Automatsko postavljanje točnog vremena na ugrađenim računalnim sustavima

Kiralj, Erik

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:970931

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij računarstvo

AUTOMATSKO POSTAVLJANJE TOČNOG VREMENA NA UGRAĐENIM RAČUNALNIM SUSTAVIMA

Završni rad

Erik Kiralj

Osijek, 2017.

SADRŽAJ:

1. UVOD 1

1.1. Zadatak završnog rada 1

2. UGRAĐENI RAČUNALNI SUSTAVI 2

2.1. Općenito o sustavima točnog vremena 4

2.2. Osnovni model računalne ure 5

2.3. Pogreška ure 7

2.4. Uređaj za mjerenje stvarnog vremena 8

3. AUTOMATSKO POSTAVLJANJE TOČNOG VREMENA NA UGRAĐENIM RAČUNALNIM SUSTAVIMA 10

3.1. GPS 11

3.2. GSM 13

3.3. DCF77 15

3.4. Ethernet 17

4. ZAKLJUČAK 19

5. LITERATURA 20

SAŽETAK 21

ABSTRACT 22

ŽIVOTOPIS 23

PRILOZI 24

1. UVOD

Cilj ovog završnog rada je analizirati i opisati na koji način funkcionira automatsko postavljanje točnog vremena na ugrađenim računalnim sustavima. Sinkronizacija lokalnog vremena računala sa stvarnim vremenom ključna je stavka računalnih sustava. Svakom računalu i računalnom sustavu potrebno je točno vrijeme kako bi svoje zadaće obavljalo na što učinkovitiji i precizniji način. U ugrađenim računalnim sustavima, procesi se mogu izvoditi na više različitih jezgri. Kako bi rezultati bili jednaki stvarnim vrijednostima lokalne ure svih jezgri moraju biti sinkronizirane. Istraživanja koja se obavljaju za postizanje ovih ciljeva uglavnom su podijeljena u tri dijela: istraživanje referentnog izvora vremena, stabiliziranje lokalne ure ugrađenog sustava te distribucija informacija o stvarnom vremenu.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada bio je istražiti te opisati načine automatskog postavljanja točnog vremena ugrađenog računalnog sustava. Potrebno je detaljno obraditi mogućnosti GPS i DCF77 sustava te navesti mane i prednosti istraženih načina postavljanja točnog vremena.

2. UGRAĐENI RAČUNALNI SUSTAVI

Ugrađeni računalni sustav ili URS (engl. *embedded computer system*) je sustav koji u sebi objedinjuje računalno sklopovlje (engl. *hardware*), programsku podršku (engl. *software*) te eventualno potrebne dodatne dijelove u svrhu obavljanja neke specifične zadaće. To je sustav koji je osmišljen za određenu primjenu.[1]

Zbog svoje specifičnosti ugrađeni sustavi imaju drugačija svojstva od standardnih računalnih sustava: često su napajana baterijama (potrebno je osigurati malu potrošnju komponenti), zahtijevaju dugotrajan rad (moraju biti stabilni, ugrađeni oporavak od pogreške), mogu upravljati i kritičnim procesima (potrebna je pouzdanost). U tom slučaju govorimo o sustavima za rad u stvarnom vremenu.[1]

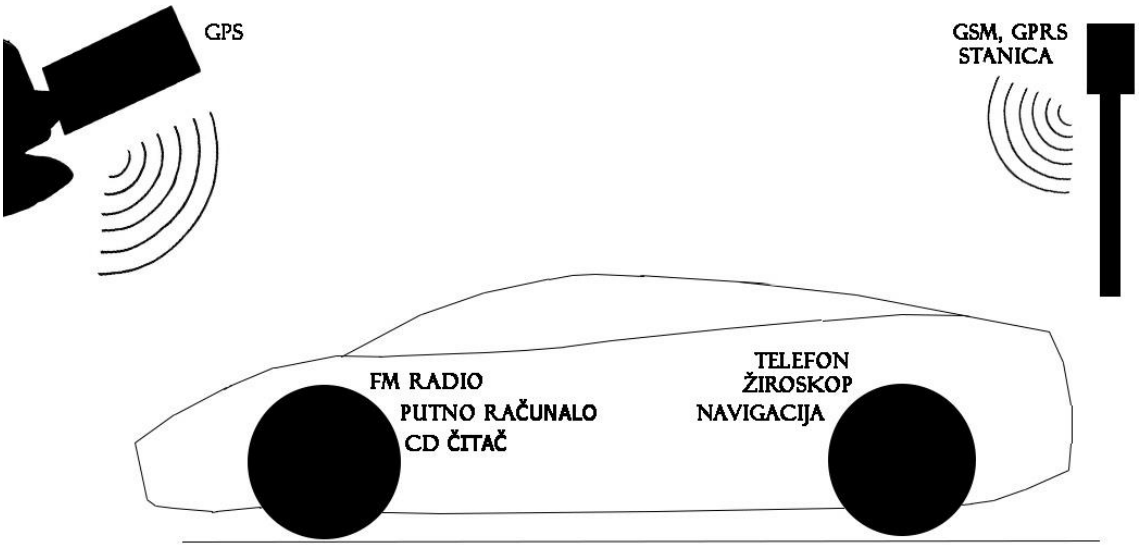
URS često ima svoja ograničenja: CPU (engl. *Central Processing Unit*) radi na takav način da je vijek trajanja baterije što duži, koriste se sustavi koji zahtijevaju malo memorije kako bi im proizvodnja bila što jeftinija, podrška samo za određene ulazno/izlazne jedinice. Osim sklopovlja, programska podrška također ima svoja ograničenja: sustav dopušta izvođenje određenih radnji, mora imati deterministička svojstva, te se pri svakom pokretanju ponašati i pokretati identično. Zbog vrlo različitih svojstava, potrebnih karakteristika, različitih sučelja, namjene su im također vrlo različite.[2]

Karakteristike koje ugrađeni računalni sustavi moraju imati su:

