



Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija
Sveučilište u Zagrebu

TruePresence



- Δ Dio projekta „Pametni prostori“
- Δ Kapacitivni senzori, PSoC
- Δ Ugradbeni računalni sustavi
- Δ BLE komunikacija

Sažetak

Detekcija ljudske prisutnosti sveprisutan je problem u suvremenom inženjerstvu koji je svoju popularnost osobito stekao usponom IoT paradigme i težnjom za kvalitetnijim projektiranjem različitih „pametnih“ sustava i prostora. Osobito je slabo istraženo područje detekcije ljudske prisutnosti na različitim vrstama stolaca i (uredskih) sjedala.

TruePresence je podsustav većeg sustava pametnih uredskih prostora koji adresira upravo taj problem: njegova zadaća nije biti samostalan sustav, već biti senzorski čvor koji prikupljene informacije o ljudskoj prisutnosti na stolcu (na kojem je TruePresence sustav postavljen) dostavlja idućem sustavu u hijerarhiji.

Prednosti TruePresence sustava su visoka integritetnost rješenja, niska cijena i visoka točnost detekcije. Nedostatak je nesamostalnost sustava. Sustav bi mogao biti zanimljiv ugostiteljima, upraviteljima knjižnica i studentskih čitaonica, voditeljima različitih *co-working* prostora i sl.

Sadržaj

1. UVOD	3
2. OPIS SUSTAVA	4
2.1. Odabir tehnologija	4
2.2. Komponente sustava	5
2.2.1. Ciljna platforma	5
2.2.2. Kapacitivni senzor	5
2.2.3. Mjerenje razine baterije	8
2.2.4. BLE podsustav	9
2.2.5. Dodatne funkcionalnosti	11
3. UPUTE ZA KORIŠTENJE I ODRŽAVANJE	13
3.1.1. Upute za korištenje	13
3.1.2. Upute za održavanje	13
4. ZAKLJUČAK	14
5. LITERATURA	14
6. POJMOVNIK	15

Ovaj seminarski rad je izrađen u okviru predmeta „Sustavi za praćenje i vođenje procesa“ na Zavodu za elektroničke sustave i obradu informacija, Fakulteta elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta u Zagrebu.

Sadržaj ovog rada može se slobodno koristiti, umnožavati i distribuirati djelomično ili u cijelosti, uz uvjet da je uvijek naveden izvor dokumenta i autor, te da se time ne ostvaruje materijalna korist, a rezultirajuće djelo daje na korištenje pod istim ili sličnim ovakvim uvjetima.

1. Uvod

Problem detekcije ljudske prisutnosti je vrlo aktualan problem suvremenog inženjerstva. Pri tome se podrazumijevaju vrlo različiti aspekti ljudske prisutnosti: prisutnost u prostoriji, prolasci kroz vrata/pored označenih točaka, prisutnost na radnom mjestu i sl. Usponom IoT (engl. *Internet-of-Things*) paradigme problem je postao još popularniji, budući da takvi (IoT) sustavi nerijetko zahtijevaju poseban oblik interakcije s korisnikom u ovisnosti o njegovoj prisutnosti.

Ovaj se rad posebno bavio problematikom praćenja ljudske prisutnosti na uredskim (i sličnim) stolcima i sjedalima. Uredski stolci odabrani su jer predstavljaju najveći izazov za univerzalan sustav detekcije, budući da se isti drastično razlikuju u svojoj konstrukciji i svojstvima. Ova tematika može biti od osobite koristi ugostiteljima (primjerice, praćenje zauzeća sjedećih mjesta u objektu u realnom vremenu), voditeljima knjižnica i/ili studentskih učionica, *co-working* prostora i sl.

Rješavanje ovog problema omogućit će razvoj kvalitetnijih IoT rješenja koja će biti više prilagođena svojoj okolini. U gore navedenim scenarijima, rješavanje ovog problema doprinijet će kako krajnjim korisnicima (koji će, primjerice, moći provjeriti zauzetost radnih mjesta u knjižnici bez odlaska do same knjižnice), tako i voditeljima (koji će moći analizirati posjećenost i kvalitetnije raspoređivati resurse).

