

# **ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА**

Мирослав Весков Марков

## **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ИНТЕРФЕЙСИ ЧОВЕК-МАШИНА**

### **А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

на дисертация за получаване на образователната и  
научна степен „ДОКТОР”

по докторска програма: „Компютърни системи, комплекси и мрежи“

към професионално направление : 5.3 „Комуникационна и компютърна  
техника“

Научен ръководител: проф. д-р инж. Тодор Димитров Ганчев

Рецензенти:

- 1.
- 2.

Варна, 2023 г.

**Дисертационният труд е обсъден на.....в катедра „КНТ“ на катедрен съвет, съгласно заповед на Ректора на ТУ-Варна № .... /..... г. и насочен за защита.**

**Автор:** Мирослав Весков Марков

**Заглавие:** Изследване на възможностите за усъвършенстване на интелигентни интерфейси човек-машина

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА**

**Мирослав Весков Марков**

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА  
УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ  
ИНТЕРФЕЙСИ ЧОВЕК-МАШИНА**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

**на дисертация за получаване на образователната и  
научна степен „ДОКТОР”**

**Варна, 2023 г.**

Дисертационният труд съдържа 136 страници, включително 37 фигури, 8 таблици, оформени в 4 глави, приноси на дисертационния труд, списък с публикациите на автора по темата на дисертационния труд, списък на проекти, и свързани с дисертационния труд, списък на съкращенията и списък на използваната литература от 140 заглавия 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 интересуващите се в Докторантски център, стая 318 НУК.

# ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## 1. Актуалност на проблема

Интелигентните интерфейси човек-машина (НМИ) във всичките им разновидности са обект на засилен интерес през последните години. Започвайки от системи, базирани на взаимодействие човек-компютър (НСИ), обхващащи също и комуникацията с всякакъв вид мобилни устройства, през кооперативни и колаборативни системи, базирани на взаимодействие между човек и робот (HRI) и достигайки до системи с участието на автономни автомобили, безпилотни летателни апарати и др., областта на интелигентните интерфейси се развива със скорост, която доскоро изглеждаше немислима, обединявайки постиженията в компютърните науки в т.ч. изкуствения интелект и машинното обучение с постиженията в области като невробиология, когнитивна психология, поведенческа медицина и т.н. Редица постижения в области като обработката на естествен език, компютърното зрение и др. доведоха до възникване и усъвършенстване на интелигентни НМИ интерфейси, способни да разпознават и „разбират“ човешкия говор и невербално поведение, както и да реагират в съответствие с контекста на самото взаимодействие

## 2. Цел и задачи на изследването

Основната цел на дисертационния труд е създаване на концептуална архитектурна рамка за проектиране и реализация на интелигентни интерфейси човек-машина.

За реализирането на поставената цел е необходимо изпълнението на следните основни задачи:

- Да се извърши систематичен анализ на компонентите в традиционните НМИ системи и функционалните връзки между тях;
- Да се разработи унифицирана карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина;
- Да се разработи концептуална архитектура на интелигентна система човек-машина в специфична област на приложение;
- Да се разработи метод за оценка на когнитивното състояние на човек;
- Да се създаде концептуална архитектура на интелигентна система човек-машина в контекста на изпълнение на колаборативна задача;
- Да се разработят методики за адаптацията на машината по отношение на параметрите на колаборативната задача и по отношение състоянието на човека;
- Да се валидира предложената концептуална рамка чрез експериментални изследвания и анализи;
- Да бъдат създадени ресурси за изследвания и анализ на взаимодействието човек-машина;

## 3. Обект и предмет на изследване

**Обект** на настоящата дисертация е изследването на методи и средства за проектиране и реализация на интелигентни интерфейси човек-машина.

**Предмет** на изследване в дисертационния труд е оценка на съществуващите НМИ системи, анализ на техните компоненти и функционалните връзки между тях, с цел

разработване на унифицирана рамка за проектиране на интелигентни интерфейси човек-машина, базирана на оценка на когнитивното състояние на човек и използваща методики за адаптация на машината по отношение на параметрите на колаборативната задача и по отношение състоянието на човека.

#### **4. Методи на изследване**

Дисертационният труд се базира на последователното и поетапно приложение на различни методи и алгоритми за целенасочена обработка на данни, както следва:

- Методи и средства за реализация на входни модалности
- Методи и средства за реализация на функционалности за вземане на решения
- Методи и средства за реализация на адаптивни стратегии чрез различни изходни модалности
- Предварителна обработка на физиологични сигнали посредством методите на филтриране и сегментиране.
- Методи за определяне на характеристични описатели.
- Използване на алгоритмите и методите на машинното обучение за автоматизирано разпознаване на емоционално и когнитивно състояние на човек
- Методи за агрегиран и индивидуален анализ на данни

#### **5. Място на изследване**

Изследванията и обработката на базите данни са проведени в лабораторията по „Искусствен интелект“ при ТУ – Варна.

#### **6. Научна новост на изследването**

Създадена е концептуална рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси човек – машина (iHMIfr). Създадена е карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина, базирани на концептуалната рамка iHMIfr, като инструмент за нейното прилагане. Разработена концептуална архитектура на мултимодална афективна тюторна система (mATS), базирана на концептуалната рамка iHMIfr. Разработен модел за разпознаване на когнитивно натоварване при решаване на задачи с различна степен на сложност. Валидирана е концептуалната архитектурна рамка за проектиране на интелигентни интерфейси iHMIfr чрез проект и реализация на адаптивна система “човек-машина“ базирана на параметрите на задачата в т.ч. успеваемостта на човека. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към индивидуалната успеваемост на всеки човек. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към текущото емоционално и когнитивно състояние на човека

Разработени алгоритми за определяне на зависимостта между възбуда и кумулативна успеваемост в два сценария: обобщен и индивидуален; Разработен модел за машинно обучение за разпознаване на атипични състояния (в т.ч. водеща лява ръка на човек), на база внимание и емоционална възбуда;

#### **7. Практическа ценност на изследването**

Настоящият дисертационен труд изследва, доразвива и обобщава постиженията в областта на интелигентните интерфейси човек-машина, както и технологиите свързани с тях, и формулира рамка за развитието на тези интерфейси, като основа на бъдещите интелигентни системи.

Практическата приложимост на получените от изследванията резултати са:

- Създадено е програмно осигуряване реализиращо предложените методи.

- Проведени са експериментални изследвания за определяне на оптималните параметри на моделите.
- Проведени са числови симулации за оценка работоспособността на предложените методи.
- Създадени ресурси чрез експериментални изследвания - база данни, свързана с емоционални и когнитивни състояния при изпълнение на колаборативна задача;

## **8. Аprobация на изследването**

Основните етапи от разработването на теоретични и приложни резултати на дисертационния труд са докладвани и публикувани в следните научни форуми и издания:

### **Конференции:**

- 1 доклад на 29th National Conference with International Participation (TELECOM) 2021, Oct. 28-29, 2021, Sofia, Bulgaria, **Scopus**;
- 1 доклад на International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), 23- 25 November, 2022, Veliko Turnovo, Bulgaria, **Scopus**;

### **Списания:**

- 1 статия в международно списание със свободен достъп International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, (<https://iraj.doionline.org/dx/IJEEDC-IRAJ-DOIONLINE-19066>)
- 1 статия в международно списание със свободен достъп Journal of Advances in Electronics and Computer Science (<https://iraj.doionline.org/dx/IJAECs-IRAJ-DOIONLINE-19057>)
- 1 статия в Списание КНТ при ТУ-Варна, Година XX, Брой 1/2022, стр. 51-58

## **9. Публикации по дисертационния труд**

Основните етапи от разработването на дисертационния труд са отразени в 5 публикации, списък на които е приложен в края на автореферата.

## **СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **ГЛАВА I. ОБЗОР И АНАЛИЗ НА СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАЩИ ИНТЕЛИГЕНТНИ ИНТЕРФЕЙСИ ЧОВЕК-МАШИНА**

В настоящата глава на дисертационния труд се разглежда състоянието и достиженията в съвременните системи, базирани на интелигентни интерфейси човек-машина, както и методите и средствата, използвани при тяхната реализация. С цел осигуряване на последователност и методичност на изложението, най-напред се предлага анализ на текущото състояние и актуалността на тематиката. В продължение на анализа се разглеждат методите и средствата, използвани при реализация на такива системи, като тези методи и средства са групирани в съответствие с класическата концепция за агентите на Питър Норвиг и Стюарт Ръсел. Направен е обстоен обзор и анализ на технологиите, използвани до момента при проектиране и разработка на интелигентни интерфейси човек-машина. Технологиите са тематично разделени по групи, започвайки от такива, осигуряващи сензитивност на системата, през технологиите за вземане на решение и стигайки до технологиите, осигуряващи адаптивно действие на системата по отношение на човека чрез различни канали за комуникация.

