

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Фирган Нихатов Ферадов

Заглавие:

„Изследване на описатели на ЕЕГ сигнали за
разпознаване на негативни емоционални състояния“

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „Доктор“**

**по докторантска програма: 5.2.4 *Електронизация*
към професионално направление:
5.2 „*Електротехника, електроника и автоматика*“**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Тодор Ганчев

Рецензенти:

1:

2:

Варна, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден на 18.12.2018 г. в катедра “Електронна техника и микроелектроника” и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра “Електронна техника и микроелектроника”

Автор: инж. Фирган Нихатов Ферадов

Заглавие: „Изследване на описатели на ЕЕГ сигнали за разпознаване на негативни емоционални състояния“

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Фирган Нихатов Ферадов

Заглавие:

„Изследване на описатели на ЕЕГ сигнали за
разпознаване на негативни емоционални състояния“

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „ДОКТОР“**

Варна, 2018 г.

Дисертационният труд съдържа 120 страници, включително 25 фигури, 22 таблици, 0 схеми 0 чертежа и 1 приложение, оформени в 4 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 120 заглавия, от които 0 на кирилица и 120 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на Г. от Ч. В на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №/..... Г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересувашите се в Докторантския център, стая 318 НУК

Обща характеристика

Актуалност на проблема: Създаването на нови обективни методи за автоматизирано разпознаване на емоционални състояния е мотивирано от тяхната значимост за развитието на интерфейсите човек-машина, технологиите в помощ на здравеопазването и подобряване качеството на живот на възрастни и хора с хронични заболявания. Автоматизирано разпознаване на негативни емоционални състояния намира приложение също и при създаването на технологични средства за подпомагане на терапиите насочени към преодоляване на психологични разстройства и при диагностицирането на някои неврологични заболявания.

Цел и задачи на изследването: Изследванията в дисертационния труд са насочени към оценяване качествата на съществуващи описатели на ЕЕГ сигнали, анализ на приложимостта им, и разработване на нови описатели и методи за изчисляването им, които дават предимство при откриване на негативни емоционални състояния от ЕЕГ сигнали.

Обект, предмет и място на изследването: Обект на дисертационния труд е автоматизираното разпознаване на негативни емоционални състояния, като предмет на изследването са възможностите подобряване на точността посредством усъвършенстване на методите за извличане на описатели от ЕЕГ сигнали. Представените изследвания са проведени ТУ-Варна (Катедра „ЕТМ“ и Лабораторията по приложна обработка на цифрови сигнали) и University of Hertfordshire (School of Engineering and Technology), UK.

Методи на изследване: За решаването на разглежданите задачи са използвани математически методи за обработка на ЕЕГ сигнали и създаване на модели за машинно обучение

и класификация на данни. При подготвянето и провеждането на експерименталните изследвания са използвани софтуерните продукти MatLab и Weka.

Научна и практическа новост: Създаден е нов описател, който отчита време-пространствените зависимости между ЕЕГ каналите и подобрява точността при автоматизираното разпознаване на негативни емоционални състояния от ЕЕГ сигнали.

Апробация на резултатите: Резултатите от изследванията от дисертационният труд са представени в 8 публикации, от които 4 са включени в научни списания, 3 са представени на международни научни конференции и 1 е представена на научен симпозиум. Две от тези публикации са реферирани в SCOPUS.

Структура и обем на дисертацията: Представената дисертация е съставена от 4 глави с общ обем 114 страници. В труда са включени 47 илюстрации (25 фигури и 22 таблици). Общият брой използвани литературни източници е 120.

Съдържание

Глава 1

В първа глава са разгледани историческите корени на изследването на мозъчната активност и емоционалните състояния. Обсъдени са основните специфики на автоматизираната класификация на негативни емоционални състояния и е представен литературен анализ на най-актуалните, широко използвани и утвърдени описатели на ЕЕГ сигнали.

Глава 2

Основният акцент в Глава 2 е въвеждането на кратковременната енергия на ЕЕГ сигналите като нов описател за разпознаване на негативни емоционални състояния. Първоначално се изследва точността на кратковременната енергия при самостоятелното ѝ използване и при комбинирането ѝ с шест допълнителни описатели, след което се изследва индивидуалното представяне на всеки един описател от разширен набор от десет описатели. В заключение са представени резултати от изследване значимостта на описателите и се оценява корелацията им спрямо проявлението на негативните емоционални състояния.

Секция 2.1: Кратковременна енергия на ЕЕГ сигнали като описател при разпознаване на негативни емоционални състояния

За изчисляването на описателите сигнала от всеки ЕЕГ канал се разделя на равни по дължина сегменти, посредством правоъгълна прозоречна функция, след което се изчислява енергията E_p на сигнала за всеки сегмент:

$$E_p = \sum_{k=1}^K \hat{x}(k)^2, p = 1, 2, \dots, P. \quad (2.1)$$

В резултат за един ЕЕГ запис се генерират 32 вектора с описатели, като стойностите на получените описатели се нормализират до нулева средна стойност и единично стандартно отклонение.

