



JUSTAS ŠALKEVIČIUS

**VIRTUALIOJI
REALYBĖ NERIMUI
ATPAŽINTI NAUDOJANT
FIZIOLOGINIUS
SIGNALUS: SISTEMA,
METODAI IR
VERTINIMAS**

DAKTARO DISERTACIJOS
SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS
MOKSLAI, INFORMATIKOS
INŽINERIJA (T 007)

Kaunas
2020

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

JUSTAS ŠALKEVIČIUS

VIRTUALIOJI REALYBĖ NERIMUI
ATPAŽINTI NAUDOJANT
FIZIOLOGINIUS SIGNALUS:
SISTEMA, METODAI IR VERTINIMAS

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (T 007)

2020, Kaunas

Disertacija rengta 2015–2019 metais Kauno technologijos universiteto Informatikos fakultete.

Mokslinis vadovas:

Prof. dr. Robertas DAMASEVIČIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – T 007).

Redagavo: Ilona Petrovė

Informatikos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

prof. dr. Rimvydas SIMUTIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – T 007) – **pirmininkas**;

doc. dr. Gennaro CORDASCO (Luigi Vanvitelli universitetas, Itraija, technologijos mokslai, informatikos inžinerija);

prof. dr. Arnas KAČENIAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – T 007),

prof. dr. Olga KURASOVA (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – T007),

doc. dr. Simona RAMANAUSKAITĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – T 007).

Disertacija bus ginama viešame informatikos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje 2020 m. rugpjūčio 31 d. 14 val. Kauno technologijos universiteto disertacijų gynimo salėje.

Adresas: K. Donelaičio g. 73-403, 44249 Kaunas, Lietuva.

Tel. (370) 37 300 042; faks. (370) 37 324 144; el. paštas doktorantura@ktu.lt.

Disertacijos santrauka išsiųsta 2020 m. liepos 31 d.

Su disertacija galima susipažinti Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, Kaunas), Vilniaus Gedimino technikos universiteto (Saulėtekio al. 14, Vilnius) bibliotekose bei internete (<http://ktu.edu>).

IŽANGA

Nerimo sutrikimai kaip socialinė fobija, viešojo kalbėjimo, skrydžių baimė ar potrauminio streso sindromas gali stipriai apriboti ir paveikti kasdienį žmonių gyvenimą. Šie sutrikimai dažnai veda prie simptomų kaip įtampa, panikos atakos, dirglumas ar prastas miegas. Dažniausiai nerimas arba stresas yra įprasta organizmo reakcija į išorinį dirgiklį. Tačiau ilgalaikis ar perdėtas nerimas gali privesti prie kasdienės veiklos disfunkcijos. Todėl yra svarbu tirti metodus ir įrankius, kurie padėtų gydyti nerimo sutrikimus.

Auksiniu standartu nerimo sutrikimui gydyti laikoma kognityvinė elgesio terapija. Šio pobūdžio intervencijos efektyviausiai įveikia specifines fobijas. Tokiu atveju reikalinga, kad klientas atsidurtų baimę keliančioje situacijoje. Tam taikomos įvairios ekspozicijos formos. Literatūroje išskiriamos dvi pagrindinės: *in-vivo* ekspozicija, kai klientas patenka į baimę keliančią situaciją ar susiduria su baimę keliančiu objektu realybėje, ir *in-virtuo* – tai tas pats procesas, tik atliekamas vaizduotėje.

Tačiau kartais gali būti sudėtinga įsivaizduoti baimę keliantį objektą, o sukurti susidūrimą su juo realybėje – nesaugu. Terapijos sesijos, vykstančios viešose erdvėse, ne visada gali būti iki galo privačios ir konfidencialios. Todėl virtualios realybės terapijos sistemos gali būti naudojamos šioms problemoms spręsti. Virtuali realybė leidžia pacientą perkelti į 3D aplinką, kuri yra specialiai pritaikyta kiekvienam nerimo sutrikimui pagal paciento poreikius. Be to, virtualios realybės terapijos sistemos ir scenas galima pakartotinai naudoti daugybei pacientų ir taip mažinti išlaidas. Virtualios realybės terapijos sesijos gali būti atliekamos privačiai psichologijos klinikoje.

Virtuali realybė leidžia terapeutui keisti ir veikti aplinkas realiu laiku. Matydamas, kaip pacientas elgiasi virtualioje nerimą keliančioje situacijoje, terapeutas gali keisti virtualių avatarų elgesį arba aplinkos faktorius, taip stiprindamas ar silpnindamas terapijos sesijos intensyvumą. Be to, tai įgalina daug kartų panaudoti scenarijų, nes skirtinga eiga ir besikeičiančios aplinkos reakcijos kiekvieną sesiją gali padaryti unikalią.

Nerimas sukelia autonominės nervų sistemos reakcijas. Šie pokyčiai žmogaus kūne gali būti užfiksuojami naudojant neinvazinius, nešiojamus sensorius. Signalai kaip elektroneuromiografija (angl. *Electromyography, EMG*), širdies ritmas (angl. *heart rate, HR*),

kvėpavimas, elektroderminė veikla (angl. *galvanic skin response, GSR*), elektroencefalografija (angl. *electroencephalography, EEG*) ir odos temperatūra gali būti apdorojami ir panaudojami nerimo stiprumui atpažinti. Toks metodas galėtų būti integruotas į virtualios realybės terapijos sistemas. Tai leistų terapeutui realiu laiku sekti paciento patiriamą nerimą terapijos sesijų metu ir parinkti adekvačius virtualios realybės scenarijus.

Darbo objektas

Šio darbo objektas yra virtualios realybės terapijos, kaip paslaugos su nerimo atpažinimo funkcija, modelis.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas yra pasiūlyti virtualios realybės modelį, skirtą norimai tiriamojo emocinei būsenai sukelti per virtualios aplinkos sukurtą stimulą, šiai emocinei būsenai (nerimui) atpažinti panaudojant psichofiziologinius signalus.

Darbo uždaviniai

Šio darbo uždaviniai yra šie:

1. Atlikti naujausių virtualios realybės sistemų, jų modelių, architektūrų ir galimybių apžvalgą. Taip pat apžvelgti nerimo atpažinimo metodus, naudojančius psichofiziologinių signalų analizę.
2. Pasiūlyti prisitaikančią virtualios realybės terapijos sistemos architektūrą pagal virtualios realybės kaip paslaugos (angl. k. *Virtual-Reality-as-a-Service, VRaaS*) modelį.
3. Praktiškai įgyvendinti virtualios realybės sistemą su psichofiziologinių signalų fiksavimu bei galimybe terapeutui keisti ir pritaikyti virtualios realybės aplinkas realiu laiku.

4. Įvertinti psichofiziologinių signalų apdorojimo ir savybių išskyrimo metodikas, kuriant nerimo atpažinimo posistemę virtualios realybės terapijai.

Mokslinis naujumas

Darbe pasiekti šie nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas virtualios realybės kaip paslaugos modelis leido sukurti virtualios realybės terapijos sistemą su nerimo atpažinimo komponentu. Tokia sistema suteikia galimybę terapeutui pritaikyti virtualias aplinkas, scenarijus bei virtualių avatarų elgesį terapinės sesijos metu. Taip suteikiama galimybė terapeutui vykdyti personalizuotas efektyvesnes virtualios realybės terapijos sesijas.
2. Sukurta virtualios realybės terapijos sistema turi integruotą keturių nerimo klasių atpažinimo modelį, o panašios sistemos iki tol apsiribodavo dviejų ar trijų nerimo klasių atpažinimu. Toks modelis terapeutui gali suteikti galimybę tiksliau atpažinti paciento nerimą keturiais lygiais (mažas, silpnas, vidutinis, aukštas). Remdamasis šia informacija terapeutas turi galimybę suprasti paciento patiriamą stresą realiu laiku ir adaptuoti virtualią aplinką, mažindamas arba didindamas jos intensyvumą.

Praktinė darbo rezultatų vertė

Dauguma virtualios realybės sistemų yra lokaliaios aplikacijos. Šis darbas siūlo ir aprašo virtualios realybės terapijos sistemos architektūrą, kuri gali būti naudojama keliose psichologijos klinikose vienu metu, ji įrengiama paprastai – tereikia psichologo darbo vietos, kompiuterio, mobiliojo telefono ir virtualios realybės akinių.

Be to, šiame darbe aprašyta virtualios realybės terapijos sistemos architektūra leidžia terapeutui aktyviai dalyvauti sesijų metu. Naudodamasis šiomis galimybėmis terapeutas gali keisti virtualios realybės aplinką ir scenarijus, pritaikyti juos pagal paciento elgesį.

