

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 870

**PORTABILNI BEŽIČNI ČITAČ RFID
OZNAKE TEMELJEN NA UGRADBENOM
RAČUNALU**

Tomislav Horvat

Zagreb, lipanj 2013

Sadržaj

1. RFID Tehnologija.....	2
1.1 Povijesni razvoj.....	2
1.2 Prednosti nad sličnim tehnologijama.....	4
1.3 Transpoderi.....	5
1.3.1 Aktivni transpoderi.	5
1.3.2 Pasivni transpoderi	6
1.4 Principi radio frekvencijske identifikacije	7
1.4.1 Sustavi temeljeni na induktivnoj vezi	7
1.4.2 Sustavi temeljeni na radio vezi.....	11
1.5 Frekvencije	15
1.6 Modulacije, standardi i protokoli	15
1.7 Sigurnost	19
2. LF RFID sustav.....	20
2.1 RFID modul.....	21
2.2 Hitag S transpoder	22
2.2.1 Naredbe Hitag S	25
2.3 Stellaris razvojna pločica.....	26
2.4 Stellaris LM3S6965 mikrokontroler	27
2.5 Periferne jedinice mikrokontrolera LM3S6965.....	29
2.5.1 UART (Universal Asynchronous Receivers/Transmitters)	29
2.5.2 GPIO (General purpose input output.).....	31
2.5.3 Ethernet kontroler	33
3. Rezultati.....	36
4. Zaključak	39
5. Literatura	40
6. Sažetak.....	42
7. Privitak.....	44
7.1 Stellaris razvojna pločica- lokacije komponenti	44
7.2 Stellaris LM3S6965 mikrokontroler	45
7.3 Tipke, micro SD i audio na Stellaris razvojnoj pločici.....	46
7.4 Idtronic RFID modul	47
7.5 C kod..	48
7.5.1 „Main“ skripta	48
7.5.2 Web server	54

Uvod

RFID je kratica za radio frekvencijsku identifikaciju. To je tehnologija koja koristi radio frekvencije valove ili promjenjivo magnetsko polje za razmjenjivanje informacija između prijenosnih uređaja/memorija i računala. Osnovne komponente RFID sustava su transpoder i čitač. Transpoder je prenosivi čip koji u svojoj memoriji sadrži podatke, a čitač uređaj koji sa određene udaljenosti može pročitati podatke pohranjene u memoriji transpodera. Obično se radi o jedinstvenom identifikacijskom broju, no mogu se nalaziti i neki drugi podatci. Čitač može prosljeđivati pročitano do drugih sustava, najčešće do mikrokontrolera ili računala.

Posljednjih godina dolazi do sve veće primjene ove tehnologije. Najčešća primjena je u velikim trgovačkim lancima gdje postoji potreba identifikacije proizvoda. Koristi se i za automatsku identifikaciju vozila, kod identifikacije životinja, transporta prtljage u zračnim lukama, u knjižnicama, farmaceutskoj industriji itd. (O'Bryen, 2006).

U sklopu ovog rada implementiran je jedan RFID sustav. Njegove komponente su mikrokontroler porodice „Stellaris“, LM3S550985 tvrtke Texas Instruments, 125kHz RFID modul tvrtke „IDtronic“, antena od 30 μ H, RFID oznake tipa HITAG S i inverter signala. Sustav čita identifikacijsku oznaku i ispisuje je ju na ekranu. Sustav je moguće umrežiti sa računalom i putem Internet preglednika pratiti pročitane RFID oznake.

1. RFID Tehnologija

1.1 Povijesni razvoj.

Razvoj RFID tehnologije počeo je pedesetih godina dvadesetog stoljeća. Tada se tehnologija razvijala isključivo za potrebe vojski SAD-a i SSSR-a. Tadašnja poluvodička tehnologija bila je u začetcima i uređaji su bili veliki i ne praktični. Tijekom 60-ih u Los Alamos nacionalnom laboratoriju zaposlenici su nosili značke koje su sadržavale RFID oznake (O'Neill 2011) To je omogućilo automatsko prepoznavanje zaposlenika i restrikciju pristupa određenim prostorijama .

Dugi niz godina RFID tehnologija bila je nepoznata i tek je nedavno postala poznata široj javnosti. Cijena je bila glavni razlog što tehnologija nije ranije ušla u širu upotrebu. Isprintati znakove na komad papira kao kod primjerice bar koda je bilo značajno jeftinije nego proizvesti elektroničku komponentu. Današnje kompanije mogu proizvoditi RFID transpodere po cijeni od nekoliko centi po komadu.

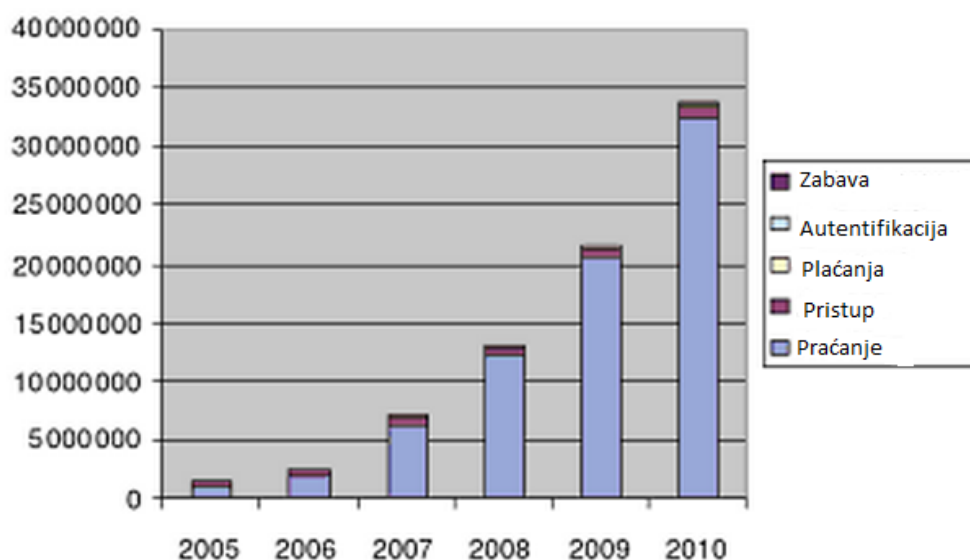
Početak dvije tisućitih veliki trgovački lanci poput američkog Wall-Marta počeli su zahtijevati od svojih dobavljača postavljanje RFID transpodera u palete proizvoda. Oznake su morale biti u skladu sa novonastalim standardima. Dobavljači i distributeri počeli su kupovati oznake u velikim količinama i to je dovelo do daljnjeg razvoja RFID tehnologije i pada cijena. Mnoge dobavljačke kompanije nisu odmah vidjele pogodnosti. Koristili su RFID samo zato što su ih veliki trgovački lanci na to prisilili i gledale su na RFID tehnologiju kao dodatni trošak. Još uvijek je bilo jeftinije postaviti primjerice bar kod. Iz tog razloga RFID oznake tj. transpoderi su postavljani neposredno prije pošiljke tj. kompanije ih nisu koristile u internim procesima.(O'Bryen, 2006)

Kako su sa vremenom dolazili novi standardi, a cijena nastavila padati pojedine kompanije počele su uvoditi RFID tehnologiju i u svoje interne procese. To im je omogućilo efikasnije praćenje zaliha materijala i proizvoda kao i njihovu distribuciju u realnom vremenu. Umjesto praćenja čitavih pošiljki, počeli su se pratiti individualni proizvodi. Neke proizvodne kompanije počele su, prilikom proizvodnje, postavljati oznake i djelomično su preuzeli tu ulogu od distributera. Na nekim mjestima uvedeni su dodatni senzori. RFID čip osim identifikacijskog broja može

pamtiti npr. najveću temperaturu pri kojoj je proizvod bio izložen, da li je detektirana prisutnost plinova koji se javljaju kada proizvodu istekne rok trajanja i slično. Unatoč tome mnoge kompanije još uvijek ne koriste RFID i proći će još neko vrijeme prije nego li to postane opće prihvaćena tehnologija u industriji. Kočnica su sigurnosni aspekti, a potrebno je postići i dogovore oko informacija koje su kompanije spremne međusobno dijeliti putem RFID oznaka.

Na slici 1. prikazan je rast upotrebe RFID tehnologije. Danas se često koristi za identifikaciju životinja. Koriste ju i zračne luke za označavanje prtljage. Europska unija počela je stavljati RFID oznake u novčanice želeći na taj način spriječiti krivotvorenje. Sjedinjene Američke Države uvode oznake u putovnice. Osim krivotvorenja to omogućuje efikasniju pograničnu kontrolu, ali i putnicima brz i jednostavan prelazak granice. (Want, 2006)

U budućnosti se očekuje da će RFID standardi, poslovni ugovori, sveobuhvatna sigurnost i pravila o zaštiti privatnosti dovoljno očvrnuti te će pripadnici industrije moći pouzdano razmjenjivati i imati povjerenje da samo ovlaštene osobe imaju pristup osjetljivim informacijama. Očekuje se da će tada doći do potpune komercijalizacije i tada možemo očekivati RFID tehnologiju i u domovima.



Slika 1. Opseg korištenja RFID oznaka (Want, 2006)

1.2 Prednosti nad sličnim tehnologijama

Postoje mnoge metode identifikacije ljudi, životinja i stvari. Zašto koristiti baš RFID ? Bar kod je jedna od neprepoznatljivih metoda računalnog čitanja oznaka. Ta metoda zahtjeva optičku vidljivost između čitača i oznake, osjetljiva je na prisustvo prljavštine i sunčeve svjetlosti (O' Bryen, 2006). Tablica 1. pokazuje usporedbu RFID-a sa bar kodovima.

Tablica 1. Usporedba bar koda i RFID oznaka (Want, 2006)

Svojstva	Bar kod	RFID oznaka
Potrebna optička vidljivost	DA	NE
Moguće čitanje pod sunčevoj svjetlosti	NE	DA
Čitanje moguće samo uz pravilnu orijentaciju	DA	NE
Cijena	Besplatna (printanje)	10 centi po komadu
Estetska integracija sa proizvodom	NE	DA
Broj bitova	1D:80 bitova 2D: 2kbit	96 bitova, memorija do 8kbit
Obrada podataka	NE	DA
Dodatna memorija	NE	8kbit
Mogućnost pisanja	NE	DA
Arbitraža između više oznaka	NE	DA
Osjetljivost na prljavštinu, masnoću i hrđu	DA	NE

Većina drugih metoda identifikacije ima slične probleme kao i bar kodovi. Magnetske trake na kreditnim karticama također zahtijevaju optičku vidljivost između senzora i oznake kao i pravilnu orijentaciju. Bez obzira prate li se proizvodi na pokretnoj traci ili broje životinje pravilo pozicioniranje zahtjeva dodatno vrijeme. Pri identifikaciji ljudi može se koristiti biometrija. Čitanje otisaka prsta ili optičko prepoznavanje, slično kao i magnetske trake, zahtjeva pravilnu orijentaciju. Čak i metode prepoznavanja govore bolje funkcioniraju ukoliko je osoba okrenuta prema mikrofону. RFID pruža mogućnost identifikacije na veće udaljenosti uz značajno

manju osjetljivost na pozicioniranje (O' Bryen, 2006). Čitač može pročitati kroz oznaku i u kada se nalaze prepreke između. Velika prednost je RFID-a je mogućnost naknadnog upisivanja informacija u internu memoriju oznake.

1.3 Transpoderi

Transpoder je čip koji sadrži vlastiti i jedinstveni identifikacijski broj (ID). Transponderi se međusobno razlikuju po radio-frekvencijskim valnim duljinama putem kojih komuniciraju, po obliku, po veličini, po protokolu, jeziku, jačini i načinu pohranjivanja podataka. Osnovna je podjela na aktivne, pasivne i polupasivne (Banks, 2007) .

1.3.1 Aktivni transpoderi.

Aktivni transpoderi zahtijevaju izvor napajanja. To može biti napajana infrastruktura poput gradske mreže ili mogu imati ugrađenu bateriju. Kako su baterije konačnog vijeka trajanja, takav tip oznake se koristi na mjestima gdje nije potreban velik broj čitanja i pisanja. (Poole, 2013). Velike su snage i mogu odašiljati podatke i do nekoliko kilometara. Svoju primjenu, aktivne oznake nalaze u zrakoplovima i sadržavaju podatke poput zemlje porijekla zrakoplova. Također ovakve oznake ugrađuju se u automobile te u slučaju krađe, putem GPS-a, odašilju podatke o položaju automobila. Oznake koje se koriste za određivanje položaja ljudi i predmeta unutar objekata imaju vijek trajanja oko jedne godine (Want, 2006). Na slici 2. možemo vidjeti aktivni transpoder.

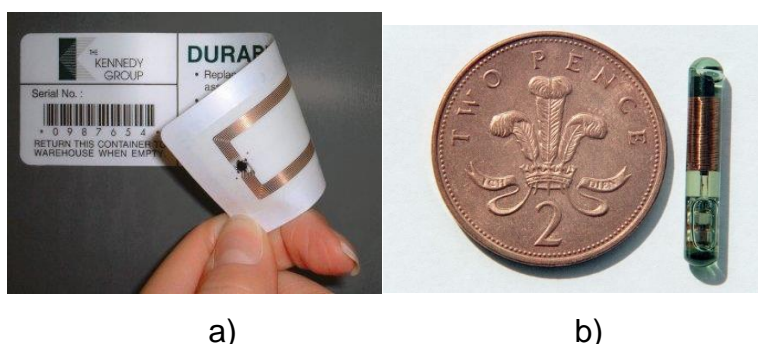


Slika 2. Aktivni RFID transpoder (Elaps, 2013)

1.3.2 Pasivni transpoderi

Pasivni transpoderi su u upotrebi rašireniji. Ne zahtijevaju dodatno napajanje i imaju potencijalno neograničen vijek trajanja. Cijenom su jeftiniji od aktivnih. Malih su dimenzija (slika 3b), a mogu biti i na naljepnici proizvoda (slika 3a). Nemaju snagu kao aktivni transpoderi te je identifikacijsku oznaku moguće pročitati sa maksimalno deset metara.

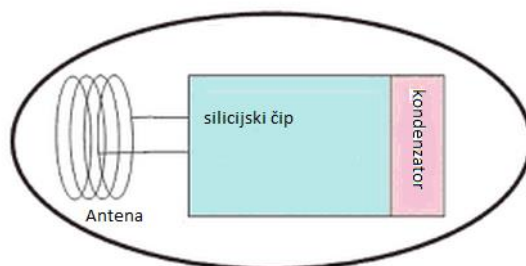
Polupasivni transpoderi koriste vlastitu bateriju za napajanje integriranog kruga, ali koriste energiju čitačeva signala sa emitiranje vlastitog signala.



Slika 3. a) Pasivni RFID transpoder na naljepnici (Oi-tech, 2013), b) usporedba dimenzija transpodera i novčića (Royer, 2006)

Još jedna od mogućih podjela je na transpodere koje je moguće samo čitati (engl. read only) i na transpodere na koje je moguće i pisati (RW, engl. read/write). Identifikacijski broj je tvornički upisan u transpoder i njega nije moguće mijenjati niti kod jedne vrste, a RW transpoderi imaju vlastitu memoriju u koju je moguće unositi dodatne informacije poput primjerice podataka sa drugih senzora u sustavu (Banks, 2007).

Tri osnovna dijela čine transpoder. To su antena (zavojnica), poluvodički čip i kućište. Pojednostavljenu blok shemu možemo vidjeti na slici 4. Kućište je najčešće stakleno ili plastično, često je u obliku etikete i moguće ga je jednostavno nalijepiti na proizvod. Često se koriste transpoderi kod kojih je na podlogu od polietilen tetrafelata nanesen vodljivi sloj bakra.



Slika 4. blok shema pasivnog RFID transpodera (Want, 2006)

Antena je obična bakrena zavojnica. Njezina svrha je napajanje čipa i emitiranje identifikacijskog broja. Čip se napaja energijom primljenog signala. Nakon što antena primi signal od RFID čitača i unutarnja elektronika oznake se „aktivira“, identifikacijski se broj kodira u povratni signal koji se antenom šalje natrag prema RFID čitaču. Povijesno su razvijena dva fundamentalno različita načina komunikacije između oznake i čitača. Jedan način se temelji na principu elektromagnetske indukcije, a drugi na odašiljanju i primanju elektromagnetskih valova. Izmjenična struja koja prolazi zavojnicom stvara promjenjivo magnetsko polje, a istovremeno dio energije se emitira putem valova. Koristeći ova svojstva moguće je prenijeti energiju između 10 μW i 1mW do udaljenog transpodera, a podatci se prenose pomoću modulacije (Want,2006).

