

Zall JIHLAVAN airplanes, s.r.o.

SOFTWARE

**SOFTWARE EXPERTNÍHO SYSTÉMU S UMĚLOU
INTELIGENCÍ PRO AUTOMATICKOU PRESELEKCI A
SCREENING PILOTŮ**

FW01010444-V3

Autor:

Ing. Petr Ondra

Mgr. Karol Rydlo

Ing. Ivo Maceček

Ing. Martin Prachař

doc. Ing. Patrik Kutílek, Ph.D.

Ing. et Ing. Jan Hejda, Ph.D.

Bc. Ján Hýbl

Ing. Aleksei Karavaev

Program TAČR: TREND 1

Číslo projektu: FW01010444

**Název projektu: Vývoj a výzkum syntetického zařízení s umělou inteligencí
pro automatickou preselekcí a screening pilotů.**

Identifikační číslo výsledku: FW01010444-V3

Typ výsledku: R

Odpovědný pracovník: Ing. Petr Ondra, (Zall JIHLAVAN airplanes, s.r.o.)

PRAHA, PROSINEC 2021

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JC - Počítačový hardware a software

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Software expertního systému s umělou inteligencí pro automatickou preselekcii a screening pilotů

Název výsledku anglicky:

Expert system software with artificial intelligence for automatic pre-selection and screening of pilots

Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu FW01010444-V3:

Software (R), který umožní speciálně vyvinutými algoritmy, založenými na umělé inteligenci, preselekcii a screening pilotů během výcviku na leteckém trenažéru. Software bude založeno na modulech pro hodnocení dat z biomedicínských monitorovacích systémů/senzorů, letových parametrů a dat nastavení řídicích prvků leteckého trenažéru.

Abstrakt k výsledku česky:

Software umožňuje vyvinutými algoritmy záznam a hodnocení měřených dat ze zařízení pro monitoring letových a biotelemetrických dat pilotů a ukládání dat pro další vyhodnocení s využitím metod umělé inteligence. Software pro zpracování dat využívá modulární struktury hodnocení dat z biomedicínských monitorovacích systémů/senzorů, letových parametrů a dat nastavení řídicích prvků leteckého trenažéru. Software je určen pro preselekcii a screening pilotů během výcviku na leteckém trenažéru.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The software is based on developed algorithms for recording and evaluation of measured data from equipment for monitoring flight and biotelemetric data of pilots and data storage for further evaluation using artificial intelligence methods. The data processing software uses modular structures to evaluate data from biomedical monitoring systems / sensors, flight parameters and flight simulator control data. The software is designed for pre-selection and screening of pilots during training on the flight simulator.

Klíčová slova česky:

biotelemetrická data, letecký trenažer, umělá inteligence, pilot

Klíčová slova anglicky:

biotelemetry data, flight simulator, artificial intelligence, pilot

Vlastník výsledku:

Zall JIHLAVAN airplanes, s.r.o. (IČO 26959160)

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700)

Lokalizace: Zall JIHLAVAN airplanes, s.r.o.

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Trh obsahuje pouze nesespecializované, a tedy pro monitoring pilotů nevhodné softwary pro uplatnění v preselekcii a screening pilotů během výcviku na leteckém trenažeru. Současné komerčně dostupné softwary neumožňují záznam a zpracování dat využitím metod umělé inteligence využívající expertních znalostí pro určení vycvičenosti pilota. Realizace se zaměřuje na software optimalizovaný pro preselekcii a screening pilotů využitím dat ze zařízení pro monitoring letových a biotelemetrických dat pilotů. Obdobný software není na trhu dostupný. Ekonomické přínosy vyplývají z možnosti diagnostiky pilotů prostřednictvím vytvořeného software, což povede ke zkrácení výcviku a zvýšení bezpečnosti letecké dopravy.

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč.

Popis software

Software umožňuje hodnotit data testovaného subjekt na leteckém trenažeru, na kterém subjekt vykonává let dle pokynů řídicího systému, a postupně se zvyšuje psychická a fyzická zátěž pilota a navozují se krizové situace a nestandardní situace. Software umožní zpracovat pilotovy reakce a biometrické údaje. Software poskytuje z každého měření protokol se zhodnocením výsledků stavu pilota. Software primárně slouží jako pomocný nástroj pro hodnocení psychického stavu pilotů v průběhu výcviku a testů v prostředí leteckého simulátoru.