За оценка на приложимостта на кратковременната енергия на ЕЕГ сигнала са използвани ЕЕГ записи от десет участника от базата данни DEAP. Записите на всеки един участник се разделят в две категории – *негативни* и *други* – в зависимост от предоставените анотации по критерия „*харесване*“. След първоначалното разпределение на данните, всяка от двете получени групи се разделя допълнително на три подгрупи – *обучаващи*, *развойни* и *тестови данни*. В групата *обучаващи данни* се включват ЕЕГ записи, които се използват за обучението на SVM модели. В групата *развойни данни* се включват записи, използвани за първоначално тестване и изчисляване получените класификатори. Записите в групата *тестови данни* се използват за оценка на точността на класификация.

За оценката на описателите е създадена автоматизирана система за класификация на негативни емоционални състояния. При първата фаза от оценката на изчислените описатели се изготвят SVM модели за класификация. След обучаването на моделите се пристъпва към определяне на праговата стойност на класификатора. При последната стъпка от процеса на класификация тестовите данни и изчислената прагова стойност се използват за финална оценка на изготвените класификатори.

Следвайки описания експериментален протокол е проведена оценка на описателните свойства на кратковременната енергия на сигналите. Средната точност за десетте участника е 62%, като най-ниска е точност е 54.5% за участник №22, а най-високата – 73.9% за участник №30.



Фигура 2.1: Точност, постигната при използването на кратко-временната енергия на ЕЕГ сигнали като описател на негативни емоционални състояния за 10 участника от базата данни DEAP.

От получените резултати може да заключим, че въпреки сравнително ниската средна точност от 62% предложеният описател кратковременна енергия на ЕЕГ сигнала може да бъде използван успешно при класификацията на негативни емоционални състояния.

Секция 2.2: Изследване на класификационните свойства на комбинации от статистически описатели

ЕЕГ сигналите се разделят на сегменти посредством прозоречна функция с фиксирана дължина. След сегментирането на сигнала, получените прозорци се използват за изчисляване на седем статистически описатели:

- 1) Кратковременна енергия на сигнала (2.1).
- 2) Средна стойност на сигнала

$$\mu_p = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x(k), \quad p = 1, 2, \dots, P. \quad (2.2)$$

- 3) Стандартно отклонение на сигнала

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\hat{x}(k) - \mu_p)^2}, \quad p = 1, 2, \dots, P. \quad (2.3)$$

- 4) Средна стойност на модула на първата разлика на отчетите на оригинални сигнал

$$\delta_p = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^{K-1} |\hat{x}(k+1) - \hat{x}(k)|, p=1, 2, \dots, P. \quad (2.4)$$

- 5) Средна стойност на модула на първата разлика на отчетите нормализирания сигнал

$$\tilde{\delta}_p = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^{K-1} |\tilde{x}(k+1) - \tilde{x}(k)| = \frac{\delta_p}{\sigma_p}, p=1, 2, \dots, P. \quad (2.5)$$

- 6) Средна стойност на модула на втората разлика на отчетите на оригиналния сигнал

$$\gamma_p = \frac{1}{K-2} \sum_{k=1}^{K-2} |\hat{x}(k+2) - \hat{x}(k)|, p=1, 2, \dots, P. \quad (2.6)$$

- 7) Средна стойност на модула на втората разлика на нормализирания сигнал

$$\tilde{\gamma}_p = \frac{1}{K-2} \sum_{k=1}^{K-2} |\tilde{x}(k+2) - \tilde{x}(k)| = \frac{\gamma_p}{\sigma_p}, p=1, 2, \dots, P. \quad (2.7)$$

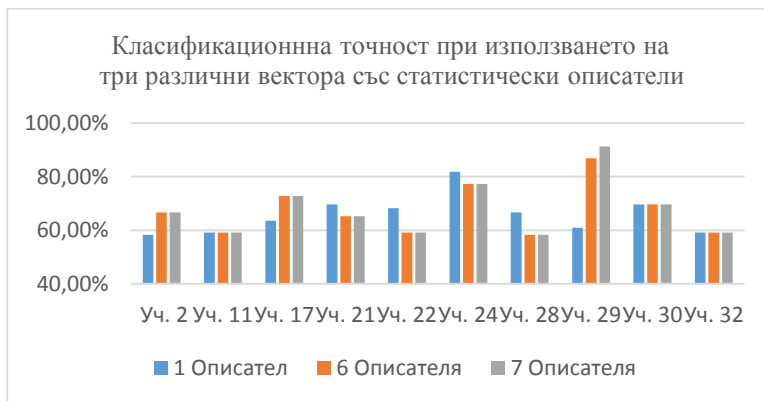
Изчислените описатели се подлагат на статистическа нормализация, след което се групират във вектори, използвани за обучение и оценка на персоналните SVM класификатори.

