Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet

Master rad

Implementacija vremenske sinhronizacije u Namenskim računarskim sistemima

mentor:
Prof.dr Lazar Saranovac

student:
Lazar Caković
br. indeksa: 3083/2016

Beograd, septembar 2018.

Sadržaj

Slike

Glava 1

Apstrakt

Glava 2

Uvod

Vremenska sinhrnozacija igra fundamentalnu ulogu u svakoj mreži, ali je ipak najčešće dodata kao naknadna funkcionalnost. Ipak, može značiti razliku izmedju egzaktnog odredjivanja grešaka unutar sistema, u tačnim vremenskim trenucima, i nepostojanje ideje zašto se server ponaša onako kako nije predvidjeno. ("Time synchronization serves a fundamental role in any network, but it's too often added as an afterthought. However, it can mean the difference between correctly troubleshooting a conflict in minutes and having no idea why the server is figuratively on fire.") Za finansijske i naučne institucije, vremenska sinhronizacija mora biti tačna na milijarditi, ili nekad na trilioniti deo sekunde, medjutim sve više komercijalnih i industrijskih organizacija se sve više zalažu za ideju da preciznost vremenske sinhronizacije bude u sub-milisecond opsegu. Zašto nije dovoljno da sse uredjaji inhronizuju preko javno dostupnog NTP protokola. Nažalost, kašnjenje postoji svugde, i prosto je nemoguće postići savršenu sinhrnoizaciju. Brzina svetlosti je brza, u vakumu, foton moze napraviti krug oko zemlje više od 7 puta u sekundi, iako putuje aproksimativno 31% sporije kroz običnu optičku mrežu, lako se može preneti jedan bit informacije preko pola sveta za manje od desetine sekunde. Ali, svi znamo da idealan svet ne postoji. Dodati svičeve (switches), rutere, i ostalu mrežnu infrastrukturu, i ta desetina sekunde se uveća nekoliko puta. Bez specijalizovane opreme, naša mreža lako može dodati kašnjenje čak i veće od sekunde. Još veća briga je sinhronizacija različitih uredjaja unutar iste mreže.

Sinhronizacija postaje neophodna kada su uredjaji koji rade zajedno na odredjenoj udaljenosti moraju raditi u vezi jedni sa drugima. U ovim scenarijima, lokalni sat, ili Master Sat, sinhronizuje sve uredjaje u istom sistemu sa tim satom. Zbog ove potrebe za sinhronizacijom, IEEE 1588 standard je objavljen kao standardni protokol 2002. godine. Iako su dva sata unutar uredjaja podešeni da rade na istoj frekvenciji, ne postoji garancija da će ostati

sinhronizovani. Upravo zbog ovoga proces sinhronizacije je neprekidan. Nekoliko faktora može uticati na to da dva identična sata izgube sinhronizaciju. Razlozi mogu biti različiti, kao na primer razlika u temperaturi, starosti uredjaja, kao i frekvenciji na kojoj uredjaji rade, koja može uticati na kvalitet sinhronizacije. Upravo iz ovih razloga je i nastala potreba za sinhronizacijom uredjaja.

2.1 Network Time Protocol

NTP, ili Network Time Protocol, je široko prihvaćen kao sredstvo za čuvanje vremena na mreži, i trenutno je u upotrebi četvrta verzija samog protokola. Hijerarhijski sistem ima različite slojeve koji se nazivaju STRATA (strata eng.). Statum 0 uredjaji su u samom vrhu i uključuju atomske satove, kao one koji se nalaze u GNSS satelitima. Stratum 1, ili primarni vremenski server, svaki od njih ima jedan na jedan direktnu konekciju sa Stratum 1 satom, i postižu sinhronizaciju red mikrosekunde sa Stratum 0 satovima, i povezuju se na ostale Stratum 1 severe za brzu proveru satova i čuvanje podataka. Stratum 2 serveri se mogu povezivati na više primarnih vremenskih servera kako bi se postigao veći level sinhronizacije i poboljšala preciznost, i tako dalje. NTP podržava maksimum od 15 strata uredjaja, ali svaki strata uredjaj unosi malu grešku u sinhronizaciji sa Stratum 0 uredjajima.

64-bitni vremenski žig je trenutno implementiran kako bi se podelio u dva 32-bitna dela.

- Prva polovina broji broj sekundi do nešto preko 136 godina.
- Druga polovina predstavlja deo sekunde do razmere pikosekunde

Predložena je promena na 128-o bitne vremenske žigove u NTPv4 protokolu, i trebalo bi da poveća vremensku razmeru na nešto manje od 600 milijardi godina, pri čemu bi vremenska rezolucija bila manja od femtosekunde.

2.2 Precision time protokol

PTP, ili Precision time protokol, je još jedan standard za sinhronizaciju vremena preko mreže, ali umesto sinhronizacije reda veličine milisekunde, PTP mreže mogu da postignu sinhronizaciju reda veličine nanosekunde, ili čak pikosekunde. Za većinu komercijalnih i industrijskih aplikacija, NTP je više nego precizan, ali ukoliko je potrebna tačnija sinhronizacija i tačnije obeležavanje vremena, potrebno je migrirati sistem na PTP.

Zbog čega je PTP toliko tačan? Koristi obeležavanje paketa hardverskim vremenskim žigovima, umesto softverskih, i kao svaki fini naučni instrument, PTP oprema je specijalizovana za samo jednu specijalizovanu svrhu: očuvanje sinhronizacije izmedju uredjaja. Samo iz ovih razloga, PTP mreže imaju mnogo tačniju vremensku rezoluciju, i ne kao NTP uredjaji, PTP uredjaji ce ustvari uključiti vreme koje svaka od sinhronizacionih poruka provede u svakom od uredjaja, što uključuje i kašnjenje u uredjaju.

Svaka od PTP razmena uključuje seriju od 4 poruke koje se razmenjuju izmedju master-a i slave-a:

- Inicijalna sinhronizaciona poruka od mastera ka slejvu Sync message
- Poruka koja prati sinhronizacionu poruku od mastera ka slejvu Follow_up message
- Poruka sa zahtevom za odredjivanje kašnjenja od slejva ka masteru Delay_Req message
- Finalni odgovor sa kašnjenjem od mastera ka slejvu Delay_Resp message

Ova razmena pruža četiri različita vremena:

- T1 -> vreme kad master posalje inicijalnu sinhronizacionu poruku
- T2 -> vreme kad slejv dobije inicijalnu sinhronizacionu poruku
- T3 -> vreme kad slejv posalje poruku sa zahtevom za kašnjenjem
- T4 -> vreme kad master dobije zahtev za kašnjenjem

Master šalje sva 4 vremenska žiga ka slejvu tokom faze odgovora na zahtev za kašnjenjem, i slejv može sa tim vremenima da izračuna kašnjenje po mreži izmedju mastera i slejva u oba smera. Imajući specijalizovani hardver koji može da uhvati vremena lokalnog sata, slejv uredjaji mogu izbeći dodatno kašnjenje koje je uslovljeno lokalnim operativnim sistemom.

NTP mreže imaju dodatno kašnjenje i manju preciznost jednostavno zbog toga što su softverski bazirane, i svi zahtevi za vremenima moraju da čekaju na lokalni operativni sistem. Za većinu kompanija, NTP pruža dovoljno tačnu rezoluciju vrmena kako bi se rešili svi konflikti u dogledno vrmene, dok neke organizacije zahtevaju dosta veći nivo sinhronizacije.

IEEE 1588 obezbedjuje sinhronizaciju dva sata u istoj mreži koja je otporna na greške. Takodje, koristi se veoma mali opseg frekvencija, procesna moć, ali i podešavanje samog protokola. IEEE 1588 standard postiže sve ovo

koristeći protokol preciznog vremena (Precision Time Protocol), ili PTP. Vremenski protokol koji se koristi sinhronizuje dva sata na mreži podešavajući satove ka "najkvalitetnijem" satu. IEEE 1588 definiše ospege vrednosti za standardan set karakteristika satova. Algoritam najboljeg sata, BMC algorithm, odlučuje koji sat na mreži je "najkvalitetniji", odnosno koji sat na mreži je najtačniji, i najbolji kako bi se ostali uredjaji sinhronizovali na njega. BMC algoritam onda sinhronizuje sve ostale satove (slave clocks) sa ovim satom na mreži. Ukoliko se BMC (Best Master Clock) ukloni iz mreže, ili BMC algoritam odluči da taj sat nije više najtačniji, algoritam redefiniše novi "najkvalitetniji" sat, i prilagodi vremena ostalih satova u skladu sa tim. Nije potrebno da se administrator mreže uključuje u bilo kom trenutku kako bi se promenio najbolji sat u mreži, zbog toga što je ovaj algoritam otporan na greške.

U ovu svrhu koristi se Bidirekciona multikast komunikacija (Bidirectional Multicast Communication) od strane slave uredjaja kako bi se sinhronizovali na najbolji sat, IEEE 1588 grandmaster clock. "Sync", Sinhronizacioni paket sadrži vremenski žig najboljeg sata, koji predstavlja tačno vreme kada je paket poslat sa grandmaster clock-a. "Follow up", Prateći paket takodje može biti poslat sa grandmaster sata, koji sadrži vremenski žig "Sync" (sinhronizacionog) paketa. Ovakav princip razmene podataka omogućava tačan vremenski žig sinhronizacionog paketa koji je prosledjen sa grandmaster sata. Takodje, postoje slučajevi u kojima se ne otkriva tačno vreme slanja paketa, zbog odredjenih smetnji na mreži. Ovo je omogućeno kroz Collision detection i Random Back-off mehanizam u Ethernet/IP komunikaciji. Samo onda kad je paket kompletno poslat, nemoguće je promeniti sadržaj paketa.

Postoji nekoliko faktora koji mogu uticati na egzaktnost sinhronizacije izmedju dva uredjaja unutar IEEE 1588 mreže. Promene frekvencije na uredjaju koji daje tačno vreme, koje se može desiti izmedju dva sinhronizaciona paketa "Sync", mogu uzrokovati da se izgubi sinhronizacija sa ostalim uredjajima u istom sistemu. Kako bi se predupredila svaka mogućnost za gubljenje sinhronizacije, mogu se koristiti uredjaji sa veoma velikom stabilnošću, kao i da se skrati vreme izmedju razmene sinhronizacionih paketa. Kako bi se još više unapredila sinhronizacija, mogu se koristiti druge vrste oscilatora u uredjajima, narocito Temperature Controlled Crystal Oscillators (TXCOs) i Oven Controlled Crystal Oscillators (OCXOs). Rezulucija sata može uticati na preciznost vremenskih žigova unutar sinhronizacionih paketa. Džiter (Jitter) iz susednih uredjaja u mreži, kao sto su habovi i svičevi (hubs and switches), takodje mogu uticati na preciznost sinhronizacije. Kvalitet IEEE 1588 mrežnog sistema i kako je podešen može takodje uticati na kvalitet sinhronizacije. Kako bi se podesio sistem sa što boljom sinhronizacijom, mora se napraviti kompromis izmedju egzaktnosti sinhronizacije, cene, kao i raz-

daljine izmedju uredjaja u sistemu. Za sporije dogadjaje unutar sistema koji ne zavise od vremena, standardna NTP sinhronizacija preko interneta, koja daje sinhronizaciju na nivou milisekunde, zadovoljava sve potrebe. IEEE 1588 je i dalje izvanredna alternativa za sisteme koji zahteva sinronizaciju na nivou ispod mikroseunde.

