

Prototipna implementacija sustava kontrole pristupa temeljena na tehnologiji RFID

Prototype implementation of RFID access control system

¹Andrija Romančuk, ²Mihael Kukec

¹student Međimurskog veleučilišta u Čakovcu

²Međimursko veleučilište u Čakovcu

Bana Josipa Jelačića 22a, 40 000 Čakovec, Hrvatska

e-mail: ¹aromancuk@student.mev.hr, ²mihael.kukec@mev.com

Sažetak: *U ovom radu iznose se mogućnosti izrade sustava za kontrolu pristupa pomoću platforme za razvoj sklopovskih rješenja „Raspberry Pi“, te se opisuje praktično realizirani sustav temeljen na tehnologiji RFID. Za izvršenje navedenih zadataka uporabljeno je miniračunalo Raspberry Pi Model B pogonjeno operacijskim sustavom Raspbian koji je izvedenica operacijskog sustava GNU/Linux a temelji se na distribuciji Debian. Za potrebe izrade programskog dijela rješenja korišteni su programski jezici C i Java, te pripadajući prevodioci, a glavnina razvoja sustava je obavljena na samom miniračunalu.*

Izrađena je maketa sustava koja se sastoji od: (i) tipkovnice za unos pristupnoga koda koja je povezana na GPIO preko I2C sabirnice, (ii) RFID čitača povezanoga na Raspberry Pi preko SPI porta, (iii) LCD pokaznika za prikaz vremena, datuma i poruka, (iv) Pi kamere za uzimanje fotografije posjetitelja te (v) elektromotorom pokretanih vrata, koja se automatski otvaraju pomoću RFID kartice (taga) ili pomoću koda unesenog tipkovnicom. Sve makete povezuju se na GPIO Raspberry Pi-a računala preko razvodne kutije koja multiplicira GPIO konektor što omogućava svakoj potkomponenti sustava da se odvojeno sa svojim kablom poveže na GPIO.

Ključne riječi: *kontrola pristupa, RFID, Raspberry PI*

Abstract: *This paper discusses the possibility of making access control system using "Raspberry Pi", the platform for the development of hardware solutions and describes practically implemented system based on RFID technology. To fulfill the stated task the mini-computer Raspberry Pi Model B was used. It was powered by Raspbian operating system*

which is a derivative of the GNU/Linux operating system based on Debian. For the purpose of making the program part of prototype implementation C and Java programming languages were used together with associated compilers. A major part of the system was developed on the Raspberry Pi minicomputer.

Model of the prototype system was put together. The model consists of: (i) keyboard for entering access code connected to the GPIO via the I2C bus, (ii) RFID reader component connected to the Raspberry Pi via the SPI port, (iii) LCD display to show time, date and other messages, (iv) Pi camera for taking pictures of users in the process of identification and (v) an electric motor operated doors which open automatically using RFID card (tag) or by using the code entered on keyboard. All moduls are connected to the GPIO Raspberry Pi computer via a junction box that multiplies GPIO connector, which enables each sub-system to be separated connected to the GPIO of Raspberry PI.

Keywords: *access control, RFID, Raspberry PI*

1. Uvod

Miniračunalo Raspberry PI razvijeno je je u Velikoj Britaniji u svrhu promocije nastave računalnih znanosti u školama. Početci projekta razvoja Raspberry Pi platforme sežu u 2006. godinu kada su rani koncepti razvijani na bazi mikroupravljača Atmel ATmega64. Novi koncept razvijen je na bazi ARM procesora, a godine 2011. i 2012. uvodi se u škole u Velikoj Britaniji.