Sam problem detekcije ljudske prisutnosti na uredskim stolcima podrazumijeva nekoliko ključnih točaka:

- univerzalna funkcionalnost – neovisna o vrsti stolca,
- niska cijena – budući da se (u pravilu) nabavlja velik broj sustava,
- jednostavan način montaže – također zbog velikog broja sustava,
- minimalno utjecanje na korisničku ergonomiju,
- visoka selektivnost – sustav mora moći razlučiti prisutnost na stolcu od prisutnosti pokraj istoga.

Budući da su gotovo svi gore navedeni zahtjevi međusobno proturječni, potrebno je učiniti kvalitetan odabir senzorske tehnologije.

2. Opis sustava

Sustav TruePresence komponenta je većeg sustava za „pametna“ okruženja koji ima jasno definirane zadaće:

- Kontinuirano detektirati ljudsku prisutnost na stolcu (na kojem je sustav postavljen)
- Informacije o trenutnom stanju periodički slati putem BLE veze u svojstvu *BLE Broadcaster-a*
- Istovremeno pratiti stanje baterije te ga dojavljivati putem BLE veze

Pri tome, sustav mora biti racionalan po pitanju potrošnje električne energije – pri korištenju dviju standardnih AAA baterija vrijeme autonomije mora biti veće od 100 sati.

2.1. Odabir tehnologija

Obzirom da se radi o razmjerno jednostavnom sustavu, poželjno je korištenje što je manje mogućeg broja komponenata. Razlog je dvojak – prvenstveno, takav pristup je bitno jeftiniji što je jedna od bitnih sastavnica ovakvog sustava, no takav pristup je i kvalitetniji, budući da nema nepotrebnih prijelaza između različitih tehnologija.

Senzorska tehnologija kojoj je povjerena detekcija ljudske prisutnosti je kapacitivna tehnologija, iz nekoliko razloga:

- niska cijena – velik broj komercijalno dostupnih senzora,
- mogućnost neposredne detekcije ljudskog tijela – mjerenjem prirodnog električkog kapaciteta ljudskog tijela,
- inherentna otpornost na neželjene artefakte (guranje stolca i sl.),
- mogućnost detekcije „na daljinu“ – jednostavna montaža i minimalan utjecaj na korisničku ergonomiju.

Alternativno, kapacitivna tehnologija mogla bi biti uparena s drugom senzorskom tehnologijom kako bi se kroz fuziju senzora (engl. *sensor fusion*) postigli optimalni rezultati.

Budući da su okosnica ovoga sustava kapacitivan senzor i BLE odašiljač, prirodno je zapitati se postoji li gotov mikrokontrolerski sustav koji bi poslužio upravo ovoj namjeni. Tvrtka Cypress poznata je po svojoj liniji PSoC (engl. *Programmable System-on-Chip*) mikrokontrolera koji, osim ARM jezgre, memorije i tipičnih perifera, na sebi sadrže i velik broj analognih i digitalnih perifernih sklopova kao što su operacijska pojačala,

analogno-digitalni i digitalno-analogni pretvornici, logička polja, analogni i digitalni filtri, DSP jedinice i sl. Osim navedenih perifernih jedinica, Cypress u PSoC mikrokontrolere ugrađuje i CapSense kontroler koji je, u svojoj suštini, sučelje za kapacitivni senzor. Namijenjen je primarno kapacitivnoj detekciji dodira (gumbi, dodirnici i sl.), no moguće ga je koristiti i za druge namjene. Jedan razred PSoC mikrokontrolera posjeduje i BLE radio periferiju, što ga čini izvrsnim kandidatom za ovaj sustav.

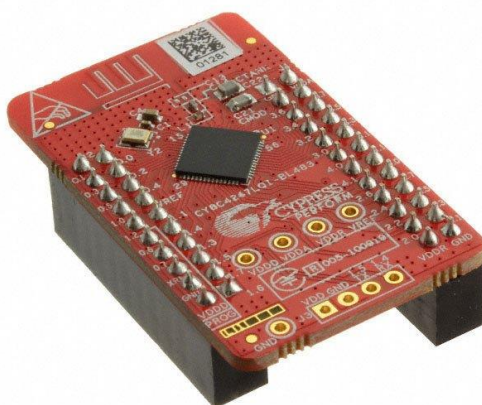
2.2. Komponente sustava

Sam TruePresence sustav sastavljen je od više hardverskih i softverskih dijelova, koji će biti pobliže objašnjeni u ovome dijelu dokumenta.