- determinizam-obrada sistemskih poziva u predodređenom maksimalnom vremenu,
- svojstvo prioriteta-sistemski pozivi ili zadaci nižeg prioriteta mogu u bilo kojem trenutku biti prekinuti zadatkom višeg prioriteta,
- niska latencija-omogućavaju brz odgovor na prekide u cilju izvršavanja zadaća prekida višeg prioriteta,
- mali „*footprint*“-malo zauzeće programske memorije,
- brzina-brzo vrijeme podizanja sustava (engl. *boot time*).[2]

Programski jezici i alati koji se koriste ovise o tehnologiji koja se koristi za izradu ugrađenih računalnih sustava. Najčešće korišteni programski jezici su Assembler, C, C++, Ada, Java, Basic, Pascal, a alati AltiumTasking, Keil, IAR, MPLAB, AVRStudio, CodeWarrior.[3]

Možemo ih pronaći u različitim oblicima, od minijaturnih integriranih sklopova za identifikaciju (engl. *Radio-Frequency Identification*), u mobitelima, digitalnim fotoaparatima, e-knjigama, konzolama itd. Ugrađeni sustavi čine više od 98% današnjih računalnih sustava.[3] Na slici 2.1. prikazan je primjer ugrađenih računalnih sustava u automobilu.



Sl. 2.1.: Primjer ugrađenih računalnih sustava u automobilu.

2.1. Općenito o sustavima točnog vremena

Ura je uređaj ili mjerni instrument koji služi za mjerenje vremena. Jedan je od najstarijih izuma, izumljen kako bi mjerio vremenske jedinice manje od dana, mjeseca i godine. Prije izuma ure ljudi su se ravnali po Suncu. U prošlosti izrada naprave koja bi to omogućila bila je veliki tehnički izazov. Prve, primitivne ure bile su temeljene na različitim pojavama ili događajima određenoga trajanja (istjecanje vode iz spremnika ili pijeska iz posude, izgaranju svijeće). Prateći razvoj tehnike razvijaju se sve složenije i preciznije ure.

Ure se dijele po načinu prikazivanja vremena i po načinu na koji mjere vrijeme. Po načinu prikazivanja vremena dijele se na analogne, digitalne, zvučne i tekstualne dok se po načinu na koji se mjeri vrijeme dijele na sunčane, mehaničke, kristalne (kvarcne), električne te atomske.[4]

Najtočnija od ovih vrsta ura je atomska ura. Prva atomska ura izrađena 1949. godine. Izrađena je na bazi kemijskog elementa cezija. Koristi elektromagnetsko zračenje, koje nastaje kod prijelaza između dviju „hiper - razina“ osnovnog stanja atoma cezija -133 na temperaturi od 0 K. Ove ure služe za precizna fizikalna i astronomska mjerenja vremena, određivanje mjerne jedinice sekunde, te kao oslonac svjetskoj službi točnoga vremena UTC (engl. *Coordinated Universal Time*). UTC odašilje signale točnoga vremena radijskim putem, a posljednjih godina i preko globalnih satelitskih položajnih i navigacijskih sustava. Pogreška atomske ure je procijenjena na jednu sekundu u trideset milijuna godina (10^{-6} ppm).[5]

2.2. Osnovni model računalne ure

Ura na računalu obično se sastoji od tri komponente: kvarcnog kristala koji oscilira na prethodno definiranoj frekvenciji, registra brojača i konstantnog registra. Konstantni registar se koristi za pohranu konstantne vrijednosti koja se temelji na frekvenciji oscilacije kvarcnog kristala. Registar brojača koristi se za praćenje oscilacije kvarcnog kristala. Vrijednost registra brojača se smanjuje za jedan za svaku oscilaciju kvarcnog kristala. Kada vrijednost registra brojača dosegne vrijednost nula, nastaje prekid i vrijednost se ponovno postavlja na početnu vrijednost koja je definirana u stalnom registru. Svako prekidanje naziva se otkucaj ure. Na slici 2.2. prikazan je opći model računalne ure.

Sl. 2.2.: Opći model računalne ure.[1]

[1] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30121-9_10

Ura uvijek radi pri konstantnoj brzini jer kvarcni kristal oscilira na određenoj frekvenciji. Međutim, zbog razlika u kristalima, frekvencije kojima dvije ure rade obično se razlikuju jedne od drugih. Razlika u oscilacijama između dvije ure može biti iznimno mala, ali nakon velikog broja oscilacija dolazi do vidljive razlike u vremenima koje pokazuju dvije različite ure, bez obzira na to koliko su točno postavljene. Također, računalna ura ima ograničenja u pogledu točnosti na koje utječe njegova nestabilnost, utjecaj okoliša, modifikacije korisnika, te pogreške u sustavu. Dakle, računalna ura mora biti sinkronizirana sa referentnom urom ako računalni sustav zahtijeva preciznu obradu procesa.[5]

Svakom računalu potreban je sustav za praćenje trenutnog vremena za različite računske svrhe kao što su izračunavanje vremena utrošenog na pojedini zadatak u procesoru te ulazno/izlazno vrijeme informacija na disku. Mrežne operacije zahtijevaju sinkronizirane informacije o vremenu kako bi se osigurale optimalne performanse mreže, no to često nije slučaj sve dok se ne pojavi nekakav problem u komunikaciji. Tada nedostatak sinkronizacije vremena postaje ključni čimbenik neuspjeha i otklanjanja poteškoća. U većini slučajeva mrežni procesi neće funkcionirati bez vremenske sinkronizacije.