Osobe koje su svojim iznimnim trudom i radom iznijele projekt su Eben Upton, osnivač Rasperry Pi fondacije te Gareth Halfacree, suosnivač fondacije. Eben Upton je osnivač Raspberry Pi Fondacije, odgovoran je za ukupnu softversku i hardversku arhitekturu Raspberry Pi platforme, za odnose Fondacije s ključnim dobavljačima i kupcima. U ranijoj karijeri, razvio je dvije uspješne mobilne igre i osnovao firme, Ideaworks 3d Ltd. i Podfun Ltd., te zadržao službu "post of Director of Studies for Computer Science at St John'sCollege, Cambridge". Gareth Halfacreeje, novinar je i koautor Raspberry Pi Korisničkog vodiča i suosnivač Fondacije. Bivši sistem administrator koji je radio u sektoru obrazovanja, Garetova strast za projektima otvorenog kôda vodila ga je iz jedne karijere u drugu, često ga se moglo vidjeti na recenzijama dokumentacije ili čak doprinosu projektima: uključujući GNU/Linux, LibreOffice, Fritzing i Arduino. On je, također, kreator projekata otvorenog sklopovlja naziva

"Sleepduino" i "Burnduino", koji proširuju mogućnosti Arduino elektroničkog sustava za izradu prototipova.

2. Povezivanje vanjskog sklopovlja na mini računalu Raspberry PI

Miniračunalu Raspberry Pi temeljeno je na tzv. sustavu na čipu (engl. *System on a chip* – SOC) tvrtke Broadcom naziva BCM2835. Posljednja verzija, Raspberry PI 3 model B temelji se na SOC-u tvrtke Broadcom BCM2837. SOC tvrtke Broadcom, BCM2835, uključuje ARM1176JZF-S 700 MHz procesor i grafičku jezgru (VideoCore IV GPU), međutim, kako se u posljednjem periodu razvoj miniračunala Raspberry PI intenzivirao, tako postoji nekoliko inačica sustava, neke od tih navedene su ovdje (<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/>):

- Raspberry Pi Model A - Model A je slabija inačica Raspberry Pi-a, sa 256 MB RAM-a, jednim USB portom bez Ethernet porta,
- Raspberry Pi Model B - Model B je jača inačica Raspberry Pi-a, sa 512 MB RAM-a, dva USB porta i 100Mb Ethernet portom,
- Raspberry Pi 2 - Raspberry Pi 2 ima 1GB radne memorije (engl. Random Access Memory – RAM) i Broadcom BCM2836 procesor. To je četverojezgreni, ARM Cortex-A7 procesor kojeg Raspberry Pi Foundation isporučuje na brzini 800 MHz, koja se može podići na 900 MHz,
- Raspberry Pi 3 - Raspberry Pi 3 ima 1GB RAM i 1200 MHz quad-core Cortex-A53 procesor. Radi na operacijskim sustavima Windows 10 IoT Core i Linux (Ubuntu)

Na miniračunalu Raspberry PI moguće je pokrenuti osam različitih integriranih razvojnih okružja ovisno o instaliranom OS-u, to su: BlueJ IDE, Adafruit WebIDE, AlgoIDE, Ninja-IDE, Lazarus IDE, Code Blocks IDE, Greenfoot IDE, Geany IDE. Razvoj aplikacija je podržan u sljedećim programskim jezicima: C/C++, Fortran, Java, PHP, HTML, XML, Python, Perl, Pascal, Javascript, Lua, Smalltalk, OpenGL.

2.1. Povezivanje sklopovlja RFID sustava

Na Raspberry Pi se preko GPIO konektora ili USB priključka mogu priključiti RFID čitači (engl. *Radio Frequency Identification* - RFID) i izgrađivati RFID sustavi (Cej i sur., 2013.). Općenito RFID sustav se sastoji od dva dijela. Čitača i jednog ili više identifikacijskog odazivala u obliku kartice ili privjeska (slika 1). Uobičajeno je takvu karticu ili privjesak