Precizna sinhronizacija se može iskoristiti u sledećim aplikacijama:

- Telekomunikacije
- Energetska postrojenja
- Industrijska automatizacija
- Testiranje i merenja
- Robotska kontrola

Glava 3

Protokol

U ovom odeljku će biti dat pregled konceptualnih modela Ethernet komunikacije, kao i objašnjenje celog PTP protokola. Na početku će biti predstavljen OSI konceptualni model, nakon njega TCP/IP model, i na kraju sam protokol koji je korišcen. Ovaj pregled je dat u svrhu dobijanja slike o tome koliko je kompleksan sam stek (## [lazarc] stack) koji se koristi, kao i da se dobije slika o nekim delovima koji će kasnije biti spominjani.

3.1 OSI model

Open Systems Interconnection model (OSI model) je konceptualni model koji karakteriše i standardizuje komunikacione funkcije u telekomunikacionim ili kompjuterskim sistemima, i to bez obzira na unutrašnju strukturu uredjaja ili njihovu tehnologiju. Cilj ovog modela je da se postigne kompatibilnost različitih komunikacionih sistema sa standardnim protokolima komunikacije. OSI model razdvaja komunikacione sisteme u apstraktne slojeve. Originalna verzija modela ima sedam slojeva.

Sloj unutar modela služi sloj iznad njega, i koristi sloj ispod njega u hijerarhiji. Na primer, sloj koji postiže komunikaciju preko mreže bez grešaka, služi aplikacijama iznad koje ga koriste, i to dok poziva jednostavne funkcije za prijem i predaju paketa na mreži. Dve instance istog sloja su vizualizovane tako što su povezane horizontalno u istom sloju.

Ovaj model je proizvod Open Systems Interconnection projekta u International Organization for Standardization (ISO), i ima oznaku ISO/IEC 7498-1.

Na svakom nivou N, dva entiteta na komunikcionim uredjajima razmenjuju jedinice protokola (PDU - protocol data units) pomocu sloja N protokola. Svaki PDU sadrzi podatke od interesa (payload) (SDU - service data

OSI Model			
Layer		Protocol data unit (PDU)	Function[3]
Host layers	7. Application	Data	High-level APIs, including resource sharing, remote file access
	6. Presentation		Translation of data between a networking service and an application; including character encoding, data compression and encryption/decryption
	5. Session		Managing communication sessions, i.e. continuous exchange of information in the form of multiple back-and-forth transmissions between two nodes
	4. Transport	Segment, Datagram	Reliable transmission of data segments between points on a network, including segmentation, acknowledgement and multiplexing
Media layers	3. Network	Packet	Structuring and managing a multi-node network, including addressing, routing and traffic control
	2. Data link	Frame	Reliable transmission of data frames between two nodes connected by a physical layer
	1. Physical	Symbol	Transmission and reception of raw bit streams over a physical medium

Slika 3.1: Prikaz svih slojeva unutar OSI modela komunikacije

unit), zajedno sa zaglavljima koji odgovaraju protokolu.

Obrada podataka izmedju dva uredjaja koji su OSI-kompatibilni se odvija u sledećim koracima:

- Podaci koji se prenose se formiraju na najvišem sloju u uredjaju koji predaje podatke na mreži (sloj N) u jedinicu protokola (PDU).
- PDU se prosledjuje sloju N-1, gde je poznat kao SDU.
- Na sloju N-1 se na SDU dodaju zaglavlja, na osnovu čega se formira PDU za sloj N-1. Nakon čega se prosledjuje na sloj N-2.
- Ovaj postupak se ponavlja sve dok se ne dostigne najniži sloj u modelu, nakon čega se podaci prenose ka uredjaju koji prima podatke.
- Na strani prijemnog uredjaja se podaci prenose od najnižeg sloja u modelu, do najvišeg, gde se serije SDU struktura uspešno obradjuju, pri čemu se skidaju zaglavlja sa svakog sloja, dok se ne dostigne najviši sloj u modelu, nakon čega su dostupni sirovi podaci.

3.1.1 Sloj 1: Fizički sloj (Physical Layer)

Fizički sloj je odgovoran za prenos i prijem nestrukturiranih sirovih podataka izmedju uredjaja i fizičkog medijuma za prenos. On pretvara digitalne bitove u električne, radio ili opticke signale. Specifikacije sloja definišu karakteristike poput nivoa napona, fizičke brzine prenosa podataka, maksimalne udaljenosti prenosa i fizičkih konektora. Ovo uključuje raspored pinova, napona, linijske impedanse, specifikacije kablova, vremenskih signala i frekvencije za bežične uredjaje. Kontrola brzine bitova se vrši na fizičkom nivou i može definisati način komunikacije kao simpleks, polu dupleks ili dupleks komunikaciju. Komponente fizičkog sloja mogu se opisati u smislu topologije mreže. Bluetooth, Ethernet i USB, sve imaju specifikacije za fizički sloj.

3.1.2 Sloj 2: Sloj veze (Data Link Layer)

Sloj veze podataka obezbedjuje prenos podataka izmedju dva čvora u komunikaciji - vezu izmedju dva direktno povezana uredjaja na mreži. Ovaj sloj otkriva i eventualno ispravlja greške koje se mogu javiti u fizičkom sloju. On definiše protokol za uspostavljanje i prekid veze izmedju dva fizički povezana uredjaja. Takodje, definiše protokol za kontrolu protoka izmedju njih.

IEEE 802 standard deli sloj veze na dva podsloja:

- **Kontrola pristupa medijumu (MAC - Medium access control):** odgovorna je za kontrolu načina na koji uredjaji na mreži dobijaju pristup medijumu i dozvolu za prenos podataka.
- **Kontrola logicke veze (LLC - Logical link control):** odgovorna je za identifikaciju i enkapsulaciju slojeva mrežnog protokola, i kontrolu grešaka i sinhronizaciju paketa koji se šalju.

MAC i LLC slojevi IEEE 802 mrežnog standarda kao što su 802.3 Ethernet, ili 802.11 Wi-Fi su slojevi veze (data link layer).

Point-to-Point Protocol (PPP) - je protokol sloja veze koji radi na nekoliko različitih fizičkih slojeva, kao što su sinhrone ili asinhrone serijske linije.

3.1.3 Sloj 3: Mrežni sloj (Network Layer)

Mrežni sloj obezbedjuje funkcionalno i proceduralno sredstvo prenosa sekvenci podataka promenljive dužine, koji se nazivaju još i paketi, od jednog čvora do drugog, poveznih u "različite mreže". ## [lazarc] [prevod] ## Mreža je medijum na koji može biti povezano više čvorova, u kom svaki čvor ima adresu i koji dozvoljava čvorovima povezanim sa njim da prenose poruke ka ostalim čvorovima, i to samo dajući sadržaj poruke i adresu čvora na koji poruka treba da bude dostavljena, omogucavajući mreži da nadje način da isporuči poruku odredišnom čvoru, eventualno ga usmeravajući kroz središnje čvorove (uredjaje koji su izmedju dva uredjaja koji pokušavaju da komuniciraju). Ako je poruka prevelika da bi se prenela sa jednog uredjaja na drugi samo korišćenjem sloja veze (Data Link Layer), mreža može preneti podatke tako što će ih podeliti u nekoliko delova na jednom uredjaju, poslati delove nezavisno, i onda spojiti delove na drugom uredjaju. Pri čemu može, iako nije uvek potrebno, prijaviti greške u isporuci.

Isporuka poruka na mrežnom sloju nije garantovano pouzdana. Mrežni sloj može pružiti pouzdanu isporuku poruka, ali nije obavezno da to mora biti ispunjeno.

Neki broj protokola koji upravljaju slojevima, imaju funkciju koja je definisana u aneksu upravljanja, ISO 7498/4, i pripadaju mrežnom sloju. Oni

uključuju protokole rutiranja, upravljanja grupom sa više uredjaja, informacije o mrežnom sloju, o greškama, kao i dodeljivanje adresa mrežnog sloja medju uredjajima. Ustvari, to je funkcija podataka koji se prenose uz pomoć protokola, što ih čini da pripadaju mrežnom sloju, a ne protokolu. ## [lazarc] poslednja recenica [prevod] ##

3.1.4 Sloj 4: Transportni sloj (Transport Layer)

Transportni sloj obezbedjuje funkcionalno i proceduralno sredstvo prenosa sekvenci podataka promenljive dužine od predajnog do prijemnog uredjaja, uz održavanje kvaliteta.

Transportni sloj kontroliše pouzdanost date konekcije kroz kontrolu protoka, segmentaciju/desegmentaciju i kontrolu grešaka. Neki protokli su orjentisani na stanje mreže, a neki na konekciju u mreži. ## [lazarc] [prevod] ## Ovo znači da Transportni sloj može da prati segmente i ponovo prenese one koji nisu isporučeni prijemnom uredjaju. Transportni sloj takodje omogućava i potvrdu uspešnog prenosa podataka i šalje naredne podatke ako nije došlo do greške prilikom prenosa. Transportni sloj formira i segmente koji su primljeni iz viših slojeva, npr. Aplikativnog sloja (Application Layer). Segmentacija je proces podele dugih poruka u kraće poruke kako bi se lakše prenele preko nižih slojeva u modelu.

OSI model definiše pet klasa transportnih protokola za povezivnje od klase 0 (koja je takodje poznata i kao TP0 i ima najslabije karakteristike) do klase 4 (TP4, koja je dizajnirana za manje pouzdane mreže, slicče Internetu). Klasa 0 (TP0) nema mogućnost oporavka od greške i bila je dizajnirana za korišćenje na mrežnim slojevima koji pružaju konekciju bez grešaka. Klasa 4 (TP4) je najbliža TCP, iako TCP sadrži neke funkcije koje se u OSI modelu dodeljuju višim slojevima. Takodje, sve klase u OSI modelu omogućavaju brzu upotrebu podataka i očuvanje granica podataka ## [lazarc] [prevod] ##. Detalje karakteristika svih klasa prikazane su u sledećoj tabeli:

3.1.5 Sloj 5: Sloj sesije (Session Layer)

Sloj sesije kontroliše dijaloge (veze) izmedju uredjaja. Uspostavlja, upravlja i uklanja veze izmedju lokalnih i udaljenih aplikacija. Obezbedjuje funkcije Full-Duplex, Half-Duples ili Simplex i uspostavlja procedure Checkpointa, prekida ili ponovnog pokretanja procedura. OSi model je učinio ovaj sloj odgovornim za dobro završavanje sesija, što je osobina TCP (Transmission Control Protocol), i takodje proveru sesija i oporavak, što se obično ne koristi u Internet Protocol Suite. Sloj sesije se obično eksplicitno primenjuje u aplikacijama koje koriste proceduralne pozive na udaljenim uredjajima.

