

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2022

Nico Mahkonen

BioRadion ja iMotions-ohjelmiston välisen rajapinnan toteutus



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tieto- ja viestintäteknikka

2022 | 31 sivua

Nico Mahkonen

Ohjelmointirajapinnan hyödyntäminen tiedonsiirrossa BioRadiosta iMotionsiin

Opinnäytetyön aiheena oli rajapinnan luominen Turun ammattikorkeakoulun terveysteknologian laboratorion käyttöön. Rajapinnalla tarkoitetaan kahden asian välistä yhteyttä. Opinnäytetyössä rajapinnalla tarkoitettiin ohjelmointirajapintaa, jonka tarkoituksena on mahdollistaa tietojen vaihtaminen ja pyytäminen komponenttien, moduulien tai ohjelmien välillä. Rajapinta luotiin tutkimuslaitteen datan siirtämistä varten. Data haluttiin siirtää ohjelmistoon, joka on käytössä terveysteknologian laboratoriossa.

Opinnäytetyössä tärkein osa oli tekninen toteutus. Teknistä toteutusta varten luotiin ohjeistus, jota on hahmotettu teoriaosuudessa. Teknisessä toteutuksessa käytettiin BioRadio-tutkimuslaitetta sekä iMotions ja Matlab -ohjelmistoja.

BioRadio on tutkimuslaite, jolla voidaan kerätä biosignaaleja. Biosignaalit ovat fysiologisia signaaleja, joita voidaan mitata tai seurata elävistä olennoista. Terveysteknologian laboratoriossa on käytössä iMotions, joka on tutkimuksien tekemiseen tarkoitettu ohjelmisto.

Tiedonsiirto BioRadiosta iMotionsiin mahdollistettiin Matlab-ohjelmistolla luodun datarajapinnan avulla. Tietoa voidaan siirtää kuva-, video- ja raakadatamuodossa. Tiedon reaaliajassa siirtäminen jäi jatkokehitysmahdollisuudeksi. Jatkossa rajapinnan käyttöä helpottaa ohjeistus, joka luotiin opinnäytetyön aikana.

ASIASANAT:

Terveysteknologia, BioRadio, Rajapinta, iMotions, Matlab

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Computer science (health technology)

2022 | 31 pages

Nico Mahkonen

Utilization of a programming interface for transferring data from BioRadio to iMotions

The topic of the thesis was to create an interface for the use of the Turku University of Applied Sciences Health Technology Laboratory. An interface is a connection between two things. In this context, we speak of a programming interface designed to allow data to be exchanged and requested between components, modules, or programs. The interface was created to transfer data from a research device. The goal of the interface is to allow data transfer between the research device and a program.

The most important part of the thesis was the technical implementation, which is supported by the written part. Guidance was created for the technical implementation, which is outlined in the written section.

The research device in the work was BioRadio and the software used was iMotions and Matlab. BioRadio is a research device that can collect bio signals. A bio signal is a signal from a living thing that can be continuously measured and monitored. The Health Technology Lab uses iMotions software for conducting research.

Data transfer from BioRadio to iMotions was enabled using a data interface created with Matlab. Data can be transferred in image, video, and raw data formats. The transfer of information in real time remained an opportunity for further development. In the future, the use of the interface will be facilitated by guidelines created during the thesis.

KEYWORDS:

Health technology, BioRadio, interface, iMotions, Matlab

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 BIORADIO	9
3 IMOTIONS JA MATLAB	14
3.1 iMotions	14
3.2 Matlab	14
4 OHJELMOINTIRAJAPINTA	16
5 RAJAPINNAN TOTEUTTAMISEN SUUNNITELMA	17
6 RAJAPINNAN TOTEUTTAMINEN	21
7 POHDINTA	25
7.1 Pohdintaa	25
7.2 Jatkokehitys	27
8 YHTEENVETO	28
LÄHTEET	29

Kuvat

Kuva 1. BioRadio.	11
Kuva 2. BioRadion näytön indikaattorit.	11
Kuva 3. BioCapturen ulkoasu.	13
Kuva 4. BioCapturen konfigurointi näyttö.	18
Kuva 5. Kuva funktiosta.	19
Kuva 6. Live script.	22

Kuva 7. Live script.	22
Kuva 8. Kuvaaja.	24

Taulukot

Taulukko 1. Kaistannopeuden vaikutus datan keräämiseen.	10
---	----

KÄYTETYT LYHENTEET

API	ohjelmointirajapinta, raja komponentin ja järjestelmän välillä (Application programming interface).
JSON	tiedostomuoto, joka mahdollistaa yksinkertaisen avoimen standardin tiedonvälityksen (JavaScript object notation).
MAC-OSOITE	tunniste, joka yksilöi verkkosovittimella varustetun laitteen.
REST	HTTP-protokollaan perustuva arkkitehtuurimalli, jolla voi toteuttaa ohjelmointirajapintoja (Representational state transfer).
SDK	SDK sisältää erilaisia työkaluja ohjelmistoon, laitteiston alustaan tai ohjelmointikieleen liittyen (Software development kit).
SPSS	IBM:n valmistama tilastotieteelliseen analyysiin keskittyvä ohjelmisto.
XML	merkintäkielien standardi, jolla määritetään tietojen merkintämuodon looginen rakenne (Extensive markup language).

1 Johdanto

Kahden asian välistä yhteyttä kutsutaan rajapinnaksi. Rajapinta-sanaa voi käyttää monessa asiayhteydessä asiakasrajapinnasta ohjelmointirajapintaan. Ohjelmointirajapinnalla viitataan rajaan komponentin tai moduulin ja ohjelmoitavan järjestelmän välillä. Rajan tarkoituksena on mahdollistaa tietojen vaihtaminen ja pyytäminen järjestelmän ja komponentin tai moduulin välillä.

Opinnäytetyön tavoitteena on mahdollistaa BioRadion keräämän datan siirtäminen iMotions-ohjelmistoon Turun ammattikorkeakoulun terveysteknologian laboratorion käyttöä varten. Datan siirtäminen on tarkoitus mahdollistaa luomalla datarajapinta Matlab-ohjelmistolla. BioRadio on tutkimuslaite, jolla voidaan kerätä biosignaaleja ihmisestä. iMotions on ohjelmisto, jolla voidaan käyttää hyödyksi kerättyjä biosignaaleja. Kerättyjä biosignaaleja voi hyödyntää iMotionsissa suoritettavissa tutkimuksissa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Turun ammattikorkeakoulun terveysteknologian laboratorio. Terveysteknologian laboratorio sijaitsee Turussa, ja se on testialusympäristö. Se tarjoaa yrityksille ja opiskelijoille mahdollisuuden ideoiden, tuotteiden ja palvelujen kehittämiseen ja testaamiseen. Terveysteknologian laboratoriossa on käytössä iMotions-ohjelmisto. BioRadiolla on oma ohjelmisto, jonka nimi on BioCapture. BioCapturen ja iMotions-ohjelmiston välillä ei ole suoraa yhteyttä, minkä takia tämä opinnäytetyö on tarpeellinen. Terveysteknologian laboratorio tarjoaa erilaisia terveysteknologisia tutkimusmahdollisuuksia AMK-opiskelijoille ja ulkopuolisille toimijoille. Laboratoriossa on runsaasti erilaisia laitteita, joita voidaan käyttää apuna tutkimuksissa. Näitä laitteita ovat muun muassa Shimmer, Tobii Pro Glasses 2 -lasit ja Suunto Movesense -anturi. Terveysteknologian laboratoriossa tehtävien tutkimuksien tekemiseen käytetään pääosin iMotions-ohjelmistoa, minkä takia BioRadion keräämä data halutaan saada kyseiseen ohjelmistoon. Jotta dataa voidaan siirtää BioRadiosta johonkin muuhun ohjelmistoon kuin BioCaptureen, tarvitaan rajapinta, joka on tarkoitus tehdä Matlab-ohjelmistolla. Matlab on ohjelmisto, jolla on mahdollista luoda rajapinta. Rajapintojen luomisen lisäksi Matlabilla voi visualisoida dataa, luoda

