

## IŠMANUSIS JUTIKLIS: INTERAKTYVIOS ŽMOGAUS BŪSENŲ TYRIMUI SKIRTOS PLATFORMOS KŪRIMAS

Andrej Gorochovik, Antanas Andrius Bielskis, Rasa Gadliauskaitė

Informatikos katedra, Klaipėdos universitetas, Herkaus Manto g. 84, LT-92294, Klaipėda  
[respecpa@gmail.com](mailto:respecpa@gmail.com), [bielskis@ik.ku.lt](mailto:bielskis@ik.ku.lt), [rasuska@gmail.com](mailto:rasuska@gmail.com)

**Anotacija.** Kompiuterizuotų sistemų teikiamų paslaugų adaptavimas prie žmogaus fiziologinių būsenų yra vienas esminių žingsnių kelyje link pažangios žmogaus ir kompiuterio sąveikos vystymo. Šiame straipsnyje aprašytas išmaniojo jutiklio pagrindu sukurtas įrankis nagrinėja sinchroniškai išgautus odos galvaninės reakcijos (OGR), elektrokardiogramos (EKG) bei odos temperatūros signalus. Pasiūlytas išmaniojo jutiklio prototipas suteikė galimybę lanksčiai derinti fiziologinių rodiklių pirminio apdorojimo metodus, pamatyti realiuoju laikų nuskaitomų fiziologinių rodiklių vizualizavimą ir galiausiai palengvino matavimų rinkimo procedūrą.

**Pagrindiniai žodžiai:** odos galvaninė reakcija, OGR, odos elektrinis aktyvumas, EDA, elektrokardiograma, EKG, odos temperatūra, fiziologinių būsenų atpažinimas, išmanusis jutiklis.

### Įvadas

Fiziologinių būsenų atpažinimas yra vienas iš esminių žingsnių kelyje link pažangios žmogaus ir kompiuterio sąveikos vystymo, jų simbiozės. Per pastaruosius metus pasaulyje atlikta gausa tyrimų susietų su metodais skirtais palengvinti fiziologinių būsenų atpažinimo sąlygas lygiagrečiais išlaikant auštą gaunamų rezultatų tikslumą ir atsparumą trikdžiams, siekiant pritaikyti praktinių užduočių sprendimui (Valenza et al., 2010). Fiziologinių būsenų atpažinimo sistemos sprendžia du esminius klausimus: būsenų registravimą ir priklausomybę nuo fiziologinių parametrų.

Šiame darbe yra aprašomas interaktyvios žmogaus fiziologinių būsenų atpažinimo aparatinės platformos kūrimas išmaniojo jutiklio pagrindu. Taip pat aptariamos galimybės atlikti pirminę nuskaitytų rodmenų analizę, pasinaudojant mikrovaldiklio vidiniais resursais. Atskiras dėmėsis sutelktas ties fiziologinių rodiklių patikimumo problemos.

### 1. Fiziologiniai rodikliai

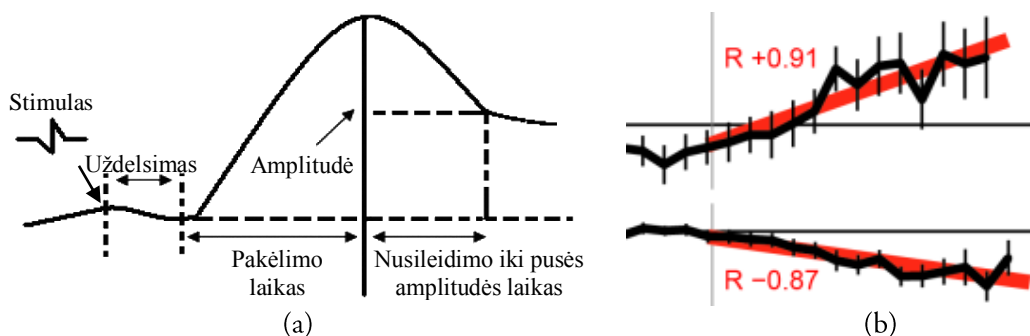
#### 1.1 Elektrinio odos aktyvumo požymiai

Sprendžiant fiziologinių būsenų atpažinimo uždavinius plačiausiai taikomas rodiklis yra odos elektrinio aktyvumo (OEA) charakteristika, apskaičiuojama iš odos galvaninės reakcijos (OGR) (Katertsidis et al., 2009). OGR yra paprastas ir efektyvus metodas prakaitavimo liaukų aktyvumo matavimui. Pats matavimas atliekamas pridėdant du elektrodus prie skirtingų žmogaus rankos pirštų, tačiau gali būti matuojami ir kojos pirštai (Healey, 2009). Kai prakaito išskyrimas kinta kartu pradeda kisti ir odos laidumas, o tarp elektrodų tekanti silpna srovė leidžia užregistruoti potencialo pasikeitimą (Handri et al., 2010). Teigiama, kad OGR reaguoja į stresą ir susidomėjimo lygius, taip atvaizduodama

žmogaus autonominės nervų sistemos reakciją į išvardintus faktorius (Tarvainen et al., 2000). Kai atsiranda simpatinės nervų sistemos dominavimas prakaitavimo liaukos suaktyvėja ir kartu pradeda augti OGR reikšmė (Perry, 2007). Nepaisant išmatavimo paprastumo, iš OGR matavimų yra nustatomas dviejų tipų aktyvumas: toninis ir fazinis (Fontanella et al., 2010; Katertsidis et al., 2009).

Toninis aktyvumas matuojamas per ilgą laiko tarpą ir atvaizduoja bendrąją OGR kitimo tendenciją (1b pav.). Tarp OGR išmatuojamų rodiklių dažniausiai renkamos toninio aktyvumo reikšmės: kryptingumas (auga, leidžiasi), mažiausia kvadratų šaknis, dispersija, maksimali amplitudė (Valenza et al., 2010).