## ГЛАВА II. КОНЦЕПТУАЛНА РАМКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ И СЪЗДАВАНЕ НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ИНТЕРФЕЙСИ, ЧОВЕК-МАШИНА

Изложението в глава 2 разглежда основните изисквания за осигуряване на адаптивни интерфейси, създаващи усещането за интелигентност, достатъчна за обезпечаване на една ефективна колаборация, при която се отчитат особеностите и моментното състояние на индивида. Подробно е представена концептуалната архитектурна рамка за проектиране на интелигентни интерфейси, целяща постигане на ефективен, унифициран подход при реализация на адаптивни системи с широка сфера на приложение. Рамката допринася към постигане на ефективност при взаимодействието човек – машина по няколко начина.

### 2.1 Топология на концептуалната рамка за проектиране на интелигентни интерфейси човек – машина (iNMIfr)

Предложената рамка се основава на четиристойна архитектура, базирана върху следните слоеве:

- Слой за осигуряване на детекция и възприятия;
- Слой за интерпретация на входовете и мониторинг на състоянията;
- Слой за вземане на решения;
- Слой за осигуряване на адаптивно поведение.



Фиг 2.2. Основни блокове на концептуалната рамка iNMIfr

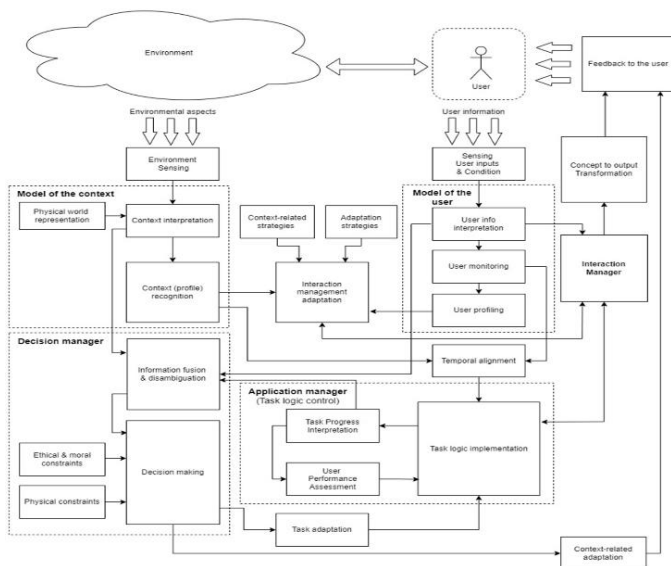
Концептуалната рамка iNMIfr се състои от четири основни блока, както е показано на Фиг. 2.2. Три от тях функционално отговарят на компонентите на триединството човек – машина – контекст, като представляват репрезентационни модели – базирани на интерпретация на входовете от страна на машината, по отношение на човек (модел на потребителя) и контекст (модел на контекста), и на състоянието на изпълняваната задача – чийто ход се следи детайлно и интерпретира от машината (мениджър на приложението). Четвъртият блок – мениджъра на решенията – обединява информацията от останалите три и отговаря за вземането на решенията относно формирането на адекватно поведение.

### 2.2 Компоненти и функционалност на iNMIfr

На фиг. 2.3. е представена архитектурата на концептуална рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси човек – машина (iNMIfr).



Мултимодалните възможности на системата по отношение на нейните входове са от решаващо значение за концепцията. Броят и видът на входовете (Sensing user inputs and conditions) може да бъде различен, в зависимост от естеството и обхвата на системата, но най-общо се състои от аудио-визуални сигнали, текст, сигнали от хаптични устройства и набор от физиологични сигнали, събирани предимно от преносими устройства. С оглед създаването на ефективни и надеждни модели за интерпретиране на входните данни, всички сигнали минават през процес на предварителна обработка, включващ филтриране, разделяне, групиране, сегментиране и др. Следва процес на извличане на описатели, базирани на различните сигнали. Чрез допълнителна обработка на данните и техники за оценка и редукция се осъществява избор на конкретни описатели, с които се обучават и тестват различни класификатори до постигане на работещи модели за детекция и оценка на различни състояния физиологични, когнитивни и т.н. (User info interpretation).



Фиг. 2.3. Концептуална рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси човек – машина (iHMIf)

За да бъде обаче репрезентационният модел на човека пълен, той трябва да е способен да предвижда отклонения от текущото поведение, както и да разпознава определени тенденции и трендове в него. За тази цел събирането и използването на исторически данни за текущите състояния (User monitoring) е решаващо.

Освен разпознаването, мониторинга и предвиждането на евентуални промени в човешкото състояние и в частност – състоянието на човешкия ум, системата трябва да е способна да се адаптира към тях. Профилирането на потребителите (User profiling) дава възможност за създаване и приложение на разумен (за конкретния тип система) брой

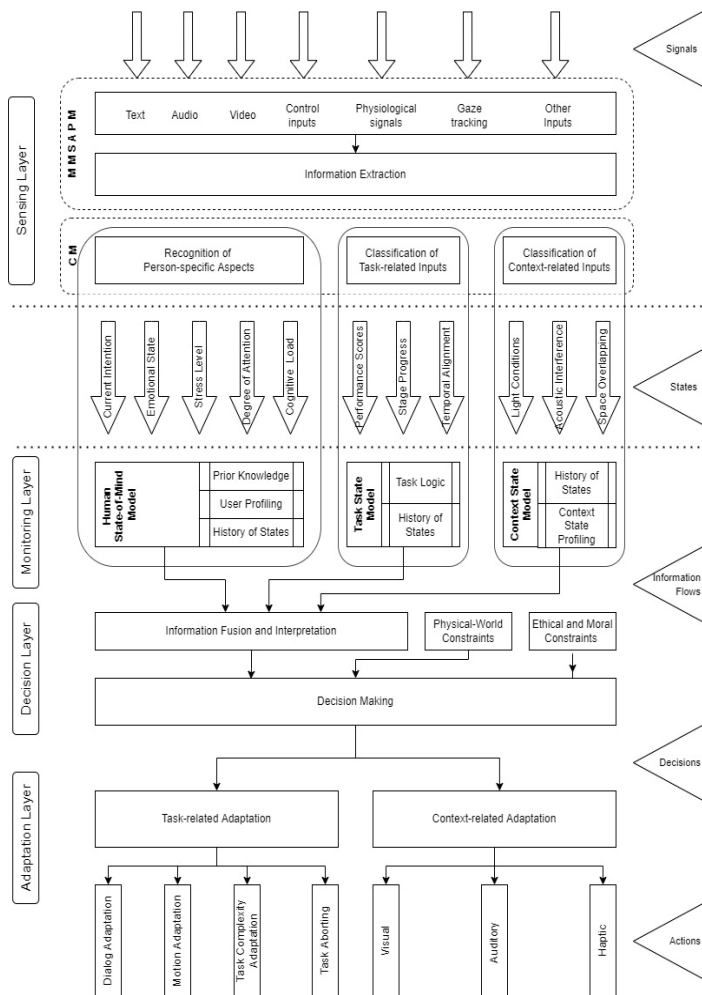
адаптивни стратегии, съответстващи на броя на създадените и разпознавани потребителски профили по отношение на текущото състояние на човек. Броят на тези потребителски профили ще зависи от начина на групиране на стойностите и тяхното категоризиране по вида на разпознаваните състояния. От страна на другия компонент в триединството – контекста – по подобен на модела на потребителя (Model of the user) начин се извличат сигнали (Environment sensing) от мултимодални сензори, които се интерпретират (Context interpretation) с оглед разпознаване и оценка на състоянието на обкръжаващата среда. Моделът на контекста (Model of the context) представлява репрезентация на заобикалящия колаборативното взаимодействие свят (Physical world representation). Използването на профили на контекста (Context profile recognition), подобно на потребителските профили на състоянията, дава възможност за разработка и прилагане на адекватни стратегии за адаптация към промените в заобикалящата среда.

Разпознатите профили от страна на модела на потребителя и от модела на контекста постъпват в модула за управление на адаптивността на комуникацията (Interaction management adaptation module), който адаптира поведението на Мениджъра на взаимодействието (Interaction/ communication manager) на база на предварително разработени стратегии по отношение състоянието на човека (Human-related strategies) и по отношение на контекста (Context-related strategies). Вследствие, Мениджъра на взаимодействието променя посоката на комуникацията в съответствие с избраната адаптивна стратегия.

Освен вече споменатият мениджър на взаимодействието, съществуват още два компонента на системата обозначени като мениджъри – мениджър на решенията и мениджър на приложението, които също са показани на Фиг.2.2. Мениджърът на решенията отговаря за вземането на адекватни решения от страна на машината. Модулът за имплементация на логиката на задачата (Task logic implementation module) е сърцевината на мениджъра на приложението. Той отразява спецификата и характерните особености на колаборацията. Без значение в коя област е приложението на системата – обучение, човешки ресурси, обслужване на клиенти, или др., цялата логика на процесите на взаимодействието е интегрирана в този модул, заедно с критериите за успех (ефективна колаборация) и управлението на времето. Мениджърът на взаимодействието генерира поведение от страна на машината, в съответствие с логиката на задачата, взетите решения и приложените адаптивни действия.