Ključna područja gdje sinkronizacija vremena izravno utječe na izvođenje mrežnih operacija su:

- točnost dnevnika događaja (engl. *event log*),
- dijagnostika mrežne pogreške,
- oporavak od mrežne pogreške,
- oznake datuma određenog događaja u sustavu,
- sigurnost i provjera autentičnosti,
- vrijeme izvođenja zakazanih procesa.[2]

2.3. Pogreška ure

Svaka ura ima svoje određeno odstupanje od točnog vremena. Razlog tome su različite izvedbe određenih uređaja, uvjeti koji utječu na rad i mehanizme samih uređaja, te smetnje u prijenosu podataka točnog vremena. Oscilatori i drugi uređaji za kontrolu frekvencije određuju varijaciju frekvencije u jedinicama dijelova na milijun (engl. *ppm-parts per milion*). Ppm je mjera koja se u današnje vrijeme koristi za mjerenje odstupanja od stvarne vrijednosti. Jedan ppm znači jedan kvar (neželjeni događaj ili greška) na milijun. Npr. ako je proizvedeno 1000 ura, a od njih je 20 oštećeno, nastalo je 2% proizvoda s pogreškom. Iz toga se može izračunati ppm a on iznosi 0,02*1 000 000=20 000 ppm.

Za određivanje pogreške kvarcnog kristala koristi se sljedeća formula:

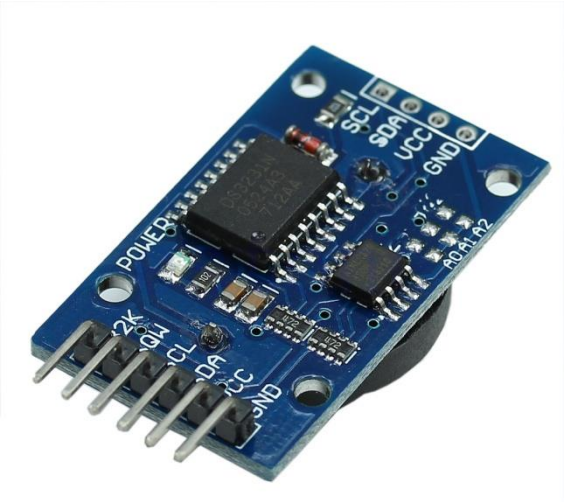
$$df = s * (ppm \,/\, 10^6) \text{ [s]} \tag{2-1}$$

gdje je df pogreška kvarcnog kristala, s je trajanje dana u sekundama, a ppm je varijacija frekvencije kristala (greška kristala).

2.4. Uređaj za mjerenje stvarnog vremena

Uređaj za mjerenje stvarnog vremena RTC (engl. *Real-Time Clock*) je računalna ura koja mjeri trenutačno vrijeme. Pojam RTC-a često se odnosi na uređaje u osobnim računalima, poslužiteljima i ugrađenim sustavima, no RTC-i su prisutni u gotovo svim elektroničkim uređajima koji trebaju mjeriti točno vrijeme. Iako se vrijeme u sustavima može mjeriti i na druge načine, korištenje RTC sklopa ima svoje pogodnosti: mala potrošnja energije, dodatni izvor napajanja (veoma bitno kod nestanka primarnog izvora energije), velika točnost mjerenja vremena, mogućnost rada i kad je sustav u stanju mirovanja te jednostavna izvedba.[6]

Ovi sklopovi često imaju alternativni izvor energije tako da mogu i dalje mjeriti točno vrijeme u svojoj memoriji dok je primarni izvor energije isključen ili nedostupan. Alternativni izvor energije obično je litij-ionska baterija (u starijim sustavima), no noviji sustavi kao alternativni izvor energije koriste super-kondenzatore. Na slici 2.3. prikazan je RTC sklop za arduino.



Sl. 2.3.: RTC sklop za arduino DS3231N.[2]

[2]http://www.winddeal.net/image/27198.jpg

Većina RTC-a koristi kristalni oscilator dok neki koriste frekvenciju električne energije. U mnogim slučajevima frekvencija oscilatora iznosi 32,768 kHz. To je ista frekvencija koja se koristi u urama s kvarcnim kristalom. Frekvencija je točno 2^{15} ciklusa u sekundi, pa je prikladna za korištenje u jednostavnim binarnim brojilima. Klasični RTC ima pogrešku od 2 ppm.[4] Osim klasičnih RTC-a postoje i dodatne izvedbe koje su poboljšane kako bi im pouzdanost i preciznost bila što veća. Jedna od tih izvedbi su TCXO RTC (engl. *Temperature Compensated Crystal Oscillator Real Time Clock*). To je uređaj za mjerenje stvarnog vremena s temperaturno kompenziranim kristalnim oscilatorom. Temperaturno kompenzirani kristalni oscilator koristi se za postizanje mnogo veće stabilnosti osciliranja nego što je to moguće s normalnim kristalnim oscilatorom. Primjenom kompenzacije temperature kristalnog oscilatora moguće je znatno poboljšati osnovne karakteristike oscilatora.

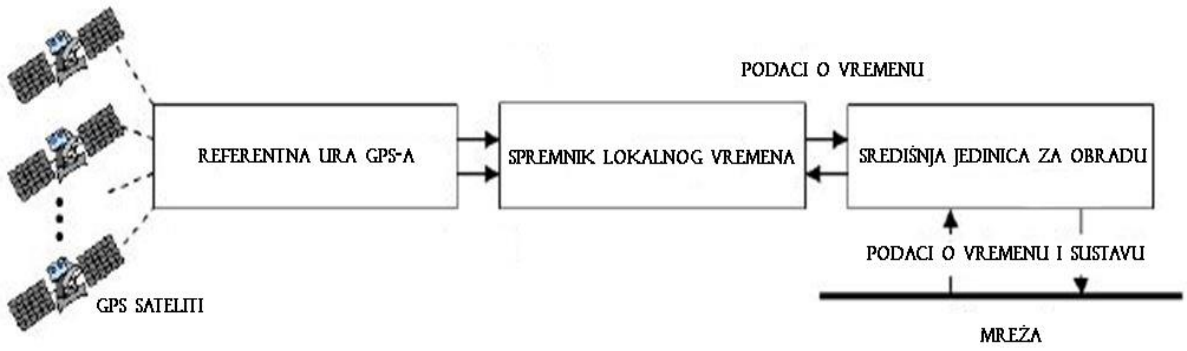
Kvarcni kristal RTC-a ima pogrešku 100 ppm. Prema jednadžbi (2-1): $86\,400 * (100\ /\ 10^6) = 8{,}64$ što znači da bi greška u jednom danu bila 8,64 s. Kod temperaturno kompenziranog kvarcnog kristala pogreška je 0,001 ppm, što znači da bi pogreška tog kristala u jednom danu iznosila $86\,400 * (0.001\ /\ 10^6) = 86{,}4$ ms.