Synchronní záznam obličeje kamerou

Spustitelný soubor pro automatickou konfiguraci kamery spouští a řídí kameru. Spustitelný soubor dále zajišťuje synchronní záznam videa s biotelemetrickými a trenažerovými daty. Knihovna OpenCV (<https://opencv.org/>) je využita pro záznam a zpracování obrazu,

Jako formát pro ukládání videí je určen MJPEG, který umožňuje plynulé paralelní ukládání záznamů na řídicí počítač trenažeru. Empiricky ověřená snímkovací frekvence byla stanovena na 25 snímků za vteřinu.

Nahrávání a správa záznamů dat

Softwarová aplikace pro nahrávání a správu záznamů dat je implementovaná v Python. Aplikace umožňuje dávkové zpracování naměřených dat, vzhledem ke své výpočetní náročnosti není možná analýza v reálném čase. Úlohy jsou aplikací zpracovávány jako fronta. Aplikace umožňuje 3 uživatelské role:

- Administrátor - umožňuje kompletní správu systému, včetně všech uživatelů a jejich jednotlivých úloh,
- Instruktor - spravuje své žáky a jejich úlohy,
- Pilot - nahrává a prohlíží své úlohy.

Uživatel-pilot po přihlášení vidí seznam svých nahraných a zpracovaných úloh určených pro instruktora. Dále má uživatel možnost prohlížet výsledky zpracování.

Předzpracování záznamů

Spustitelný soubor přečte obsah zadané složky s uloženými videi zaznamenanými biotelemetrickými a trenažerovými daty a automaticky hledá ještě nezpracované záznamy, které po nalezení zpracuje.

Spustitelný soubor postupně automaticky zpracovává každý záznam. Software využívá pro zpracování matematických modelů, které jsou natrénovány pomocí neuronových sítí. Spustitelným souborem určené matice zpracovaných a synchronizovaných dat je ukládány pro následnou analýzu s využitím prostředí Python. Platforma TensorFlow (<https://www.tensorflow.org/>) je použita pro tvorbu algoritmů využívajících metod umělé inteligence.

Interpretace uložených dat

Spustitelný soubor umožňující interpretaci uložených dat o psychickém stavu subjektu během plnění jednotlivých úloh. Vstupem do aplikace je datová matice a složka s jednotlivými datovými záznamy.

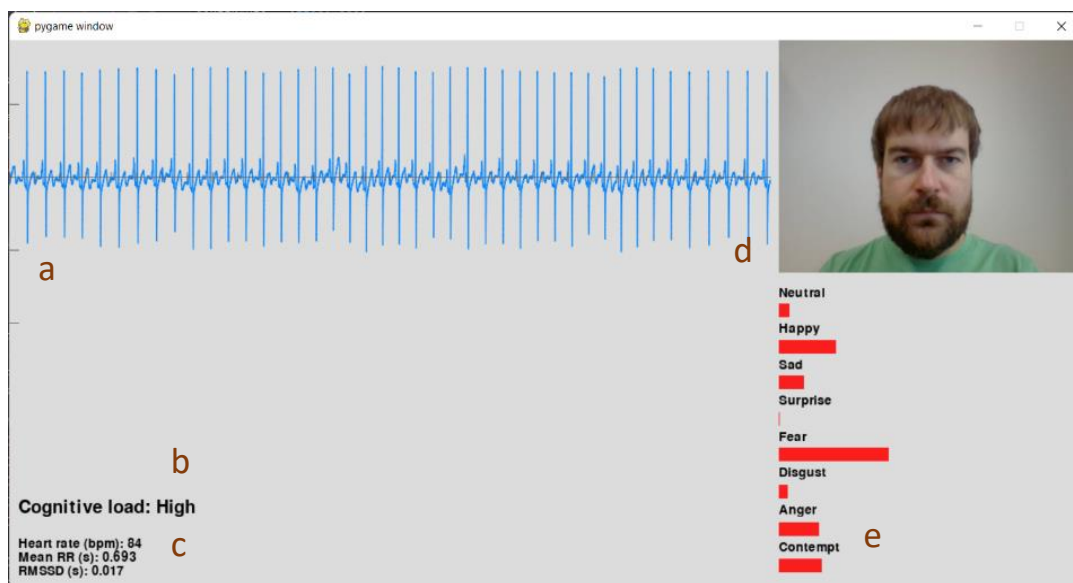
Spustitelný soubor se samostatně nakonfiguruje načtenými vstupními parametry pro zpracování dat konkrétní úlohy. Uživatelské rozhraní zobrazuje datové záznamy doplněné o videozáznam. Na pravé straně uživatelského rozhraní je videozáznam a pod ním je uveden psychický stav subjektu – nálada a kognitivní zátěž. Stav subjektu je také prezentován kvantitativně, tj. nálada a kognitivní zátěž jsou prezentovány vypočtenými parametry z EKG a videozáznamu, tyto jsou prezentovány také grafy. Aplikace je vytvořena v anglickém jazyce. Dále software prezentuje vývoj parametrů v čase pomocí grafů, grafy ukazují průběžně vývoj hodnot parametrů a umožňuje hodnotit vývoj parametrů ve vztahu k letovým parametrům, tj. trenažerovým datům. Pro vizualizace je využit framework pygame (<https://www.pygame.org/>).