### **2.3 Хронология и карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина, базирани на концептуалната рамка iNMIfr.**

Картата на процесите при интелигентни интерфейси човек – машина (Фиг.2.5.) представлява хронологично представяне на съвкупност от процеси, илюстриращи динамиката в системи, базирани на концептуалната рамка iNMIfr. Тя е базирана на конкатенация на двата основни стълба, вградени в iNMIfr, а именно – триединството на взаимодействие „човек-машина-контекст“ и мултимодалния подход по отношение както на входовете, така и на изходите на системата, което предполага систематична разбивка и анализ на процесите, присъщи на всяка интелигентна система, базирана на iNMIfr.



Фиг. 2.5. Карта на процесите при интелигентни интерфейси човек – машина, базирани на концептуалната рамка iHMIf

### ГЛАВА III. МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА РЕАЛИЗАЦИЯ НА АФЕКТИВНА ТЮТОРНА СИСТЕМА

В Глава 3 се прилага концептуалната архитектурна рамка (iHMIf), за проектиране и реализация на интелигентни интерфейси човек-машина в специфична практико-приложна област, каквато е образованието.

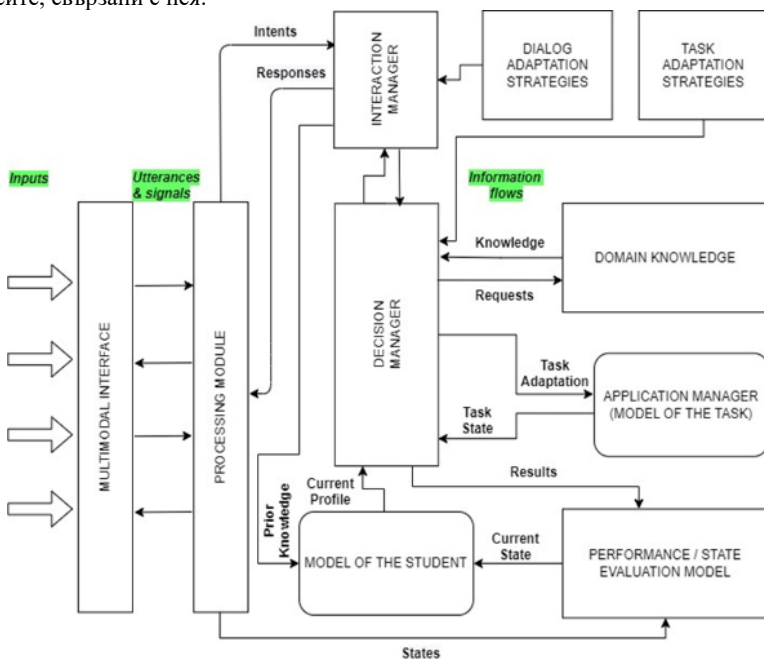
При проектиране на конкретни системи човек-машина базирани на iHMIfr е необходимо на първо място да се направи анализ на процесите, които обуславят колаборацията, след което архитектурата да се донастрои по отношение на нейните компоненти в съответствие с тези процеси, характерни за конкретната сфера на приложение.

### 3.1 Проектиране на интелигентна тюторна система базирана на iHMIfr

#### 3.1.2. Концептуална архитектура

На Фиг. 3.1. е представена концептуалната архитектура на мултимодална афективна тюторна система (mATS).

Функционалността на компонентите на системата следва логиката на iHMIfr, но е тясно фокусирана около специфичните особености на една интелигентна тюторна система и процесите, свързани с нея.



Фиг. 3.1. Концептуална архитектура на мултимодална афективна тюторна система (mATS)

### 3.2. Експериментално изследване, в посока разпознаване на емоционални и когнитивни състояния на обучаемия като реакция на различен тип задачи

Основна цел в изследването е автоматизираното разпознаване на когнитивни натоварвания, въз основа на периферни физиологични сигнали, базирани на различни сценарии. В този смисъл се оценява приложимостта на методите за машинно обучение за откриване на когнитивно натоварване, предизвикано от три интерактивни когнитивни задачи с различна сложност. Изхождайки от предположението, че всеки тип задача би индуцирал различно ниво на когнитивно натоварване, избраните три задачи включват IQ

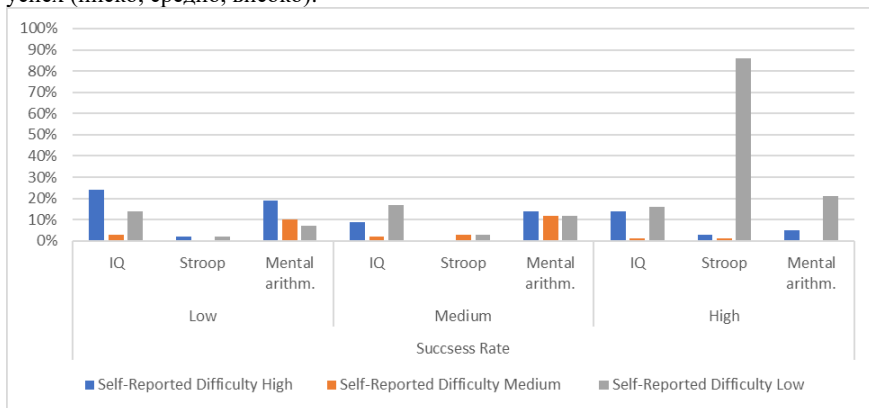
тест, тест с задачи за ментална аритметика и Stroop тест. Докато първия тип изисква някакъв предварително придобит набор от знания, както и тяхното логическо свързване и формиране на съждения по въпроси без предварителна подготовка, останалите два са базирани върху ясни и строго формулирани правила. Направените изследвания включват следните основни стъпки - обработка на сигнали, извличане на описатели и създаване на модели за машинно обучение.

Наборът от данни CLAS (A database for cognitive load, affect and stress recognition) [125] се състои от синхронизирани ECG, PPG, EDA записи и данни от акселерометър, събрани от 62 души. Физиологичните сигнали са свързани с реакции на доброволци във връзка с техни отговори на различни задачи и аудио-визуални стимули, предизвикващи различен тип емоционални състояния, разпределени в четирите квадранта на координатната система Valence – Arousal. В настоящото проучване са използвани PPG и EDA сигналите на 56 души, тъй като някои от записите са изключени поради прекъсвания и непълни сигнали.

### 3.2.5. Експериментална постановка

#### 3.2.5.2. Данни на база анкети за самостоятелно определяне на успеваемостта на участниците.

На фиг.3.5 са показани данни за връзките между самооценките на участниците относно трудността на задачата (ниска, средна, висока) и съответните им реални нива на успех (ниско, средно, високо).



Фиг. 3.5. Съпоставка между успеваемост на участниците по трите задачи и субективната им оценка за тяхната трудност

### 3.2.6. Експериментални резултати

Направени са експериментални изследвания за разпознаване на когнитивното натоварване при задачи с различна степен на сложност. Анализирана е точността на класификацията, постигната чрез различни класификатори в два сценария - независими от човека (обобщени) – в секция 3.2.6.1. и специфични за човека сценарии (персонализирани) - в секция 3.2.6.2 .

#### 3.2.6.1. Обобщени резултати (Person-independent scenario)

В обобщения (person-independent) сценарий е оценена точността на разпознаване, получена с и без прилагане на z-нормализация върху векторите на описателите, които

по-долу се наричат съответно ненормирани и z-нормирани вектори. Експерименталните резултати за различните класификационни методи са представени в низходящ ред: Radom forest, Bagging, k-Nearest neighbor (k-NN, с k=1 и k=5), Multi-layer Perceptron Neural Network (MLP NN), Support Vector Machine с последователна оптимизация (SVM-SMO, с RBF и полиномиално ядро) и класификатора Naive Bayes. Таблици 3.1. и 3.2. представят осреднената точност на разпознаване след 100 изпълнения на всеки класификатор.