3. AUTOMATSKO POSTAVLJANJE TOČNOG VREMENA NA UGRAĐENIM RAČUNALNIM SUSTAVIMA

Problemi koji se moraju riješiti kod dizajniranja sustava za sinkronizaciju vremena su:

- kako dobiti informaciju o točnom vremenu,
- kako održavati točnost lokalne ure,
- kako procesima distribuirati podatke o vremenu.[3]

Na slici 3.1. prikazan je primjer sustava koji se sastoji od tri dijela koji rješavaju sva tri prethodno navedena problema. Preko GPS (engl. *Global Positioning System*) sustava prikupljaju se informacije o točnom vremenu, spremnik lokalnog vremena održava lokalno vrijeme te njegovu točnost, dok središnja jedinica za obradu služi za distribuiranje podataka o trenutnom vremenu [3]. Jedan od načina rješavanja problema postavljanja točnog vremena u ugrađenim računalnim sustavima jest da sustav (odnosno uređaj) zahtjeva usluge od vanjskih ura koje sadrže informacije o točnom vremenu. Tijekom godina u sustavima su se koristile mnoge tehnike i načini kako bi se riješio problem sinkronizacije ura te prenošenje točnih informacija o vremenu. Neki od načina pomoću kojih sustav može dobiti informaciju o točnom vremenu su: GPS (engl. *Global Positioning System*), GPRS (engl. *General Packet Radio Service*), GSM (engl. *Global System for Mobile Communications*), Ethernet te DCF77.



Sl. 3.1.: Sustav za sinkroniziranje lokalne ure.[3]

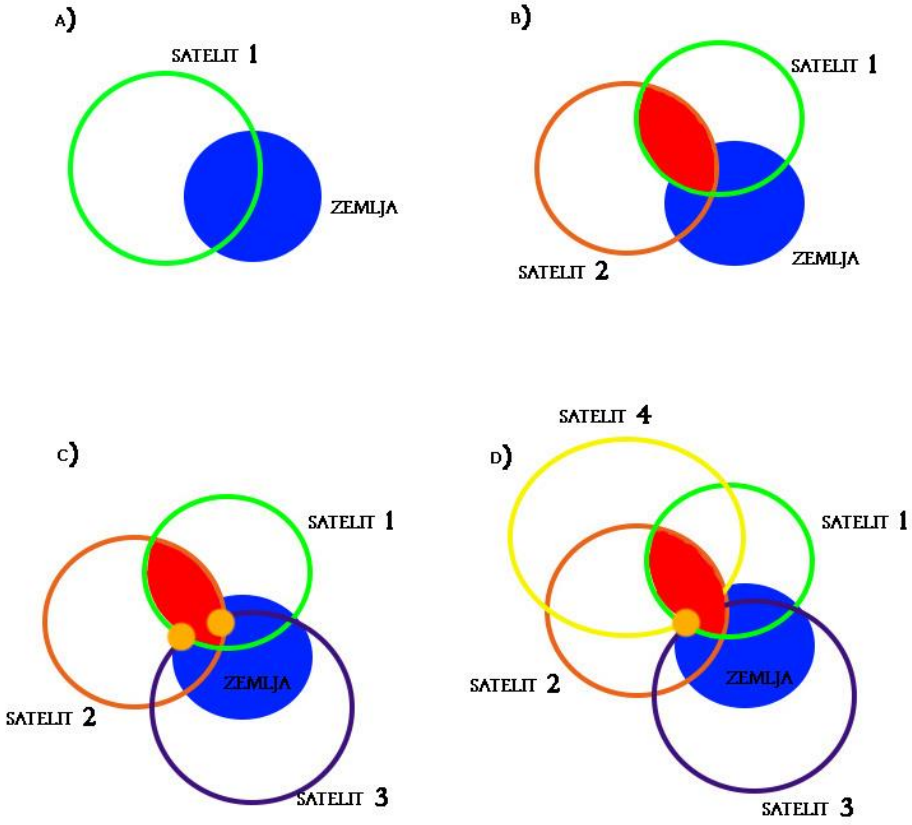
[3] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30121-9_10

3.1. GPS

Globalni pozicijski sustav GPS je skup satelita koji se prvenstveno koriste za navigaciju i pozicioniranje. Kako bi se osigurala funkcionalnost pozicioniranja, svaki satelit treba imati pristup točnom vremenu. Računalni sustavi mogu koristiti GPS uređaje za mjerenje i sinkronizaciju vremena kako bi dobili vrijeme iz GPS sustava. GPS sinkronizirani sustav može pružiti informacije o vremenu unutar nekoliko nanosekundi. Sustav se sastoji od 24 satelita postavljenih u 6 cirkularnih orbita na visini od 20 000 km nad Zemljinom površinom. Period obilaska Zemlje svakog satelita iznosi 12 sati. Njihovim putanjama upravlja Ministarstvo obrane SAD-a, a svaki od tih satelita odašilje koordinirano GPS vrijeme prema odgovarajućoj atomskoj uri. Razmješteni su tako da je u svakom trenutku s bilo kojeg mjesta na Zemlji moguće primati signal najmanje 4 satelita.[3]

Kako bi ugrađeni računalni sustav odredio točno vrijeme putem GPS-a, potrebno je da GPS modul koji je ugrađen u sustav ostvari komunikaciju sa satelitima koji se nalaze u svemiru. U svakom satelitu koji kruži oko Zemlje nalaze se četiri atomske ure. Svaka od njih mjeri svoje vrijeme. Da bi GPS modul dobio točno vrijeme mora odrediti svoju poziciju putem GPS satelita. Za točno određivanje pozicije nije dovoljno da modul komunicira samo s jednim satelitom, već je za najveću točnost potrebno minimalno četiri satelita. Sljedeće situacije prikazane su na slici 3.2..

