

## PATIRTOS KOKYBĖS TYRIMAS TAIKANT ECG POŽYMIUS STEBINT AUDIOVIZUALINĮ TURINĮ

Vytautas ABROMAVIČIUS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva  
El. paštas [vytautas.abromavicius@vgtu.lt](mailto:vytautas.abromavicius@vgtu.lt)*

**Santrauka.** Tobulėjančios technologijos suteikia galimybę matyti vis geresnį vaizdo ir garso turinį. Matuojant patirtą kokybę (angl. *Quality of Experience* (QoE)) galima įvertinti vartotojui rodomą turinį, taip pat įvertinama ne tik vaizdo ir garso kokybė, bet ir bendras teikiamos paslaugos priimtimumas. QoE įvertinimas vis dažniau taikomas įvairių sričių inžinierių, dizainerių, pardavėjų, kurie nori pateikti kokybišką multimedijos turinį vartotojams. QoE dažniausiai įvertinama subjektyviai, vykdant vartotojų apklausas. Matuojant fiziologinius signalus ir vartotojui parodant audiovizualinį turinį galima ieškoti ryšio tarp gautų signalų ir vartotojo subjektyvių įvertinimų. Straipsnyje tiriama ryšys tarp širdies ritmo ir QoE vartotojui žiūrint 1 minutės trukmės vaizdo įrašus, esant trims skirtingiems QoE lygiams. Širdies ritmas gautas skaičiuojant atstumą tarp gretimų elektrokardiogramos (ECG) signalo R tipo dantelių (RR intervalu) vidurkį kiekvienam 1 minutės trukmės įrašui. Gautos vidutinio RR intervalo vertės buvo 0,848 s, 0,869 s ir 0,884 s. Tai atitiko QoE žemo, vidutinio ir aukšto lygio prietaisų konfigūracijas. Atliktus ANOVA rezultatų analizę galima daryti prielaidą, kad egzistuoja ryšys tarp širdies ritmo ir QoE lygio pokyčio. QoE lygio įtaka širdies ritmui gali būti išsamiau tiriama atsižvelgiant į subjektyvų vartotojo vertinimą, skirtingas prietaisų konfigūracijas ir rodomą turinį.

**Reikšminiai žodžiai:** patirta kokybė QoE, ECG, širdies ritmas, RR intervalas, fiziologiniai matavimai.

### Įvadas

Paskutinius kelis dešimtmečius vaizdo ir garso technologijų kokybė labai padidėjo. Dabartinės technologijos leidžia transliuoti ir žiūrėti aukštos kokybės turinį, pvz., 4K televiziją. Kompanijos toliau tobulina ir kuria technologijas. Japonijos televizijos kompanija NHK per 2020 metų Tokijo olimpinės žaidynes žada transliuoti 8K kokybės turinį. Garso sistemos taip pat tobulėja – dabar siūlomas erdvinės garso sistemos keičia sistemos, gebančios atkurti trimačio garso efektą. Gerinant šių technologijų kokybę siekiama sumažinti skirtumą tarp originalaus ir vartotojui pateikiamo turinio, siekiama, kad vartotojas visiškai įsijaustų į rodomo vaizdo ir garso kokybę. Tokia vartotojo patirtis vadinama patirta kokybe (angl. *Quality of Experience* (QoE)). QoE priklauso ne tik nuo inžinerinių parametrų, bet ir nuo turinio, socialinių, psichologinių veiksnių, išvalgos, patirtų emocijų. Tarptautinė telekomunikacijų sąjungos rekomendacija QoE apibrėžia kaip vartotojo subjektyviai suvoktą bendrą teikiamos paslaugos ar taikomosios programos priimtimumą (ITU-T 2007).

Įprastai QoE matuojama klausimynais, kai vartotojas dažniausiai pagal 5 ar 10 balų sistemą įvertina matytą audiovizualinį turinį (Song *et al.* 2016). Į klausimynus įtraukiami

klausimai apie garso kokybę, vaizdo kokybę, įsijautimą į turinį, aplinkos suvokimą. Šiuos subjektyvius matavimus bandoma pakeisti objektyviais, kurie grindžiami žmogaus fiziologine ir kognityvine informacija (Gupta *et al.* 2013).