2.2.1. Ciljna platforma

Kako je već spomenuto, PSoC mikrokontroler je korišten kao okosnica cijelog sustava. Konkretnije, korišten je mikrokontroler iz PSoC 4 BLE razreda mikrokontrolera – razvojni sustav za isti, prikazan na Slici 1.

Spomenuti mikrokontroler sastoji se od ARM Cortex M0+ jezgre, BLE radio podsustava te mnogih analognih i digitalnih perifernih jedinica, koje uključuju i CapSense kontroler. Mikrokontroler je posebno optimiziran za nisku potrošnju.



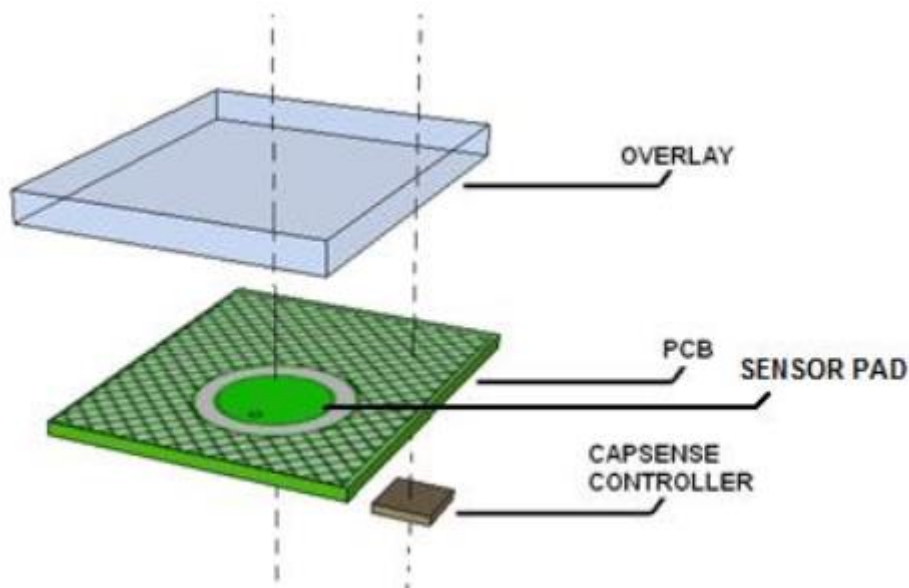
Slika 1: Korišteni PSoC 4 BLE razvojni sustav (CY8CKIT-142) (Izvor: [2])

2.2.2. Kapacitivni senzor

Jedna od najbitnijih, ako ne i najbitnija komponenta cijelog TruePresence sustava je upravo kapacitivni senzor, budući da je osnovna zadaća TruePresence sustava kapacitivna detekcija ljudske prisutnosti.

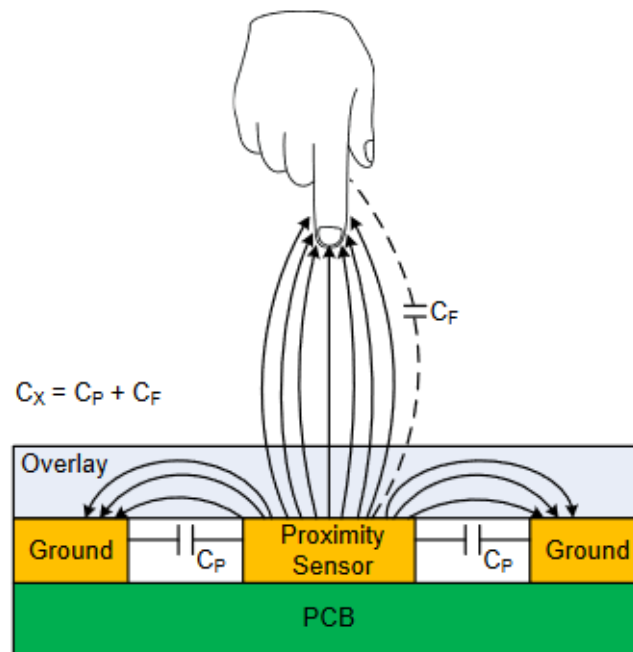
Sam kapacitivni senzor je modularan i sastoji se od više dijelova (prikazano na slici 2):