nazivati „tag“ pa će se taj termin koristiti u ovom radu. RFID sustavi su evoluirali iz bar kod etikete što znači da se pomoću njih može automatski identificirati i pratiti ljude, predmete ili životinje (Cej i sur., 2013.; Korten i Kaul, 2008.). Ukoliko se tag prinese u neposrednu blizinu čitača, tada čitač čita jedinstveni identifikacijski broj pohranjen u čipu te kartice ili oznake, čime se primjerice identificira određena osoba te pozitivna identifikacija može iskoristiti za otvaranje vrata ili obavljanje neke druge radnje. RFID sustavi su našli široku primjenu u različitim segmentima života i rada u kojima njihova primjena olakšava, ubrzava i čini procese sigurnijima. U vremenu koje dolazi sa smanjenjem cijene čipova njihova primjena će postati značajno raširenija, vode se žustre polemike oko toga da se i ljudima, a ne samo životinjama ugrađuju identifikacijski čipovi.

Slika 1. Izgled RFID kartica (lijevo), unutrašnjost RFID kartice (desno)



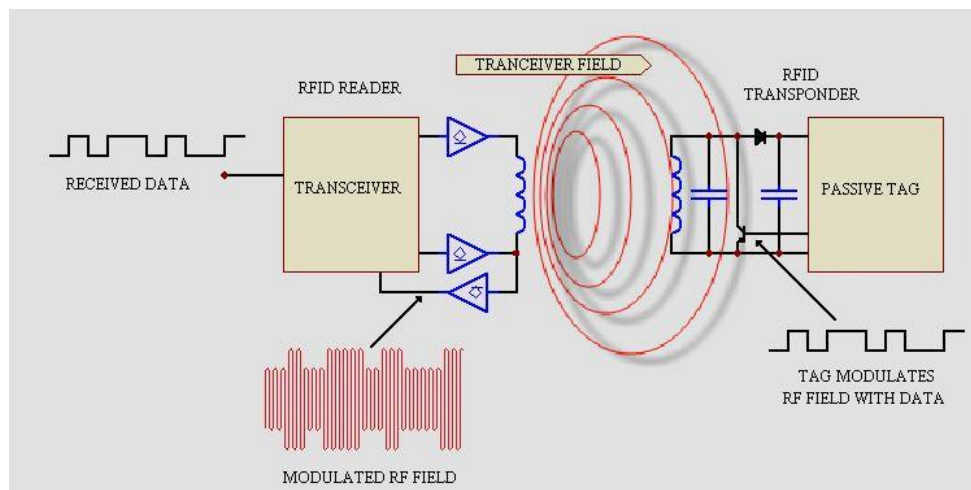
Izvor: autor

Uz primjer kontrole pristupa, sustav se može koristiti za bezkontaktno plaćanje a RFID je posebno pogodan za sustave za elektroničku naplatu cestarine. Uređaji pričvršćeni na vozila, kartice ili privjesci koje nose ljudi prenose podatke o plaćanju na fiksni čitač priključen na naplatnoj postaji. Plaćanja se zatim odbijaju s korisnikovog računa. Svoju primjenu sustav temeljen na RFID čitačima i tagovima pronalazi i kod praćenja proizvoda i upravljanja zalihama gdje se koristi za praćenje i evidentiranje kretanja predmeta, kao što su knjige iz knjižnice, odjeća, tvorničke palete, elektronička roba te brojne druge.

2.2. Sastavnice RFID sustava i osnovni način rada

RFID kartice (tagovi) unutar sebe nemaju nikakav izvor napajanja, ali imaju mali silikonski čip i razmjerno veliku antenu. Slika 1 prikazuje primjer jedna RFID kartice, na desnoj strani slike je prikazana unutrašnjost rastavljene kartice. Čitač, konstanto putem svoje antene, emitira radiosignal, te se u trenutku kada se kartica postavi u blizinu čitača u njejoj anteni inducira napon što rezultira stvaranjem dovoljne snage za napajanje čipa unutar kartice. Čitač emitira poznati oblik vala (signal definirane frekvencije), koji u anteni tj. zavojnici kartice (taga) inducira izmjenični napon. Taj se napon preko diode ispravljen filtrira na kondenzatoru, te tako ispravljen napaja RFID čip (Schalk, 2013.).

