

Název projektu „Inovativní systém využití virtuální reality a simulovaných modelových případů bezpečnostního charakteru usnadňující výcvik a reakci příslušníků policie v rizikových situacích“ **s identifikačním kódem:** VK01020196

Název předkládaného výsledku:

SW systému záznamu fyziologických dat pro určení psychického stavu

Typ výsledku dle Definice druhů výsledků	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
R - Software	ID: 387875	2025
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno

Anotace k výsledku:

Vyvinutý software představuje modulární aplikační systém určený ke kontinuálnímu sběru, zpracování a distribuci multimodálních fyziologických dat za účelem hodnocení psychického a fyziologického zatížení uživatele. Software je vyvinut jako nástroj pro sledování psychického stavu subjektů v prostředí virtuální a rozšířené reality. Systém pracuje s daty srdeční aktivity (EKG), volitelně s elektrodermální aktivitou (EDA) a pohybovými daty (IMU) a je navržen pro využití v laboratorních, experimentálních i aplikačních podmínkách. Software podporuje online i offline režim provozu, poskytuje agregované výstupy v reálném čase prostřednictvím standardizovaného komunikačního rozhraní a umožňuje archivaci surových i zpracovaných dat pro následnou analýzu. Architektura systému je vícevrstvá a modulární, umožňuje integraci různých typů senzorických zařízení prostřednictvím bezdrátového rozhraní BLE i síťové komunikace na bázi IP protokolu a odděluje sběr dat od jejich zpracování a vyhodnocení. Součástí softwaru jsou moduly pro hodnocení kognitivní a stresové zátěže založené na metodách strojového učení a modul pro automatické hodnocení kvality signálu.

Řešitelský tým:

Jan Hejda, Petr Volf, Marek Sokol, Patrik Kutílek

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JC - Počítačový hardware a software

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

SW systému záznamu fyziologických dat pro určení psychického stavu

Název výsledku anglicky:

Software system for recording physiological data for determining mental state

Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu:

Softwarová aplikace využívající metod umělé inteligence bude sloužit jako pomocný nástroj pro hodnocení psychického stavu sledovaných osob. Bude založena na hodnocení kognitivní zátěže. Aplikace bude z hlediska psychické zátěže schopna v reálném čase analyzovat fyziologická data a odhadnout psychickou zátěž pomocí metody umělé inteligence – konvoluční neuronové sítě. Současně budou hodnoty parametrů reprezentujících psychickou zátěž předávána systému VR pro adaptaci scénářů v reálném čase.

Abstrakt k výsledku česky:

Vyvinutý software představuje modulární aplikační systém určený ke kontinuálnímu sběru, zpracování a distribuci multimodálních fyziologických dat za účelem hodnocení psychického a fyziologického zatížení uživatele. Software je vyvinut jako nástroj pro sledování psychického stavu subjektů v prostředí virtuální a rozšířené reality. Systém pracuje s daty srdeční aktivity (EKG), volitelně s elektrodermální aktivitou (EDA) a pohybovými daty (IMU) a je navržen pro využití v laboratorních, experimentálních i aplikačních podmínkách. Software podporuje online i offline režim provozu, poskytuje agregované výstupy v reálném čase prostřednictvím standardizovaného komunikačního rozhraní a umožňuje archivaci surových i zpracovaných dat pro následnou analýzu. Architektura systému je vícevrstvá a modulární, umožňuje integraci různých typů senzorických zařízení prostřednictvím bezdrátového rozhraní BLE i síťové komunikace na bázi IP protokolu a odděluje sběr dat od jejich zpracování a vyhodnocení. Součástí softwaru jsou moduly pro hodnocení kognitivní a stresové zátěže založené na metodách strojového učení a modul pro automatické hodnocení kvality signálu.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The developed software represents a modular application system designed for the continuous acquisition, processing, and distribution of multimodal physiological data for the assessment of the user's psychological and physiological workload. The software has been developed as a tool for monitoring the mental state of subjects in virtual and augmented reality environments. The system processes cardiac activity data (ECG), optionally electrodermal activity (EDA), and motion data (IMU), and is intended for use in laboratory, experimental, and applied settings. The software supports both online and offline operation, provides aggregated real-time outputs via a standardized communication interface, and enables the archiving of raw and processed data for subsequent analysis. The system architecture is multi-layered and modular, allowing the integration of various types of sensing devices via Bluetooth Low Energy (BLE) as well as IP-based network communication, and separating data acquisition from processing and evaluation. The software includes modules for assessing cognitive and stress workload based on machine learning methods, as well as a module for automatic signal quality assessment.