1.4 Principi radio frekvencijske identifikacije

1.4.1 Sustavi temeljeni na induktivnoj vezi

Faraday-Lenzov (Faradayev) zakon elektromagnetske indukcije je osnovni zakon elektromagnetizma čija formula glasi:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} . \quad (1.)$$

\mathcal{E} - elektromotorna sila

t -vrijeme

Φ -magnetski tok

Elektromotorna sila u zatvorenoj konturi jednaka je negativnoj derivaciji obuhvaćenog magnetskog toka po vremenu.

Biot — Savartov zakon govori koliku indukciju stvara element vodiča „dl“ na udaljenosti „r“ od vodiča ():

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 NI}{4\pi} \cdot \left(\frac{\vec{dl} \times \vec{r_0}}{r^2} \right) \quad (2.)$$

B-magnetsko polje

N-broj namota zavojnice

I-jakost struje koje protječe zavojnicom

dl-element vodiča

r-udaljenost od vodiča

Zavojnicom RFID čitača teče izmjenična struja i uzrokuje magnetsko polje u okolici zavojnice. Kada transponder uđe u to polje, na krajevima njegove zavojnice inducirati će se izmjenični napon (slika 6.) prema Faradayevom zakonu (formula 1.).

Struje I_1 i I_2 sa slike 5. utječu na iznose napona V_1 i V_2 . Za krug sa slike 5. U vremenskoj domeni vrijede sljedeće jednadžbe:

$$V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} \quad (3.)$$

$$V_2 = L_2 \frac{dI_2}{dt} - M \frac{dI_1}{dt} \quad (4.)$$

Iz danih jednadžbi proizlazi izraz za odnos između fazora napona i struje na frekvenciji f :

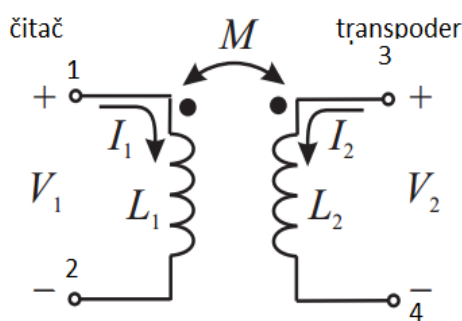
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = j2\pi f \begin{bmatrix} L_1 & -M \\ -M & L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (5.)$$

Iz jednadžbe 4. možemo dalje procijeniti kako impedancija tereta spojenog između stezaljki 3 i 4 (slika 5.) utječe na impedanciju između stezaljki 1 i 2. Označimo

impedanciju između točaka 1 i 2 kao $Z_1=V_1/I_1$, a impedanciju između stezaljki 3 i 4 kao $Z_2=V_2/I_2$. Slijedi izraz:

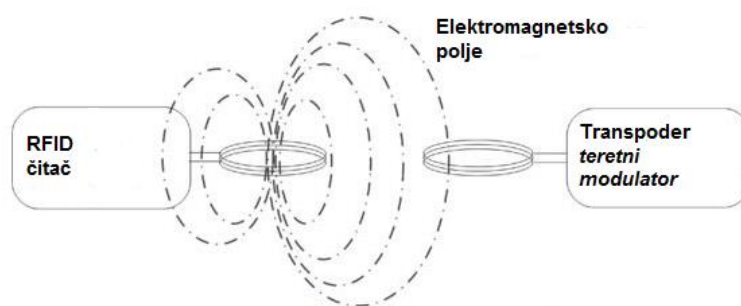
$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = j2\pi f L_1 + \frac{4\pi^2 f^2 M^2}{Z_2 + j2\pi f L_2} \quad (6.)$$

Prvi pribrojnik u izrazu 4.1 je posljedica samoindukcije i on u većoj mjeri utječe na iznos impedancije Z_1 od drugog pribrojnika. No željena informacija je sadržana u drugom pribrojniku. Vidljivo je da mijenjanjem tereta spojenog na zavojnicu transpodera (Z_2) možemo utjecati na iznos impedancije Z_1 i na taj način provesti modulaciju. Odavde proizlazi naziv teretna modulacija ili modulacija opterećenja.



Slika 5. međuindukcija

Ukoliko napon između stezaljki 3 i 4. ispravimo i priključimo kondenzator u krug, doći će do skladištenja naboja na kondenzatoru. Uskladištenu energiju naboja možemo koristiti za napajanje čipa.

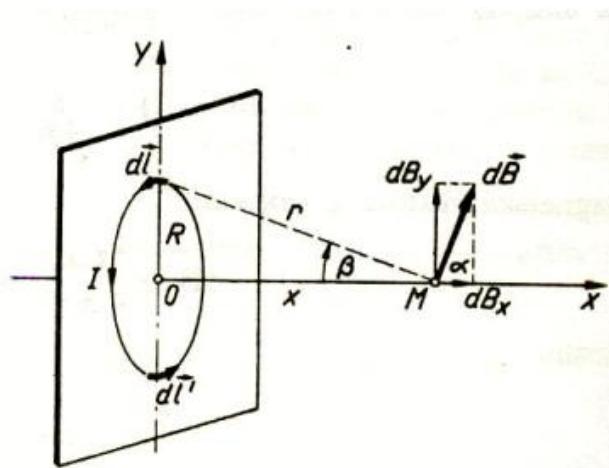


Slika 6. polje čitača i transpodera

Zadaća čitača je pratiti promjene jakosti struje u zavojnici i dekodirati primljene podatke. Postoje brojni načini kodiranja, no o tome kao i o korištenim standardima će biti više riječi u sljedećim poglavljima.

Ovaj princip komunikacije između transpodera i čitača ima fizikalna ograničenja. Udaljenost na kojoj je moguće koristiti indukciju je približno $c/2\pi f$. Povećanjem frekvencije rada čitača i transpodera smanjuje se udaljenost na kojoj je moguće ostvariti komunikaciju.

Koristeći izraz (2.) možemo izračunati magnetsku indukciju na osi kružnog zavoja. Magnetsku indukciju u nekoj točki M možemo rastaviti na komponentu dB_x i na komponentu dB_y okomitu na os x. (Slika 7.)



Slika 7. polje u točki M na osi kružnog zavoja

Budući da je vektor dl okomit na vektor r_0 iznos magnetske indukcije je:

$$dB = \frac{\mu_0 NI}{4\pi r^2} dl \sin 90 \quad (2.1)$$

Normalne komponente se međusobno poništavaju (Kuzmanović, 2000):

$$dB_y = -dB_y \quad (2.2)$$

$$dB_x = dB \sin \beta = \frac{\mu_0 NI}{4\pi r^2} dl * \sin \beta \quad (2.3)$$

Integriramo po krivulji:

$$B = \int_l dB_x \quad (2.4)$$

$$B = \int_l \frac{\mu_0 NI}{4\pi r^2} dl * \sin\beta \quad (2.5)$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{4\pi r^2} * \sin\beta \int_l dl \quad (2.6)$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{4\pi r^2} * \sin\beta * 2R\pi \quad (2.7)$$

$$R^2 + x^2 = r^2 \quad (2.8)$$

$$\sin\beta = \frac{R}{r} \quad (2.9)$$

$$B = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (2.10)$$

Magnetska indukcija je najveća u centru kružnog zavoja i iznosi $B = \mu I / 2R$. Udaljenost tj. varijabla x u izrazu (2.10) je znatno većeg iznosa od polumjera „ R “ zavojnice i u većoj mjeri će utjeci na iznos B . Možemo reći da B opada približno sa x^3 . Iz toga razloga, čitač ne može pročitati RFID oznaku sa velikih udaljenosti. U praktičnim primjenama je to najčešće do jednog metra. Kako je postojala je potreba za čitanjem na većim udaljenostima razvijena metoda čitanja temeljena na radio vezi.

1.4.2 Sustavi temeljeni na radio vezi

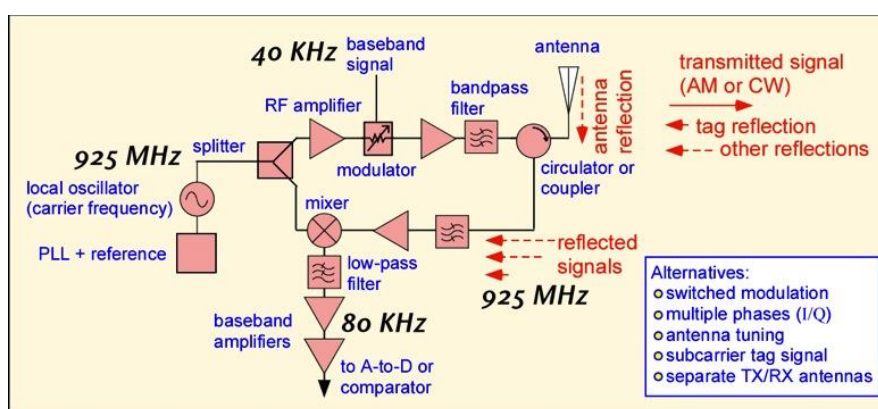
Antena transpodera hvata elektromagnetske valove koje odašilje čitač. Slično kao i kod transpodera koji rade na principu indukcije, koristi se kondenzator za pohranjivanje naboja i napajanje sklopa.

Antenu transpodera je moguće podesiti da apsorbira većinu zračenja iz određenog frekvencijskog područja. Međutim dio zračenja se reflektira natrag prema čitaču. Promjenom impedancije antene možemo utjecati na iznos reflektiranog zračenja. Čitač interpretira reflektirano zračenje kao nulu ili kao jedinicu. U praksi se u integrirani krug transpodera postavlja tranzistor koji se uključuje i isključuje u određenim vremenskim intervalima i na taj način modulira reflektirani signal. (Want, 2006)

Čitač se ponaša kao radio odašiljač i prijemnik. Zadaća mu je generiranje signala nosioca čija je frekvencija tipično oko 900 MHz, modulacija nosioca, prijem

reflektiranih signala te njihovo filtriranje i pojačanje. Tipičan blok dijagram je prikazan na slici 7. (Dobkin, 2012)

Odašiljač može biti jednostavno konstruiran. Dovoljne komponente su sintezator frekvencije nosioca i atenuator ili u nekim slučajevima sklopka. Poruka transpoderu se šalje moduliranjem nosioca tj. mijenjanjem stanja sklopke. Međutim ovakav jednostavan dizajn ima nedostatke. Nagle promjene uzrokovane uključivanjem i isključivanjem sklope imaju za posljedicu proširenje frekvencijskog spektra odaslanog signala. Iz tog razloga, signal osnovnog frekvencijskog područja se filtracijom zaglađuje (Dobkin, 2012).



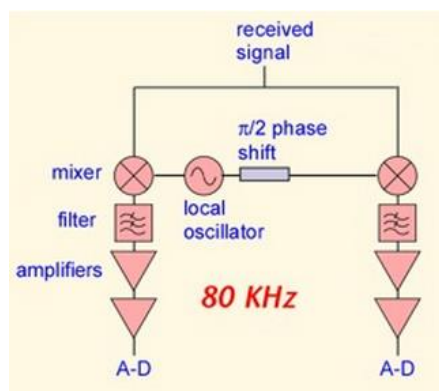
Slika 8. shema čitača (Dobkin, 2012)

Primljeni, reflektirani signal je približno jednake frekvencije kao i odaslani (zanemariva promjena uzrokovana je Doplerovim pomakom). Primljeni signal se miješa sa signalom iz lokalnog sintezatora frekvencije. Dobivaju se dvije komponente, jedna na frekvenciji duplo većoj od frekvencije sintezatora koju je moguće jednostavno ukloniti filtracijom i komponente u osnovnom pojasu iz koje je moguće izvući podatke.

Reflektirani signal sa antene transpodera nije jedini signal pristupan u prijemnom krugu čitača. Čak i kod kvalitetnih antena, prilikom odašiljanja, dio signala se vraća natrag i prolazi do prijemnog kruga. U slučajevima kada odaslani signal nije moduliran, u prijemnom krugu nakon miješanja pojaviti će se DC komponenta. Ukoliko primljeni signal sa transpodera ne sadrži bitne informacije oko DC područja tu je komponentu moguće ukloniti filtracijom. Veći problemi nastaju kada je i odaslani signal moduliran. Tada do prijemnog kruga, osim DC prolaze i komponente koje nije moguće jednostavno ukloniti filtracijom (Dobkin, 2012).

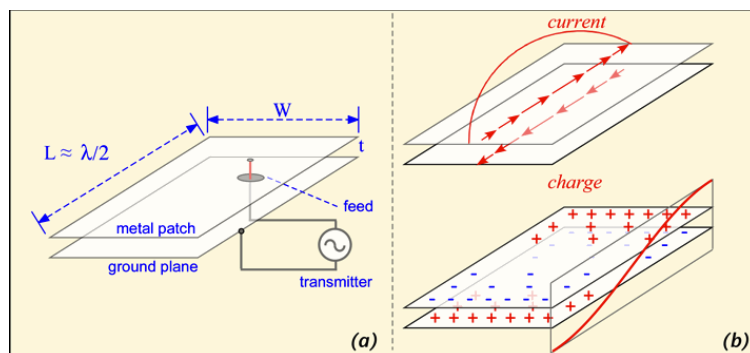
Ove probleme moguće je otkloniti korištenjem čitača sa zasebnim antenama za odašiljanje i prijem i sa izolacijom između njih. Dio signala sa odašiljačke antene proći će do prijemne, no njegova amplituda biti će znatno manja od amplitude signala koji dolazi sa transpodera. Ovakvo rješenje je složenije i skuplje od sustava sa jednom antenom (Dobkin, 2012).

Apsolutni iznos faze reflektiranog signala je nepoznat. Potrebno je osigurati da signal bude primljen neovisno o njegovom faznom pomaku u odnosu na signal lokalnog oscilatora. Rješenje je koristiti kvadraturni demodulator (Slika 9). Primljeni signal množi se u dvije različite grane sa signalom oscilatora između kojih postoji fazni pomak od 90 stupnjeva.



Slika 9. kvadraturni demodulator (Dobkin, 2012)

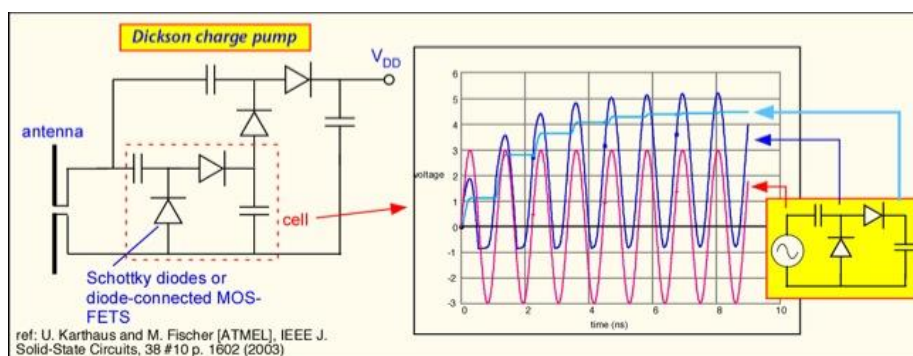
Antena čitača se sastoji od metalnog sloja postavljenog na uzemljenu plohu. (Slika 10.) Metalni sloj je četvrtastog oblika i dug polovicu valne duljine. Antena čitača odašilje linearno polarizirane valove, a transpoder reflektira natrag linearno ili kružno polarizirane valove ovisno o tome ima li jednu ili dvije dipol antene (Dobkin, 2012).