käyttöliittymiä ja paljon muuta. Ohjelmiston monipuolisuuden takia Matlab sopii erinomaisesti tähän toteutukseen. Rajapinnan pääasiallinen tarkoitus on mahdollistaa datan siirto, mutta sitä on myös tarkoitus hyödyntää jatkokehityksessä, jonka tarkoitus on mahdollistaa datan suoratoisto Bioradiosta iMotions-ohjelmistoon.

2 BioRadio

BioRadio on kannettava ja langaton järjestelmä, jolla voidaan suorittaa fysiologista seurantaa. Sillä voi kerätä monenlaisia biosignaaleja. [1] Biosignaalit ovat fysiologisia signaaleja, joita voidaan mitata tai seurata elävistä olennoista. Biosignaali-termiä käytetään usein viittamaan biosähköisiin signaaleihin, mutta se voi tarkoittaa sekä sähköisiä että ei sähköisiä signaaleja. Biosignaaleja ovat muun muassa aivosähkökäyrä, sydämen syke ja verenpaine. [2] BioRadion mittaamia biosignaaleja voidaan käyttää joukkona luomaan erilaisia datakombinaatioita. Esimerkiksi juoksevasta ihmisestä voidaan mitata samanaikaisesti sydämen sykettä ja askeleen voimakkuutta. Tällä tavalla saadaan tutkittua miten biosignaalit vaikuttavat toisiinsa. Eli miten askeleen voimakkuus vaikuttaa sydämen sykkeeseen. [1]

BioRadion on kehittänyt ja valmistanut Great Lakes Neurotechnologies. BioRadio on kehitetty koulutuksia ja tutkimuksia varten eikä sitä ole tarkoitettu lääketieteelliseen käyttöön. Laitetta voi käyttää monipuolisesti eri alojen tutkimuksissa, muun muassa fysiologisissa, psykofysiologisissa, biomekaanisissa, liikunnan fysiologisissa ja bioteknisissä tutkimuksissa. [1]

BioRadiolla voidaan kerätä biosignaaleja, joita ovat muun muassa sydänsähkökäyrä, aivosähkökäyrä, lihassähkökäyrä, kehon lämpötila, sydämen syke, silmän verkkokalvon lepopotentiaali, veren tilavuuden muutokset, elektroderminen aktiivisuus, verenpaine ja veren happisaturaatio. BioRadiolla voidaan tarkastella myös ihmisen liiketietoja. Sillä voidaan seurata liikettä, suuntaa, kehon asentoa, askeleita, voimankäyttöä ja matkaa. Laitteessa on kolmiakselinen kiihtyvyyssanturi ja gyroskooppeja, jotka mahdollistavat liiketietojen keräämisen. BioRadiolla on ohjelmisto, jossa tietoja voi tarkastella, mutta tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada BioRadiosta tulevat tiedot eri ohjelmistoon. [3]

BioRadio lähettää dataa reaaliajassa määritettyyn järjestelmään Bluetoothin välityksellä. Laitteessa on myös sisäinen muisti, johon dataa voidaan tallentaa, eli Bluetooth ei ole ainoa tapa saada dataa kerättyä. BioRadio painaa vain 113 g,

minkä vuoksi se soveltuu mainiosti urheilusuorituksien aikana käytettäväksi. Laitteen akku kestää yli 8 tuntia. BioRadion paino, langattomuus ja akun kesto tekevät siitä todella hyödyllisen muissakin kuin laboratorio-olosuhteissa. [4]

Kaistannopeus määrittää mitä toimintoja BioRadiossa on käytössä (taulukko 1.). Kuvassa 4 näkyvä kaistannopeus on 8 kb/s, eli langaton suoratoisto ja sisämuistiin tallennus ovat molemmat tuettuja.

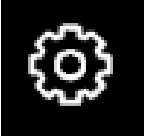



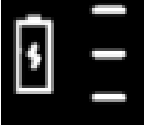
Taulukko 1. Kaistannopeuden vaikutus

Kaistannopeus (kilobittejä sekunnissa)	Langaton suoratoisto	Sisämuistiin tallennus
0–152	Tuettu	Tuettu
153–190	Ei suositeltu	Tuettu
191–500	Ei tuettu	Tuettu
501+	Ei tuettu	Ei tuettu

BioRadiossa on kolme painettavaa näppäintä, jotka näkyvät kuvassa 1. Ylin näppäin on virtanäppäin, keskellä olevalla näppäimellä voidaan nauhoittaa tietoa laitteen sisämuistiin. Alimmalla näppäimellä voi jättää merkin tietoihin, jonka avulla voidaan erotella tapahtumat toisistaan. Kuvasta 1 näkee myös laitteen etupaneelin. Kuvassa 2 näkyy, mitä etupaneelissa näkyvät indikaattorit tarkoittavat.



Kuva 1. BioRadio (Great Lakes NeuroTechnologies).

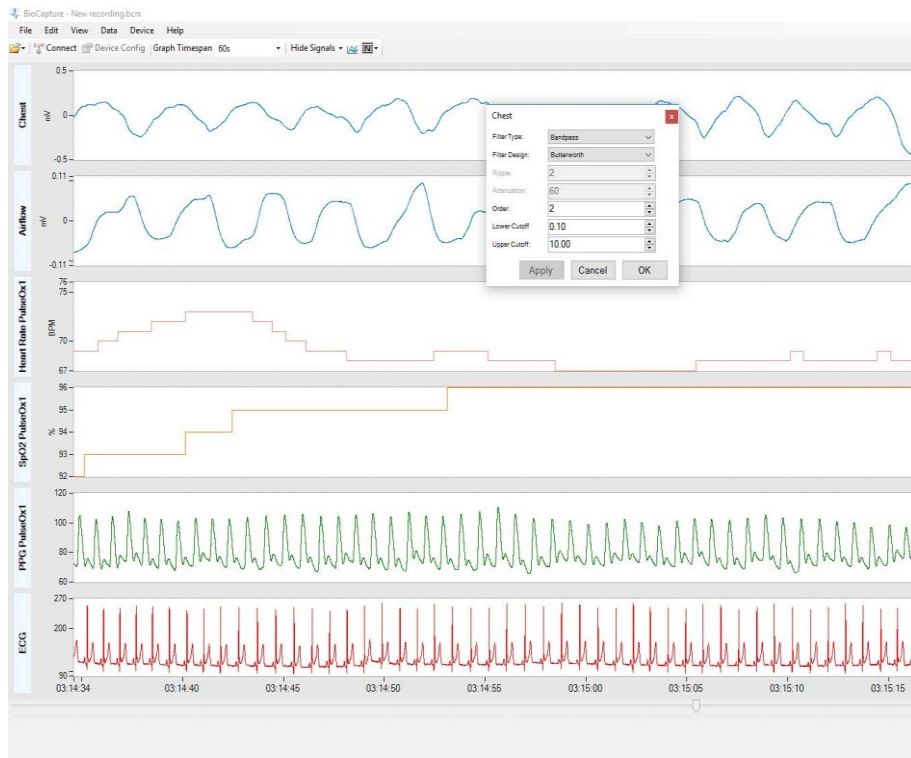
BioRadio Indicator	Description
	Configuration Mode
	Data Acquisition Mode (Streaming and/or Record to Memory)
	Recording to Memory
	Wireless Connection
	Battery Level and Charging

Kuva 2. BioRadion näytön indikaattorit.