- CapSense kontroler (koji se nalazi u mikrokontroleru),
- fizička elektroda (koja služi za mjerenje kapaciteta ljudskog tijela),
- softverski CapSense podsustav (koji uključuje i pisanu programsku potporu).



Slika 2 – Neke od komponenata CapSense sustava (Izvor: [1])

Cijela ideja kapacitivne detekcije pomoću CapSense tehnologije temelji se na činjenici da ljudsko tijelo posjeduje prirodan kapacitet koji ima određen iznos (primjerice, 50 – 150 pF). CapSense tehnologija, premda je primarno orijentirana prema kapacitivnoj detekciji dodira, posjeduje ugrađen sigma-delta algoritam pomoću kojega se vrši pretvorba priključenog kapaciteta u digitalan broj. Na taj način, moguće je dobiti informaciju o trenutno priključenom kapacitetu. U trenutku kada osoba ne sjedi na stolcu, mjereni kapacitet je vrlo nizak (do 10 pF) i posljedica je kapaciteta priključaka, vodova i same elektrode. Kada osoba sjedne na stolac, kapacitet se naglo povećava (prikazano na slici 3). Budući da CapSense sustav kontinuirano periodično provjerava prisutnost, sustav može otkriti trenutno stanje – je li stolac zauzet ili nije.



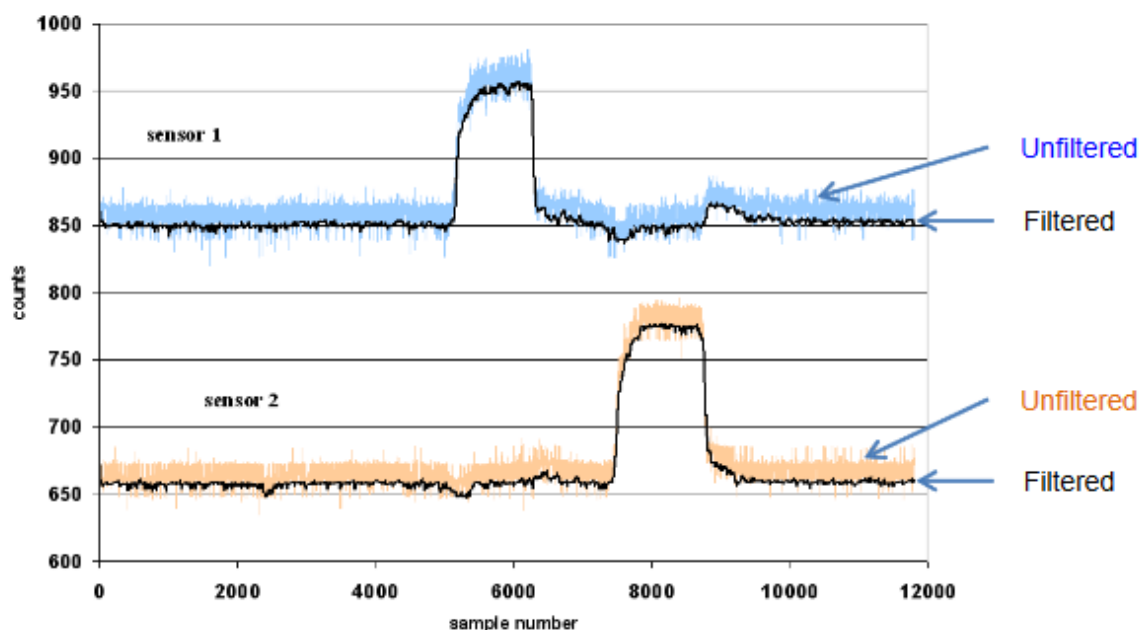
Slika 3 – Dva izvora kapaciteta u CapSense mjernom sustavu (Izvor: [2])