Slika 10. antena čitača (Dobkin, 2012)

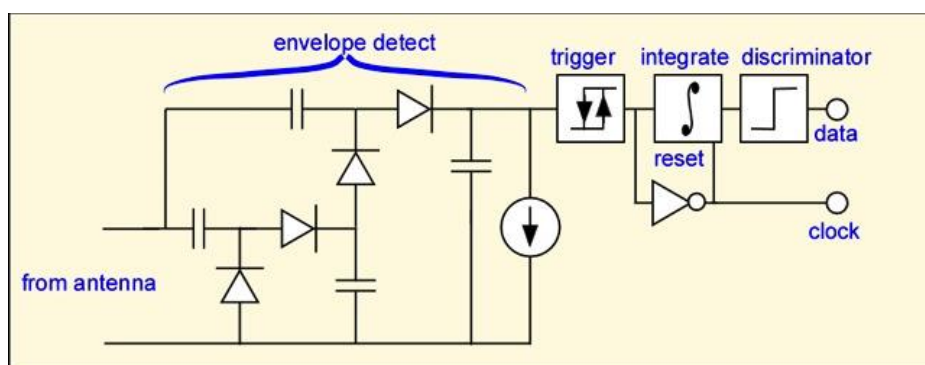
Korištenje više transpodera sa više antena pruža fleksibilnost i smanjuje osjetljivost na međusobnu orijentaciju transpodera i čitača, ali povećava dimenzije i cijenu (Dobkin, 2012).

Za pogon integriranog kruga transpodera potrebno je 1-3 V. Napon otvorenog kruga na krajevima antene je $\frac{1}{2} E_{up} \cdot L$ (polovica umnoška duljine antene i jakosti upadnog električnog polja). Antena duljine 15 cm na udaljenosti 3 m od čitača, uz jakost polja od 5V/m imati će napon od 0.4V što nije dovoljno za napajanje integriranog kruga. Na slici 11. možemo vidjeti nabojnu pumpu koja se često koristi. Uloga dioda je pomak i ispravljanje signala. Postavljenjem takvih spojeva u kaskadu moguće je dobiti veći iznos napona (Dobkin, 2012).



Slika 11. Nabojna pumpa (Dobkin, 2012)

Na slici 12. je prikazano sklopovlje transpodera za demodulaciju. Okidni sklop se aktivira na brid pulsa, nakon čega integrator počinje integrirati izlazni napon sve dok ne naiđe sljedeći puls i prekine proces. Izlaz iz integratora se uspoređuje sa nekom referentnom razinom i utvrđuje se je li primljena nula ili jedinica.



Slika 12. Demodulacija u transpoderu (Dobkin, 2012)

Nakon što je transpoder primio i dekodirao poruku čitača mora poslati natrag odgovor. Spomenuto je kako antena reflektira dio signala prema čitaču te da mijenjanjem impedancije spojene na antenu možemo utjecati na refleksiju. Najjednostavnija metoda je mijenjanje realnog djela impedancije npr. otvaranjem kruga. Problem kod te metode je to što integrirani krug ne dobiva energiju za vrijeme trajanja kratkog spoja odnosno otvorenog kruga. Efikasnije rješenje je mijenjati reaktanciju odnosno uključivati i isključivati kondenzator iz kruga. Amplituda i faza reflektiranog signala se mijenjaju ovisno o tome je li kondenzator uključen, a integrirani krug dobiva energiju neovisno o stanju kondenzatora.

1.5 Frekvencije

Postoje tri frekvencijska područja u kojima rade RFID sustavi. To su : nisko frekvencijsko LF (engl. low frequency) na 125/134kHz, visoko frekvencijsko područje HF (engl. high frequency) na 13.56MHz i područje vrlo visokih frekvencija UHF (engl. ultra high frequency) u intervalu od 860 do 960MHz. LF i HF sustavi su najčešće temeljeni na induktivnoj vezi čitača i transpodera, dok UHF sustavi rade na principu radio veze.

RFID sustavi temeljeni na radio vezi imaju dodatna ograničenja. Svaka država zasebno regulira uporabu frekvencijskog spektra. Radio RFID sustavi, uz ograničenja na snagu i domet emitiranja, imaju dozvolu za rad nelicenciranom dijelu spektra. U zemljama europske unije to područje je od 865MHz do 868MHz.

1.6 Modulacije, standardi i protokoli

Svaka komunikacija se odvija prema određenom protokolu. Potrebno je definirati i standardizirati strukturu i značenje podataka za slanje, te način njihovog kodiranja i modulaciju. U RFID sustavima koriste se brojni protokoli, a neki od njih nabrojani su u tablici 2. Ti protokoli su razvijeni i standardizirani od strane EPCGlobal organizacije, neovisni su jedan o drugome i međusobno su nekompatibilni. Primjerice čitač temeljen na ISO15693 standardu neće moći pročitati podatke sa ISO11784 transpodera. Ipak postoje porodice standarada čiji

pripadnici međusobno imaju visok stupanj kompatibilnosti, npr. ISO11784-5, 14223, ISO18000 (Dobkin, 2005).

Tablica 2, RFID standardi (Dobkin, 2005):

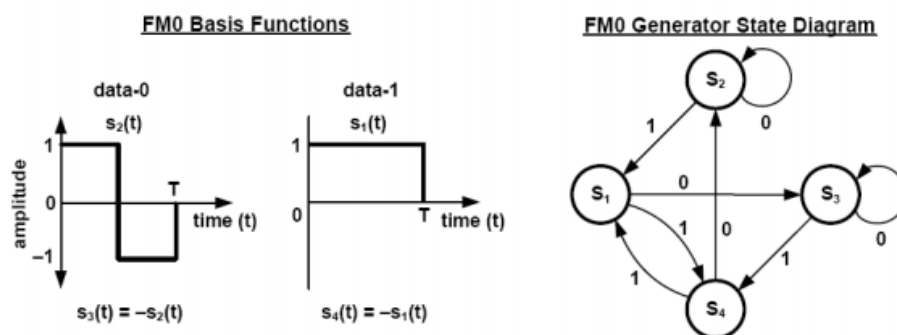
Tip RFID transpodera	125kHz	5-7MHz	13.56 MHz	303/433 MHz	860-960MHz	2.45 GHz
Pasivni	ISO117845,14223, ISO18000	ISO 10536 iPico DF/iPX	MIFARE (ISO14443) Tag-IT (ISO15693)		ISO18000-6, EPC class 0, EPC class 1, EPC GEN II, Intellitag tolls	ISO18000 -4 Intellitag μ -chip
Pulu pasivni					rail(AAR S918), Title 21	ISO18000 -4, Alien BAP
Aktivni				Savi ISO18000-4 (ANSI 371.2)		ISO18000 -4, WhereNet

Transpoderi su jednostavni i jeftini uređaji. Stoga oni raspoznaju samo promjene u amplitudi. Za smjer komunikacije čitač-transpoder koristi se amplitudna modulacija (ASK), a naprednije metode poput PSK ili QAM nisu moguće.

Zbog različitog fizičkog sloja LF, HF i UHF sustava za smjer komunikacije od transpodera prema čitaču koriste se različite vrste modulacije i kodiranja. Niskofrekvencijski (LF) sustavi koriste frekvencijsku modulaciju (FSK), faznu modulaciju (PSK), binarnu faznu modulaciju (BPSK) i amplitudnu modulaciju (ASK). Visokofrekvencijski sustavi koriste ASK. Modulacijske metode i načini kodiranja simbola RFID čitača ograničeni su činjenicom da signal čitača mora pružiti energiju transpoderu. Tako na primjer u slučaju korištenja NRZ koda (engl. non return to zero), transpoder bi bio bez napajanja u slučaju dugog niza nula.

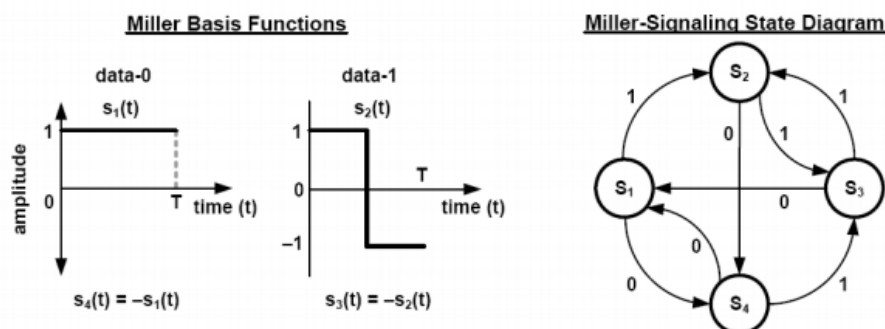
U UHF području koristi se FM0 i Miller modulacijski kôd podnosioca sa zadanom brzinom prijenosa podataka. RFID čitač prilikom ispitivanja transpodera odabire kakav način kodiranja informacije kakav transpoder zahtjeva. Na Slici 13. vide se osnovne funkcije i dijagram stanja za kreiranje FM0 koda. FM0 vrši inverz faze signala na kraju svakog simbola, gdje 0-bit sadržava dodatni inverz faze u

sredini simbola. Prikazani dijagram stanja mapira logičku podatkovnu sekvencu u FM0 osnovnu funkciju koja se odašilje kao niz kodiranih bitova podnosioca natrag RFID čitaču. Labele stanja S1-S4 ukazuju na postojanje 4 moguća FM0-kodirana simbola, predstavljena kao 2 faze svake od FM0 osnovnih funkcija. Labele stanja također predstavljaju FM0 valni oblik koji je poslan pri prijelazu u odgovarajuće stanje. Labele na prijelazima u stanja indiciraju logičke vrijednosti podatkovne sekvence koju je potrebno kodirati. Npr. prijelaz iz stanja S2 u stanje S3 nije moguć, jer takav prijenos podataka ne bi imao fazni inverz na kraju simbola.



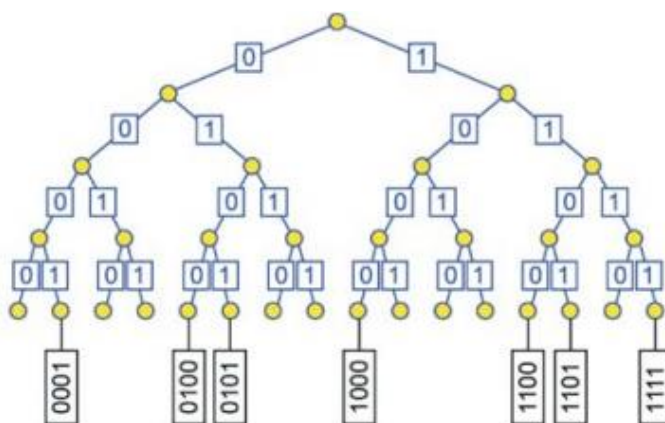
Slika 13. FM0 kodiranje

S ciljem poboljšanja performansi FM0 kôda, u upotrebi je i Millerov kod. Millerov kod nudi veću fleksibilnost u odnosu šum - brzina prijenosa i u spektralnoj gustoći signala. Osnovna funkcija i dijagram stanja Millerovog kôda je prikazan na Slici 12. Millerov kôd radi inverz faze signala između dvije podatkovne 0 u sekvenci. Osim toga, postoji inverz faze u sredini podatkovnog bita 1 (suprotno od FM0 kôda). Dijagram stanja prikazan na slici 14. mapira logičku podatkovnu sekvencu preko osnovnih funkcija Millerovog kôda. Labele stanja S1 S4 ukazuju na postojanje 4 moguća Miller kodirana simbola predstavljena kroz dvije faze svake od osnovnih funkcija Millerovog kôda. Labele stanja također predstavljaju osnovni Millerov valni oblik koji se generira pri ulasku u stanje. Preneseni valni oblik predstavlja valni oblik u osnovnom pojasu pomnožen s kvadratnim valnim oblikom M puta. Labele prijelaza pokazuju logičke vrijednosti podatkovne sekvence koja se kodira. Npr., prijelaz iz stanja S1 u stanje S3 nije dozvoljen jer regulirajući prijenos podataka bi imao fazni inverz između bita 0 i bita 1.



Slika 14. Millerov kod

U prisustvu više transpoderu u dometu čitača može doći do kolizije. Za sprječavanje kolizije u RFID radio sustavima koriste se dvije metode: ALOHA protokol i metoda pretraživanja binarnog stabla. Transpoderi temeljni na ALOHA protokolu mijenjaju frekvenciju emitiranja prema pseudo slučajnom principu. Na slici 15. je prikazano binarno stablo. Na granama su sve moguće kombinacije identifikacijskog broja transpoderu. Komunikacija započinje tako da transpoder emitira prvi bit svog identifikacijskog broja. Ukoliko čitač kao odgovor ne pošalje taj isti bit transpoder ulazi u stanje spavanja sve do sljedeće iteracije pretraživanja stabla. Kraći identifikacijski brojevi omogućuju brže pretraživanje stabla, no nisu globalno jedinstveni.



Slika 15. binarno stablo

U RFID sustavima temeljnim na induktivnoj vezi transpoderi posjeduju sklopovlje za detekciju kolizije. Uzmimo za primjer da transpoder šalje N bitnu poruku i na k -om ($k < N$) mjestu dođe do kolizije. Transpoder detektira koliziju i u tom

trenutku započinje sa slanjem nove poruke u kojoj prvih pet bitova predstavlja broj k , tj. mjesto na kojem je došlo do kolizije. Sljedećih k bitova u poruci predstavlja identifikacijski broj transpodera koji je uzrokovao koliziju nakon čega slijede CRC bitovi i oznaka kraja poruke. Transpoderi kod kojih se prvih k bitova ID-a preklapa sa bitovima 5- k prethodne poruke ući će u stanje mirovanja i više neće slati podatke.

Paketiranje podataka i konkretan protokol komunikacije razlikuje se od standarda do standarda. U sklopu ovog rada korišteni su transpoder i čitač koji su u skladu sa ISO18000 i ISO117845 standardima i njihov protokol komunikacije je opisan u poglavlju „2.2 Hitag S“

1.7 Sigurnost

RFID transpoderi nisu inteligentni uređaju. Na primljeni signal poslati će odgovor bez obzira tko je taj signal poslao. Ukoliko sadržaj transpodera nije kriptiran, neovlaštene osobe koje posjeduju pripadajući čitač ili u slučaju UHF RFID-a neku vrstu radio prijemnika, mogu mu bez problema pristupiti podacima transpodera.

I u slučajevima kada su podatci na transpoderu zaštićeni, uz odgovarajuće alate, moguće je pratiti u kojim intervalima transpoder šalje odgovor. Na osnovu toga moguće je stvoriti sliku o kretanju roba i financijskim transakcijama. Neovlaštene osobe mogu i izmjenjivati sadržaj transpodera. Primjerice prilikom kupnje, sadržaj transpodera ugrađenog u proizvod se može izmijeniti tako da prikazuje manju cijenu od stvarne. Još jedan od problema je to što netko može namjerno ometati i blokirati frekvenciju na kojoj RFID sustav radi, a može i odgovarajućom naredbom isključiti transpoder. Postoje i brojni problemi vezani za privatnost. Transpoderi ugrađeni u odjeću mogu godinama slati podatke prema udaljenom čitaču. Osim što je moguće locirati i pratiti osobe, RFID omogućuje lako praćenje potrošačkih navika. Nekoliko je mjera poduzeto kako bi se nabrojano spriječilo.

Kao mjeru zaštite proizvođač transpodera može onemogućiti dodatno pisanje na njega čime se gubi na fleksibilnosti. Takvi transpoderi su „read only“ i sa njih je moguće pročitati samo tvornički upisane podatke.

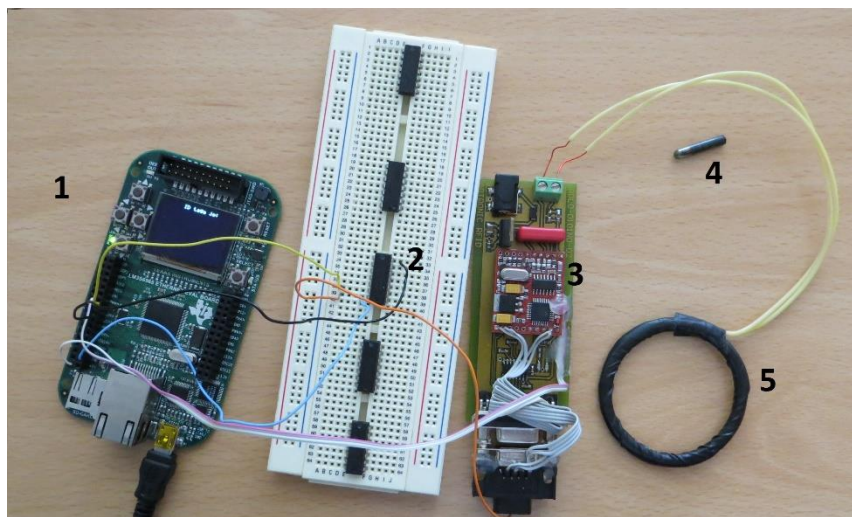
Vlasnici RFID sustava mogu kriptirati podatke po nekom ključu. Čitač može provjeriti da li su podatci upisani od strane ovlaštene osobe.