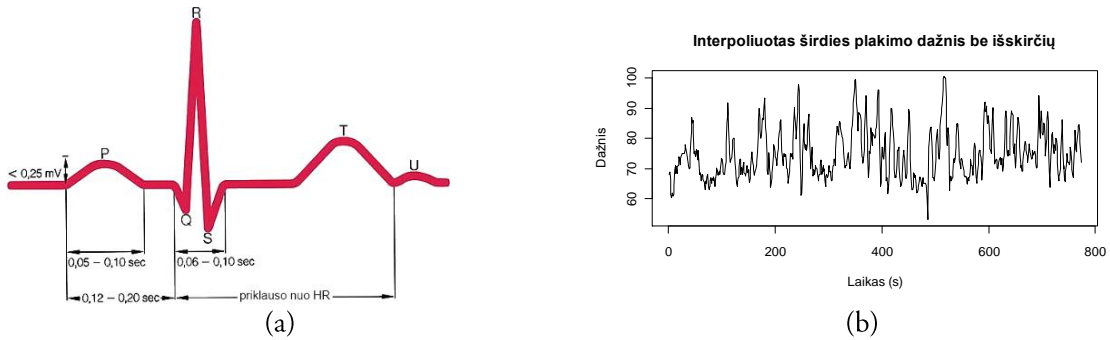
Fazinis aktyvumas yra grindžiamas įvykiais ir matuojamas apytiksliai iki 2 minučių laiko nuo sukėlusio fiziologinę reakciją stimulo pradžios iki stimuliuotos reakcijos užbaigimo. Fazinis aktyvumas užsideda ant toninės komponentės ir jo požymiai yra uždelsimas nuo stimulo pradžios (latency), pakėlimo laikas (RT), amplitudė (amplitude) ir laikas iki pusės amplitudės kritimo (HRT) (1b pav.) (Katertsidis et al., 2009). Tyrimai rodo, kad vien fazinės OGR komponentės požymių panaudojimas klasifikuojant fiziologines būsenas nėra labai efektyvus, nes maksimaliai pasiektas tikslumas klasifikuojant tik vieną būseną (taip arba ne) sudarė tik 80% (Fontanella et al., 2010).



1 pav. a) OGR fazinės sudedamosios charakteristikos; b) OGR toninio aktyvumo sudedamoji.

## 1.2 Elektrokardiogramos požymiai

Kitas svarbus pasikeitimus autonominėje nervų sistemoje charakterizuojantis rodiklis yra širdies dažnio variacija (angl. HRV – heart rate variability). Kad išgauti šią charakteristiką būtina atlikti elektrokardiogramos matavimą (Malik, 1996). Elektrokardiograma matuojama neinvaziniu būdu, pridėdant elektrodus prie kūno paviršiaus. Galimos kelios elektrodų išdėstymo kombinacijos, tačiau palankiausia juos tvirtinti prie kūno galūnių: vienos kojos ir abiejų rankų. Laikas tarp dviejų širdies dūžių yra vadinamas širdies plakimo intervalu, o jo dažninė charakteristika širdies plakimo dažniu (HR). Patogiausia HR nustatinėti identifikuojant R dantelius elektrokardiogramos QRS komplekse (2a pav.) (Lan and Ji-hua, 2006). Teigiama, kad simpatinės nervų sistemos poveikis padidina sveikojo žmogaus širdies plakimo dažnį HR, o parasimpatinė nervų sistema atvirkščiai jį mažina (Perry, 2007).



2 pav. a) EKG signalo intervalai; b) širdies plakimo dažnio variacija laike.

HRV, laiko dimensijos atveju, charakterizuoja plakimo intervalo ir dažnio kitimą, apskaičiuojant iš HR duomenų (2b pav.). Įprastas HRV duomenų išgavimo metodas nustatant tik RR intervalų pikus yra labai jautrus trikdžiams (Lee et al., 2005), todėl juos būtina, jeigu tai įmanoma, nuslopinti filtruojant EKG signalą arba atpažinti ir pašalinti atkarpas su nepatikimais matavimais (Healey, 2009).

Iš HRV duomenų, fiziologinių būsenų atpažinimui, išgaunama visa gausa statistinių rodiklių. Tyrimuose dažniausiai sutinkami

- vidutinės širdies palikimo dažnio ir R, T amplitudžių reikšmės;
- standartiniai plakimo dažnio ir R, T amplitudžių nuokrypiai.

Išskyrus minėtus paprastuosius statistinius požymius yra pastebėta, kad iš HRV apskaičiuojamas žemo (LF) ir aukšto dažnio (HF) spektro langų galios santykis atvaizduoja simpatinės, esant aukštajai santykio reikšmei, ir parasimpatinės, esant mažajai, nervų sistemos dominavimą (Ahuja et al., 2003). Kad HRV išgauti duomenys būtų patikimi, Europos kardiologų bendrija rekomenduoja matavimus rinkti mažiausiai 5 minučių laikotarpyje ir bendrai surinkti bent 24 valandas atliktų EKG matavimų (Malik, 1996). Prieš pradėdant spektrinę analizę HRV duomenys paprastai interpoliuojami, kad nustatyti apytiksles širdies plakimo dažnio reikšmės fiksuotais laiko momentais (Ahuja et al., 2003). LF ir HF intervalų normalizuotos reikšmės apskaičiavimas atliekamas žinant 4 intervalų kaupiamąsias galias:

- pilnoji spektro galia – Total Power;
- labai žemo dažnio (VLF) intervalo kaupiamoji galia, atliekant trumpalaikius matavimus imamas intervalas tarp 0 ir 0,04 Hz;
- žemo dažnio (LF) intervalo kaupiamoji galia – tarp 0,04 ir 0,15 Hz;
- aukšto dažnio (HF) intervalo kaupiamoji galia – tarp 0,15 ir 0,4 Hz.

