

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:

FUNKČNÍ VZOREK

Systém záznamu fyziologických dat pro určení psychického stavu

Typ výsledku dle Definice druhů výsledků	Evidenční číslo (příjemce)	Rok vzniku
Gfunk - Funkční vzorek	ID: 387874	2025
ISBN-ISSN	Webový odkaz na výsledek	Kde a kdy publikováno

Anotace k výsledku:

Výsledkem je funkční vzorek komplexního systému pro záznam a vyhodnocení fyziologických dat určený k posuzování psychického stavu osob v prostředí virtuální reality. Systém je založen na vlastním hardwarovém a firmwarovém řešení nositelné senzorické platformy, která umožňuje kontinuální měření elektrokardiografického signálu (EKG), elektrodermální aktivity (EDA) a pohybové aktivity subjektu v reálném čase. Konstrukce zařízení je optimalizována pro upevnění na hrudním textilním pásu s využitím neadhezivních EKG elektrod a klade důraz na ergonomii, komfort nošení a snadnou aplikovatelnost během výcviku.

Řešitelský tým:

Hejda Jan, Kutílek Patrik, Petr Volf, Marek Sokol, Zdeněk Hon, Marek Bureš

Jazyk výsledku: CZE

Hlavní obor: JB - Senzory, čidla, měření a regulace

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

System záznamu fyziologických dat pro určení psychického

Název výsledku anglicky:

System for recording physiological data to determine mental state

Popis výstupu/výsledku z návrhu projektu VK01020196 Inovativní systém využití virtuální reality a simulovaných modelových případů bezpečnostního charakteru usnadňující výcvik a reakci příslušníků policie v rizikových situacích:

Cílové zařízení, které umožní záznam a zpracování fyziologických dat, bude složeno minimálně ze snímače kožního odporu, dechové aktivity a srdeční aktivity. Zařízení bude ergonomicky optimalizované a snadno aplikovatelné a vyměnitelné v průběhu výcviku policistů. Součástí zařízení bude modul umožňující předzpracování dat, tak aby je bylo možné použít pro odhad psychického stavu subjektů. Současně bude informace o psychickém stavu subjektu využita ke kontinuální úpravě scénáře VR.

Abstrakt k výsledku česky:

Výsledkem je funkční vzorek komplexního systému pro záznam a vyhodnocení fyziologických dat určený k posuzování psychického stavu osob v prostředí virtuální reality. Systém je založen na vlastním hardwarovém a firmwarovém řešení nositelné senzorické platformy, která umožňuje kontinuální měření elektrokardiografického signálu (EKG), elektrodermální aktivity (EDA) a pohybové aktivity subjektu v reálném čase. Konstrukce zařízení je optimalizována pro upevnění na hrudním textilním pásu s využitím neadhezivních EKG elektrod a klade důraz na ergonomii, komfort nošení a snadnou aplikovatelnost během výcviku.

Funkčnost navrženého řešení byla ověřena experimentálními měřeními ve virtuálních scénářích simulujících situace blízké reálné praxi bezpečnostních složek. Výsledky testování potvrdily schopnost systému monitorovat fyziologické ukazatele, odvozovat míru kognitivní zátěže a poskytovat reprodukovatelné informace využitelné pro objektivní hodnocení výkonu a psychické kondice subjektů. Realizovaný funkční vzorek představuje základ pro další vývoj expertních aplikací v oblasti výcviku, selekce a hodnocení osob v psychicky náročných profesích.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The result is a functional prototype of a comprehensive system for recording and evaluating physiological data intended to assess the mental state of individuals in a virtual reality environment. The system is based on a proprietary hardware and

firmware solution of a wearable sensor platform that enables continuous real-time measurement of electrocardiographic (ECG) signals, electrodermal activity (EDA), and the subject's physical activity. The device design is optimized for attachment to a textile chest strap using non-adhesive ECG electrodes, with emphasis on ergonomics, wearing comfort, and ease of use during training.

The functionality of the proposed solution was verified through experimental measurements in virtual scenarios simulating situations close to real-world practice of security forces. The test results confirmed the system's ability to monitor physiological indicators, infer the level of cognitive load, and provide reproducible information suitable for objective evaluation of performance and mental condition of the subjects. The implemented functional prototype forms a basis for further development of expert applications in the field of training, selection, and assessment of individuals in psychologically demanding professions.