Табл.3.1. Осреднени резултати, получени след 100 изпълнения обобщени данни със z-нормирани вектори

| Classifier type | Correct [%] | Class weighted average |      |      |       |           | Average time |          |
|-----------------|-------------|------------------------|------|------|-------|-----------|--------------|----------|
|                 |             | TP                     | FP   | TN   | FN    | F-measure | Train [s]    | Test [s] |
| Random Forest   | 86.24       | 0.86                   | 0.17 | 0.83 | 0.14  | 0.81      | 66.92        | 1.28     |
| Bagging         | 77.21       | 0.77                   | 0.25 | 0.75 | 0.23  | 0.66      | 2.66         | 0.01     |
| k-NN (k=1)      | 70.04       | 0.70                   | 0.19 | 0.81 | 0.30  | 0.70      | 0.001        | 1.74     |
| k-NN (k=5)      | 69.48       | 0.70                   | 0.25 | 0.75 | 0.31  | 0.68      | 0.004        | 2.14     |
| MLP NN          | 64.00       | 0.63                   | 0.42 | 0.58 | 0.37  | 0.56      | 7477.9       | 0.01     |
| SVM-SMO (RBF)   | 60.04       | 0.60                   | 0.56 | 0.44 | 0.40  | 0.47      | 259.19       | 4.64     |
| SVM-SMO (poly)  | 59.62       | 0.60                   | 0.58 | 0.42 | 0.400 | 0.47      | 237.46       | 0.01     |
| Naïve Bayes     | 48.86       | 0.49                   | 0.21 | 0.79 | 0.51  | 0.41      | 0.31         | 0.01     |

Табл.3.2. Осреднени резултати, получени след 100 изпълнения при обобщени данни с ненормирани вектори

| Classifier type | Correct [%] | Class weighted average |      |      |      |           | Average time |          |
|-----------------|-------------|------------------------|------|------|------|-----------|--------------|----------|
|                 |             | TP                     | FP   | TN   | FN   | F-measure | Train [s]    | Test [s] |
| Random Forest   | 85.29       | 0.85                   | 0.18 | 0.82 | 0.15 | 0.79      | 72.03        | 1.26     |
| Bagging         | 76.54       | 0.77                   | 0.26 | 0.74 | 0.23 | 0.64      | 2.89         | 0.00     |
| k-NN (k=1)      | 69.84       | 0.70                   | 0.19 | 0.81 | 0.30 | 0.70      | 0.001        | 1.95     |
| k-NN (k=5)      | 69.13       | 0.69                   | 0.25 | 0.75 | 0.31 | 0.68      | 0.002        | 2.42     |
| MLP NN          | 62.93       | 0.63                   | 0.39 | 0.61 | 0.37 | 0.57      | 9583.10      | 0.01     |
| SVM-SMO (RBF)   | 60.12       | 0.60                   | 0.56 | 0.44 | 0.40 | 0.41      | 255.46       | 4.70     |
| SVM-SMO (poly)  | 59.63       | 0.60                   | 0.58 | 0.42 | 0.40 | 0.41      | 224.04       | 0.01     |
| Naïve Bayes     | 49.05       | 0.49                   | 0.22 | 0.78 | 0.51 | 0.41      | 0.27         | 0.01     |

### 3.2.6.2. Резултати от сценария с персонифицирани данни (Person-specific scenario)

В таблица 3.3. са представени резултати при сравнение между осреднените стойности на точността на класификация за 100 изпълнения, постигната с различни класификатори, с персонифицирани (за конкретен човек) данни. Използваните класификатори са представени в следния ред: Random Forest, Bagging, k-Nearest Neighbours (k-NN, with

k=1), Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLP NN), Support Vector Machine с последователна оптимизация и RBF ядро (SVM/SMO, with RBF kernel), и Naïve Bayes. В тези експерименти са взети под внимание z-нормализирани вектори на описателите, както и най-добрите възможни настройки на всеки класификатор.

Табл.3.3. Осреднени резултати, получени след 100 изпълнения при персонафицирани данни със z-нормирани вектори

| Classifier type | Correct [%] | Weighted average |      |      |      |           | Weighted average |              | Average time |          |
|-----------------|-------------|------------------|------|------|------|-----------|------------------|--------------|--------------|----------|
|                 |             | TP               | FP   | TN   | FN   | F-measure | Precision        | Recall       | Train [s]    | Test [s] |
| Random Forest   | 87.15       | 0.87             | 0.14 | 0.86 | 0.13 | 0.87      | 0.88 ± 0.008     | 0.87 ± 0.008 | 60.56        | 1.17     |
| k-NN (k=1)      | 80.96       | 0.81             | 0.11 | 0.89 | 0.19 | 0.81      | 0.81 ± 0.007     | 0.81 ± 0.007 | 0.001        | 2.11     |
| Bagging         | 80.94       | 0.81             | 0.20 | 0.80 | 0.19 | 0.80      | 0.81 ± 0.009     | 0.81 ± 0.008 | 43.35        | 0.06     |
| MLP NN          | 70.19       | 0.70             | 0.22 | 0.78 | 0.30 | 0.68      | 0.68 ± 0.012     | 0.69 ± 0.014 | 7525.89      | 0.01     |
| SVM-SMO (RBF)   | 64.80       | 0.65             | 0.39 | 0.61 | 0.35 | 0.65      | 0.65 ± 0.008     | 0.65 ± 0.008 | 53.99        | 0.01     |
| Naïve Bayes     | 59.06       | 0.59             | 0.28 | 0.72 | 0.41 | 0.58      | 0.58 ± 0.009     | 0.59 ± 0.011 | 0.22         | 7.01     |

При сравнение на абсолютните стойности на осреднената точност на разпознаване, получена в независимия от конкретен човек сценарий с z-нормализирани вектори на признаци (86,2%) и тази в индивидуализирания (за конкретен човек) сценарий (87,2%), се установява, че и в двата случая най-добри резултати са постигнати с класификатора Random Forest.

## ГЛАВА IV. МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ПОСТИГАНЕ НА ЕФЕКТИВНА КОЛАБОРАЦИЯ ЧОВЕК – МАШИНА

Целта на настоящата глава е да предложи решение на задачата поставена в глава 1, а именно проектиране на колаборативна система, с оглед верификация и валидиране на концептуалната рамка iNMIfr (глава 2). Предложеното решение отчита текущата успеваемост и моментното състояние на потребителя и адаптира параметрите на задачата спрямо тях. С оглед на това са предложени две методики, свързани с осигуряване на адаптивност на параметрите на колаборативната задача, съответно към текущата успеваемост на потребителя (i), както и към текущото емоционално и когнитивно състояние (ii) на човека, участващ в колаборацията.

### 4.1. Проектиране на интелигентна система в съответствие с концептуалната рамка iNMIfr

#### 4.1.1. Избор на задача за колаборация

С цел постигане на различни нива на когнитивен товар върху човека по време на изпълнението на колаборативната задача, и неговото разпознаване и противодействие, чрез адаптивност на системата, изборът на такава се спира на използване на когнитивен тест, целящ запълване на работната памет и индуциране на умора.

С оглед постигане на поставената цел за проектиране на интелигентна колаборативна система, задачата за изпълнение, следва да е способна да предизвика достатъчна степен на ментална възбуда в човека, така че за сравнително кратко време да се създаде когнитивен товар и ментална умора, които да служат като предпоставка за адаптиране на системата. Също така, предвид разликите в индивидуалните способности на хората, е необходимо комплексността (сложността) на задачата да може да се променя, така че да компенсират тези разлики.

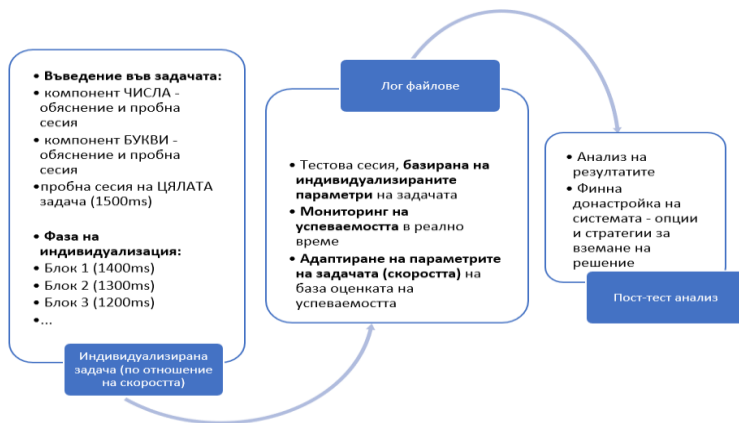
Разработено е софтуерно приложение, което реализира когнитивен тест TloadDback за предизвикване на умствена умора. TloadDback представлява двукомпонентна задача в която машината (софтуерният агент/ приложение) подава към потребителя стимули под формата на два типа знаци – букви и числа. Последователността на подаването е буква-число-буква- число. Потребителят трябва да реагира на числата по отношение на това, дали са четни или не, чрез натискане на клавиши. По отношение на буквите е необходима реакция (отново чрез натискане на клавиш) само в случай, че текущата буква е същата като предходната. Индивидуализацията на задачата се извършва, за да бъде тя първоначално адаптирана към индивидуалните характеристики на конкретния човек като капацитет, емоционална ангажираност, концентрация, ниво на умора и т.н. Индивидуализацията се състои от последователни блокове, състоящи се от еднакъв брой символи, като скоростта на задачата се увеличава с всеки следващ блок. Целта е за всеки потребител да бъде открит определен праг, при който резултатността (производителност/ ефективност) пада под 85%. Счита се, че при резултат над 85% задачата е успешно изпълнена. След това се използва индивидуализираната (по отношение на скоростта) задача за всеки конкретен потребител, за да бъде поставен в ситуация под напрежение (натоварена работна памет), в която вероятността от грешки е висока. Отчитат се специфични за задачата параметри – текущ етап (скорост), производителност (% грешки) и време за реакция (в милисекунди), тъй като те са необходими при формиране на решението за адаптация, свързана със задачата.