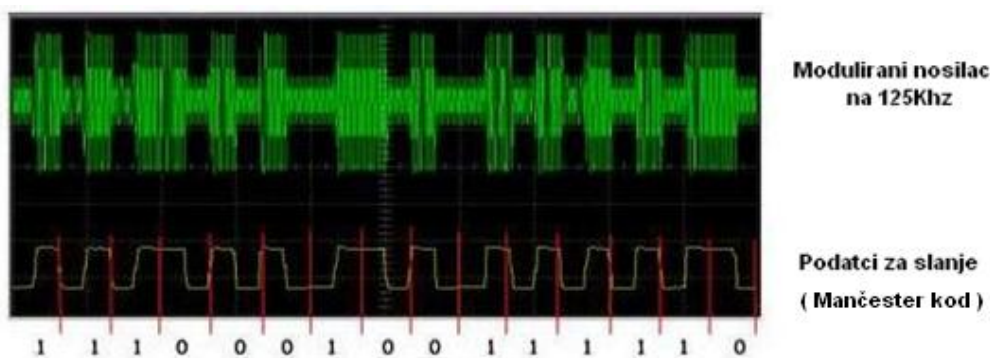
Slika 2. Blok shema RFID sustava



Izvor: http://www.priority1design.com.au/rfid_design.html

Nakon pojave napajanja, RFID čip upravlja NPN tranzistorom spojenim paralelno s ulaznim titrajnim krugom (antenom) u skladu s jedinstvenim matičnim brojem programiranim u čipu (kodiranom u "Mančester" kodu) te izaziva njegovo "kratko spajanje" što rezultira prigušivanjem njegovog titranja, odnosno amplitudnom modulacijom. U vrijeme izrade, svaki tag (u privjesku ili kartici) programiran je s jedinstvenim matičnim brojem koji ga identificira. Svaka kartica na svijetu ima različit broj pa će tako do čitača biti prenesena informacija kojom se jednoznačno može identificirati pojedini tag (Schalk, 2013.).

Slika 3. Izgled RFID signala



Izvor: <http://www.instructables.com/id/A-Universal-RFID-Key/>

Informacija o kôdu pohranjenom u kratlici tj. tagu se dostavlja tako da modulirani signal kartice tj. taga interferira sa signalom kojeg emitira čitač što rezultira izobličavanjem signala u anteni čitača. Potom čitač u svojoj prijemnoj grani dekodira ta izobličenja i kao rezultat utvrđuje dekodirani identifikacijski broj kartice. Sve se to događa u samo nekoliko milisekundi (Schalk, 2013.).

3. Implementacija sustava kontrole pristupa

U edukacijsko-prezentacijsku svrhu sačinjena je i programirana maketa tj. prototip sustava kontrole ulaza. Tijekom izrade i programiranja makete detektirani su i u glavni slučajeva razriješeni praktični problemi koje treba rješavati i pri realizaciji stvarnog-komercijalnog proizvoda.

Slika 4. Raspberry Pi i razvodna kutija GPIO konektora



Izvor: autor

Razvodna kutija GPIO (engl. *General Purpose Input Output* – GPIO) konektora (slika 4) omogućuje da se različiti moduli mogu priključiti na nožice koji su mu potrebni a da pritom

fizički ne ulaze u jedan konektor, nego svaki modul ima svoj kabel i konektor kojim pristupa GPIO konektoru (McManus, 2013.). Načelo "podijeli, pa vladaj" nam olakšava proces razvoja te pronalaženje i otklanjanje "hardverskih" grešaka u sustavu.