Fiziologiniai metodai leistų įvertinti QoE realiuoju laiku. Širdies ritmas ar jo pokytis gali būti vienas iš požymių, padedančių objektyviai įvertinti QoE. Širdies ritmo mažėjimas sietinas su kognityvine veikla, o jaudinantys potyriai didina širdies ritmą (Bryant, Oliver 2009). Priklausomybė tarp širdies ritmo ir QoE nustatyta žaidžiant kompiuterinius žaidimus (Drachen *et al.* 2010; Castellar *et al.* 2014). Barreda-Ángeles *et al.* (2014) tyrinėjo regos nepatogumus (angl. *visual discomfort*) stereoskopiniuose 3D vaizduose esant įvairioms subjekto emocinėms būsenoms. Subjektyvūs savęs įvertinimai nerodė jokio poveikio regos nepatogumams, tačiau buvo rasta koreliacija tarp regos nepatogumo ir fiziologinių matavimų širdies ritmo elektrokardiogramos (ECG) signale, taip pat koreliacija matyti iš elektromiografijos ir odos galvaninių reakcijų (angl. *electrodermal activity*).

Naujausios technologijos ir infrastruktūra pritaikytos vaizdą perduoti ne tik į stacionarius įrenginius, bet ir į mobiliuosius telefonus, planšetinius ar nešiojamuosius

kompiuterius. Objektiviam QoE įvertinimo patobulinimui pasiūlytas fiziologinių signalų rinkinys, susidedantis iš elektroencefalogramos (EEG), elektrokardiogramos, kvėpavimo signalų ir subjektyvių matavimų (Perrin *et al.* 2016). Autoriai QoE įvertinti naudoja skirtingos raiškos ir garso kokybės audiovizualinį turinį. Signalų rinkinys yra viešai prieinamas. Kadangi pateikti duomenys yra įvertinti subjektyviai, galima ieškoti panašumo tarp subjektyvių ir objektyvių QoE matavimų.

Straipsnyje pateikiami tyrimų rezultatai, gauti analizuojant Perrin *et al.* (2016) pateiktus ECG signalus. Tyrimų metu pavyko kiekybiškai įvertinti ryšį tarp QoE naudojant skirtingus įrenginius (mobilųjį telefoną, planšetinį kompiuterį, ultraaukštos raiškos televizorių) ir širdies ritmo, gauto iš ECG signalo. Straipsnyje aprašyti naudojami duomenys, tirti ECG signalai, taikytas širdies dūžių aptikimo algoritmas, gauti rezultatai, jų statistinė analizė, pateikiamos išvados.

### Tyrimo aprašymas

Tyrimo tikslas buvo iširti QoE lygio įtaką širdies ritmui. Tyrimui naudotas Perrin *et al.* (2016) duomenų rinkinys, kuris sudarytas atlikus trijų matavimo sesijų eksperimentą. Kiekvienai sesijai naudoti skirtingi prietaisai, kuriais vartotojams buvo pateikiama vaizdo ir garso medžiaga. Tokiu būdu buvo subjektyviai nustatytas QoE lygio pokytis per kiekvieną sesiją. Pirmąją sesiją (žemo QoE lygio) vizualinė medžiaga buvo rodoma naudojant iPhone5 kartu su stereogarso signalu. Antrąją tyrimo sesiją (vidutinio QoE lygio) panaudota iPad4 ir stereogarso signalas. Trečiajai tyrimo sesijai (aukšto QoE lygio) panaudoti 5.1 erdvinio garso signalai ir taikyta ultraaukštos raiškos vaizdo sistema. Tyrime dalyvavo 20 subjektų (10 vyrų ir 10 moterų), kurių amžius buvo nuo 18 iki 25 metų (vidutinis amžius – 21 metai esant 2,2 metų standartiniam nuokrypiui). Per kiekvieną sesiją parodyti 9 epizodai, kurių metu išmatuoti fiziologiniai signalai. Tyrime naudotų epizodų trukmė buvo 1 minutė. Po kiekvieno epizodo QoE įvertinta subjektyviai – klausimynu. Tyrimo subjektai pagal 9 balų skalę nuo 1 (žemas kriterijus) iki 9 (aukštas kriterijus) įvertino QoE atsakydami į šešis klausimus. Perrin *et al.* (2016) atlikta subjektyvių rezultatų analizė parodė, kad kiekvienas tirtas prietaisas skirtingai paveikė QoE lygį. Panašūs rezultatai gauti ir kitų autorių tyrimuose (Moon, Lee 2015; Galloso *et al.* 2015).

