

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор” на тема: *“Изследване на описатели на ЕЕГ сигнали за разпознаване на негативни емоционални състояния”*,

представен от редовен докторант инж. Фирган Нихатов Ферадов

Професионално направление: „Електротехника, електроника и автоматика“

Докторска програма: „Електронизация“

Актуалност на проблема - обект на изследване в дисертационния труд

В синтезиран вид съдържанието на дисертационния труд може да бъде обобщено като: разработване и изследване на подход за оценка на емоционалното състояние на индивида на базата на автоматизиран анализ на спонтанната мозъчна активност, провокирана от дефинирано външно въздействие. Тематиката е изключително актуална, с широк спектър на възможни приложения, като: интерфейс човек-машина; методи за диагностика и терапия в медицината; системи за сигурност за оценка на риска; интелигентни системи за подпомагане на възрастни и хора с увреждания и др.

В началото на изложението докторантът е направил хронологичен анализ на възникването и утвърждаването на електроенцефалографията като диагностичен метод за оценка на мозъчната дейност. Аналитично са представени основните етапи свързани с дефинирането на емоциите, съотнасянето им към определени области и центрове в мозъка и адекватния избор на ЕЕГ отвеждания, корелиращи в максимална степен с емоционалните състояния. Представена е технологията за провеждане на експеримент за регистриране и оценка на емоционални състояния на база, анализ на ЕЕГ. Техниката спада към класа изследвания с евокирани (предизвикани) потенциали, при които се търси отклик на външно въздействие. За целите на своите изследвания докторантът се е спрял на налична база данни DEAP, включваща записи на ЕЕГ, снети от доброволци, провокирани чрез слушане на музикални изпълнения, които са предварително класифицирани в категории - „негативни“ и „други“, чрез оценка по показатели *“възбуда”*, *„валентност“*, *„доминантност“*, *„харесване“* и *„запознатост“*. В тази връзка са разгледани и методи за автоматична обработка на ЕЕГ, а именно: опорни вектори (*Support Vector Machine – SVM*), изкуствени невронни мрежи (*Artificial Neural Networks - ANN*), *kNN (k-Nearest Neighbors)* и линеен дискриминантен анализ (*Linear Discriminant Analysis - LDA*). Представени са и прилаганите описатели на ЕЕГ сигнали - изчислени във времевата област, в честотната област, във време-честотната област, както и многомерни пространствени описатели. Направено е системно проучване и анализ на текущото състояние и

постигнатите резултати, публикувани от други автори, при прилагането на посочените методи за анализ на ЕЕГ.

Може да се обобщи, че обзорната част представлява задълбочено литературно проучване и свидетелства за творческа интерпретация на постигнатите резултати и насоките за бъдещо развитие в предметната област на дисертационния труд. Повечето от цитирани 120 литературни източници, особено тези свързани с приложението на автоматизирани методи за анализ и обработка на ЕЕГ, са след 2010 г.

В края на обзорната глава е формулирано заключение, относно автоматизираните системи за идентификация на емоционални състояния и необходимостта от разработване на нови методи за параметризация на електроенцефалографските сигнали, както и създаване на нови описатели, които да корелират в максимална степен с негативните емоционални състояния и техните специфични проявления. В заключението, в не съвсем явен вид, са формулирани и целите и произтичащите за решаване задачи в дисертационния труд.

Обща аналитична характеристика на дисертационния труд:

В съответствие с анализа и изводите от обзорната част, в същинската част от дисертацията, авторът е фокусирал своите изследвания към оценка на съществуващите описатели на емоционалните състояния (индивидуални и в комбинации), с оглед прецизиране при прилагането им за разпознаване на негативни емоционални състояния. Първоначално изследванията са с описател на ЕЕГ сигнали изчислен във времевата област, какъвто е енергията на сигнала в препокриващи се времеви прозорци. Анализирани са записите на 10 доброволци от DEAP базата данни, като 20% от записите са използвани като обучителни, 20% за настройка на прага за разграничение между реакциите - „негативни“ и „други“, а останалите записи са тестови. Получените резултати са съизмерими с публикуваните при прилагане на други описатели. С оглед на допълнително прецизиране, в последващи изследвания освен кратковременната енергия, са включени последователно още 6 и още 7 допълнителни описатели. В последното експериментално изследване, в тази глава, са добавени още 3 статистически описателя – „активност“, „мобилност“ и „комплексност на Хьорт“. Анализът на резултатите е обобщен в заключение, че няма доминантен и не може да бъде препоръчано изключването на определен показател. С описателите е направен анализ на достоверността по критерии - „възбуда“, „валентност“, „доминантност“, „харесване“, като заключението на автора е, че описателят с най-високо ниво на корелация спрямо посочените емоционални състояния е *„модулът на средната стойност на втората разлика на нормализирания сигнал“*.

Обект на следващите изследвания и анализи са описатели на ЕЕГ сигнали изчислени в честотната област. Най-напред са изследвани свойствата на линейните кепстрални коефициенти за класификация на негативни емоции. Методологията е аналогична на приложената при описателите във времевата област. За всеки прозорец се

изчисляват спектрите, чрез дискетно преобразуване на Фурие (DFT), след което се филтрират (отстраняват) определени честотни компоненти. Изследвани са 10 описателя, като първият е логаритмичната енергия на сигнала, без използване на филтри, а останалите 9 са кепстралните коефициенти получени при използването на различен брой филтри - от 2 до 30. Анализирани са получените резултати и е формулирано заключение относно приложимостта на кепстрални коефициенти за класификацията на негативните емоционални състояния. Допълнително са изследвани и три подхода за предварителна обработка на ЕЕГ сигналите, преди изчисляването на кепстралните коефициенти, а именно: прилагане на DFT върху сегментирани отрязъци от сигнала, без осредняване; върху осреднени сегментирани отрязъци; върху целите записи. Направен е анализ на постигнатата точност, влиянието на броя филтри и бързодействието на алгоритмите.