3.1.6 Sloj 6: Sloj prezentacije (Presentation Layer)

Sloj prezentacije uspostavlja kontekst izmedju dva entiteta aplikativnog sloja, u kom entiteti aplikativnog sloja mogu koristiti različitu sintaksu i semantiku ukoliko sloj prezentacije pruža mapiranje izmedju njih. Ukoliko je dostupno mapiranje, jedinice protokola su enkapsulirane u jednice sesije i prosledjene na niže slojeve.

Ovaj sloj obezbedjuje nezavisnost od predstavljanja podataka u različitim aplikacijama i mrežnim formatima. Sloj prezentacije pretvara podatke u oblik koji prihvata zadata aplikacija. Ovaj sloj formatira podatke koji se šalju preko mreže. Ponekad se naziva i sintaksni sloj. Takodje, može uključivati i funkcije kompresije.

3.1.7 Sloj 7: Aplikativni sloj (Application Layer)

Aplikativni sloj je OSI sloj najbliži krajnjem korisniku, što znači da i OSI aplikativni sloj i korisnik interaguju direktno sa aplikacijom. Ovaj sloj komunicira sa softverskom aplikacijom koja sadrži komponentu za komunikaciju. Takve aplikacije ne spadaju u okvir OSI modela. Funkcije u aplikativnom sloju obično uključuju identifikovanje partnera u komunikaciji, odredjivanje dostupnosti resursa i sinhronizaciju komunikacije. Prilikom identifikacije uredjaja za komunikaciju, aplikativni sloj se razlikuje od samih aplikacija. Na primer, internet aplikacija (web strana) može imati dva entiteta - dve aplikacije: jedna koja koristi HTTP za komunikaciju sa korisnicima, i drugu za udaljenu bazu podataka koja čuva podatke. Ni jedan od ovih protokola nemaju ništa sa podacima koji se čuvaju, to se nalazi samo u aplikaciji. Aplikacijski sloj nema načina za odredjivanje resursa u mreži.

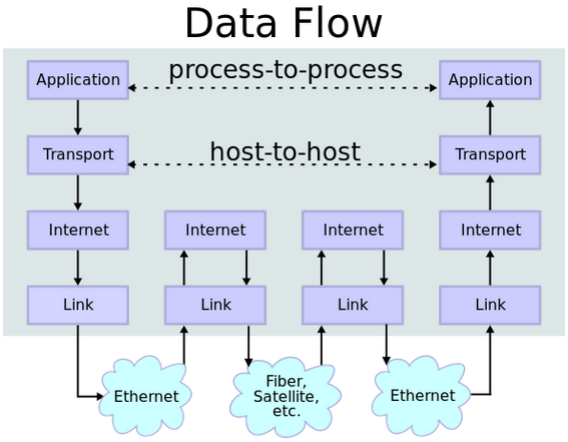
3.2 Internet protocol suite

Internet protocol suite (TCP/IP) je konceptualni model i set komunikacionih protokola koji se koriste za Internet i slične kompjuterske mreže. Opšte je poznat kao TCP/IP zbog toga što su osnovni protokoli u ovom modelu TCP (Transmission Control Protocol) i IP (Internet Protocol). Ponekad se naziva i DoD (Department of Defense) model zbog toga što je razvijanje ovog modela potpomoglo Ministarstvo odbrane SAD-a kroz DARPA.

Internet protokol suite (## [lazarc] [prevod]##) omogućava razmenu podataka izmedju dva uredjaja na mreži, i to specificirajući kako će se podaci deliti u pakete, adresirati, prenositi, rutirati, i primati. Ove funkcionalnosti su organizovane u četiri apstraktna sloja, koja klasifikuju sve protokole s obzirom na to u kom delu povezivanja se nalaze (##[lazarc] [prevod] scope

of networking involved ##). Od najnižeg do najvišeg, slojevi se dele na Link Layer (Sloj povezivanja), koji sadrži komunikacione metode za podatke koji ostaju unutar jednog segmenta mreže; Internet Layer (Sloj interneta), koji omogućava povezivanje izmedju nezavisnih mreža; Transport Layer (Sloj prenosa), koji omogućava komunikacione servise za aplikacije na uredjajima u mreži; i Application Layer (Sloj aplikacije), koji omogućava servise korisnicima i sistemskim aplikacijama.

Tehnički sandardi koji specificiraju Internet protocol suite (##[lazarc] [prevod]##) i mnogi od protokola koji čine IPS održava Internet Engineering Task Force (IETF). IPS je model koji prethodi OSI modelu, koji je dosta detaljniji i opisuje više u mrežnom sistemu.



Slika 3.2: Prikaz slojeva unutar TCP/IP modela komunikacije

3.2.1 Glavni principi arhitekture modela

Princip od kraja do kraja je evoluirao tokom vremena. Njegov prvobitni izraz je stavio održavanje stanja i sveobuhvatne inteligencije na ivice, i pretpostavio da internet koji je povezivao krajeve nije zadržao nikakvo stanje i koncentrisao se na brzinu i jednostavnost. Potrebe za zaštitnim zidovima (##[lazarc] firewalls ##), prevodiocima mrežnih adresa, keširanju sadržaja sa interneta i slično, su izazvale promene u ovom principu.

Princip robusnosti kaže: "Uopšteno, implementacija mora biti konzervativna u ponašanju prilikom slanja i liberalna u svom ponašanju prilikom prijema. Što znači, da mora biti oprezna pri slanju dobro formiranih paketa (##[lazarc] datagrams ##), ali mora prihvatiti bilo koji paket koji može protumačiti. (na primer, ne primećivati tehničke greške gde nije poznato sta

ih uzrokuje.)". Drugi deo principa je gotovo jednako važan: softver na drugim uredjajima može sadržati razlike koji čine nerazumnim da se iskoriste legalne, ali nejasne karakteristike protokola".

Enkapsulacija se koristi za obezbedjivanje apstrakcije protokola i usluga. Enkapsulacija je obično uskladjena sa podelom unutar protokola na slojeve funkcionalnosti. Uopšteno, aplikacija (najviši nivo modela) koristi skup protokola za slanje svojih podataka kroz slojeve. Podaci se dalje enkapsuliraju na svakom sloju.

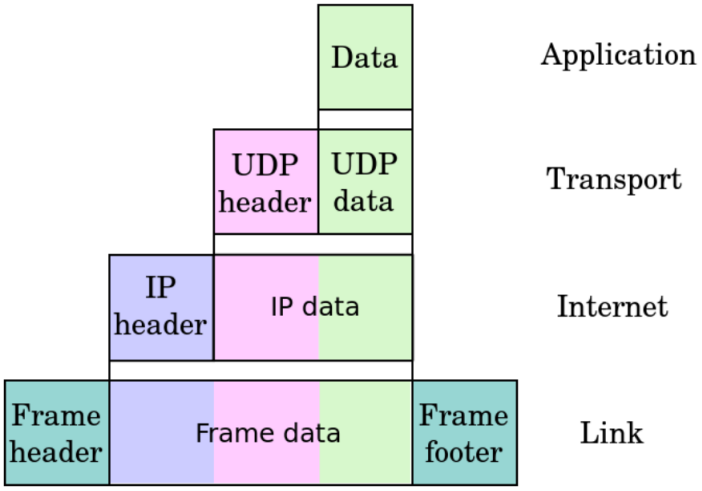
Rani dokumenti o ovom protokolu, govore o četvoroslojevnom protokolu. Što je u upotrebi i danas. I oni su unutar protokola korišćeni u istom redosledu u kom će i ovde biti navedeni.

- Aplikativni sloj (Application layer): Aplikativni sloj je opseg unutar kog aplikacije kreiraju korisničke podatke i prenose ove podatke drugim aplikacijama na istom ili drugom uredjaju (hostu). Aplikacije ili procesi, koriste usluge koje pružaju donji slojevi, posebno transportni sloj koji obezbedjuje pouzdane ili nepouzdane veze ka drugim procesima. Komunikacione partnere karakteriše arhitektura aplikacije, kao što su model klijent-server i umrežavanje ravnopravnih korisnika. Ovo je sloj u kome su svi protokoli višeg nivoa, kao što su SMTP, FTP, SSH, HTTP, i td. Procesi se adresiraju preko portova koji u suštini predstavljaju usluge.

- Transportni sloj (Transport layer): Transportni sloj obavlja komunikacije izmedju domaćina, ili domaćina na istim ili različitim uredjajima (hostovima) i na lokalnoj mreži ili udaljenim mrežama razdvojenim od rutera. Ovaj sloj obezbedjuje kanal za komunikacione potrebe aplikacija. UDP je osnovni protokol transportnog sloja koji pruža nepouzdanu uslugu sa paketima. Protokol za kontrolu prenosa (TCP) omogućava kontrolu protoka, uspostavljanje veze i pouzdan prenos podataka.

- Internet sloj (Internet layer): Internet sloj razmenjuje pakete preko mreže. Ovaj sloj obezbedjuje uniforman mrežni interfejs koji skriva stvarnu topologiju (raspored) osnovnih mrežnih veza. Zbog toga se naziva i slojem koji uspostavlja rad na mreži. Zaista, ovaj sloj definiše i uspostavlja internet. Ovaj sloj definiše strukture adresiranja i usmeravanja koje se koriste za pakete TCP/IP protokola. Primarni protokol u ovom opsegu je Internet protokol, koji definise IP adrese. Njegova sledeća funkcija u usmeravanju je da prenosi pakete na sledeći IP ruter koji ima vezu sa mrežom bliže kranjem odredištu podataka.

- Sloj veze (Link layer): Sloj veze definiše metode umrežavanja u okviru lokalne mrežne veze na kojoj uredjaji (hostovi) komuniciraju bez rutera u medjukomunikaciji. Ovaj sloj uključuje protokole koji se koriste za opisivanje topologije lokalne mreže i potrebnih interfejsa da bi se završio prenos paketa sa Internet sloja na ostale uredjaje.



Slika 3.3: Prikaz poruke koja se prenosi prema TCP/IP modelu komunikacije

Slojevi protokola blizu vrha su logično bliži korisnickoj aplikaciji, dok su oni bliže dnu logički bliži fizičkom prenosu podataka. Pregled slojeva u smislu pružanja i korišćenja usluge je metoda aplikacije koja izoluje gornje slojeve protokola od detalja kao što je prenos bitova, detekcije lošeg prenosa, na primer, dok su niži slojevi izolovani od detalja aplikacije i principa rada aplikacije.

3.3 Precission Time Protocol

Protokol preciznog vremena (Precision Time Protocol (PTP)) je protokol korišćen za sinhronizaciju satova preko kompjuterske mreže. U lokalnoj kompjuterskoj mreži (local area connection), postiže se preciznost sata i u rangu ispod mikrosekunde, što ga čini pogodnim za merenja i kontrolne sisteme.

PTP je originalno definisan u IEEE 1588-2002 standardu, i zvanično nazvan "Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems" i objavljen 2002 godine. U 2008 godini,

IEEE 1588-2002 je objavljen kao preradjen standard, poznat i kao PTP Version 2, sa poboljšanom tačnošću, preciznošću i robusnošću, medjutim nije kompatibilan sa prethodnom verzijom koja je objavljena 2002 godine.