Straipsnyje buvo siekiama patikrinti hipotezę, kad širdies ritmą veikia skirtingi QoE lygiai, ir kiekybiškai įvertinti šį pokytį. Tyrimo metu esant skirtingiems QoE lygiams ECG signaluose buvo matuojamas vidutinis širdies ritmas.

Širdies ritmas ECG signale apskaičiuotas matuojant laiko trukmę tarp gretimų R tipo dantelių (RR intervalų). Q, R ir S tipo danteliai sudaro QRS kompleksą. Šis kompleksas yra lengvai aptinkamas požymis ECG signale. Todėl remiantis QRS kompleksu širdies ritmo skaičiavimas tiriant įprastus, neturinčius anomalijų ECG signalus, yra patikimas. Tyrime vidutinis RR intervalas skaičiuotas kiekvienam rodytam 60 s trukmės epizodui, gauti rezultatai palyginti su subjektyviu QoE įvertinimu.

*Signalų paruošimas.* ECG signalo diskretizavimo dažnis 250 Hz, pateikti signalai buvo padalinti į 70 s trukmės intervalus – atitinkamai kiekvienam subjekto žiūrėtam epizodui. Pirmos 10 s skirtos nuolatinei dedamajai nustatyti ir nebuvo naudojamos pikų detektoriuje.

Signalui filtruoti naudojamas ECG signalų triukšmo šalinimo, glaudinimo ir glodinimo Savitzky ir Golay filtras (Lascu, M., Lascu, D. 2008). Savitzky ir Golay filtrai dažniausiai naudojami triukšmingiems signalams, turintiems platų dažnių ruožą, glodinti. Šie filtrai yra efektyvesni nei įprasti ribotos impulsinės reakcijos filtrai, nes leidžia pašalinti triukšmą ir išsaugoti reikalingą aukštojo dažnio turinį signale (Krishnan, Seelamantula 2013). Remiantis Krishnan (Krishnan, Seelamantula 2013) ir eksperimentiniais rezultatais mūsų naudojamam Savitzky ir Golay filtrui parinkta 8 filtro eilė ir 31 atskaitos ilgio kadras. Maitinimo linijos triukšmai pašalinti juostiniu 50 Hz begalinės impulsinės reakcijos filtru, o filtro kokybę rodantis parametras  $Q$  yra lygus 30.

*Pikų detektorius.* QRS kompleksams aptikiti buvo naudotas pikų detektorius, grįstas Pan, Tomkins (1985) pasiūlytu algoritmu, pakeitus slenkstinę ribą, nuo kurios aptinkami QRS pikai, iki 0,35 santykinųjų vienetų. Intervalas tarp gretimų pikų parinktas standartinis – 0,25 s trukmės. Pikų detektoriaus rezultatai buvo patikrinti vizualiai. 10 % atsitiktinai pasirinktų ECG signalų pikų detektoriaus tikslumas viršijo 99,9 %.

*Požymių analizė.* Buvo skaičiuojamas vidutinis aptiktų QRS kompleksų RR intervalas kiekvienam epizodui. Vidutinės RR intervalų trukmės matavimo rezultatai, gauti per kiekvieną sesiją (9 epizodų metu, dalyvaujant 20 subjektų), yra pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Vidutiniai kiekvienos sesijos RR intervalai ir jų dispersijos

Table 1. Means of RR intervals of each session and their variance

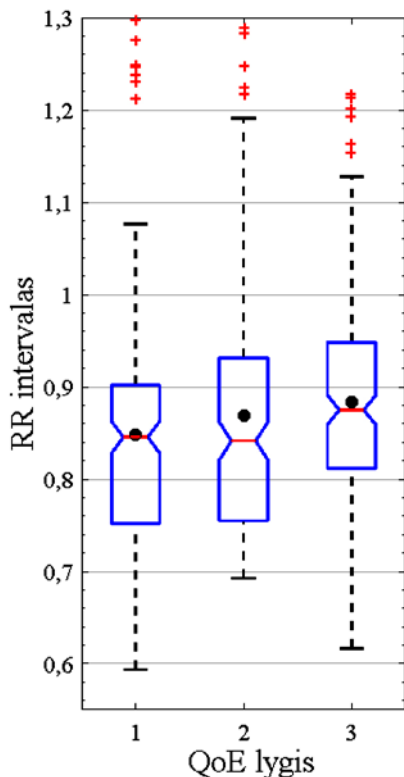
	QoE lygis		
	Žemas	Vidutinis	Aukštas
Vidutinis RR intervalas, s	0,848	0,869	0,884
RR intervalų dispersija, s <sup>2</sup>	0,0046	0,0081	0,0072