Etupaneelistä näkee mikä tila BioRadiossa on päällä, ja että onko se yhdistettynä johonkin laitteeseen. Tila voi olla konfigurointitila, konfigurointitilassa voi säätää laitteen asetuksia. Toinen tila on tiedonkeruutila, jolloin laite kerää dataa, joko suoratoistamalla sitä suoraan järjestelmään taikka tallentamalla sitä laitteen sisäiseen muistiin. Etupaneelistä näkee myös, kuinka paljon akkua laitteessa on jäljellä, ja että ladataanko akkua sillä hetkellä. Konfigurointitilassa säädetään mitä tietoa kerätään, ja että mikä kanava kerää mitä tietoa. Kanavan voi ottaa myös pois käytöstä, jos sillä ei mitata tietoa kyseisessä tutkimuksessa.

BioRadiossa on kahdeksan konfiguroitavaa kanavaa, mutta näiden lisäksi BioRadiossa voi olla kiinni erilaisia lisäantureita. Lisäantureita voivat olla muun muassa puristusvoimaa mittaava laite, pulssioksimetri tai liikettä mittaavat sensorit. Konfiguroimalla voidaan määrittää, käytetäänkö mitattaessa kahdeksaa yksipäistä kanavaa vai neljää eriteltyä kanavaa. Konfigurointinäytöllä on mahdollista myös vaihtaa BioRadion näytteenottotaajuutta, vaihtoehtoina ovat 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz ja 16 kHz. Lisäanturit ja sisäänrakennettu liikeseensori ottavat näytteen aina 250 hertsin taajuudella. Näytteenottotaajuudella tarkoitetaan taajuutta, jolla ilmoitetaan analogisten signaalien ottamien näytteiden määrä sekunnissa.

BioRadion toinen tärkeä osa on BioCapture-ohjelmisto, joka tarjoaa työkalut datan esittämiseen, hallintaan ja analysointiin. Ohjelmistossa näkee kerätyn datan reaaliajassa (Kuva 3) ja kerättyyn dataan voi tehdä erilaisia muutoksia ja merkintöjä. BioRadiossa painettava nappula, jolla voidaan jättää merkintä suoratoiston aikana. Merkkiä voi käyttää muun muassa erottelemaan harjoitteet toisistaan. BioCapture mahdollistaa myös BioRadion konfiguroimisen. Konfiguroimisella määritetään mitä dataa kerätään, ja että millä kanavilla se tehdään. Kerätyn datan saa ulos BioCapturesta vain yhdellä tiedostomuodolla, jonka takia datan siirtäminen muihin järjestelmiin voi tuottaa ongelmia. Ohjelmistossa on mahdollista kerätä montaa biosignaalia samanaikaisesti. Kuvassa 3 näkyy eri biosignaalien yhtäaikainen kerääminen. [5]



Kuva 3. BioCapturen ulkoasu. Kuvassa näkyy kuusi eri biosignaalia, joita on mitattu samanaikaisesti (Great Lakes NeuroTechnologies).

Kuvassa 3 X-akselissa näkyy aika ja Y-akselissa valittu biosignaali. Ylin biosignaali on rinnanalueen muutokset, jotka on mitattu voimavyötä käyttäen. Toiseksi ylimmässä kuvaajassa näkyy ilmanvirtaus, ja kolmanneksi ylin biosignaali on sydämen syke. Neljänneksi ylimmässä kuvaajassa näkyy happisaturaatio. Happisaturaatio eli happikyllästeisyys kertoo, miten elimistön kudokset saavat happea. Mittaamalla happisaturaatiota saadaan luku, joka ilmaisee kudoksen happipitoisuuden suhteessa sen maksimaaliseen happipitoisuuteen. [6] Toiseksi alin kuvaaja näyttää veren tilavuuden muutoksia kudoksen mikrovaskulaarisessa kerroksessa. Alin biosignaali on sydänsähkökäyrä.

3 iMotions ja Matlab

3.1 iMotions

iMotions on ohjelmisto, jonka on luonut iMotions A/S -yritys. Yrityksen on perustanut Peter Hartzbech vuonna 2005. Ohjelmistossa voi tulkita eri laitteiden mittaamia biosignaaleja ja käyttää saatuja tietoja helposti hyödyksi. iMotions mahdollistaa yli 50 yleisimmän biosensorin hyödyntämisen. Näitä biosignaaleja ovat muun muassa silmän seuranta, aivotoiminta ja kasvon eleet. [8] iMotions on silmän seurannassa edelläkävijä, minkä vuoksi lokakuussa 2021 yritys nimeltä Smart Eye osti iMotionsin 46 miljoonalla dollarilla. [7]

Biosignaalit mahdollistavat ihmisen käytöksen tulkitsemisen. iMotions mahdollistaa eri alojen tutkimukset yhdessä ohjelmistossa. Tutkimuksia voi muun muassa tehdä tekniikkaan, hyvinvointiin, psykologiaan ja kuluttamiskäytäntöihin liittyen. Ohjelmistoon on luotu valmiita tutkimusmalleja, joita voi käyttää apuna datan hyödyntämisessä. Ohjelmisto mahdollistaa kerätyn datan visualisoinnin ja uudelleen toistamisen. Dataa voi visualisoida, joko reaaliajassa tai datan keruun jälkeen. [8]

iMotionsiin on mahdollista ladata ohjelmointirajapintoja ja niiden avulla iMotions on yhteensopiva melkein kaikkien biosignaaleja keräävien laitteiden kanssa. iMotionsissa on "Lab Streaming Layer", joka tekee uusien laitteiden yhdistämisestä helppoa. Tämä rajapinta ei toimi kaikissa biosignaaleja keräävissä laitteissa, ja BioRadio on yksi näistä laitteista. iMotions mahdollistaa myös raakadatan viemisen muihin sovelluksiin, joita ovat muun muassa Excel, SPSS-ohjelmisto ja Matlab. [9]

3.2 Matlab

Matlab on The Mathworks -yhtiön kehittämä ja ylläpitämä tietokoneohjelmisto ja ohjelmointikieli. Ohjelmistolla voi analysoida dataa, ohjelmoida, luoda algoritmeja, käyttöliittymiä ja paljon muuta. Matlabilla voidaan visualisoida Matlabissa tai Matlabin ulkopuolella kerättyä dataa. [10] Ohjelmiston on luonut Cleve Moler, ja se on otettu kaupalliseen käyttöön ensimmäisen kerran vuonna