Šis darbas taip pat aptaria psichofiziologiniais signalais grįstą metodiką nerimo lygiui nustatyti virtualios realybės sesijų metu. Tai potencialiai gali padėti terapeutui geriau įvertinti paciento nerimą terapijos metu ir tinkamai pakeisti virtualios realybės scenarijus pagal paciento būseną.

Galiausiai sukurta sistema buvo panaudota virtualios realybės terapijos eksperimentui – viešojo kalbėjimo baimei gydyti. Eksperimentas, kuriame dalyvavo 30 dalyvių, buvo įgyvendintas psichologų.

Ginami teiginiai

1. Pasiūlytas virtualios realybės kaip paslaugos modelis įgalino sukurti plečiamos ir mobilios virtualios realybės terapijos sistemą, pritaikytą naudoti psichologijos klinikose.
2. Prisitaikantis ir vartotojo sąveika grįstas virtualios realybės terapijos sistemos dizainas suteikia galimybę terapeutui keisti virtualios realybės aplinkas per terapijos sesijas realiu laiku. Taip pritaikoma ir suasmeninama ekspozicijos terapija.
3. Nerimo atpažinimo metodas, naudojantis psichofiziologinius signalus, renkamus per nešiojamus sensorius, ir atpažįstantis keturis nerimo lygius, gali būti integruotas į virtualios realybės terapijos sistemas.

Mokslinis pripažinimas

Šis darbas yra iš dalies pagrįstas duomenimis ir eksperimentas, pristatytais moksliniuose straipsniuose, referuojamuose tarptautinėse mokslo duomenų bazėse:

1. **Šalkevičius, Justas**, Miškinytė, Audronė, & Navickas, Lukas. (2019). Cloud based virtual reality exposure therapy service for public speaking anxiety. *Information*, 10(2:62), 1–15.

2. **Šalkevičius, Justas,** Damaševičius, Robertas, Maskeliūnas, Rytis, & Laukienė, Ilona. (2019). Anxiety Level Recognition for Virtual Reality Therapy System Using Physiological Signals. *Electronics*, 8(9), 1039.

Taip pat šiose tarptautinėse mokslinėse konferencijose:

1. **Šalkevičius, Justas,** and Navickas, Lukas. (2018). Battling the fear of public speaking: Designing software as a service solution for a virtual reality therapy. *W-FiCloud 2018: 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops*, 6–8 August 2018, Barcelona, Spain, 209–213.
2. **Šalkevičius, Justas,** and Damaševičius, Robertas. "Adapting Virtual Environments Based on Patients' Anxiety during Virtual Reality Exposure Therapy." *11th International Workshop on Data Analysis Methods for Software Systems*, Druskininkai, Lithuania, November 28–30, 2019 (2019): 79.

1. VIRTUALIOS REALYBĖS TERAPIJOS SISTEMŲ DIZAINAS

1.1 Virtualios realybės sistemų, sekančių emocinę būklę, apžvalga

Psichofiziologinių signalų sekimą virtualios realybės sistemose naudoja daugelis tyrėjų. Jie matuoja tiriamųjų reakcijas į virtualias aplinkas, taip pat įvertina virtualios realybės sistemų efektyvumą.

Dauguma virtualios realybės aplinkų reikalauja galimybės vartotojui judėti 360 laipsnių kampu bei laisvai judinti rankas, jei naudojami virtualios realybės valdikliai. Todėl tyrimams yra aktualūs psichofiziologinių signalų sensorių, kurie gali būti naudojami su virtualios realybės sistemomis, apribojimai. Kaip matyti **1 lentelėje**, populiariausi yra elektroderminės veiklos (GSR) ir širdies ritmo (HR) sekimo sensoriai, nes įprastai jie yra maži ir neapriboja tiriamojo judėjimo galimybių.

1 lentelė. Virtualios realybės sistemos, registruojančios psichofiziologinius signalus

Autorius	VR sritis	Sekami psich. signalai	VR arch. tipas	Sekamos emocinės būsenos
Norrholm et al. [1]	Potrauminio streso sindromo terapija	HR, GSR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, fiksuotos judančios kameros pozicijos)	Nerimas
Fusaro et al. [2]	Reakcija į kitų skausmą	GSR, HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, nejuda)	Reakcijos į skausmo arba malonų stimulą
Detez et al. [3]	Lošimai	HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, nejuda)	Jaudulys

Notzon et al. [4]	Vorų baimė	GSR, HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio)	Nerimas
Breuninger et al. [5]	Agorafobija	GSR, HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, judėjimas su VR valdikliais)	Nerimas
Kuriakose et al. [6]	Socialinės sąveikos (autizmo sutrikimas)	BVP, GSR, odos temperatūra	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, nejuda)	Emocinė būseną
Gao et al. [7]	Nuotaikos ir atsipalaidavimas	EEG	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, 360 laipsnių vaizdai, nejuda)	Teigiama, neigiama nuotaika
Czarnek et al. [8]	Gelbėjimo operacijų mokymai	ECG, HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, judėjimas su VR valdikliais)	Reakcija į gelbėjimo scenarijų
Esteves et al. [9]	Socialinė fobija	GSR, HR	VR lokalus (ant stacionaraus kompiuterio, nejuda)	Nerimas

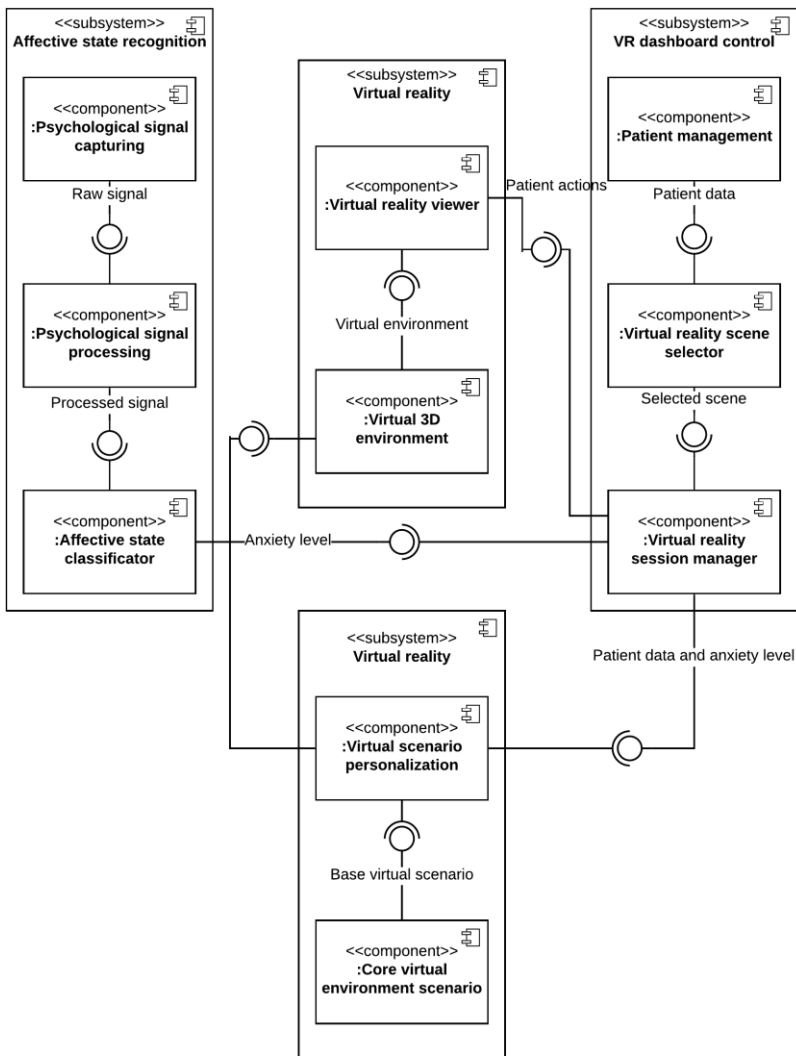
1.2 Siūlomas virtualios realybės sistemos dizainas

Sistemos pasiekiamumui išplėsti pasirinktas programinės įrangos paslaugos (SaaS) modelis (**1 pav.**). Todėl buvo pasiūlytas virtualios realybės paslaugos modelis.

VRaaS modelį sudaro keturios esminės posistemės, užtikrinančios virtualios realybės terapijos sistemų plečiamumą, emocinės būsenos atpažinimą sesijų metu ir galimybę personalizuoti terapijos sesijas:

1. **Emocinės būsenos atpažinimo posistemė.** Jos paskirtis yra surinkti, apdoroti paciento psichofiziologinius signalus, išskirti psichologines savybes ir jas panaudoti paciento emocinei būsenai sekti.
2. **Virtualios realybės posistemė** skirta pacientui perteikti virtualias aplinkas ir registruoti bei perduoti terapeutui paciento elgesį virtualios terapijos erdvėse.
3. **Virtualios realybės valdymo posistemė** leidžia terapeutui vesti virtualios realybės sesijas keliems pacientams, parenkant tinkamus terapijos aplinkų scenarijus, leidžiantis sąveikauti ir keisti juos realiu laiku bei pritaikyti pacientui.
4. **Virtualaus scenarijaus eigos posistemė** suteikia galimybę asmeninti bazinius virtualios realybės terapijos scenarijus ir taip kurti suasmenintas sesijas.