Извлечените описатели формират три групи вектори:

- (1) $\{E_p\}$.
- (2) $\{\mu_p, \sigma_p, \delta_p, \tilde{\delta}_p, \gamma_p, \tilde{\gamma}_p\}$
- (3) $\{\mu_p, \sigma_p, \delta_p, \tilde{\delta}_p, \gamma_p, \tilde{\gamma}_p, E_p\}$.

Крайният размер на данните във всяка група варира в зависимост от броя използвани описатели. Експерименталната постановка, използвана за оценката на трите групи описатели е идентична на представената в Секция 2.1 на

настоящата глава, с разликата, че се прилага допълнителна настройка на параметрите на SVM класификаторите за всеки участник и се използва различно групиране на експерименталните данни.



Фигура 2.2: Точност, постигната при използването на три отделни вектора с описатели за 10 участника от базата данни DEAP

Проведен е сравнителен анализ на трите комбинации от описатели. Разликата между средната точност за набора от седем статистически описатели (67.8%) и самостоятелното използване на кратковременната енергия (65.7%) е 2.1%, а разликата на средната точност между комплектите от шест (67.4%) и седем описатели е 0.4%. Анализа на резултатите показва, че използването на комбинация на множество различни описатели, в по-голямата си част, не води до значително подобряване в точността на класификация.

Секция 2.3 :Сравнителен анализ на индивидуалните свойства на набор от десет описатели на ЕЕГ сигнали, изчислени от времевата област

За извличането на избраните статистически описатели, използваните ЕЕГ сигнали се подлагат на сегментация посредством прозоречна функция с фиксирана дължина. От

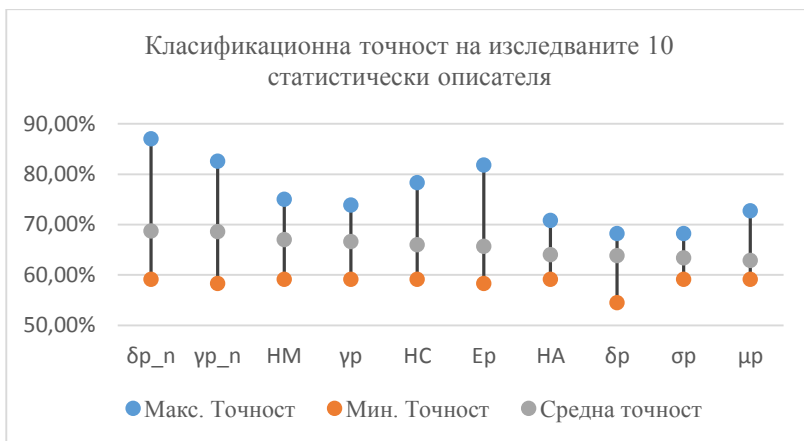
получените сегменти на ЕЕГ сигнала се изчисляват следните десет статистически описатели:

- Кратковременна енергия на сигнала;
- Средна стойност на сигнала;
- Стандартно отклонение на сигнала;
- Средна стойност на модула на първата разлика на отчетите на оригиналния сигнал;
- Средна стойност на модула на първата разлика на отчетите на нормализирания сигнал;
- Средна стойност на модула на втората разлика на отчетите на оригиналния сигнал;
- Средна стойност на модула на втората разлика на отчетите на нормализирания сигнал;
- Активност на Хьорт;
- Мобилност на Хьорт;
- Комплексност на Хьорт;

Изчислените описатели се подлагат на статистическа нормализация и се използват за съставянето на вектори с описатели. Всеки вектор съдържа само един от изчислените описатели, като за всеки участник включен в експеримента се създават 10 комплекта от данни.

Посредством съществуващия експериментален протокол, използван в Секция 2.2, е проведен сравнителен анализ на индивидуалните качества на разглежданите описатели. Описателите *средна стойност на модула на първата и втората разлика на отчетите на нормализирания сигнал* показват най-добри класификационни резултати – 68.7% и 68.6%. Най-ниска точност е получена при използването на описател *средна стойност на сигнала* – 62.9%.

Анализа на получената средна точност показва, че по-комплексните описатели демонстрират по-високи резултати.