1984. [11] Matlabin alkuperäinen versio tehtiin Fortran-ohjelmointikielen avulla. Fortran-versio oli tarkoitettu matriisilaskennan helppokäyttöiseksi opettelu- ja kokeiluympäristöksi. Fortran-versio käytti LINPACK- ja EISPACK-kirjastoja laskentakoneenaan. [12] LINPACK- ja EISPACK- kirjastot pitävät sisällään Fortran-aliohjelmia, joiden tehtävä on analysoida ja ratkaista lineaarisia yhtälöitä ja matriiseja. [13,14] Ensimmäinen versio ei siis ollut ohjelmointikieli, vaan interaktiivinen matriisilaskin. Versiossa ei ollut ollenkaan työkaluja tai graafisia elementtejä. Matlabin ytimenä on edelleen numeerisen lineaarialgebran "peruskallion" muodostava Fortran-ohjelmakokoelma. LINPACK- ja EISPACK-kirjastot eivät ole nykyisessä Matlab-versiossa käytössä, vaan vuonna 2000 Matlab vaihtoi LAPACK-kirjastoon. [12]

Nykyinen Matlab-versio on tehty C ja C++ -ohjelmointikieliä käyttäen. Matlab-ohjelmointikielen esikuvana pidetään Kenneth Iversonin kehittämää APL-kieltä. [5] Matlabia on mahdollista käyttää sovelluksen lisäksi myös selaimella. Nykyinen sovellusversio julkaistiin vuonna 2000, ja sen jälkeen version kehitys on jatkunut. Sovellusversioon tuli vuonna 2016 muokkausympäristö, jossa voi yhdistää Matlab-koodia muotoillun tekstin, yhtälöiden ja kuvien kanssa ja luoda niistä yhden interaktiivisen dokumentin. [15]

4 Ohjelmointirajapinta

Ohjelmointirajapinta on raja komponenttien tai moduulien välillä ohjelmitavassa järjestelmässä. [16] Kyseinen rajapinta mahdollistaa tietojen pyytämisen ja vaihtamisen ohjelmien välillä. Ohjelmointirajapinnan tehtävä on kirjastoista puhuessa määrittää, miten ohjelma kutsuu kirjastoa. Kirjastolla tarkoitetaan kokoelmia, luokkia tai aliohjelmiä, joita ohjelma suorittaa sen käytön aikana. Tässä opinnäytetyössä tärkeässä osassa ovat juuri kirjastot, jota varten rajapinta luodaan. Kirjastot jaetaan pääasiassa kahteen, eli dynaamisesti linkitettävään kirjastoon ja staattiseen kirjastoon. Dynaamisesti linkitettävä kirjasto on kirjasto, joka toimii eri ohjelmien välillä. Matlabilla tehdään tässä opinnäytetyössä BioRadion ja iMotionsin välille jaettu dynaamisesti linkitettävä kirjasto. Rajapinnan toteutuksessa kannattaa suosia yleisesti käytettyjä formaatteja, standardeja ja protokollia. Tämä helpottaa rajapinnan tekemistä ja vähentää erilaisten virheiden määrää. [17] Yleisin rajapinta-arkkitehtuuri on REST-arkkitehtuuri, jossa järjestelmätiedot ovat XML-muodossa ja selainsovelluksille tehtävät API:t ovat JSON-muodossa. [18, 19]

Rajapinta voi olla avoin tai suljettu. Avoimella tarkoitetaan rajapintaa, jonka dokumentaatio on verkon kautta avoimesti saatavilla ja sen voi ottaa käyttöön ilman ylläpitäjää tai järjestelmätoimittajaa. Tarjolla täytyy olla testiaineisto, jolla rajapintaa on mahdollista testata. Jos jokin edellä mainituista ehdoista ei toteudu, on kyseessä suljettu rajapinta. [20] On olemassa myös tilaajan hallitsemia rajapintoja, joissa rajapinnan tilaaja määrittää, kuinka avoin rajapinta on. Tällöin rajapinnan toimittajalla ei ole sanavaltaa rajapinnan avoimuuteen. Rajapinta voi olla myös pelkkä datarajapinta tai toiminnallinen rajapinta. Datarajapinnalla tarkoitetaan rajapintaa, jonka ainoa tehtävä on saada tarvittava data liikkumaan ohjelmasta, komponentista tai moduulista "A" ohjelmaan "B". Toiminnallisella rajapinnalla tarkoitetaan rajapintaa, jossa on jokin toiminnallisuus, kuten esimerkiksi vikailmoituksen tekeminen. Järjestelmässä voi olla erikseen datarajapinta ja toiminnallinen rajapinta. Jos järjestelmässä on useita rajapintoja, on tärkeää täsmentää, mitkä niistä ovat avoimia. [21]

5 Rajapinnan toteuttamisen suunnitelma

Tämän opinnäytetyön tärkein tavoite on mahdollistaa tiedonsiirto BioRadiosta iMotionsiin. Tiedonsiirron lisäksi on tavoitteena mahdollistaa BioRadion konfigurointi Matlabissa tai iMotionsissa, jos kyseinen toiminnallisuus on tuettu. Tiedonsiirto on tarkoitus mahdollistaa ohjelmointirajapintaa käyttäen, ohjelmointirajapinnan tyyppi on datarajapinta. Datarajapinta luodaan koodaamalla. Great Lakes Neurotechnologies (2014) on luonut ohjeistuksen rajapinnan luomiseen BioRadiota varten, ja kyseistä ohjeistusta on tarkoitus käyttää tässä opinnäytetyössä apuna. [22] Ohjeistuksessa on askeleet siihen, miten rajapinnan saa koodattua. Ohjeistuksesta löytyy myös jo aikaisemmin mainitut kirjastot, joita hyödynnetään API:n käytössä. API on tarkoitus luoda Matlab-ohjelmistolla. [22]

Tiedonsiirtoa varten on laite yhdistettävä käytössä olevaan tietokoneeseen. Laitteen yhdistäminen Bluetoothin avulla onnistuu, kun MAC-osoite on tiedossa. MAC-osoite löytyy tietokoneen Bluetooth-asetuksista. Ennen tiedonsiirtoa täytyy BioRadio konfiguroida. Konfiguroimalla voidaan määrittää jokaisen kanavan yksittäisiä asetuksia. Kanavan resoluutio(jännite) on muokattavissa. Resoluution valintaväli on $1 \mu\text{V} - 5 \text{mV}$. Myös kanavan toista resoluutiota(bitti) voidaan muokata, mutta kaikki pääkanavat toimivat 24 bitin resoluutiolla, joten muokkaaminen ei ole tarpeellista. Lisäanturit sen sijaan toimivat 12 bitin resoluutiolla. Resoluutiolla tarkoitetaan tässä asiayhteydessä analogisen jännitteen tarkkuuden muuntamista digitaaliseksi arvoksi. Konfigurointinäytön (Kuva 4) vasemmassa yläkulmassa näkee myös sen hetkisen

kaistannopeuden. [23]

Ch.	Name	Type	Resolution	Input Range
<input type="checkbox"/>	1	ECG1	Custom	
<input type="checkbox"/>	2	ECG2	Custom	
<input type="checkbox"/>	3	ECG3	5 µV	+/- 0.187 V
<input type="checkbox"/>	4	EEG4	1 µV	+/- 0.187 V

Kuva 4. BioCapturen konfigurointinäyttö. Konfigurointinäytön ylävasemmalla voi muuttaa sen hetkisen konfiguroinnin nimeä. Nimen muuttamisen alapuolella voi muokata pääkanavien asetuksia. Pääkanavien alla on lisäkanavien asetukset ja sen alapuolella liikeseensori, josta ei voi muuttaa muuta kuin onko liikeseensori käytössä. Oikealta alhaalta saa tallennettua tehdyt muutokset tai peruuttamaan ne.