Klíčová slova česky:

fyziologická data, EKG, EDA, kognitivní zátěž, virtuální realita

Klíčová slova anglicky:

physiological data, ECG, EDA, cognitive load, virtual reality

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700) - 100%,

Lokalizace: XR Institute s.r.o.

Licence: Ano

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Realizovaný vývoj hardware a firmware představuje komplexní a technologicky vyspělé řešení pro monitoring biomedicínských dat v reálném čase, které v současnosti nemá přímou obdobu mezi komerčně dostupnými systémy. Vyvinutá senzorická platforma, optimalizovaná pro měření biopotenciálů pomocí EKG a EDA, je koncipována jako kompaktní, nositelné a modulární zařízení, které lze efektivně využít v prostředí virtuální reality i mimo něj.

Ekonomický přínos spočívá především v otevřené architektuře řešení, která umožňuje přizpůsobení konkrétním aplikačním scénářům bez nutnosti zásahů do proprietárních platform třetích stran. Tato otevřenost výrazně snižuje náklady na další vývoj, údržbu a adaptaci systému oproti běžným komerčním řešením, která jsou uzavřená a neumožňují integraci vlastních expertních metod.

Vyvinuté řešení umožňuje objektivní hodnocení kognitivní zátěže, stresu a psychofyzilogického stavu osob během simulovaných scénářů ve VR. To přináší významné ekonomické úspory zejména v oblastech:

- výcviku bezpečnostních složek (Policie ČR, IZS, armáda),
- selekce a periodického hodnocení osob v psychicky náročných profesích,
- optimalizace výcvikových procesů a snížení jejich časové i finanční náročnosti.

Díky schopnosti systému včas identifikovat nadměrnou kognitivní zátěž, stres nebo pokles výkonnosti lze předcházet neefektivnímu výcviku, chybám a selháním lidského faktoru, což má přímý ekonomický dopad v podobě snížení nákladů na opakování výcviku, zdravotní následky nebo provozní incidenty.

Další ekonomický potenciál vyplývá z možnosti komercializace vyvinutého hardware a softwarové služby.

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč.

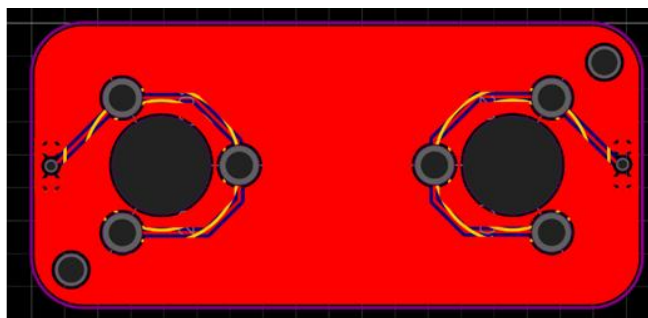
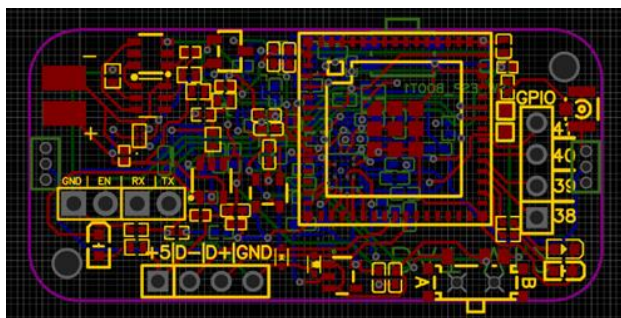
Popis funkčního vzorku

Vývoj senzorické platformy v roce 2025 pro monitoring biomedicínských signálů zahrnoval komplexní proces návrhu obvodu, layoutu desky plošných spojů (PCB) a výběru elektronických součástek. Cílem bylo vytvoření kompaktního, spolehlivého a funkčně integrovaného měřicího systému schopného zaznamenávat elektrokardiografické (EKG) a elektrodermální (EDA) signály v reálném čase.

Základní architektura systému je postavena na mikrokontroléru ESP32-S3-MINI-1U, který poskytuje dostatečný výpočetní výkon pro reálné zpracování signálů a bezdrátovou komunikaci prostřednictvím protokolů WiFi a Bluetooth Low Energy (BLE). Hlavními funkčními bloky obvodu jsou: (1) měřicí kanály s frontendovým analogovým obvodem pro průběžný monitoring EKG a EDA signálu, (2) jednotka pro měření tělesné orientace a pohybu, (3) napájecí obvod s management baterií a regulátory napětí, a (4) komunikační rozhraní pro bezdrátový přenos dat.