Фигура 2.3: Максимална, минимална и средна точност, постигната от всеки един от десетте статистически описатели

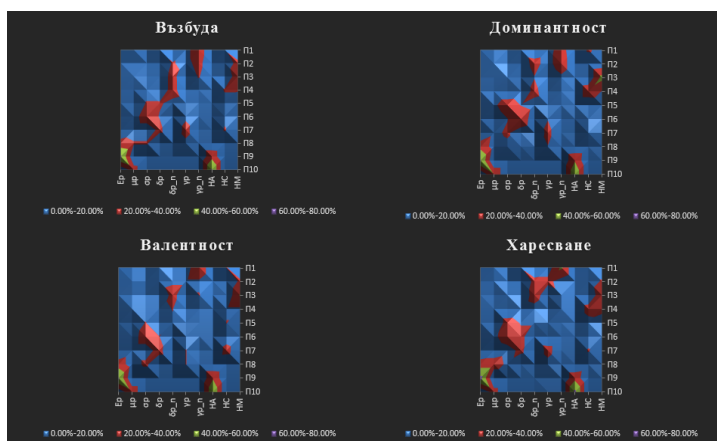
Секция 2.4: Оценка на индивидуалната значимост на статистически описатели на ЕЕГ сигнали, изчислени във времевата област

В изследването се оценява се значимостта на отделните описатели на ЕЕГ сигналите в зависимост от критериите, дефиниращи състоянията на афект. Използват се десетте описатели разгледани в Секция 2.3 на настоящата глава.

В представената експериментална постановка се използват ЕЕГ сигнали от базата данни DEAP. Изследването включва всички ЕЕГ записи, предоставени в базата, като отпадат единствено участниците при които след разпределението на записите един от двата класа съдържа по-малко от 20% от общия брой данни. Данните на участниците се разделят на две групи – „негативни“ и „други“. Разделянето се извършва на базата на критериите за оценка на стимулите „възбуда“, „доминантност“, „валентност“ и „харесване“.

Процеса по оценка на значимостта на описателите може да бъде разделен на три етапа. При първият етап записите

на всеки участник се използват за изчисляване на избраните статистически описатели, след което за определянето на значимостта на описателите се използва алгоритъма ReliefFAttributeEval. При последната стъпка се оценява се корелацията на всеки описател спрямо изследваните класове и се генерира списък в който описателите са класирани по значимост в низходящ ред.



Фигура 2.4: Класиране на значимостта на десет статистически описателя при разпределение на данните по критерий А) Възбуда Б) Валентност В) Доминантност и Д) Харесване

Сравнението между описателите е извършено на база процент от случаите при които заемат дадена позиция в класирането за различните участници. От представените резултати се обобщава, че описателят с най-високо ниво на корелация спрямо емоционалните състояния в ЕЕГ сигнали е *модула на средната стойност на втората на разлика на нормализирания сигнал*. В допълнение може да се отбележи, че статистическите описатели от по-висок ред имат по-голяма статистическа значимост в сравнение с по-простите описатели, изчислявани от времевата област.

Глава 3: Описатели на ЕЕГ сигнали, изчислени в честотната област

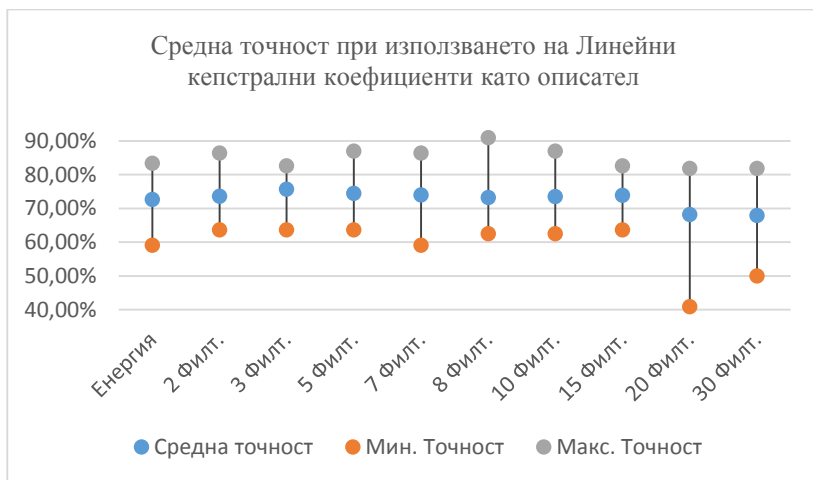
Изследванията, представени в настоящата глава са насочени към изучаване на описатели на ЕЕГ сигнали, изчислени в честотната област. Представени са резултати от изследване на свойствата на линейните кепстрални коефициенти и логаритмичната енергия на спектъра на сигнала. Изследвани са различни методи за обработка на ЕЕГ сигнали и извличане на ЕЕГ описателите.