Neki čitači mogu neprestano mijenjati frekvenciju na kojoj rade i tako onemogućiti prisluškivanje. Također ukoliko čitač uoči anomalije u vremenu potrebnom da transpoder odgovori ili u snazi dolaznog signala, može takav signal ignorirati.

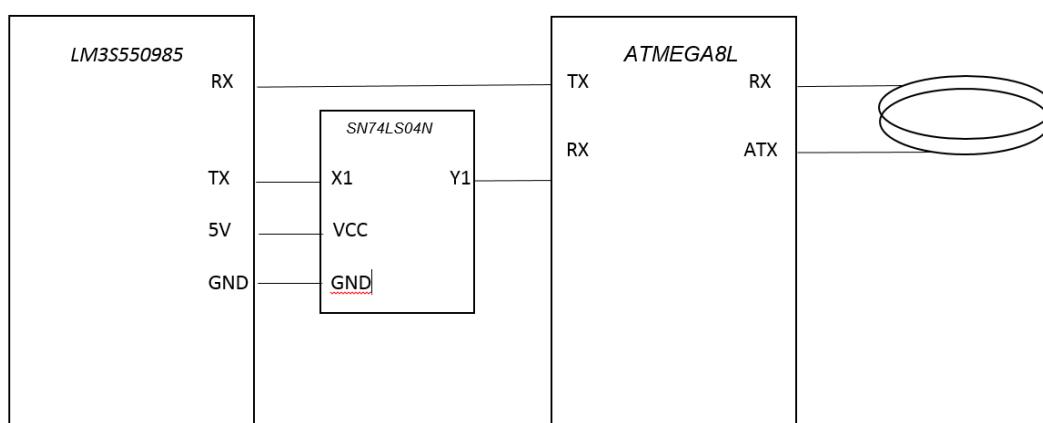
U nekim se sustavima za pristup sadržaju transpodera postavljaju lozinke. Takav pristup ima smisla samo ako se koriste različite lozinke na svakom transpoderu. Kod čitanja sadržaja transpodera, čitač mora pretražiti bazu lozinki i pronaći onu pravu i to značajno usporava proces čitanja. Transpoderi su često dizajnirani na način da ukoliko prime naredbu za gašenje prestaju sa svakim radom, što je korisna mogućnost za RFID-e u potrošačkim proizvodima. Kao metoda zaštite privatnosti koristi se i Faradayev kavez tj. transpoder se prekrije metalnom mrežom ili folijom.

2. LF RFID sustav

U sklopu ovog rada implementiran je jedan RFID sustav. Komponente su razvojna pločica „Stellaris LM3S5506965“ temeljena na istoimenom mikrokontroleru, RFID modul tvrtke „IDtronic“, antena od 150 μ H, RFID oznake tipa HITAG S i invertor signala. Sustav je niskofrekvencijski (125 kHz) i možemo ga vidjeti na slici 16. i shematski na slici 17. Osnovna funkcija sustava je čitanje RFID oznake i njen prikaz na ekranu. Sustav također može čitati podatke sa interne memorije transpodera i moguće ga je ethernetom umrežiti sa računalom. To omogućuje udaljenim računalima pristup pročitanim podacima putem interneta. Kod je napisan u razvojnom okruženju „Code Composer Studio v4“ u C jeziku.



Slika 16. 1-Texas Instruments razvojna pločica sa Stellaris LM3S550985 procesorom, 2- Texas Instruments SN74LS04N digitalni invertor, 3 – IDtronic RFID modul, 4- HITAG S 125kHz transpoder, 5-antena



Slika 17. Blok shema sustava

2.1 RFID modul

Na RFID modulu nalazi se mikrokontroler ATMEGA8L tvrtke Atmel. On se ponaša kao RFID čitač i prosljeđuje pročitane podatke do Stellaris mikrokontrolera LM3S550985. Komunikacija između ta dva mikrokontrolera ostvarena je preko UART sučelja. Na TX pin ATMEGA8L mikrokontrolera zalemljena je žica i spojena je na RX pin periferije UART1 mikrokontrolera LM3S550985. Time je ostvaren

smjer komunikacije od modula prema Stellarisu. Obrnuti smjer komunikacije nije moguće na jednak način ostvariti.

Izlazne naponske razine RFID modula su u skladu sa RS232 standardom. To omogućuje jednostavno spajanje modula sa računalom. Izlazne razine iz ATMEGA8L mikrokontrolera su u skladu sa TTL standardom. Zbog toga se na modulu nalazi pretvornik razina sa TTL na RS232. Taj pretvornik će ulazne pinove ATMEGA8L kontrolera držati na razini različitoj od nule i u slučaju kada na tim pinovima ne postoji ulazni signal. Kada bi zaleмили žicu na ulazni RX pin ATMEGA8L kontrolera signal sa te žice bi se superponirao sa već postojećom naponskom razinom. Stoga je za ostvarivanje smjera komunikacije od Stellarisa prema modulu potrebno signal sa TX pina UART1 periferije Stellaris mikrokontrolera dovesti na ulaz od TTL/RS232 pretvornika. Pretvornik invertira ulazni signal. Kako bi na izlazu pretvornika dobili neinvertirani moramo na njegov ulaz dovesti invertirani. To je ostvareno pomoću digitalnog invertora tj. sklopa SN74LS04N. UART periferija te način na koji je programirana je opisan u poglavlju 2.5.1 UART.

Modul je kompatibilan sa EM 4x02, EM 4x50m, Hitag 1, Hitag 2, Hitag S i FDXB transpoderima.

Antena je spojena između pinova 1 i 2 modula. Promjera je 38 mm i indukcije 150 μ H. Maksimalna udaljenost sa koje može detektirati transpoder je 80 mm. Shematski prikaz modula i fizički raspored pinova se nalazi u dodatku.

2.2 Hitag S transpoder

Hitag S je transpoder tvrtke „NXP Semiconductor“. Temeljen je na Hitag 1 protokolu. Kompatibilan je sa standardom ISO 11784/85 koji se koristi pri identifikaciji životinja te sa nadolazećim standardima ISO 14223 i ISO 18000-2. Postoje varijante sa 256 bita i 2048 bita memorije sa mogućnošću čitanja i pisanja. Radi se o EEPROM memoriji i moguće je izvršiti do 10000 pisanja. Za sustav ostvaren u ovom radu korištena je 2048 bitna verzija transpodera čija je memorija podijeljena na 16 blokova od kojih svaki sadrži 4 32-bitne lokacije tj. stranice.

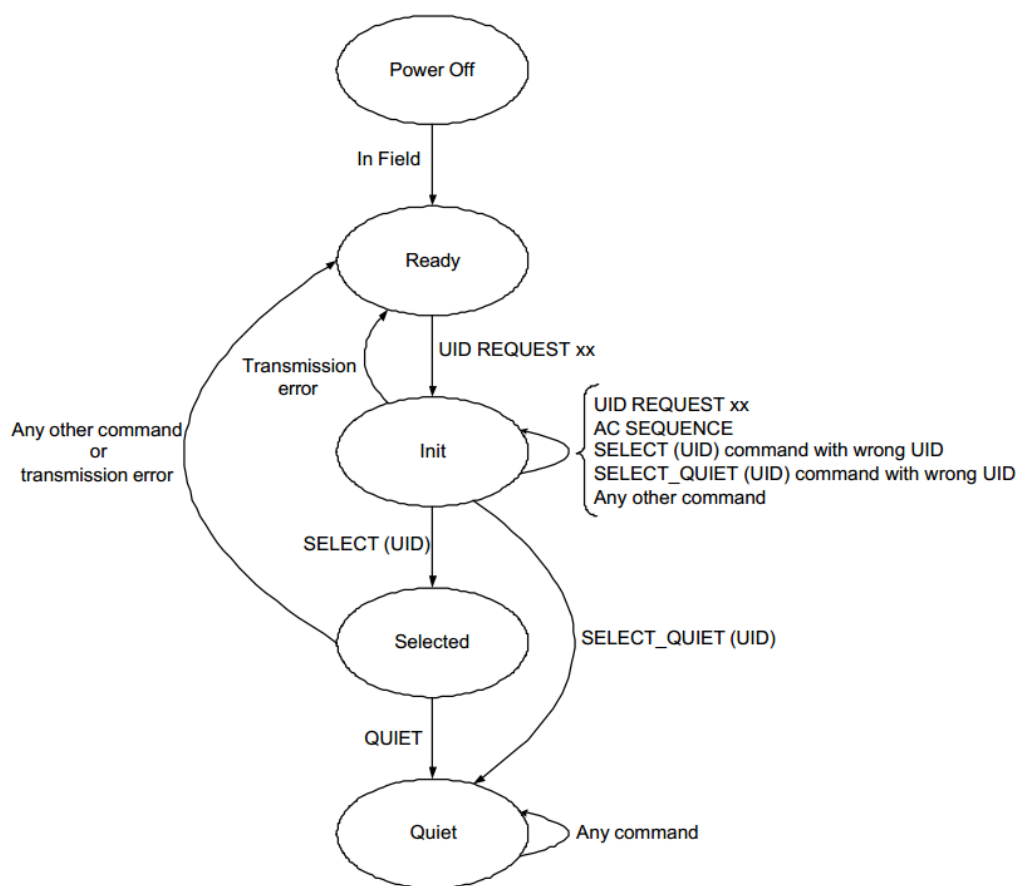
Identifikacijski broj transpodera je također 32-bitni. Najčešće primjene su kod identifikacije životinja, pri zaštiti robnih marki, numeriranju plinskih boca i slično.

Transpoder se ponaša kao automat sa konačnim brojem stanja (slika 18.). Podatke sa čitačem razmjenjuje po principu elektromagnetske indukcije (poglavlje 1.4.1) Riječ je o pasivnom transpoderu koji dakle nema vlastitu bateriju već se napaja preko magnetskog polja čitača. Stoga kada se nalazi izvan dosega magnetskog polja čitača nalazi se u isključenom stanju (engl. *power off state*). Nakon ulaska u magnetsko polje prelazi u stanje spremnosti (engl. *ready state*) i iščekuje prvu naredbu. Iz tog stanja moguća su dva različita prijelaza u naredna stanja, ovisno o tome je li uključen TTF.

TTF (engl. *transpoder talks first*) označava način rada u kojem transpoder kontinuirano emitira svoj identifikacijski broj neovisno o tome je li primio zahtjev od čitača. Ukoliko je TTF omogućen i ukoliko transpoder ne primi nikakvu naredbu u zadanom vremenskom okviru, transpoder iz stanja spremnosti prelazi u stanje TTF, a ukoliko je TTF onemogućen tada prelazi u inicijalno stanje (engl. *init state*).

U inicijalnom stanju transpoder čeka naredbu `UID_request` (naredbe su opisane u sljedećem poglavlju). Nakon što je primi, šalje svoj identifikacijski broj. U slučaju kada se više transpodera nalazi u dometu magnetskog polja čitača, svaki transpoder pokreće antikolizijski algoritam opisan u poglavlju 1.6. Ukoliko transpoder primi naredbu `SELECT_UID` za vrijeme dok je u inicijalnom stanju, prijeći će u stanje autentifikacije (engl. *authentication state*) ili u stanje „Selected“ ovisno o tome je li pri konfiguraciji omogućena autentifikacija tj. je li odgovarajući bit postavljen. Stanje autentifikacije je mjera zaštite i transpoder neće ništa raditi već će čekati sljedeću naredbu od čitača. Nakon što čitač pošalje kriptiranu `CHALLENGE` naredbu transpoder prelazi u stanje „Selected“.

Kada je transpoder u stanju „Selected“ možemo u njegovu internu memoriju pisati podatke ili ih čitati. U jednom ciklusu moguće je pročitati ili upisati jednu stranicu veličine 32 bita ili čitav blok podataka veličine 4 stranice. Postoji i stanje „quiet“ u kojem transpoder ne komunicira sa okolinom, a u njega je moguć prijelaz iz inicijalnog stanja ili iz stanja „Selected“ i to samo uz zahtjev čitača. Kada transpoder izvučemo iz dosega magnetskog polja čitača on prijelazi u isključeno stanje neovisno o tome u kojem se stanju prethodno nalazilo. Izlaz iz stanja „quiet“ je jedino moguć na taj način.



Slika 18. shema stanja hitag S transpodera (NXP Semiconductor, 2011)

Prva tri bajta na prvoj stranici (tablica 3.) u memorijskoj mapi nalaze se memorijske lokacije za konfiguraciju transpodera. Konfiguracija se izvršava za vrijeme dok se transpoder nalazi u stanju „Selected“.

Tablica 3, memorijske lokacije za konfiguraciju transpodera:

	MSB LSB							
Bajt 0	RES5	RES4	RES3	RES2	RES1	RES0	MEMT1	MEMT0
Bajt 1	AUT	TTFC	TTFDR1	TTFRD0	TTFM1	TTFM0	LCON	LKP
Bajt 2	LKC7	LKC6	LKC5	LKC4	LKC3	LKC2	LKC1	LKC0

Kratica RES označava rezervirane bitove. Bitovi MEMT1 i MEMT0 određuju tip memorije, a moguće opcije su 32 bitna, 256 bitna ili 2048 bitna. Postavljanjem bita AUT omogućujemo autentifikaciju. Bit TTFC određuje vrstu kodiranja kada je transpoder u TTF načinu rada. Kada je postavljen u „0“ koristi se Manchester kod, a kada je u „1“ koristi se bifazno kodiranje. Bitovi TTFDR određuju brzinu prijenosa podataka koja se može konfigurirati u rasponu od 2kBit/s do 8kBit/s. TTFM1 i TTFM0 određuju broj memorijskih stranica koji se u jednom ciklusu šalje prema čitaču. LCON bit se jednokratno konfigurira i omogućuje ili onemogućuje korisniku pristup bajtovima 1 i 2. LKP bit definira je li potrebna lozinka za pristup određenim memorijskim stranicama. Konfiguriranjem bitova LKC7-LKC0 moguće je zaključiti memorijske stranice 4-63.

2.2.1 Naredbe Hitag S

Hitag S transpoder raspoznaje sljedeće naredbe:

UID REQUEST xx – Nakon što primi ovu naredbu transpoder šalje 4 bita koja označavaju početak paketa, 32 bita identifikacijskog broja i bit za oznaku kraja paketa.

SELECT (UID) – Prvih 5 bitova ove naredbe su postavljeni u nulu, nakon njih slijedi 32 bita identifikacijskog broja, a na kraju se nalazi 8 CRC bitova. Spomenuto je da ovisno o tome je li AUT bit postavljen transpoder će nakon primanja ove naredbe prijeći u stanje autentifikacije ili u stanje „Selected“. Kao odgovor transpoder natrag prema čitaču šalje prva 3 bajta memorije (tablica 3.)

CHALLENGE- Kada je primio te podatke čitač može vidjeti kako je transpoder konfiguriran i zaključiti u kojem se stanju nalazi. Ukoliko je autentifikacija uključena čitač šalje 32 bitni slučajno generirani broj, nakon kojeg slijedi 32 bitni kriptirani podatak.

SELECT QUITE- Pet najznačajnijih bitova su postavljeni u nulu, nakon njih slijedi 32 bita identifikacijskog broja transpodera, bit 0 i 8 bitni CRC. Ukoliko transpoder prepozna svoj identifikacijski broj prelazi u stanje „QUIET“.

2.3 Stellaris razvojna pločica

Stellaris LM3S6965 je razvojna pločica tvrtke „Texas Instruments“ (Slika 19.). Na njoj se nalazi istoimeni mikrokontroler M-3 Cortex arhitekture. Za napajanje pločice potreban je napon od 3.3 V . Za svrhe ovog rada pločica se napaja preko USB priključka. Iako su USB naponske razine iznosa 5 V, na pločici postoji regulator koji tu razinu spušta na potrebnih 3.3 V.

Na pločici se nalaze tri izvora takta za mikrokontroler . Oscilator od 8 MHz spojen je kao glavni izvor takta za mikrokontroler. Postoji interni PLL koji taj takt podiže na frekvenciju od 50 MHz. Treći izvor je frekvencije 25 MHz, potpuno je neovisan o glavnom oscilatoru i služi za sinkronizaciju u fizičkom sloju etherneteta.