RR intervalų trukmės vidurkis taikant žemo QoE lygio prietaisų konfigūraciją buvo 0,848 s, jų dispersija 0,0046 s<sup>2</sup>. Taikant vidutinio QoE lygio prietaisų konfigūraciją RR intervalų vidutinė trukmė padidėjo iki 0,869 s, dispersija – 0,0081 s<sup>2</sup>. Taikant aukšto QoE lygio – vidutinė RR intervalo trukmė išaugo iki 0,884 s, dispersija – 0,0072 s<sup>2</sup>.

Tiriant QoE lygio poveikį širdies ritmui buvo atlikta dvimatė ir trimatė vieno faktoriaus dispersinė analizė (ANOVA). Požymių rinkiniui tarp žemo ir vidutinio, vidutinio ir aukšto, žemo ir aukšto bei visų trijų QoE lygių buvo gautas ANOVA analizės rezultatas – kriterijaus statistika  $F$  (angl. *F-statistic*), kuri parodo, ar vidutinių verčių skirtumas tarp tiriamų grupių imčių yra reikšmingas. Rezultatų reikšmingumui įvertinti taikoma  $p$  vertė.  $p$  vertė rodo tikimybę gauti  $F$  statistinio kriterijaus vertę, kuri bus didesnė už tikrąją kriterijaus statistikos  $F$  vertę ar jai lygi. Maža  $p$  vertė, pvz., mažesnė nei 0,05, rodo, kad skirtumai tarp tiriamų grupių vidurkių yra statistiškai reikšmingi.

## Rezultatai. Aptarimas

Eksperimentinio tyrimo metu gauta RR intervalų imčių stačiakampė diagrama pateikta 1 pav.



1 pav. RR intervalų stačiakampė diagrama: 1 grupė – žemas QoE lygis, 2 – vidutinis QoE lygis, 3 – aukštas QoE lygis. Juodi taškai žymi grupių vidurkius

Fig. 1 Box plot of RR intervals. 1 group – low QoE level, 2nd – middle QoE level, 3rd – high QoE level. Black dots mark the mean values of each group

Iš viso buvo atlikta 540 matavimų. Kiekvieną QoE lygio sesiją sudarė 180 imčių. Stačiakampės diagramos figūrų centruose esantys horizontalūs brūkšniai žymi tiriamų grupių medianas. Žemo QoE lygio mediana yra 0,85 s, vidutinio QoE lygio yra nedaug mažesnė – 0,84 s. Aukšto QoE lygio mediana – didesnė 0,87 s. Diagramos figūrų viršutinė ir apatinė kraštinės žymi RR intervalų imčių pirmąją ir trečiąją kvartiles. Stačiakampės diagramos viršuje ir apačioje esančios vertikalios punktyrinės linijos žymi skirstinių ribas. Kryželiais sužymėtos išskirtys, žemo QoE lygio atveju RR intervalų išskirčių buvo 9. Vidutinio ir aukšto QoE lygių išskirčių atitinkamai buvo 5 ir 6. Išskirtys sudaro 3,7 % visų matavimų. Juodi taškai žymi tiriamų RR intervalų vidurkius.

RR intervalų vidurkių ANOVA analizė pateikta 2 lentelėje. Trimatės ANOVA analizės bendras laisvės laipsnių skaičius buvo 539, dvimatės – 359, reikšmingumo lygis  $\alpha = 0,05$ . Rezultatai gauti atlikus tyrimus turint 20 tyrimo subjektų, kiekvienoje sesijoje rodant 9 epizodus, kurių trukmė 1 minutė. Gautų rezultatų analizė parodė, kad yra artimas statistiškai reikšmingumo ribai ryšys tarp žemo ir vidutinio QoE lygių ( $F = 2,09, p = 0,15$ ). Statistiškai reikšmingas skirtumas nebuvo gautas tarp vidutinio ir aukšto QoE lygių ( $F = 1,34, p = 0,25$ ), t. y. vidutinio ir aukšto QoE lygių RR intervalų vidurkiai skiriasi nereikšmingai. Nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp žemo ir aukšto QoE lygių ( $F = 7,03, p = 0,008$ ). Gavus trimatės ANOVA analizės rezultatus buvo nustatytas statistiškai reikšmingas ryšys tarp visų trijų QoE lygių ir širdies ritmo ( $F = 3,47, p = 0,032$ ).