Kai rastos visos keturios reikšmės, LF ir HF intervalų normalizuotas galias galima apskaičiuoti remiantis tokiomis formulėmis:

$$LF_{norm} = \frac{LF}{Total\ Power - VLF} \cdot 100, \quad (1)$$

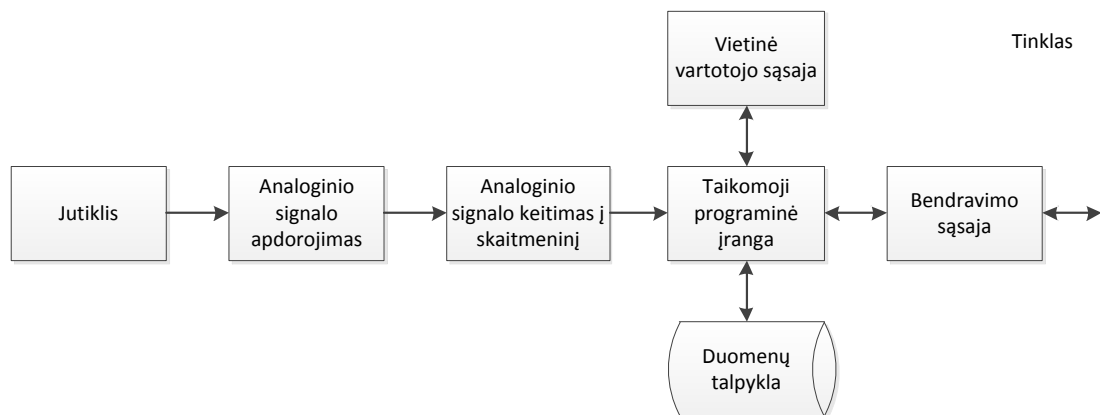
$$HF_{norm} = \frac{HF}{Total\ Power - VLF} \cdot 100. \quad (2)$$

### 1.3 Odos temperatūros požymiai

Žmogaus odos paviršiaus temperatūra yra dar vienas nesudėtingai išmatuojamas fiziologinis rodiklis. Teigiama, kad odos temperatūra priklauso nuo raumenų pasipriešinimo ir arterinio slėgio (Maaoui et al., 2008). Raumenų tonusas siejamas su simpatine nervų posisteme, o arterinis slėgis su visa autonomine nervų sistema (Lan and Ji-hua, 2006; Perry, 2007). Sutinkami keli temperatūros matavimų taikymo metodai, atliekant fiziologinių būsenų atpažinimą. Vieni iš jų siūlo atlikti nykščio temperatūros matavimus ir registruoti skirtumą tarp minimalios ir maksimalios reikšmės vieno, stimulu sukkelto, OGR fazinio aktyvumo ciklo metu. Kiti šaltiniai teigia, kad reikia fiksuoti ne tik pirštų, bet ir galvos (smilkinio zonos) temperatūros pokyčius, argumentuodamas tai tuo, kad streso būsenose smegenų veikla suaktyvėja ir, padidėjus galvos kraujo apytakai, pradeda kilti ir temperatūrą, ir atvirkščiai – atsipalaidavus temperatūra krenta (Christianp, 2007).

## 2. Išmaniojo jutiklio koncepcija

Elektros ir elektronikos inžinierių instituto (IEEE) 1451 standartas apibrėžia išmanųjį jutiklį kaip daviklį ar daviklių sistemą, kurios funkcionalumas viršiją minimalų rinkinį, leidžiantį pamatuoti ir perduoti rodmenis tolesniam apdorojimui. Šitos klasės jutikliai suteikia galimybę korektiškai atvaizduoti, ir kontroliuoti gaunamo signalo apdorojimą (IEEE - p1451.0, 2011) 3 paveiksle pateiktas pagal standarto specifikacijas apibrėžtas bendrosios paskirties išmaniojo jutiklio modelis:



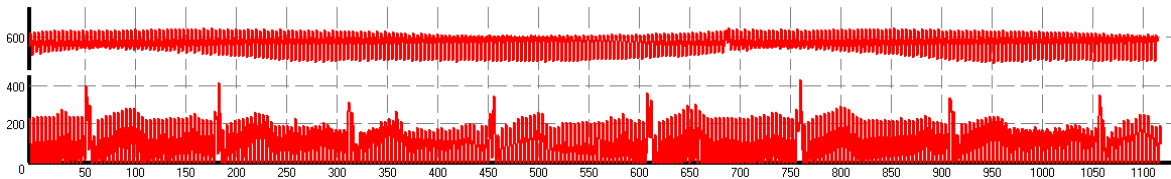
3 pav. Bendrosios paskirties išmaniojo jutiklio modelis.

Pagrindinės išmaniojo jutiklio savybės:

- intelektualios savybės pernešamos arčiau taško, kuriame atliekamas matavimas arba kontrolė;
- pasižymi kombinuotais daviklių taikymo, informacijos susisiekimo ir signalų apdorojimo sprendimais;
- tikslas – sukurti patogesnę naudojimo sistemą, pakelti jos našumą ir patartinau sumažinti bendrąjį sistemos kainą.

## 2.1 Lygiagreto OGR ir EKG rodiklių matavimo trikdžiai

OGR ir EKG matavimams atlikti buvo pritaikytas ankstesniuose kolegų darbuose aprobuotas ir gerai užsirekomendavęs AD620 ir OP97 operacinių stiprintuvų blokas su analoginių band pass filtrų EKG signalo duomenims (Bielskis et al., 2008; Drungilas et al., 2008). Vienintelis nesklandumas šiuo būdu matuojant duomenis – tai papildomų trikdžių atsiradimas konvertuojant signalus į skaitmeninę formą, kai vienu metu matuojami iškart abudu rodikliai (4 pav.).



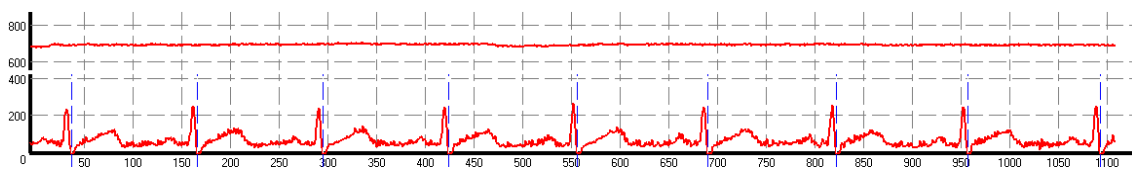
4 pav. EOA ir EKG komponentų matavimų trikdžiai.