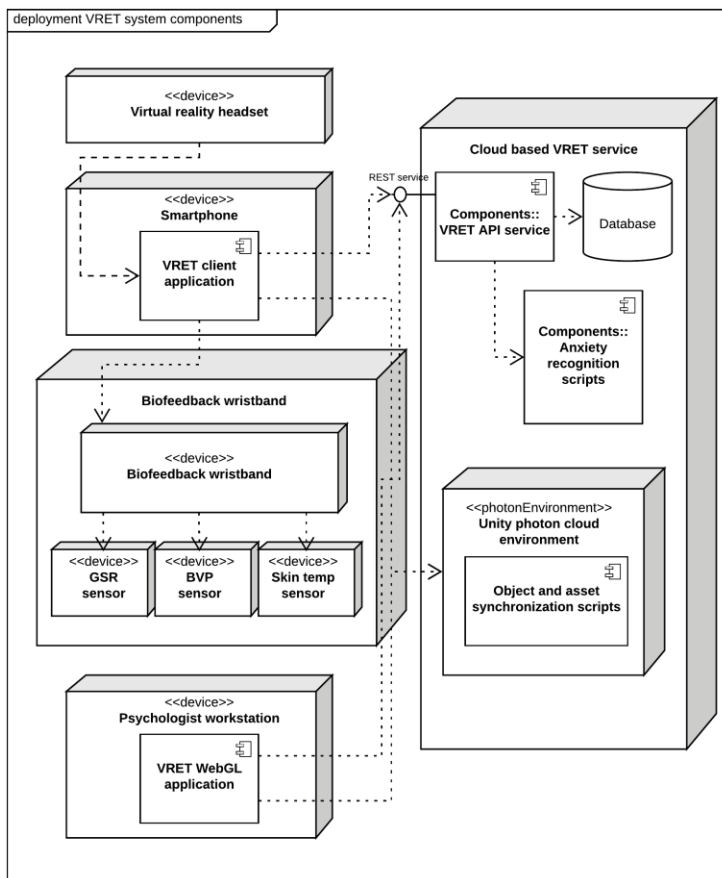
Šiam modeliui įgyvendinti prireikė pasitelkti debesų kompiuterijai tinkamus architektūrinius sprendimus (**2 pav.**): interneto paslaugai naudota REST (angl. *Representational State Transfer*) architektūra, o VRET (angl. *Virtual Reality Exposition Therapy*) – stebėtojo aplikacija, skirta psichologui, naudoja „Azure“ platformą. Pagrindinė VRET aplikacija, skirta pacientui, sukurta naudojant „Unity“ žaidimų variklį.



1 pav. Virtualios realybės paslaugos modelis (VRaaS)

Terapijos seansai pradedami, kai psichologas, naudodamas stebėtojo aplikaciją, sukuria naują seansą konkrečiam pacientui ir jam suteikia unikalų kodą. Jis naudojamas paciento VRET aplikacijai susieti su stebėtojo vaizdu, taip pat jis užtikrina, kad tik kodą žinantis

pacientas galėtų prisijungti prie terapijos sesijos. Psichologui parinkus norimus seanso parametrus, paciento VRET aplikacija parsisiunčia reikalingus duomenis iš serverio ir sesija prasideda. Terapijos metu renkami psichofiziologiniai duomenys yra matomi terapeutui kartu su VRET aplikacijos vaizdu per „WebGL“ modulį. Stebėtojo aplikacija taip pat suteikia galimybę psichologui paveikti VR simuliaciją terapijos metu – paspaudęs mygtukus savo skydelyje siunčia signalus į paciento aplikaciją. Pasibaigus sesijai visi duomenys saugomi duomenų bazėje. Visos sistemos architektūra pavaizduota **2 pav.**

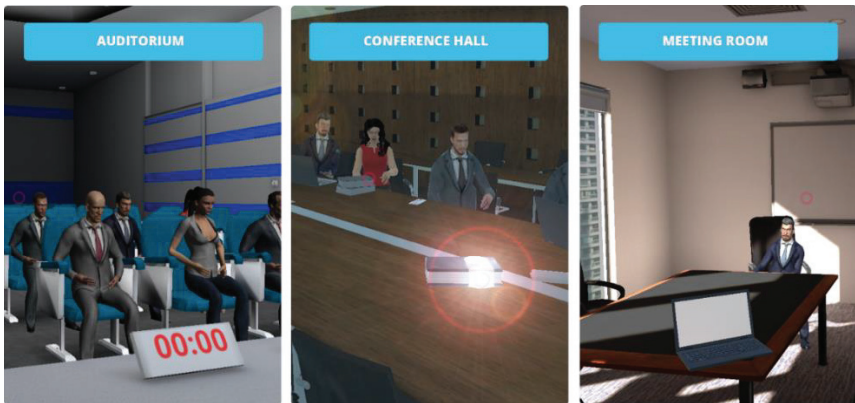


2 pav. VRET sistemos architektūra pagal VRaaS modelį

1.3 Virtualios realybės scenos viešojo kalbėjimo baimės terapijai

Trys skirtingos virtualios realybės scenos buvo sukurtos viešojo kalbėjimo baimės terapijai – nuo mažo biuro kambarėlio iki pristatymo įmonėje ar didelei auditorijai salėje (**3 pav.**).

Kiekvienai virtualios realybės scenai tiriamieji turi sukurti unikalią kalbą su skaidrėmis. Jos įkeliamos į virtualios realybės terapijos sistemą ir integruojamos į virtualias aplinkas. Pacientas kontrolieriu gali valdyti ir keisti skaidres kaip tikrame pasaulyje.



3 pav. Trys virtualios realybės aplinkos viešojo kalbėjimo baimės terapijai

Viešojo kalbėjimo scenos turi integruotas sąveikas, kurios gali būti pasirinktos psichoterapeuto skydelyje, jos atlieka specifinę funkciją, leidžiančią keisti virtualią aplinką realiu laiku:

- „Small applause“ paleidžia šiek tiek linksmos minios animaciją;
- „Normal applause“ paleidžia linksmos minios animaciją;
- „Big applause“ paleidžia labai linksmos minios animaciją;
- „Unhappy“ paleidžia nuobodžiaujančios minios animaciją;
- „Very Unhappy“ paleidžia piktos minios animaciją;
- „Dissapprove“ paleidžia neutralios minios animaciją;
- „Echo“ aktyvuoja aido garso efektą;
- „Start Timer“ mygtukas paleidžia laikmatį, esantį šalia paciento;

- „Break PC“ mygtukas inicijuoja sugadinto kompiuterio veiksmą, iš kurio pacientas gali „skaityti“ skaidres;
- „Heart Beat“ leidžia širdies plakimo garsus scenoje, taip dar labiau sukeldamas stresą pacientui;
- „Breathing“ leidžia stipraus kvėpavimo garsus scenoje, taip dar labiau sukeldamas stresą pacientui.

2 METODAI

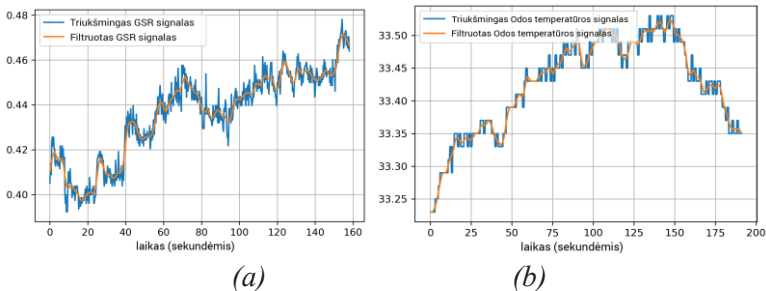
2.1 Psichologinių signalų apdorojimas

Eksperimentų metu tiriamųjų psichofiziologiniai signalai buvo renkami naudojant apyrankę „Empatica E4“. Jos duomenys buvo nuskaitomi specialiai sukurta programa. Tyrimui buvo panaudotas odos temperatūros signalas, matuojamas laipsniais Celsijaus skalėje (°C), įrašomas 4 Hz dažniu; elektroderminės veiklos (GSR) signalas, matuojamas μ S, įrašomas 4 Hz dažniu; ir fotopletizmografinis signalas (angl. *Blood Volume Pulse*, BVP), įrašomas 64 Hz dažniu.

