

## Laboratorijski prototip: Sistem za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice

**Rukovodilac projekta:** dr Ljiljana Živanov

**Odgovorno lice:** msc Nataša Samardžić

**Autori:** Bojan Dakić, Nataša Samardžić, Goran Stojanović

**Razvijeno:** U okviru projekta TR32016

**Godina:** 2013.

### Kratak opis

Sistem za akviziciju signala položaja predmeta čine: fleksibilni senzor realizovan ink-džet tehnologijom i elektronika za obradu podataka. Senzorski deo ima strukturu 2D kapacitivne matrice na polimidnoj podlozi, pri čemu je kao materijal za elektrode kondenzatora korišćeno srebrno nanočestično mastilo. Osnovni princip detekcije predmeta na senzorskoj kapacitivnoj matrici zasniva se na promeni ukupne kapacitivnosti između datog predmeta i obloga elektroda. Promena kapacitivnosti se detektuje metodom punjenja i pražnjenja kondenzatora, formiranog između predmeta i elektrode na podlozi. Punjenje i pražnjenje kondenzatora se vrši preko programabilnog strujnog izvorom (u sklopu mikrokontrolera) koji na kondenzatoru stvara napon i menja vremena punjenja i pražnjenja kondenzatora. Periodi punjenja i pražnjenja kondenzatora se dalje detektuje brojačem mikrokontrolera. Sistem poseduje 32 senzorska ulaza što daje mogućnost priključenja do 32 elektrode. U konfiguraciji senzorske matrice to omogućava realizaciju matrice maksimalnih dimenzija  $n \times m$  sa ukupno  $n+m=32$  senzorske elektrode. Akviziciona elektronika se povezuje na računar preko serijskog porta ili adekvatnog konvertora sa USB na RS232.

#### Tehničke karakteristike:

**Radna temperatura:** od 0°C do 50°C

**Mogućnosti prikaza rezultata:** preko terminala ili odgovarajućeg softvera

**Brzina snimanja:** do 10sps

**Brzina prenosa podataka:** 57600 bps

**Maksimalno trajanje snimanja:** nije ograničeno

**Težina:** 75g

#### Tehničke mogućnosti:

Omogućava detekciju prisustva objekta i njegov položaj u 2D planarnom i zakrivljenom prostoru. U ograničenom skupu objekata postoji mogućnost njihovog razlikovanja zajedno sa određivanjem položaja.

#### Realizator:

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Katedra za elektroniku

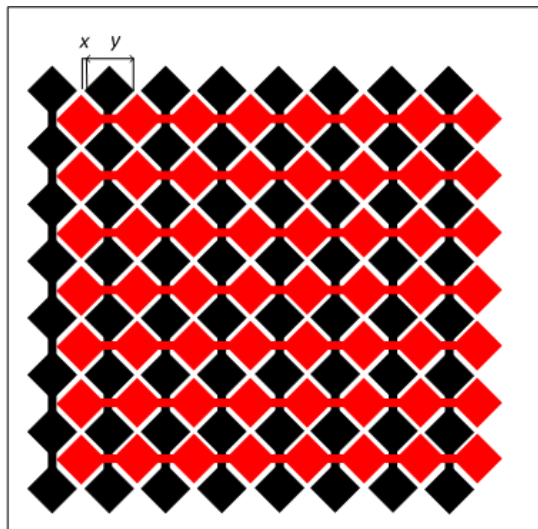
## Stanje u svetu

Detekcija položaja objekata nalazi primenu u savremenim elektronskim uređajima kao što su *smart* telefoni, interfejsi uređaja u domaćinstvu, u robotici, za biomedicinske aplikacije, u okviru radarske tehnike, kao i za praćenje proizvoda široke potrošnje u lancu distribucije od proizvodnje do krajnjeg potrošača. Najrasprostranjenija primena je svakako u najnovijim android telefonima koji poseduju senzor orijentacije, žiroskopski senzor, a pojedini modeli i ekrane osetljive na dodir na bazi kapacitivnih senzora. Detekcija položaja može da se vrši preko optičkih senzora, kapacitivnih, induktivnih, ultrazvučnih senzora, enkodera itd. Konkretno klasa kapacitivnih senzora položaja se karakteriše niskom cenom, malom potrošnjom, mogućnošću jednostavne integracije u propratni elektronski sklop kao i zadovoljavajućim odzivom i rezolucijom.