Klíčová slova česky:

MoveSense, EKG/EDA, kognitivní zátěž, stres, MQTT, virtuální realita

Klíčová slova anglicky:

MoveSense, ECG/EDA, cognitive load, stress, MQTT, virtual reality

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze
XR Institute s.r.o.

Lokalizace: Plzeň

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Technické parametry:

Typ systému: modulární

Programovací jazyk: Python

Podporované operační systémy: Windows, Linux

Podporované senzory: MoveSense MD, EKG/EDA původní senzor projektu VK01020196

Výstupy: EKG/EDA metriky

Integrace AI: modul pro hodnocení kvality signálu a kognitivní zátěže

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč

Charakteristika software

Vytvořený software představuje původní modulární aplikační systém určený ke kontinuálnímu sběru, zpracování a distribuci fyziologických dat za účelem hodnocení psychického a fyziologického zatížení uživatele. Software umožňuje práci s daty srdeční aktivity (EKG), volitelně s elektrodermální aktivitou (EDA) a pohybovými daty (IMU), a je navržen pro použití v laboratorních i aplikačních podmínkách. Systém podporuje online i offline režim provozu. V online režimu poskytuje agregované výstupy v reálném čase prostřednictvím standardizovaného komunikačního rozhraní pro napojení na nadřazené vizualizační nebo simulační systémy (např. virtuální realitu). V offline režimu umožňuje lokální ukládání naměřených a zpracovaných dat pro následné vědecké, klinické nebo experimentální vyhodnocení.

Software je navržen s důrazem na modularitu a rozšiřitelnost a umožňuje integraci jak komerčně dostupných senzorických zařízení, tak proprietárních měřicích systémů. Architektura systému odděluje část zajišťující sběr dat od částí realizujících jejich zpracování a vyhodnocení, což umožňuje flexibilní přizpůsobení různým výzkumným scénářům a typům experimentů.

Účel a funkce software

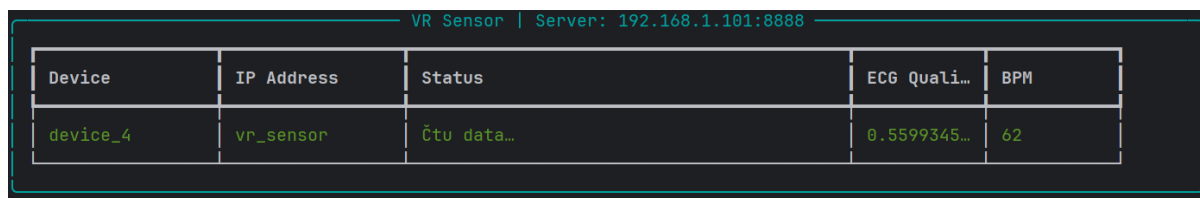
Účelem software je automatizované vyhodnocování vybraných fyziologických ukazatelů a jejich transformace do přehledných výstupních metrik popisujících aktuální stav uživatele.

Mezi hlavní poskytované výstupy patří zejména:

- určení tepové frekvence,
- indikace pohybové aktivity,
- odhad kognitivní zátěže,
- orientační indikátor stresové zátěže (v případech, kdy jsou dostupná odpovídající vstupní data).

Výstupy jsou poskytovány v podobě agregovaných datových zpráv vhodných pro další automatizované zpracování nebo vizualizaci. Současně je podporován záznam surových i zpracovaných dat pro potřeby zpětné analýzy, validace metod a dlouhodobého sledování.