#### **4.1.2. Проектиране на система адаптираща се към състоянието и параметрите на задачата.**

Като първа фаза от проектирането на интелигентна система, базирана на концептуалната рамка iNMIfr, фокусът се поставя върху създаването на мениджъра на приложението, интегриращ логиката и специфичните характеристики на задачата, както също критериите за успех и функционалността за отчитане на нейното състояние. Под състояние разбираме конкретното ниво или стъпка в нейния прогрес, както и мониторинга върху резултатността на човешкия фактор в колаборацията.

За да има адаптивност в системата, освен мениджърът на приложението, слоевете съответно за вземане на решения и за адаптация, също трябва да бъдат реализирани. Самата система се реализира под формата на софтуерно приложение. Логиката на задачата, както и синтезираната архитектура (и хронологията на процесите в нея) са представени на Фиг.4.5.





Фиг.4.5. Логика на приложението и хронология на процесите при реализация на адаптивност по отношение на задачата

### 4.1.3. Реализация на системата

Приложението е базирано изцяло на клиентска архитектура. Не е необходим сървър на този етап, тъй като софтуерът не е предназначен за масова употреба и данните могат да се съхраняват на локалната машина. В този смисъл, създаването на уеб приложение представлява възможно най-лесният начин за внедряване на системата. Освен това, изборът на уеб приложение пред други алтернативи, като настолни или мобилни приложения (също осъществими опции), осигурява възможност за имплементация на потребителския интерфейс на различни устройства, което при останалите опции би могло да доведе до усложнения, свързани с използването на различни софтуерни библиотеки.

Въз основа на стратегията за адаптиране на задачата, първото адаптивно действие (от 1000ms към 900ms) се случва в резултат на 10 последователни потребителски отговора със средна успеваемост, равна или по-висока от 95%. Втората адаптация има обратна посока (от 900ms към 1000ms) поради спада на успеваемостта под 85% . Предложената адаптация, свързана със задачата, включва един аспект от тристранния подход към адаптивните НМІ интерфейси. За да се постигне пълна интелигентност, в съответствие с рамката iNMIfr, тази система трябва също така да притежава способности да се адаптира в съответствие с човека (и неговото състояние на ума), както и с контекста.

#### 4.1.4. Проектиране на функционалността на системата за постигане на адаптивност към състоянието на потребителя.

Постигането на адаптивност по отношение на човека, участващ в колаборативното взаимодействие, както беше посочено и в глава 2, минава през няколко последователни процеса: детекция и възприятие на неговите състояния, интерпретация на значението им, както и мониторинг на динамиката в тях (първите два слоя в картата на процесите в концептуалната рамка iNMIfr). На база на тези процеси се формират

информационните потоци, подавани към мениджъра на решенията за формиране на адаптивно поведение (слой за вземане на решения), което се реализира посредством различни канали за адаптация (в слоя за адаптация).

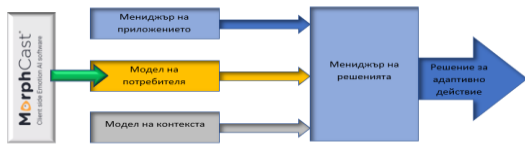
Детекцията и възприятието на състояния изискват мултимедиален подход, с оглед събирането на достатъчно данни и тяхната интерпретация, за осигуряване на информация за различните аспекти от човешкото поведение и състояния (в т.ч. на ума).

В настоящата глава се представя проектиране на колаборативна система, с оглед верификация и валидиране на концептуалната рамка iNMIfr. В този ред на мисли, търсейки икономична и в същото време функционална алтернатива на множеството сензори във входа на системата, детекцията и възприятието на различните състояния (целият първи слой) се осигурява от платформата MorphCast.

MorphCast е платформа, предлагаща иновативни решения, чрез алгоритми за изкуствен интелект, за разпознаване на емоционални състояния, базирани на лицево разпознаване и следне израженията на лицето.

Чрез интеграция в системата на предлагания от компанията SDK (software development kit) се осигурява разпознаване на различни състояния на човека, чрез използване на една единствена модулност – видео сигнал от камерата на компютъра. На изхода на платформата в реално време се подават данни от класификаторите, разпознаващи съответните параметри на поведението (валентност; възбуда; внимание; емоции) под формата на нормализирани стойности в интервала  $\{0 \pm 1\}$ , или  $\{-1 \pm 1\}$  (Табл. 4.2).

При интеграцията на MorphCast, и добавянето на модела на потребителя, за динамично интерпретиране и мониторинг на състоянията, синтезираната архитектура на системата получава вида, представен на Фиг.4.8.



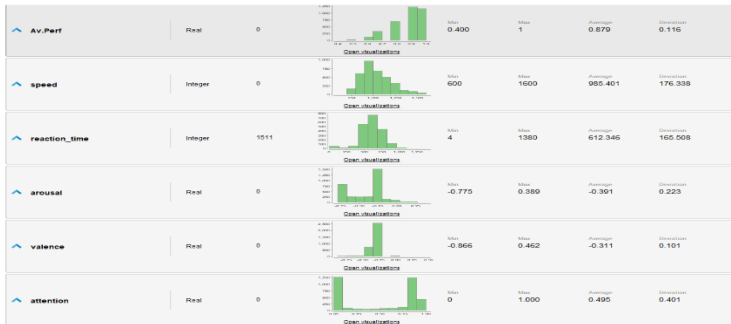
Фиг. 4.8. Синтезирана архитектура на системата на фаза адаптивност към състоянието на потребителя