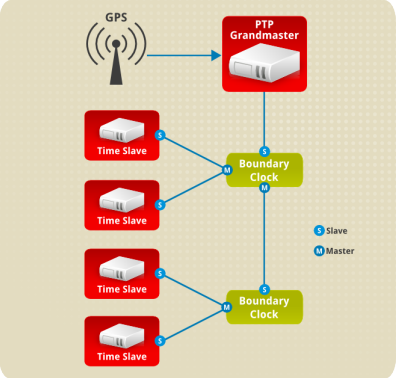
"IEEE 1588 je dizajniran da popuni prazninu koja nije dobro obradjena ni jednim od dva dominantna protokola, NTP i GPS. IEEE 1588 je dizajniran za lokalne sisteme u kojima je potrebna preciznost izvan one koja je dostupna NTP protokolom. Takodje je dizajniran za aplikacije koje se ne mogu nositi sa cenom GPS prijemnika na svakom uredjaju, ili sa onima u kojima nije moguće dobijanje GPS signala." ("IEEE 1588 is designed to fill a niche not well served by either of the two dominant protocols, NTP and GPS. IEEE 1588 is designed for local systems requiring accuracies beyond those attainable using NTP. It is also designed for applications that cannot bear the cost of a GPS receiver at each node, or for which GPS signals are inaccessible." - Eidson, John C. (April 2006). Measurement, Control and Communication Using IEEE 1588. Springer. ISBN 1-84628-250-0.

3.3.1 Arhitektura

IEEE 1588 standard opisuje hijerarhijsku master-slave arhitekturu za distribuciju vremena. Pod ovom arhitekturom podrazumeva se distribucija vremena u sistemu koji se sastoji od jednog ili više komunikacionih medijuma (segmenata koji su povezani na mrežu), i jednog ili više izvora tačnog vremena. #Obični uredjaj# Izvor "običnog" vremena ("ordinary clock") je uredjaj sa jednim pristupom mreži i ima jednu od dve uloge, ili je izvor (master) tačnog vremena, ili čeka na tačno vreme (slave) u komunikaciji na mreži. #Sporedni uredjaj# Granični sat (Boundary clock) ima više pristupa, na različite mreže, i može precizno sinhronizovati jedan segment mreže na drugi. Master sinhronizacije se bira za svaki segment mreže u sistemu. #Glavni uredjaj# Referentno vreme koje se uzima za izvor sinhronizacionog sata se zove Grandmaster clock. Grandmaster dostavlja sinhronizacione informacije do svih uredjaja koji su povezani na istu mrežu sa njim. Ukoliko se u nekom delu mreže nalazi Boundary clock on prosledjuje tačno vreme ka ostalim uredjajima koji su direktno na njega povezani.

Simplifikovano, PTP sistem se sastoji od Ordinary clocks #Obicnog uredjaja# poveznih na jednostavnu mrežu, i bez Boundary clocks #Sporednih uredjaja#. Grandmaster se bira, i svi ostali uredjaji se direktno sinhronišu na njega.

IEEE 1588-2008 predstavljaju Clock koji je povezan sa mrežnom opremom koja prenosi PTP poruke. Transparent clock #Transparentni uredjaj# modifikuje PTP poruke koje prolaze kroz uredjaj. Vremenski pečati (TIMESTAMPs) u porukama su modifikovani tako da se uzme u obzir i vreme za



Slika 3.4: Prikaz arhitekture jednog sistema koji podrzava PTP

koje poruka prolazi kroz dodatne uredjaje u komunikaciji. Ova šema komunikacije povecava distribuciju preciznosti tako što se kompenzuje promenljivost dostave podataka preko mreže.

PTP tipično koristi EPOCH vreme, standardno vreme za UNIX sisteme (1 Januar 1970 kao početak računanja vremena). Dok je UNIX vreme bazirano na Univerzalnom vremenu UTC, i mora da postoji sekunda preskoka (#Ovo dodati, mozda u uvod#), PTP je baziran na Medjunarodnom Atomskom Vremenu (TAI - International Atomic Time). PTP Grandmaster daje trenutnu razliku izmedju UTC i TAI, kako bi UTC vreme moglo da se izračuna od primljenog PTP vremena.

mora slika da se vidi razlika izmedju UTC i PTP, TAI

3.3.2 Detalji protokola

Sinhronizacija i obrada u PTP sistemu se postiže razmenom poruka preko komunikacionog medijuma. Do sad, PTP standard propisuje samo ove tipove poruka.

- Sync, Follow_Up, Delay_Req i Delay_Resp poruke se koriste u Ordinary i Boundary uredjajima i služe samo za razmenu informacija o vremenu koje se koriste za sinhronizaciju uredjaja na mreži.
- Pdelay_Req, Pdelay_Resp i Pdelay_Res_Follow_Up se koriste u Transparent Clock uredjajima da mere kašnjenje kroz uredjaj tako da se može iskoristiti u kompenzaciji vremena u sistemu. Transparent Clock i definicija ovih poruka nisu dostupne u IEEE 1588-2002 standardu.
- Announce poruke se koriste i Best master clock algorithm u IEEE 1588-2002 standardu za algoritam odredjivanja najtačnijeg sata na mreži, i

to kako bi se izgradila hijerarhija uredjaja i kako bi se odredio Grandmaster.

- Management poruke se koriste u upravljanju mrežom za posmatranje performansi na mreži, konfiguraciju mreže i održavanje PTP sistema.
- Signalne poruke se koriste u komunikaciji izmedju uredjaja koje nisu vremenski kritične. Signalne poruke su uvedene u IEEE 1588-2002 standard.

Poruke se karakterizuju kao Event i General, odnosno poruke dogadjaja i opste poruke. Event poruke su vremenski kritične i to u preciznosti predaje i prijema preciznosti vremenskih pečata (TIMESTAMPs) i direktno utiču na distribuciju preciznosti vremena. (JOS JEDNOM POGLEDAJ OVAJ PREVOD). Sync, Delay_Req, Pdelay_Req i Pdelay_resp su poruke dogadjaja. Opšte poruke su ubičajene jedinice protokola, zato što su podaci u ovim porukama od značaja za PTP, ali njihovi vremenski pečati za predaju i prijem nisu. Announce, Follow_Up, Delay_Resp, Pdelay_Resp_Follow_Up, Management i Signalne poruke su opšte poruke.

3.3.3 Prenos poruka

PTP poruke mogu da koriste UDP (User datagram portocol) preko Internet protokola (UDP/IP) za prenos poruka. IEEE 1588-2002, koristi samo IPv4 prenos, ali je ovo prošireno da uključuje i IPv6 u IEEE 1588-2008 standardu. U IEEE 1588-2002, sve PTP poruke se šalju u Multicast (modulu objavljivanja na mreži) (#pogldedaj opet ovaj prevod#), dok je u IEEE 1588-2008 to uvedeno kao opcija.

3.3.4 Algoritam najboljeg sata

BMC *Bestmasterclockalgorithm* algoritam obavlja deljenu selekciju najboljeg kandidata za tačno vreme prema sledećim karakteristikama:

- Identifikator: Univerzalni jednistveni identifikator za sat. Tipično je baziran na MAC adresi uredjaja.
- Kvalitet: Obe verzije IEEE 1588 standarda pokušavaju da kvantifikuju kvalitet sata na osnovu očekivanih devijacija u vremenu, tehnologije koja je korišćena za implemntaciju vremena ili lokacije u hijerarhiji satova, u šemi kvaliteta satova (clock stratum scheme).

- Prioritet: Administrativno dodeljen prioritetni znak koji BMC koristi kako bi što bolje odredio Grandmaster u PTP domenu. Dok je IEEE 1588-2002 standard imao samo jednu logičku promenljivu kako bi odredio prioritet, IEEE 1588-2008 ima dva 8-bitna polja prioriteta.

- Varijansa: Procena stabilnosti sata zasnovana na zapažanju njegovog učinka prema PTP refernci.

IEEE 1588 koristi hijerarhijski algoritam selekcije zasnovan na sledećim osobinama, u naznačenom redosledu:

- Prioritet 1: korisnik može dodeliti specifičan statički dizajniran prioritet svakom satu pre svega odredjujući prioritet medju njima. Manje vrednosti prioriteta označavaju veći prioritet.

- Klasa: Svaki sat je član odredjene klase, svaka klasa dobija svoj prioritet.

- Preciznost: Preciznost izmedju sata i UTC, u nanosekundama.

- Varijansa: Varijabilnost sata.

- Prioritet 2: Definisan prioritet, definišući redosled rezervne kopije u slučaju da drugi kriterijumi nisu dovoljni. Manje vrednosti prioriteta označavaju veći prioritet.

- Jedinstveni identifikator: selekcija zasnovana na MAC adresi se koristi kao metod odlučivanja kada su sve ostale osobine iste.

Svojstva sata se daju u IEEE 1588-2002 standardu porukama za sinhronizaciju (Sync messages) i u IEEE 1588-2008 standardu u porukama za oglašavanje (Announce messages). Trenutni Master clock prenosi sve informacije u rednovnim intervalima. Sat koji sebe smatra boljim od trenutnog Master sata prenosiće ove informacije kako bi se pozvali svi uredjaji za pormenu Master sata. Kada trenutni Master prepozna bolji sat, tada Master sat zaustavlja emitovanje poruka za sinhronizaciju (Sync Messages), ili poruke ograšavanja (Announce messages), u zavisnosti od verzije protokola, i bolji sat preuzima ulogu Master sata. BMC algoritam uzima u obzir samo osobine koje su već poznate, i koje su deklarisali sami satovi, i ne uzima u obzir kvalitet veze na mreži.

3.3.5 Sinhronizacija

Koristeći BMC algoritam, PTP bira Master sat za IEEE 1588 domen i za svaki segment mreže unutar tog domena. Satovi odredjuju razliku izmedju njih (offset) i Master-a na mreži. Neka promenjiva t predstavlja fizički vreme. Za dati Slave uredjaj, razlika $o(t)$ u vremenu t se definiše kao:

$$o(t) = s(t) - m(t) \tag{3.1}$$

gde $s(t)$ predstavlja vreme mereno satom na Slave uredjaju u vremenu t, dok $m(t)$ predstavlja vreme mereno satom na Master uredjaju u vremenu t.

Master uredjaj periodično objavljuje (Broadcasts) trenutno vreme kao poruku ostalim uredjajima na mreži. IEEE 1588-2002 protokolom je definisana objava vremena na svaku sekundu. Dok je IEEE 1588-2008 protokolom dozvoljeno i do 10 objava vremena u jednoj sekundi.