Kun konfigurointi on tehty, voi rajapinnan tekemisen aloittaa Matlab-ympäristössä. Aluksi ladataan BioRadion SDK (Software Development Kit). Yleensä SDK pitää sisällään ohjeistuksia, koodia sisältäviä tiedostoja, dokumentteja ja sovelluslaajennuksia. SDK:n lataamisen jälkeen sen sisältö siirretään Matlabiin. Sisällön lataamisen ja siirtämisen jälkeen tarvitsee BioRadio .NET-kokoelmassa olevat objektit saada näkyviksi, että niitä voidaan käyttää Matlabissa. Objektilla tarkoitetaan rakenteita, joiden tehtävänä on yhdistää dataa ja dataa käyttäviä toimintoja. [24] Kokoelman saa näkyville kuvassa 5 olevan funktion avulla. Koodinpätkää ajaessa tulee valita sovelluslaajennus "BioRadioSDK.dll".

```
load_API.m x +
function [ deviceManager , flag ] = load_API( filepath )

switch nargin
case 0 % if filepath not provided prompt user to select dll
[filename,pathname]=uigetfile('*.dll','Select the API dll file. ');
try
asmInfo = NET.addAssembly([pathname filename]); %load API
deviceManager = GLNeuroTech.Devices.BioRadio.BioRadioDeviceManager; %create device manager object
flag = true;
catch
errordlg('Invalid file selection. Please try again')
flag = false;
deviceManager = [];
return
end
case 1 %if filepath provided, use user input to select dll
try
asmInfo = NET.addAssembly(filepath); %load API
deviceManager = GLNeuroTech.Devices.BioRadio.BioRadioDeviceManager; %create device manager object
flag = true;
return
catch
errordlg('Invalid file selection. Please try again')
flag = false;
deviceManager = [];
return
end
otherwise % if more than two inputs provided, error out
errordlg('Invalid file selection. Please try again')
flag = false;
deviceManager = [];
return
end

end

end
```

Kuva 5. Matlab-funktio

Kuvan 5 funktio luo myös samalla laitehallinnan, jonka avulla voidaan etsiä ja luoda BioRadio-laitteiden objekteja. Tämän jälkeen BioRadio on viimeistään yhdistettävä koneeseen Bluetoothin avulla. Yhdistämisen jälkeen tarvitaan BioRadion MAC-osoitetta. MAC-osoite tulee olla 64-bitin muodossa, mikä tarkoittaa, että numerojen ja kirjaimien välissä ei saa olla erottimia. Kun yhdistäminen on tehty, on hyödyllistä lukea sisään BioRadion sen hetkinen konfiguraatio, vaikka konfiguraatio ei olisikaan muuttunut viimeisimmän tiedonkeruun jälkeen.

Datan suoratoistaminen aloitetaan kutsumalla funktiota "myDevice.StartAcquisition". Datan suoratoistamisen käynnistyy, jos laite on yhdistetty ja vähintään yksi kanava on konfiguroitu biosignaalien keräämistä varten. Mikäli yhtään kanavaa ei ole konfiguroitu, antaa Matlab virheilmoituksen "Ei yhtään pääkanavaa ohjelmoituna, palaathan BioCapturen ohjelmointiruutuun." Myös liian hidaskäyttö voi aiheuttaa sen, että BioRadio ei aloita datan suoratoistoa (taulukko 1). Jos datan suoratoisto keskeytyy, voi syynä olla BioRadion akun loppuminen tai se, että Bluetooth-

vastaanotin on liian kaukana laitteesta, jolloin yhteys katkeaa. Kun tarpeellinen data on suoratoistettu, voi suoratoiston lopettaa, kutsumalla funktiota "myDevice.StopAcquisition". Data säilötään suoratoiston aikana puskuriin, josta sen voi hakea suoratoiston jälkeen "GetScaledValueArray" -funktion avulla. Bluetooth-yhteys katkaistaan kutsumalla funktiota "myDevice.Disconnect".

Matlab tarjoaa useita vaihtoehtoja datan jälkikäteen siirtämiseen ulkoisesta tiedonkeruulaitteesta/järjestelmästä. Suoratoiston integrointia varten on luotava XML-tiedosto, jonka tehtävänä on muuttaa BioRadiosta kerätty data muotoon, jota iMotionsissa voidaan käyttää. iMotionsin ja Matlabin välillä on helppo siirtää dataa, koska sovellukset tukevat toisiaan. Matlabiin tulee kuvaaja kaikesta datasta, jota BioRadio on konfiguroitu keräämään. Kuvaajassa (Kuva 8) näkyy kerätty data, jossa x-akselilla on etukäteen määritetty mittausaika ja y-akselilla biosignaalin suuruus.

6 Rajapinnan toteuttaminen

Rajapinnan toteuttaminen alkoi SDK:n lataamisella ja SDK:n sisällön siirtämisellä Matlabiin. Ensimmäinen ongelmatilanne tuli vastaan luvussa 5 mainitussa sovelluslaajennuksen valinnassa. Matlabin selainversiota käytettäessä Matlab ei tunnistanut BioRadioSDK.dll-tiedostomuotoa. Ongelma ratkesi kuitenkin Matlabin sovellusversiossa, joka tunnisti tiedostomuodon ja sovelluslaajennuksen, minkä jälkeen laitehallinnan luominen sujui onnistuneesti. Tämän jälkeen piti testata, että SDK:n mukana tulleet funktiot toimivat ilman virheitä. Funktiot eivät toimineet ilman virheitä, vaan niitä piti muokata, että ne sai toimimaan ilman virheilmoituksia. Muokkaamisen lisäksi lisättiin jokaiseen funktioon suomenkieliset ohjeet jatkokehitystä varten. Funktioiden muokkaamisen ja luomisen jälkeen piti luoda live script (Kuvat 6 ja 7). Live scriptin tehtävä on mahdollistaa funktioiden ajaminen halutussa järjestyksessä ja datan visualisointi.