Výstupní parametry umožňují hodnocení psychického stavu pilota během provádění úlohy a jsou přístupné prostřednictvím PC instruktorovi na serveru, a to včetně kompletních videozáznamů.

Software je založen na hodnocení kognitivní zátěže a výrazu tváře indikující relativní příslušnost k jedné z osmi sledovaných emocí. Bylo zjištěno, že vysoká kognitivní zátěž může negativně ovlivnit deliberativní rozhodování [1],

kteřé vyžaduje simultánní zvážení většího množství podnětů a okolností. Tato vlastnost je nutnou součástí praxe při pilotování letadla. Proto objektivní hodnocení kognitivní zátěže může sloužit jako jeden z prostředků pro evaluaci schopností pilota, efektu výcviku a osvojení si činností spojených s řízením letadla [2]. Byla pozorována významná vazba mezi kognicí a autonomním nervovým systémem [3], který má mimo jiné významný vliv na srdeční aktivitu, především srdeční frekvenci a její variabilitu (HRV) [4]. Z toho důvodu jsou HRV parametry používány při hodnocení kognitivní zátěže.

Předmětná aplikace (Obr. 1) je z hlediska kognitivní zátěže schopna v reálném čase analyzovat EKG křivku (a), zobrazit její základní parametry v průběhu 30 sekundového okna a odhadnout kognitivní zátěž pomocí metody umělé inteligence – konvoluční neuronové sítě (c). Aplikace pracuje s délkou okna 30 sekund, která byla zvolena na základě studie [5] a optimálních výsledků zjištěných při experimentech realizovaných během trénování neuronové sítě.



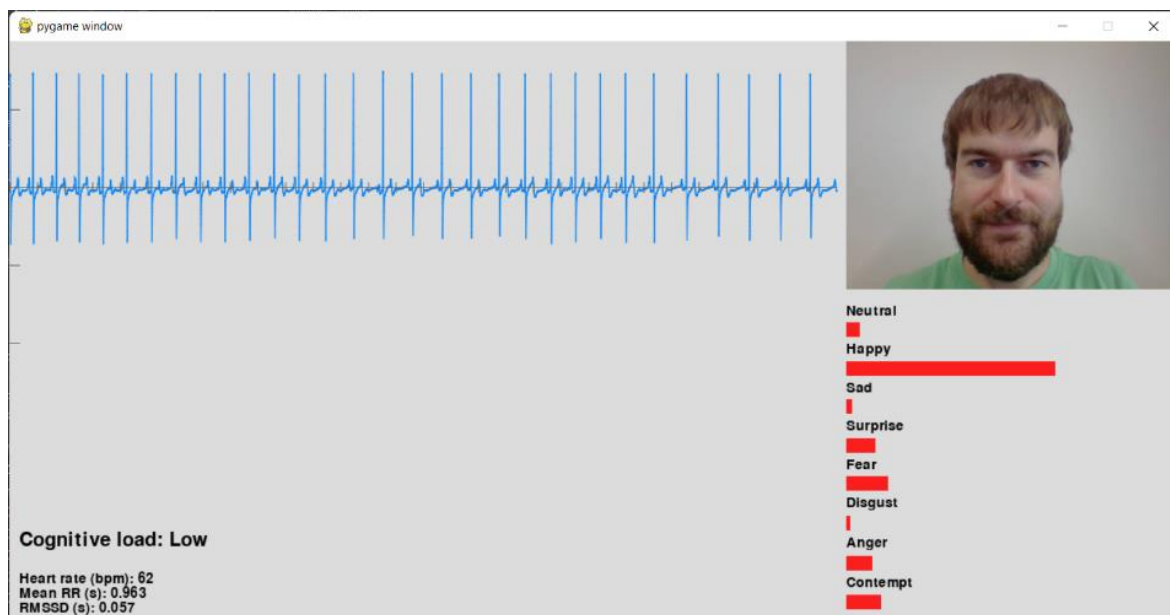
Obr. 1: Okno aplikace při vysoké kognitivní zátěži zobrazující (a) EKG křivku, (b) odhad kognitivní zátěže pomocí neuronové sítě, (c) základní HRV parametry, (d) obraz z kamery, (e) příslušnost detekovaného obličeje k jednotlivým emocím