Kad būtų galima maksimaliai sumažinti ATmega mikrovaldiklio viduje kylančius trikdžius, vykdant ADC keitimus, buvo atliktos tokios ADC procedūros optimizacijos:

- ADC dažnis sumažintas iki 125Hz, kadangi pagal specifikacijas maksimalus tikslumas pasiekiamas esant 50-200Hz dažniui;
- įjungtas SLEEP\_MODE\_ADC režimas mikrovaldiklio užmigdymui ADC keitimo metu.

Tuo pačiu verta paminėti, kad aparatinis ADC blokas pritaikytas signalams iš šaltinių su žema pilnutine varža iki 10k $\Omega$  matuoti, viršijus šią ribą, išmatuojamų signalų tikslumas ženkliai sumažėja. Visi laidai kuriais perduodamas analoginis signalas buvo pakeisti ekranuotais, o skaitmeninės magistralės su greitai kintančiais lygiais buvo perkeltos prie kitų mikrovaldiklio prievadų. Taip pat pastebime, kad maitinimo šaltinis privalo būti tinkamai įžemintas arba visiškai atskirtas nuo tinklo, pavyzdžiui akumuliatorius.

Visų išvardintų rekomendacijų laikymasis ženkliai sumažino analoginio signalo konvertavimu sukeltus trikdžius.

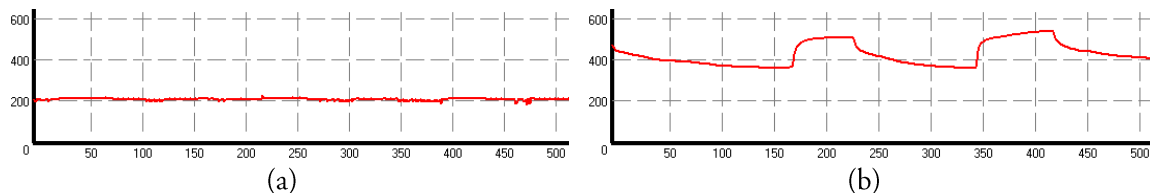


5 pav. EOA ir EKG komponentų matavimai po ADC trikdžių mažinimui skirtų optimizacijų.

## 2.2 Temperatūros matavimas

Kitas reikšmingas matavimų šaltinis yra termometras. Iki šiol laboratorijoje naudojami LM35 termometrai nesuteikdavo pakankamo jautrumo mažiems temperatūroms pokyčiam aptikti (6a pav.). Vietoj jų buvo nuspręsta naudoti Maxim 1-wire skaitmeninius termometrus, tai suteikė kelis privalumus palyginus su analoginiais temperatūros matuokliais:

- analoginio signalo keitimas skaitmeniniu vyksta termometro viduje ir tai apsaugo jį nuo galimo triukšmo (6a pav.);
- atlikus optimizacijas, keli skaitmeniniai termometrai gali būti apklausti lygiagrečiai;
- maksimali nuoskaitų raiška yra 12 bitų, kol ATmega klasės mikrovaldiklių ADC yra tik 10bit tikslumo;
- praktinis jautrumas temperatūros pokyčiams ženkliai didesnis (6b pav.).



6 pav. a) LM35 analoginio termometro rodmenys; b) DS18B20 skaitmeninio termometro rodmenys cikliškai matuojant kūno temperatūrą ir ataušinant iki kambario temperatūros.

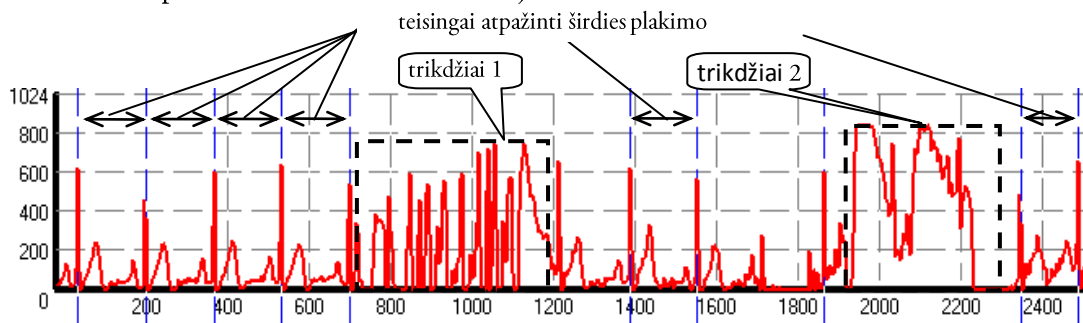
DS18B20 termometrai turi programuojamą raišką nuo 9 iki 12 bitų. Priklausomai nuo pasirinkto tikslumo, užklausus temperatūros keitimą skaitmeniniu pavidalu, būtina išlaukti nustatytą laiko tarpą – nuo 94 iki 750 milisekundžių. Esant 12bitų raiškai, temperatūros matavimas atliekamas  $0,0625^{\circ}\text{C}$  tikslumu. Standartinė 1-wire įrenginių užklausa numato to įrenginio adresavimą prieš siunčiant duomenis, kad neįvyktų kolizijos tinkle. Kaskart laukti 750 ms, kad kiekvienas termometras būtų adresuotas ir nuskaitytas atskirai, būtų netikslinga, kadangi tuo metu mikrovaldiklis turi atlikti ir kitų rodiklių išgavimą. Todėl, paskirsčius kelis termometrus per skirtingus to paties mikrovaldiklio PORT'o išėjimus, adresavimo procedūra nuskaitant duomenis tapo nereikalinga. Tai suteikė galimybę atlikti duomenų nuskaitymą iš kelių termometrų lygiagrečiai. Kitas klausimas kilo dėl pasirinktos termometrų aukštos raiškos ir jos perdavimo būdo. Kad mikrovaldiklio programa būtų suderinama su Windows aplinkoje veikiančiu ATmega Oscilografu, termometrų rodmenis būtina perduoti 10 bitų raiška (Gricius, 2010). Iš termometrų gaunama temperatūra atvaizduojama pasirašyto sveikąjį skaičiaus formatu. Kad būtų vaizdžiau, pateikiami keli skaičiai:  $200 = 0xC8$ ,  $0 = 0x00$ ,  $-2 = 0xFE$ . Nesudėtinga pastebėti, kad, priėmus sąlygą jog bitai aukščiau dešimto yra nuliai, siunčiant tik apatinius 10 bitų vis dar galima nepraradus tikslumo matuoti temperatūrą atkarpoje nuo  $0x00$  iki  $0x3FF$ . Kadangi vienetą atitinka  $0,0625^{\circ}\text{C}$ , matavimų intervalas susiaurėja iki  $0 - +63,9375^{\circ}\text{C}$  vietoj, pagal termometrų specifikaciją, apibrėžto  $-55 - +125^{\circ}\text{C}$ . Gautas intervalo susiaurėjimas pilnai aprūpina žmogaus odos temperatūros svyravimus ir nereikalauja jokių papildomų pasikeitimų.