Kada bi modul komunicirao samo s jednim satelitom, pozicija bi mu mogla biti bilo gdje na Zemaljskoj kugli. U slučaju dva satelita, modul bi se mogao nalaziti bilo gdje na površini Zemlje u prostoru gdje se zamišljene kružnice tih dviju satelita sijeku. Ako bi koristili tri satelita, modul bi se mogao nalaziti na dvije lokacije, iz razloga što postoje dvije točke gdje se tri zamišljene kružnice sijeku. Kako bi točno odredili položaj GPS modula potrebno je koristiti četvrti satelit, koji eliminira jednu od te dvije moguće točke. Ovakav sustav može odredit točno vrijeme s malim odstupanjima, gdje su pogreške veoma malenih vrijednosti, oko 30 ns. Jedan od modula koji se najčešće koristiti s arduinom jest GPS modul NEO6MV2. Njegova preciznost za dobivanje točnog vremena u 99% slučajeva iznosi manje od 60 ns [7]. Cijena navedenog modula kreće se u rasponu od 8 $ do 11 $.



Sl. 3.2.: Određivanje položaja putem GPS sustava: A)jedan satelit, B)dva satelita, C)tri satelita, D)četiri satelita.

3.2. GSM

GSM je najkorišteniji standard za mobilne telefone u svijetu, koristi ga više od dvije milijarde ljudi. Radi na principu baznih stanica, što znači da se uređaji priključuju na mrežu tražeći bazne stanice koje se nalaze u blizini. GSM mreže rade u četiri različita frekvencijska opsega. Većina GSM operatera radi na 800 MHz ili 1900 MHz. Osim mobilnih uređaja koji najčešće koriste ovaj standard, moguće ga je primijeniti i na druge uređaje. Jedan od tih uređaja je GSM modul za određivanje točnog vremena u ugrađenim računalnim sustavima. Na slici 3.3. prikazan je primjer GSM modula koji se spaja na arduino sklop.[3]

Da bi GSM modul primio signal potrebno je imati SIM karticu koja može komunicirati s najbližom baznom stanicom koju modul može pronaći. Kako bi dobili traženi podatak, bazna stanica također mora informaciju o točnom vremenu. To se postiže na način da je u svakoj baznoj stanici na koju se GSM moduli spajaju ugrađen GPS uređaj. Tako se zapravo iskorištava točnost GPS signala ali na jednostavniji i jeftiniji način od uporabe samog GPS sustava.[3]

Sl. 3.3.: GSM modul za arduino.[4]

[4]https://elementztechblog.files.wordpress.com/2014/06/img_0078-copy.jpg

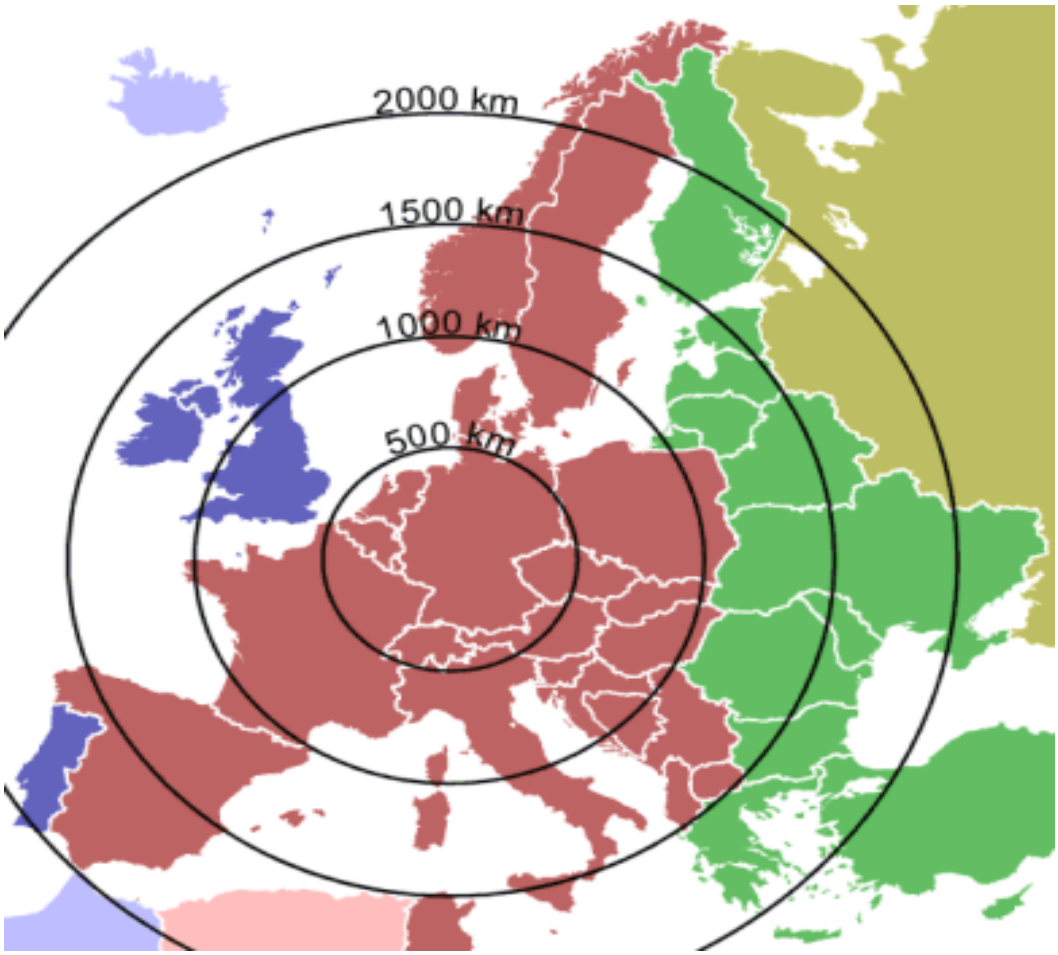
Svaka GSM bazna stanica ima barem jedan GPS prijemnik jer se njegovi prijenosi podataka moraju točno sinkronizirati unutar 10 ms kako bi sustav mobitela i ostalih uređaja koji koriste tu tehnologiju mogao ispravno raditi. GSM modul za arduino se tako sinkronizira sa informacijama baznih stanica što znači da je također sinkroniziran s GPS-om. Dakle, GSM bazne stanice djeluju kao raspršivači GPS signala. Ponekad se zbog toga nazivaju i indirektni GPS.