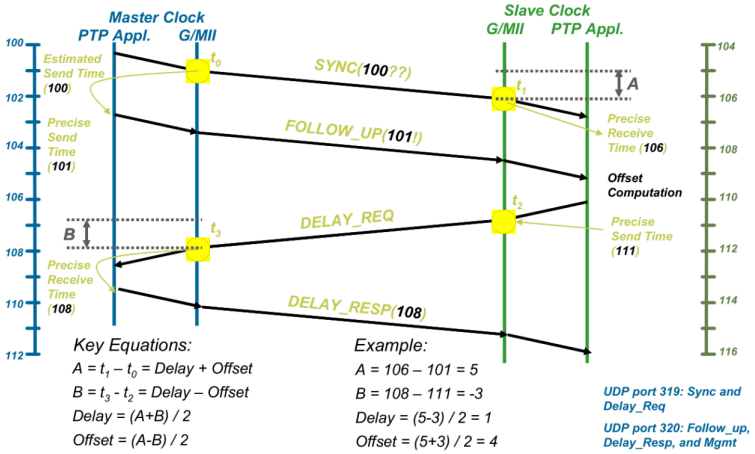


Figure 3. IEEE 1588 synchronization message sequence

Slika 3.5: Prikaz sinhronizacione sekvence PTP protokola

Svaka objava vremena kreće u vremenskom trenutku T_1, i to Sync porukom koju šalje Master uredjaj svim uredjajima u domenu. Uredjaj koji prima ovu poruku pamti vreme T_1' u kom je primio Sync poruku. Master može naknadno poslati Follow_up poruku u kojoj će se nalaziti tačno vreme T_1 u kom je poslata prethodna poruka. Nemaju svi Master uredjaji sposobnost da pošalju tačne vremenske oznake unutar Sync poruke. Tek nakon što je prenos završen, oni mogu dobaviti tačne vremenske trenutke stizanja Sync poruke iz hardvera za povezivanje na mrežu. Master uredjaji sa ovim ograničenjima šalju Follow_up poruke kako bi preneli vreme T_1. Master uredjaji koji poseduju PTP mogućnosti unutar hardvera za povezivanje mogu ubaciti

tačne vremenske oznake unutar Sync poruka, i ne moraju koristiti Follow_up poruke.

Kako bi se tačno sinhronizovali na Master uredjaj, satovi moraju individualno odrediti vreme prenosa poruka kroz medijum za povezivanje. Vreme progresije poruke kroz medijum za povezivanje se radi merenjem vremena koje je potrebno da poruka ode od svakog uredjaja do njihovog Mastera u domenu, i da se vrati nazad. Ovu razmenu iniciraju Slave uredjaji i pri tome mere vreme progresije poruke d. Razmena poruka počinje tako što Slave uredjaj šalje Delay_Req poruku u vremenskom trenutku T_2 ka svom Master uredjaju. Master uredjaj primi ovu poruku, i kao odgovor pošalje tačnu vremensku oznaku kada je primio Delay_Req poruku. Poruka odgovora Delay_Resp sadrzi tačno vreme T_2' u kome je primljena poruka Delay_Req.

Nakon razmene ovih poruka Slave uredjaj ima spoznaju o četiri vremenska trenutka T_1, T_1', T_2 i T_2'.

Ukoliko je d vreme koje je potrebno Sync poruci da prodje kroz medijum za povezivanje, a $\tilde{o}$ konstantna razlika satova izmedju Master i Slave uredjaja, onda je:

$$T_1' - T_1 = \tilde{o} + d \tag{3.2}$$

i

$$T_2' - T_2 = -\tilde{o} + d \tag{3.3}$$

Odakle je:

$$\tilde{o} = \frac{1}{2}(T_1' - T_1 - T_2' + T_2) \tag{3.4}$$

Sada dva uredjaja znaju koliki je ofset $\tilde{o}$ prilikom prenosa i mogu se ispraviti tako da budu u skladu sa Master uredjajem.

Jedna pretpostavka je da se prenos poruka odvija u periodu vremena koji je tako mali, da se razlika moze smatrati konstantnom u tom periodu. Jos jedna pretpostavka je da je vreme koje je potrebno da poruka stigne od Master do Slave uredjaja ista kao i u obrnutom smeru. I na kraju, pretpostavka je da i Master i Slave uredjaji mogu da precizno mere vremenske trenutke u kojima šalju ili primaju poruke. Stepen primene ovih pretpostavki utiče na to koliko će se dobro sinhronizovati dva uredjaja.

[lazarc] Pogledaj jos da se ubaci sa Teams za Valeo

Glava 4

Operativni sistem

4.1 FreeRTOS

FreeRTOS je kernel operativnog sistema koji radi u realnom vremenu, i to za namenske sisteme, i može se koristiti na velikom broju mikrokontrolera. FreeRTOS je idealno sklopljen za duboke namenske aplikacije u realnom vremenu koje koriste mikrokontrolere ili male mikroprocesore. Ovaj način projektovanja aplikacija uključuje kombinaciju kako strogih zahteva za realnim vremenom u aplikaciji, tako i manje strogih.

Strogi zahtevi za aplikacijama realnog vremena su oni u kojima postoji vremenski rok u izvršavanju, i ako se taj rok probije, doći ce do apsolutnog pada funkcionalnosti sistema. Na primer, airbag u kolima ima potencijal da napravi više štete nego dobrog ukoliko je odziv sistema samo malo sporiji nego što treba.

FreeRTOS je kernel realnog vrmena (ili rasporedjivač realnog vremena) na koji se nadogradjuje aplikacija tako da ispuni stroge zahteve za realnim vremenom aplikacije. To dozvoljava da aplikacija bude organizovana kao kolekcija nezavisnih programskih niti. Na procesoru koji ima samo jedno jezgro, samo jedna programska nit se može izvršavati u jednom trenutku. Kernel odlučuje koja nit se izvršava tako što odredjuje prioritet koji se dodeljuje svakoj niti. U najjednostavnijem slučaju, dizajner aplikacije može odrediti više prioritete nitima koje implementiraju stroge zahteve za realnim vremenom, a niže prioritete onim nitima koje nemaju tako stroge zahteve za izvršavanjem. Ovim bi se osiguralo da niti koje imaju strožije zahteve, imaju prioritete izvršavanja i pristupa resursima nad ostalim nitima, ali odluke za dodelu izvršavanja nisu uvek tako jednostavne.

Napomena: Unutar FreeRTOS-a se programska nit naziva “task”. Tako da će se u daljem tekstu i koristiti naziv Task za programsku nit.

U projektovanju aplikacija za namenske sistema postoji ustaljena praksa projektovanja aplikacija koja ne zahteva korišćenje kernela za realno vreme, i ove tehnike mogu dati bolje rešenje problema. Mada, u kompleksnijim slučajevima, verovatnije je korišćenje kernela za aplikacije u realnom vremenu, i takodje može biti kombinacija korišćenja kernela, i drugih tehnika projektovanja aplikacije.

Kao što je već opisano, prioriteti taskova mogu pomoći da se osigura da aplikacija ispuni sve zahteve, ali kernel može doneti i neke manje očigledne beneficije. Neke od njih su navedene ispod:

- Skraćivanje informacija o vremenskom rasporedu (Abstracting away timing information): Kernel je odgovoran za vreme izvršavanja i dodeljuje API kojim se unutar aplikacije može upravljati vremenom. Ovim se omogućava jednostavnija strukturiranost koda, i ukupna veličina koda je manja.

- Održavanje/Proširivanje (Maintainability/Extensibility): Uskraćivanjem informacija o vremenskom rasporedu rezultuje u manjim zavisnostima izmedju modula, i dozvoljava aplikaciji da evoluira na kontrolisan i predvidjen način. Takodje, kernel je odgovoran za rasporedjivanje vremena, tako da performanse aplikacije manje mogu biti promenjene u hardveru na kome se pokreću.

- Modularnost (Modularity): Taskovi su nezavisni moduli, pri čemu svaki od njih mora imati dobro definisanu svrhu.

- Timski razvoj (Team development): Taskovi bi trebalo da imaju dobro definisane interfejse, kako bi se lakše razvijali u timovima.

- Lakše testiranje (Easier testing): Ako su takskovi dobro definisani kao nezavisni moduli sa čistim interfejsima, mogu biti testirani nezavnisno.

- Ponovno korišćenje koda (Code reuse): Veća modularnost sa većom nezavisnošću koda koji se može ponovo koristiti sa manje uloženog truda.

- Poboljšana efikasnost (Improved efficiency): Korišćenjem kernela softver se u popunosti može prebaciti na pokretanje dogadjajima (event driven programming), i time bi se uštedelo procesorsko vreme koje se troši na poliranje dogadjaja koji se ne dogadjaju. Kod se pokrece samo ukoliko postoji nešto sto je potrebno uraditi. Protiv poboljšane efikasnosti stoji to da je potrebno pocesuirati RTOS prekid, i promeniti izvršavanje sa jednog taska na drugi. Kako god, i aplikacije koje ne koriste RTOS normalno uključuju neku formu prekida.

- Idle time: Idle task je task koji se automatski kreira prilikom startovanja Scheduler-a. I izvršava se kad nema taskova unutar aplikacije koji bi se izvršavali. Ovaj task se može koristiti za merenje procesorske moći koja se troši, za izvršavanje provera u pozadini, ili da jednostavno pokrene režim smanjene potrošnje u sistemu.

- Upravljanje snagom (Power management): Efikasnost koja se dobija korišćenjem RTOS-a dozovoljava procesoru da provede više vremena u režimu smanjene potrošnje. Potrošnja se može značajno smanjiti time što procesor odlazi u režim smanjenje potrošnje kad god je pokrenut Idle task. FreeRTOS takodje ima i specijalni tick-less mod, u kome procesor odlazi u režim smanjene potrošnje na duže vreme.

- Fleksibilno upravljanje prekidima (Flexible interrupt handling): Upravljanje prekidima se može držati veoma kratko tako što se odlaže obrada bilo kog taska koji je kreirao sam dizajner, ili taska unutar FreeRTOS-a.

- Različiti zahtevi za obradom (Mixed processing requirements): Jednostavni oblici dizajniranja programa mogu se postići mešanjem periodičnog, kontinualnog i procesiranja pokretanog dogadjajima. Pored toga, ispunjavanje strogih i manje strogih zahteva za realnim vremenom u aplikacijama može se postići izborom odgovoarajućih taskova i prioriteta prekida.

4.1.1 Implementacija

FreeRTOS je dizajniran tako da bude mali i jednostavan. Kernel (srce operativnog sistema) se sastoji od samo 3 fajla, i pisan je u C programskom jeziku. Kako bi se kod napravio da bude citljiv, lako portabilan, i kako bi se lako održavao projekat, pisan je uglavnom u C programskom jeziku, sa izuzetkom nekih funkcionalnosti koje su napisane u asembleru, gde je to bilo potrebno, i to uglavnom rutine u Scheduler-u (Rasporedjivacu niti) koje su specifične za samu arhitekturu.

FreeRTOS omogućava korišćenje metoda za stvaranje više programskih niti, ili Taskova, stvaranje mehanizama za Sinhronizaciju niti, Mutexa, Semafora i softverskih tajmera. Takodje, postoje mogućnosti korišćenja FreeRTOS-a i za aplikacije niske potrošnje. Aplikacije koje koriste FreeRTOS mogu biti kompletno statički alocirane. Alternativno RTOS objekti mogu biti dinamički alocirani sa 5 šema alokacije memorije i one su rasporedjene tako da pružaju sledeće mogućnosti:

- samo alociranje;

- alociranje i oslobodjanje sa jednostavnim, brzim algoritmom;
- kompleksnije ali brže alokaciranje i oslobadjanje uz algoritam spajanja susednih memorijskih blokova;
- alternativa za još kompleksniju šemu koja uključuje spajanje susednih memorijskih blokova koja omogućava da hip (HEAP) bude podeljen na više memorijskih delova;
- i na kraju C biblioteka za alociranje i oslobadjanje sa zaštitom medjusobnog isključivanja.