Od ostalih komponenti na pločici se nalaza ulazno/izlani JTAG pinovi, OLED (engl. *organic LED*) ekran, sklopovlje za resetiranje mikrokontrolera ethernet kontroler, USB kontroler, čitač SD kartica, LED diode, zvučnik, tipke, i ulazno/izlazni pinovi koji predstavljaju izvode periferija mikrokontrolera. Preko pinova koji predstavljaju izvode UART periferije ostvarena je veza prema RFID modulu. Postoje još dva izvoda koji mogu poslužiti kao izvor napajanja od 3.3 V ili 5 V nekom vanjskom uređaju, a u sustavu implementiranom u ovom radu korišten je izvod od 5 V za napajanje digitalnog invertora SN74LS04N.

Pročitani podatci sa RFID transpodera se ispisuju na OLED ekranu. Rezolucije je 128x96 piksela. Potrebno mu je napajanje od 15 V stoga na pločici postoji pretvornik napona FAN5531. Za programiranje korištene su sljedeće naredbe:

RIT128x96x4Init()

- inicijalizira se ekran.

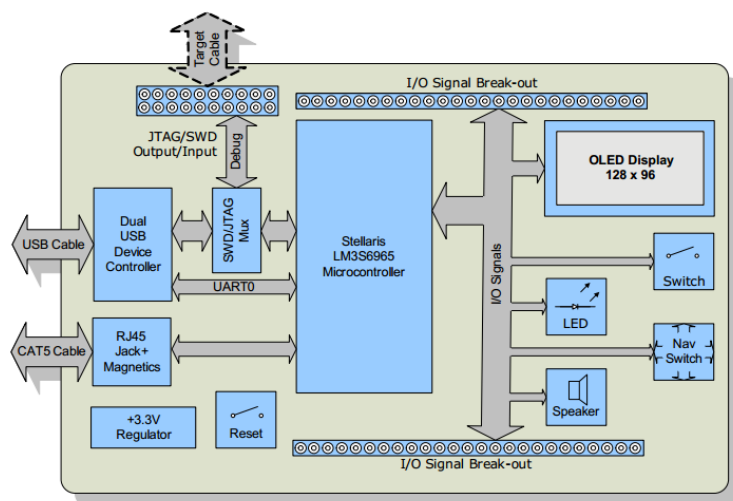
RIT128x96x4ImageDraw(*const unsigned char *puclmage, unsigned long ulX, unsigned long ulY, unsigned long ulWidth, unsigned long ulHeight*)

– ispisuje string na ekran. Parametri koje prima su pokazivač na string, svjetlina prikaza te x i y koordinate.

RIT128x96x4Clear()

– briše sve prikazano na ekranu.

Sve ove naredbe dio su paketa biblioteka pisanih u C jeziku i dolaze u sklopu Stellaris razvojnih pločica. Osim ekrana za realizaciju RFID sustava korištene su tipke koje su spojene na GPIO E i GPIO F periferije LM3S6965 mikrokontrolera te ethernet kontroler. Periferije i ethernet su opisani u sljedećem poglavlju.



Slika 19. Shematski prikaz Stellaris razvojne pločice (Texas Instruments, 2012)

2.4 Stellaris LM3S6965 mikrokontroler

Zadaća mikrokontrolera je prijem podataka sa RFID čitača, njihova obrada, prikaz na OLED ekranu, uspostava web servera i prikaz podataka na njemu i uspostava veze sa računalom putem etherneteta.

Porodica Stellaris mikrokontrolera temelji se na Cortex- M3 arhitekturi. Proizvodi ih „Texas Instruments“ prema licenci tvrtke ARM. Cortex pripada sedmoj generaciji ARM arhitekture procesora (ARMv7).

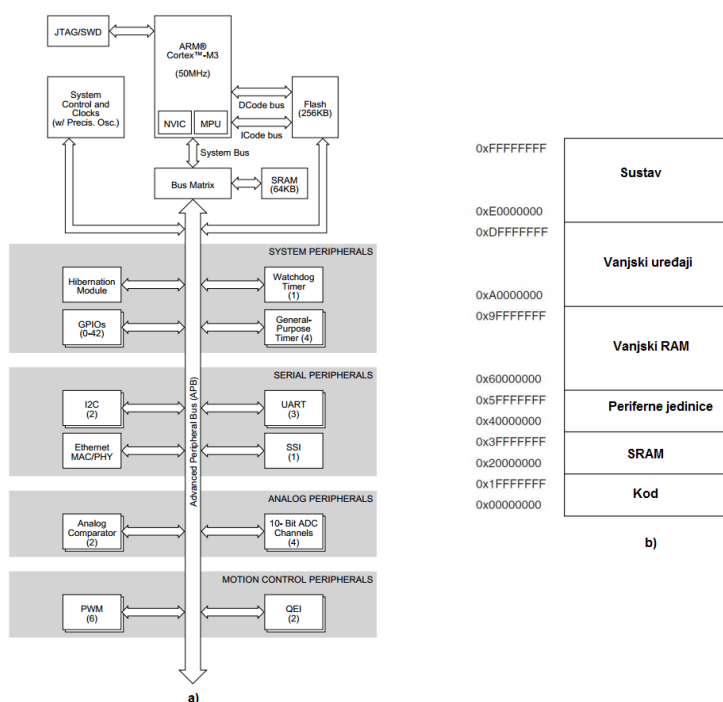
U sedmoj generaciji postoje tri profila procesora. Procesori koji spadaju pod A profil (engl. „application profile“) se primjenjuju tamo gdje su potrebne visoke performanse. To su primjerice pametni telefoni, laptopi, tablet računala, elektroničko plaćanje itd. U mogućnosti su pokrenuti složenije operacijske sustave poput iOS, Symbian, Android. R profil (engl. „real time profile“) Cortex procesora se primjenjuje na mjestima gdje postoje strogi zahtjevi na izvršavanje operacija u realnom vremenu. Primjer toga je ABS sustav kočenja u automobilima. M profil (engl. „microcontroller profile“), kojem pripada LM3S6965, se koristi u aplikacijama gdje je

potrebno zadovoljiti određene performanse, ali je jednako bitna cijena, potrošnja i jednostavnost. Zbog tih razloga pogodan je za primjenu u RFID sustavima.

Cortex M procesori su 32 bitni i temeljeni na Harvard arhitekturi. LM3S6965 može raditi na maksimalnom taktu od 50 MHz te ima podršku za Thumb-2 set instrukcija i za bit banding. Na istom čipu nalazi se 25kB flash memorije, 64kB SRAM memorije, a od perifernih jedinica UART, analogni komparator, inkrementalni enkoder, Watchdog, GP brojilo, I2C, GPIO, hibernacijski modul, AD pretvornik i SSI.

Zahvaljujući Thumb-2 setu nema potreba za zamjenom načina rada procesora između 32 bitnog i 16 bitnog već je moguće 32 bitne i 16 bitne instrukcije izvoditi u istom načinu rada. Time se postiže istovremeno veća gustoća koda i efikasnost i brzina izvođenja.

Bit banding omogućuje postavljanje vrijednosti bita u jednoj operaciji čitanja ili spremanja. To je moguće samo u bit band regiji koja se nalazi u prvom megabajtu SRAM dijela memorije te prvom megabajtu dijela memorije rezerviranog za periferne jedinice. Kompletna memorijska mapa prikazana je na slici 19 b). Procesor može adresirati do 4GB memorije.

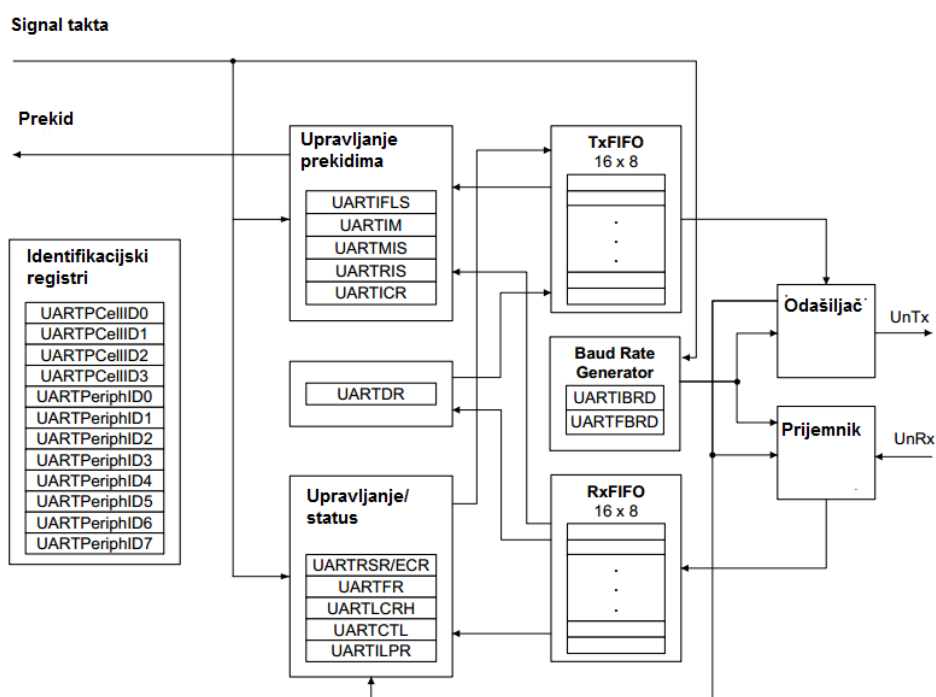


Slika 20. a) Blok shema mikrokontrolera, b) memorijska mapa (Texas Instruments 2012)

2.5 Periferne jedinice mikrokontrolera LM3S6965

2.5.1 UART (Universal Asynchronous Receivers/Transmitters)

Spomenuto je kako je komunikacija između RFID čitača i LM3S6965 mikrokontrolera ostvarena preko UART periferne jedinice. Riječ je o univerzalnom asinkronom prijemniku i odašiljaču. LM3S6965 posjeduje tri UART jedinice (UART0, UART1 i UART2), a veza prema čitaču je ostvarena preko UART1. Shematski prikaz jedne jedinice vidljiv je na slici 21.



Slika 21. blok shema UART jedinice (Texas Instruments)

Svaka jedinica posjeduje po jedan ulazni i izlazni FIFO registar veličine 16x8 bitova. Ukoliko je UART omogućen i upišemo podatke u izlazni FIFO, sklopovlje automatski pokreće proces odašiljanja koji traje sve dok ima podataka u izlaznom FIFO-u. Odašiljanje započinje postavljanjem start bita na TX pin nakon čega slijedi paralelno serijska pretvorba podataka u izlaznom FIFO. Bitovi podataka na TX pin dolaze počevši sa najmanje značajnim. Prijenos završava stop bitom.

Na sličan način funkcionira i prijem. Nakon što sklopovlje na ulazu detektira start bit, započinje serijsko paralelna pretvorba podataka na RX pinu. Primljeni

podatci se spremaju u ulazni FIFO registar. Prijenos također završava stop bitom. UART je moguće programirati tako da generira prekid kada se FIFO registar napuni do $1/8$, $1/4$, $1/2$, $3/4$ ili $7/8$ maksimalnog kapaciteta. Brzinu prijenosa je moguće podešavati u rasponu od 9600 do 115200 bitova po sekundi.

Za potrebe ovog rada uzeta je brzina prijenosa od 9600 bit/s i generiranje prekida na $7/8$ ukupnog kapaciteta FIFO registra.

U tablici možemo vidjeti popis korištenih registara. Pomak označava koliko je pojedini registar udaljen u memoriji od početne lokacije. Za UART0 početna lokacija je na adresi 0x4000C000, za UART1 na adresi 0x4000D000, a za UART2 na 0x4000E000.

Tablica 3 UART registri:

Registar	Pomak
UARTDR	0x00
UARTIBRD	0x024
UARTCTL	0x030
UARTIFLS	0x034
UARTIM	0x038
UARTICR	0x044

UART periferija se omogućuje postavljanjem bitova u registru UARTCTL. Brzina se može regulirati upisom u registar UARTIBRD. Podatke koje želimo odaslati upisujemo u registar UARTDR. Nakon što su upisani, osam najmanje značajnijih bitova se prebacuje u izlazni FIFO registar. Čitanjem istog registra pristupamo ulaznom FIFO-u. Prekidi se omogućuju postavljanjem odgovarajućih bitova u UARTIM registru, a razina popunjenosti ulaznog FIFO-a pri kojoj dolazi do generiranja prekida se regulira upisom u registar UARTIFLS. Kada se FIFO napuni do željene razine UART postavlja zastavicu koja predstavlja zahtjev za prekidom. Prilikom obrade prekida potrebno je tu zastavicu resetirati upisom u registar UARTICR.

Za potrebe ovog rada korištene su API funkcije koje olakšavaju manipulaciju sa spomenutim registrima. To su sljedeće funkcije:

UARTEnable (*unsigned long ulBase*)

- Funkcija pristupa registru UARTCTL i omogućuje rad željenoj UART periferiji. Za argumente prima početnu adresu željene UART.

UARTIntEnable (*unsigned long ulBase, unsigned long ulIntFlags*)

– Funkcija pristupa registru UARTIM i omogućuje ili onemogućuje UART prekide. Za argument funkcija prima početnu adresu registara željene UART jedinice te zastavice.

UARTCharsAvail (*unsigned long ulBase*)

– funkcija provjerava ima li podataka u ulaznom FIFO registru. Za argument prima adresu željene UART jedinice.

UARTCharGetNonBlocking (*unsigned long ulBase*)

- funkcija provjerava ima li još podataka u ulaznom FIFO registru. Za argument prima početnu adresu željene UART jedinice.

UARTCharPutNonBlocking (*unsigned long ulBase, unsigned char ucData*)

– funkcija upisuje podatke u izlazni FIFO. Argument joj je adresa željene UART jedinice i znak koji želimo poslati.

UARTFIFOLevelSet (*unsigned long ulBase, unsigned long ulTxLevel, unsigned long ulRxLevel*) – funkcija pristupa registru UARTIFLS i postavlja željenu razinu popunjenosti FIFOA pri kojoj se postavlja zahtjev za generiranjem prekida.

UARTIntClear (*unsigned long ulBase, unsigned long ulIntFlags*)

- funkcija resetira zahtjev za prekidom pristupom registru UARTICR. Argumenti su početna adresa željene UART i maska.

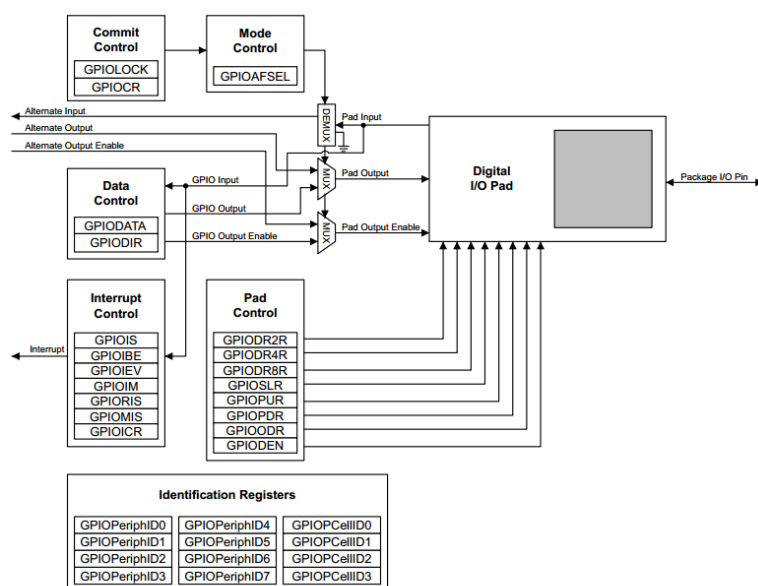
2.5.2 GPIO (General purpose input output.)

LM3S6965 posjeduje šest GPIO jedinica (GPOIA, GPIOB, GPIOC, GPIOD, GPIOE, GPIOF). Jedinica upravlja radom pinova opće namjene, njih ukupno 42. Svaka jedinica ima mogućnost generiranja prekida. Shematski prikaz je na slici 21.

Svaki GPIO pin ima alternativnu funkciju. Moguće je kontrolu nad pinom prepustiti nekoj drugoj perifernoj jedinici. U tom se slučaju se pin ponaša kao ulazni ili izlazni pin te jedinice. Primjerice alternativna funkcija pinova 2 i 3 GPIOD jedinice je primanje i odašiljanje podatka UART1 jedinice tj. navedeni pinovi preuzimaju

funkciju RX i TX. Odabir sklopovlja koje će imati kontrolu nad pinom postiže se upisom u GPIOAFSEL registar.