Za dobivanje informacije o vremenu koristi se poseban sinkronizacijski kanal (engl. *Downlink Only Synchronization Channel*). Svrha sinkronizacijskog kanala je omogućiti mobilnoj stanici (u ovom slučaju GSM modulu) da u kratkom vremenskom periodu identificira obližnju baznu stanicu i sinkronizira se njenim podacima o vremenu. Svaki radio signal sinkronizacijskog kanala sadrži trenutno točno vrijeme bazne stanice i identifikacijski kod bazne stanice. Kada se GSM modul uključi, nakon dobivanja podataka za korekciju frekvencijskog kanala, čeka da dobije podatak sinkronizacijskog kanala koji će uskladiti frekvenciju oscilatora GSM modula s frekvencijom bazne stanice. Prednost korištenja ovog načina prikupljanja informacija o točnom vremenu jest dobra pokrivenost, jer GSM signali vrlo lako dolaze do uređaja koji se nalaze u zatvorenim prostorima. Također signali veoma lako pronalaze put do antena te rade na širokom frekvencijskom spektru.

Za komunikaciju s mrežom sustavi koriste AT naredbe. AT naredbe su instrukcije koje se koriste za upravljanje i komunikaciju uređaja s modemom i mrežama. Početak svake naredbe počinje sa „AT“ kako bi se modemu dalo do znanja da slijedi naredba. Da bi GSM modul primio informaciju o točnom vremenu od GSM mreže, potrebno je koristiti dvije AT naredbe. Prva AT naredba je AT+CLTS?. Zadatak ove naredbe jest da omogući GSM modulu da dohvati vrijeme od mreže. Ako sustav nakon ove naredbe vrati vrijednost 0, to znači da je dohvaćanje onemogućeno. Tada je potrebno izvesti naredbu AT+CLTS=1. Nakon što modem primi poslanu naredbu, vraća vrijednost 1 te je komunikacija omogućena. Druga naredba koja služi za samo dohvaćanje točnog vremena jest AT+CCLK?. Nakon slanja naredbe mreža vraća GSM modulu točno vrijeme. Cijena SIM900A GSM modula se kreće od 4 $ do 7 $. Odstupanje navedenog modula od točnog vremena iznosi 1 ppm što znači da GSM modul u jednom danu ima pogrešku od $86\,400 * (1\,/\,10^6) = 0{,}0864$ s.

3.3. DCF77

Radio ure su vrsta ura koje na osnovu radio signala sinkroniziraju svoje trenutno vrijeme i pokazuju točno vrijeme. Ove ure dohvaćaju signal radio stanica koje emitiraju vrijeme od neke atomske ure u svijetu. Jedna od njih je atomska ura u Američkom nacionalnom institutu za standarde i tehnologiju u Coloradu u SAD-u te atomska ura PTB u Njemačkoj. Signal ovih atomskih ura dalje emitiraju snažne radio mreže na niskim frekvencijama, a jedan takav radio signal u Europi emitira radio stanica DCF77 u Frankfurtu.[8] Ta radio stanica pokriva i naše područje. Na slici 3.4. prikazano je područje koje pokriva DCF77.



Sl. 3.4.: Područje pokriveno DCF77 signalom.[5]

[5]https://www.compuphase.com/mp3/dcf77_timezones.png

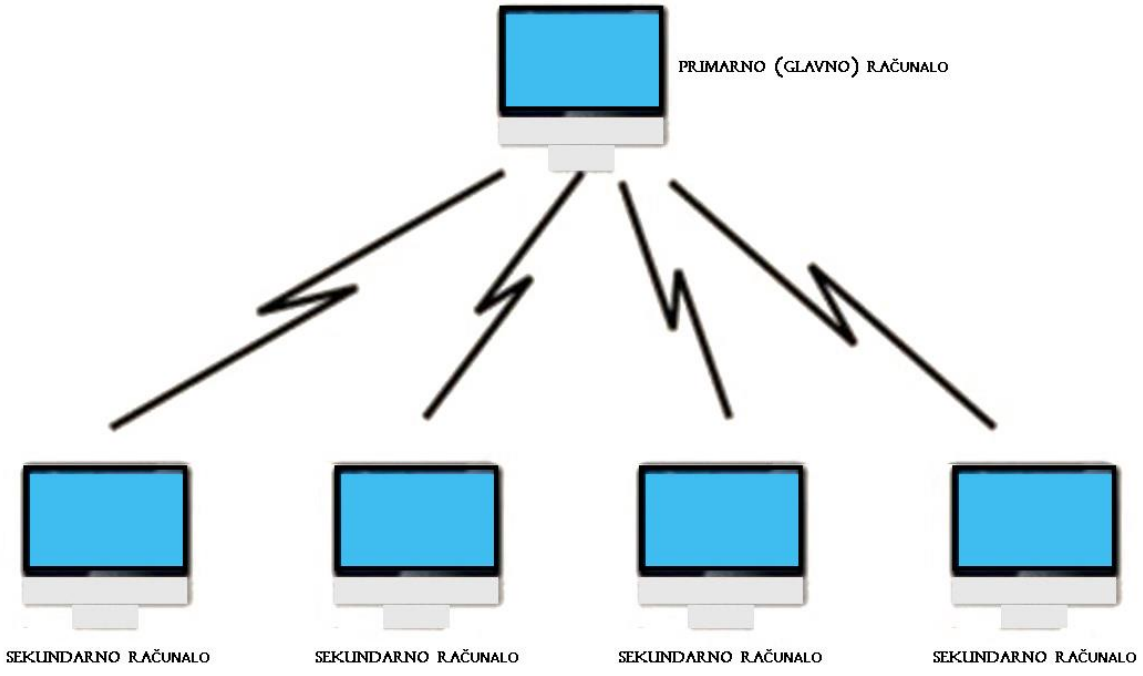
Njemački DCF77 odašiljač nalazi se u Mainflingenu, nedaleko od Frankfurta (50°1′0″N, 9°0′0″E). To je radio stanica snage 50 kW i niske frekvencije od samo 77,5 kHz (AM radio stanica šalje signale na frekvenciji od oko 1 MHz, dok su FM radio stanice locirane na frekvencijama od oko 100 MHz) koja pokriva područje od 2000 km od samog odašiljača. U svrhu radio odašiljanja vremenskih kodova, DCF radio stanica koristi jedan od najjednostavnijih sustava, no mana tog sustava je što radi pri veoma niskoj brzini slanja podataka od samo jednog bita u sekundi (npr. modemi prenose desetke tisuća bitova u sekundi, a jedna internet stranica bi se brzinom prijenosa DCF-a učitavala više od 10 dana). Signal frekvencije 77,5 kHz se stalno emitira, ali se njegova snaga periodično mijenja, tako da signal slabije snage u trajanju od 0,1 s označava binarnu nulu, a signal u trajanju od 0,2 s označava binarnu jedinicu. Kao znak stop na kraju minute se emitira signal pune snage.[4]

