# 1. Termomassiiv: Devantech TPA-81

## 1.1 Sissejuhatus

Thermopile array (termosensorite massiiv) koosneb jadamisi ühendatud termopaaridest. Iga termopaar genereerib pinge, mis on võrdeline temperatuuride vahega tema otstesse ühendatud erinevate materjalide vahel, tegemist on termoelektrilise efektiga, mis on tuntud ka kui Seebecki efekt ning avastati Thomas Johann Seebecki poolt aastal 1821.

Kauguses asetsevate objektide temperatuuri on võimalik mõõta kui nende soojusenergiat suudab neelata materjal, mis on ühendatud termopaari külge, sellest lähtuvalt on termomassiivide väljund proportsionaalne mõõdetava keha ning keskkonna temperatuuri vahega, alternatiivse tehnoloogiana eksisteerivad püroelektrilised sensorid, mille väljund sõltub soojuskiirguse muutumise kiirusest. Termomassivid pakuvad täpsemat lugemit ning lihtsamat tootmisprotsessi kui bolomeetrid, mis mõõdavad temperatuuri kasutades takistuse muutumist soojuskiirguse toimel nagu termistorid.[1]

## 1.1 TPA-81 karakteristikud

Seadmel on 8 kontakti, I2C standardi järgi on olemas toide Vcc, maa Gnd ning SDA (andmed) ja SCL(kell). Mitte ühendada kontakt on sensoril asetseva PIC16F88 mikrokontrolleri MCLR (Master Clear) ühendus ning mida kasutatakse ainult esialgseks programmeerimiseks tootja poolt.



Joonis 1.1: TPA-81 ühendused

Kolm eraldi asetsevat kontakti on mõeldud servo jaoks, mida on võimalik juhtida läbi TPA-81 ning mis on mõeldud kasutaja töö lihtsustamiseks kui eesmärgiks on rakendus, kus sensor peab platvormil muutma oma orienteeritust.

Devantech TPA-81 baseerub PerkinElmer TPMI 334 L5.5 8x1 termomassiivil ning omab samu omadusi kui PerkinElmer lineaarsete termosensorite massiiv TPLM 086 L5.5, mis on disainitud tööstuslikeks rakendusteks.[1] Seadme andmed on järgmised:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Parameeter*** | ***Tüüpväärtus*** | ***Ühik*** | Lisatingimused |
| Vaateala laius | 41 | ̊ | läätsed f/1, f=5.5 |
| Väljundpinge | 0.95 | V | Tbb=80 ̊, Tamb=20 ̊C |
| Väljundmüra | 0.4 | 0 | 0.5 kuni 20 Hz |
| Tajutava objekti temperatuur | -20 kuni 100 |  ̊C |  |
| Tööpinge V0 | 5 | 0 |  |
| Töövool(tüüpiline) | 1 | mA |  |
| Null signaali paiknemine Vref | Vdd/2 | 0 |  |
| Väljundtakistus | 200 | Ω |  |
| Käivitamise aeg | 0.3 | 0 |  |
| Sämplimissagedus | 3 | kHz |  |
| Hoiustamistemperatuur | -40 kuni 100 | 0 | mitte alaline |
| Töötemperatuur | -20 kuni 100 |  ̊C |  |
| Temperatuuri vaste (reference) tõus St | 10 | mV/K | Vtemp=St\*Tamp/K+V0 |
| Temperatuuri vastepaiknemine V0 | 0 | mV |  |

Tabel 1.1: TPLM 086 L5.5 ja TPA-81 andmed[2]

TPA-81 koosneb kaheksasat ühte ritta paigutatud sensorist. Kiirgussageduse mõõtevahemik 2um kuni 22um (tüüpiline soojuskiirguse vahemik, inimese kehatemperatuur jääb selle vahemiku keskpaika 10um juurde), omadus mis lubab seadmel toimida kaugtermomeeterina. Mõõdetav temperatuurivahemik on 4°C kuni 100°C , mõõtetäpsusega +-2° C. Läätse FOV (field of view) on modifitseerimata 41° korda 6° (8 korda 5.12° x 6°). Peale kaheksa infrapuna sensori on TPA-81 veel keskonna temperatuuri mõõtmise sensor. TPA-81 mõõtmed 31mm x 18mm. [3]

## 1.2 I2C andmevahetus

### 1.2.1 Temperatuuride lugemine

Kommunikatsioon TPA81ga käib läbi I2C (Inter Integrated Circuit) siini standardse nelja ühendusega. I2C vaikeaadressiks on 0xD0, kuid see on muudetav. Kui sensor ühendatakse kontrolleriga, millel pole eraldi I2C moodulit võib olla vajalik pull-up takistite lisamine SCL, SDA ja toite vahele (soovituslik 1.8k). TPA-81 töötab alati "slave" režiimis ning seega peab ühendatav kontroller olema "master".