U ovom radu koriste se pinovi 0,1,2,3 GPIOE jedinice, pin 1 GPIO F jedinice jer su na te pinove spojene tipke Stellaris razvojne pločice. Također koriste se pinovi 2 i 3 GPIOD kao TX i RX UART1 jedinice.



Slika 22. Shema GPIO jedinice (Texas Instruments, 2010)

Bitovi u GPIODIR registru određuju je li pojedini pin konfiguriran kao ulazni ili kao izlazni. GPIODATA registar, ovisno o konfiguraciji pina, prosljeđuje podatke prema pinu ili sprema podatke koji dolaze sa pina.

Prekidne mogućnosti svake od GPIO jedinica definira skup od sedam registara. Prema procesoru se uvijek šalje jedan zahtjev za prekidom bez obzira traži li jedna GPIO jedinica prekid ili više njih. Prekidi se omogućuju upisom u GPIOIM. Registri GPIOIS, GPIOBE određuju hoće li GPIO generirati prekid na padajući ili uzdižući brid signala takta.

GPIODEN registar omogućuje digitalne signale. Kada su odgovarajući bitovi u tom registru postavljeni GPIO jedinica će na pinove postavljati signale sa logičkim vrijednostima. Početna adresa registara je 0x40025000 za GPIOE, a 0x40026000 za GPIO F.

Tablica 4 GPIO registri:

Registar	Pomak
GPDIR	0x000
GPDATA	0x400
GPIOIS	0x404
GPIOBE	0x408
GPIOASFEL	0x420
GPIDEN	0x51C

API funkcije koje olakšavaju rad sa registrima, a dio su Stellaris biblioteka su:

GPIOPinTypeUART(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins*) –

-Funkcija konfigurira pinove kao UART. Argumenti su željeni pinovi i početna adresa registara željene GPIO jedinice.

GPIOPinRead(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins*)-

-Čitanje stanja pina predanog kao argument.

GPIOPinIntEnable(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins*)-

-Ova funkcija pinovima koji su predani kao argumenti omogućuje prekide.

GPIOPinTypeGPIOInput(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins*)

-Pinove koji su predani kao argumenti funkcija konfigurira kao ulazne.

GPIOPinIntClear(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins*)-

-Briše se zastavica koja označava da postoji zahtjev za prekidom.

GPIOPadConfigSet(*unsigned long ulPort, unsigned char ucPins, unsigned long ulStrength*)- --Konfiguriranje izlazne snage signala na pinovima.

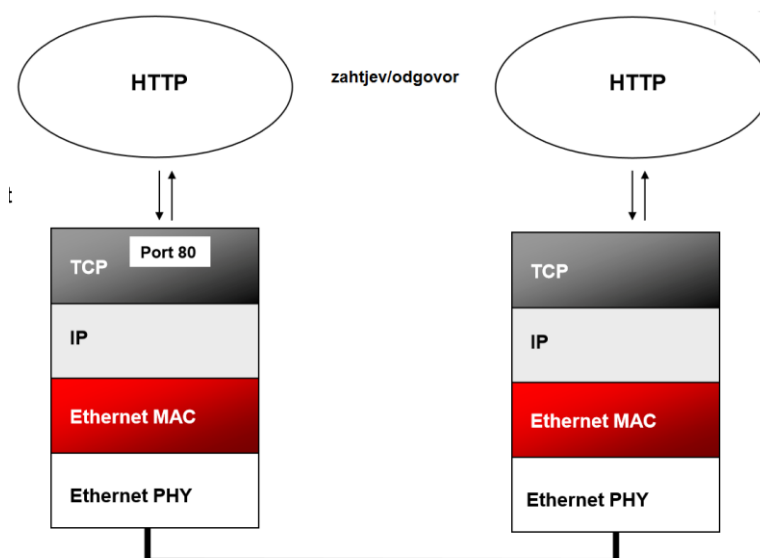
Sve funkcije su tipa „void“.

2.5.3 Ethernet kontroler

Ethernet (IEEE 802.3) je mrežna tehnologija za LAN mreže. Podaci se šalju u paketima koji su prilagođeni za slanje preko računalne mreže. Ethernet definira umrežavanje i signaliziranje za fizički sloj, te formate paketa i protokole za MAC, odnosno podatkovni sloj OSI modela. Podatci koji se šalju putem etherneteta podijeljeni su na okvire. Okvir se sastoji od bitova za sinkronizaciju, adrese

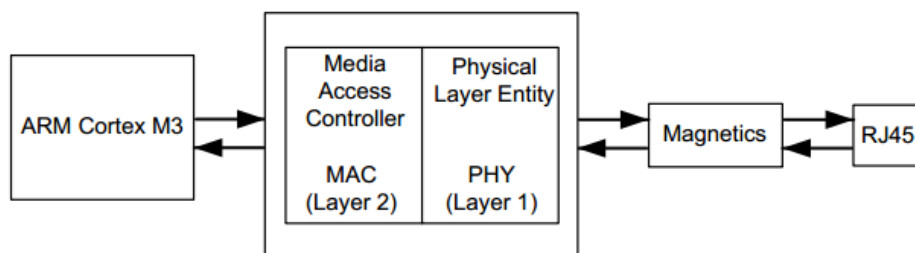
pošiljatelja, adrese primatelja, podataka i informacije o njihovoj duljini i CRC koda za provjeru ispravnosti poslanih podataka.

Ethernet se obično koristi fizičkom infrastrukturom izvedenom na principima strukturnog kabliranja. Koriste se UTP, FTP i STP kabeli. RFID sustav predstavljen u ovom radu povezan je UTP kabelom i RJ-45 konektorom sa računalom. Korišteni su i μ IP/TCP i HTTP protokoli što omogućuje korisniku uvid u identifikacijski broj RFID transpodaera putem web preglednika. Ti protokoli su otvorenog koda i namijenjeni su za ugradbena računala i mirkokontrolere.



Slika 23. komunikacija mikrokontroler-računalo (Texas Instruments, 2010)

Ethernet kontroler integriran je na isti čip kao LM3S6965 procesor i funkcijski je podijeljen na podatkovni MAC sloj i na mrežni fizički sloj. Ti slojevi odgovaraju prvom i drugom sloju u OSI modelu. Zadaća MAC sloja je razmjena podataka između mrežnih uređaja, briga to tome tko ima pristup fizičkom sloju i za detekcija i korekcija možebitnih grešaka na fizičkom sloju.



Slika 24. put signala između mikrokontrolera i RJ45 priključka (Texas Instruments, 2010)

Ethernet kontroler može istovremeno slati i primiti okvire. Posjeduje dva FIFO registra veličine 2kB, jedan za pohranjivanje primljenog okvira, a drugi za pohranjivanje okvira kojeg želimo poslati. Ukoliko u ulaznom FIFO-u nema dovoljno mjesta, kontroler će signalizirati pogrešku postavljanjem odgovarajućeg bita u MACRIS registru.

Kao i prethodno spomenute periferne jedinice Ethernet kontroler ima mogućnost generiranja prekida. Zahtjev za prekidom može biti postavljen u slučaju kada dođe do pogreške prilikom primanja ili slanja okvira, kada je okvir uspješno odaslan ili kada je primljen okvir. Prekidi se omogućuju upisom u MACIM registar. Preko MACDATA se pristupa ulaznom i izlaznom FIFO registru. MAC adresa se postavlja preko MACIA0 i MACIA1 registara. Početna adresa registara je na 0x40048000

Tablica 5 Ethernet registri:

Registar	Pomak
MACRIS	0x000
Registar	Pomak
MACIM	0x004
MACDATA	0x010
MACIA0	0x014
MACIA1	0x018

Korištene API funkcije:

EthernetIntEnable(*unsigned long ulBase, unsigned long ulIntFlags*);

-Omogućavanje prekida

EthernetIntDisable(*unsigned long ulBase, unsigned long ulIntFlags*);

-Onemogućavanje prekida

EthernetPacketGetNonBlocking(*unsigned long ulBase, unsigned char *puc, long lBufLen*);

-Čitanje okvira iz ulaznog FIFO registra

EthernetMACAddrSet(*unsigned long ulBase, unsigned char *pucMACAddr*);

-Postavljanje MAC adrese.

EthernetIntClear(*unsigned long ulBase, unsigned long ulIntFlags*);

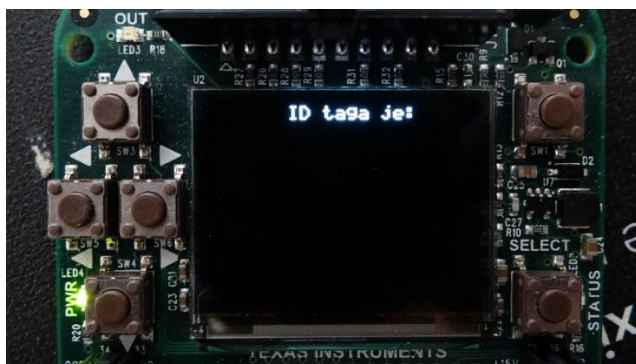
-Brisanje zastavice koja označava zahtjev za prekidom.

3. Rezultati

Način na koji je sustav spojen je opisan i prikazan u poglavlju 2.1. Brzina prijenosa podataka između RFID čitača i Stellaris mikrokontrolera je postavljena na 9600 bit/s. U jednom paketu se uvijek šalje osam ASCII znakova. Ne koristi se paritetna zaštita.

RFID modul se napaja 12V ispravljačem, a Stellaris pločica preko USB priključka.

Nakon priključka napajanja na OLED ekranu Stellaris razvojne pločice ispisiše se poruka „ID taga je“ kao što je prikazano na slici. Kada transponder uđe u magnetsko polje RFID čitača, na RFID modulu se upali crvena LED dioda, a na OLED ekranu se ispisiše identifikacijski broj transpodera.

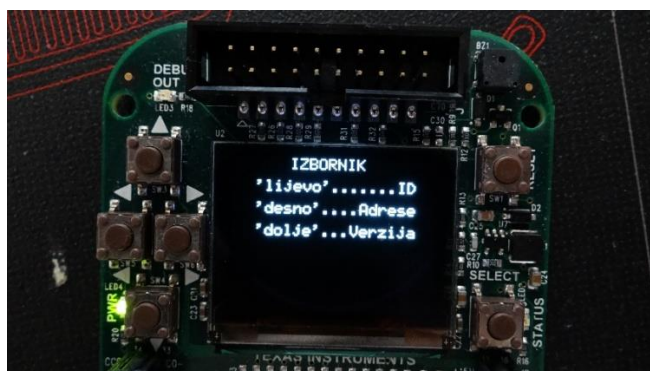


Slika 25. ekran nakon priključenja napajanja



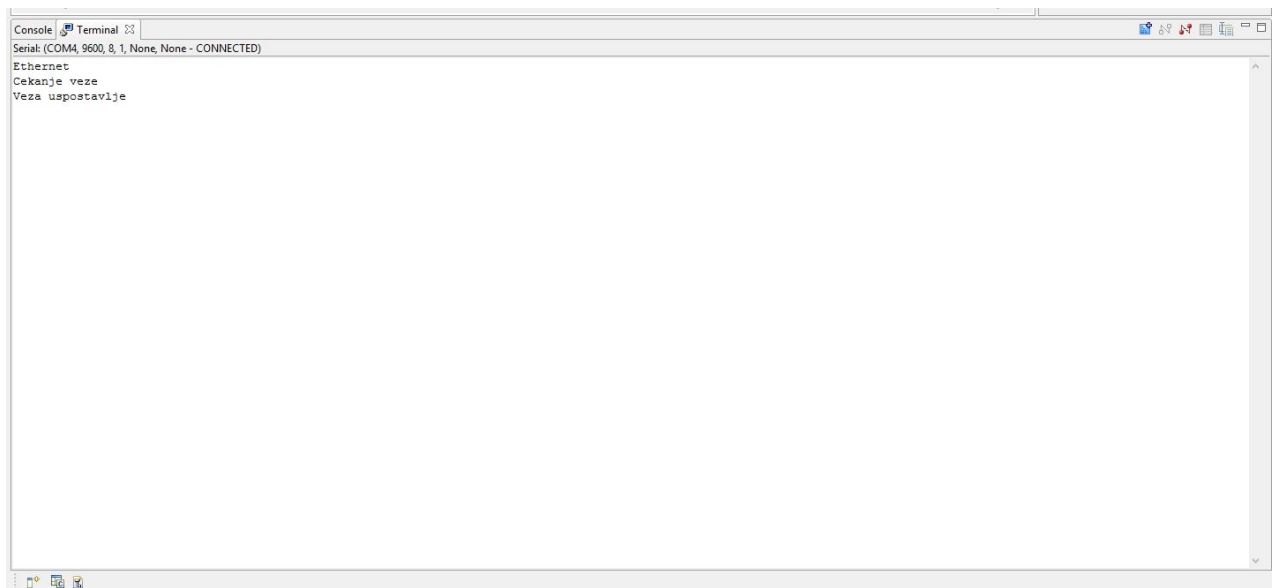
Slika 26. ekran nakon što se pročita RFID oznaka

Pritiskom na tipku „SELECT“ na ekranu se pojavljuje izbornik. Pritiskom na lijevu tipku sustav nastavlja čitati identifikacijske oznake. Pritiskom na desnu tipku sustav će pročitati i na ekranu ispisati podatke koji se nalaze u internoj memoriji transpodera koji je u dometu magnetskog polja čitača.



Slika 27. glavni izbornik

Ako su sustav i računalo povežemo UTP kabelom, mikrokontroler će preko serijske veze poslati poruku „čekanje veze“, a nakon što se veza uspješno uspostavi biti će poslana poruka „veza uspostavljena“. Nakon toga je moguće u Internet pregledniku otvoriti stranicu sa slike 28. Kao adresu potrebno je upisati IP mikrokontrolera. Koristi se statička IP adresa: 169.254.19.63



Slika 28. uspostavljanje ethernet veze sa računalom



Slika 29. web stranica

4. Zaključak

Bez obzira radi li se numeriranju artikala u skladištu, održavanju voznog parka ili vođenju životinjske farme postoji potreba za automatiziranim prikupljanjem podataka o imovini. RFID tehnologija pruža inovativno rješenje za prikupljanje i analizu podataka i omogućuje jednostavnu identifikaciju i lociranje imovine.

Pod istim akronimom kriju se raznolika rješenja i mogućnosti ove tehnologije. Koristi se širok spektar frekvencija, različiti transpoderi i čitači i različiti načini izmjene podataka svaki sa svojim prednostima i manama. U ovom radu realiziran je i opisan jedan sustav koji radi na principu elektromagnetske indukcije na frekvenciji od 125kHz.

Rastom mogućnosti elektroničkih uređaja, raste korisnost i domena primjene RFID tehnologije. Ukoliko cijene nastave padati očekuje se da će se u budućnosti transpoderi integrirati u artikle prilikom proizvodnje. Podatci će biti dostupni na Internetu i primjerice prislanjanjem boce soka uz mobitel biti će moguće saznati gdje i kada je boca proizvedena kao i gdje se nalaze sve boce proizvedene unutar istog sata ili dana. Nadalje transpoderi u odjeći će moći signalizirati perilici o načinu pranja, hladnjaci će na temelju identifikacije raspoloživih namirnica pretraživati Internet i nuditi korisniku recepte itd. (O' Bryen, 2006).

Unatoč velikom potencijalu brojne tvrtke još nisu svjesne prednosti koje RFID tehnologija pruža. Bar kodovi su limitirano, ali još uvijek jeftinije rješenje, a potrebno je unaprijediti i sigurnosne aspekte. Tehnologija se još razvija i biti će zanimljiva za buduće studije.