Последната част от експерименталните изследвания, в дисертационния труд, са свързани с описатели, които отчитат пространствените корелации между ЕЕГ сигналите в отделните канали. Първоначално са изследвани комбинации от статистически описатели, аналогични на разгледаните във времевата област, съответно при 8-канални и 32-канални отвеждания. Формулирано е заключение относно влиянието на броя електроди. Съществен акцент в дисертационния труд е предложеният нов тип описател, базиран на пространствено-времеви зависимости между ЕЕГ каналите. Алгоритъмът за определянето му до голяма степен препokrива този за изчисляване на кепстракните коефициенти, като разликата е, че не се оперира с отделни отрязъци в каналите, а се обработват всички канали в паралел, така че се достига до декорелирани време-пространствени коефициенти. Формулирано е заключение относно разпределението на мозъчната активност в пространството и свързаността ѝ с емоционалното състояние.

От цялостното изложение ясно проличава системният подход при решаване на конкретните задачи, включващ: (1) - теоретичен анализ; (2) - синтез на алгоритми за обработка на данните, базиран на коректен математически апарат; (3) - анализ и оценка на резултатите по показател „точност“, при разпознаване на негативна емоция; (4) - формулиране на заключение.

Дисертационният труд е добре оформен и онагледен с подходящи графики, фигури и таблици, подкрепящи тезите на автора. Изложението е стегнато и ясно, с употребата на коректна терминология и без излишни подробности.

Постигнати резултати и приноси на дисертационния труд

Постигнатите резултати от изпълнението на задачите в дисертационния труд, са формулирани в два научни и четири научно-приложни приноса. Научните могат да бъдат причислени към класа на новите методи за изследване при оценка на психофизиологични състояния на човека на базата на автоматичен анализ на провокирана мозъчна активност. Новаторския елемент се състои в изчисляването и използването на описатели от класа на кепстралните коефициенти и описател на многоканални ЕЕГ

сигнали, отразяващ декорелираната енергия на време-пространственото разпределение на мозъчната активност и връзката му с емоционалния статус на индивида.

Научно-приложните приноси допринасят за получаване и доказване на нови факти, както и получаване на потвърдителни факти в предметната област на дисертацията. Тези приноси са формулирани на базата на проведените изследвания и сравнителни анализи с предложените от автора описатели, спрямо прилаганите от други автори. Нямам забележки относно коректността на проведените изследвания и достоверността на получените резултати. Споделям така формулираните приноси. Степента на личното участие на докторанта, при изпълнението на задачите в дисертационния труд, както и в приносите, е висока. Естествено с участието и помощта на неговия ръководител. Мнението ми, е на база на съвместни участия в научни форуми, където са били представяни и дискутирани отделни части от дисертационния труд.

Смятам че потенциалното бъдещо приложение на предложените методи за анализ, е в областта на автоматизираните системи за обработка на образи (deep learning) и по специално за **формиране на аотирани бази данни**, за бърза и надеждна оценка на емоционалното състояние и предсказване на поведенческите реакции на индивиди.

Публикации във връзка с дисертационния труд

Съдържанието на дисертационния труд и постигнатите резултати са популяризирани, чрез 8 публикации – 1 в списание в чужбина и 7 в сборници с доклади от национални научни форуми с международно участие. Една публикация е самостоятелна, а две са видни в Scopus. Тематиката на публикациите покрива всички части от дисертационния труд. Няма информация за открити цитирания.

Авторефератът е в обем от 22 страници и отразява изчерпателно и достоверно съдържанието на отделните части на дисертационния труд, както и приносите на автора.

Въпроси, забележки и препоръки:

- Смятам, че работата би спечелила, ако след обзорната част са еднозначно дефинирани целта и задачите в дисертационния труд.
- Стр. 58 – в таблица 2.6, за участник 24 не са представени данни по описател „активност“, но има за „мобилност“ и „комплексност“, които са производни на „активност“, как са получени?
- Стр. 72 – при сегмент с дължина 1 секунда, и долна гранична честота на ЕЕГ сигнала от 0.5Hz, се изкривява спектъра след DFT за честотите под 2 Hz.
- При използването на описатели, отразяващи пространствено-времените зависимости в ЕЕГ сигналите е добре да се направи анализ по отношение на времето за изпълнение на алгоритъма за разпознаване.

- Към насоките за бъдещо развитие, бих препоръчал да се приложат представените методи за разпознаване на негативни емоции само върху отделните вълни, за да се оцени информативността им спрямо анализа на комплексния ЕЕГ сигнал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд е безспорно актуален, насочен към решаване на редица проблеми свързани с изследване и разработване на подходящи алгоритми за разпознаване на негативни емоционални състояния, на база обработка на ЕЕГ сигнали. Извършената работа и представените резултати надхвърлят общоприетия обем за научен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор”. Авторът е показал отлични способности при усвояването на знания от специфична област и тяхното прилагане за решаване на конкретни задачи. Постигнатите резултати са коректни, обосновани и популяризирани в достатъчна степен. Ясно се отличава индивидуалният принос на докторанта. Направените препоръки и забележки са свързани с някои неточности, и имат за цел да подобрят качеството на изложението.

Посоченото, по-горе, ми дава основание да предложа на уважаемото научно жури, в съответствие със ЗРАСРБ, да бъде присъдена образователната и научна степен „Доктор“ на инж. Фирган Нихатов Ферадов.

Изготвил:

25.03.2019 г.

/проф. дтн инж. Иво Илиев/