TPA81 on mikrokontrollerile nähtav 10 registrina, millest:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Register*** | ***Lugemine*** | ***Kirjutamine*** |
| 0 | Tarkvara versioon | Servo positsioon, I2C aadressi muutmine |
| 1 | Keskkonna temperatuur, ̊C | Servo pulsi pikkus |
| 2-9 | Pikslite temperatuur, ̊C | 0 |

 Tabel 1.2: TPA-81 registrid

Pikslite väärtused tagastatakse teisendatuna kraadidesse. Lugemeid võetakse jooksvalt ning korrektne tulemus saadakse ligikaudu 40ms pärast uuele objektile suunamist.

Andmevahetuseks on sobilik tüüpiline 100Khz kiirus. Oletades, et seadme aadress on 0xD0 ning soovitakse saada kõikide pikslite väärtusi on välise kontrolleri poolsed tegevused järgmised:

1. Start sequence - Seada SDA ning SCL liinid seisundisse loogiline "1" ning seejärel "0", nende tegevuste vehel peaks olema väike viide.
2. Saata seadme aadress 0xD0 (viimane bitt ehk R/W on 0). Aadress on alati paarisarv ning seetõttu viimane bitt kasutatav muudel eesmärkidel. MSB (Most Signifaicant Bit on alati esimene saadetav).
3. Saata soovitud registri aadress 0x01 (kui soovitakse ainult piksleid siis 0x02)
4. Korrata punkti 1.
5. Saata uuesti seadme aadress 0xD1 (viimane bitt R/W on nüüd 1 näitamaks, et "master" soovib "slave" andmeid lugeda).
6. Lugeda SDA liinilt 9 järjestikust baiti (9 registrit). Iga 8 edastatud andmebiti kohta on mõeldud üks ACK (acknowledge) bit, millega vastuvõttev seade märgib, kas ta on andmed kätte saanud, "0" on valmis uut baiti kätte saama ning "1" kui rohkem ei soovita või ei suudeta vastu võtta, sellega saab kontrollida saadetud baitide arvu kui soovitakse näiteks saada vaid 3 esimest registrit.
7. Stop sequence - SDA "0", SCL "1", SDA "1" lõpetab andmevahetuse, uute andmete saamiseks korrata uuesti algusest. [4]

Olenevalt kontrollivast seadmest võib andmevahetuse loomine olla realiseeritud juba olemasolevate teekide poolt kõrgema taseme keeltes, RoboJDE keskonna näitel toimub sama asi järgneva lühikese koodilõiguna:

 public byte[] getAllPoints(){

 I2CMaster master = IntelliBrain.getI2CMaster();

 int devAdr = (byte) 209; // 0xD0

 byte[] writeBuffer = new byte[1]; //Saata on vaja vaid aadress

 byte[] resultBuffer = new byte[9]; //Vastu 9 registrit

 try{

 writeBuffer = new byte[] {(byte) (2)}; //tagastab koik registrid alates 0x02

 master.transfer(devAdr, writeBuffer, resultBuffer);

 } catch (Throwable t) {

 System.out.println("I2C transfer error");

 }

 return resultBuffer;

 }

### 1.2.2 Kirjutamisoperatsioonid

Kirjutatamisel asendatakse lugemisoperatsiooni neljas punkt kontrollkäsu kirjutamisega punktis 3 määratud registrisse, mille järel andmevahetuse lõpetab samuti "stop sequence". TPA-81 seadmesse kirjutatakse kahte sorti informatsiooni: uus I2C aadress ning servo positsiooni käsud, mõlemal juhul on määratud registriks 0x00. Uuematel TPA-81 versioonidel (versioon 6, Märts 2005) on võimalik registrit 0x01 kasutada servo pulsi pikkuse seadmiseks (servo stepping range), millesse siin ei süveneta.

Servo positsiooni seadmine registris 0x00 kasutab väärtuseid vahmikus 0x00 kuni 0x1F andes 32 sammu, mis tüüpiliselt tähendavad 180 ̊ kraadi pööret, resolutsioon seega 5,625 ̊. Järgnev tabel annab käskudest ja I2C aadressi muutmisest ülevaate:

|  |  |
| --- | --- |
| ***Väärtus*** | ***Tegevus*** |
| 0x00 | Minimaalne servo positsioon |
| 0x1F | Maksimaalne servo positsioon |
| 0xA0 | I2C aadressi muutmine, samm 1 |
| 0xA5 | I2C aadressi muutmine, samm 2 |
| 0xAA | I2C aadressi muutmine, samm 3 |
| 0xD? | I2C aadressi muutmine, samm 4. ? on soovitava aadressi lõpp: 0, 2, 4, 6, 8, A, C või E  |

 Tabel 1.3: TPA-81 kirjutamiskäsud

## 1.3 Kasutamine inimese leidmisel

Ruumis temperatuuriga 18° tuvastatakse küünlaleek kahe meetri kauguselt 27° lugemina. Suuremate objektide puhul suureneb ka kiirgustugevus ning inimene 20° ruumis sama kaugel on 29°C.[3] Peamine probleem on sellise näidu stabiilsus ning taustamüra, selle uurimiseks võib viia läbi lihtsa vaatluse.