Vremenski kod koji se emitira sadrži informacije o minuti, satu, danu, godini, informacije o višku vremena tokom godine (s obzirom da godina traje približno 365,24 dana), te informacije o prijestupnim godinama. Točno vrijeme se prenosi pomoću 59 bita, pa je sustavu stoga potrebna točno jedna minuta da prenese signal urama koje zahtijevaju točno vrijeme.

DCF77 sustav ima odstupanje od 5 do 150 ms godišnje. To je za upotrebu u svakodnevnom životu (kao što su ručne ure) zadovoljavajuće, no kod velikih postrojenja i preciznih sustava, tolika pogreška se ne može tolerirati. Odstupanje većinom nastaje zbog načina na koji se signal dekodira, te zbog samih dekodera, ali i zbog vremenskih i reljefnih problema pri prenošenju radio signala. Zbog toga se osim smanjenja amplitude signala primjenjuje i promjena njegove frekvencije te se postiže puno veća preciznost koja je prihvatljiva. Primjenom frekvencijske modulacije greška u ovom sustavu postaje samo 2 ppm te tako sustav u jednom danu daje pogrešku od $86\,400 * (2\ /\ 10^6) = 0{,}18$ s.[8] Cijena DCF77 modula kreće se od 8 $ do 10 $.

3.4. Ethernet

Još jedan od načina na koji ugrađeni računalni sustavi mogu dobiti informaciju o točnom vremenu je putem interneta. Velika većina današnjih računala te sličnih uređaja ima mogućnost spajanja na internet te umrežavanja. Ta mogućnost može se iskoristiti i za postavljanje točnog vremena. Kada je računalo priključeno na mrežu, ono svake sekunde prima i šalje određene podatke. Tako prima i podatke o točnom vremenu. Najčešće korišteni protokoli koji služe za to su NTP (engl. *Network Time Protocol*) te PTP (engl. *Precision Time Protocol*). Oba protokola rade na principu „*master–slave*“ modela. To znači da uvijek postoji jedno glavno (primarno) računalo koje komunicira izravno s glavnim sustavom (u ovom slučaju master komunicira sa atomskom urom kako bi dobio informaciju o točnom vremenu), te više sporednih (sekundarnih) računala koji primaju informacije od glavnog računala putem mreže. Na slici 3.5. prikazan je „*Master–slave*“ model.



Sl. 3.5.: Master–slave model.

PTP je protokol koji se koristi za usklađivanje ura kroz računalnu mrežu. Na lokalnoj mreži postiže se preciznost ure u rasponu od 20–100 ns, što ga čini pogodnim za mjerne i kontrolne sustave. U PTP protokolu se za dobivanje informacije o točnom vremenu koristi BMC algoritam (engl. *Best Master Clock*). To je algoritam pomoću kojeg sustav pronalazi najboljeg kandidata za svoju referentnu uru te pomoću njega odlučuje od koje ure će preuzeti vrijeme.[9] U tom algoritmu provjerava se sljedeće:

- identifikator-jedinstven numerički identifikator za svaki sat koji se obično temelji na MAC adresi uređaja,
- kvaliteta-sustav pokušava prepoznati kvalitetu glavnog sata na temelju povijesti vremenskog odstupanja,
- prioritet-administrativno dodijeljen prioritet koji BMC određuje kako bi pomogao odabrati glavni sat,
- stabilnost-sustav procjenjuje stabilnost glavnog sata na temelju promatranja njegove izvedbe.[3]

Nakon što je sustav odabrao glavnu uru, slijedi uspoređivanje vremena glavne ure i ure koja se nalazi u korištenom uređaju. Dobivena vrijednost je odstupanje od točnog vremena, te se točno vrijeme počinje odašiljati svim uređajima koji su priključeni na glavnu uru ovisno o njihovom odstupanju. Slanje točnog vremena pretežno se obavlja jednom u sekundi, dok se kod nekih sustava izvršava čak i do 10 puta u sekundi.

NTP protokol također radi na istom principu kao i PTP protokol, no ima malo manju preciznost nego PTP. Kod korištenja NTP protokola moguća su odstupanja u vremenu od 50–100 ms, što je više nego kod NTP protokola. Cijena Ethernet modula kreće se od 4 $ do 5 $.