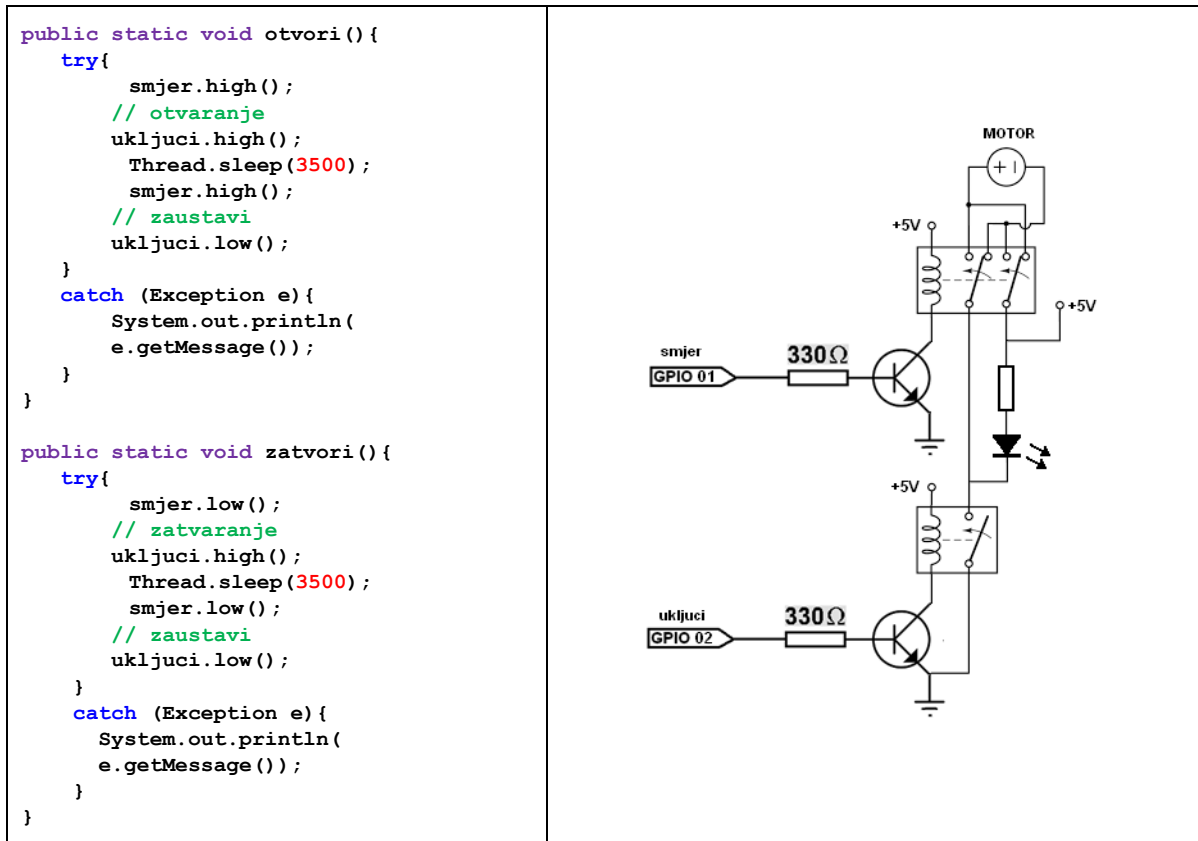
Slika 5. Maketa elektromotorom pokretanih vrata, RFID čitač, Tipkovnica, mjerač jakosti EM polja LCD displej i RFID tagovi (kartice i oznake)



Izvor: autor

Pri izradi makete vrata, kako bi se simuliralo otvaranje i zatvaranje vrata, iskorišten je elektromotor i mehanizam za uvlačenje i izbacivanje ladice CD-a CD čitača za PC računalo. Pri realizaciji nisu korišteni krajnji prekidači, optički prekidači ili njihova kombinacija, što bi u praktičnoj realizaciji bilo neizbježno (zbog sigurnosti kako vrata ne bi nekog ozlijedila). U ovom slučaju trajanje otvaranja i zatvaranja je vremenski definirano na 3.5 sekundi. Kako se ovdje radi o elektromotoru male snage moglo se birati između uključivanja pomoću tranzistora preko H-mosta sačinjenog pomoću dva para komplementarnih tranzistora (bipolarnih ili MOSFET) ili pomoću releja koji se često koriste u praksi pri višim naponima i strujama. Mada se danas i oni sve češće zamjenjuju tiristorima kod istosmjerno odnosno trijacima kod izmjenično napajanih elektromotora. U ovoj maketi (slika 5) uporabljena su dva releja: jedan za promjenu polariteta napona na elektromotoru što prouzrokuje promjenu smjera vrtnje, a drugi za prekidanje, odnosno uključivanje napajanja elektromotoru u svrhu pokretanja, odnosno zaustavljanja istog (slika 6) (Chin i Weaver, 2015.).