Pro automatizovanou analýzu kognitivní zátěže byla zvolena konvoluční neuronová síť (CNN) natrénovaná na datasetech WESAD [6] a CLAS [7]. U datasetu WESAD byl použit EKG signál o vzorkovací frekvenci 700 Hz zaznamenaný pomocí zařízení RespiBAN [8] a v případě datasetu CLAS byl pro trénink neuronové sítě použit EKG signál o vzorkovací frekvenci 256 Hz

zaznamenaný pomocí zařízení Shimmer3 ECG Unit [9]. Všechna data byla jak pro trénink neuronové sítě, tak i analýzu v reálném čase převzorkována na frekvenci 512 Hz, zpracována pomocí hornopropustního 1 Hz Butterworthova filtru a standardizována směrodatnou odchylkou. Jako referenční úseky s vysokou kognitivní zátěží byly na základě experimentů zvoleny 30 sekundové úseky, ve kterých účastníci řešili Stroopův test [10] a výpočetní a logické úlohy. Jako nízká kognitivní zátěž byly označeny kontrolní úseky, ve kterých účastníci neplnili žádné úlohy.

Použitá neuronová síť vykazuje v detekci vysoké kognitivní zátěže přesnost 93 %, senzitivitu 98 % a specifitu 84 %.

Na Obr. 1-2 jsou znázorněna okna aplikace při detekci vysoké, případně nízké kognitivní zátěže.



Obr. 2: Okno aplikace při nízké kognitivní zátěži

Dalším nástrojem pro hodnocení psychického stavu pilota je evaluace jeho aktuálních emocí, respektive jejich projevů ve výrazu tváře, pomocí metod umělé inteligence. Na Obr. 1 je okno aplikace se snímkem tváře probanda (d) aktualizovaným v reálném čase z kamery umístěné v jeho zorném poli a odhad příslušnosti jeho výrazu k jedné z osmi možností (e), mezi které patří: štěstí, smutek, překvapení, strach, znechucení, zlost, opovržení a neutrální výraz.

Algoritmus pro hodnocení výrazu tváře je založen na využití konvoluční neuronové sítě natrénované na datasetu AffectNet [11], který obsahuje

450 000 snímků lidských obličejů stažených z volně dostupných zdrojů na internetu. Tyto snímky byly následně anotovány experty, kteří mimo jiné klasifikovali výrazy obličejů k jedné z osmi emocí vyjmenovaných výše. Vytvořený model dosahuje přesnosti kolem 60 % na datasetech s rovnoměrným zastoupením jednotlivých výrazů tváře

Aplikace v reálném čase poskytuje fyziologická a psychologická data, která mohou být využita při hodnocení schopnosti pilota ovládat letadlo, případně sledovat její vývoj v průběhu v tréninku. Software na počítače je učený pro využití v preselekcii a screening pilotů během výcviku na leteckém trenažéru a je realizovaný původní výsledek výzkumu a vývoje, projektu FW01010444, který byly uskutečněny členy projektového týmu. V rámci projektu jsou vytvářeny nové a účinnější algoritmy založené na nových technikách. Za vývojem software bezprostředně nenásleduje aplikace. Jedná se o návrh, vývoj a následnou realizaci unikátního software nesoucího novou unikátní a zároveň hospodářsky významnou vlastnost. Software přináší prvek novosti a pokroku do oblasti počítačových programů, které znamenají zvýšení objemu znalostí ve zmíněné problematice. Software je charakteristický novostí a unikátností návrhu, která je doložitelná touto dokumentací výsledku.

Software pro zprávu a archivaci dat

V rámci přípravy softwaru provedl Zall Jihlavan Airplanes s.r.o. vývoj serverové části systému která slouží k evidenci a shromažďování dat v rámci testování subjektů.

Software se skládá z front endu a back endu.

Front end je tvořen webovým serverem, který je založen na IIS (Internet Information Server) a technologii ASPX.