4. ZAKLJUČAK

Ura u računalnim sustavima ima svoja ograničenja u točnosti na koje utječe njeno svojstvo, nestabilnost, okolina, izmjene korisnika i pogreške sustava. Računalnu uru potrebno je sinkronizirati sa referentnom urom ako računalni sustav zahtijeva točnu obradu vremena. U ovom završnom radu obrađeni su načini kako ugrađeni računalni sustavi mogu izvesti automatsko postavljanje vremena. Analizirane su neke od metoda kojima sustav preuzima informacije od drugih sustava te pomoću njih korigira svoje zabilježeno vrijeme. Sinkronizacija lokalnog vremena računala sa stvarnim vremenom ključna je stavka računalnih sustava. Svakom računalu i računalnom sustavu potrebno je točno vrijeme kako bi svoje zadaće obavljalo na što učinkovitiji i precizniji način. Svaki od tih načina automatskog postavljanja točnog vremena u ugrađenim računalnim sustavima ima tri dijela: istraživanje referentnog izvora vremena, stabiliziranje lokalne ure ugrađenog sustava te distribucija informacija o stvarnom vremenu. Za svaki pojedini način dan je opis i prikazane su razlike te karakteristike procesa preuzimanja informacija o točnom vremenu. Uspoređeni su GPS, GSM, DCF moduli te Ethernet konekcija sa dva protokola (PTP i NTP). GPS modul ima odstupanje od 60 ns s prosječnom cijenom od 12 $, GSM modul odstupa 86 ms s prosječnom cijenom od 7 $, DFC77 modul odstupa 180 ms s prosječnom cijenom od 10 $, dok Ethernet modul odstupa 100 ns s prosječnom cijenom od 5 $. Po rezultatima istraživanja možemo zaključiti da najmanje odstupanje od točnog vremena ima GPS modul, no on je u prosjeku od svih i najskuplji.

5. LITERATURA

[1] E. A. Lee, S. A. Seshia, Introduction to Embedded Systems, A Cyber-Physical Systems Approach, Edition 1.5, 2014.

[2] E. White, Making Embedded Systems, O'Reilly Media, 2011.

[3] Berns, H.C.,Wilkes, R.J., GPS time synchronization system for K2K, IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume 47, Issue 2, Part 1, 2000.

[4] M. Kihara, P. Eskelinen, S. Ono, Digital Clocks for Synchronization and Communications, Artech House Publishers, 2002.

[5] Clock accuracy in ppm, http://www.best-microcontroller-projects.com/ppm.html - pristupljeno 8. srpanj 2017.

[6] S. Siewert, Real-Time Embedded Components and Systems, Cengage Learning, 2006.

[7] NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet , https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf - pristupljeno 11. rujan 2017.

[8] Reach of DCF77, https://www.ptb.de/cms/en/ptb/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442/dissemination-of-legal-time/dcf77/reach-of-dcf77.html - pristupljeno 7. srpanj 2017.

[9] Obtain Time From GSM netwok, http://www.edaboard.com/thread306862.html - pristupljeno 11. rujan 2017.

[10] Physikalisch-Technische Bundesanstalt, https://www.ptb.de - pristupljeno 8. srpanj 2017.

[11] T. Sheppard, Real-Time Embedded Systems Fundamentals, Surreal-Time Ltd., 2011.

[12] B.Rega, Function and Comparison of Accuracy DCF77 and GPS Time Signal Receiver, http://www.hopf.com/dcf77-gps_en.html - pristupljeno 11. rujan 2017.

[13[D.Arnold, Five Minute Facts About Packet Timing https://blog.meinbergglobal.com/2013/11/14/makes-master-best/ - pristupljeno 7. srpanj 2017.

[14] K. Taehyoun, J. Chen, S. Hong, Real-Time Embedded Computing Systems and Applications, Springer-Verlag, 2004.

[15] Embedded systems, https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system - pristupljeno 7. srpanj 2017.

SAŽETAK

Naslov: Automatsko postavljanje točnog vremena na ugrađenim računalnim sustavima

U ovom radu analizirano je i opisano kako funkcionira automatsko postavljanje točnog vremena na ugrađenim računalnim sustavima. Analizirane su neke od metoda kojima sustav preuzima informacije od drugih sustava te pomoću njih korigira svoje zabilježeno vrijeme. Sinkronizacija lokalnog vremena računala sa stvarnim vremenom ključna je stavka računalnih sustava. Svakom računalu i računalnom sustavu potrebno je točno vrijeme kako bi svoje zadaće obavljalo na što učinkovitiji i precizniji način.

Ključne riječi: postavljanje stvarnog vremena, ugrađeni računalni sustav, GSM, GPS, ura

ABSTRACT

Title: Automatic time correction on embedded computer systems

This final paper analyzes and describes how automatic time correction works on embedded computer systems. Some of the methods by which the system takes over information from other systems are analyzed and described to see the differences between time correction precisions. Synchronizing local computer clocks with real-time is the key element of computer systems. Every computer and computer system needs the correct time to perform the tasks in the most efficient and accurate way.

Keywords: automatic time setting, embedded computer systems, GSM, GPS, clock

ŽIVOTOPIS

Erik Kiralj rođen je u Osijeku 7. Listopada 1994. godine. Pohađao je osnovnu školu Dobriša Cesarić u Osijeku, nakon koje upisuje Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer Tehničar za računarstvo. 2014. godine maturira te upisuje preddiplomski studij računarstva na tadašnjem Elektrotehničkom fakultetu Osijek (danas Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek). Pri završetku preddiplomskog studija, trenutno je u procesu pisanja završnog rada na temu „Automatsko postavljanje točnog vremena na ugrađenim računalnim sustavima“. Nakon završenog preddiplomskog studija plan mu je upisati diplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, smjer Programsko inžinjerstvo.

PRILOZI

CD s .pdf i .docx verzijom završnog rada.