Секция 3.1: Изследване на свойствата на линейните кепстрални коефициенти при класификация на негативни емоционални състояния от ЕЕГ сигнали

За изчисляването на описателите се използва прозорец, посредством който ЕЕГ сигнала се разделя на отрязъци с фиксирана дължина. Върху всеки генериран отрязък се прилага кратковременно дискретно преобразуване на Фурие (stDFT). Посредством преобразуването на Фурие се калкулира честотния спектър на кратковременните ЕЕГ фрагменти. Върху получените спектри се прилага банка филтри, съдържаща i на брой триъгълни прозоречни функции с 50% припокриване между два съседни прозореца. На базата на получените стойности след филтрацията се изчисляват линейните кепстрални коефициенти (Linear frequency cepstral coefficients – LFCC) на ЕЕГ прозорците. За целта филтрираните спектри се декорелират посредством прилагането на дискретно косинусово преобразуване (Discrete cosine transform – DCT):

$$LFCC(r) = \sum_{i=1}^M S_i \cos\left(\frac{r(i-0.5)\pi}{B}\right), r = 0, 1, \dots, R-1 \quad (3.1)$$

Оценката на линейните кепстрални коефициенти е извършена използвайки експерименталният протокол, разгледан в Секция 2.2. Проведено е изследване на линейните кепстрални коефициенти, изчислени посредством 9 различни комплекта от банки с филтри, съдържащи съответно 2, 3, 5, 7, 8, 10, 15, 20 и 30 филтъра..



Фигура 3.1: Точност при откриване на негативни емоционални състояния, при използване на линейни кепстрални коефициенти изчислени от EEG сигнали

От представените резултати се вижда, че линейните кепстрални коефициенти предоставят сравнително висока точност на класификация – до 75.7% средна точност при използването на 3 филтъра. Най-ниският среден резултат е получен при използването на банки съдържащи 30 филтъра – 67.9%. Максималната получена класификационна точност е 90.9%, а минималната – 40.9%. В заключение може да се обобщи, че кепстралните коефициенти могат да бъдат използвани успешно в задачи насочени към класификацията на негативни емоционални състояния.

Секция 3.2: Изследване на методи за предварителна обработка на ЕЕГ сигнали при изчисляването на линейните кепстрални коефициенти

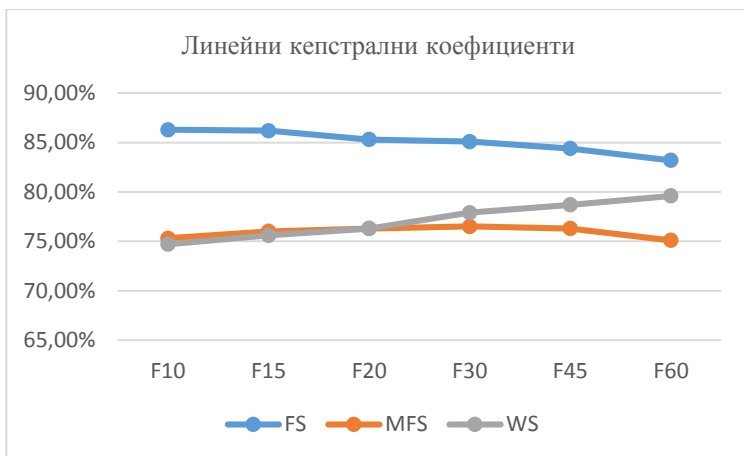
В настоящата секция са разгледани са три подхода за изчисляване на описатели от честотната област на ЕЕГ сигнали:

- Разделяне на сигнала на сегменти посредством прозорец с фиксирана дължина. Описателите се изчисляват от всеки сегмент.
- Осредняване на получените сегменти. Избраните описатели се изчисляват от честотния спектър на осреднените сегменти.
- Дискретното преобразуване на Фурие се прилага директно спрямо целия записан сигнал. По този начин, описателите се изчисляват от спектрите получени за целия запис.

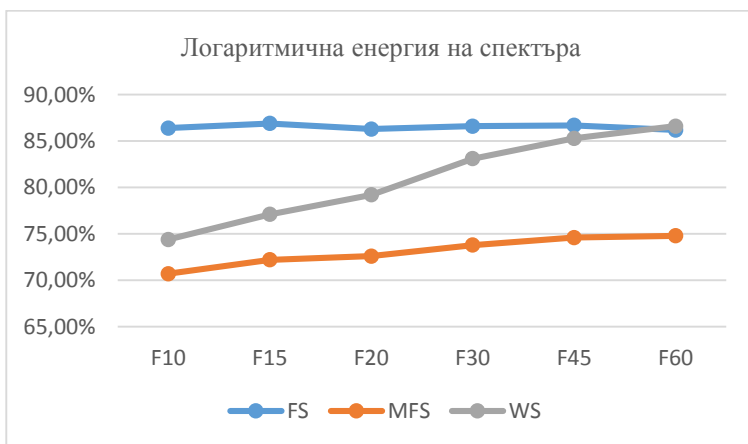
И при трите метода изчислението на описателите се извършва на принципа, разгледан в Секция 3.1.