Šie psichofiziologiniai duomenys buvo renkami trijose eksperimento vietose:

- neutralus signalas (angl. *baseline*) eksperimento pradžioje;
- signalas įprastos viešojo kalbėjimo terapijos sesijos metu;
- signalas tiriamajam naudojant virtualios realybės terapijos viešojo kalbėjimo aplinkas.

Surinkti odos temperatūros, GSR ir BVP duomenys turėjo stipraus triukšmo žymių. Tam turėjo įtakos įrenginio pozicija – apyrankė, kurios signalą lengvai gali paveikti rankų gestai. Dėl šios priežasties tyrimo metu surinktiems signalams buvo pritaikytas žemo dažnio 1Hz Batervorto filtras, kuris leido pašalinti ekstremumus ir išvalyti signalus (**4 pav.**). Papildomai signalams išlyginti tyrime panaudotas judėjimo vidurinės reikšmės filtras (angl. *moving average filter*).



4 pav. Originalus ir išfiltruotas signalai: a) GSR ir b) odos temperatūra

Toliau GSR, BVP ir odos temperatūros signalai buvo normalizuoti pagal formulę (1):

$$X_{norm\ gsr,st} = \frac{X_{orig\ gsr,st} - X_{gsr,st}}{X_{max\ gsr,st} - X_{gsr,st}}, \quad (1)$$

kur X_{norm} yra normalizuota, X – esama, X_{max} – maksimali, o X_{orig} – originali signalo reikšmės. Šis signalo normalizavimo etapas yra svarbus, nes panaikinama priklausomybė nuo individualaus eksperimento dalyvio reikšmių.

2.2 Psichologinių savybių išgavimas

Iš normalizuotų ir filtruotų signalų buvo išskirtos unikalios savybės, naudojant skirtingo ilgio slenkantį langą (angl. *sliding window*). Savybės išskirtos pagal JAV mokslininkę Picard, kuri yra viena iš emocinio skaičiavimo (angl. *affective computing*) mokslų šakos pradininkų [10][11]. Šios psichofiziologinių signalų savybės literatūroje dažnai minimos ir naudojamos emocinio stimulo įtakai tiriamajam nustatyti. Papildomos statistinės savybės buvo įtrauktos pagal kitus emocijų atpažinimo tyrimus (2 lentelė).

2 lentelė. Psichofiziologinių signalų savybės

Signalų tipas	Grupė	Savybė
Visi	Statistiniai	Minimumas $\min \{X_n\}$
		Maksimumas $\max \{X_n\}$
		Aritmetinis vidurkis

		$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n$	
		Dispersija $\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (X_n - AM)^2$	
		Standartinis nuokrypis (SD) $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X_n - AM)^2}$	
		Mediana $\left(\frac{N+1}{2}\right)^{th}$	
		Ekscesas $\sum_{n=1}^N (X_n - AM) \frac{4}{(N-1)SD^4}$	
		Asimetrijos koeficientas $\sum_{n=1}^N (X_n - AM) \frac{3}{(N-1)SD^3}$	
	Išplėsti statistiniai [12]	Vidutinis absoliutus nuokrypis $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n - AM $	
		6-as momentas $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^6$	
		5-as momentas $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^5$	
		4-as momentas $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^4$	
		3-as momentas $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^3$	
		Kvadratinis vidurkis $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n^2}$	
		Diferencialai [12]	1-asis diferencialas $\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N X_{n+1} - X_n $

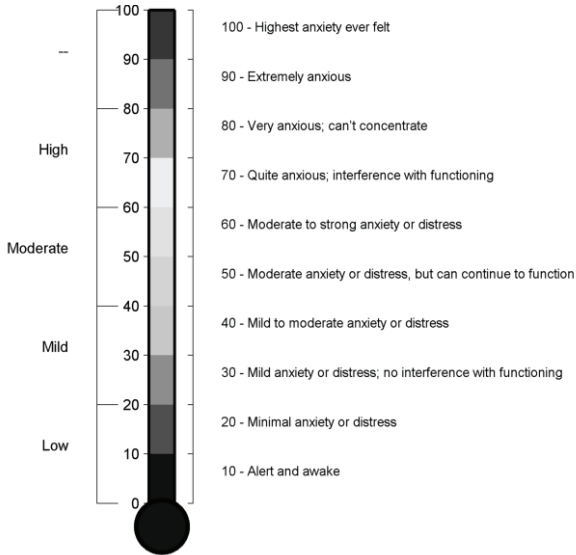
		1-asis diferencialas, padalintas iš standartinio nuokrypio $\frac{1}{N-1} \frac{\sum_{n=1}^N X_{n+1} - X_n }{SD}$
		2-asis diferencialas $\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^N X_{n+2} - X_n $
		2-asis diferencialas, padalintas iš standartinio nuokrypio $\frac{1}{N-2} \frac{\sum_{n=1}^N X_{n+2} - X_n }{SD}$
	Picard et al. [11]	Grynojo signalo absoliutinis vidurkis $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n$
		Grynojo signalo standartinis nuokrypis $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X_n - X_{mean})^2}$
		Grynojo signalo 1-o diferencialo absoliutinis vidurkis $\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} X_{n+1} - X_n $
		Normalizuoto signalo 1-o diferencialo absoliutinis vidurkis $\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^{N-1} \tilde{X}_{n+1} - \tilde{X}_n $
		Grynojo signalo 2-o diferencialo absoliutinis vidurkis $\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-2} X_{n+2} - X_n $
		Normalizuoto signalo 2-o diferencialo absoliutinis vidurkis $\frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^{N-2} \tilde{X}_{n+2} - \tilde{X}_n $
GSR	Pikai ir amplitudės [13]	GSR pikų skaičius $\sigma_k = \frac{1}{\lambda - 1} \sum_{n=1}^N \left[\left(m_{nk} - \frac{1}{\lambda} \sum_{n=1}^{\lambda} m_k \right)^2 \right]$

		Vidutinė GSR pikų amplitudė $ \bar{\sigma} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sigma_n $
		Maksimali GSR amplitudė $\max\{\bar{\sigma}_k\}$
BVP	Širdies dažnis [14]	Dūžiai per minutę $BPM = \frac{60(t_n - t_1)}{n}$
		Permušimo intervalas $IBI = RR_t - RR_{t-1}$
		Kvadratinė šaknis tarp gretimų RR intervalų $y_k = \frac{1}{W} \sum_{t=k-W}^k RR_t$ $\sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K y_n^2}$
		Standartinis nuokrypis nuo gretimų RR intervalų $y_k = \frac{1}{W} \sum_{t=k-W}^k RR_t$ $\sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (y_k - y_{mean})^2}$
		Standartinis nuokrypis tarp RR intervalų $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (RR_t - RR_{tmean})^2}$
		Širdies ritmo vidutinis absoliutus nuokrypis $\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N HR_n - HR_{mean} $

2.3 Nerimo įvertio klasės priskyrimas

Subjektyviai suvokiamo streso skalė (angl. *SUDS*) matuojama skaitine reikšme nuo 0 iki 100. Tyrimo metu tiriamieji vertino savo subjektyviai suvokiamą stresą intervalu nuo 10 iki 80. Todėl buvo nuspręsta skalę suskirstyti į keturis tipus (**5 pav.**):

- mažas nerimas – SUDS vertė nuo 0 iki 20;
- lengvas nerimas – SUDS vertė nuo 20 iki 40;
- vidutinis nerimas – SUDS vertė nuo 40 iki 60;
- didelis nerimas – SUDS vertė nuo 60 iki 80.



5 pav. Nerimo skalės SUDS skirstymas į klases

3 REZULTATAI

3.1 Eksperimentas

Tiriamųjų grupę sudarė 13 moterų ir 17 vyrų, kurių amžius siekė 21–34 metus. Dauguma tiriamųjų (76 %) – dirbantys, susipažinę su darbinėmis viešojo kalbėjimo situacijomis (viešais pristatymais susirinkimų metu). Papildomai buvo užfiksuotos ankstesnės dalyvių patirtys su virtualios realybės sistemomis ir vaizdo žaidimais. Visi demografiniai duomenys pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Demografinė informacija

Matas	Reikšmė
Amžius	Vidurkis = 26,85, nuokrypis = 4,189

Lytis	Moterys (13), vyrai (17)
Socialinis statusas	Studijuoja (7), dirba (23)
VR patirtis	Niekada (13), retai (16), dažnai (4)
Vaizdo žaidimų patirtis	Niekada (10), retai (9), dažnai (11)

Sesijos pradžioje dalyvis užpildė demografinių duomenų formą ir davė sutikimą dalyvauti eksperimente. Pacientui taip pat buvo pateiktos skirtingos psichologinės savianalizės skalės: viešojo kalbėjimo baimės (angl. *public speaking anxiety scale, PSAS*), bendravimo baimės savirefleksijos (angl. *personal report of communication apprehension, PRCA-24*) ir minčių, susijusių su viešojo kalbėjimo baime, klausimynas (angl. *speech anxiety thoughts inventory, SATT*). Iš kiekvieno tiriamojo buvo paimti elektroderminės veiklos (angl. *EDA* arba *galvanic skin response, GSR*), odos temperatūros signalai bei fotopletizmogramos signalų įrašai. Šie duomenys vėliau buvo naudojami kaip neutralus matavimas.