Vaatluse eeltingimused:

1. Stabiilse temperatuuriga tuba.
2. Andurilt lugemite võtmine ligikaudu 100ms intervallidega.
3. Andur on stabiilsel alusel ning suunatud 2m kauguselt vastu seina, kus peaks olema ühtlane temperatuur.
4. Seade edastab väärtused vahetult LCD ekraanile.
5. Ruumi temperatuur ligikaudu 20°C.

Kümne sekundi jooksul saadud vaatlustulemused olid:

1. Ümbritseva keskkonna temperatuurilugemi kõikumine 20°C kuni 22°C (kolm kraadi)
2. Vaadeldud piksli temperatuurilugemi kõikumine 20°C kuni 26°C (kuus kraadi)
3. Kõikumine võib toimuda maksimaalse vahemikuga ka kahe järjestikuse mõõtmise vahel.

Kuna inimese näiv temperatuur taolises ruumis on ligikaudu 29°C, pole pikslite temperatuurikõikumine väga oluline, kuid vastavalt rakendusele võib osutuda keskkonna temperatuuri mõõtmine probleemiks.

Üldiselt võib keskkonna temperatuuri määrata kolmel viisil:

1. Lugeda vastav temperatuurianduri näit, kuigi ebastabiilne annab ta ligikaudse väärtuse ka siis, kui keskkonnatingimused muutuvad sõltumata, sellest, mida andur parasjagu näeb. Parim lähenemine kui rakendus peab töötama dünaamilistes oludes.
2. Keskmistada üle termomassiivi pikslite näitude. Sellisel juhul tuleks määrata, millal keskmistamine teostatakse ning kindlustada, et segavaid kehasi parasjagu vaatlusväljas pole. Kui seda teha vaid korra süsteemi seadistamisel on tulemus küll heas lähenduses hetkeoludega, kuid tõenäoliselt ei sobi mobiilsetele robootikarakendustele ning toob seadistamisel lisategevusi.
3. Eeldefineerida. Sobib väga hästi stabiilse temperatuuriga ruumidesse staatilisele rakendusele, samuti ei vaja sellekohast aktiivset seadistamist või protsessoriaega.

Mobiilsele inimest otsivale platvormile sobib kõige paremini esimene kui sooritada teatud määral keskmistamist. Lisaks võib kaaluda välise temperatuurianduri lisamist. Kasutada võib näiteks lähenemist, kus inimese olemasolu arvutatakse piksli (Tp) ja keskkonna (Tk) temperatuuri vahe kaudu ehk inimene on kui:

 **Tp - Tk > Tmin** ja **Tp - Tk < Tmax**

Näiteks objekt temperatuuriga 3°C kuni 20°C kõrgem kui keskond loetakse inimeseks, sellisel juhul arvestatakse ka temperatuuri tõusuga kuna mõõdetava objekti ning keskkonna temperatuurid liituvad termomassiivi sensori jaoks teatud piires. Probleeme tekib kui keskkonna temperatuur läheneb inimese omale, kui keskkond on aga oluliselt soojem võib kasutada pööratud lähenemist, kuid selle edukus soojuste liitumise tõttu ei pruugi olla rahuldav.

Devantech TPA-81 sobib inimese leidmiseks juhul kui tegemist on tüüpilistel toatemperatuuridel kasutavate rakendustega ning hobielektroonikaga, kuid võib osutuda liiga ebastabiilseks, et määrata inimese kohalolek alati piiratud aja jooksul, eriti kui soovitakse ehitada usaldusväärset mööduvaid inimesi loendavat seadet. Tõsisemates rakendustes tuleks kaaluda lisaks paremaid keskkonna temperatuuri tuvastamise sensoreid. Temperatuurivahe tajumise kaugus on piiratud ligikaudu kahe meetri peale ning 8 piksliline resolutsioon 40° kraadi vaatealaga seavad omad piirangud, kuigi viimast võib leevendada kasutatades sensori ees tugevamalt kiirgust konsentreerivat läätse , kui seda õnnestub leida ja paigaldada.

## Viited

1. Human Detection Using Thermopiles, Jos ́ Luis Honorato, Ignacio Spiniak, Miguel Torres-Torriti

2. TPLM 086 L5.5 - Linear Array Module, Datasheet

3. TPA81 Thermopile Array, Technical Specification

4. http://www.active-robots.com/products/accessories/sensors/i2c-tutorial.htm