### 2.3 Širdies dažnio HR atpažinimas iš EKG duomenų

Kaip jau buvo minėta nagrinėjant mokslinę literatūrą, EKG stipriai priklauso nuo žmogaus judesių. Kad būtų nustatyta kuo tobulesnė kreivė, žmogus privalo būti atsipalaidavęs ir nejudėti. Tačiau tokių sąlygų praktikoje pasiekti ne visada pavyksta. Dėl EKG signalinės kreivės formos žmogaus sukelti trikdžiai negali būti paprastai nufiltruoti arba suglodonti, kadangi atlikdami tai, mes praleisime R dantelį. Vadovaujantis viename iš

apžvelgtų literatūros šaltinių (Healey, 2009) pateiktomis rekomendacijomis, HR atpažinime buvo nuspręsta papildomai naudoti adaptyvius programinės logikos metodus:

- R dantelis aptinkamas tik tada, kai EKG kreivė didėja ir viršija R slenkstį, kuris yra nuosekliai koreguojamas priklausomai nuo EKG vidurkio ir maksimalios reikšmės kitimo;
- dažnio kontrolė:
  - HR negali viršyti 200 Hz dėl žmogaus fiziologinių savybių;
  - R dantelis negali būti aptiktas anksčiau nei per 60% laiko nuo paskutinio potencialaus RR intervalo trukmės;
  - HR negali per vieną iteraciją pasikeisti daugiau nei 20%;
- norint apsaugoti nuo ilgesnių raumenų įtempimo sukiamų trikdžių, HR fiksuojamas tik tuomet, kai 30 ms intervale nuo potencialaus R dantelio aptikimo yra fiksuojamas S minimumo taškas.
- norint išvengti trumpalaikių žmogaus kūno raumenų įtempimų sukiamų trikdžių, taikoma amplitudės-vidurkio kontrolė – R dantelis yra fiksuojamas tik tada, kai jo amplitudė yra  $2+N$  kartų didesnė už vidurkį nuo praeito potencialaus R dantelio aptikimo ( $N$  parametras yra derinamas);
- neįvykdžius bet kurią iš prieš tai išvardintų sąlygų, naujo R-S fiksavimo metu turi būti praleistas HR reikšmės atnaujinimas.



7 pav. EKG dėl judėjimo atsirandančių trikdžių atpažinimas.

### 3. OGR parametrų apskaičiavimas

OGR parametrų išskyrimas vykdomas pažingsniui:

1. *latency* parametras nustatomas kai OGR reikšmė didėja;
2. *rise time* ir amplitudė nustatomi po *latency* kai OGR reikšmė nustoja didėti;
3. *half recovery time* parametras nustatomas po *rise time*, kai OGR reikšmė nukrenta žemiau nei pusė amplitudės.

Visi 4 OGR parametrai fiksuojami tik tuomet, kai jie nėra mažesni už nustatytą minimalią ribą. Kadangi, nesant kontroliuojamam OGR parametru išskyrimui, mes neturime galimybės tiksliai nustatyti OGR *latency* parametru, buvo nuspręsta pridėti dar vieną fizinės sąveikos su vartotoju elementą – stimulo pradžią nurodantį rankinį mygtuką. Esant įjungtam rankinio stimulo nurodymo režimui, aptikus mygtuko paspaudimą, išskviečiamas INT1\_vect pertraukimas ir aktyvuojamas OGR parametrų nuskaitymo ciklas.

#### 4. Interaktyvios sistemos vaizdo sąsaja

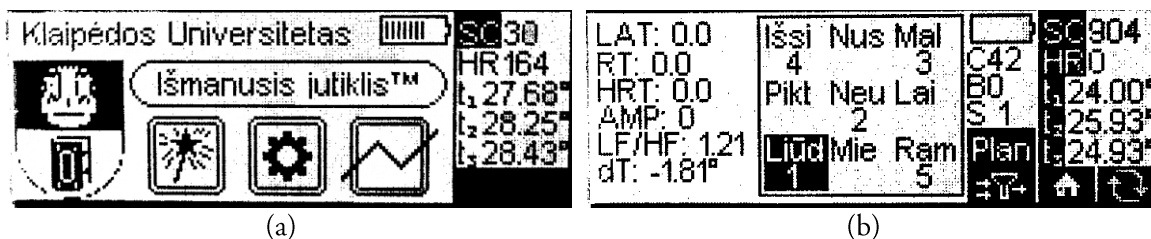
Pasiūlyto išmaniojo jutiklio vartotojo aplinka susideda iš dviejų dalių: nuolatinės informacinės panelės su matavimų rodmenimis ekrano dešinei ir kintamosios dalies likusioje ekrano dalyje. Informacinėje panelėje vaizduojamos:

- SC (*skin conduction*) – odos laidumas arba OGR;
- HR (*heart rate*) – širdies dažnis;
- t1 – pirmojo termometro temperatūra;
- t2 – antrojo termometro temperatūra;
- t3 – trečiojo termometro temperatūra.