При оценката на свойствата на изчислените описатели се използват ЕЕГ записи от базата данни DEAP. Данните се разделят на две групи в зависимост от оценката по критерия „харесване“, поставена от участниците, като се използват данните на всички участници от базата данни, при които, след разпределението на записите, всеки от двата класа съдържа не по-малко от 20% от общия обем ЕЕГ данни. За оценяването на описателите се използва дърво на решенията C4.5.

Представеното изследване бе проведено върху два набора от описатели – *линейните кепстрални коефициенти* и *логаритмична енергия на спектъра на сигнала*. При всеки от експериментите описателите се изчисляват използвайки шест банки със филтри, като всяка банка съдържа съответно 10, 15, 20, 30, 45 и 60 филтъра.



Фигура 3.2: Средна точност при класификация с използването на линейни кепстрални коефициенти за разпознаване на негативни емоционални състояния от EEG сигнали.



Фигура 3.3: Средна точност на класификация при използването на логаритмична енергия на спектъра при разпознаване на негативни емоционални състояния от EEG сигнали.

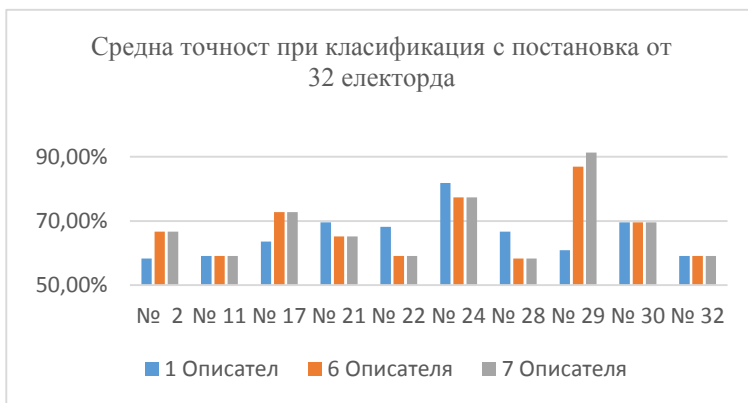
Глава 4: Описатели отчитащи време-пространствените зависимости в многоканални ЕЕГ сигнали

Изследванията, представени в настоящата глава са фокусирани върху изучаването на пространствените зависимости между ЕЕГ сигналите и създаването на описатели които да отчитат такива пространствени корелации. Разгледани са резултатите от експериментално изследване на влиянието на броя на използваните ЕЕГ електроди при класификацията на негативни емоционални състояния. Предложени е нов ЕЕГ описател, представящ декорелираната енергия на време-пространственото разпределение на ЕЕГ активността, и е изследвана приложимостта му за разпознаване на негативни емоционални състояния.

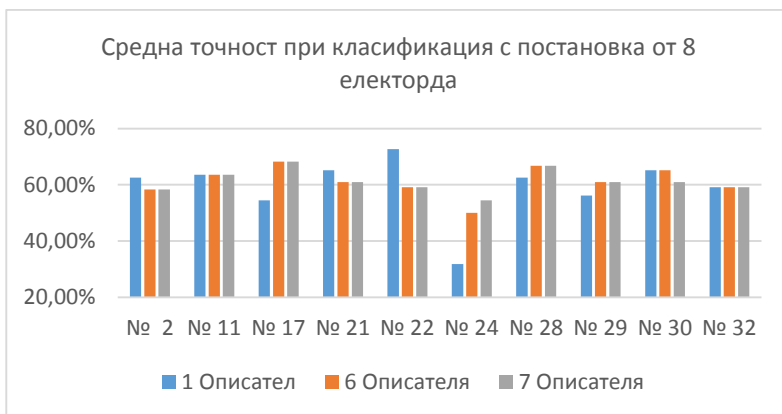
Секция 4.1: Изследване на пространствени зависимости на статистическите описатели на ЕЕГ сигнали, изчислени във времевата област

В изследването е използвана експериментална постановка идентична с тази, използвана в Секция 2.2.

Изчисляват се десет статистически описатели, като получените резултати се нормализират. Използвайки описателите за всеки от десетте участника, включени в експеримента, се съставят два комплекта от данни. Първият комплект съдържа масиви от данни, включващи вектори от описатели за всички 32 канала на ЕЕГ записи. Вторият комплект съдържа масиви от данни, включващи вектори от описатели изчислени единствено за селектираните 8 канала. Проведено е изследване върху шест комплекта от данни за всеки участник – в зависимост от броя канали и броя описатели във всеки вектор с описатели.