Kito sesijos etapo metu dalyvis pasikalbėdavo su psichologu ir gaudavo 10 minučių pasiruošti trumpai kalbai pasiūlyta tema. Vėliau tiriamasis sakydavo savo kalbą terapeutui, tuo pat metu buvo registruojami jo psichofiziologiniai signalai. Kalba trukdavo iki 5 minučių. Pabaigoje tiriamasis aptardavo savo pasakytą kalbą su psichologu ir ją įvertindavo. Tarpiniam įvertinimui taip pat buvo naudojama: subjektyviai suvokiamo streso skalė (SUDS) ir subjektyvus somatinio diskomforto vertinimas (nesvarumo būklė, raumenų įtampa ir pan.).

Nedelsiant buvo pereinama prie VRT etapo. Tiriamajam skirta iki 10-ies minučių paruošti kalbą. Tada jam (jai) liepta viešai pristatyti kalbą virtualiai auditorijai. Psichologas valdo trimatę minią bei aplinkos sąlygas. Kaip ir ankstesniame etape, psichofiziologinius signalus renkantis įrenginys matuodavo GSR, odos temperatūrą bei kraujo spaudimą, veikiant VRT dirgikliams. Šiai kalbai skiriama ne daugiau kaip 5 minutės.

Pasibaigus VRT sesijai dalyvis (-ė) vertindavo savo kalbą ir užpildydavo papildomas savianalizės skales: viešojo kalbėjimo, bendravimo baimės savirefleksijos, minčių, susijusių su viešojo kalbėjimo baime, klausimyną, subjektyviai suvokiamo streso skalę ir IGroup buvimo virtualioje realybėje pojūčio klausimyną (angl. *IGroup*

presence questionnaire, IPQ). Tuo siekta palyginti reikšmes prieš ir po VRT sesijos.

Galiausiai tiriamasis (-oji) aptardavo su psichologu sesijos metu išgyventą patirtį. Visa eksperimento eiga parodyta **6 pav.** Sesijos trukmė varijavo nuo 45 iki 90 minučių.



6 pav. Eksperimento eiga. VRT sesija atlikta 6 žingsnyje

Subjektyviai suvokiamo streso skalė buvo pasirinkta kaip įrankis, dažnai naudojamas paciento nerimo lygiui nustatyti. Skalė prasideda nuo 10 (budrumo būseną) ir baigiasi reikšme 100 (didžiausias kada nors išgyventas nerimas). Visos SUDS reikšmės pateikiamos **4 lentelėje**.

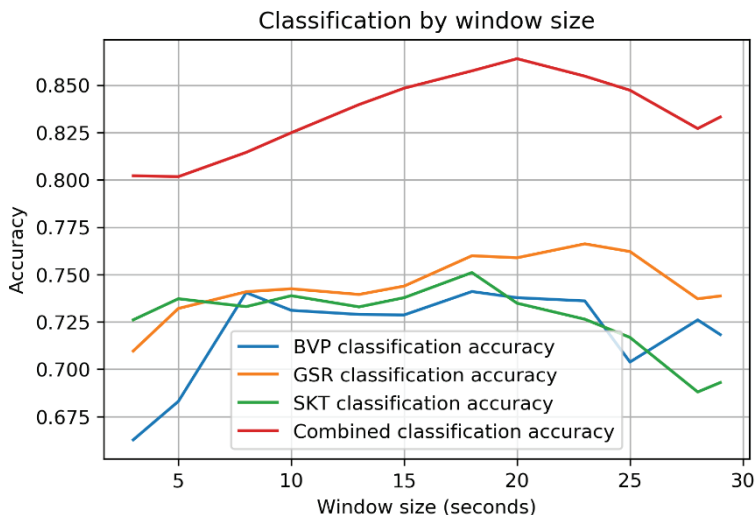
4 lentelė. Subjektyviai suvokiamo streso skalė

Matmuo	Įvertinimas
Stipriausias nerimas, kurį kada nors išgyvenote	100
Labai stiprus nerimas	90
Stiprus nerimas; sunku susikoncentruoti, pasireiškia įvairios fiziologinės reakcijos	80
Gan išreikštas nerimas, trukdantis įprastai funkcionuoti. Galimos fiziologinės reakcijos	70
Šiek tiek stipresnis nei vidutiniškai išreikštas nerimas	60

Vidutiniškai išreikštas nerimas, diskomforto jausmas, bet nerimas neapriboja funkcionavimo	50
Lengvai išreikštas nerimas	40
Mažai išreikštas nerimas, jokios įtakos funkcionavimui	30
Labai mažai išreikštas nerimas	20
Budrumo būseną, lengva susikoncentruoti	10

3.2 Nerimo klasifikacija pagal signalo lango dydį

Apdorojus signalus pagal slenkančio lango metodiką siekta nustatyti lango dydį, kuris mašininio mokymosi algoritmams geriausiai padėtų nustatyti paciento jaučiamą nerimą virtualios realybės sesijos metu. Dėl to buvo apmokomi SVM (angl. *support vector machine*) modeliai, taikant skirtingus signalus, jų kombinacijas ir skirtingas slenkančio lango reikšmes. Šis tyrimas parodė, jog geriausius rezultatus taikant validacijos metodiką „10 x 10 fold“ suteikė 18–23 sekundžių slenkantis langas (7 pav.)

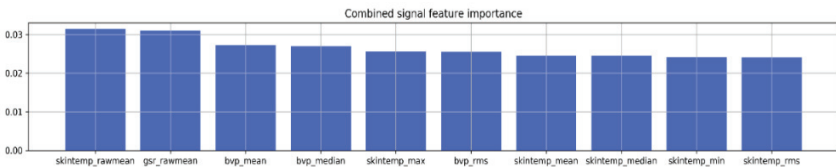


7 pav. Signalų lango ilgis pagal tipą: fotopletizmografinio (BVP), elektroderminės veiklos (GSR), odos temperatūros (SKT) ir sujungtų signalų (angl. *combined*)

3.3 Nerimo klasifikacija pagal signalo tipą

Kitu etapu siekta išsiaiškinti, kurios signalų savybės geriausiai atspindi tiriamojo SUDS klasės įvertį. Panaudojus GINI koreliacijos metodiką ir atsitiktinio miško algoritmo modelio savybių įverčius buvo atrinkti signalų komponentai, kurie bus naudojami apmokant galutinį mašininio mokymosi modelį. Buvo pastebėta, jog šios reikšmės atitinka literatūroje rekomenduojamas išvestines psichofiziologinių signalų savybes. Visi įtakos įverčiai iš atrinktų signalų tipų ir savybių matomi **8 pav.**, kur signalų savybės sužymėtos atitinkamai:

- *skintemp_rawmean* (vidutinė odos temperatūros signalo vertė);
- *gsr_rawmean* (vidutinė elektroderminės veiklos signalo vertė);
- *bvp_mean* (vidutinė fotopletizmografinio signalo vertė);
- *bvp_median* (fotopletizmografinio signalo medianos vertė);
- *skintemp_max* (maksimali normalizuoto odos temperatūros signalo vertė);
- *bvp_rms* (fotopletizmografinio signalo vertės kvadratinis vidurkis);
- *skintemp_mean* (vidutinė normalizuoto odos temperatūros signalo vertė);
- *skintemp_median* (normalizuoto odos temperatūros signalo vertės mediana);
- *skintemp_min* (minimali normalizuoto odos temperatūros signalo vertė);
- *skintemp_rms* (normalizuoto odos temperatūros signalo vertės kvadratinio vidurkio).