Budući da sustav mora moći odlučiti o trenutnom stanju zauzetosti stolca, postoje četiri scenarija vezana za odluku:

1. Sustav je detektirao prisutnost kada osoba je sjedila na stolcu
2. Sustav je detektirao prisutnost kada osoba nije sjedila na stolcu
3. Sustav nije detektirao prisutnost kada osoba nije sjedila na stolcu
4. Sustav nije detektirao prisutnost kada osoba je sjedila na stolcu

Cilj sustava je maksimizirati scenarije 1 i 3 te minimizirati scenarije 2 i 4. Potencijalan izazov za scenarij 2 je situacija u kojoj se osoba nalazi vrlo blizu stolca, ali ne sjedi na njemu; potencijalan izazov za scenarij 4 je situacija u kojoj osoba sjedi na vrlo netipičan način.

CapSense komponenta koristi digitalno filtriranje kako bi se smanjio utjecaj šuma na detekcijska svojstva sustava – korišteni filter je filter beskonačnog impulsnog odziva (IIR, od engl. *infinite impulse response*) prvog reda (prikazano na slici 4). Korišten je i niz tvornički dostupnih kompenzacijskih postupaka koje nudi sama CapSense komponenta.

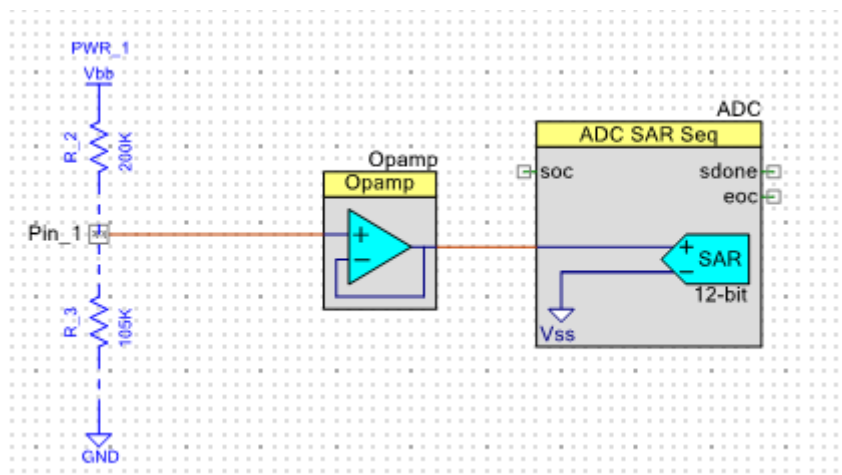


Slika 4 – Filtriranje kapacitvnih mjerenja IIR filtrom (Izvor: [1])

TruePresence sustav koristi ispunjenu pločastu elektrodu površine cca. 35 cm² koja je na glavnu pločicu sustava spojena žicom. Takva konfiguracija omogućava jednostavnu montažu, a istovremeno osigurava veliku ukupnu efektivnu površinu elektrode, što znatno pospješuje detekcijska svojstva sustava.

2.2.3. Mjerenje razine baterije

Mjerenje baterije u TruePresence sustavu vrši se na tipičan način (prikazano slikom 5) – između polova baterije spojena je serija otpornika koja napon baterije skalira u željeno područje, kako bi ga unutarnji analogno-digitalni pretvornik mogao što kvalitetnije očitati. Iznos otpornika odabran je tako da isti što manje utječu na vrijeme autonomije baterije. Korišteni su otpornici od 100 kΩ i 4,7 kΩ, što u seriji daje niz od 200 kΩ i od cca. 105 kΩ. Napon baterije se, time, prije pretvorbe skalira za faktor 2,9. Potrošnja uslijed ove grane iznosi oko 10 μA.