Sistem za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice, razvijen je kao kapacitivni senzor prisustva i detekcije položaja objekta na savitljivoj podlozi. Elektrode kapacitivnog senzora raspoređene su u 2D matricu dimenzije  $m \times n$ , pri čemu krajnji elementi matrice preko provodnih linija vode na elektronski sistem za obradu signala. Na osnovu razlike primljenih signala, kao posledica razlike ukupne kapacitivnosti sistema bez objekta i u njegovom prisustvu, sa  $m+n$  izlaznih elektroda moguće je tačno utvrditi u kom delu površine se nalazi objekat. Takođe je moguće detektovati prisustvo ograničenog broja različitih objekata i njihovog položaja na matričnoj podlozi, tako da se navedeni sistem može koristiti u svim aplikacijama, gde je kapacitivno detektovanje položaja prihvatljivo rešenje.

## Konstrukcija sistema za akviziciju signala

### Senzorska kapacitivna matrica



Sl. 1. Kapacitivna matrica senzora

Izgled kapacitivne matrice senzorskog dela sistema prikazan je na slici 1. Mreža elektroda je raspoređena u dva sloja (označena crvenom i crnom bojom na slici) sa različitih strana polimidne podloge, proizvođača GTS Flexible Materials, debljine 50  $\mu\text{m}$ . Dimenzije od značaja, obeležene na

slici 1, iznose  $x=0.8$  mm,  $y=9$  mm. Provodna matrična struktura fabrikovana je u ink-džet tehnologiji korišćenjem Fujifilm Dimatix DMP 3000 štampača, tip ketrirdža DMC-11610, sa 16 mlaznica i ostvarenom zapreminom kapljice od 10 pl. Elektrode su od komercijalnog nanočestičnog 20% rastvora srebra proizvođača SunChemical U5603. Rezolucija štampe je 25 um *drop spacing*, što odgovara poluprečniku pojedinačne kapljice na polimidnoj podlozi, čime je postignuta homogena krajnja struktura. Na svakoj strani polimidne podloge naštampan je jedan sloj srebrnog mastila čija je debljina nakon sinterovanja jednaka 800 nm.

Za kontrolu protoka kapljica funkcionalnog mastila u štampaču DMP Dimatix 3000 korisnik podešava, amplitudu i frekvenciju talasnog oblika napona koji deluje na piezoelement unutar kertridža. Takođe bitan parametar štampe je i kontrolni pritisak koji sprečava izlazak prevelike količine mastila na podlogu, kao i odnos temperatura ketrirdža i podloge koji utiču na površinski napon, viskoznost i kvašenje. Za depoziciju SunChemical U5603 mastila, amplituda napona na piezoelementu koja obezbeđuje optimalan protok kapljica bez "satelit kapljica"<sup>1</sup> i "repora kapljice"<sup>2</sup> je 18V, frekvencija 4 kHz, kontrolni pritisak 270 mmH<sub>2</sub>O, temperatura štampe 25°C.

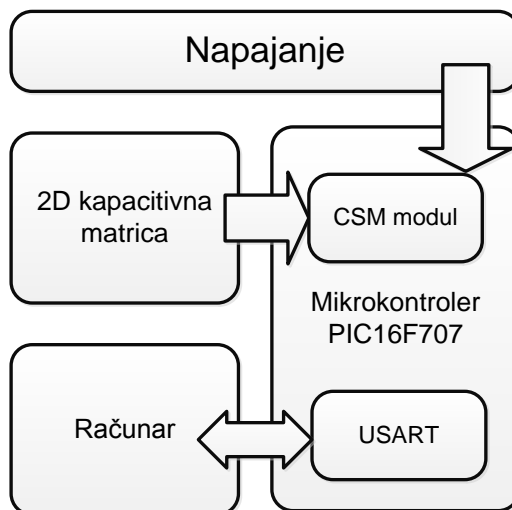
Sušenje funkcionalnog mastila vrši se u dva koraka, kako bi se izbeglo stvaranje pukotina u materijalu. Najpre se zagrava na 80°C u trajanju od 5 min, nakon čega rastvarač (etanol) u potpunosti ispari, zatim se sinterovanje izvodi na temperaturi od 200°C, 45 min, pri čemu se razgrađuje organska membrana oko nanočestica i one se povezuju u homogenu strukturu. Slojna otpornost ovako dobijene provodne linije iznosi  $R_{sheer}=0.2 \Omega/\square$ .