Unutar FreeRTOS-a ne postoji ni jedan od složenijih svojstava operativnih sistema koji se uobičajeno mogu naći u operativnim sistemima poput Linux-a ili Microsoft Windows-a, kao što su drajveri uredjaja, napredno upravljanje memorijom, korisnički nalozi, i umrežavanje. Akcenat ovog operativnog sistema je na kompaktnosti i brzini izvršavanja. O FreeRTOS-u se može misliti kao o "biblioteci niti"vise nego kao o "operativnom sistemu".

FreeRTOS implementira više niti tako što postoji jedan program koji poziva metode niti u jednakim kratkim vremenskim intervalima. Metoda promene niti zavisi od prioriteta niti i uključuje round-robin šemu promene niti. Uobičajen interval promene je do 1/1000 sekunde do 1/100 sekunde, i to kroz prekid hardverskog tajmera, ali interval promene se često menja tako da zadovolji potrebe specifične aplikacije.

4.2 lwIP

lwIP (light-weight IP) je implementacija TCP/IP komplet-a (## [lazarc] [prevod] suite ##) je originalno napisao Adam Dunkels u Computer and Networks Architectures (CNA) laboratoriji na Švedskom institutu za kompjuterske nauke (Swedish Institute of Computer Science) ali ga sad aktivno razvija tim inženjera širom sveta kojim rukovodi Kieran Mansley.

lwIP je open-source projekat koji je besplatan za preuzimanje i korišćenje (pod BSD licencom), pisan u C programskom jeziku i može se preuzeti sa internet stranice tima koji ga razvija.

Fokus lwIP implementacije TCP/IP je da se smanji korišćenje RAM memorije i da se i dalje dobija potpuna funcionalnost TCP. Ovim lwIP postaje interesantan za korišćenje u namenskim sistemima koji raspolažu sa RAM memorijom od nekoliko desetina kilobajta (kB) i prostorom od oko 40kB u ROM memoriji.

Od kada je prvi put objavljen, lwIP izaziva dosta interesovanja, i danas se koristi u dosta komercijalnih projekata. lwIP je do sad iskorišćen na mnogim

platformama i operativnim sistemima, i može se koristiti bez i sa operativnim sistemom. U ovoj implementaciji, lwIP se koristi u okviru FreeRTOS operativnog sistema, kao jedan njegov deo.

LwIP je veoma modularan i ima podršku za dosta protokola, od kojih većina može da se ukloni za manju veličinu koda.

- *Mrežni protokoli i protokoli veze: (Link and network protocols)*
  - **ARP**: protokol veze koji se koristi za prevod prirodne hardver adrese ("MAC adresa") u IP adresu
  - **IPv4**: dominantni mrežni protkol koji se koristi danas, posebno za Internet
  - **IPv6**: naslednik IPv4, koji, naročito, proširuje veličinu IP adrese na 128 bita
  - **ICMP**: kontrolni protokol za IP
  - **IGMP**: protokol za urpravljanje grupa unutar IP-a
- *Transportni protokoli: (Transport protocols)*
  - **UDP**: protokol bez priključka, i bez mehanizma pouzdanosti
  - **TCP**: protokol orjentisan ka konekciji, za kontinualni tok podataka (štreaming")
- *Protokoli visokog nivoa: (High-level protocols)*
  - **DHCP**: dobijanje IP adrese sa podrškom servera
  - **AUTOIP**: dobijanje IP adrese bez podrške servera
  - **SNMP**: korišćen za nadgledanje stanja mreže
  - **PPP**: korišćen za stvaranje direktne konekcije izmedju dva čvora na mreži

IPv4: (##[lazarc] opisati u delu za softversku implementaciju ##)

lwIP pruža tri API-a (Application Program's Interface) za programe koji komuniciraju sa TCP/IP kodom:

- low-level čore"/čallback"ili "raw"API
- dva API-a višeg nivoa (sekvencijalni API-i):
  - netconn API
  - socket API

Sekvencijalni API pruža način za obično, sekvencijalno programiranje koje koristi lwIP stek (stack). Model izvršavanja je baziran na blokirajućoj otvori-pročitaj-upiši-zatvori paradigmi. Kako je TCP/IP stek baziran na dogadjajima, TCP/IP kod i aplikativni program, moraju da se pozivaju sa različitim kontekstima izvršavanja, u različitim nitima.

Prilikom mešanja sekvencijalnog i širovog"API-a u programima, treba biti pažljiv. Funkcije koje pripadaju nesekvencijalnom API-u u stvari mogu biti pozvane iz glavne tcpip_thread niti. Takodje, registrovanje programski rutina (ili inicijalizovanje delova u lwIP) mora biti odradjeno unutar tog konteksta (na primer, u vreme startovanja aplikacije u tcpip_init_callback rutini ili u vreme izvršavanja unutar tcpip_callback rutine).

Još neke činjenice o API-ima koje utiču na korišćenje lwIP steka:

- **netconn- i raw-API su samo unutar lwIP-a :** kod koji koristi ovaj API se ne može koristiti u drugim stekovima koji imaju iste mogućnosti kao lwIP (na primer uIP i td.)

- **socket API** je u suprotnosti sa gore navedenom stavkom, napravljen je tako da je kompatibilan i može se koristiti u drugim stekovima.

- **socket- i netconn-API** su sekvencijalni API-i koji zahtevaju programske niti (jedna nit je za aplikaciju koja koristi API, jedna nit upravlja tajmerima unutar steka, paketima koji dolaze, i td.)

- **raw API** koristi mehanizam povratnih rutina (na primer. aplikacija poziva rutinu kada dodje novi podatak). Ukoliko se koristi u programu koji radi na sekvencijalni način, može biti teže korišćenje.

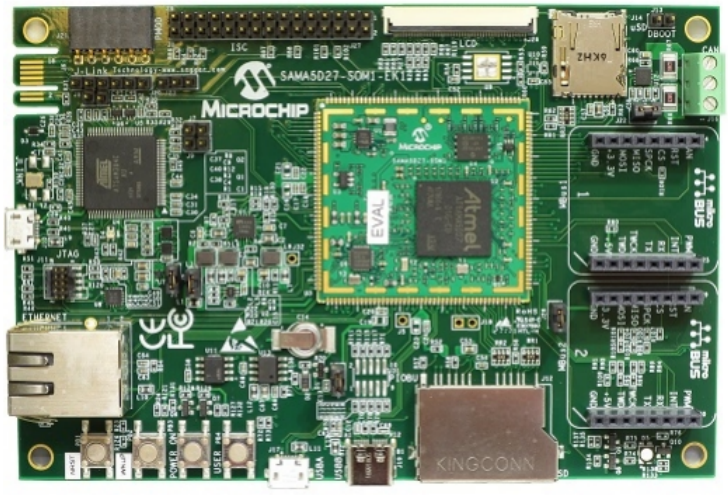
- **raw API** daje bolje performanse kako ne zahteva promenu izvršavanja programskih niti.

- **raw API i netconn API** podržavaju zero-copy [1]predstavlja operaciju pri kojoj procesor ne vrši kopiranje podataka iz jedne memorijske oblasti u drugu. Ovo se često koristi kako bi se sačuvali ciklusi procesora i propusnog opsega memorije prilikom prenosa kontinualnih podataka (datoteka, fajlova) preko mreže. kako za TX tako i za RX, tj. kako za predaju, tako i za prijem podataka.

Glava 5

Hardverska implementacija

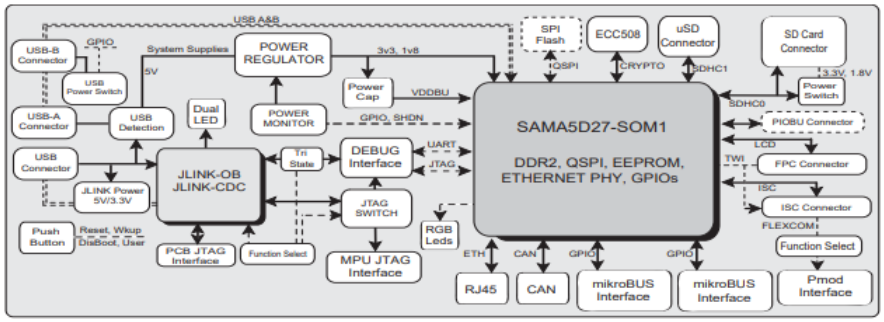
Razvojno okruženje koje je korišćeno za hardversku implementaciju je razvojna ploča SAMA5D27-SOM1-EK1 proizvodjača Microchip. Na ploči se nalazi SAMA5D27 SOM (System on Module) modul koji je ključan za implementaciju. Na modulu se nalazi SAMA5D27-D1G-CU SIP (System in Package) koji sadrži 1 Gbit DDR2 SDRAM memorije. Modul nudi puzdanu i niskobudžetnu platformu za razvoj namenskih računarskih sistema koji ce na kraju i završiti u finalnoj proizvodnji, kao i malu formu, dopunjenu sa velikim brojem interfejsa koji se mogu koristiti u delu projektovanja krajnjeg sistema.



Slika 5.1: Razvojna ploča SAMA5D27-SOM1-EK1 (pogled odozgo)

SOM je potpuno opremljen industrijski sertifikovan kompjuter dizajniran za integraciju korisničke aplikacije. SOM modul je namenski napravljen kao

mala hardverska platforma opremljena širokim spektrom modula za brzo povezivanje kako bi podržali projektovanje podrške za razne IoT (Internet of Things) aplikacije, prenosnih uredjaja, ali i aplikacija u industrijske svrhe. SOM integriše 1Gbit DDR2 SDRAM i QSPI memoriju kao 10/100 Mbit Ethernet interfejs. Takodje, SOM poseduje i 128 GPIO pinova koji obezbedjuju pristup SOM-a za različite upotrebe. Svi GPIO pinovi su nezavisni, i mogu se konfigurisati kao ulazi ili izlazi, sa ili bez PULL-UP otpornika. Razvojna ploča poseduje i širok spektar periferija, kao i korisnički interfejs i način za proširenje funkcionalnosti, uključujući i dva microBUS Click interfejsa firme Mikroelektronika kojim se dobija mogućnost za proširenje funkcionalnosti svim modulima koje ova firma nudi u svom asortimanu.