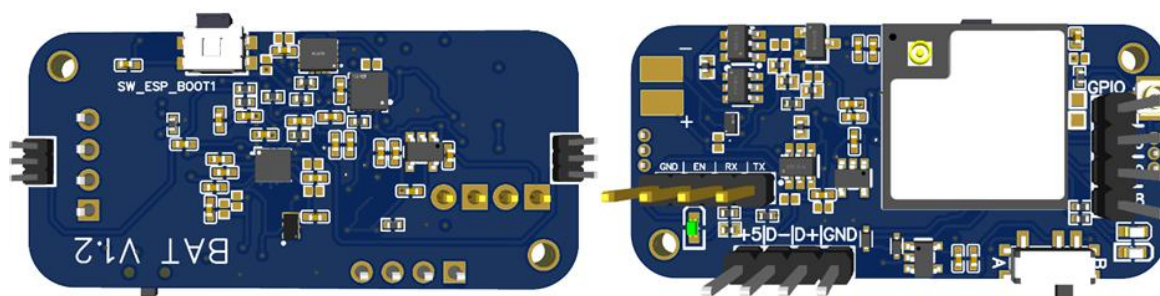
Bioelektrický signál z elektrod je zpracován pomocí speciálního integrovaného obvodu MAX30001, který je dedikovaný právě pro zpracování EKG signálů v nositelných zařízeních. Tento obvod obsahuje vestavěné analogové filtry, zesilovací stupně s nastavitelným ziskem a integrovaný analogově-digitální konvertor (ADC) s rozlišením 24 bitů. Napájecí schéma platformy je navrženo pro práci s jednobunkovou Li-Po baterií s nominálním napětím 3,7 V. Nabíjecí obvod je řešen prostřednictvím jednoduchého USB-A do magnetického konektoru. Bezdrátový přenos na vzdálený server je prostřednictvím TCP socket s konfigurací připojení (server IP, identifikátor účastníka, pozice) uloženou v zabezpečené NVS paměti ESP32 přes WiFiManager. Data se odesílají binárním formátem s kontrolou integrity připojení a automatickým restartováním zařízení po překročení prahu selhání připojení.

Geometrie a rozměry PCB byly optimalizovány pro fyzické umístění na lidském těle, konkrétně na hrudním pásu v oblasti mezi prsní a břišní elektrody. Výsledné rozměry desky činily 46 × 22 mm, čímž byla dosažena kompromisu mezi miniaturizací a dostupností prostoru pro uchycení akumulátoru a montáž součástek. Deska byla navržena jako čtyřvrstvá PCB s následující skladbou: vrstva 1 (signálová vrstva), vrstva 2 (zemnicí vrstva s maximální plochou pro minimalizaci impedance), vrstva 3 (napájecí vrstva), vrstva 4 (signálová vrstva). Tato konfigurace byla zvolena pro efektivní distribuci napájení a zemnění, což minimalizuje zemní smyčky a elektromagnetické rušení.