Pagrindiniame meniu (8a pav.) vartotojas gali rinktis tarp kelių galimų gairių: fiziologinių būsenų atpažinimo parametrų išskirimą ir fiziologinių būsenų nustatymą, nustatymų keitimą ir grafikų vaizdavimą. Taipogi ekrane vaizduojama esama akumuliatoriaus talpa. Fiziologinių būsenų fiksavimo skiltyje (8b pav.) pateikiami:

- 4 OGR fazinio aktyvumo požymiai – LAT (*latency*), RT (*rice time*), HRT (*half recovery time*), AMP (*amplitude*);
- dT – temperatūros skirtumas tarp matavimo taško smilkinių srityje ir kito taško ant nykščio galo;
- su fazinių aktyvumų susietų fiziologinių būsenų fiksavimo įrankiai, plačiau apie juos kitame skyriuje;
- duomenų siuntimo metodo parinkimas (↔); galima rinktis tarp apdorotų ir grynujų duomenų siuntimo.

Esant rankiniam stimulo nurodymo režimui matavimai renkami vieno OGR ciklo metu. Atliekant praktinius bandymus buvo nuspręsta siusti tik apdorotus duomenis, kadangi siunčiant tiesioginius rodmenis duomenų perkėlimo į DB procesas užtrukdavo 3, o kartais net 4 kartus ilgiau nei pats duomenų rinkimas. Siunčiant tik apdorotų fiziologinių rodiklių reikšmes, dėl dešimčiai kartų mažesnio duomenų srauto, rašymas į DB pradėjo vykti sinchroniškai. Norint grįžti prie pagrindinio meniu reikia paspausti mygtuką su namo ženklu.



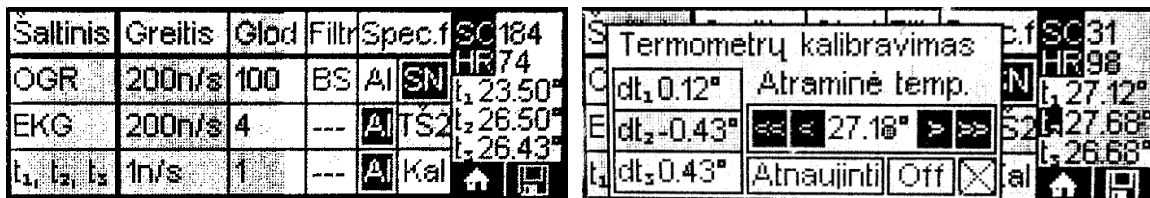
8 pav. a) Pagrindinis meniu; b) fiziologinių būsenų fiksavimo skiltis.



Nustatymų keitimo skyde (9a pav.) siūloma keisti:

- kanalų nuoskaitų greitį nuo 0,1 iki 200 nuoskaitų per sekundę;
- slankiojo vidurkio pagrindu atliekamo kanalų glodinimo koeficientą ribose nuo 1 iki 255;
- kanalų filtro tipą, galima rinktis tarp pirmos eilės Batervorto, Beselio, bei Čebyšovo filtrų arba visiškai jį išjungti, visi filtrai nustatyti low pass režime su lygiaverčiais parametrais, kuriuos galima keisti filters.h ir filters.c rinkmenose esančioje bibliotekoje;
- automatinį grafikų ištempimą, šita funkcija leidžia maksimaliai ištempti vaizduojamus grafikus per visą ekrano aukštį;
- SN – OGR stimulo nurodymo būdą, kai įjungtas fiziologinių būsenų atpažinimui skirtas vektoriaus komponentių atpažinimas vyksta nuo stimulo nurodymo pradžios iki HRT komponentės fiksavimo, kitaip nuosekliais skaičiuojamas tų dydžių vidurkis;
- TŠx – apibrėžia trikdžių šalinimo agresyvumą nustatant širdies dažnį HR, galima rinktis lygius nuo 0 iki 3, per aukštas agresyvumas gali visiškai neaptikti QRS kompleksų elektrokardiogramoje, o per mažas gali būti pernelyg jautrus trikdžiams;
- Kal – iškviečia termometrų kalibravimo skydą (9b pav.).

Norint grįžti prie pagrindinio meniu reikia paspausti mygtuką su namo ženklu. Kadangi termometrai iš gamyklos gali turėti skirtingus poslinkius nuo tikrosios reikšmės, prieš atliekant matavimus juos patartina sukalibruoti iš anksto užtikrinus, kad temperatūra būtų vienoda. Atvėrus kalibravimo skydą, automatiškai parenkama atraminė temperatūra, kuri atvaizduoja visų termometrų rodmenų vidurkį. Papildomai atraminę temperatūrą galima keisti mažais žingsniais po  $0,0625^{\circ}$  C laipsnio ir dideliais po  $0,625^{\circ}$  C. Paspaudus <Atnaujinti> apskaičiuojami ir atnaujinami termometrų korekcijos koeficientai, kurie yra pateikiami skydo kairėje. Čia pat galima įjunti ir išjungti termometrų kalibravimo režimą. Įjungus kalibravimo režimą, iškart po koeficientų išgavimo visų termometrų rodmenys tampa vienodi. Atlikus visus pakeitimus, galima iškviešti nustatymų saugojimą į mikrovaldiklio EEPROM atmintį. Kito krovimosi metų nustatymai bus grąžinami iš nuo elektros maitinimo nepriklausančios atminties.



9 pav. Nustatymų meniu (iš kairės); termometrų kalibravimas (iš dešinės).

Grafikų vaizdavimo skiltyse (10 pav.) galima lygiagrečiai stebėti visų 5 kanalų reikšmių kitimo grafikus. Grafikams galioja visi glodinimo ir filtravimo nustatymai. Taipogi numatyta galimybė išrinktinai keisti vaizduojamų grafikų rinkinį. Pavyzdyje pateikti OGR, EKG reikšmių kitimo grafikai. Priklausomai nuo konfigūracijos, nurodytieji nustatymų skyde pasirinktų

kanalų grafikai bus išstempiami per visą jiems skirtą vietos plotį arba bus atvaizduojami santykiyje su maksimalia leistinų reikšmių aibe. Aktyvių grafikų kombinacija yra saugoma kartu su visais nustatymais EEPROM atmintyje.



10 pav. Grafikų vaizdavimas.