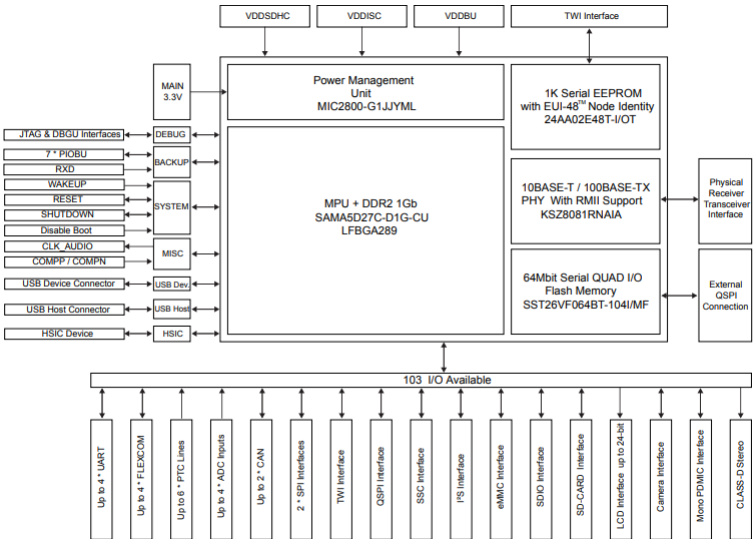


Slika 5.2: Moduli - Razvojna ploča SAMA5D27-SOM1-EK1

Na samom SAMA5D27-SOM1 postoje i:

- Ultra mali SIP (SAMA5D27-D1G-CU) koji sadrži štedljivi SAMA5D27 Arm Cortex A5 procesor i 1Gbit DDR2 SDRAM memoriju
- SST26VF064 64 Mb QSPI Flash memoriju
- 24AA02E48 2 Kb serijski E2PROM (Electrically Erased Programmed Read Only Memory) sa programiranom EUI identifikacijom pristupa
- MIC2800 cip za kontrolu napajanja
- KSZ8081RNA Ethernet Phy 10/100 MHz RMII

Razvojno okruženje SAMA5D27-SOM1-EK1 je veoma moćno i može se koristiti za š irok spektar aplikacija. Najčešće je izbor za razvoj aplikativnog softvera u namenskim računarskim sistemima, uz korišćenje Embedded Linux operativnog sistema, i s tim ciljem se i bira. Za ovu implementaciju nije korišćen u tom smislu, već je korišćen sa drugim operativnim sistemom



Slika 5.3: Moduli - SAMA5D27-SOM1

kojim je moguće istaći neke druge njegove karakteristike. Ali ono sto je najviše interesantno za ovu primenu je postojanje TSU (Timestamping unit) za harversku podršku PTP-a. I to u sklopu periferije za povezivanje preko Ethernet-a, čime je omogućeno prepoznavanje PTP poruka koje dolaze na interfejs.

5.1 Timestamping unit - TSU

Timestamping unit (TSU), je periferija unutar procesora koja pruža podršku prilikom vremenskog označavanja paketa koji učestvuju u razmeni poruka u PTP protokolu. TSU se sastoji od tajmera, koji je implementiran kao brojač, i registara u koji se smeštaju vremena u kojima PTP paketi prelaze granicu vremenskog označavanja. Hardverski prekid se registruje prilikom osvežavanja registara, pri čemu se osvežavanje registara dogadja svaki put kada tačno specificirani paketi predju preko interfejsa.

Tajmer unutar periferije je implementiran kao 94 bitni brojač, kod koga je najviših bita predstavlja broj sekundi, sledećih 30 bita predstavlja broj nanosekundi i najnižih 16 bita predstavlja vreme nivoa ispod nanosekunde. Donjih 46 bita se prebroje nakon što je izbrojena jedna sekunda, i takodje prijavljuje se prekid kada se izbroji jedna sekunda. Vrednost tajmera je moguće pročitati, kao i modifikovati preko APB interfejsa. Frekvencija tajmera se dobija od MCK procesora. U ovom slučaju MCK je 82MHz.

Veličina inkrementa tajmera je podesiva i može se kontrolisati preko re-

gistra GMAC_TI, gde je donjih 8 bita vrednost za koju će se uvećati vrednost tajmera u nanosekundama, i dodatnih 16 bita unutar registra GMAC_TISUBN, unutar koga se specificira vrednost inkrementa na nivou vremena ispod nanosekunde. Ukoliko je ostatak registra GMAC_TI nula, na svaku uzlaznu ivicu kloka koji dolazi na periferiju, vrednost će se uvećavati za vrednost donjih 8 bita GMAC_TI registra, plus vrednost GMAC_TISUBN registra. Registar GMAC_TISUBN dozvoljava rezoluciju od otprilike 15 femtosekundi.

Takodje, registar GMAC_TI ima mogućnost podešavanja alternativnog broja nanosekundi, i to na bitima od 15 do 8, i na bitima od 23 do 16 broj ciklusa nakon koga će se iskoristiti vrednost alternativnog broja nanosekundi prilikom uvećanja vrednosti brojača. Ovaj deo periferije je u velikoj meri značajan za podešavanje tačnog vremena, i to u slučajevima kada se koriste drugi oscilatori za pogon procesora, koji daju drugačije vrednosti frekvencije kojom se uvećava vrednost brojača.

Ova periferija najviše utiče na tačno vreme koje je potrebno sinhronizovati, i takodje daje informacije o tačnom vremenu na uredjaju koji se koristi. Više detalja o samoj implemntaciji i korišćenju ove periferije biće dato u delu softverske implementacije.

Glava 6

Softverska implementacija

U ovom delu će biti opisana softverska implementacija projekta, sa datim rezultatima na kraju odeljka. Rezultati se odnose na razliku u satovima dva uredjaja u sistemu koji je napravljen kako bi se prikazala funkcionalnost protkola, i izvršila sinhronizacija dva uredjaja unutar oglednog sistema.

Prikaz sistema, nparaviti sliku gde se vide Linux PC i ploca

Ogledni sistem za implementaciju protokola preciznog vremena se sastoji od PC-a, na kome se nalazi Ubuntu 16.04 LTS operativni sistem, i razvojne ploče SAMA5D27-SOM1-EK1. Povezivanje izmedju razvojne ploče i PC-a je ostvareno preko standardnog UTP kabla (UTP - Unshielded-Twisted-Pair). Na PC-u se pokreće Open source implementacija PTPd, odnosno deamon-a koji obavlja funkciju PTP protokola na standardnim operativnim sistemima. U ovom slučaju je izabran PTPd kao najjednostavnija i najdostupnija verzija ovakvog programa koja se pravljena za operativne sisteme bazirane na Linux-u.

Kako je u nekim trenucima potrebno da više uredjaja na mreži dobija informacije potrebne za sinhronizaciju, sam PTP deamon je konfigurisan da radi u Master only modu, i takodje u Multicast modu. Što znači da je Linux PC u ovoj konfiguraciji oglednog sistema uvek Master i da svi uredjaji moraju da se sinhronišu na njegovo tačno vreme. Takodje, kako je PC jedini uredjaj na mreži koji daje takve informacije, postavljen je u Mulitcast mod, tako da svi uredjaji dobijaju informacije, dok samo neki koji mogu da prepoznaju odredjene poruke, mogu da odgovore i sinhronišu se u potpunosti. S tim u vezi, dodata su jos neka podešavanja samog deamon-a, čime je odredjen period za odgovor sa slave strane, odnosno da ukoliko ne dodje do odgovora u nekom roku, PC nastavi da šalje generičke poruke, kako bi pokrenuo proces sinhronizacije. Takodje, u svrhe provere da li je sve podešeno na najbolji način, vrši se praćenje svih poruka koje se dobijaju i skladište na PC-u kako bi kasnije mogle da se provere, ukoliko dolazi do grešaka na mreži. Kako

se koristi PC, odnosno kompjuter opšte namene, koji je preko jednog od interfejsa, povezan na internet, sam PC dobija tačno vreme preko NTP-a, nakon čega to vreme postaje najbolje za lokalnu oglednu mrežu. Ukoliko bi se koristio specijalizovani kompjuter, koji ima mogućnost da tačno vreme dobije preko GPS-a, i takodje specijalizovane mrežne kartice, koje podržavaju PTP, mogla bi se dobiti mnogo veća tačnost, i time bi se povećala tačnost na slave uredjaju koji pokušava da se sinhroniše. Implementacija PTP deamon-a na PC-u je preuzeta i korišćena u skladu sa uslovima i preporukama Open Source zajednice, i sem konfiguracije ništa nije promenjeno, kako bi se prilagodilo ovoj implementaciji.

Sa druge strane, implementacija na slave strani, u ovom slučaju na evaluacionoj ploči, je morala biti prilagodjena samom PTP protokolu, i morala je obezbediti mehanizme za korektno korišćenje PTP protokola.

Softverska implementacija je zamišljena tako da se može obezbediti lako dodavanje novih funkcionalnosti, kao i promena već postojećih funckionalnosti u vrlo kratkom vremenskom roku. S tim u vezi izabran je FreeRTOS kao operativni sistem koji ce biti osnova, i odabrana je Multi-Threaded arhitektura softvera koji implementira ovu funkcionalnost. Odabir ovog operativnog sistema i ove arhitekture je usko vezan sa svim što je potrebno iskoristiti kako bi se obezbedila korektna implementacija ovog protokola. Kao i dostupnost baze znanja za ovaj operativni sistem, i njegova Open Source priroda. Takodje, za IP stack je izabran lwIP stack, koji je pogodan za implementacije na Embedded uredjajima, i takodje je Open Source i ima široko dostupnu bazu znanja.

Implementacija ostavlja mogućnosti za dodavanje novih funkcionalnosti, i to kao dodavanje novih thread-ova unutar već postojećeg sistema. Medjutim, prilikom dodavanja novih funkcionalnosti mora se voditi računa o već postojećim mehanizmima i kako nova funkcionalnost utiče na njih. S tim u vezi, implementacija PTP mehanizma je jedna od niti unutar sistema, koja vodi računa o tačnom vremenu sistema, i ima najveći prioritet. Kako sama sinhrnoizacija nije vremenski zahtevna, i ne javlja se tako često, blokirajućim prekidima same niti, postignuto je da ostale funckionalnosti unutar sistema, ukoliko ih bude, mogu nesmetano da se izvršavaju, sve dok se ne javi potreba sistema za sinhrnoizacijom.

Kao što je već navedeno u poglavlju Hardverske implementacije, procesor koji se koristi, ima harversku podršku za PTP, i to u vidu TSU (Time stamping unit). Konfiguracijom modula GMAC unutar samog procesora može se omogućiti da procesor prepozna pakete koji stižu preko interfejsa i odredjene podatke iz paketa preuzme i prosledi na dalje korišćenje. S tim u vezi, sam modul mora se konfigurisati tako da se dozvole hardverski prekidi prilikom prepoznavanja odredjenih paketa. Ova funkcionalnost se dozvoljava

prilikom inicijalizacije same ploče. Takodje, TSU je potrebno konfigurisati tako da se obezbedi puna funkcionalnost samog modula. TSU kao modul unutar GMAC-a dobija klok (## [lazarc] clock) kako bi se dobilo nezavisno vreme na ploci, i odnosu na ostatak sistema. Kao što je navedeno u odeljku hardverske implementacije, TSU je implementiran kao 94-bitni brojač, koji ima rezoluciju od oko 15 femtosekundi. Na inicijalizaciji celog sistema TSU dobija odredjeni klok (## [lazarc] clock), koji je u ovom slučaju 82 MHz. TSU se ne startuje sve dok se u polju konfiguracije ne dodeli inkrement koji je različit od nule. Takodje, unutar konfiguracije TSU postoje polja za specificiranje inkrementa ispod nanosekunde, koje je potrebno setovati tako da se dobije što približnija reprezentacija realnog vremena.