Tässä työssä käytettäviä funktioita ovat etsi (BioRadio_Find.m), yhdistä (BioRadio_Connect.m), suoratoista (BioRadio_Stream.m), konfiguroi (BioRadio_GetConfiguration.m) ja katkaise yhteys (BioRadio.Disconnect.m). Konfiguroi-funktiota ei ollut mukana SDK:ssa, vaan sen luotiin opinnäytetyön aikana, koska ensimmäisellä yrityksellä BioRadio ei alkanut suoratoistamaan dataa. Konfiguroi-funktiolla voidaan ladata uudelleen BioCapturen viimeisin tallennettu konfiguraatio. Seuraava virhe tuli, kun datan suoratoistaminen yritettiin aloittaa uudestaan. Virheilmoitukseksi tuli ”Ei yhtään pääkanavaa ohjelmoituna, palaathan BioCapturen ohjelmointiruutuun.”. Tämän virheen sai korjattua, kun valitsi yhden pääkanavan mukaan suoratoiston keräämiseen. Pelkästään lisäsensorien valitsemista ei saanut toimimaan, mutta tyhjän pääkanavan valitseminen ei vaikuta negatiivisesti lisäsensorien datankeruuseen.

```
Lataa BioRadio API:n
1
2
3
4
5
6
7
8
current_dir = cd;
[ deviceManager , flag ] = load_API([current_dir '\BioRadioSDK.dll']);
if ~flag
    return
end

Etsii käytettävissä olevia sensoreita ja käyttäjä valitsee niistä yhden
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
[ deviceName , macID , ok ] = BioRadio_Find( deviceManager );
if ~ok
    errordlg('Ei BioRadioita valittuna, valitsehan BioRadion')
    return
end
%
%

Alustaa BioRadio-objektin
19
20
21
22
23
24
25
%Funktio herjaa, että yhdistäminen epäonnistui, jos tätä funktiota
%ajettaessa BioRadio on jo yhdistetty
%ajettaessa BioRadio on jo yhdistetty
[ myDevice, flag ] = BioRadio_Connect ( deviceManager , macID , deviceName );
if ~flag
    return
end
```

Kuva 6. Live script

```
% Laitteiden haun sijasta, voi alla olevan rivin koodinpätkään syöttää
% suoraan BioRadion Mac ID:n
% tämä rivi, myDevice = deviceManager.GetBluetoothDevice(int64(hex2dec('00a096388623')));
%

Suoratoistaa BioRadion dataa
BioRadioData = BioRadio_Stream( myDevice , 15 , deviceName );
% Keskimäinen numero määrittää suoratoiston pituuden sekunteina

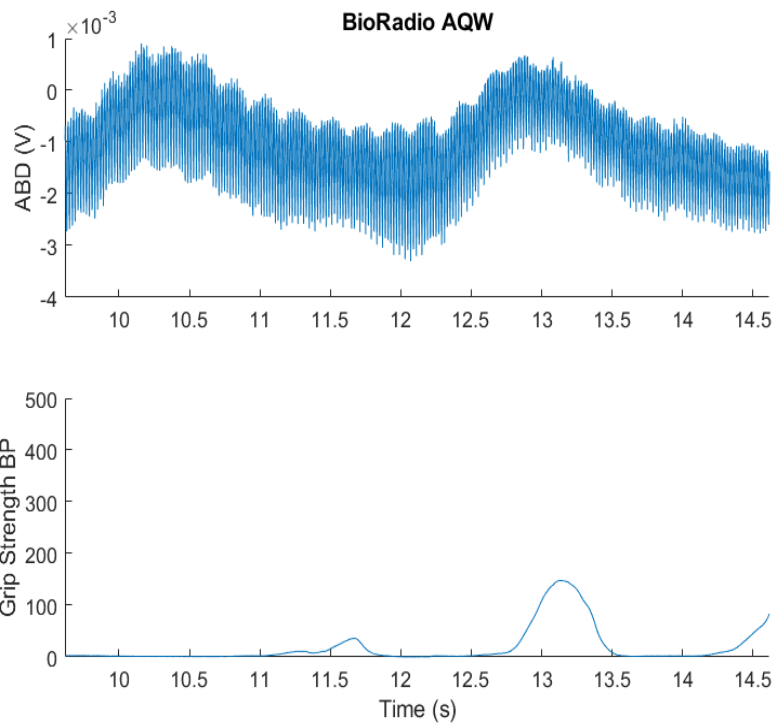
Katkaisee yhteyden kaikkiin sensoreihin
BioRadio_Disconnect( myDevice )

Hakee nykyisimmän BioRadion asetuksen
BioRadio_GetConfiguration ( myDevice )
% Aja tämä funktio, jos Matlab herjaa konfiguraatiosta
```

Kuva 7. Live script

Live script (Kuvat 6 ja 7) toimii ajamalla halutut funktiot yksittäin tai ajamalla koko komentosarja järjestyksessä. Aluksi laite konfiguroitiin BioCapturessa, laite konfiguroitiin keräämään puristusvoimaan liittyvää dataa. Puristusvoiman datan keruu tapahtuu lisäanturien avulla. Kun konfigurointi BioCapturessa on tehty, täytyy katkaista BioCapturen ja BioRadion välinen yhteys, että yhteyden luominen BioRadion ja Matlabin välillä onnistuu. BioRadion löytäminen tapahtui ajamalla funktio BioRadio_Find.m, jonka avulla aukesi ponnahdusikkuna, josta sai valittua BioRadion. Kun laite oli löytynyt, BioRadion ja Matlabin välinen yhteys luotiin kutsumalla funktiota BioRadio_Connect.m. BioRadio_Connect.m-funktio tarvitsee ajaa vain ensimmäisellä yhdistyskerralla. Tämän jälkeen ajettiin funktio BioRadio_GetConfiguration, joka piti tehdä vain ensimmäisellä yhdistämiskerralla. Tämän jälkeen voitiin aloittaa suoratoisto, joka aloitettiin funktiolla BioRadio_Stream.m. Funktion kutsumislauseella on mahdollista vaihtaa suoratoiston kestoa sekunnin tarkkuudella (Kuva 7). Datat keruun jälkeen katkaistiin Matlabin ja BioRadion välinen yhteys ajamalla funktio BioRadio_Disconnect.m.

Koska puristusvoiman kerääminen tapahtui lisäanturia käyttämällä koettiin tarpeelliseksi testata myös pääkanavia. Pääkanavan testaamiseen käytettiin voimavyötä, jolla voi mitata vatsan ja rinnan alueella tapahtuvaa liikehdintää. BioRadio konfiguroitiin uudelleen BioCapture-ohjelmassa, minkä jälkeen seurasivat vastaavat vaiheet kuin lisäanturia käytettäessä lukuunottamatta BioRadio_GetConfiguration.m- ja BioRadio_Connect.m -funktioiden kutsumista. Lisäksi testattiin tiedon keräämistä lisäantureista ja pääkanavalta samanaikaisesti (Kuva 8), mikä toimi ongelmitta.



Kuva 8. Kuvaaja

Kuvassa 8 näkyy kerätty data kuvaaja, jossa mitattiin samanaikaisesti puristusvoimaa ja vatsan ja rinnan alueen muutoksia. Ylempi muuttuja on vatsan ja rinnan alueen muutokset ja alempi on puristusvoima. Live scriptissä näkyy BioRadio_Stream-funktion kohdalla mittausaikana 15 sekuntia, jonka takia graafeissa on mittausaikana 15 sekuntia.

7 POHDINTA

7.1 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda rajapinta BioRadion keräämän datan siirtämiseen iMotions-ohjelmaan. Rajapinnan luominen onnistui, mutta sen integroiminen iMotionsiin jäi kesken. Datan tulkitseminen iMotionsissa mahdollistui kuitenkin Matlabiin luodun rajapinnan avulla. BioCapturesta kerätyn datan sai ulos vain tiedostomuodolla "BioCapture Recording File", jonka tiedostopääte oli bcrx. Kyseinen tiedostomuoto ei toiminut iMotionsissa. Eli vaikka rajapintaa ei vielä integroitu iMotionsiin, on silti datan käsittely siellä mahdollista. Matlabiin suoratoistetun datan saa ulos, kuva-, video- ja datamuodossa. Edellä mainittujen datamuotojen käyttäminen onnistuu iMotionsin tutkimuksissa.