2 lentelė. RR intervalų ANOVA analizės rezultatai vertinant QoE lygio pokytį. Reikšmingumo lygis  $\alpha = 0,05$

Table 2. Results of ANOVA analysis of RR intervals evaluating change of QoE level. Significance level  $\alpha = 0.05$

QoE lygis	$F$ kriterijus	$p$ vertė
Žemas – vidutinis	2,09	0,15
Vidutinis – aukštas	1,34	0,25
Žemas – aukštas	7,03	0,008
Žemas – vidutinis – aukštas	3,47	0,032

**Aptarimas.** Eksperimentiniai tyrimai atlikti su 20 tyrimo subjektų. Siekiant patikimesnių rezultatų, tyrimams reiktų pasitelkti daugiau subjektų. Rezultatai neparodė reikšmingo ryšio tarp gretimų QoE lygių. Manome, kad svarbiausios tokių rezultatų priežastys gali būti dvi: per maža tyrimo subjektų imtis arba per mažas gretimų QoE lygių pokytis. Tačiau gauti rezultatai parodė ryšį tarp visų trijų QoE lygių ir tarp aukšto bei žemo QoE lygių. Žemo ir aukšto QoE lygių kokybė akivaizdžiai skyrėsi. Žemam QoE lygiui sukurti buvo naudojamas iPhone mobilusis įrenginys

ir stereograso signalai, aukštam QoE lygiui sukurti naudojamas ultraaukštos raiškos bei erdvinio garso signalai. Atsižvelgdami į gautus rezultatus manome, kad QoE lygio įtaka toliau turi būti tiriama įvertinant subjektyvų vartotojo požiūrį, įvairias prietaisų konfigūracijas, rodomą turinį ir būtų ieškoma būdų objektyviai įvertinti subjektyvią vartotojo patirtą kokybę.

## Išvados

1. Darbe ištirtas ryšys tarp širdies ritmo ir QoE lygio. QoE lygis buvo įvertintas subjektyviai tyrimo subjektų, kuriems buvo matuojamas ECG signalas. Širdies ritmui skaičiuoti buvo ieškoma QRS komplekso pikų ECG signale. Pikams aptikti naudotas gerai žinomas Pan ir Tompkins algoritmas.
2. Vidutinis širdies ritmo RR intervalas buvo didžiausias tyrimo subjektams naudojantis aukšto QoE lygio prietaisų konfigūracija – 0,884 s ir RR intervalų dispersija – 0,0072 s<sup>2</sup>. Mažiausias vidutinis RR intervalas gautas tyrimo subjektams taikant žemo QoE lygio prietaisų konfigūraciją (RR intervalų vidurkis 0,848 s). Šio QoE lygio konfigūracijos RR intervalų dispersija buvo mažiausia – 0,0046 s<sup>2</sup>. Taikant vidutinio QoE lygio prietaisų konfigūraciją RR intervalų vidurkis buvo 0,869 s ir turėjo 0,0081 s<sup>2</sup> dispersiją.
3. Gauti rezultatai parodė, kad yra statistiškai reikšmingas ryšys tarp žemo, vidutinio ir aukšto QoE lygių ( $p = 0,032 < 0,05$ ), tarp žemo ir aukšto QoE lygių ( $p = 0,008 < 0,05$ ). Statistiškai nereikšmingas ryšys nustatytas tarp žemo ir vidutinio ( $p = 0,15 > 0,05$ ) bei vidutinio ir aukšto QoE lygių ( $p = 0,25 > 0,05$ ).

## Padėka

Tyrimą finansuoja Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. MIP-083/2015).

Dėkoju prof. Artūriui Serackiui už metodinę pagalbą rengiant straipsnį.