Na základě zvolené konfigurace software podporuje různé způsoby připojení senzorických zařízení a umožňuje jejich inicializaci a kontrolu stavu. Po spuštění aplikace jsou uživateli k dispozici základní informace o připojení měřicích zařízení a o dostupnosti vstupních fyziologických signálů (Obr. 1), což umožňuje ověření správné funkce systému před zahájením měření.



Device	IP Address	Status	ECG Quali...	BPM
device_4	vr_sensor	Čtu data...	0.5599345...	62

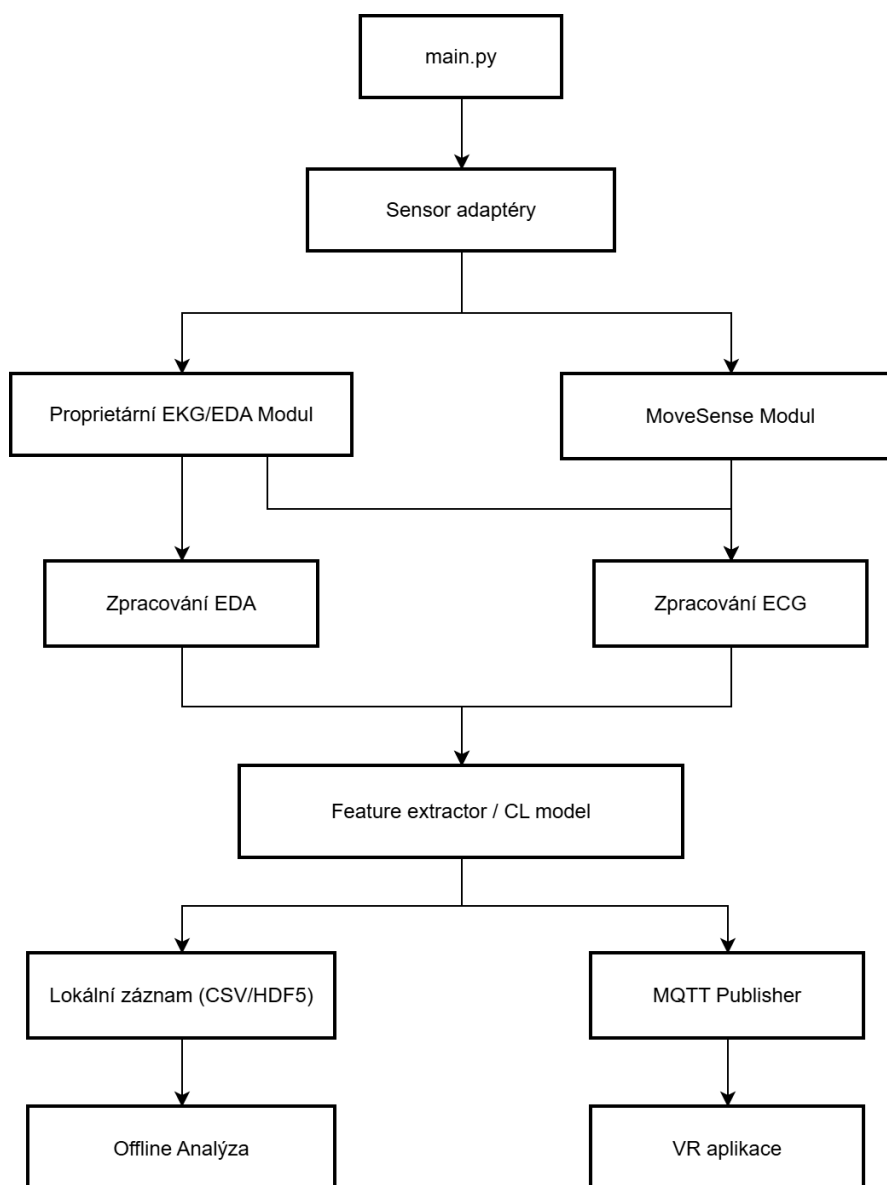
Obr. 1 Základní textové okno informující o připojení senzoru a zpracování dat.