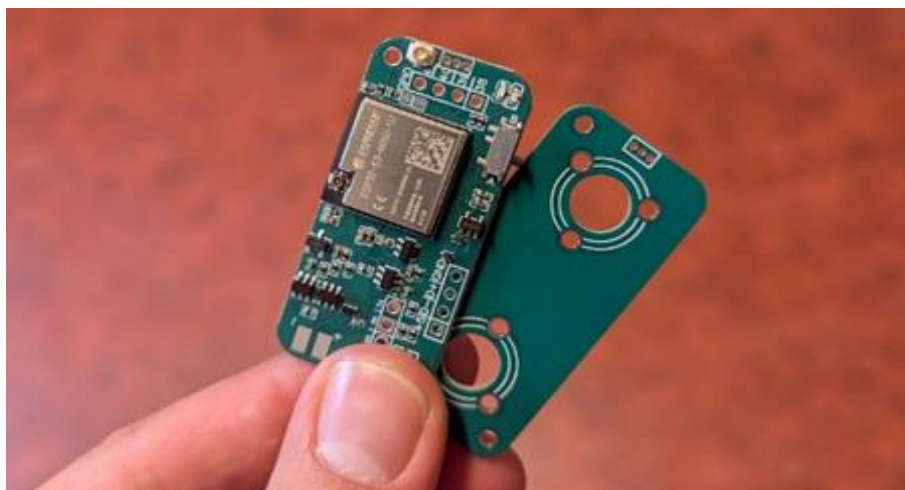


Obr.1: Schéma PCB

Vzhledem ke standardnímu leaden-free pájení byla doba doručení v souladu s obvyklými logistickými lhůtami. Následující fází byla fyzická kontrola desky: vizuální inspekce rozměrů, ověření tloušťky laminátového substrátu, kontrola tiskových spojů a ověření, zda všechny montážní pozice jsou správně označeny. Všechny odebrané desky vyhovely specifikacím návrhu bez požadavku na konstrukční úpravy.



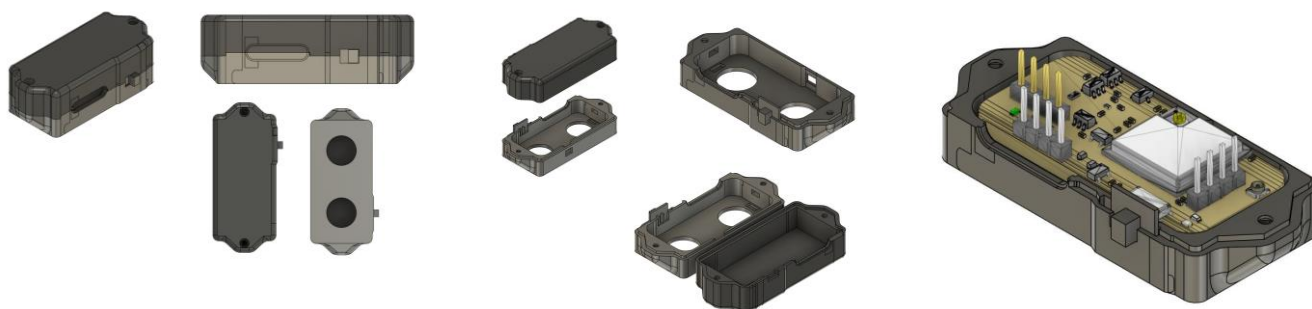
Obr.2: Realizované PCB



Obr.3: Konstrukce systému a upevnění na pás s neadhezivní EKG elektrodami

Mechanický kryt byl navržen s cílem chránit elektronické obvody před vlhkostí, mechanickým poškozením a zajistit pohodlné nošení senzoru na hrudním pásu. Návrh byl iterativně upravován na základě fyzických zkoušek a povětšinou řešeny následující aspekty: přístupnost konektorů, komfort nošení a montáž baterky. Bylo provedeno pět iterativních změn návrhu, v průběhu kterých byl kryt postupně zmenšován a optimalizován. Barva a povrchová úprava byla zvolena ve dvou variantách: metalicky stříbrná (standard pro klinické aplikace) a vojenský zelený odstín (military green) pro aplikace v terénu a taktických scénářích. Výběr barev byl motivován požadavky na viditelnost a estetiku v různých operačních kontextech.

Architektura firmware je rozpracovaná do tří hlavních FreeRTOS tasků s různými prioritami: Task1 (priorita configMAX_PRIORITIES - 1) zajišťuje primární akvizici EKG a BioZ dat z MAX30001, Task2 (priorita configMAX_PRIORITIES - 2) čte sekundární senzory (IMU akcelerometr/gyroskop, magnetometr IST8310), a Task3 (priorita configMAX_PRIORITIES - 3) zajišťuje přenos dat na vzdálený server. Toto rozdělení umožňuje, aby time-critical akvizice měřicích kanálů nebyla blokována sítí nebo I/O operacemi.