Sistem za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice sastoji se od matrice štampanih elektroda realizovanih na fleksibilnoj podlozi pomoću nanočestičnog srebrnog mastila. Struktura je formirana u dva sloja štampe kako bi se postigao željeni raspored linija električnog polja. Povezivanje senzorske matrice sa elektronskim sistemom ostvareno je preko provodnika koji su spojeni provodnom pastom CircuitWorks<sup>®</sup> Conductive Epoxy proizvođača ITW Cemitronics. Provodnici se dalje vode na konektor elektronskog sistema koji obrađuje promenu kapacitivnosti. Elektronika za akviziciju podataka se sastoji od mikrokontrolera PIC16F707, interfejs kola za prilagođavanje naponskih nivoa za ostvarivanje serijske veze sa računarom kao i regulatora napona. Najveći deo akvizicije sa kapacitivnog senzora obavlja specijalizovani modul mikrokontrolera PIC16F707 CSM (Capacitive Sensing Modules).

## Elektronika sistema za akviziciju

Na slici 2. prikazana je blok šema sistema za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice. Uređaj se sastoji od napajanja, mikrokontrolerskog dela koji vrši najveći deo akvizicije i obrađuje promene signala sa elektroda. Pored ovoga privremeno memoriše rezultate merenja i prosleđuje na računar sa ciljem dodatne obrade i memorisanja vrednosti merenja u vidu fajla.

1. Satelit kaplica- propratna kapljica najčešće manja od osnovne sa izrazito nestabilnim tokom
2. Rep kapljice- dodatna količina mastila povezana sa osnovnom kapljicom koja pogoršava rezoluciju štampanih sturktura



Slika 2. Blok dijagram elektronskog dela sistema za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice.

Sistem za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice se može podeliti u 4 celine:

1. Kapacitivna fleksibilna 2D matrica,
2. Mikrokontrolerski blok,
3. Kolo za komunikaciju sa računarom,
4. Napajanje

### Mikrokontrolerski blok

U elektronskom sistemu za akviziciju podataka sa 2D kapacitivne matrice iskorišćene su prednosti mikrokontrolera PIC16F707 koji kao specijalnu funkciju poseduje modul za obradu signala sa kapacitivnih senzora. Osnovne karakteristike ovog 8-bitnog mikrokontrolera su:

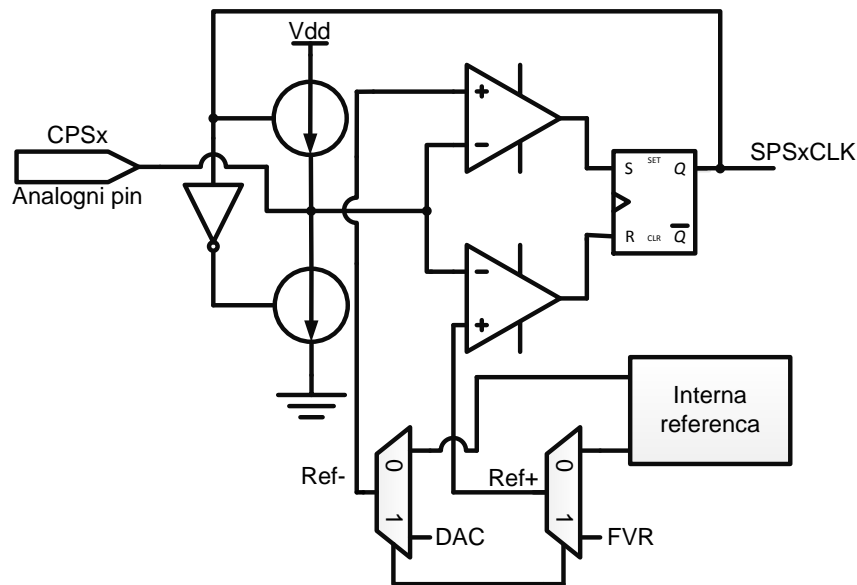
- Trajanje instrukcijskog ciklusa: DC - 200 ns
- Fleš memorija: 8K x 14
- Memorija za podatke: 363 Bajta SRAM-a
- Dubina hardverskog steka: 8 nivoa
- Oscilatori: precizni interni, 31kHz interni niske potrošnje, eksterni
- Programabilna zaštita koda
- Industrijski temperaturni opseg
- Visokoizdrživa memorija 1000 ciklusa upisa,
- Zadržavanje upisa: 40 godina
- Poseduje režim niske potrošnje *Sleep mode* (20 nA @ 1.8V)
- Radni napon: od 1,8V do 5,5V
- mTouch™ mogućnosti: do 32 kanala, 2 kapacitivna modula, simultano odabiranje, mogućnost izbora između više režima potrošnje
- A/D konvertor: 8-bitni, 14 kanala, sa mogućnošću izbora između naponskih referenci
- Tajmeri: poseduje tri tajmera