Back end potom napojuje webový server na SQL databázi, která shromažďuje a uchovává veškerá data.

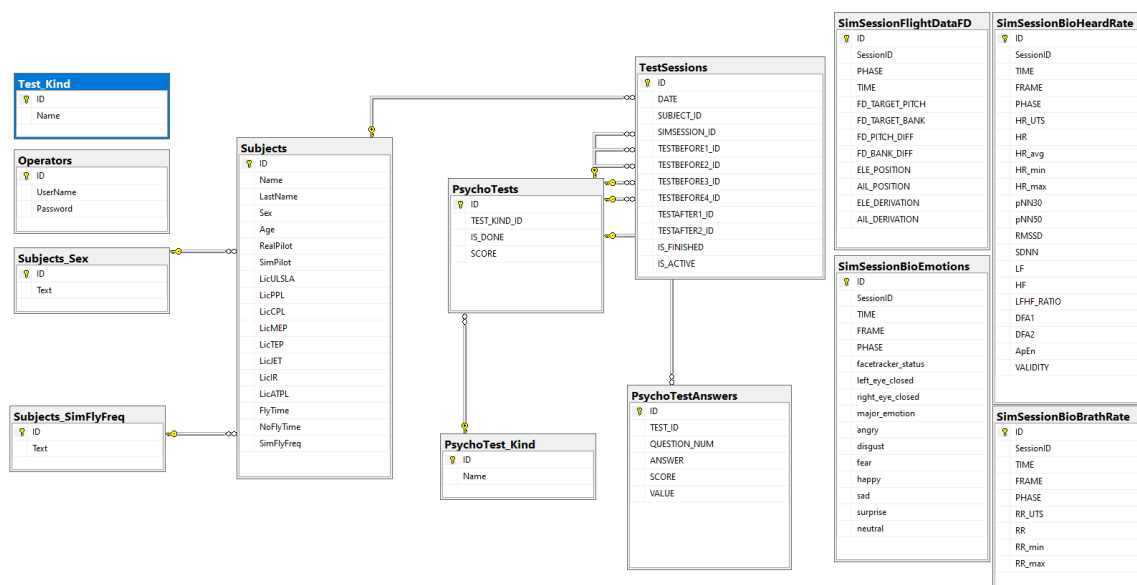


Software slouží k:

- Evidenci testovaných subjektů, uchování základních dat, které slouží pro statistické vyhodnocování a zařídění do skupin
- Elektronické testování psychologických testů
- Spouštění úloh, zaznamenávání dat, archivaci a jejich grafické prezentaci
- Poskytování uložených dat pro vyhodnocení expertním systémem

Datová struktura:

Pro uchování dat byla na SQL serveru vytvořena databáze, která reprezentuje uchovávaná data

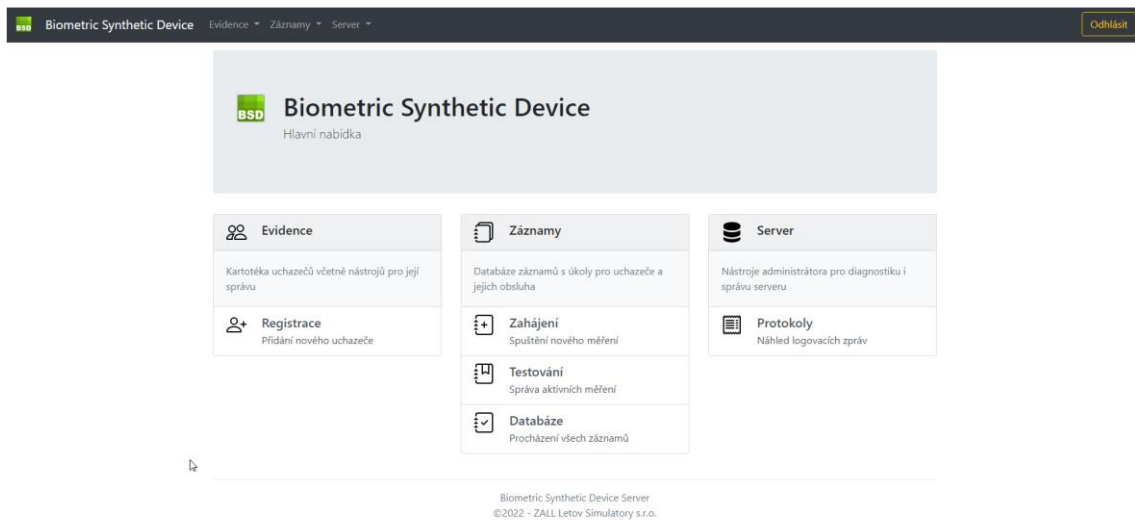


Obr. 3: Datová struktura

Základní tabulky:

- Subjekty (základní údaje o subjektu, jeho pilotní zkušenosti a klasifikace)
- Testovací Sessions (seznam všech provedených testů)

- Datové tabulky letové části session (informace letových parametrů a údaje z biometrických čidel)
- Tabulky psycho testů (údaje o vyplněných psychotestech před a po testování)



Obr. 4: Vstupní brána do systému evidence a měření dat

A. Evidence subjektů

U každého subjektu uchováváme základní informace (Jméno, Příjmení, věk). Dále data o pilotních zkušenostech, která slouží k začlenění do charakteristických skupin.

Obr. 5: Evidence subjektu a jeho data

B. Psycho testy

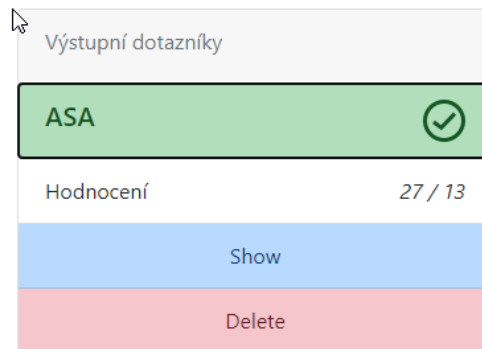
Na základě metodiky podstupuje subjekt psycho testy před úlohou a po ní. V rámci projektu byla vyvinuta elektronická verze s automatickým ukládáním testů a jejich vyhodnocením.

Biometric Synthetic Device Server

Obr. 6: Seznam provedených a neprovedených testů u subjektu

Biometric Synthetic Device Server
©2022 - ZALL Letov Simulátory s.r.o.

Obr. 7: Elektronické psycho testy



Obr. 8: Automatické vyhodnocení psycho testu

C. Spouštění úloh, zaznamenávání dat, archivaci a jejich grafické prezentaci
 Každá testovací session se spouští v rámci webového serveru a je monitorována po celý průběh. Aktuální měřená data, letová i biometrická, jsou online zapisována na SQL server.

| Měření na simulátoru | | |
|---|--|---|
| Ondra 23.04.2021 17:25:14 113 | | |
| Time: 0 | | |
| Phase: 0 | | |
| Monitor srdečního tepu Data pro monitorování srdečního tepu | Monitor dechové frekvence Monitorování dechové frekvence a intenzity dýchání | Monitor emocí Monitorování aktuálních emocí |
| UTS | | Status |
| Aktuální tepová frekvence | | Převládající emoce |
| Průměrná tepová frekvence | | Rozložený |
| Minimální tepová frekvence | | Zhnusený |
| Maximální tepová frekvence | | Vystrašený |
| pNN30 | | Šťastný |
| pNN50 | | Smutný |
| RMSSD | | Překvapený |
| SDNN | | Neutrální |
| LF | | |
| RF | | |
| Poměr LF HF | UTS | |
| DFA1 | Aktuální dechová frekvence | |
| DFA2 | Průměrná dechová frekvence | |
| ApEn | Maximální dechová frekvence | |
| Validity | Minimální dechová frekvence | |

Obr. 9: Spouštění session a záznam a monitoring měřených dat

PHASE: 1

Statistic data:

| Parameter | PITCH DIFF | BANK DIFF |
|---------------|--------------------|--------------------|
| MED | 3,09549972046785 | 0,0940105091144381 |
| MEAN | 4,06451069495721 | 0,256185505998849 |
| MIN | 0,0102749257277612 | 0 |
| MAX | 14,605700057676 | 14,7388054477659 |
| VARIANCE | 10,2890991737804 | 1,01279884854339 |
| STD_DEVIATION | 3,20766257168368 | 1,00637907795392 |
| KURTOSIS | 0,924855610921647 | 118,882992991558 |
| SKEWNESS | 1,24235231197358 | 10,4450472880586 |

Note:

MED

Median is a robust indicator of central tendency and much less affected by outliers than the sample mean.

MEAN

The arithmetic mean or average of the provided samples.

VARIANCE & STANDARD DEVIATION

Variance σ^2 and the Standard Deviation σ are measures of how far the samples are spread out.