## Literatūra

- Barreda-Ángeles, M.; Pèpion, R.; Bosc, E.; Le Callet, P.; Pereda-Baños, A. 2014. Exploring the effects of 3D visual discomfort on viewers' emotions, in *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 27–30 October 2014, Paris, France, 753–757.
- Bryant, J.; Oliver, M. B. 2009. *Media effects: advances in theory and research*. 3th ed. New York: Routledge, Taylor & Francis Group. 576 p. ISBN 978–0805864502
- Castellar, E. N.; Oksanen, K.; Van Looy, J. 2014. Assessing game experience: heart rate variability, in-game behavior and self-report measures, in *2014 Sixth International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 18–20 September 2014, Singapore, 292–296.
- Drachen, A.; Nacke, L. E.; Yannakakis, G.; Pedersen, A. L. 2010. Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games, in *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games*, 28–29 July 2010, Los Angeles, USA, 49–54.
- Galloso, I.; Feijóo, C.; Santamaría, A. 2015. Novel approaches to immersive media: from enlarged field-of-view to multi-sensorial experiences, Chapter 2 in A. Kondo, T. Dagiuklas (Eds.). *Novel 3D media technologies*. New York: Springer, 9–24. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2026-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2026-6_2)
- Gupta, R.; Arndt, S.; Antons, J. N.; Schleicher, R.; Möller, S.; Falk, T. H. 2013. Neurophysiological experimental facility for quality of experience (QoE) assessment, in *2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013)*, 27–31 May 2013, Ghent, Belgium, 1300–1305.
- ITU-T. 2007. *International Telecommunication Union* [interaktyvus], [žiūrėta 2017 m. balandžio 10 d.]. Rec. P. 10/G. 100 Amendment 1. New Appendix I–Definition of Quality of Experience (QoE). Prieiga per internetą: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.10-200701-S!Amd1>
- Krishnan, S. R.; Seelamantula, C. S. 2013. On the selection of optimum Savitzky-Golay filters, *IEEE transactions on signal processing* 61(2): 380–391. <https://doi.org/10.1109/TSP.2012.2225055>
- Lascu, M.; Lascu, D. 2008. Electrocardiogram compression and optimal ECG filtering algorithms, *WSEAS Transactions on Computers* 7(4): 155–164.
- Moon, S. E.; Lee, J. S. 2015. Perceptual experience analysis for tone-mapped HDR videos based on EEG and peripheral physiological signals, *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development* 7(3): 236–247. <https://doi.org/10.1109/TAMD.2015.2449553>
- Pan, J.; Tompkins, W. J. 1985. A real-time QRS detection algorithm, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 3(1): 230–236. <https://doi.org/10.1109/TBME.1985.325532>
- Perrin, A. F.; Řeřábek, M.; Ebrahimi, T. 2016. Towards prediction of sense of presence in immersive audiovisual communications, *Electronic Imaging 2016, Human Vision and Electronic Imaging 2016*: 1–8. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2016.16.HVEI-128>
- Song, J.; Yang, F.; Zhou, Y.; Wan, S.; Wu, H. R. 2016. QoE evaluation of multimedia services based on audiovisual quality and user interest, *IEEE Transactions on Multimedia* 18(3): 444–457. <https://doi.org/10.1109/TMM.2016.2520090>

## INVESTIGATION OF QUALITY OF EXPERIENCE USING ECG FEATURES DURING CONSUMPTION OF AUDIOVISUAL CONTENT

### V. Abromavičius

#### Abstract

Development of new multimedia technologies allows us to receive better quality of audio and video content. Quality of Experience (QoE) evaluates given content from the consumer's perspective. This measurement allows to evaluate not only visual

and audible quality, but also general acceptability of provided service. QoE evaluation is getting popular between engineers, designers, retailers who wants to provide high quality content for consumers. QoE is generally evaluated subjectively by surveys. It is possible to find relationship between physiological signals measured while user is consuming audiovisual content and make the subjective evaluation of this experience. This paper investigates relationship between heart rate and QoE while user is watching 1 min duration video recordings on three different devices. Heart rate was calculated as mean RR interval for each

recording. Mean RR intervals of 0.848 s, 0.869 s and 0.884 s were calculated for low, medium and high QoE device configurations, respectively. ANOVA analysis results indicates a relation between heart rate and QoE level. The results can help to develop further the investigations of QoE level and heart rate relationship for various subjective assessment, device configurations and content provided.

**Keywords:** quality of experience QoE, ECG, heart rate, RR interval, physiological measurements.