Фигура 4.1: Средна точност на класификация при използването на постановка с 32 електрода при класификация с 1, 6 и 7 статистически описатели.



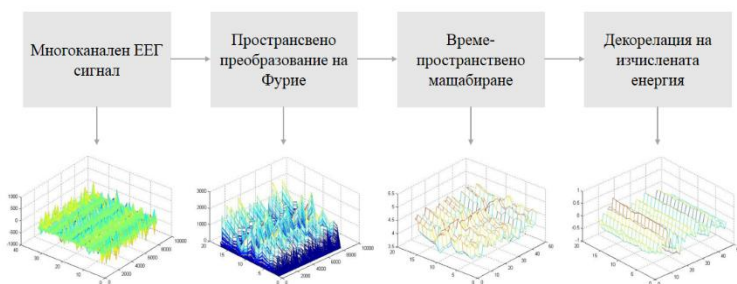
Фигура 4.2: Средна точност на класификация при използването на постановка с 8 електрода при класификация с 1, 6 и 7 статистически описатели.

В заключение може да се отбележи, че редуцирането на броя използвани ЕЕГ канали може да има негативен ефект върху точността на класификация, при разпознаването на негативни емоционални състояния.

Секция 4.2: Нов тип описател на ЕЕГ сигнали, базиран на пространствено-времените зависимости между ЕЕГ каналите

Процесът по извличане на предложеният нов описател - *декорелирана енергия на време-пространственото разпределение на ЕЕГ активността* - се състои в следните четири стъпки:

- Филтрация и предварителна обработка на ЕЕГ сигнала;
- Пространствено преобразуване на Фурие;
- Време-пространствено мащабиране на сигнала;
- Декорелация на получената време-пространствена енергия;



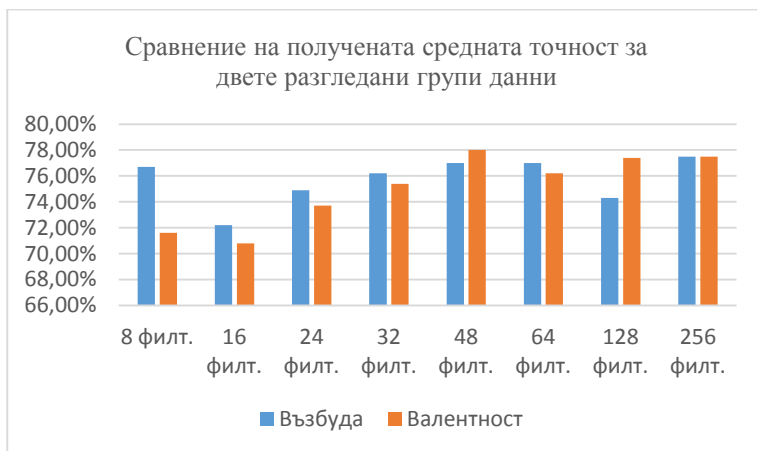
Фигура 4.3: Блокова схема на процеса на извличане на време-пространствените ЕЕГ описатели

Първата стъпка при извличането на описателите е преобразуването на стандартен многоканален ЕЕГ сигнал във време-пространствено представяне на оригиналния сигнал. Това се постига, като кратковременното преобразуване на Фурие се прилага върху данните, снети от всички канали в един период на дискретизация. Като втора стъпка, получената спектрограма се мащабира посредством набор

от припокриващи се триъгълни прозоречни функции. Използвайки получените сегменти изчисляваме логаритмичната енергия на пространствената активност за избраният период от ЕЕГ сигнала. Като последна стъпка върху получената репрезентация на ЕЕГ сигнала се прилага дискретно косинусово преобразуване. По този начин енергията, изчислена за всеки времеви прозорец се декорелира и получаваме декорелираните време-пространствени коефициенти (*Decorrelated Spatio-Temporal Coefficients - DSTC*)

Класификацията на ЕЕГ записите се извършва използвайки автоматизирана система за класификация на негативни емоционални състояния, обсъдена в Секция 2.2.

При оценката на описателите се използват ЕЕГ записи, взети от базата данни DEAP, като са проведени два експеримента. При първият разделението на данните е извършено на база на предоставеният рейтинг *харесване*, а при вторият - по скала *валентност*.



Фигура 4.4: Средна точност на класификация при разделяне на данните по критерий „Възбуда“ и „Валентност“

Експериментална оценка. е извършена отделно за всеки участник, използвайки различен брой прозоречни функции: 8, 16, 24, 32, 48, 64, 128 и 256.

В заключение може да се отбележи, че предложеният описател - *декорелирана енергия на време-пространственото разпределение на ЕЕГ активността* – демонстрира висока класификационна точност, съпоставима с утвърдени описатели, използвани в областта, и може да бъде използван при решаването на задачи свързани с класификацията на негативни емоционални състояния.

