchronization with commercially available resources.

TIME SYNCHRONIZATION IN DISTRIBUTED COMPUTER SYSTEM ARTIS

Nikola Zogović