Slika 5 – Mjerenje napona baterije u TruePresence sustavu

Unutar samoga PSoC mikrokontrolera, ulazni signal se prvo dovodi na naponsko sljedilo kako bi se eliminirao utjecaj ulazne impedancije te kako bi se mjerenje stabiliziralo. S naponskog sljedila, signal se dovodi na analogno-digitalni pretvornik gdje se napon pretvara u digitalan broj. Korištena rezolucija iznosi 12 bita, a jedan ciklus pretvorbe se pokreće softverski. Koristi se i usrednjavanje 32 uzorka kako bi se dobila što pouzdanija informacija. Digitalan broj je potrebno, prije interpretacije, pomnožiti s faktorom skaliranja da bi se dobila fizikalno točna brojka.

Uz korištenje dvije AAA (alkalijske) baterije, sustav ima vrijeme autonomije veće od 100 sati.

2.2.4. BLE podsustav

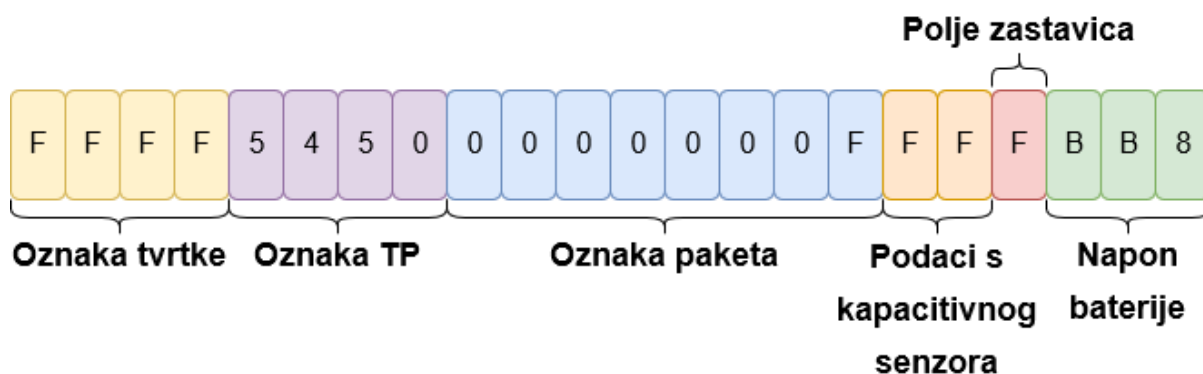
Po vrsti BLE komunikacije, TruePresence sustav je GAP (od engl. *generic access profile*) broadcaster. To znači da on periodično šalje jednosmjerne pakete koje okolni BLE uređaji mogu vidjeti i na koje mogu odgovoriti zahtjevom za dodatnim informacijama. TruePresence sustav koristi nasumičnu statičnu adresu (engl. *Random Static Address*). TruePresence sustav se „oglašava“ na svim trima dostupnim kanalima (37, 38 i 39), a period između paketa iznosi 200 milisekundi. Sustav u svom paketu šalje sljedeća polja:

- Flags – obavezne prema BLE standardu, definicije paketa (3 B),
- Local Name – ime sustava: „TruePresence“ (14 B),
- Manufacturer Specific Data (6 B):
 - Company ID – 0xFFFF,
 - Data – 0x5450 za „TP“ oznaku.

Korištenjem Manufacturer Specific Data, moguće je pakete filtrirati već u ovom stadiju. Ako obližnji BLE uređaj zatraži dodatne informacije, šalje se novi paket koji sadrži korisne informacije:

- Manufacturer Specific Data (13 B):
 - Company ID – 0xFFFF,
 - Data – 0x5450 za „TP“ oznaku,
 - Oznaku paketa,
 - Podaci s kapacitivnog senzora,
 - Polje zastavica za detekciju prisutnosti i stanje baterije,
 - Napon baterije u milivoltima,

Na ovaj način, ostvaruje se znatna ušteda resursa, budući da se paketi šalju samo kada je nužno. Izgled paketa prikazan je na slici 6.



Slika 6 – Sadržaj BLE paketa

Oznaka paketa je jednostavan brojač koji se uvećava za 1 prilikom svakog slanja paketa. On omogućava jednostavnu vizualnu inspekciju paketa te pruža informaciju o broju poslanih paketa. Budući da se resetira pri svakom ponovnom pokretanju sustava, služi i kao indikator reseta. Veličine je 4 bajta, što osigurava višegodišnje funkcioniranje bez pojave preljeva.