Табл. 4.2. Фрагмент от лог-файл от платформата MorphCast

| timestamp          | request               | response              | direction           | log_id                | event                  | id                     | userid               | signature           |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.315482326256312978  | -0.642295719262477    | 0.822787585679031   | 0.20054350621267979   | 0.015328864781674996   | 0.0030061013076094764  | 0.05311574380559642  | 0.456642888734725   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.311646742789369795  | -0.280705108731289    | 0.8217173526045356  | 0.091894278746933973  | 0.020573146448866499   | 0.00368467187414002    | 0.05077796370463804  | 0.526200218326894   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.31876281686971332   | -0.264087148185999856 | 0.8173966452159277  | 0.097818179942104895  | 0.022821525731848665   | 0.00347945009700040395 | 0.050489779264807304 | 0.520025881158796   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.32466964012170705   | -0.264087148185999856 | 0.8173966452159277  | 0.0217604561121023    | 0.02143008120747457079 | 0.0143008120747457079  | 0.050489779264807304 | 0.520025881158796   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.330087916072507469  | -0.264087148185999856 | 0.8173966452159277  | 0.020632720218654     | 0.01887017016937678    | 0.003933589784664796   | 0.02037184889976781  | 0.5072866025828232  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.32943458122069927   | -0.2737177587870795   | 0.81054953444483931 | 0.0643917917590801    | 0.0145620394892202475  | 0.00378179936974918    | 0.041205089801834    | 0.5082317423905396  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.327812142707148     | -0.2781718308698932   | 0.8022412380090023  | 0.016477647378310474  | 0.004079048466268543   | 0.002898269489775127   | 0.5089397512018998   | 0.3058228551446414  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.32521783496564297   | -0.27424273191541494  | 0.796866799954944   | 0.1242148130412824    | 0.0165207832214252     | 0.004020135934086189   | 0.0418804842954678   | 0.4799454227071084  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3279142093163183387 | -0.280705108731289    | 0.797289126485313   | 0.003939459369301683  | 0.00661873087030983    | 0.003120357915484      | 0.180779452005402    | 0.28415175295714883 |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.32334710314665881   | -0.28203475315697016  | 0.7973966682989318  | 0.0081919095999527    | 0.006583184795948444   | 0.0066683012960719075  | 0.00513200511519655  | 0.4000678979384521  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3278659880150869    | -0.2829291841962645   | 0.799388380773373   | 0.00648774774749809   | 0.0082011232738570438  | 0.003830717220112175   | 0.04281980148910395  | 0.53280562290154    |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3200771326560402    | -0.28342482629277     | 0.7943014814609213  | 0.0512590951675796    | 0.012905451289868094   | 0.014212862270078608   | 0.007100148748997654 | 0.5178744885642422  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3348093599137706    | -0.2810283667763885   | 0.7982480732102854  | 0.00776592379184984   | 0.006919044665051088   | 0.0047482391498456451  | 0.004301327379969    | 0.50078092692461    |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.33334418499791786   | -0.2814918930200554   | 0.785244119053074   | 0.0003155182092205961 | 0.0190559200782631618  | 0.0051954865498386993  | 0.009893991781895    | 0.5488096560518375  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.324808358084670914  | -0.28342482629277     | 0.7943014814609213  | 0.0093224871821151669 | 0.004948073851884836   | 0.0038988268940977127  | 0.6300419593835313   | 0.7352293789959586  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.340389358084670914  | -0.28342482629277     | 0.7943014814609213  | 0.0053639381482856    | 0.014988387282382827   | 0.00424824833071449    | 0.017158212946446    | 0.3302166012624893  |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3216511577737104    | -0.284536280777737    | 0.777768949949474   | 0.009466354747209     | 0.01790578589783334    | 0.004958745419652824   | 0.00456118793899383  | 0.532170241318488   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3255556818277074    | -0.2851216787962604   | 0.785244119053074   | 0.044802801838884     | 0.01629646502448174    | 0.004445121813915835   | 0.0047047615430046   | 0.52717879935956    |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.32629759718717127   | -0.284649309389088965 | 0.751720772721928   | 0.009662307057737     | 0.021749849642683713   | 0.0038512170999593489  | 0.0078996676428167   | 0.508393321930202   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3179849317032579    | -0.28457904393931     | 0.751720772721928   | 0.0086292428450126    | 0.014172712656987028   | 0.00415908623877947    | 0.014235701009541    | 0.527254702123053   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.330004691602694     | -0.284536280777737    | 0.777768949949474   | 0.0097191891693096    | 0.00716592379184984    | 0.003908188180191448   | 0.00481880197932488  | 0.520219042490819   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.386170301215287     | -0.2842248815797767   | 0.72462178661302    | 0.09054574614604997   | 0.01350477013851900    | 0.004078717131878595   | 0.037594422072889    | 0.518546060924276   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3870838165845828    | -0.28462454489497846  | 0.74857052461562    | 0.00913235768746789   | 0.0118197898897289     | 0.00429689618047331    | 0.0058918542493489   | 0.5177428300846     |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3812038797011175    | -0.2816789614318118   | 0.7117776789794749  | 0.00563903891978587   | 0.01268512426845448    | 0.00424824833071449    | 0.008927453379957    | 0.510310227807468   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3831158978661484    | -0.2848280611937      | 0.74857052461562    | 0.003409546731038     | 0.01188384278496971    | 0.004102769098989894   | 0.01374069178116835  | 0.477326491181389   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.38386413293127      | -0.281848789745004    | 0.7015112760158041  | 0.0078910340580401    | 0.0119697782337084795  | 0.0042964055112788     | 0.0058289411388326   | 0.513556117884709   |
| 11.1.2013 15:29:18 | 0.3830837971991289    | -0.28462454489497846  | 0.698396889620324   | 0.0020087471899133    | 0.0046287329748817     | 0.0069287329748817     | 0.0090450040445      | 0.50589818817884731 |
| 11.1.2013 15:29:20 | 0.3781849196231520    | -0.289905315267123    | 0.698396889620324   | 0.094315852961047     | 0.01105449578910062    | 0.004349316126975182   | 0.00973021005046     | 0.5009617744181383  |

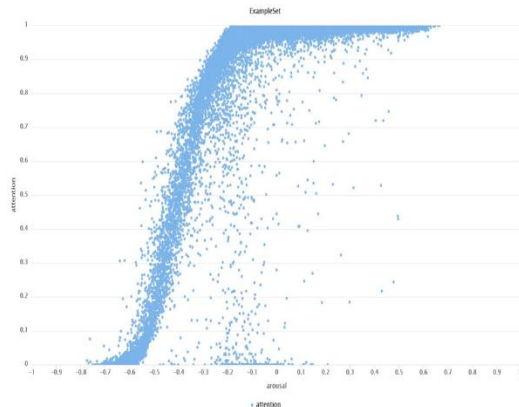


Фиг.4.10. Статистически анализ на параметрите в Person-independent сценарий



С оглед на избраната адаптивна стратегия, търсеща максимална ефективност на ръба на зоната на комфорт на участниците са възможни два подхода за анализ на данните и създаване на възможности за реализация на модели за машинно поведение.

При първият, резултатността на участниците може да бъде разглеждана като съвкупност от два компонента – техните физически възможности (за изпълнение на конкретна задача) и тяхното внимание по време на изпълнението. Затова, адекватно би било да се търси връзка между възбуда и внимание, а не пряко – между възбуда и резултатност. На Фиг. 4.12 са представени агрегатните данни на участниците в изследването по отношение съответно на техните възбуда и внимание. Прави впечатление, че при ниски стойности на възбудата, вниманието е много близо до нула (т.е. липсва), след което – с нарастване на възбудата, то също нараства до достигане на насищане (стойности близки до 1). Графиката изцяло потвърждава закона на Yerkes-Dodson, като оптималното средно ниво на възбуда за поддържане на максимална степен на внимание, на база разглеждания набор от данни, може да се определи в интервала  $[-0.25; 0.25]$ .

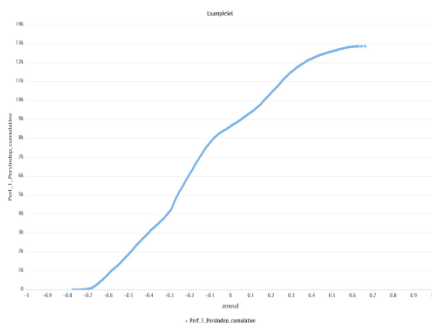


Фиг.4.12. Взаимовръзка между внимание и емоционална възбуда

При втория подход емоционалната възбуда се съпоставя с кумулативната успеваемост на потребителя. За постигане на това в настоящия дисертационен труд се предлага следния алгоритъм:

- ✓ Извличане на данните от всички участници в експеримента (извадката);
- ✓ Обединяване на данните (в RapidMiner - посредством оператора Append);
- ✓ Сортиране на данните във възходящ ред по отношение на атрибута „възбуда“ (Arousal);
- ✓ Задаване на стойности на атрибута „успеваемост“ както следва: 1 при успех и -1 при неуспех;
- ✓ Създаване на нов атрибут „кумулятивна успеваемост“ и прилагане на кумулативна функция по отношение на атрибута „успеваемост“ (приемащ стойности -1 и 1);
- ✓ Използване на стойностите на кумулативната успеваемост за установяване на зависимост по отношение на възбудата.

При прилагане на този алгоритъм се установява следната зависимост (Фиг.4.13):



Фиг. 4.13. Взаимозависимост между възбуда и кумулативна успеваемост при обобщен анализ

Представената графика отново потвърждава закона на Yerkes – Dodson, като при това, адаптивността на задачата (чрез зададената стратегия) осигурява движение по кривата в зоната на оптимална успеваемост.

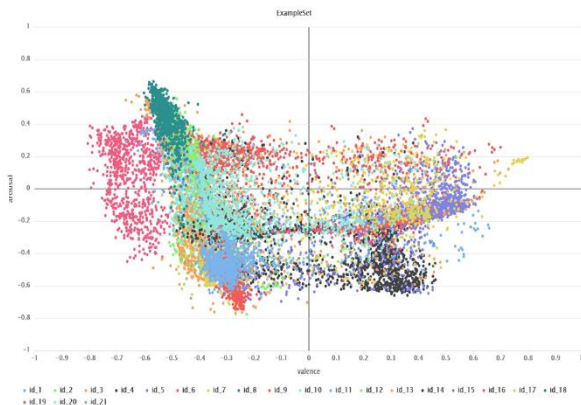
#### 4.3.2. Анализ на индивидуалните данни на участниците (person specific aspect)

Изследването на данните включва изчисляване и визуализиране на определени параметри и последващото им сравнение между участниците, целящо разкриване на техните индивидуални особености дължащи се на комплекс от фактори като пол, възраст, придобити умения.

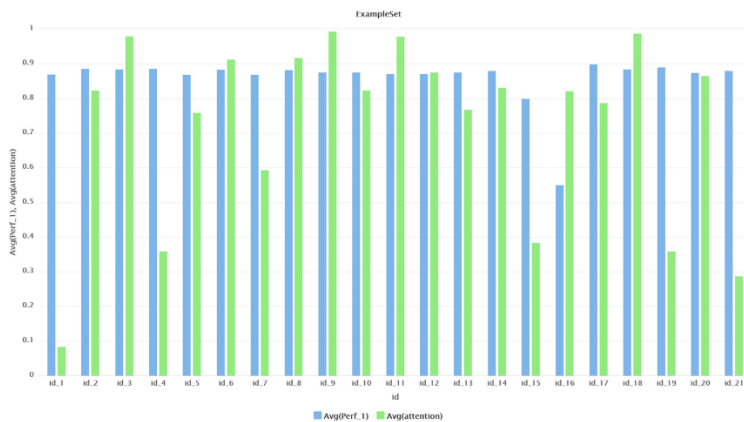
Направен е сравнителен анализ на данни от анкети и статистически параметри за всеки участник с цел откриване на определени закономерности между отделни профили, напр. по възраст, по опит и умения в практикуването на компютърни игри (особено по отношение на придобитите реакции), по пол, по водеща ръка и т.н.