Charakteristika architektury

Software je realizován jako vícevrstvý modulární systém (Obr. 2), který zahrnuje:

- řídicí vrstvu zajišťující konfiguraci a koordinaci jednotlivých částí,
- vrstvu senzorických adaptérů umožňující komunikaci s různými typy měřicích zařízení,
- zpracovatelskou vrstvu pro výpočet fyziologických ukazatelů,
- výstupní vrstvu zajišťující distribuci výsledků a jejich archivaci.

Takto koncipovaná architektura umožňuje snadnou údržbu, rozšíření o nové typy senzorů nebo vyhodnocovacích metod a nasazení v různých aplikačních kontextech.



Obr. 2 Softwarová architektura multimodálního měřicího software.

Komunikační architektura a připojení senzorů

Architektura systému je navržena tak, aby podporovala více komunikačních rozhraní pro připojení senzorických zařízení, čímž je zajištěna flexibilita nasazení v různých provozních a experimentálních podmínkách. V rámci vrstvy senzorových adaptérů jsou podporovány dva odlišné komunikační principy, odpovídající charakteru použitých zařízení.

Připojení senzoru MoveSense (BLE)

Senzorický modul MoveSense je připojován prostřednictvím bezdrátového rozhraní Bluetooth Low Energy (BLE). Tento způsob komunikace je vhodný zejména pro mobilní scénáře a laboratorní experimenty, kde je požadována nízká energetická náročnost senzoru a přímá vazba mezi snímacím zařízením a hostitelským systémem.

V architektuře systému je BLE komunikace zcela zapouzdřena v rámci příslušného senzorového adaptéru, který zajišťuje:

- navázání spojení se senzorem,
- kontinuální příjem datových vzorků,
- převod přijatých dat do jednotné interní reprezentace.

Z pohledu vyšších vrstev systému (zpracování signálů, výpočet metrik) je zdroj dat transparentní a není nutné rozlišovat, zda data pocházejí z BLE zařízení či z jiného typu připojení.

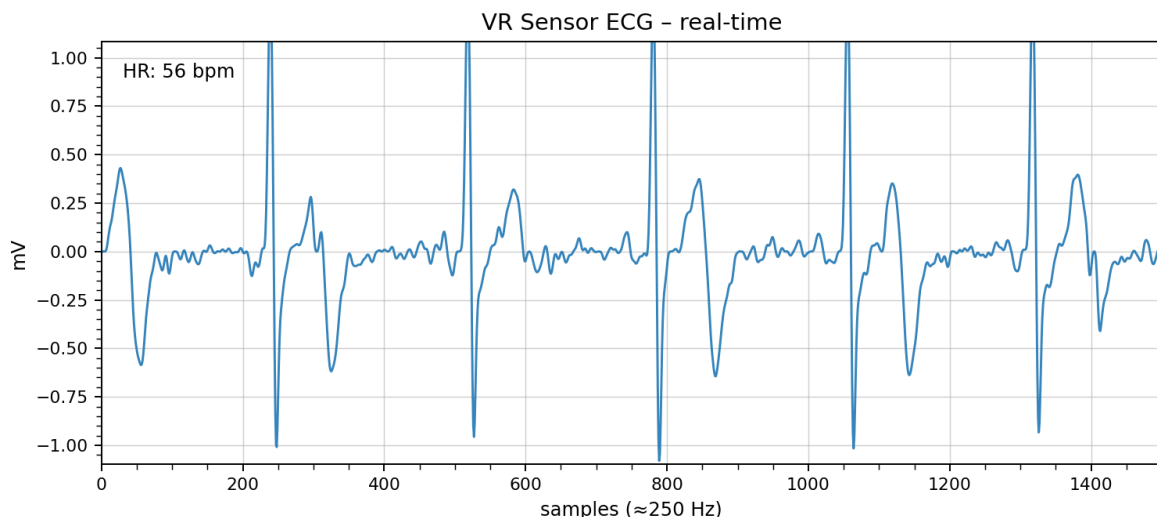
Připojení proprietárního EKG/EDA senzoru (IP / Wi-Fi)

Na rozdíl od BLE senzoru je proprietární EKG/EDA senzor připojován prostřednictvím síťové komunikace na bázi IP protokolu. V tomto režimu popisovaný software vystupuje jako IP server, který přijímá datové toky odesílané senzorem.