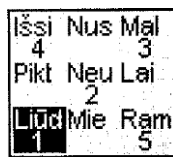
## 5. Fazinio ir toninio aktyvumo duomenų rinkimo strategija

Kaip jau buvo minėta fazinio aktyvumo OGR požymių išskyrimas nėra paprastas uždavinys. Surenkant tokio tipo duomenis būtina iš anksto žinoti, kada ir koks stimulus bus pateiktas, o jam atsiradus atlikti vieno ciklo požymių išskyrimą. Taigi pirmasis klausimas yra tinkamos afekto medžiagos parinkimas, kurios pateikimas žmogui sukeltų laukiamą būseną. Vienas būdas tai rinkti medžiagą savarankiškai, tačiau, kadangi tokio pobūdžio medžiagą nuolat reikia atnaujinti dėl žmogaus pripratimo prie jos ir atitinkamo stimuliavimo slopinimo, tai atimtų nemažai laiko. Tačiau nagrinėjant literatūrą buvo pastebėti minėjimai, kad atliekant tyrimus buvo naudojama International Affective Picture System (IAPS) duomenų bazės siūloma medžiaga. Kaip teigiama oficialiam projekto puslapyje IAPS yra kuriama tam, kad sukelti konkrečių būsenų stimuliavimą atliekant tyrimus susietus su žmonių emocijom ir atidumu (Gricius, 2010). Pagrindinis projekto tikslas – surinkti daug standartizuotų, emocijas sukeliančių ir įvairaus pobūdžio semantinėms kategorijoms priklausančių spalvotų fotografijų gausą. Tokio pobūdžio ištirtos ir suklasifikuotos pagal kategorijas fotografijos kuo puikiau tinka stimuliuoti OGR fazinį aktyvumą. Antrasis klausimas sprendžia afekto medžiagos pateikimo tvarką vykdant tyrimus. Kad palengvinti šito uždavinio sprendimą atliekant matavimus buvo pasiūlytas lankstusis stimulų planavimo modelis. Remiantis literatūros apžvalgoje išnagrinėta (Russell, 1980) susijaudinimo – malonumo fiziologinių būsenų ir (Csikszentmihalyi, 1997) iššūkių ir įgūdžių lygių erdve išmanusis jutiklis numato galimybę registruoti 9 skirtingų būsenų matavimus:

1 lentelė. Išmaniojo jutiklio registruojamų būsenų aibė.

Būsenos ID	Fiziologinės būsenos pavadinimas
0	Liūdnas
1	Mieguistas
2	Ramus
3	Piktas
4	Neutralus
5	Laimingas
6	Išsigandęs/susijaudinęs
7	Nustebęs
8	Maloniai nustebęs (euforija)

Būsenas galima interaktyviai parinkti prisilietus ties geidžiamos būsenos užrašo (11 pav.), arba užplanuoti jų nuskaitymo tvarką iš anksto paruošus afektą sukeliančių nuotraukų vaizdavimo scenarijų. Esant įjungtam fiziologėms būsenoms atitinkančių parametrų scenarijaus vykdymui, kiekvienos fazinio aktyvumo būsenos požymių išskyrimas vyksta iš eilės. Pačią eilės tvarką apibrėžia po būsenų esantys skaičiai, pavyzdžiui šiuo atveju pradedama nuo būsenos „liūdnas“, paskui pereinama prie būsenos „neutralus“ ir t.t. kol galų galiausia užbaigus ciklą, grįžtama prie pradinės būsenos. Būsenos po kurių nėra skaičiaus neįtrauktos į scenarijų. Reikia pažymėti, kad visada galima pereiti prie pasirinktos būsenos, net nesančios užplanuotam scenarijuje, ir po jos nuskaitymo bus automatiškai pereinama prie sekančios pagal „Būsenos ID“ būsenos iš vykdomo scenarijaus. Jeigu rankinis fazinio aktyvumo būsenų nuskaitymo režimas yra išjungtas – nuskaitymas prasideda automatiškai, ir kitu atveju laukiama nuskaitymo pradžios mygtuko paspaudimo.



11 pav. Išmaniojo jutiklio būsenų parinkimo meniu.

Scenarijaus valdymą papildomai kontroliuoja 2 lentelėje pateikti įrankiai.

2 lentelė. Būsenų nuskaitymo scenarijaus valdymo įrankiai.

Piktograma	Apibūdinimas
	Fiziologinių būsenų nuskaitymo scenarijus išjungtas. Nuskaičius būseną jina nesikeičia.
	Nuskaitymo scenarijaus programavimas. Kad parinkti geidžiamą scenarijų reikia iš eilės sužymėti pasirinktas būsenas. Programavimas baigiamas kai sužymėtos visos 9 būsenos arba paspaudžiamas „Plan“ mygtukas. Užbaigus scenarijaus programavimą pereinama prie pirmos būsenos.
	Nuskaitymo scenarijus įjungtas. Pasibaigus vienos būsenos nuskaitymui pereinama prie kitos.
	Perkrauti būsenų nuskaitymo scenarijų į pradžią ir nutraukti duomenų siuntimą į ATmega Oscilografą. Gali būti panaudotas toninio aktyvumo matavimo perkrovimui.

Toninis aktyvumas skirtingai nuo fazinio gali būti išmatuojamas be papildomo stimuliavimo ir fiksuojamas lygiagrečiai su fazinio aktyvumo matavimais, kadangi jis charakterizuoja bendrąją žmogaus būseną per santykinai ilgą laiko tarpą. Atliekant tyrimus buvo fiksuojami 10–15 minučių matavimai. Toninio aktyvumo fiziologinių būsenų erdvė pilnai atitinka 1 lentelėje pateiktoms būsenoms, tačiau dėl tam tikrų fiziologinių būsenų atsiradimo retumo ir jų trumpalaikės prigimties buvimo, buvo apsiribota šešiomis būsenomis: liūdnas, mieguistas, ramus, neutralus, laimingas ir išsigandęs.

## Išvados

- Projektavimo metu atliktas tyrimas atskleidžia, kad tikslesnį mikrovaldiklio ADC veikimą nulemia vidinis ADC keitiklio dažnis 50–200Hz intervale, mikrovaldiklio užmigdymas

signalų keitimo metu, bei išorinio maitinimo šaltinio tinkamas įžeminimas, arba nepriklausomo maitinimo šaltinio pajungimas.