5. Literatura

- [1] Ian Poole, RFID Tags, Tagging, & Smart Labels
<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/radio-frequency-identification-rfid/tags-tagging-transponders-smart-labels.php>, datum pristupa: 22. svibnja 2013
- [2] Mary O'Bryen, RFID Essentials, datum nastanka: siječanj 2006,
http://books.google.hr/books?id=cKKZoH48D4cC&printsec=frontcover&dq=rfid&hl=hr&sa=X&ei=qJB_UaK8FNHwtQbyzYHoAw&ved=0CEYQ6AEwBDgK, datum pristupa: 25. svibnja 2013
- [3] Roy Want, RFID Explained, godina nastanka: 2006
http://books.google.hr/books?id=sNnABdDhs_8C&printsec=frontcover&dq=rfid&hl=hr&sa=X&ei=qJB_UaK8FNHwtQbyzYHoAw&ved=0CCsQ6AEwADgK, datum pristupa: 22. svibnja 2013
- [4] Inductive RFID Modeling,
http://www.ece.gatech.edu/research/tessal/RFID/Inductive_RFID_Fundamental_Concepts.pdf, datum pristupa: 24. svibnja 2013
- [5] Daniel M. Dobkin, RF in RFID Tutorial, datum nastanka: prosinac 2012,
http://www.enigmaticconsulting.com/Communications_articles/RFID/RFID_readers.html, datum pristupa: 26. svibnja 2013
- [6] Texas Instruments, Stellaris LM3S6965 Microcontroller Data Sheet, datum nastanka: 6. lipnja 2010, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3s6965.pdf>, datum pristupa: 1. lipnja 2013
- [7] Texas Instruments, Stellaris LM3S6965 Evaluation Board User Manual, datum nastanka: 18. lipnja 2012, <http://www.ti.com/lit/ug/spmu029a/spmu029a.pdf>, datum pristupa: 2. lipnja 2013
- [8] NXP Semiconductors, HITAG S transponder IC, datum nastanka: 18. listopada 2013 http://www.nxp.com/documents/short_data_sheet/HTSICH56_48_SDS.pdf, datum pristupa: 28. svibnja 2013

- [9.] Kuzamović B, Osnove Elektrotehnike I : Mahnetsko polje, 2. izdanje, Zagreb:Element, 2000.
- [10.] Denis Royer ,A Structured Collection on Information and Literature on Technological and Usability Aspects of Radio Frequency Identification (RFID), <http://www.fidis.net/resources/fidis-deliverables/hightechid/int-d3700/doc/6/> , datum pristupa: 20. svibnja 2013
- [11.] RFID Security, datum nastanka: veljača 2008
<http://www.infosec.gov.hk/english/technical/files/rfid.pdf>, datum pristupa : 1. lipnja 2013
- [12.] Lisa O'Neil, RFID Technology Creating Jobs, Impacting Americans With Increasing Frequency, datum nastanka: 11. listopad 2010,
<http://energy.gov/articles/rfid-technology-creating-jobs-impacting-americans-increasing-frequency> , datum pristupa: 22. svibnja 2013
- [13.]Elaps, Elpas Active RFID Tags,
<http://www.visonictech.com/Elpas-Active-RFID-Tags.html>, datum pristupa 14.lipnja 2013
- [14.] Jerry Banks, David Hanny, Manuel Panchano, Les G. Thompson. RFID Applied, godina nastanka: 2007,
http://books.google.hr/books?id=7TTHouZ5ExwC&printsec=frontcover&dq=rfid&hl=hr&sa=X&ei=YT6_UduLHsTMtAaoyYDYCw&ved=0CFIQ6AEwBQ#v=onepage&q=rfid&f=false , datum pristupa: 27. svibnja 2013

6. Sažetak

Portabilni bežični čitač RFID oznake temeljen na ugradbenom računalu

RFID je kratica za radio frekvencijsku identifikaciju. To je tehnologija koja koristi radio frekvencije valove ili promjenjivo magnetsko polje za razmjenjivanje informacija između prijenosnih uređaja/memorija i računala. Osnovne komponente RFID sustava su transpoder i čitač. Transpoder je čip koji u svojoj memoriji sadrži jedinstveni identifikacijski broj. Transpodere dijelimo na aktivne i na pasivne. Aktivni imaju vlastiti izvor napajanja poput baterije, a pasivni koriste signal čitača za napajanje. Neki transpoderi imaju i vlastitu izbrisivu memoriju. Veza između čitača i transpodera može biti ostvarena pomoću elektromagnetske indukcije ili pomoću elektromagnetskih valova. U slučaju kada se koristi indukcija čitač pomoću zavojnice stvara magnetsko polje. Kada transpoder uđe u to polje dobiva energiju za napajanje čipa. Počinje teći struja kroz zavojnicu transpodera i stvara se magnetsko polje suprotno magnetskom polju čitača. Čitač može detektirati te promjene. Mijenjanjem iznosa struje, a time i jakosti magnetskog polja transpoder modulira informaciju. Kod druge metode antena transpodera hvata elektromagnetske valove koje odašilje čitač. Antenu je moguće podesiti da apsorbira većinu zračenja iz određenog frekvencijskog područja. Međutim dio zračenja se reflektira natrag prema čitaču. Promjenom impedancije antene možemo utjecati na iznos reflektiranog zračenja. Modulacije koje se koriste su: ASK, PSK i FSK. U sklopu ovog rada implementiran je jedan RFID sustav. Njegove komponente su mikrokontroler porodice „Stellaris“, LM3S550985 tvrtke Texas Instruments, 125kHz RFID modul tvrtke „IDtronic“, antena od 30μH, RFID oznake tipa HITAG S i inverter signala. Sustav čita identifikacijsku oznaku i ispisuje je ju na ekranu. Sustav je moguće umrežiti sa računalom i putem Internet preglednika pratiti pročitane RFID oznake. Kod je pisan C jezikom u „Code composer“ razvojnom okruženju. Za pristup registrima mikrokontrolera i periferija korištene su API funkcije koje su dio Stellaris biblioteke. Korišteni su otvoreni kodovi za implementaciju Internet i http protokola.

Ključne riječi: RFID, čitač, transpoder, ugradbeno računalo, Stellaris

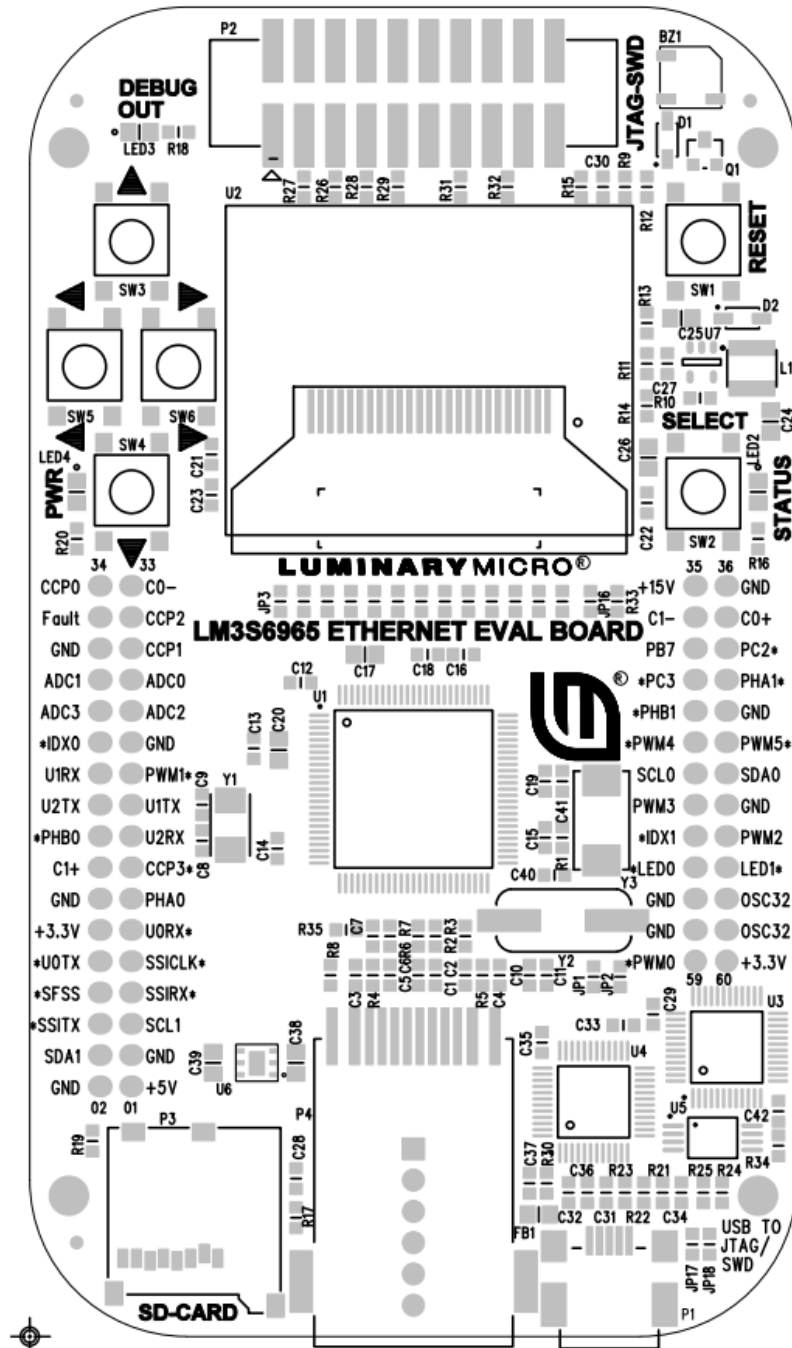
Portable wireless RFID system based on an embedded computer

RFID stands for radio frequency identification. It is a technology that uses radio frequency waves or variable magnetic field for exchanging information between a tag and computer. The basic components of an RFID system are transponder and reader. The transponder chip in its memory contains a unique identification number. Transponders can be divided into two groups: active and passive. Active ones have their own power source, such as batteries, while passive ones are powered by incoming readers signal. Some transponders have their own flash memory. The connection between the reader and the transponder can be achieved by using electromagnetic induction or electromagnetic waves. In case electromagnetic induction is used, a coil that is attached to reader creates a magnetic field. When the transponder enters that field, it gets the energy to power the IC. Current begins to flow through the transponder coil and it generates a magnetic field that is opposite in direction to field created by reader coil. The reader can detect changes in the surrounding magnetic field. By varying the strength of current that passes through transpoder coil, and thus the strength of the magnetic field one can modulate information. When "far field" method is used, transponder antenna captures electromagnetic waves emitted by the reader. The antenna can be adjusted to absorb most of the radiation from a given frequency range. However, part of the radiation is reflected back to the reader. By changing the impedance of the antenna one can affect the amount of reflected radiation. Modulations that are used: ASK, PSK and FSK. As part of this paper one such RFID system was implemented. Its components are microcontroller "Stellaris" LM3S550985 of Texas Instruments, 125kHz RFID module of "IDtronic", a 30 μ H coil, Hitag S RFID tag and digital signal invertor. The system reads the transpoder ID and prints it on the OLED screen. The system can be networked with a PC via UTP cable and an Internet browser can be used to monitor RFID tags. Code is written in C language in the "Code Composer" development environment. To access the registers of the microcontroller and peripherals API functions that are part of the Stellaris library have been used. Also open source internet protocol has been used.

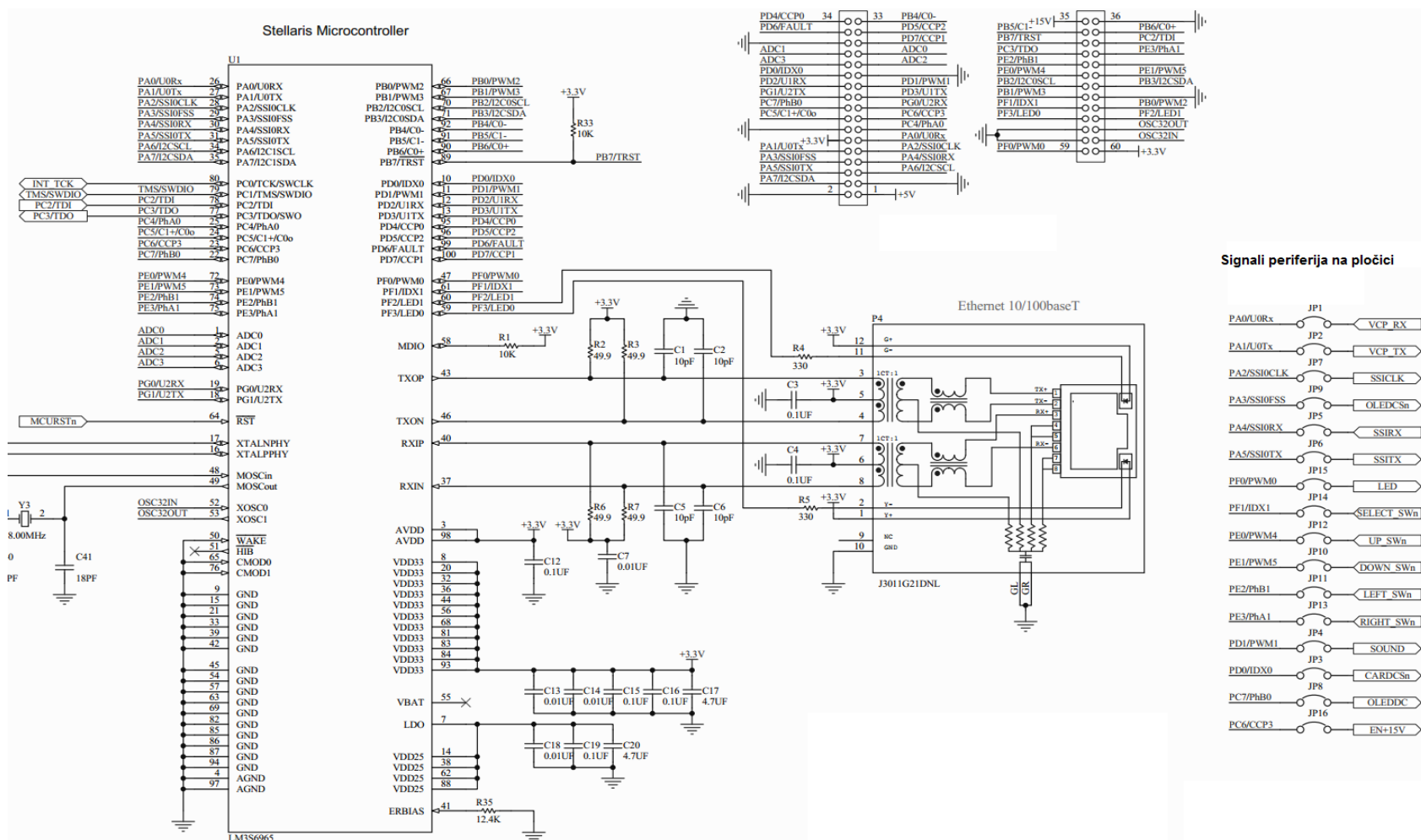
Keywords: RFID, reader, transpoder, embedded computer, Stellaris

7. Privitak

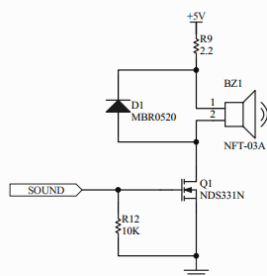
7.1 Stellaris razvojna pločica- lokacije komponenti



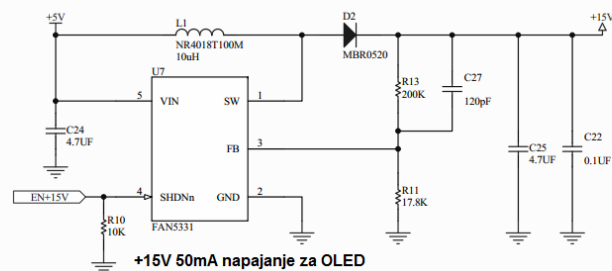
7.2 Stellaris LM3S6965 mikrokontroler



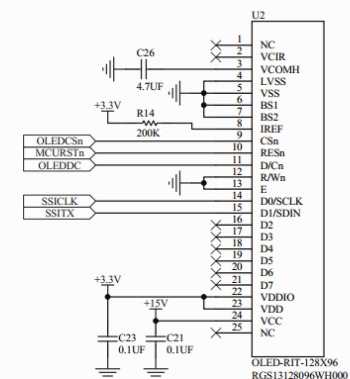
7.3 Tipke, micro SD i audio na Stellaris razvojnoj pločici