Software standardně naslouchá na definovaném síťovém portu (výchozí konfigurace: port 8888) a zajišťuje:

- příjem datových paketů od senzoru,
- jejich časové zařazení a základní kontrolu integrity,
- předání dat do zpracovatelské části systému.

Senzor EKG/EDA (Obr. 3) je v tomto scénáři připojen k lokální síti prostřednictvím bezdrátového rozhraní Wi-Fi a odesílá naměřená data přímo na IP adresu zařízení, na němž běží software. Komunikace tedy není závislá na kvalitě BLE spojení, ale pouze na dostupnosti a stabilitě síťové infrastruktury.



Obr. 3 Ukázka EKG analyzovaného signálu z vyvinutého software a senzoru.

Přínos kombinace BLE a IP připojení

Kombinace obou přístupů v rámci jedné architektury přináší významné praktické výhody:

- **Zvýšená robustnost v náročném prostředí** – IP/Wi-Fi připojení umožňuje provoz i ve scénářích, kde je BLE signál omezený, nestabilní nebo rušený (např. větší prostory, více zařízení, experimentální haly).
- **Větší dosah komunikace** – připojení přes síťovou infrastrukturu není omezeno typickým dosahem BLE.
- **Oddělení rolí klient–server** – software vystupuje jako centrální sběrný bod (server), ke kterému se senzor aktivně připojuje a odesílá data.
- **Jednotné zpracování dat** – navzdory rozdílným komunikačním protokolům jsou data po vstupu do vrstvy senzorových adaptérů zpracovávána shodným způsobem.

Toto řešení umožňuje nasazení systému jak v jednoduchých laboratorních podmínkách, tak i ve složitějších experimentálních nebo aplikačních scénářích, kde je klíčová stabilita spojení a možnost provozu na větší vzdálenosti.

Vztah ke zbytku architektury

Z pohledu celkové architektury se rozdíl v komunikačním rozhraní projevuje pouze ve vstupní části systému (senzorové moduly). Následné kroky – zpracování EKG a EDA, extrakce příznaků, hodnocení kognitivní a stresové zátěže, online publikace a offline archivace – jsou již nezávislé na použitém způsobu připojení senzoru.

Tím je zajištěno, že architektura systému zůstává konzistentní, rozšiřitelná a dlouhodobě udržitelná, a že případné budoucí rozšíření o další typy senzorů nebo komunikačních rozhraní nevyžaduje zásadní zásah do jádra systému.

Modul hodnocení kognitivní a stresové zátěže

Součástí softwarového systému je specializovaný modul pro hodnocení kognitivní zátěže uživatele, který vychází z analýzy časových průběhů fyziologických signálů. Modul je navržen jako samostatná výpočetní komponenta integrovaná do celkové architektury systému a využívá metody strojového učení aplikované na předzpracovaná vstupní data.

Základní implementace modulu je založena na konvolučních neuronových sítích (CNN), které umožňují automatickou extrakci relevantních charakteristik ze signálu bez nutnosti explicitního ručního návrhu příznaků. Hodnocení kognitivní zátěže je realizováno nad časovým oknem délky do max. 30 sekund, což představuje kompromis mezi dostatečnou informační hodnotou vstupních dat a požadavky na časovou odezvu systému. Modul je navržen tak, aby byl modelově nezávislý, tj. umožňuje použití alternativních výpočetních modelů pro odhad kognitivní i stresové zátěže. Architektura softwaru podporuje nahrazení či rozšíření stávajícího modelu jinými přístupy, například modely založenými na jiných typech neuronových sítí, statistických metodách nebo kombinaci více vstupních modalit. Tato vlastnost zajišťuje dlouhodobou udržitelnost systému a jeho využitelnost v různých výzkumných projektech s odlišnými metodickými požadavky.