Заклучение

В представения дисертационен труд са разгледани свойствата и особеностите на разнородни описатели на негативни емоционални състояния в ЕЕГ сигнали. Представени са разработки, насочени към създаването на нови описатели, като са изследвани особеностите при изчисляването и използването им и са проведени експериментални оценки на свойствата им. Предложените описатели са съпоставени с утвърдени и широко използвани описатели, като експериментално е доказано, че предложените описатели са съпоставими и сравними с тези, които вече намират приложение в областта. В допълнение са изследвани методи за оптимизация на процеса на автоматизирана класификация на негативни емоционални състояния, като в частност е изследван ефекта от използването на редуциран набор от ЕЕГ канали и са предложени методи за обработка на ЕЕГ сигнали при калкулирането на описатели.

Бъдещите разработки в областта ще са насочени към по-задълбоченото изследване на взаимодействието на различни групи от описатели, методите за подобряване на бързодействието на класификационните системи и редукцията на размерността на изчисляваните описатели и въздействието на пространствените влияния при класификацията на емоционални състояния.

Приноси в дисертационния труд

Научни приноси

1. Предложен е нов метод за обработка на ЕЕГ сигнали при изчислението на описатели от класа на кепстралните коефициенти – осредняване на кратковременни сегменти и директно изчисление от цял ЕЕГ запис. Изследвани са три метода за изчисление на описатели от честотната област на ЕЕГ сигналите с цел оптимизация на броя генерирани описатели;
2. Предложен е нов описател на многоканални ЕЕГ сигнали, изразяващ декорелирана енергия на време-пространственото разпределение на ЕЕГ активността, и метод за изчисляването му. Този описател подпомага откриването на негативни емоционални състояния от многоканални ЕЕГ записи; Извършена е експериментална оценка на полезността на декорелирана енергия на време-пространственото разпределение на ЕЕГ активността за откриване на негативни емоционални състояния;

Научно-приложни приноси

1. Предлага се използването на кратковременната енергия в многоканални ЕЕГ сигнали, като описател на негативни емоционални състояния; Изследвани са свойствата и индивидуалната значимост на предложения описател;
2. Извършен е сравнителен анализ при съпоставянето и комбинирането на кратковременна енергия на ЕЕГ сигнала с набор широко използвани в областта описатели;

3. Изследвани са свойствата на линейните кепстрални коефициенти при класификацията на негативни емоционални състояния от ЕЕГ сигнали; Извършен е сравнителен анализ на качествата на линейните кепстрални коефициенти и логаритмичната спектрална енергия на сигналите при класификацията на негативни емоционални състояния ;
4. Изследвано е влиянието на броя ЕЕГ електроди върху точността на откриване на негативни емоционални състояния;

Публикации по дисертационният труд

- [1] Feradov, F., Ganchev, T., “*Detection of Negative Emotional States from Electroencephalographic (EEG) signals.*” Annual Journal of Electronics 8: pp. 66-69, 2014.
- [2] Feradov, F., Ganchev, T., “*Detection of Negative Emotions from EEG Signals using Time-Domain features.*”, Proc. of the International Scientific Conference UNITECH-2014, Gabrovo, vol. 1, pp. 315-320, 2014.
- [3] Feradov, F., Ganchev, T., “*Ranking of EEG time-domain features on the negative emotions recognition task*”, Annual journal of Electronics, Volume 9, ISSN 1314-0078, Sofia 2015, pp 26-29
- [4] Feradov, F., Ganchev, T., “*Ranking of statistical features of negative emotional states from EEG signals*”, Proceedings of Biomedical data acquisition and applications workshop, Varna, 13-14 October 2017, pp 20-23
- [5] Feradov, F., „*Study of the quality of linear frequency cepstral coefficients for automated recognition of negative emotional states*”, Scientific Works of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv, Series G, Medicine, Pharmacy and Dental medicine, Vol. XIX, ISSN 1311-9427 Medicine and Dental medicine June 2016, pp. 169-172
- [6] Feradov, F., Mporas, I., Ganchev, T., „*Evaluation of Cepstral Coefficients as Features in EEG-based Recognition of Emotional States*“, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 679, pp. 504-511, 2018, Springer, ISSN: 2194-5357
- [7] Feradov, F., Ganchev, T. “*Evaluation of Electrode Setups for EEG-Based Automated Emotion Detector*”, Proc. Of Technical University – Varna, 2014, pp. 59-64
- [8] Feradov F., Ganchev T. „*Spatio-temporal EEG signal descriptors for recognition of negative emotional states*“ InScientific Conference Electronics (ET), International 2016 Sep 12 (pp. 1-4). IEEE.