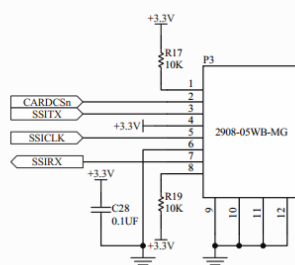
krug mikrofona



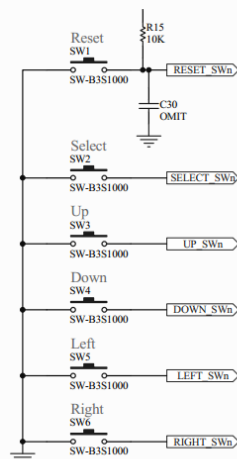
+15V 50mA napajanje za OLED



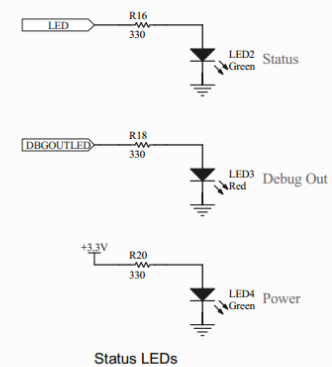
128x96 OLED ekran



micro SD

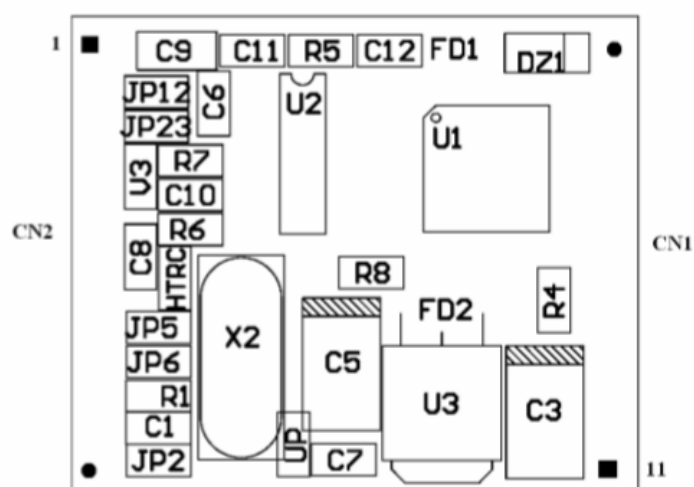


Korisničke tipke



Status LEDs

7.4 Idtronic RFID modul



CN1:

Naziv	Pin	Opis
ARX	1	Antena RX
ATX	2	Antena TX
VDD	3	Napajanje +5V
GND	4	Uzemljenje
ATX2	5	Antena TX2
GND	6	Uzemljenje
RES	7	rezervirano
RES	8	rezervirano
RES	9	rezervirano
RES	10	Rezervirano

CN2:

Naziv	Pin	Opis
RX	11	RX od mikrokontrolera
TX	12	TX prema mikrokontroleru
RES	13	rezervirano
RES	14	rezervirano
RES	15	Rezervirano
EN	16	5V=čitač omogućen, 0V=čitač onemogućen
LEDr	17	Crvena LED dioda
LEDg	18	Zelena LED dioda
GND	19	Uzemljene
VCC	20	+5V DC napajanje

7.5 C kod

7.5.1 „Main“ skripta

```
#include "inc/hw_ints.h"
#include "inc/hw_memmap.h"
#include "inc/hw_types.h"
#include "driverlib/debug.h"
#include "driverlib/gpio.h"
#include "driverlib/interrupt.h"
#include "driverlib/sysctl.h"
#include "driverlib/uart.h"
#include "drivers/rit128x96x4.h"
#include "driverlib/adc.h"
#include "utils/ustdlib.h"

char output[];
unsigned long g=20;
unsigned long i=0,j=0;
char
y[20]={0},adresa[24]={'r','0','1','r','0','2','r','0','3','r','0','4','r',
'0','5','r','0','6','r','0','7','r','0','8'};
int x=1,zastavica=0,zastavica2;
unsigned long g_ulFlags;

extern int pokreni_ethernet(void);
extern void httpd_inc_page_count(char x);
#ifdef DEBUG
void
__error__(char *pcFilename, unsigned long ulLine)
{
}
#endif

void
UART0IntHandler(void)
{
    unsigned long ulStatus;
    char aa;

    //

    //
    ulStatus = UARTIntStatus(UART0_BASE, true);

    //
    //
    //
    UARTIntClear(UART0_BASE, ulStatus);

    while(UARTCharsAvail(UART0_BASE))
    {
        //

        aa=UARTCharGetNonBlocking(UART0_BASE);
        UARTCharPutNonBlocking(UART0_BASE,aa);
    },
```

```

UARTIntHandler1(void)
{

    unsigned long ulStatus1;

    //

    //
    // dohvat Interrupt statusa
    //
    ulStatus1 = UARTIntStatus(UART1_BASE, true);

    //
    // čišćenje zahtjeva za prekidom
    //
    UARTIntClear(UART1_BASE, ulStatus1);

    //
    // vrti petlju dok ima znakova u FIFOu
    //
    //

    while(UARTCharsAvail(UART1_BASE))
    {

        y[i]=UARTCharGetNonBlocking(UART1_BASE);

        if (y[i]>=31 && y[i]<123 && y[i]!='.'){

            UARTCharPutNonBlocking(UART0_BASE,y[i]);
            httpd_inc_page_count(y[i]);

            usprintf(output,"%c",y[i]);

            RIT128x96x4StringDraw(output, x+=7, g, 15);

            i=(i+1)%16;

        }

        else if (y[i]=='\n'){
            x=1;
            httpd_inc_page_count(y[i]);
            UARTCharPutNonBlocking(UART0_BASE,'\n');
            UARTCharPutNonBlocking(UART0_BASE, 0xD);
            //RIT128x96x4Clear();

        }

    }
}

```

```

void
UARTSend(const unsigned char *pucBuffer, unsigned long ulCount)
{
    //
    // vrati petlju dok ima znakoca za slati.
    //
    while(ulCount--)
    {
        //
        // posalji znak na UART.
        //
        UARTCharPutNonBlocking(UART0_BASE, *pucBuffer++);
    }
}

GPIOIntHandler(void) {

    RIT128x96x4Clear(); // glavni izbornik
    RIT128x96x4StringDraw("IZBORNIK", 36, 0, 15);
    RIT128x96x4StringDraw("'lijevo'.....ID", 15, 14, 15);
    RIT128x96x4StringDraw("'desno'....Adrese", 15, 28, 15);
    RIT128x96x4StringDraw("'dolje'...Verzija", 15, 42, 15);

    GPIOPinIntClear(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1);

    int pin=15,brojac=0,ind=0;

    if(HWREGBITW(&g_ulFlags, 1)==1){
        UARTCharPutNonBlocking(UART1_BASE, 'c');
        HWREGBITW(&g_ulFlags, 1)^=1;
    }
    zastavica=0;
    while (pin==15){
        pin=GPIOPinRead(GPIO_PORTE_BASE, GPIO_PIN_0 |
GPIO_PIN_1 | GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3 );
    }
    RIT128x96x4Clear();
    if(pin==13) //HWREGBITW(&g_ulFlags, 1) = 1;
    {
        SysCtlDelay(SysCtlClockGet() / 12);
        UARTCharPutNonBlocking(UART1_BASE, 'v');
    }
    if(pin==11) //HWREGBITW(&g_ulFlags, 1) = 1;
    {
        g=20;
        RIT128x96x4StringDraw("ID taga je :", 36, 0, 15);
        if(HWREGBITW(&g_ulFlags, 1)==0){
            UARTCharPutNonBlocking(UART1_BASE, 'c');
            HWREGBITW(&g_ulFlags, 1)^=1;
        }
    }
}

```

```

    }
    if(pin==7) //HWREGBITW(&g_ulFlags, 1) = 1;
    {
        g=0;
        ind=0;

        RIT128x96x4StringDraw("Podatci", 1, 0, 15);
        while(ind<24){

            brojac=0;

            while(brojac<3){
                UARTCharPutNonBlocking(UART1_BASE,adresa[ind]);
                brojac++;
                ind++;
            }
            g+=12;
            SysCtlDelay(SysCtlClockGet() / 8);

        }
        GPIOPinIntClear(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1);
    }

}
int
main(void)
{
    //
    //
    //
    SysCtlClockSet(SYSCTL_SYSDIV_1 | SYSCTL_USE_OSC | SYSCTL_OSC_MAIN |
        SYSCTL_XTAL_8MHZ);

    //
    // inicijalizacija OLED ekrana.
    //
    RIT128x96x4Init(1000000);
    RIT128x96x4StringDraw("ID taga je:", 36, 0, 15);

    //
    // omogućavanje periferija.

    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_UART0);
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOA);

    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_UART1);
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOD);

    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOF);
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOE);

```

```

SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_ETH);
SysCtlPeripheralReset(SYSCTL_PERIPH_ETH);

//
// omogući F port za ethernet LED
GPIOPinTypeEthernetLED(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_2 | GPIO_PIN_3);

//
// omogući systick periodički prekid.
//

SysTickEnable();
SysTickIntEnable();

//
// inicijalizacija ethernet kontrolera i onemogućavanje ethernet
// prekida, biti će ponovo omogućeni u pokreni_ethernet() funkciji nakon
// uspostavljanja veze

EthernetIntDisable(ETH_BASE, (ETH_INT_PHY | ETH_INT_MDIO |
ETH_INT_RXER | ETH_INT_RXOF | ETH_INT_TX | ETH_INT_TXER | ETH_INT_RX));
ulTemp = EthernetIntStatus(ETH_BASE, false);
EthernetIntClear(ETH_BASE, ulTemp);

EthernetInitExpClk(ETH_BASE, SysCtlClockGet());

//
// full duplex, automatsko generiranje CRC na kraju TX
EthernetConfigSet(ETH_BASE, (ETH_CFG_TX_DPLXEN | ETH_CFG_TX_CRCEN |
ETH_CFG_TX_PADEN));

//
// omogući prekide.
//
IntMasterEnable();

//
// Postavio GPIO A0 i A1 kao UART pinove
//
GPIOPinTypeUART(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1);
GPIOPinTypeUART(GPIO_PORTD_BASE, GPIO_PIN_3 | GPIO_PIN_2);

GPIOPinTypeGPIOInput(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1);
GPIOPadConfigSet(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_1,
GPIO_STRENGTH_2MA, GPIO_PIN_TYPE_STD_WPU);
GPIOIntTypeSet(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1, GPIO_FALLING_EDGE);

GPIOPinTypeGPIOInput(GPIO_PORTE_BASE, GPIO_PIN_1 | GPIO_PIN_2 |
GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_3);
GPIOPadConfigSet(GPIO_PORTE_BASE, GPIO_PIN_1 | GPIO_PIN_2 |
GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_3, GPIO_STRENGTH_2MA, GPIO_PIN_TYPE_STD_WPU);

```

```

//
// konfiguracija UART, 9600 bit/s.
//
UARTConfigSetExpClk(UART0_BASE, SysCtlClockGet(), 9600,
                    (UART_CONFIG_WLEN_8 | UART_CONFIG_STOP_ONE |
                     UART_CONFIG_PAR_NONE));
UARTConfigSetExpClk(UART1_BASE, SysCtlClockGet(), 9600,
                    (UART_CONFIG_WLEN_8 | UART_CONFIG_STOP_ONE |
                     UART_CONFIG_PAR_NONE));

//
// omogući UART/GPIO prekide.
//
IntEnable(INT_UART0);
IntEnable(INT_UART1);
IntEnable(INT_GPIOF);

UARTIntEnable(UART0_BASE, UART_INT_RX | UART_INT_RT);
UARTIntEnable(UART1_BASE, UART_INT_RX | UART_INT_RT);
GPIOPinIntEnable(GPIO_PORTF_BASE, GPIO_PIN_1);

//
IntPrioritySet(INT_UART1, 0x00);
IntPrioritySet(INT_UART0, 0x00);
IntPrioritySet(INT_GPIOF, 0x40);
IntPrioritySet(INT_ETH, 0x40);
HWREGBITW(&g_ulFlags, 1)=1;

pokreni_ethernet();
}

```


7.5.2 Web server

```
#include "uip.h"
#include "httpd.h"

//*****
#define BUF_APPDATA ((u8_t *)uip_appdata)

//*****
#define HTTP_NOGET      0
#define HTTP_FILE       1
#define HTTP_TEXT       2
#define HTTP_FUNC       3
#define HTTP_END        4

int ind=0;

//*****
struct httpd_state *hs;

static const char page_not_found[] =
"HTTP/1.0 404 OK\r\n"
"Server: UIP/1.0 (http://www.sics.se/~adam/uip/)\r\n"
"Content-type: text/html\r\n\r\n"
"<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN\"
"http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd\">"
"<html>"
"  <head>"
"    <title>Page Not Found!</title>"
"  </head>"
"  <body>"
"    Page Not Found!"
"  </body>"
"</html>";

static const char default_page_buf1of3[] =
"HTTP/1.0 200 OK\r\n"
"Server: UIP/1.0 (http://www.sics.se/~adam/uip/)\r\n"
"Content-type: text/html\r\n\r\n"
"<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN\"
"http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd\">"
"<html>"
"  <head>"
"    <title>Web server</title>"
"  </head>"
"  <body>"
"    <center>"
"      <h1>WEB server</h1>"
"      <p>Ovo je RFID čitač"

"    <hr width=\"75%\">"
"    <p>ID taga je:";
static char default_page_buf2of3[] =
"0000000000";
```

```

static const char default_page_buf3of3[] =
    " "

    "</center>"
    "</body>"
    "</html>";

//*****
.
//
//*****
void
httpd_inc_page_count(char a)
{
    //
    // postavljanje chara a na mjesto „ind“ u spremniku
    default_page_buf203
    //
    //

    if(a=='\n') ind=0;

    default_page_buf2of3[ind]=a;
    ind++;

}

//*****
//
// inicijalizacija web servera
// „slušanje“ na portu 80.
//
//*****
void
httpd_init(void)
{
    //
    //
    // „slušanje“ na portu 80
    uip_listen(HTONS(80));
}

//
//*****
void
httpd_appcall(void)
{
    switch(uip_conn->lport)
    {

```

```

//
// Ovo je web server:
//
case HTONS(80):
{

    hs = (struct httpd_state *)&(uip_conn->appstate);

    //
    //
    // Ukoliko je uip_connected razlicit od nule uspostavljena je
veza sa „hostom“ . Ukoliko je uip_newdata() razlicit od nule host je poslao
nam podatke. Ukoliko je uip_acked() razlicit od nula host je poslao odgovor
da je primio podatke koje smo mu poslali
    if(uip_connected())
    {
        //
        // hs->count oznacava broj podataka koje smo poslali
hostu, kako je veza tek uspostavljena postavljamo ga na nulu
variable
        // hs->state postavljamo u HTTP_NOGET sto znaci da nije
primljena http naredba get

        hs->state = HTTP_NOGET;
        hs->count = 0;
        return;
    }
    else if(uip_poll())
    {
        //
        // Ukoliko je trenutna http_apcall() funkcija pozvana 10
puta zaredom prekidamo vezu
        //
        if(hs->count++ >= 10)
        {
            uip_abort();
        }
        return;
    }
    else if(uip_newdata() && hs->state == HTTP_NOGET)
    {
        //
        // prvi podatci koje primamo, moraju sadrzavati „GET“
        //
        if(BUF_APPDATA[0] != 'G' ||
            BUF_APPDATA[1] != 'E' ||
            BUF_APPDATA[2] != 'T' ||
            BUF_APPDATA[3] != ' ')
        {

            // ukoliko nema „GET“ prekidamo vezu.

            uip_abort();
            return;
        }
    }
}

```

```

        //
        //provjera što trebamo slati.
        //
        if((BUF_APPDATA[4] == '/') &&
            (BUF_APPDATA[5] == ' '))
        {
            //
            // šalji prvi spremnik
            //
            uip_send(default_page_buf1of3,
                    sizeof(default_page_buf1of3) - 1);

        }
        else
        {
            uip_send(page_not_found,
                    sizeof(page_not_found) - 1);
            hs->count = 3;
        }
    }
    else if(uip_acked())
    {
        hs->count++;
        if(hs->count == 1)
        {
            uip_send(default_page_buf2of3,
                    sizeof(default_page_buf2of3) - 1);
        }
        else if(hs->count == 2)
        {
            uip_send(default_page_buf3of3,
                    sizeof(default_page_buf3of3) - 1);
        }
        else if(hs->count == 3)
        {
            uip_close();
        }
        else
        {
            uip_close();
        }
    }
    // vraćanje na uIP //
    return;
}

default:
{
    // do ovog djela program ne bi trebao doci
    uip_abort();
    break;
}
}
}

```