Kako je frekvencija kojom broji TSU 82MHz, izračunavanjem se dolazi do toga da je za jedan period kloka (## [lazarc] clock) prošlo 12.19512 ns. Pri čemu se cifre iza decimalne tačke periodično ponavljaju, i to ponavljanje je 19512. Nakon čega se odredjuje da inkrement nanosekunda unutar brojača TSU iznosi 12, dok je inkrement vremena ispod nanosekunde celobrojni umnožak broja 1951, i u ovoj implementaciji je 9755, odnosno 5 puta ostatka. Odabirom ove frekvencije za TSU, i dobijanjem ovih vremena, potrebno je izvršiti jos jednu modifikaciju TSU. TSU ima mogućnost i alternativnog inkrementa. Tj. zadavanjem vrednosti za alternativno inkrementiranje brojača, TSU može nakon odredjenog zadatog vremena, promeniti vrednosti kojima inkrementira brojač. U ovom slučaju, ispravljanje greške se vrši na svakih 83 ciklusa unutar TSU, i u tom ciklusu se dodaje 16ns na već postojeću vrednost unutar TSU brojača. Ovim podešavanjima modula, dobija se što vernija predstava realnog vremena. Tj. dobija se da ono što dobijamo od oscilatora, odgovara stvarnim vrednostima vremena. Naravno, zbog vrednosti koje dolaze sa oscilatora i podešavanja PLL-ova unutar samog procesora, mora postojati odredjena greška, koja se može tolerisati, i koja se može smanjiti na odredjene načine. Konfiguracija GMAC modula podrazumeva i registrovanje prekida za Sync i Delay_Req pakete koji stižu na interfejs, čime se dobijaju vremena koja su potrebna. Nakon ispravne konfiguracije, dobijaju se prekidi na koje stižu paketi, i iz kojih je moguće iščitati vremena. Na Sync i Delay_Req pakete, i prekide koji javljaju, moguće je iščitati trenutnu vrednost vremena koje se nalazi u TSU, što je bitno za proces sinhronizacije. U skladu sa arhitekturom softverske implementacije, vremena koja se dobijaju, se prosledjuju u red sa porukama, koji su potrebni za celokupnu sinhronizaciju.

[lazarc] prikaz razmene poruka

Protokol tačnog vremena odredjuje i to da slave uredjaj mora prepoznati pakete koji stižu, što se postiže hardverskom podrškom za neke od paketa. Ali i odgovoriti na odredjene pakete. Ovo se postiže implementiranjem mašine

stanja koja vodi računa o trenutnom stanju uredjaja u smislu sinhronizacije. S tim u vezi, mašina stanja ostaje u istom, početnom stanju, sve dok ne stigne prvi paket koji je bitan za proces sinhronizacije, Sync frame. Nakon čega se iz prekida dobija poruka sa trenutnom vrednosti vremena u TSU, i prelazi se u sledeće stanje. Sledeće stanje u mašini stanja predstavlja stanje čekanja na sledeći paket, tj. Follow_up frame. Unutar Follow_up paketa se nalazi vreme kada je poslat Sync frame, i potrebno je raspakovati taj paket, i uzeti to vreme. To se obavlja unutar ovog stanja u mašini stanja, nakon čega se prelazi u sledeće stanje, i slanje uzetog vremena u red sa porukama. Sledeće stanje Delay_Req_Send, implementira slanje Delay_Req paketa sa slave uredjaja na master, u skladu sa specifikacijom protokola. Slanje Delay_Req paketa, inicira prekid unutar GMAC, u kome se uzima tačno vreme kada je paket napustio uredjaj. To vreme se takodje šalje u red sa porukama. Nakon čega se prelazi u sledeće stanje, odnosno čekanje prijema Delay_Resp paketa. Nakon što Delay_Resp paket pristigne, i raspakuje se na odgovarajući način, dobija se četvrto i poslednje vreme koje je potrebno za sinhronizaciju. I ono se šalje u red sa porukama.

[lazarc] prikaz masine stanja

Nakon ovoga, sva vremena koja su potrebna za sinhronizaciju su tu, i može se izvršiti promena TSU, tako da računanje vremena odgovara vremenu na master uredjaju. Računanjem vrednosti kojim se treba promeniti TSU, koriste se već ugradjeni makroi i mehanizmi kako bi se iskoristile funkcionalnosti koje nudi TSU. S tim u vezi modifikuje se trenutna vrednost koju broji TSU, i takodje se modifikuju vrednosti za delove vremena ispod nanosekunde.

Za ovakav način implementacije, potrebne je samo jedna nit, i to ona koja će da vodi računa o mašini stanja. Unutar ove niti, odnosno mašine stanja, implementirani su blokirajući pozivi za dobijanje vremena iz reda sa porukama, čime se smanjuje vreme i resursi koje procesor troši na opsluživanje ove niti. Takodje, ovakav način implementacije dozvoljava implementaciju ostalih niti koje mogu izvršavati ostale funkcionalnosti sistema, s obzirom da ova nit nije zahtevna i javlja se relativno retko potreba za

sinhronizacijom, ~ls.

6.0.1 Rezultati

U ovom delu ce biti dati rezultati trenutnog izvrsavanja i sinhronizacije u oglednom sistemu.

[lazarc] dodati da je samo jedna nit za sync, i jedna dummy nit

U neopterecenoj mrezi, tj. u mrezi 1 na 1, PC i razvojna ploca, dobijaju se rezultati sinhrnoizacije od otprilike 0.06ms, sto je vise nego zadovoljava-

juce za ovakav tip sinhronizacije. Takodje, postoji akumulacija greske koja je uzeta u obzir, i ona se ogleda u tome da u nekim trenucima, uredjaj koji se sinhronizuje izgubi sinhronizaciju, nakon cega se vraca u roku od jednog ciklusa sinhronizacije. Ova greska se pojavljuje usled prekoracenja (## [lazarc] overflow) dela brojaca za vremena ispod nanosekunde.

[lazarc] ubaciti slike sa putty-a

6.0.2 Predlozi za poboljsanja

Glava 7

Zaključak

WHY BOTHER WITH A TIME SERVER AT ALL? Timestamping and client synchronization is vital for your network, but some network engineers still feel like they can get away with simply syncing their servers to a public internet clock. While perfectly fine for consumer devices like smartphones, internet clocks are poorly suited for business networks for one simple reason: security.

To connect your server to an internet clock requires you to first open up port 123 on your firewall. Will something horrible happen as a result? We don't know, but we don't know in the same way that we don't know if a burglar will break in because you left the front door unlocked on your home. Why take the chance? A dedicated NTP server keeps your network secure while providing more accurate timestamping.

WHAT HAPPENS IF MY TIME SERVER IS DISCONNECTED? No network is perfect, and all you can hope to do is minimize downtime instead of eliminating it. If your NTP or PTP time server is unable to connect to a GPS satellite or other input for whatever reason, you can rest assured that it will continue to synchronize your devices and maintain accurate timestamping.

For example, our NTP100-GPS NTP server has a holdover stability of 3 seconds per year, meaning that your server will still be synchronized to within 3 seconds of UTC after an entire year in the dark. The high-stability model with an oven-controlled crystal oscillator boasts even greater holdover stability of 250 milliseconds per year — that's less than 1 millisecond per day. Our HSO-3 oscillator option, which is only available on our GMR5000 NTP Server and PTP Grandmaster, further reduces drift to a maximum of 1 millisecond per year.

Glava 8

ADDITIONAL

Grandmaster i Slave satovi na mreži razmenjuju “Sync”, Sihnronizacione pakete sa jedne na drugu stranu, i postavljaju vremenske žigove pri prijemu paketa. Kombinijući razliku u satovima, kao i kašnjenje na mreži, razlika izmedju slanja i prijema sinhronizacionih paketa može biti izračunata. Koristeći razliku koja je izračunata u ovom slučaju, sat može biti podešen sa novim vrednostima, i time se može smanjiti razlika izmedju Master i Slave satova u ovoj mreži. Razlika izmedju master i slave sinhrozniacionih paketa, i obrnuto, implicira da IEEE 1588 standard radi pod pretpostavkom da je propagacija paketa po mreži simetrična. To je zbog prepostavke da slave uredjaj može da odredi i podesi kašnjenje prilikom propagacije paketa po mreži. Kako bi se kašnjenje na mreži odredilo, slave kreira “delay request”, zahtev za odredjivanjem kašnjenja, i postavlja vremenski žig prilikom slanja paketa. Master sat onda postavlja vremenski žig prilikom pristizanja tog zahteva, i vraća ga ka Slave uredjaju, i to u obliku “delay response” paketa, odgovora za kašnjenjem. Nakon toga, odredjuje se kašnjenje po linijama na mreži, izračunava se iz ovih paketa koji se razmenjuju.

Slanje i primanje sinhronizacionih paketa dozvoljava da Slave uredjaji tačno izmere razliku izmedju lokalnog/Slave sata, i Master sata. Standardne metode podešavanja sata na uredjajima nije opisano prema IEEE 1588 standardu; samo omogućava standardni protokol za razmenu poruka izmedju uredjaja. Poenta ovoga je da se uredjaji i satovi različitih proizvodjača mogu sinhronizovati izmedju sebe.

IEEE 1588 sporedni satovi (boundary clocks), koji se takodje i nazivaju transparentni svicevi (transparent switches), pružaju efektivan način za smanjenje džitera (jitter) unutar mrežnog sistema baziranog na IEEE 1588 standardu. Svič (switch), koji se koristi kao sporedni sat, pokreće PTP protokol i sinhronizuje se na master sat (master clock). Sporedni sat, u regularnim vremenskim intervalima preuzima ulogu master sata za sve slejv (slave) uredjaje

unutar iste mreže. Koristeći ovo podešavanje mreže, sva interna kašnjenja i džiter mogu biti kompenzovani i ne utiču na egzaktnost sinhronizacije.

Delay_Resp, Delay_Req, Follow_up i Sync poruke se ne prenose kroz sporedne satove. Sporedni sat se ponasa kao običan sat u smislu sinhronizacije i koristi algoritam najboljeg sata unutar podmreže. Unutar podmreže koja se posmatra, ovaj uredjaj je slejv. Ovo će uticati na to da se svi ostali uredjaji koji se povezuju na sporedni sat sinhronišu svoje vreme prema njemu. Hijerarhija Roditelj-Dete (Parent-Child hierarchy) na master-slejv sate je odredjena prema sporednim satovima. Naravno, postoji alternativa za sporedne sate, i to je korišćenje transparentnih svičeva. Transparentni svič se ne ponaša kao PTP čvor unutar IEEE 1588 sistema. Umesto toga, transparetni svič podešava vremenski deo PTP paketa kako bi se kompenzovalo kašnjenje koje unosi svič. Transparetni svič nakon toga preračunava koliko je vremena sinhronizacioni "Sync" paket proveo unutar sviča, i modifikuje vremenski žig unutar sledećeg "Follow_up" paketa kako bi se nadoknadilo kašnjenje. PTP čvorovi mogu raditi kao da su deo većeg podsistema lokalne mreže i to kao da su povezani habovima (hubs) koristeći transparentne svičeve.