V případě hodnocení stresové zátěže systém kombinuje výstupy modulu kognitivní zátěže s dalšími fyziologickými indikátory, zejména s elektrodermální aktivitou, pokud je k dispozici. Výsledný stresový indikátor je chápán jako orientační ukazatel zatížení, určený především pro experimentální, výzkumné a aplikační scénáře.

Díky této koncepci lze software využít jak v režimu s pevně definovanými modely, tak i jako experimentální platformu pro testování a porovnávání různých přístupů k hodnocení psychického zatížení, včetně možnosti jejich následné validace na uložených datech.

Modul hodnocení kvality signálu

Při měřeních EKG resp. EDA může docházet k celé řadě nepřesností a chyb, způsobených například pohybovými artefakty, zhoršeným kontaktem elektrod nebo rušením prostředí. Pokud nejsou tyto stavy včas rozpoznány, mohou vést ke zkreslení odvozených výsledků.

Z tohoto důvodu je součástí softwarového systému AI modul pro automatické hodnocení kvality signálu. Modul pracuje s předpokladem tří základních úrovní kvality signálu, které jsou definovány podle míry použitelnosti pro detekci relevantních srdečních segmentů. Hodnocení kvality je prováděno průběžně během měření a slouží jako vstupní kritérium pro další vyhodnocování.

Pro hodnocení kvality signálu jsou využívány modely založené na principech konvolučních neuronových sítí a rekurentních architektur typu LSTM. Vyhodnocení probíhá nad krátkými časovými úseky signálu pomocí posuvného okna; výsledky jednotlivých oken jsou následně agregovány tak, aby bylo možné stanovit kvalitu i pro delší záznamy. Navržené modely dosahují vysoké spolehlivosti zejména při identifikaci kvalitního signálu. V případě binárního rozlišení kvality vykazují velmi vysokou přesnost při označení signálu jako vyhovujícího, což

poskytuje praktickou garanci, že takto označený signál je skutečně vhodný pro další zpracování.

Výstupy modulu hodnocení kvality signálu jsou v architektuře systému využívány jako řídicí mechanismus pro zobrazování a publikaci vyšších metrik, zejména kognitivní a stresové zátěže. Pokud je kvalita signálu vyhodnocena jako nedostatečná, tyto metriky nejsou určeny ani zobrazovány, aby nedocházelo k prezentaci zavádějících nebo metodicky neodůvodněných hodnot. Ukázka zaznamenaných určených parametrů je uvedena v Tab. 1.

Tab. 1 Ukázka výstupů zaznamenaných parametrů z vytvořeného software

Time	CogLoad	Stress	Quality	HR	RR	EDA
13:27:00	1	1	0,99	82	732	2,1
13:27:02	1	1	0,99	83	723	2,1
13:27:04	1	1	0,99	84	714	2,2
13:27:05	1	1	1,00	83	723	2,2
13:27:07	1	1	0,99	82	732	2,2
13:27:09	1	1	0,98	81	741	2,2
13:27:10	1	1	1,00	81	741	2,4
13:27:12	1	1	0,99	81	741	2,3
13:27:14	1	1	0,99	83	723	2,3
13:27:16	1	1	0,98	85	706	2,3
13:27:17	1	1	0,99	84	714	2,2
13:27:19	1	1	0,99	84	714	2,1
13:27:21	1	1	0,98	81	741	2,1
13:27:22	1	1	0,99	82	732	2,1
13:27:24	1	1	0,99	83	723	2,1
13:27:26	1	1	0,99	83	723	2,1
13:27:28	1	1	0,99	82	732	2,2
13:27:29	1	1	0,99	82	732	2,2
13:27:31	1	1	0,99	82	732	2,2
...	...	...	...	...	...	...