- Posедуje PWM modul
- Komunikacija: SPI, I<sup>2</sup>C, AUSART
- Modul za naponske reference: FVR (*Fixed Voltage Reference*) sa mogućnošću izbora između 1.024V, 2.048V i 4.096V kao 5-bitni *rail-to-rail* rezistivni DAC sa pozitivnom referencom

### Modul za akviziciju signala sa kapacitivne 2D matrice

Primenjeni mikrokontroler PIC16F707 poseduje napredni kapacitivni modul za akviziciju podataka sa kapacitivnih senzora. Ovaj modul omogućava povezivanje kapacitivnih senzora prema krajnjem korisniku, bez kabastog mehaničkog sprežanja tokom detekcije položaja predmeta, koja bi se javila usled korišćenja drugih rešenja sa mehaničkim prekidačima gde se delovanjem sile vrši promena koja se detektuje. Senzorski modul se sastoji od dva kapacitivna senzorska oscilatora (CPSA i CPSB) koji poseduju po 16 ulaza. Promena kapacitivnosti se detektuje merenjem vremena signala na kapacitivnom senzorskom oscilatoru. Redosled operacija kojim se konfigurise kapacitivni senzorski modul sastoji se od odabira željenog kanala na kapacitivnom senzorskom modulu, setovanjem odgovarajućeg bita u ANSEL registru, i postavljanjem kanala u režim rada ulaznog pina u TRIS registru. Moguće je pogrešno očitavanje promene kapacitivnosti ukoliko konfigurisanje ulaznog kanala modula za detekciju kapacitivne promene nije ispoštovano.

Oscilatori kapacitivnog senzorskog modula se sastoje od promenljivog strujnog izvora i odvoda konstantne struje. Konstantni strujni izvor i odvod proizvodi trougaoni napon na merenoj kapacitivnosti koji služi za određivanje periode punjenja i pražnjenja.



Slika 3. Prikaz blok dijagrama oscilatora kapacitivnog senzorskog modula

Oscilator je dizajniran za kapacitivna opterećenja (PCB provodna polja), dok se u ovoj aplikaciji koriste fleksibilne senzorske elektrode realizovane u ink-džet tehnologiji na polimidnoj podlozi korišćenjem srebrnog nanočestičnog mastila kao provodni materijal. Oscilator može da služi kao izvor klok signala za TimerA/B ili Timer1/3. Oscilator se može podesiti u tri strujna režima. Izborom odgovarajućeg strujnog režima rada postiže se obezbeđivanje većeg broja u tajmeru za