- Skaitmeninių Maxim DS18B20 termometrų naudojimas panaikino triukšmą, kuris atsirasdavo matuojant LM35 analoginių termometrų signalus, ir leido išvengti filtravimo metodų panaudojimą bei sumažinti nuoskaitų skaičių, pasiekiant kelis kartus aukštesnį jautrumą, galintį užfiksuoti  $0,0625^{\circ}$  C temperatūros pokyčius. Įdiegtoji interaktyvus termometrų kalibravimo procedūra padėjo suvienodinti temperatūros matavimų rezultatus nepriklausomai nuo panaudotų termometrų gamyklinio nuokrypio.
- Nustatyta, kad EKG dėl atsitiktinio raumenų aktyvumo atsirandantys iškraipymai trukdo širdies dažnio HR apskaičiavimui. Tokio pobūdžio iškraipymų, apdorojant EKG signalą mikrovaldiklyje, galima išvengti tik aptinkant juos adaptyvaus algoritmo pagalba. Atlikus bandymus, buvo pastebėta, kad efektyviausi būdai EKG iškraipymams aptikti yra amplitudės-vidurkio santykio patikra, bei pilnojo QRS komplekso fiksavimas.
- Grafinio LCD ekrano su prisilietimams jautriąja pianele panaudojimas padidino sukurto prototipo interaktyvumą, leido informatyviau pateikti matavimų duomenis, bei užtikrinti glaudų ryšį tarp LCD ekrane pateiktos informacijos ir valdymo įrankių.
- Įgyvendintas fiziologinių rodiklių išmatavimo bei pirminio apdorojimo prototipas sudarė atraminę platformą duomenų rinkimui ir tolimesnei analizei, siekiant atpažinti žmogaus fiziologines būsenas.

#### Literatūra

- Valenza, G., Lanata, A., Scilingo, E. P., De Rossi, D. (2010). Towards a Smart Glove: Arousal Recognition based on Textile Electrodermal Response. 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, IEEE Explore: 3598–3601.
- Katertsidis, N., Katsis, C., Fotiadis, D., (2009). INTREPID, a biosignal-based system for the monitoring of patients with anxiety disorders. 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, IEEE Explore.
- Healey, J. A. (Intel Corp.). (2009). Affect detection in the real world: Recording and processing physiological signals. 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops (ACII 2009), IEEE Explore.
- Handri, S., Yajima, K., Nomura, S. (2010). Evaluation of Student's Physiological Response Towards E-Learning Courses Material by Using GSR Sensor. 9th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, IEEE Explore: 805–810.
- Tarvainen, M. P., Karjalainen, P. A., Koistinen, A. S. (2000). Principal component analysis of galvanic skin responses. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Annual EMBS International Conference, IEEE Explore: 3011–3014.
- Perry, J. C. (2007). The psychophysiology of risk processing and decision making at a regional stock exchange. PhD thesis.
- Fontanella, L., Ippoliti, L., Merla, A. (2010). Multiresolution Karhunen Loève analysis of galvanic skin response for psycho-physiological studies. Metrica. Springer-Verlag.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, J. A., Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. European Heart Journal, 17: 354–381.
- Lan, L., Ji-hua, C. (2006). Emotion Recognition Using Physiological Signals from Multiple Subjects. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IEEE Explore: 255–258.

- Lee, C., Yoo, S.K., Park, Y., Kim, N., Jeong, K., Lee, B. (2005). Using Neural Network to Recognize Human Emotions from Heart Rate Variability and Skin Resistance. Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, IEEE Explore: 5525–5523.
- Ahuja, N. D., Agarwal, A. K., Mahajan, N. M. (2003). GSR and HRV: its application in clinical diagnosis. Computer-Based Medical Systems. Proceedings. 16th IEEE Symposium, IEEE Explore: 279–283.
- Maaoui, C., Pruski, A., Abdat, F. (2008). Emotion Recognition for Human-Machine Communication. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE Explore: 1210–1215.
- Christiann, P. J. (2007). The psychophysiology of risk processing and decision making at a regional stock exchange. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- IEEE - p1451.0 Draft Standard for A Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Common Functions, Communications Protocols and Transducer Electronic Data Sheets (TEDS) Formats. [interaktyvus] 2011 [žiūrėta 2011 gegužės 04 d.]. Prieiga per internetą: <http://grouper.ieee.org/groups/1451/0/>
- Bielskis, A. A., Gričius, G., Marozas, J. (2008). Modelling of an autonomous emotion recognition system. Vadyba, Vol. 12, No. 1: 14–19.
- Drungilas, D., Gričius, G., Bielskis, A. A. (2008). Autonominės emocijų nustatymo sistemos vystymas. Vadyba, Vol. 13, No. 2: 17–22.
- Gričius, G. (2010). Daugelio agentų e. rūpybos paslaugų informacinė sistema. Magistro baigiamasis darbas, Klaipėda.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 39, No. 6: 1161–1178.
- Csikszentmihalyi, M. (1997). Finding flow. New York, NY, United States of America: Basic Books.

## SMART SENSOR: A PLATFORM FOR AN INTERACTIVE HUMAN PHYSIOLOGICAL STATE RECOGNITION STUDY

Andrej Gorochev, Antanas Andrius Bielskis, Rasa Gadliauskaitė

### Summary

This paper describes a concept of making interactive human state recognition systems based on smart sensor design. The token measures on proper ADC signal processing had significantly lowered the interference level. A more reliable way of measuring human skin temperature was offered by using Maxim DS18B20 digital thermometers. They introduced a more sensible response to temperature changes compared to previously used analog LM35 thermometers. An adaptive HR measuring algorithm was introduced to suppress incorrect ECG signal readings caused by human muscular activities. User friendly interactive interface for touch sensitive GLCD screen was developed to present real time physiological data readings both in numerals and graphics. User was granted an ability to dynamically customize data processing methods according to his/her needs. Specific procedures were developed to simplify physiological state recording for further analysis. The introduced physiological data sampling and preprocessing platform was optimized to be compatible with “ATmega Oscilloscope” PC data collecting and visualizing software.

**Key words:** galvanic skin response, GSR, electrocardiogram, ECG, skin temperature, SKT, physiological state recognition, arousal, smart sensor.