Изследвана е взаимовръзката емоционална валентност – възбуда (Valence – Arousal). Тя е представена на Фиг. 4.16, като е направено разграничаване на отделните участници по цветове. За сравнение, на фиг.4.17 е представена колонна графика на средната успеваемост и средното ниво на внимание, отново по участници. При анализ на

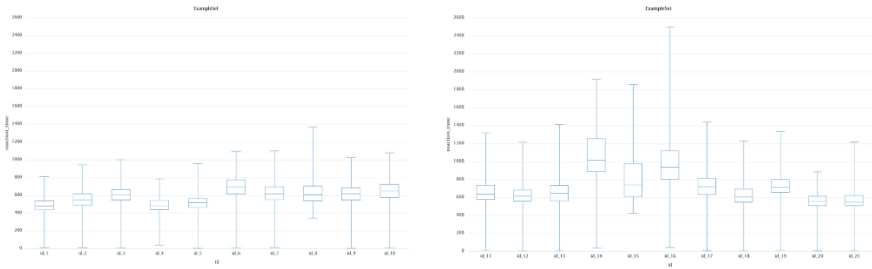
данните се установява, че участниците с най-високи средни нива на внимание (id\_3, id\_6, id\_8, id\_9, id\_11, id\_12, id\_16, id\_18, id\_20), преобладаващо присъстват в четвърти квадрант на скалата Valence – Arousal, т.е. са най-близо до състояния, свързани със стрес. Участниците с ниски нива на внимание (id\_1, id\_4, id\_15) запълват предимно втори и трети квадрант (вероятно поради опита си в компютърните игри и приемането на теста като такава, а също и поради индивидуалната специфика на техните възприятия). Рутинността при изпълнението, особено за id\_1 и id\_4, се потвърждава и от високата успеваемост при ниски времена за реакция, при това с малка дисперсия (Фиг. 4.18.).



Фиг. 4.16. Скалата Valence – Arousal със състоянията на участниците по време на теста



Фиг. 4.17. Средна успеваемост и средно ниво на внимание по участници



Фиг.4.18. Времена за реакция по участници

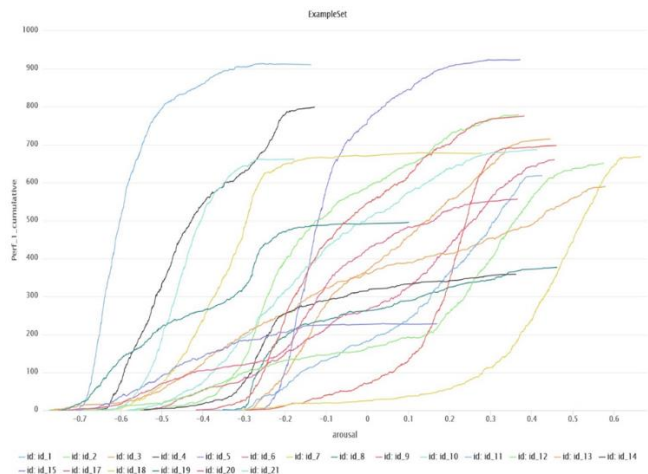
### Взаимовръзката Arousal-Performance по участници

При обобщения анализ на данните, зависимостта между емоционална възбуда и успеваемост не може да бъде установена пряко, а е необходимо това да стане косвено, или чрез използване на кумулативната функция на успеваемостта, или чрез компонента на вниманието. В първия случай, в дисертационния труд се предлага следният алгоритъм:

- ✓ Извличане на данните от всички участници в експеримента (извадката);
- ✓ Сортиране на данните на всеки участник във възходящ ред по отношение на атрибута „възбуда“ (Arousal);
- ✓ Задаване на стойности на атрибута „успеваемост“ както следва: 1 при успех и -1 при неуспех;
- ✓ Създаване на нов атрибут „кумулятивна успеваемост“ и прилагане на кумулативна функция по отношение на атрибута „успеваемост“ (приемащ стойности -1 и 1);
- ✓ Създаване на нов атрибут “id\_” и задаването на уникални стойности за всеки участник;
- ✓ Обединяване на данните (в RapidMiner - посредством оператора Append);
- ✓ Използване на стойностите на кумулативната успеваемост за установяване на зависимост по отношение на възбудата.

Резултатите получени чрез този алгоритъм са показани на фиг. 4.19.

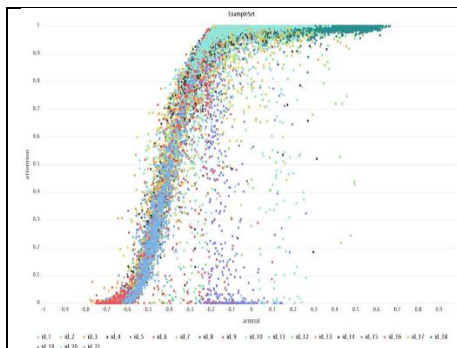
Резултатите по участници показват индивидуалните криви на оптимална успеваемост за всеки отделен участник по закона Yerkes – Dodson. Тези криви създават условия за разпознаване от страна на машината на конкретни профили на участниците, както и за следенето им в реално време и активирането на определен тип стратегия, при установена девиация, породена от промяна на състоянието на човека под действието на някакъв фактор.



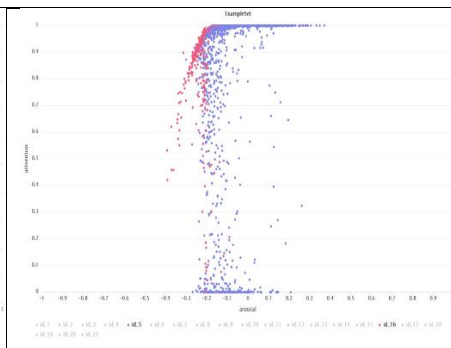
**Фиг.4.19. Взаимозависимост между възбуда и кумулативна успеваемост при индивидуален анализ на данните**

Взаимовръзката Arousal-Attention по участници

Друг интересен аспект от анализа по участници е свързан с взаимовръзката възбуда-внимание (Arousal-Attention). На фиг.4.20 тази зависимост е представена, като данните на всеки отделен участник са изобразени в различен цвят. Както беше отбелязано в анализа на агрегираните данни, те са в съответствие със закона на Yerkes-Dodson. Наблюдава се и съществено разсейване на тези данни. В резултат от направен анализ на данните и съпоставка с анкетните данни се оказа , че съществена част от разсеяните данни принадлежи на двама участника с водеща лява ръка. Техните данни са изнесени самостоятелно на Фиг. 4.21.



**Фиг. 4.20. Взаимовръзката внимание – емоционална възбуда по участници**

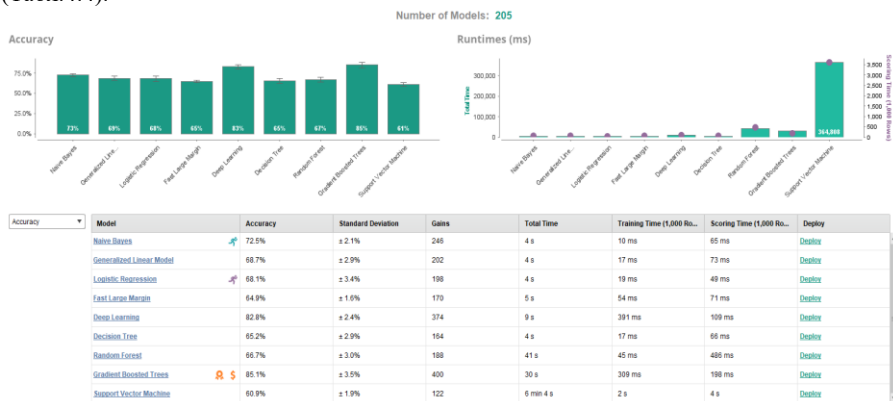


**Фиг. 4.21. Взаимовръзката внимание – емоционална възбуда на участници с водеща лява ръка**



Изследваните параметри на двата профила на боравещите с лява ръка участници съществено се различават, което дава основание да бъде потърсен модел за машинно обучение, на база интерпретираните чрез платформата MorphCast данни за емоционална възбуда и внимание.