Podaci s kapacitivnog senzora predstavljaju niži bajt digitalnog broja kojeg daje kapacitivni senzor. Njegova vrijednost iznosi od 0 do 255 te predstavlja trenutno zauzeće stolca, a zauzima 1 bajt.

Iduća četiri bita zauzima polje zastavica u kojem su prva dva bita zauzeta za detekciju prisutnosti, dok su druga dva bita rezervirana za iskazivanje stanja baterije. Ovo polje može zauzeti jedno od ukupno osam stanja, kako prikazuje tablica 1:

Tablica 1 – Moguća stanja polja zastavica

		Zauzetost	
		NE	DA
Baterija	Kritično	00 00 = 0	11 00 = C
	Nisko	00 01 = 1	11 01 = D
	Srednje	00 10 = 2	11 10 = E
	Visoko	00 11 = 3	11 11 = F

Odluka o prisutnosti vrši se na temelju složenog CapSense algoritma koji uračunava pragove šuma, histerezu, istitravanje i sl., dok se odluka o stanju baterije vrši na temelju pred-definiranih pragova:

- 2700 mV – Prag između visoke i srednje razine
- 2500 mV – Prag između srednje i niske razine
- 2100 mV – Prag između niske i kritične razine

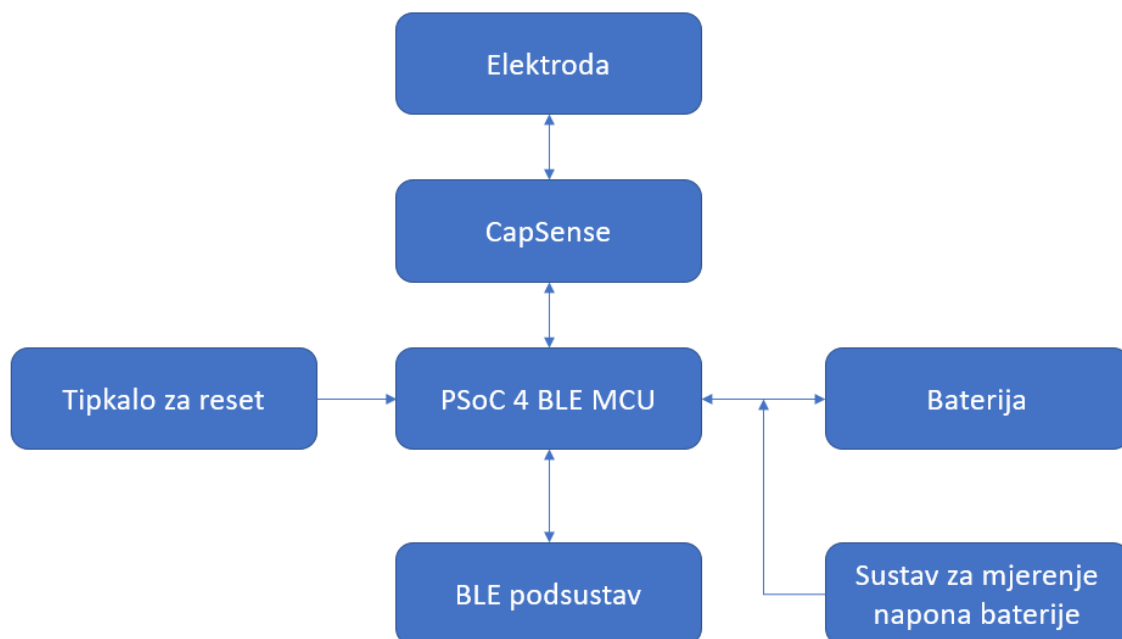
Posljednjih 12 bitova svakog paketa predviđeni su za informaciju od izmjenom naponu baterije u milivoltima. Obzirom da za ovu informaciju koristimo 12 bitova, dostupan raspon iznosi od 0 do 4095 milivolta, što je idealan raspon za napon baterije koji poprima vrijednosti između 1700 milivolta i 3000 milivolta. Jedna analogno-digitalna pretvorba se vrši prije svakog slanja pojedinog paketa.