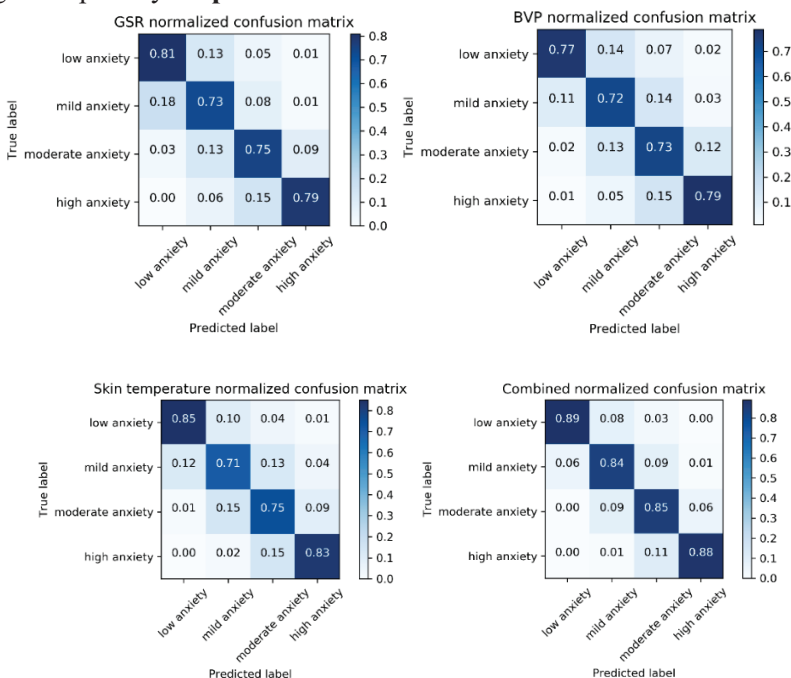


8 pav. Optimalios signalų savybės

Galutiniame etape su atrinktomis signalų savybėmis ir pasirinkta 25 sekundžių slenkančio lango atkarpos reikšme buvo mokomi modeliai, kurie pagal psichofiziologinius signalus gebėtų prognozuoti tiriamojo jaučiamą nerimo lygį pagal SUDS skalę, suskirstytą į 4 klases:

- žemą nerimo lygį (SUDS vertė nuo 0 iki 20);
- lengvą nerimo lygį (SUDS 20–40);
- vidutinį nerimo lygį (SUDS 40–60);
- aukštą nerimo lygį (SUDS 60–80).

Įvertinus apmokytus mašininio mokymosi modelius pagal SVM algoritmą, buvo sukurtas modelis, galintis prognozuoti ir nusakyti tiriamojo jaučiamą nerimą 86,3 proc. tikslumu. Taip pat buvo vertintas gebėjimas teisingai atspėti kiekvieną iš keturių SUDS klasių ir nustatyti, kurie signalai tai geriausiai padeda nusakyti. Galiausiai buvo pasirinktas kombinacinis signalų modelis. Kiekvieno apmokyto mašininio mokymosi modelio įvertinimą pagal validaciją „10 x 10 fold“ galima pamatyti 9 pav.



9 pav. Normalizuotos klasifikacijos nuokrypio matricos

3.4 Rezultatų palyginimas su kitais mokslo darbais

Šio darbo nerimo atpažinimo klasifikacijos rezultatai buvo palyginti su kitų tyrėjų sistemomis. Kadangi sunku rasti identišką įgyvendintam eksperimentui, rezultatai buvo lyginami su kelių tipų nerimo atpažinimo sistemomis.

Pirmasis tipas buvo laboratorijos aplinkoje sukeltas nerimas, dažniausiai atliekant sudėtingas protines užduotis. Tokie eksperimentai mokliškai yra plačiausiai išnagrinėti, tačiau apsiriboja dviem klasėmis: yra stresas, nėra streso (**5 lentelė**).

5 lentelė. Rezultatų palyginimas su laboratorijoje sukulto streso atpažinimo sistemomis

Tyrimas	Signalai	Nerimo stimulus	Tipas	Imtis	Klasės	Tiksl.
Vries <i>et al.</i> [14]	GSR, ECG, RV	Užduotys lab.	LVQ	61	2	88 % (10 x 10 fold)
Xu <i>et al.</i> [15]	GSR, EMG, HR, EEG	Užduotys lab.	GRNN	39	2	85,2 % (leave -1- out)
Akaman dor <i>et al.</i> [16]	GSR, ECG	Užduotys lab.	SVM	32	2	95,8 % (train / test split)
Vanitha <i>et al.</i> [17]	EEG	Užduotys lab.	SVM	6	4	89 % (10 fold)
Sandule scu <i>et al.</i> [18]	GSR, BVP	Užduotys lab.	SVM	5	2	80 % (75 % / 25 % train / test split)

Castald o <i>et al.</i> [19]	GSR	Užduotys lab.	LDA	42	2	98,8 % (10 fold)
Mūsų sistema	GSR, BVP, odos temp.	VRET (Viešasis kalb.)	SVM	30	4	86,3 % (10 x 10 fold) 80,1 % (leave -1- out)

Kita palyginimo grupė siejosi su vairavimo sukkelto streso atpažinimo sistemomis. Šis palyginimas yra įdomus tuo, jog vairavimo baimė gali būti gydoma virtualios realybės terapija ir tyrėjai naudojo ne dvejetainę klasifikaciją, o tris nerimo lygius (**6 lentelė**).

6 lentelė. Rezultatų palyginimas su vairavimo sukkelto streso atpažinimo sistemomis

Tyrimas	Signalai	Nerimo stimulus	Tipas	Imtis	Klasės	Tiksl.
Chen <i>et al.</i> [20]	GSR, ECG, RV	Vairavimas	ELM	14	3	99 %
Ghaderi <i>et al.</i> [21]	GSR, EMG, ECG	Vairavimas	SVM	7	3	98 %
Mūsų sistema	GSR, BVP, odos temp.	VRET (Viešasis kalb.)	SVM	30	4	86,3 % (10 x 10 fold) 80,1 % (leave -1- out)

Galiausiai rezultatai buvo palyginti su tyrimais, kurie klasifikavo nerimą viešojo kalbėjimo metu. Nors šie tyrimai nebuvo atlikti naudojantis virtualia realybe, jie yra arčiausiai sukurtos sistemos (7 lentelė).

7 lentelė. Rezultatų palyginimas su viešojo kalbėjimo sukkelto streso atpažinimo sistemomis

Tyrimas	Signalai	Nerimo stimulus	Tipas	Imtis	Klasės	Tiksl.
Zhang <i>et al.</i> [22]	GSR	Viešasis kalbėjimas	NN	22	2	86,7 % (leave -1-out)
Kurniawian <i>et al.</i> [23]	GSR, kalba	Viešasis kalbėjimas	SVM	-/-	3	92 % (10 x 10 fold)
Mūsų sistema	GSR, BVP, odos temp.	VRET viešasis kalbėjimas	SVM	30	4	86,3 % (10 x 10 fold) 80,1 % (leave -1-out)

4 IŠVADOS

1. Pasiūlyta virtualios realybės terapijos sistema, grįsta virtualios realybės kaip paslaugos modeliu, leido terapeutams sąveikauti su 3D aplinkomis ir terapijos scenarijais realiu laiku. Taip virtualios realybės terapijos pritaikomos personalizuotoms sesijoms.

2. Virtualios realybės terapijos sistema su keturių nerimo (mažas, silpnas, vidutinis, aukštas) klasių atpažinimo komponentu suteikia terapeutui galimybę reaguoti į paciento nerimo pokyčius realiu laiku. Taip terapeutui suteikiama galimybė keisti virtualios realybės aplinkas pagal paciento nerimo lygį, didinti arba mažinti virtualios realybės terapijos sesijos intensyvumą.

3. Sukurtas keturių klasių nerimo atpažinimo modelis, naudojamas su virtualios realybės terapijos sistema, geba atpažinti nerimą terapijos sesijų metu 86,3 % tikslumu, kai naudojamas 10 x 10 skirsnių kryžminis patikrinimas, ir 80,1 % tikslumu, nepriklausomu nuo tiriamojo patikrinimu (angl. *leave one out validation*).

LITERATŪRA

- [1] S. D. Norrholm *et al.*, “Baseline psychophysiological and cortisol reactivity as a predictor of PTSD treatment outcome in virtual reality exposure therapy,” *Behav. Res. Ther.*, vol. 82, pp. 28–37, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.BRAT.2016.05.002.
- [2] M. Fusaro, G. Tieri, and S. M. Aglioti, “Seeing pain and pleasure on self and others: behavioral and psychophysiological reactivity in immersive virtual reality,” *J. Neurophysiol.*, vol. 116, no. 6, pp. 2656–2662, Dec. 2016, doi: 10.1152/jn.00489.2016.
- [3] L. Detez *et al.*, “A Psychophysiological and Behavioural Study of Slot Machine Near-Misses Using Immersive Virtual Reality,” *J. Gambl. Stud.*, vol. 35, no. 3, pp. 929–944, Sep. 2019, doi: 10.1007/s10899-018-09822-z.
- [4] S. Notzon *et al.*, “Psychophysiological effects of an iTBS modulated virtual reality challenge including participants with spider phobia,” *Biol. Psychol.*, vol. 112, pp. 66–76, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.BIOPSYCHO.2015.10.003.
- [5] C. Breuninger, D. M. Sláma, M. Krämer, J. Schmitz, and B. Tuschen-Caffier, “Psychophysiological Reactivity, Interoception and Emotion Regulation in Patients with Agoraphobia During Virtual Reality Anxiety Induction,” *Cognit. Ther. Res.*, vol. 41, no. 2, pp. 193–205, Apr. 2017, doi: 10.1007/s10608-016-9814-9.
- [6] S. Kuriakose and U. Lahiri, “Understanding the Psycho-Physiological Implications of Interaction With a Virtual Reality-Based System in Adolescents With Autism: A Feasibility Study,” *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 665–675, Jul. 2015, doi: 10.1109/TNSRE.2015.2393891.
- [7] T. Gao, T. Zhang, L. Zhu, Y. Gao, and L. Qiu, “Exploring Psychophysiological Restoration and Individual Preference in the Different Environments Based on Virtual Reality,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 16, no. 17, p. 3102, Aug. 2019, doi: 10.3390/ijerph16173102.
- [8] G. Czarnek, P. Strojny, A. Strojny, and M. Richter, “Assessing Engagement during Rescue Operation Simulated in Virtual Reality: A Psychophysiological Study,” *Int. J. Human-*