След проведени експерименти с различни класификатори в платформата RapidMiner, при автоматична оптимизация на параметрите и след сравнение на резултатите от тях се установява, че стойностите по отношение на тяхната точност (Accuracy) се различават съществено (Фиг. 4.23.). Най-висока точност (85,1%) се постига с модела Gradient Boosted Trees. Съществени разлики, обаче се наблюдават и във времевите характеристики на моделите. И тъй като те са от изключителна важност при системи, работещи в реално време, класификаторът Decision Tree е избран, като най-подходящ в ситуацията, като компромисно решение между точност и време за класификация. След настройка на параметрите на модела (критерий за разделяне – Gini index; максимална дълбочина – 8) и кръстосана валидация (Cross validation) по метода Leave one out, се наблюдава достатъчно висока точност (84,05%+/- 36,62%) (Табл.4.4).



Фиг. 4.23. Сравнение на класификатори за разпознаване на водещата ръка

accuracy: 84.05% +/- 36.62% (micro average: 84.05%)

|              | true right | true left | class precision |
|--------------|------------|-----------|-----------------|
| pred. right  | 781        | 100       | 88.65%          |
| pred. left   | 219        | 900       | 80.43%          |
| class recall | 78.10%     | 90.00%    |                 |

Табл. 4.4. Точност при Decision tree classifier

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият дисертационен труд изследва, доразвива и обобщава постиженията в областта на интелигентните интерфейси човек-машина, както и технологиите свързани с тях, и формулира рамка за развитието на тези интерфейси, като основа на бъдещите интелигентни системи. Създадената в глава 2 концептуална рамка осигурява ефективен, унифициран подход при реализация на адаптивни системи с широка сфера на приложение. Чрез добавяне на емоционална интелигентност, свързана с „чувствителност“ и „разбиране“ на състоянието на човека от страна на машината се проправя път към създаване на системи човек-машина, използващи потенциала на потребителя за повишаване ефективността на системата при осигуряване на максимален комфорт на човешкия фактор в нея, вследствие на адаптивност към трите компонента на взаимодействието (човек-машина-контекст).

Интегрирането на разнообразни интелигентни мултимодални сензори и алгоритми, систематизирани чрез iNMIfr и картата на процесите (глава 2) позволява проектирането и създаването на интерфейси, способни да интерпретират човешките намерения, емоции и предпочитания, което води до по-ефективни и персонализирани взаимодействия. Тези интерфейси придобиват способността да се адаптират към отделните потребители, да се учат от тяхното поведение и проактивно да предвиждат техните нужди. В резултат на това потребителите могат да комуникират, контролират и да си сътрудничат с машини по по-естествен и лесен начин.

Изследванията, проведени в глави 3 и 4, валидират функционалността на концептуалната рамка с потенциал за приложение в широк спектър от области, включително образование, здравеопазване, производство, както и различни аспекти на взаимодействието човек-машина – компютърни и мобилни приложения, роботизирани системи и др.

Развитието на интелигентните интерфейси в близкото бъдеще, неминуемо ще задълбочи изследванията по отношение на технологиите, свързани с разпознаване на емоционалните и когнитивни състояния на потребителя. Ще възникнат нови сензори, алгоритми за обработка на сигнали и данни, както и модели за интерпретацията им. Разширяването на областите на приложение на тези интерфейси ще наложи създаването на нови модели за вземане на решения, свързани с прилагане на адаптивни стратегии. Една от областите, която вероятно ще се окаже следващия бум в изкуствения интелект, след големите езикови модели, е тази на интерфейсите мозък-компютър (BCI). Тяхното развитие, освен по-добрата интерпретация на състоянията на човека, ще даде възможност и за по-голям достъп до технологиите, особено на хора с физически и ментални дефицити.

Развитието на този вид технологии обаче е свързано и с определени рискове и предизвикателства. Теми свързани с поверителност и сигурност, с етични, морални и законови регулации ще бъдат от първостепенно значение за хода и темпа на развитие на интелигентните интерфейси. Постигането на правилния баланс между удобството и защитата на потребителските данни ще бъде от решаващо значение за широкото им приложение и ролята им за революционизиране на редица отрасли в икономиката, както и сектори на реалния живот.

## **ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА**

### **Научни приноси**

1. Създадена е концептуална рамка за проектиране и създаване на интелигентни интерфейси човек – машина (iHMIfr).

### **Научно-приложни приноси**

1. Създадена е карта на процесите при интелигентни интерфейси човек-машина, базирани на концептуалната рамка iHMIfr, като инструмент за нейното прилагане.
2. Разработена концептуална архитектура на мултимодална афективна тюторна система (mATS), базирана на концептуалната рамка iHMIfr.
3. Разработен модел за разпознаване на когнитивно натоварване при решаване на задачи с различна степен на сложност.
4. Валидирана е концептуалната архитектурна рамка за проектиране на интелигентни интерфейси iHMIfr чрез проект и реализация на адаптивна система “човек-машина“ базирана на параметрите на задачата в т.ч. успеваемостта на човека;
5. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към индивидуалната успеваемост на всеки човек;
6. Предложена е методика за адаптиране на параметрите на задачата към текущото емоционално и когнитивно състояние на човека;
7. Създадени ресурси чрез експериментални изследвания - база данни, свързана с емоционални и когнитивни състояния при изпълнение на колаборативна задача;
8. Експериментално потвърждаване на закона на Yerkes-Dodson и доразвиването му в посока на взаимовръзката “Arousal-Attention”;
9. Разработени алгоритми за определяне на зависимостта между възбуда и кумулативна успеваемост в два сценария: обобщен и индивидуален;
10. Разработен модел за машинно обучение за разпознаване на атипични състояния (в т.ч. водеща лява ръка на човек), на база внимание и емоционална възбуда;

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [A1] **Markov M.** and Ganchev T., 2021, A Concept of a New Knowledge Based Multimodal Affective Tutoring System, 2021, 29th National Conference with International Participation (TELECOM) 2021, (Sofia, Bulgaria: IEEE), pp 157–60, (indexed in Scopus)
- [A2] **Markov M.**, Kalinin Y. and Ganchev T., 2022, A Task-related Adaptation in Intelligent Human-Machine Interfaces, 2022, International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES) (Veliko Tarnovo, Bulgaria: IEEE), pp 1–4, (indexed in Scopus)
- [A3] **Markova V.**, Markov M. and Ganchev T., 2022, An automated identification of mental workload in a person-independent setup, International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, 10, pp 30-38, open access journal (<https://iraj.doionline.org/dx/IJEEDC-IRAJ-DOIONLINE-19066>)
- [A4] **Markov M.** and Ganchev T., 2022, Intelligent human-machine interface framework International, Journal of Advances in Electronics and Computer Science, 9, pp 41-46, open access journal (<https://iraj.doionline.org/dx/IJAECs-IRAJ-DOIONLINE-19057>)
- [A5] **Markov M.**, Workflow adaptation for intelligent human-machine interfaces, Computer Science and Technologies journal, Technical University of Varna 1/ 2022 pp 51-58, open access journal (<http://csejournal.cs.tu-varna.bg/>)

## СПИСЪК НА ПРОЕКТИТЕ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- [П1]. КП-06-Н37/1 Ергономично изследване на работната среда чрез иновативни компютърни модели с цел превенция на мускулно-скелетни смущения, финансиран от „Фонд Научни изследвания“
- [П2]. КП-06-Н37/18 Изследване на възможностите за развитие на интелигентни интерфейси човек-машина в посока разпознаване на рискови когнитивни и емоционални състояния, финансиран от „Фонд Научни изследвания“

## **ABSTRACT**

**Dissertation Title: Research on the opportunities for advancement of intelligent human-machine interfaces**

**by Miroslav Veskov Markov**

The current dissertation researches, further develops and summarizes the achievements in the field of intelligent human-machine interfaces, as well as the technologies related to them, and also formulates a framework for the development of these interfaces, as a basis of future intelligent systems. The conceptual framework created in Chapter 2 provides an effective, unified approach to the implementation of adaptive systems with a wide scope of application. By adding emotional intelligence related to "sensing" and "understanding" of the human state-of-mind by the machine, the framework paves the way for creation of human-machine systems using the potential of the user to increase their effectiveness, by simultaneously providing maximum comfort for the human factor, due to adaptability with regard to the three components of the interaction (man-machine-context).

The integration of a variety of intelligent multimodal sensors and algorithms systematized through iHMIf and the workflow adaptation (Chapter 2) enables the design and creation of interfaces capable of interpreting human intentions, emotions and preferences, leading to more effective and personalized interactions. These interfaces gain the ability to adapt to individual users, learn from their behavior and proactively anticipate their needs. As a result, users can communicate, control and collaborate with machines in a more natural and easy way. The research conducted in Chapters 3 and 4 validates the functionality of the conceptual framework demonstrating the potential for application in a wide range of areas, including education, healthcare, manufacturing, as well as various aspects of human-machine interaction – computing and mobile applications, robotic systems, etc.