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa paljon aikaa vei mahdollisten jo olemassa olevien rajapintojen kartoittaminen. Nopeasti selvisi, että valmista rajapintaa ei ole, vaan sellainen pitää luoda jonkin ohjelman avulla. Rajapinnan ohjelmoimista varten valittiin Matlab. Matlab valittiin, koska Great Lakes NeuroTechnologiesilla on SDK Matlabia varten. Kappaleessa 3.2 mainittu datan visualisointi oli tärkeässä osassa toteutuksessa. Datan visualisointi tapahtui piirtymällä kuvaajaan reaaliajassa.

Rajapinnan toteutusta varten oli BioRadiolla valmis ohjeistus, jonka avulla rajapinnan ohjelmointi onnistui varsin hyvin. Alun perin rajapinnan tarkoituksena oli myös mahdollistaa BioRadion konfiguroiminen iMotionsissa tai Matlabissa, mutta opinnäytetyön aikana selvisi, että kyseinen toiminnallisuus ei ole tuettu BioRadiossa. Eli BioRadio pitää siis konfiguroida BioCapture-sovelluksessa. Matlabissa rajapinnan ohjelmointi ja osana rajapintaa olevan live scriptin luominen ei onnistunut ilman ongelmia. Ongelmia tuli muun muassa BioCapturessa määritetyn konfiguroinnin sisään lukemisessa Matlabiin, tiedostomuotojen sekä datan suoratoistamiseen liittyen. Datan suoratoistamiseen liittyvä ongelma ilmeni, kun yritettiin suoratoistaa dataa pelkästään lisäantureista. Jos haluaa suoratoistaa lisäantureista dataa, täytyy

yksi pääkanava olla valittuna. Jos pääkanava on valittuna, mutta pääkanavaan ei ole liitetty ollenkaan antureita, piirtyy Matlabiin tyhjä kuvaaja.

Opinnäytetyön aikana luotiin rajapinnan lisäksi XML-tiedosto. XML-tiedoston tarkoituksena on määrittää raja-arvot, joiden väliltä iMotions hyväksyy mittaustulokset. Ensimmäisellä yrityksellä iMotions ei hyväksynyt XML-tiedostoa. Ongelma korjaantui muuttamalla iMotionsin asetuksia. XML-tiedostoa ei käytetty tässä opinnäytetyössä vielä hyödyksi, vaan XML-tiedoston hyödyntäminen tapahtuu rajapintaa integroidessa.

Alkuperäisessä ohjeessa mainittiin BioRadion verkkosivujen ohjeistus, mutta sitä ei käytetty toteutuksessa ollenkaan. Sen sijaan SDK ja sieltä löytyvä ohjeistus olivat todella hyödyllisiä rajapintaa tehdessä. Myöskään suunnitelmassa mainittua MAC-osoitetta ei tarvittu ollenkaan. BioRadion yhdistäminen tapahtui helpoiten laiteluettelolla, joka tuli ponnahdusikkunana esille, kun ajettiin funktio. MAC-osoitteella yhdistäminen on silti myös mahdollista rajapinnan avulla, jos laiteluettelon kanssa ilmenee ongelmia. Konfigurointia varten tehty suunnitelma oli varsin hyödyllinen ja sen avulla konfigurointi oli helppoa. Suunnitelmassa mainittu kaistannopeus, ei ollut ongelma kertaakaan opinnäytetyön aikana. Kaistannopeus vaihteli pääosin välillä 8Kbps–50Kbps. Suunnitelmassa mainittuja funktiota ei käytetty ollenkaan toteutusvaiheessa. Dataa ei myöskään säilöty suoratoiston aikana puskuriin, vaan Matlabiin piirtyi reaaliajassa kuvaaja. Niin kuin suunnitelmassa arvioitiin, oli datan vieminen keräämiseen jälkeen iMotionsiin todella helppoa.

Suunnitelma oli kokonaisuudessaan hyödyllinen, mutta siinä oli paljon asioita, joita jouduin toteutuksen aikana tekemään eri tavalla. Suunnitelmasta oli apua erilaisten ongelmatilanteiden kanssa ja se auttoi hahmottamaan rajapinnan toteutuksen vaatimuksia. Suunnitelma olisi voinut olla kattavampi, ja siinä olisi kannattanut käsitellä tarkemmin Matlabissa tapahtuvaa koodaamista. MAC-osoite mainittiin myös suunnitelmassa useasti, mutta sitä ei oikeasti tarvinnut käyttää kertaakaan. Jatkossa yritän paremmin hahmottaa suunnitelmantekovaiheessa, kuinka paljon työtä mikäkin vaihe vaatii, ja että kuinka paljon valmistelua tarvitsee tehdä kutakin vaihetta varten. Tällä tavalla

on helpompaa keskittyä toteutusvaiheessa pelkästään toteutukseen, vaikkakin harvoin mikään projekti menee täysin suunnitelman mukaisesti.

7.2 Jatkokehitys

Datan suoratoistamista iMotionsiin ei saatu opinnäytetyön aikana integroitua. Se jää siis terveysteknologian laboratoriolle jatkokehitysmahdollisuudeksi. Integrointi ei ole iso tehtävä, koska rajapinta on valmis. Myös konfiguroinnin mahdollistamista Matlabissa tai iMotionsissa voi jatkossa kartoittaa vielä paremmin. Opinnäytetyön aikana mahdollisuutta konfigurointiin jossain muussa ohjelmistossa kuin BioCapturessa ei löytynyt. Jos konfiguroinnin saisi integroitua Matlabiin tai iMotionsiin, ei BioCapturea tarvitsisi enää ollenkaan. Tämä helpottaisi BioRadion kanssa työskentelyä, koska se poistaisi turhia työvaiheita, ja helpottaisi sen käyttöä mittaustilanteissa. Rajapintaan luotiin ohjeistus jatkoa varten, mutta rajapinnan ohjeistuksen syventäminen olisi myös hyvä jatkokehityskohde. Rajapintaa voi yrittää myös tehdä helppokäyttöisemmäksi. Sen käyttö ei ole tällä hetkellä myöskään hankalaa, mutta jos rajapinta olisi yksinkertaisempi, helpottaisi se uusien käyttäjien käyttökokemusta dataa kerätessä. Yksinkertaisuuteen auttaisi toimiva käyttöliittymä. Tällä hetkellä käyttäjä määrittää keruun keston etukäteen, mikä ei sinänsä ole huono juttu, mutta jos vaihtoehtona olisi myös loputon datan keruu, jonka voi keskeyttää, olisi se hyvä lisä.