KURTOSIS

Kurtosis is a statistical measure that defines how heavily the tails of a distribution differ from the tails of a normal distribution.

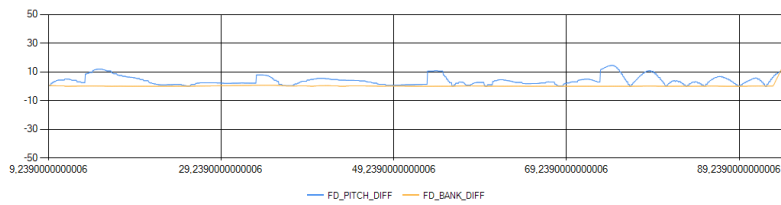
SKEWNESS

Skewness is a measure of the asymmetry of the probability distribution of a real-valued random variable about its mean.

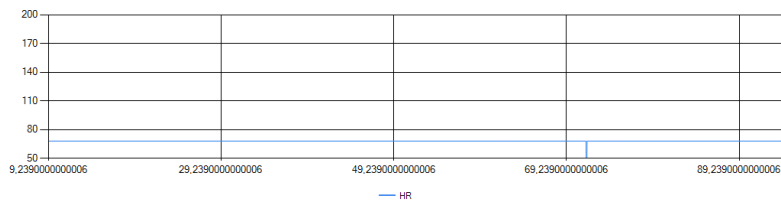
Kovariční data:

| Parameter | PITCH | BANK |
|-----------|--------------------|---------------------|
| HR | -0,043289008062323 | 0,0107201517646684 |
| BR | -2,65380124866544 | -0,019165651485209 |
| Angry | 0,134022852694556 | -0,0438137636004498 |
| Disgust | 0,129801990092713 | -0,0402659792901035 |
| Fear | 0,137468948679754 | -0,0423806624878618 |
| Happy | 0,15436649570708 | -0,0472166441375335 |
| Sad | 0,145746404852987 | -0,0439703561315678 |
| Surprise | 0,130891470913741 | -0,040536659020486 |
| Neutral | 0,206123786682494 | -0,0639452399227775 |

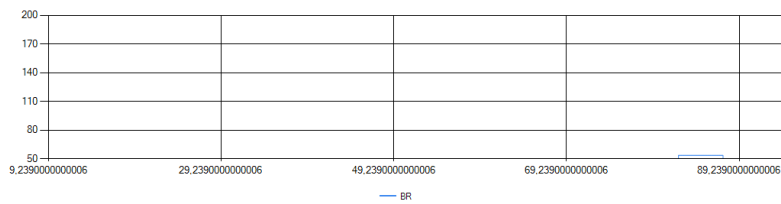
Flight director:



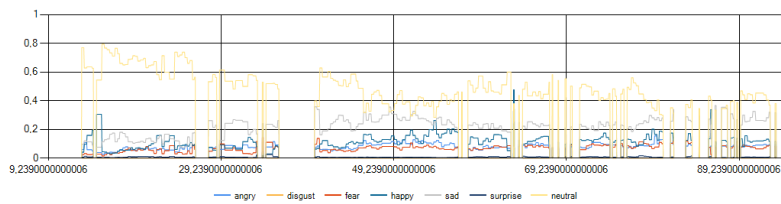
Heart Rate:



Breathing Rate:



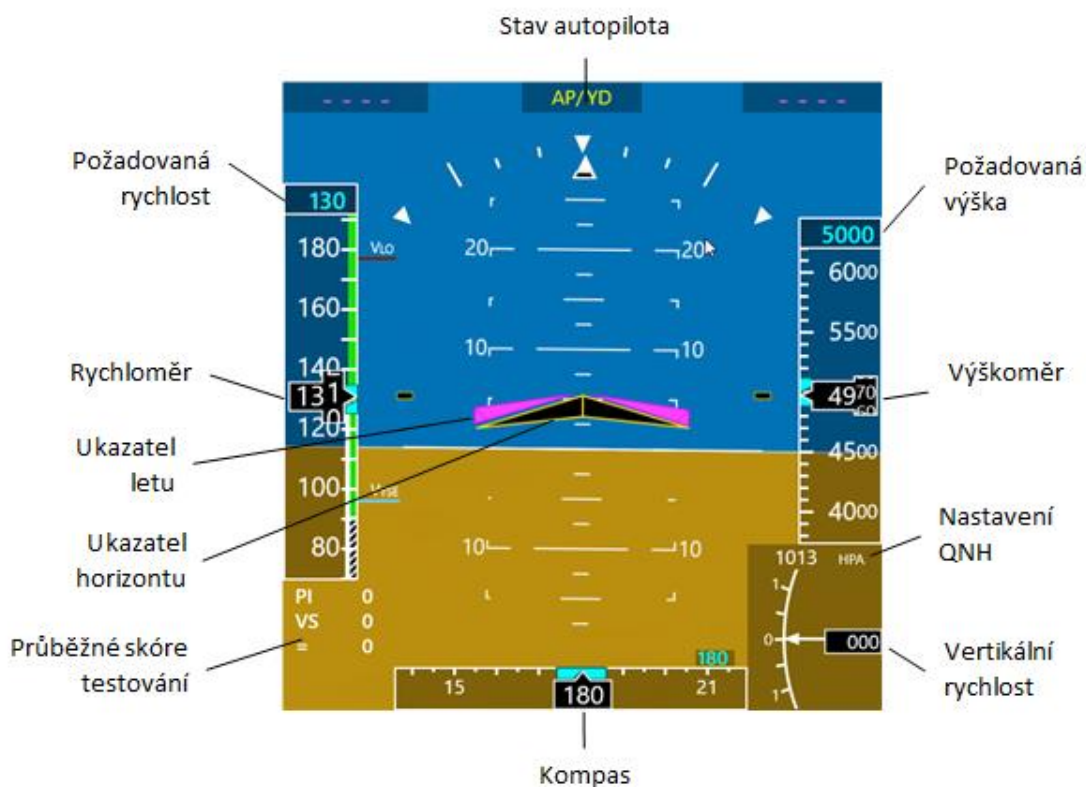
Emotions:



Obr. 10: Zobrazení session a průběhu měřených dat

Zobrazení letových údajů:

Speciálně pro projekt byl vyvinut syntetický letový přístroj založený na **Universal efi-890r**, který byl speciálně upraven pro použití v rámci projektu. Funkce přístroje je zobrazovat letová data a data úlohy srozumitelnou formou pro testovaný subjekt.



Obr. 11: Syntetický letový přístroj upravený pro potřeby projektu.

Seznam použité literatury

- [1] Allen, P. M., Edwards, J. A., Snyder, F. J., Makinson, K. A., & Hamby, D. M. (2014). The effect of cognitive load on decision making with graphically displayed uncertainty information. *Risk analysis : an official publication of the Society for Risk Analysis*, 34(8), 1495–1505. <https://doi.org/10.1111/risa.12161>
- [2] Sweller, J. (2011). CHAPTER TWO – Cognitive Load Theory. *Psychology of Learning and Motivation*. 55, 37–76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>

[3] Electrophysiology, (1996) T. F. o. t. E. S. o. C. t. N. A. S. o. P. a. E. Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. *Circulation* 93, 1043–1065. <https://doi.org/10.1161/01.cir.93.5.1043>

[4] Solhjoo, S., Haigney, M. C., McBee, E. et al. (2019) Heart Rate and Heart Rate Variability Correlate with Clinical Reasoning Performance and Self-Reported Measures of Cognitive Load. *Sci Rep* 9, 14668. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50280-3>

[5] Salahuddin, L., Cho, J., Jeong, M. G., & Kim, D. (2007). Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2007, 4656–4659. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353378>

[6] Schmidt, P., Reiss, A., Duerichen, R. (2018) Introducing WESAD, a Multimodal Dataset for Wearable Stress and Affect Detection. In Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '18, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 400–408. <https://doi.org/10.1145/3242969.3242985>

[7] Markova, V., Ganchev, T., Kalinkov, K. (2019) CLAS: A Database for Cognitive Load, Affect and Stress Recognition. In 2019 International Conference on Biomedical Innovations and Applications (BIA), 1–4. <https://doi.org/10.1109/BIA48344.2019.8967457>

[8] PLUX wireless biosignals, S.A.: RespiBAN Professional. <https://biosignalsplux.com/products/wearables/respibanpro.html>

[9] Shimmer: Shimmer3 GSR+ Unit. <https://www.shimmersensing.com/products/shimmer3-wireless-gsr-sensor>

[10] Bench, C., Frith, C. D., Grasby, P. M., Friston, K. J., Paulesu, E., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1993). Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia*, 31(9), 907–922.

[11] Mollahosseini, A., Hasani, B., Mahoor, M. H. (2017). Affectnet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10(1), 18–31.