2.2.5. Dodatne funkcionalnosti

Sustav posjeduje i tipku za reset, obzirom da je prilikom postavljanja sustava moguće nenamjerno utjecati na daljnja mjerenja kapacitivnim senzorom. Reset se izvršava pritiskom tipke – nije potrebno brinuti o duljini pritiska, sustav to vrši automatski.

U konačnoj (prezentacijskoj) varijanti, sustav je napajan pomoću tzv. *coin cell* baterije, budući da je ista vrlo kompaktna.

Blok shema cijelog sustava vidljiva je na slici 7.



Slika 7 – Blok shema cijelog sustava

3. Upute za korištenje i održavanje

3.1.1. Upute za korištenje

TruePresence sustav (prikazan na slici 8) je jednostavno postaviti i koristiti. Sustav sam vrši svu potrebnu inicijalizaciju. Da bi se sustav postavio potrebno je:

1. Umetnuti bateriju u za to predviđen utor.
2. Zatvoriti kutiju s mikrokontrolerom i baterijom.
3. Postaviti sustav ispod željenog stolca pomoću ljepila ili vijaka. Kako bi se izbjegle neželjene detekcije, potrebno je sustav pozicionirati što je više moguće na sredinu podloge, a poželjno je i (koliko je to moguće) udaljiti sustav od velikih vodljivih objekata.
4. Ako je potrebno izvršiti reset sustava, potrebno ga je inicirati pritiskom na predviđeni gumb.
5. Sustav automatski počinje raditi i slati željene pakete. Pakete je moguće promatrati na željenom vlastitom sustavu ili kroz aplikacije za mobilne uređaje (kao što je *Nordic nRF Connect*).

3.1.2. Upute za održavanje

Kako bi sustav nastavio raditi ispravno, potrebno je povremeno zamijeniti ljepilo kojim je postavljen, kao i promijeniti baterije kada sustav to indicira (unutar svojih paketa).



Slika 8 – TruePresence sustav

4. Zaključak

Sustav TruePresence potpuno je funkcionalan i ostvario je gotovo sve ciljeve: radi se o vrlo integriranom, jeftinom rješenju novoga problema (detekcije ljudske prisutnosti na uredskim stolcima) pri čemu je konačno rješenje visoko selektivno, jednostavno za postavljanje te pri mjerenju ne utječe na korisničku ergonomiju. Korištenje većeg broja ovakvih uređaja, uparenih s kvalitetnim sustavom više instance, moglo bi riješiti mnoge probleme postavljene u uvodu ovoga rada.

Sustav bi mogao biti unaprijeđen dodavanjem druge senzorske tehnologije paralelno kapacitivnoj, čime bi se povećala pouzdanost detekcije (u pogledu smanjivanja broja lažnih detekcija). Ujedno, uvođenjem sustava u reducirani režim rada (poput tzv. *Deep-sleep*) znatno bi se moglo poboljšati i vrijeme autonomije cijeloga sustava.

5. Literatura

- [1] Cypress Semiconductor: AN64846 - Document No. 001-64846 Rev. *V - Getting Started with CapSense®
- [2] Cypress Semiconductor: AN92239 - Document No. 001-92239 Rev. *B - Proximity Sensing with CapSense®
- [3] Cypress Semiconductor: Document Number: 002-17945 Rev. *A - PSoC® Creator™ Component Datasheet, PSoC 4 Capacitive Sensing (CapSense® CSD) 2.60
- [4] Digikey, CY8CKIT-142, 2018. URL: <https://www.digikey.com/product-detail/en/cypress-semiconductor-corp/CY8CKIT-142/428-3389-ND/5225792> (2018-06-14)

6. Pojmovnik

Pojam	Kratko objašnjenje	Više informacija potražite na
PSoC	Razred mikrokontrolera tvrtke Cypress Semiconductor	cypress.com/products/microcontrollers-mcus
CapSense	Patentirana tehnologija tvrtke Cypress Semiconductor namijenjena kapacitivnoj detekciji dodira	cypress.com/products/capsense-controllers
BLE	Bluetooth Low Energy – komunikacijski protokol optimiziran za prijenos male količine podataka uz vrlo nisku potrošnju električne energije	en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_Low_Energy