BioRadiolla voidaan kerätä todella monta biosignaalia. Näiden kaikkien testaamisen toimivuus olisi myös tärkeää jatkossa. Myös graafeja olisi mahdollista kehittää selveemmiksi ja tarkemmiksi, jotta niitä olisi helpompi tulkita.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda datarajapinta, jonka avulla BioRadion keräämän datan saa siirrettyä iMotions-ohjelmistoon. Tarkoituksena oli luoda rajapinta Matlab-ohjelmistolla. Toteutusta varten luotiin opinnäytetyön aikana suunnitelma, jota seuraamalla oli tarkoitus luoda datarajapinta. Suunnitelmasta oli hyötyä toteutusvaiheessa, mutta sen mukaisesti ei toteutusvaihe edennyt.

Datarajapinnan luominen onnistui ja datan siirtäminen iMotionsiin mahdollistui. Rajapinnan koodaaminen tapahtui Matlabissa. BioRadion konfigurointi täytyy edelleen suorittaa BioCapture-sovelluksessa. Opinnäytetyön aikana selvisi, että konfiguraation integroiminen rajapintaan ei ollut tuettu toiminnallisuus.

Koodaamisessa käytettiin apuna SDK:ta, joka piti sisällään ohjeistuksen ja valmista koodia sisältäviä tiedostoja. Näitä tiedostoja muokkaamalla Matlabissa ja luomalla kyseisten tiedostojen funktioita käyttävän live scriptin onnistui datan suoratoistaminen Matlabissa. Data piirtyy Matlabissa kuvaajaan. Kuvaajaa on mahdollista muokata Matlabissa. Myös suoratoiston kestoa voidaan vaihtaa ennen tiedonkeruuta. Live script pitää sisällään ohjeistuksen rajapinnan käyttämistä varten, minkä tarkoituksena on auttaa rajapinnan käytön kanssa ja helpottaa sen jatkokehitystä.

Rajapintaa tullaan käyttämään Turun ammattikorkeakoulun terveysteknologian laboratoriossa suoritettavissa tutkimuksissa. Tutkimuksia on tarkoitus suorittaa iMotions-ohjelmistolla, johon luotu datarajapinta mahdollistaa tiedonsiirron. Datan saa siirrettyä iMotionsiin keräämisen jälkeen. Datan suoratoistaminen iMotionsiin jäi jatkokehitysmahdollisuudeksi.

LÄHTEET

[1] Great Lakes Neurotechnologies. BioRadio – Wireless Data Acquisition, 2022. Saatavissa: <https://www.glneurotech.com/products/bioradio/> Viitattu 15.10.2021

[2] Wikipedia. Biosignal, 2021. Saatavissa: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biosignal> Viitattu 16.1.2022

[3] Great Lakes NeuroTechnologies. BioRadio Teaching & Education, 2022. Saatavissa: <https://www.glneurotech.com/products/bioradio/applications/education/> Viitattu: 8.12.2021

[4] Great Lakes NeuroTechnologies. BioRadio. Saatavissa: <http://www.physio-tech.co.jp/pdf/glneurotech/bioradio.pdf> Viitattu 8.12.2021

[5] Great Lakes NeuroTechnologies. BioCapture Software, 2022. Saatavissa: <https://www.glneurotech.com/products/bioradio/device/software-options/biocapture-software/> Viitattu 28.10.2021

[6] Apteq. Hapissaturaatio. <https://apteq.fi/artikkeli/hapissaturaatio/> Viitattu 21.1.2022

[7] Hailey Melamut & Todd Graff. Smart Eye Acquires iMotions to Unlock Potential for Multi-Modal, Human Behavioral Research. Businesswire, 2021. Saatavissa: <https://www.businesswire.com/news/home/20211026006007/en/Smart-Eye-Acquires-iMotions-to-Unlock-Potential-for-Multi-Modal-Human-Behavioral-Research> Viitattu 18.1.2022

[8] iMotions. iMotions Research Software. Saatavissa: <https://imotions.com/platform/> Viitattu 25.11.2021

[9] iMotions. iMotions Advanced API. Saatavissa: <https://imotions.com/biosensor/api/> Viitattu 29.11.2021

- [10] Wikipedia. MATLAB, 2022. Saatavissa:
<https://fi.wikipedia.org/wiki/MATLAB> Viitattu 22.10.2021
- [11] Cleve, Moler. A brief history of Matlab, 2018. Saatavissa:
<https://se.mathworks.com/company/newsletters/articles/a-brief-history-of-matlab.html> Viitattu 11.1.2022
- [12] Apiola, Heikki & Laine, Marko, MATLAB-perusteet, 2022. Saatavissa:
<https://math.aalto.fi/~apiola/matlab/opas/lyhyt/perusteet.html> Viitattu 9.1.2022
- [13] Wikipedia, EISPACK, 2022. Saatavissa:
<https://en.wikipedia.org/wiki/EISPACK> Viitattu 5.1.2022
- [14] Dongarra, J. & Bunch, J. & Moler, C. & Stewart, G. W. LINPACK.
Saatavissa: <https://swmath.org/software/4209> Viitattu 6.1.2022
- [15] The MathWorks. Matlab. Saatavissa:
<https://se.mathworks.com/products/matlab.html> Viitattu 30.11.2021
- [16] Garrod, Charlie & Aldrich, Jonathan. Principles of API Design, 2014.
Saatavissa: <https://www.cs.cmu.edu/~charlie/courses/15-214/2014-fall/slides/17-api-design.pdf> Viitattu 15.10.2021
- [17] Helsinki Region Infoshare. Tiedosto vai rajapinta? 2017. Saatavissa:
<https://hri.fi/fi/ohjeet/datan-avaajalle/tiedosto-vai-rajapinta/> Viitattu 6.12.2021
- [18] Visma Solutions Oy. REST-rajapinnan käyttö. Saatavissa:
<https://support.valueframe.fi/hc/fi/articles/360007175193-REST-rajapinnan-k%C3%A4ytt%C3%B6> Viitattu 10.11.2021
- [19] Korhonen, Pekka. Pieni API-sanakirja. CGI, 2018. Saatavissa:
<https://www.cgi.com/fi/fi/blogi/pieni-api-sanakirja> Viitattu 30.11.2021
- [20] Kivekäs, Otso. Avoin rajapinta, 2014. Saatavissa:
<http://otsokivekas.fi/2014/06/avoin-rajapinta/> Viitattu 14.10.2021
- [21] Avoin rajapinta. Avoimen rajapinnan määritelmä, 2014. Saatavissa:
<http://avoinrajapinta.fi/> Viitattu 6.12.2021

[22] Great Lakes NeuroTechnologies. BioRadio API, 2014. Saatavissa: <https://glneurotech.com/BioRadioSDKDocumentation/html/ffb032ba-5944-4d52-ab89-448553765c01.htm> Viitattu 14.10.2021

[23] LabJack. What does 12-bit or 16-bit resolution mean? Saatavissa: <https://labjack.com/support/faq/what-does-12-or-16-bit-resolution-mean> Viitattu 19.12.2021

[24] Matlab. Object-Oriented Programming in MATLAB. Saatavissa: <https://se.mathworks.com/products/matlab/object-oriented-programming.html> Viitattu 22.1.2022

Kuvat:

Kuva 1. Great Lakes NeuroTechnologies, BioRadio, 2022. Saatavissa: <https://www.glneurotech.com/products/bioradio/device/certifications/>

Kuva 3. Great Lakes NeuroTechnologies, BioCapture Software, 2022. Saatavissa: <https://www.glneurotech.com/products/bioradio/device/software-options/biocapture-software/>