- Computer Interact.*, pp. 1–13, Aug. 2019, doi: 10.1080/10447318.2019.1655905.
- [9] F. G. Esteves, A. P. Claudio, M. B. Carmo, and M. A. Gaspar, “Psychophysiological responses to a Virtual Reality scenario for the treatment of Social Anxiety,” *Int. J. Psychophysiol.*, vol. 108, p. 138, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.IJPSYCHO.2016.07.403.
- [10] R. W. Picard, “Affective Computing.” Accessed: Jun. 06, 2019. [Online]. Available: <http://www.media.mit.edu/~picard/>.
- [11] R. W. Picard, E. Vyzas, and J. Healey, “Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 23, no. 10, pp. 1175–1191, 2001, doi: 10.1109/34.954607.
- [12] S. D. Norrholm *et al.*, “Baseline psychophysiological and cortisol reactivity as a predictor of PTSD treatment outcome in virtual reality exposure therapy,” *Behav. Res. Ther.*, vol. 82, pp. 28–37, Jul. 2016, doi: 10.1016/J.BRAT.2016.05.002.
- [13] F. Delmastro, F. Di Martino, and C. Dolciotti, “Physiological Impact of Vibro-Acoustic Therapy on Stress and Emotions through Wearable Sensors,” in *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, Mar. 2018, pp. 621–626, doi: 10.1109/PERCOMW.2018.8480170.
- [14] J. J. G. (Gert-J. de Vries, S. C. Pauws, and M. Biehl, “Insightful stress detection from physiology modalities using Learning Vector Quantization,” *Neurocomputing*, vol. 151, pp. 873–882, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2014.10.008.
- [15] Q. Xu, T. L. Nwe, and C. Guan, “Cluster-Based Analysis for Personalized Stress Evaluation Using Physiological Signals,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 275–281, Jan. 2015, doi: 10.1109/JBHI.2014.2311044.
- [16] A. O. Akmandor and N. K. Jha, “Keep the Stress Away with SoDA: Stress Detection and Alleviation System,” *IEEE Trans. Multi-Scale Comput. Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 269–282, Oct. 2017, doi: 10.1109/TMSCS.2017.2703613.
- [17] Vanitha V and P. Krishnan, “Real time stress detection system based on EEG signals.” Accessed: Jun. 25, 2019. [Online]. Available: www.biomedres.info.
- [18] V. Sandulescu, S. Andrews, D. Ellis, N. Bellotto, and O. M.

- Mozos, “Stress Detection Using Wearable Physiological Sensors,” Springer, Cham, 2015, pp. 526–532.
- [19] R. Castaldo, L. Montesinos, P. Melillo, S. Massaro, and L. Pecchia, “To What Extent Can We Shorten HRV Analysis in Wearable Sensing? A Case Study on Mental Stress Detection.,” Springer, Singapore, 2018, pp. 643–646.
- [20] L. Chen, Y. Zhao, P. Ye, J. Zhang, and J. Zou, “Detecting driving stress in physiological signals based on multimodal feature analysis and kernel classifiers,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 85, pp. 279–291, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.ESWA.2017.01.040.
- [21] A. Ghaderi, J. Frounchi, and A. Farnam, “Machine learning-based signal processing using physiological signals for stress detection,” in *2015 22nd Iranian Conference on Biomedical Engineering (ICBME)*, Nov. 2015, pp. 93–98, doi: 10.1109/ICBME.2015.7404123.
- [22] X. Zhang, W. Wen, G. Liu, and H. Hu, “Recognition of public speaking anxiety on the recurrence quantification analysis of GSR signals,” in *2016 Sixth International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, May 2016, pp. 533–538, doi: 10.1109/ICIST.2016.7483472.
- [23] H. Kurniawan, A. V. Maslov, and M. Pechenizkiy, “Stress detection from speech and Galvanic Skin Response signals,” in *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, Jun. 2013, pp. 209–214, doi: 10.1109/CBMS.2013.6627790.
- [24] P. Lindner, A. Miloff, E. Zetterlund, L. Reuterskiöld, G. Andersson, and P. Carlbring, “Attitudes Toward and Familiarity With Virtual Reality Therapy Among Practicing Cognitive Behavior Therapists: A Cross-Sectional Survey Study in the Era of Consumer VR Platforms,” *Front. Psychol.*, vol. 10, p. 176, Feb. 2019, doi: 10.3389/fpsyg.2019.00176.
- [25] E. Carl *et al.*, “Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials,” *J. Anxiety Disord.*, vol. 61, pp. 27–36, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.JANXDIS.2018.08.003.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Moksliniuose straipsniuose, referuojamuose tarptautinėse mokslo duomenų bazėse:

1. Šalkevičius, Justas, Miškinytė, Audronė, & Navickas, Lukas. (2019). Cloud based virtual reality exposure therapy service for public speaking anxiety. *Information*, 10(2:62), 1–15.
2. Šalkevičius, Justas, Damaševičius, Robertas, Maskeliunas, Rytis, & Laukienė, Ilona. (2019). Anxiety Level Recognition for Virtual Reality Therapy System Using Physiological Signals. *Electronics*, 8(9), 1039.

Tarptautinėse mokslinėse konferencijose:

1. Šalkevičius, Justas, and Navickas, Lukas. (2018). Battling the fear of public speaking: Designing software as a service solution for a virtual reality therapy. *W-FiCloud 2018: 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops*, 6–8 August 2018, Barcelona, Spain, 209–213.
2. Šalkevičius, Justas, and Damaševičius, Robertas. "Adapting Virtual Environments Based on Patients' Anxiety during Virtual Reality Exposure Therapy." *11th International Workshop on Data Analysis Methods for Software Systems*, Druskininkai, Lithuania, November 28–30, 2019 (2019): 79.

INFORMACIJA APIE DISERTACIJOS AUTORIŲ

Disertacijos autorius:	Justas Šalkevičius
Kontaktai:	justas.salkevicius@ktu.lt j.salkevicius@gmail.com
Išsilavinimas:	
2009–2013	Informatikos bakalauras Kauno technologijos universitete, Informatikos fakultete
2013–2015	Informatikos magistras Kauno technologijos universitete, Informatikos fakultete
2015–2019	Informatikos inžinerijos krypties doktorantūros studijos, Kauno technologijos universitete, Informatikos fakultete
Darbo patirtis:	
2012 – dabar	Bendraįkūrėjas ir technologijų direktorius, UAB „SneakyBox“
2016 – dabar	Dėstytojas valandininkas (pavasario semestrais) Kauno technologijos universitete, Informatikos fakultete
Mokslinių interesų sritys:	Virtuali realybė, mašininis mokymasis, dirbtinis intelektas

INTRODUCTION

Relevance of the work

Anxiety disorders, such as social phobia, public speaking anxiety, fear of flights, post-traumatic stress disorder, and others can severely limit and impact patients' daily life activities. Anxiety usually leads to such symptoms as tension, panic, and irritability. The terms *stress* and *anxiety* are often used interchangeably as they play an important role in human psychology. Stress (anxiety) is a normal bodily reaction to stressors (stimuli) from the environment. However, prolonged or abnormal anxiety can lead to dysfunction and distress. Thus, it is important to investigate the already existing and new methods and tools that could be used for anxiety treatment.

Virtual reality exposure therapy (VRET) can help solve some of these problems by placing the patients in a simulated 3D environment where they can gradually be exposed to the feared stimuli and learn to control their reactions. These environments can be preplanned and arranged before the treatment sessions. Additionally, virtually simulated environments add ability for the patient to repeat them in the same scenario for multiple times. Moreover, VRET sessions can be organized confidently and privately within the walls of a psychology clinic. They also have a benefit of cost saving in the long run, as the initial virtual reality system development can be expensive, but, once finished, the same 3D environments and treatment scenarios can be used for multiple patients across multiple psychology clinics. However, they are several barriers and limitations for a VRET-based treatment. Firstly, the adaptation of VRET systems is slowed by the need for VR training for the therapists, hardware requirements (a VR headset, a powerful PC to run VR software), lack of education about VR advantages, and others [1]. Secondly, it is important to note that the surveys of VRET studies showed that VRET is neither less, nor more efficient than the traditional therapy, nor does it improve the dropout rates [2]. Although, in the cases where it is difficult to arrange the appropriate treatment environments, VRET can serve as a great alternative.