Slika 6. Upravljanje motorom vrata s GPIO



Izvor: autor

Releji se uključuju s NPN tranzistorima na čije baze se preko otpornika 330oma dovode upravljački naponi s GPIO porta čijim nožicama programski upravljamo. Vrata na maketi možemo otvoriti na tri različita načina: (i) upisivanjem odgovarajućih kodova na tipkovnici (unaprijed definiran skup kodova), (ii) prinošenjem RFID kartice ili privjeska (unaprijed definiran skup tagova), (iii) s web stranice pritiskanjem odgovarajućeg gumba. Ulasci se evidentiraju u MySQL bazi podataka, i mogu se po potrebi pregledati preko PHP web sučelja.

3.1. RFID-RC522 modul sa SPI sučeljem

Čitač RFID tagova korišten pri izradi ovdje opisanog prototipnog sustava temeljen je na sklopovskoj komponenti naziva „MFRC522“ (http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf). Slika 7 prikazuje RFID-RC522 čitač sa SPI sučeljem za 13.56MHz transponder. U RC522 modul ugrađen je čip MFRC 522 koji ima ugrađeno više mogućnost serijske komunikacije: I²C (engl. *Inter-Integrated Circuit*), UART (engl. *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*) i SPI (engl. *Serial Peripheral Interface*). Ovdje opisani prototip koristi SPI sučelje dostupno preko nožica modula RFID-RC522.

Pri spajanju Modula RC522 na Raspberry Pi koristi se tablica prikazana na slici 7. Dijagram ožičenja sadrži šest spojeva, četiri za SPI (MOSI, MISO, SCK i SDA) i dva za opskrbu naponom (3.3V i GND) (Girling, 2016.). Pin IRQ se ne koristi a RST (reset) nije spojen na miniračunalo Raspberry Pi jer se resetiranje modula vrši programski. Kako je potrošnja modula vrlo mala (od 13mA do 26mA) za napajanje se koristi napon od 3.3V sa samog Raspberry Pi modula. Za indicaciju novo očitano taga na Raspberry Pi (GPIO 22) vezana je LED dioda koja će se programski uključivati kad se očita novi tag.

Slika 7. Tablica povezivanja Modula RFID-RC522 na Raspberry Pi

RFID RC522	Raspberry Pi	
	Pin	Opis
SDA	24	CEO
SCK	23	SCLK
MOSI	19	MOSI
MISO	21	MISO
IRQ	-	-
GND	6	Ground
RST	-	-
3.3V	1	3.3 Volt

Raspberry Pi P1 Header				
NAME	PIN #		PIN #	NAME
3.3 VDC Power	1		26	5.0 VDC Power
SDA0 (I2C)	3		4	DNC
SCL0 (I2C)	5		6	0V (Ground)
GPIO 7	7		8	TxD
DNC	9		10	RxD
GPIO 0	11		12	GPIO1
GPIO2	13		14	DNC
GPIO3	15		16	GPIO4
DNC	17		18	GPIO5
MOSI	19		20	DNC
MISO	21		22	GPIO6
SCLK	23		24	CEO
DNC	25		26	CE1

Izvor: <http://pi4j.com>

Za pristup Raspberry Pi sučelju pomoću C programskog jezika potrebno je u mapu `"/usr/src"` učitati C datoteke za pristup Broadcom BCM2835 čipu što je moguće učiniti na ovakav način:

1. `cd/usr/src`
2. `wget http://www.airspayce.com/mikem/bcm2835/bcm2835-1.36.tar.gz`
3. `tar-zxf bcm2835-1.36.tar.gz`
4. `cd bcm2835-1.36`
5. `./configure`
6. `make`
7. `sudo make install`

Programski kôd progonskih programa tj. drivera može se pronaći na adresi <http://rpi-rc522.googlecode.com/svn/trunk/rc522/>. Izrađen je i prilagođen za Eclipse razvojnu okolinu sa datotekama izrađenim u programskom jeziku C za pristup RC522 modulu. Programski kôd

iz datoteke main.c je za potrebe izrade ovdje opisanog prototipa pojednostavljen te je njegova glavnina prikazana na slici 8.

Slika 8. Programski kôd za povezivanje s RFID čitačem

```
// zaglavlja i deklaracije su izostavljeni
printf(BOJA_ZUTA" Prinesite karticu.....\n" BOJA_RESET);
for (;;) {
    find_tag(&CType); // potraži tag
    // provjera dali je pronadjen ispravan serijski broj taga
    if (select_tag_sn(SN, &SN_len) == TAG_OK) {
        // postavljamo pokazivac na pocetak liste
        p = SN_str;
        // prepisivanje liste SN(uint8_t) u listu SN_str (char)
        for ( x = 0; x < SN_len; x++ ) {
            sprintf( p, "%02x", SN[x] );
            p+=2;
        }
        // ispis na konzolu
        printf(BOJA_ZELENA " Serijski broj: [ " BOJA_RESET);
        printf(SN_str); printf(BOJA_ZELENA "]\n\n");
        printf(BOJA_ZUTA " Prinesite karticu ..... \n"BOJA_RESET);
        // kao identifikator novog ocitanja koristimo slucajni broj
        srand((unsigned) time(&t));
        slucajni = rand();
        sprintf(identifikator, "%d", slucajni);
        // Serijski broj taga i identifikator se upisuju u fajl
        if((fmem_str = fopen("/tmp/RfidSN.txt","w")) != NULL){
            fputs(SN_str, fmem_str);
            fputs("\n", fmem_str);
            fputs(identifikator, fmem_str);
            fclose(fmem_str);
            PcdHalt();
        }
        Dioda(1);
    } // kraj if(select_tag_sn(...) ...)
} // kraj beskonacne for petlje
bcm2835_spi_end();
bcm2835_close();
close_config_file();
return 0;
} // kraj metode main()
```

Izvor: modificirani programski kôd koji se nalazi ovdje:

<http://rpi-rc522.googlecode.com/svn/trunk/rc522/>

Kako se iz programa u prilogu može vidjeti da će serijski broj novoočitano taga biti upisan u prvom retku tekst datoteke "/tmp/RfidSN.txt" a u drugom retku će biti upisan slučajni broj koji omogućava razlikovanje dva različita očitavanja istog "tag-a".

3.2. Dohvat i pohranjivanje slike osobe koja se identificira tagom

Među početnim zahtjevima na izrađeni sustav nalazio se zahtjev za dohvatom i pohranjivanjem slike osobe koja se prijavljuje putem RFID taga. Funkcionalnost je ostvarena korištenjem Raspberry PI kamere.

Slika 9. Programski kôd metode „dohvatiSliku“

```
public static void dohvatiSliku(String naziv){// naziv fotografije
    String sirina = "640";// sirina fotografije
    String visina = "480";// visina fotografije
    String staza = "/home/pi/kamera";// direktorij gdje se odlazu fotografije
    String pocetakNaredbe = "/usr/bin/raspistill -vf -hf -w " +
        sirina + " -h " + visina + " -o " + staza;
    String zavrsetakNaredbe = ".jpg";// ekstenzija fotografije
    String naredba = pocetakNaredbe + naziv + zavrsetakNaredbe;
    try{
        Runtime rt = Runtime.getRuntime();
        Process proc = rt.exec(naredba);// pokretanje aplikacije
        // blok koji sprečava "deadlock" - zaglavljivanje procesa
        InputStream stderr = proc.getErrorStream();
        InputStreamReader isr = new InputStreamReader(stderr);
        BufferedReader br = new BufferedReader(isr);
        String line = null;
        while ( (line = br.readLine()) != null){
            System.out.println(BOJA_CRVENA + "ERROR: " + line);
        }
        int exitVal = proc.waitFor();
        System.out.println(BOJA_ZUTA + "Process exitValue: " + exitVal);
    }catch(Throwable t){
        t.printStackTrace();
    }
}
```

Izvor: autor

Kamera ima rezoluciju od 5 megapiksela, nalazi se na pločici malih dimenzija (24 x 25 x 9 mm), omogućavanam fotografije maksimalne rezolucije 2592x1944 piksela ili video maksimalne rezolucije 1920x1080 piksela. U fragmentu programskog kôda razreda kamera.java u metodi *dohvatiSliku()* može se vidjeti kako se funkcionalnost pokretanja kamere izvodi pokretanjem linux aplikacije „rassistill“ iz java programa (slika 9).

4. Zaključak

Sve mogućnosti miniračunala Raspberry Pi-a zbog njegove složenosti i raznovrsnih funkcionalnosti nije moguće obraditi u obimu ovakvog rada. Ovim radom je samo djelomično prikazana širina svih mogućnosti koje nudi ovakvo, dimenzijama, malo računalo. Većina gotovih rješenja za Raspberry Pi platformu dostupnih na internetu realizirana je u Python programskom jeziku. Uzimajući u obzir sve prednosti takvog pristupa, za razvoj ovdje prikazanog prototipnog sustava u ovom radu su, ipak, primarno odabrani programski jezici C i

Java. Razlog takvom odabiru jest što su to programski jezici u kojima su primarno razvijena dostupna rješenja za komunikaciju sa sklopovskim komponentama. Općenito, skup znanja kojima je potrebno ovladati kako bi se u potpunosti razumjela ovakva rješenja koja uključuju razvoj sklopovske i programske strane sustava sadrži mnoge teme iz područje elektrotehnike, elektronike i računarstva a ovim se radom razjašnjava i demonstrira jedan od mogućih načina za savladavanje inherentne složenosti pri oblikovanju takvih sustava.

Izradom ovog rada neposredno se uvjeravamo u činjenicu da platforma Raspberry Pi zbog svojih softverskih, hardverskih svojstava, te prihvatljive cijene nudi velike mogućnosti na polju edukacije, elektroničkih samogradnji ili izvođenju projekata koji traže manju seriju inteligentnih kontrolora za upravljanje različitim uređajima i sensorima, cijena čijeg razvoja i izgradnje bi višestruko nadmašila cijenu ovog uređaja.

Literatura

1. Cej, V.; Giunio, K.; Silić, T. (2013). „RFID tehnologija u Knjižnicama grada Zagreba“, *Vjesnik bibliotekara Hrvatske*, vol. 56(3), 147-166.
2. Chin, S.; Weaver, J. (2015). *Raspberry Pi with Java: Programming the Internet of Things*. New York City, McGraw-Hill Osborne.
3. Girling, G. (2016). *Raspberry Pi 2 Manual: A Practical Guide to the Revolutionary Small Computer 2016*. Yeovil; Somerset, Haynes Publishing.
4. Korten, S.; Kaul, C. (2008). „Application of RFID (Radio Frequency Identification) in the Timber Supply Chain“, *Croatian Journal of Forest Engineering*, vol.29(1), 85-94.
5. McManus, S. (2013). *Raspberry Pi Projects*. New York City, John Wiley & Sons.
6. Priručnik za MFRC522. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/MFRC522.pdf (1.2.2016.)
7. Raspberry PI Hardware, <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/> (1.2.2016.)
8. Schalk, G. H. (2013). *RFID: MIFARE and Contactless Cards in Application*. Limbricht, Elektor publishing.