Kde jednotlivé sloupky:

Time:

Časová značka (hh:mm:ss) reprezentující okamžik generování výstupu. Slouží k synchronizaci jednotlivých metrik mezi sebou i s externími systémy (např. virtuální realitou nebo simulačním prostředím).

CogLoad (Cognitive Load):

Binární indikátor kognitivní zátěže uživatele, vypočtený na základě analýzy fyziologických signálů pomocí modelu strojového učení. Hodnota:

1 – detekována zvýšená kognitivní zátěž,

0 – kognitivní zátěž nebyla detekována.

Stress:

Binární indikátor stresové zátěže, odvozený kombinací výstupů modulu kognitivní zátěže a dalších fyziologických ukazatelů (zejména EDA, pokud je k dispozici). Hodnota:

1 – indikována stresová zátěž,

0 – stresová zátěž nebyla indikována.

Quality:

Normalizovaný ukazatel kvality vstupního signálu v rozsahu $\{0; 1\}$, vypočtený modulem automatického hodnocení kvality signálu založeným na metodách umělé inteligence. Hodnoty blízké 1,00 indikují vysokou kvalitu signálu vhodnou pro další vyhodnocování, zatímco nižší hodnoty signalizují přítomnost artefaktů nebo sníženou spolehlivost měření.

HR (Heart Rate):

Tepová frekvence vyjádřená v tepech za minutu (bpm), vypočtená z EKG signálu. Hodnota představuje okamžitý nebo krátkodobě agregovaný odhad srdeční aktivity.

RR:

Délka RR intervalu vyjádřená v milisekundách (ms), odpovídající časovému odstupu mezi dvěma po sobě následujícími R-vlnami v EKG signálu. Parametr je využíván jak pro výpočet HR, tak jako vstup pro další analýzy variability srdeční frekvence.

EDA (Electrodermal Activity):

Hodnota elektrodermální aktivity vyjádřená v mikrosiemensech (μS), sloužící jako indikátor aktivace autonomního nervového systému a podpůrný vstup pro odhad stresové zátěže.

Oblast využití

Software je určen především pro:

- výzkumné a vývojové aktivity v oblasti biomedicínského inženýrství,
- experimentální hodnocení psychického a fyziologického zatížení,
- podporu adaptivních systémů (např. simulátory, VR aplikace),
- sběr dat pro následné statistické a modelové analýzy.
- Systém není určen k přímé klinické diagnostice, ale slouží jako výzkumný a podpůrný nástroj.

Shrnutí přínosu

Výsledný software představuje komplexní nástroj pro integraci fyziologických měření, jejich zpracování a další využití, který přispívá k rozvoji metod hodnocení psychického zatížení v experimentálním a aplikačním výzkumu. Díky modulární architektuře a podpoře standardních rozhraní je systém opakovaně využitelný v různých výzkumných projektech.

Výsledek je založen na původních výsledcích výzkumu a vývoje, které byly uskutečněny autorským týmem v rámci řešení projektu, zejména v oblasti návrhu modulární vícevrstvé architektury, integrace heterogenních senzorických zdrojů (BLE a IP komunikace) a vývoje

nových algoritmických postupů pro hodnocení kognitivní a stresové zátěže uživatele. Klíčovým prvkem novosti je implementace a experimentální ověření algoritmů založených na metodách strojového učení (konvoluční neuronové sítě, LSTM) pro automatickou extrakci příznaků z fyziologických signálů a pro hodnocení kvality signálu v reálném čase.

Software přináší prokazatelný prvek novosti a technického pokroku v oblasti počítačových programů, spočívající zejména ve vývoji nových a účinnějších algoritmů pro zpracování a interpretaci multimodálních fyziologických dat a v jejich integraci do jednotného softwarového systému umožňujícího online adaptaci nadřazených aplikačních systémů typu virtuální reality. Jádrem systému tvoří originální architektonický a algoritmický návrh. Tento přístup vede ke zvýšení objemu znalostí v oblasti automatizovaného hodnocení psychického zatížení a představuje výzkumný přínos nad rámec pouhého aplikačního využití existujících metod.