As previous researchers have shown, the virtual reality exposure therapy (VRET) can be used as a tool during therapist-led anxiety disorder interventions. One of the potential strengths of VRET systems

is that they provide an opportunity for a psychologist to interact with virtual 3D environments and change therapy scenarios according to the individual patient's needs. However, the design and the architecture of many VRET systems is standalone by their nature. This means that the therapist can only observe the patient's actions in a preplanned scenario, and has no ability to change the virtual environment to better suit the specific patient.

Dynamic interaction with the VRET system for the therapist can open up additional treatment options. These interactions can provide ability to control virtual avatars and virtual crowds, change their behavior and reactions based on the patient's actions during the session, and create either less or more stressful experiences according to the patient's progression. Thus, the same scenario can be used multiple times with unexpected and new adaptations. Additionally, the environment itself can be changed to reflect daily or nightly scenarios, or, in the case of driving anxiety, traffic can be either light or really heavy.

Moreover, stressful or feared situations can be initiated by the therapist on the required scale of intensity, like turbulence during a flight for flight anxiety, car incidents for driving anxiety, or a computer crash during a presentation for public speaking anxiety. Finally, various audio-based stimuli can be integrated and triggered by the therapist at appropriate times. These can be either sounds for an environment, such as noisy traffic and drivers yelling, or audio cues related to panic attacks, like extensive heartbeats or heavy breathing.

However, in order to achieve higher efficiency, the patient's anxiety level should be tracked throughout the VRET session. This would allow the therapist to evaluate the current state of the patient more easily and to change the course of the virtual environment and the scenario. Therefore, in order to fully use all the advantages provided by the VRET system, a mental stress detection system is needed.

Anxiety recognition systems are widely researched and used in various scenarios. Human body reactions to stress can be observed by measuring bodily reactions controlled by the autonomic nervous system (ANS). ANS can be separated into two major systems: the parasympathetic nervous system and the sympathetic nervous system. The parasympathetic system is responsible for calming reactions and returning the nerves to the neutral state, while the activation of the

sympathetic system is activating the body reaction to the potential threat. These changes are reflected through psychophysiological signals that can be collected with wearable non-invasive biofeedback sensors. Such signals as the blood volume pressure (BVP), galvanic skin response (GSR), respiratory rate (RV), heart rate (HR), electroencephalogram (EEG), electromyography (EMG) and skin temperature can be processed to recognize anxiety. This requires processing of various signals, feature extraction, feature selection, and classification methods to be implemented.

The anxiety recognition component integration into an interactive VRET system could lead to novel advances and improvements in this kind of therapy. Therefore, this work focuses its efforts onto designing the architecture and methods for this kind of system.

Object of the work

The object of this research is an anxiety-aware Virtual-Reality-as-a-Service (VRaaS) model.

Aim of the work

The aim of the work is to develop a virtual reality model that could be used as a tool for inducing the desired human affective states by using virtual reality stimuli and recognizing affective states (anxiety) by using psychophysiological signals

Tasks of the work

The main task of this study is the design and investigation of adaptive VRET system with an integrated anxiety recognition component, which includes the following subtasks:

1. Analyze state-of-the-art VRET systems, their models, architectures, and advanced usage capabilities, and stress detection frameworks which employ psychophysiological signal analysis.

2. Propose an adaptive design of a VRET system based on a Virtual-Reality-as-a-Service (VRaaS) model.
3. Develop practical implementation of the proposed anxiety recognition component with an ability for the therapist to adapt the exposition therapy session scenario in real-time.
4. Evaluate psychophysiological signal processing and feature extraction techniques for the anxiety recognition component working within the VRET system.

Scientific novelty

The work achieved these novel results:

1. The proposed VRaaS model enables an adaptable VRET system with an integrated anxiety recognition component. This system provides ability for the therapist to adapt virtual environments, change reactions of virtual avatars, and trigger various situations during treatment sessions in order to personalize the treatment session for a specific patient.
2. The suggested VRET system features an integrated four-class anxiety recognition model, while the work of previous researches mostly focused on recognizing anxiety in two or three classes. This model provides the ability for the therapist to recognize the patient's anxiety during VRET at more distinct levels (low, mild, moderate, and high anxiety). Based on this capability to recognize anxiety in a more precise manner, the therapist has more information on how to adapt the current virtual environment scenario for the patient in real-time (to lower or to increase the intensity of the therapy).

Practical value

Most of the VRET system is based on the standalone applications running on a PC. This thesis describes an architecture of a cloud-based

VRET solution that can be used across multiple psychology clinics and with a lightweight setup.

Additionally, the VRET system designed and described in this thesis provides capabilities for the therapist to actively participate during the session. By using the implemented VRET system, the therapist can change and influence the course of the therapy scenario and adapt it to the patients' needs.

Moreover, we design a psychophysiological signal processing and feature extraction component for anxiety recognition during the session. This would potentially help the therapist to measure more accurately the condition of the patient during the VRET session, thus allowing better adaptation of the VR scenario.

Additionally, the proposed VRET system with the ability to measure and recognize the patient's anxiety was supported by the *European Regional Development Fund* within the "Intelektas. Bendri mokslo-verslo projektai" program. Therefore, the implemented system has already been used in psychology clinics to conduct clinical trials.

This thesis shows the fundamental knowledge of VRET system design, feature extraction, and classification of patients' anxiety during VRET sessions when using machine learning methods. Finally, it presents an experiment with 30 participants for the treatment of public speaking anxiety conducted with a VRET system designed by the author of the thesis.

Thesis statements

1. A VRET system based on the Virtual-Reality-as-a-Service (VRaaS) model enables the development of an adaptive, affordable, mobile, and simple VRET toolkit for a psychology clinic.
2. The adaptive and interactive design of VRET systems allows the therapist to change the VR environments during the treatment sessions in real-time, thus providing more capabilities of personalized affective disorder analysis and treatment.

3. A VRET anxiety recognition system that uses psychophysiological signals collected through wearable sensors can be integrated within the bounds of the VRET system and is capable to recognize the patient's anxiety at four levels (low, mild, moderate, and high anxiety).

Scientific approval

This dissertation was partly based on the data and research experience gathered and described in the following peer-reviewed journal articles:

This dissertation is partly based on the data and research experience gathered and described in the following peer-reviewed journal articles:

1. **Šalkevičius, Justas**, Miškinytė, Audronė, & Navickas, Lukas. (2019). Cloud based virtual reality exposure therapy service for public speaking anxiety. *Information*, 10(2:62), 1-15.
2. **Šalkevičius, Justas**, Robertas Damaševičius, Rytis Maskeliūnas, & Ilona Laukienė. (2019). Anxiety Level Recognition for Virtual Reality Therapy System Using Physiological Signals. *Electronics*, 8(9), 1039.

This dissertation is partly based on the following peer-reviewed conference publications:

1. **Šalkevičius, Justas**, and Navickas, Lukas. (2018). Battling the fear of public speaking: Designing software as a service solution for a virtual reality therapy. *W-FiCloud 2018: 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops*, 6–8 August 2018, Barcelona, Spain, 209-213.
2. **Šalkevičius, Justas**, and Damaševičius, Robertas. *Adapting Virtual Environments Based on Patients'*

Anxiety during Virtual Reality Exposure Therapy. 11th International Workshop on Data Analysis Methods for Software Systems, Druskininkai, Lithuania, November 28-30, 2019 (2019): 79.

Conclusions

1. The proposed VRET system based on the VRaaS model allows the therapist to interact with the 3D environment and treatment scenarios in the real-time and to change and adapt virtual environments during VRET sessions for personalized treatment.
2. Our VRET system with the four-class anxiety (low, mild, moderate, and high) recognition component provides the possibility to the therapist to react to the patient's anxiety changes in the real-time thus enabling the therapist to lower or to increase the intensity of the virtual reality therapy scenario based on the observed patient's anxiety level.
3. The proposed four-class anxiety classification method based on the features extracted from psychophysiological signals can recognize the patient's anxiety during a VRET session with the accuracy of 86.3% when using 10x10-fold cross-validation and with 80.1% accuracy when using subject-independent leave one out cross-validation.

UDK 004.946:615.851+615.851:004.946](043.3)

SL344. 2020-07-22, 2,5 leidyb. apsk. I. Tiražas 50 egz.

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas