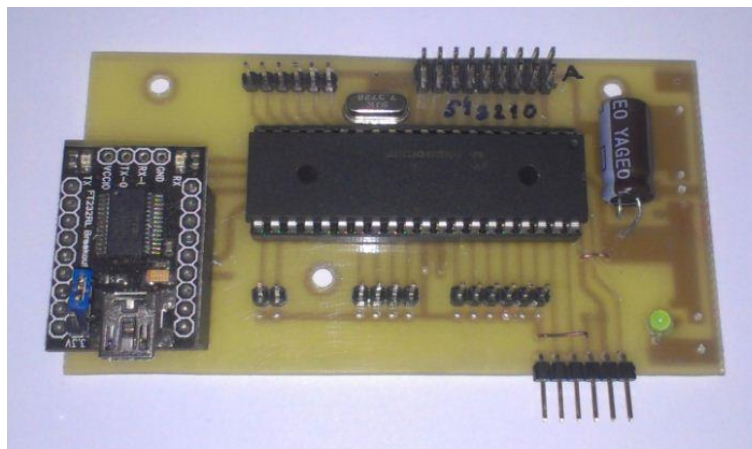
fiksnu vremensku bazu, povećava razliku u brojaču usled promene frekvencije. Oscilator koristi dve naponske reference za postavljanje nivoa pragova. Viši naponski nivo je povezan sa Ref+ dok je niži nivo praga povezan sa Ref-. Korisniku je ostavljena mogućnost izbora između fiksne naponske reference (FVR) i promenljive naponske reference iz D/A konvertora kontrolera (DAC modul). Kada je fiksna naponska referenca izabrana Vss određuje donji nivo praga (Ref-) dok Vdd određuje visok nivo praga (Ref+). U slučaju izbora promenljive naponske reference DAC modul određuje niski nivo praga (Ref-) dok FVR napon određuje visok nivo praga (Ref+). Prednost ovog moda rada je što frekvencija oscilacija ostaje konstantna usled promene napona napajanja Vdd što je kritično za neke aplikacije merenja promene kapacitivnosti. Promenom gornjeg i donjeg nivoa praga oscilatora mogu se postići različite frekvencije u zavisnosti od aplikacije merenja. U pogledu modova potrošnje kapacitivni modul može se konfigurisati u jedan od sedam režima rada. Postoje dva režima rada koji se nazivaju režim niske i visoke potrošnje. Ukoliko je izabran režim niske potrošnje koristi se fiksna naponska referenca za određivanje pragova oscilatora dok se za režim visoke potrošnje koristi promenljiva naponska referenca. U oba režima rada postoje tri nivo koja određuju struju strujnog izvora. Poseban mod rada je detekcija šuma koji je karakterističan po niskoj potrošnji, odnosno po tome što frekvencija oscilatora zavisi od šuma na pinu kapacitivnog modula koji je odabran. Za merenje promene frekvencije oscilatora potrebna je fiksna vremenska baza. Za period fiksne vremenske baze može se koristiti TimerA/B ili Timer1/3. Frekvencija oscilatora kapacitivnog modula određena je broju brojača podeljenog sa periodom fiksne vremenske baze. Treba napomenuti da fiksna vremenska baza ne može biti generisana tajmerom dodeljenog kapacitivnom oscilatoru. Zbog postojanja parazitnih kapacitivnosti uvodi se termin nominalne frekvencije koja predstavlja frekvenciju oscilatora bez dodatnog spoljašnjeg kapacitivnog oscilatora. Frekvencija oscilatora usled dodatnog kapacitivnog opterećenja naziva se redukovana frekvencija. Ove dve frekvencije su bitne za detektovanje položaja predmeta na kapacitivnom senzoru pošto olakšava nivo odlučivanja koji se može postaviti bilo gde između nominalne i redukovane frekvencije.

## **Napajanje**

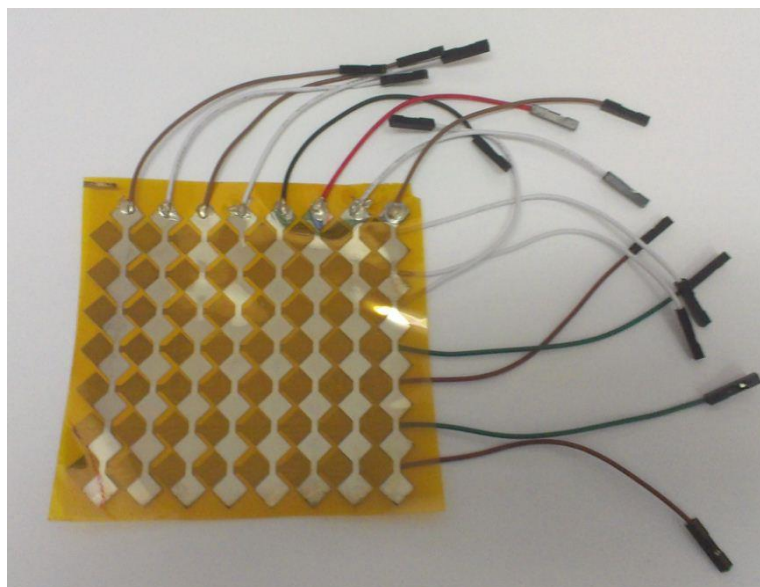
Napajanje laboratorijskog prototipa sistema za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice se ostvaruje preko linearnog stabilizatora napona LM7805 ili preko USB-a priključka preko koga se vrši komunikacija sa računarem. Ukoliko se izabere računarsko napajanje sistem postaje kompaktniji pošto se preko istog kabela vrši komunikacija i napajanje uređaja.

## **Prototipa sistema za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice**

Elektronika laboratorijskog prototipa je realizovana u jednoslojnoj PCB tehnologiji sa fizičkim dimenzijama štampane ploče 10 cm x 5cm (dužina x širina) kao što je prikazano na slici 4. Indikaciona zelena LED pečnika 3 mm se nalazi na štampanoj ploči. Indikaciona LED dioda svetli kada je uređaj uključen. Pokretanje uređaja se vrši preko terminala ili specijalno napisanog softvera. Na slici 5. je prikazana 2D kapacitivna senzorska matrica realizovana je u ink-jet tehnologiji na polimidnoj podlozi. Priključci kojima se ostvaruje veza sa elektronskim akvizicionim delom sistema su ženski jednopinski konektorima kojima je moguće lako povezivanje na sistem.



Slika 4. Prikaz elektronike prototipa za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice bez samog senzorskog dela



Slika 5. Prikaz realizovane senzorske 2D kapacitivne matrice sa priključcima kojim se ostvaruje veza sa elektronskim delom.

### Opis funkcionalnosti

Proces akvizicije signala sa 2D kapacitivne matrice započinje povezivanjem elektronskog dela sistema sa računarom preko koga se napaja. Prenos podataka se vrši putem serijske komunikacije koja je ostvarena preko konvertora USB u serijsku komunikaciju. Potrebna podešavanja serijske komunikacije su:

- Brzina : 57600 bps
- Format :8N1
- Parnost: isključena

- Stop bit: 1
- Kontrola toka: XON\XOFF

Nakon podešavanja potrebno je otvoriti COM port preko odgovarajućeg softvera koji je konfigurisan da prima i obrađuje pakete podataka od akvizicionog sistema. Format poruke je u ASCII kodovan i informacije sa kanala kapacitivnog modula su odvojene simbolom “;”. Svi podaci se primaju u vidu jednodimenzionog niza, potom se izdvajaju nizovi kolona i vrsta od kojih se na kraju formira dvodimenziona matrica. Matrica se formira dodavanjem elemenata u polja nastalih sabiranjem odgovarajućih vrednosti sa istim indeksima. Prikupljeni podaci se obrađuju i snimaju u datoteku iz koje je moguće kreirati grafički prikaz stanja na fleksibilnoj 2D kapacitivnoj senzorskoj matrici.

## **Unapređenja**

Postojeći sistem za akviziciju podataka sa 2D kapacitivne matrice poseduje zadovoljavajuće performanse za istraživačke delatnosti u oblasti detekcije položaja predmeta i robe široke potrošnje. Razmatrani sistem se može unaprediti mijaturizacijom sistema korišćenjem SMD komponenti kao i promenom dizajna štampane matrice. Upotrebom modula za bežičnu komunikaciju moguće je ostvariti prikupljanje podataka bez fizičkog kontakta sa računarom što je pogodno za aplikacije koje zahtevaju telemetriju. Proširivanjem matrice za još jednu dimenziju omogućilo bi se detektovanje objekata u trodimenzionalnom prostoru. Softversko unapređenje je moguće u smeru dodavanja baze podataka kao i soket komunikacije čime bi bila omogućena dostupnost podataka preko interneta.

<b>Tehnički podaci</b>
------------------------

Protoptip sistema za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice odlikuje se malim brojem diskretnih elektronskih komponenti pošto je upotrebljen kontroler sa specijalizovnim periferijama za merenje kapacitivnosti. Radna temperatura je od 0°C do +50°C po kataloškim podacima proizvođača i u ovim granicama se može očekivati zadovoljavajuća akvizicija. Ostali podaci:

- Merenje i logovanje: do 10sps
- Brzina prenosa podataka: 57600 bps
- Prikaz i snimanje: preko terminala ili odgovarajućeg softvera
- Mikrokontroler proizvođača “Microchip” – PIC16F707
- Akvizicija signala sa 2D kapacitivne matrice



## Primena

Omogućava detekciju prisustva objekta i njegov položaj u 2D planarnom i zakrivljenom prostoru. U ograničenom skupu objekata postoji mogućnost njihovog razlikovanja zajedno sa određivanjem položaja. Sistem se može primenjivati u naučnoistraživačke svrhe kao i u situacijama u kojima je neophodna detekcija prisustva i broja predmeta npr. detekcija roba široke potrošnje u toku proizvodnje ili distribucije do krajnjeg korisnika.

## Tehničke karakteristike

**Radna temperatura:** od 0°C do 50°C

**Mogućnosti prikaza rezultata:** preko terminala ili odgovarajućeg softvera

**Brzina snimanja:** do 10sps

**Brzina prenosa podataka:** 57600 bps

**Maksimalno trajanje snimanja:** nije ograničeno

**Težina:** 75g

## Opšti radni uslovi

Naziv parametra	Jedinica	Referentni uslovi	Radni uslovi	Granični uslovi
Temperatura	°C	20±1	od 0 do 50	od -40 do 85

**Sistem za akviziciju signala sa 2D kapacitivne matrice je razvijen od strane Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada u okviru TR32016 projekta**

Štampano – Septembar 2013.