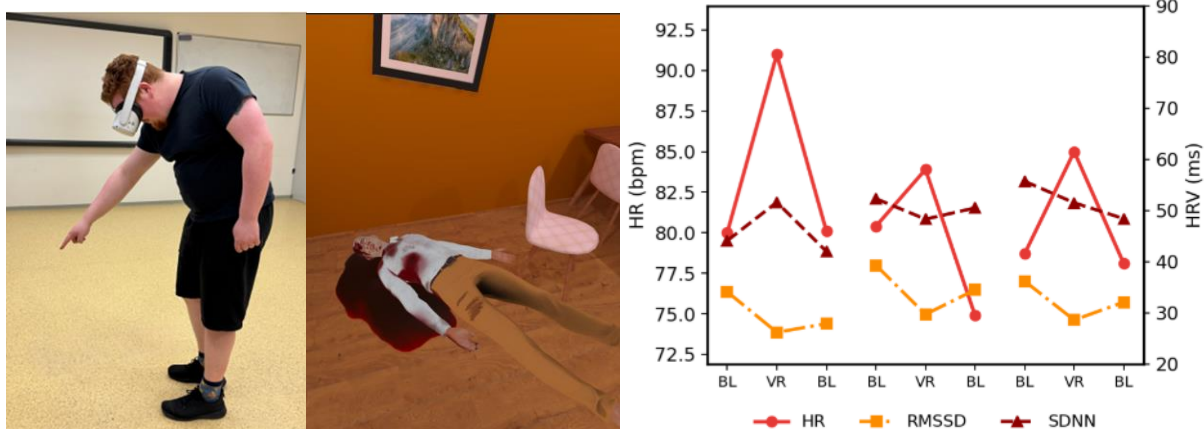
Obr.4: Typy zakrytování a ukázka finálních vzorků systému



Obr.5: Ukázka záznamu primárních dat systémem

Testovací měření

Prvotní testování bylo ověřování proveditelnosti záznamu EKG a EDA ve VR prostředí, hodnocení reakcí účastníků během plnění scénářů a porovnání fyziologických dat s výkonnostními metrikami a subjektivním hodnocením. Výsledky sloužily k ověření proveditelnosti navrženého metodického postupu a k upřesnění parametrů experimentálního měření pro navazující fáze projektu. Měření bylo provedeno na vzorku deseti studentů bezpečnostního oboru Ochrana obyvatelstva. Použit byl jednotný VR scénář simulující ohledání místa činu. Úkolem účastníků bylo systematicky zdokumentovat relevantní stopy a na základě získaných informací určit pravděpodobnou příčinu události (náhlé úmrtí, vražda nebo sebevražda). Výkonnost byla hodnocena pomocí tří základních metrik: času potřebného ke splnění scénáře, počtu správně identifikovaných stop a správnosti závěrečného rozhodnutí.



Obr.6: Ukázka testování a určených vybraných parametrů EKG získaných během testování

Testovací měření potvrdilo proveditelnost využití virtuální reality pro experimentální hodnocení kognitivní zátěže při scénáři ohledání místa činu. Záznam EKG a EDA prokázal citlivost fyziologických ukazatelů na průběh úkolu a jejich vztah k výkonnostním matrikám i subjektivně vnímané zátěži.

Funkční specifikace a režimy provozu

Expertní dohled v reálném čase:

Instruktoři mají k dispozici vizualizaci psychického stavu pracovníka. Systém umožňuje okamžitou reakci na změny v kondici subjektu a podporuje rozhodování ve výcviku.

Autonomní provoz:

Systém může fungovat bez stálé přítomnosti instruktora. Generuje záznam dat o stavu cvičícího a ty je možné vyhodnocovat zpětně.

Nastavitelnost a personalizace:

Systémy pro monitoring psychických stavů mohou být personalizovatelné podle potřeby prostředí VR a konkrétní vykonávané činnosti.

Závěr

Byl ověřen proces přípravy a realizace Systému záznamu fyziologických dat pro určení psychického, který integruje multisenzorickou platformu pro zjištění psychické kondice trénovaných policistů ve VR. Komplexní systém, sestávající z nositelných senzorů fyziologických dat.

V rámci funkčních zkoušek byla ověřena stabilita přenosu, stejně jako schopnost systému provádět synchronizovaný sběr dat. Algoritmy prokázaly schopnost předzpracování dat pro identifikaci změn psychických stavů ve VR.

Výsledky testování potvrdily robustnost platformy a její schopnost poskytovat instruktorům reprodukovatelné informace o psychickém stavu. Systém vykazuje vysokou míru flexibility díky možnosti přenositelnosti a personalizaci uspořádání podle specifických požadavků využití. Realizovaný funkční vzorek naplňuje předpoklady pro uplatnění v praxi, zejména ve výcviku specialistů ve VR, kde stávající komerční řešení neumožňují takto komplexní propojení biomedicínských dat s VR. V rámci projektu budou výsledky využity pro další vývoj expertních aplikací v oblasti monitorování kondice osob ve VR.