



Funkční vzorek

Systém synchronizovaného biomechanického a elektrofyziologického měření

Autor:

Ing. Hejda Jan Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing. Petr Volf, Ph.D., (ČVUT v Praze)

Ing. Marek Sokol, (ČVUT v Praze)

doc. Ing. Kutílek Patrik Ph.D., (ČVUT v Praze)

Název projektu: Inovativní přístup k prevenci zranění u náročných profesí: Biomechanické a elektrofyziologické hodnocení pomocí umělé inteligence

Hlavní řešitel: Ing. et Ing. Jan Hejda, Ph.D.

Fakulta biomedicínského inženýrství, České vysoké učení technické v Praze

Poskytovatel: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

Program: INTER-EXCELLENCE II

Veřejná soutěž: SMSM2024LU003

Evidenční číslo projektu: LUAIZ24059

PRAHA, 2025

Jazyk výsledku: CZE

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

Uplatněn: ANO

Název výsledku česky:

Systém synchronizovaného biomechanického a elektrofyziologického měření

Název výsledku anglicky:

Synchronized Biomechanical and Electrophysiological Measurement System

Abstrakt k výsledku česky:

Funkční vzorek představuje inovativní systém pro synchronizovaný záznam biomechanických a fyziologických dat během standardizovaných pohybových aktivit. Systém kombinuje optický bezmarkerový kamerový systém s nositelnou senzorikou (EKG a IMU) a umožňuje tak propojení pohybových parametrů s fyziologickými ukazateli v jednotné časové ose. Výsledkem je dataset, který je interpretovatelný expertem a současně vhodný pro pokročilou analýzu, statistické vyhodnocení a strojové učení. Funkční vzorek umožňuje identifikaci rizikových pohybových vzorců, kvantifikaci zátěže organismu a podporuje vývoj metod prevence zranění u fyzicky náročných profesí. Systém je použitelný v laboratorních i terénních podmínkách a představuje mezistupeň mezi výzkumným měřením a budoucím řešením pro komplexní monitoring a hodnocení tělesné zátěže.

Abstrakt k výsledku anglicky:

The functional prototype represents an innovative system for the synchronized recording of biomechanical and physiological data during standardized physical activities. The system combines a markerless optical camera setup with wearable sensors (ECG and IMU), enabling the integration of movement parameters with physiological indicators on a unified time axis. The resulting dataset is interpretable by experts while also suitable for advanced analysis, statistical evaluation, and machine learning. The functional prototype allows for the identification of risky movement patterns, quantification of bodily load, and supports the development of injury prevention methods for physically demanding professions. The system is applicable in both laboratory and field conditions and serves as an intermediate step between research measurements and a future solution for comprehensive monitoring and assessment of physical workload.

Klíčová slova česky:

Multisenzorický systém, Modulární platforma, Kamerový systém, Monitorování sportovců.

Klíčová slova anglicky:

Multisensor system, Modular platform, Camera system, Athlete monitoring

Vlastník výsledku:

České vysoké učení technické v Praze (IČO 68407700)

Lokalizace: ČVUT v Praze

Licence: Ne

Licenční poplatek: Ne

Ekonomické parametry:

Trh aktuálně nabízí především jednoduchá zařízení pro měření základních biomedicínských parametrů nebo samostatné monitorovací systémy, případně kamerové MoCap systémy, které umožňují hodnocení zatížení těla, ale neumožňují integrované synchronizované měření fyziologických a biomechanických dat v reálném čase a jejich propojení do komplexní analytické platformy pro prevenci zranění a optimalizaci výkonu jak v laboratorních tak terénních podmínkách. Ekonomické přínosy vyplývají z komplexnějšího monitoringu a prevence rizikových situací, což povede ke snížení počtu úrazů a celkovému zvýšení bezpečnosti.

Kategorie nákladů: výše nákladů ≤ 10 mil. Kč.

Popis funkčního vzorku

Funkční vzor představuje ucelený experimentální systém umožňující synchronizovaný záznam biomechanických a fyziologických dat během standardizovaných motorických testů. Systém integruje optické bezmarkérové snímání pohybu pomocí synchronizovaných kamer a nositelnou senzorku pro měření elektrokardiografického signálu a inerciálních dat. Funkční vzor je navržen tak, aby byl použitelný jak v laboratorních podmínkách, tak v terénu, a slouží k ověření navržené metodiky a technické proveditelnosti řešení.

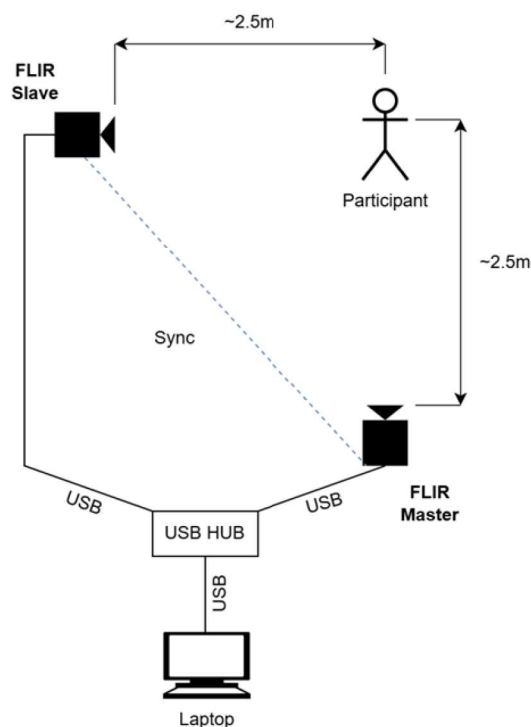
Optický subsystém – markerless motion capture

Součástí funkčního vzoru je kamerový systém tvořený dvěma synchronizovanými kamerami FLIR Blackfly BFS-U3-23S3C-C (2,3 MP, barevné, C-mount). Kamery jsou provozovány v režimu hardwarové synchronizace, kdy jedna kamera funguje jako řídící (master) a druhá jako řízená (slave). Snímání probíhá ve viditelném spektru s frekvencí 50 Hz při rozlišení 1920×1200 px.

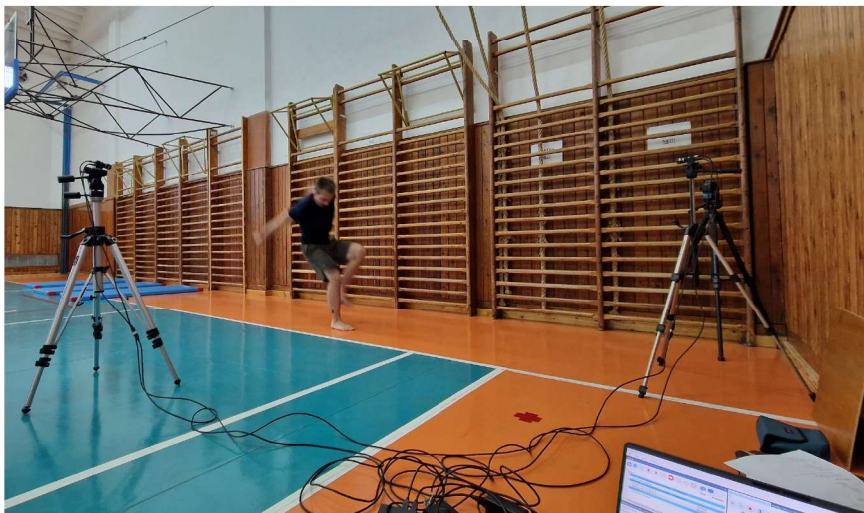
Kamery jsou umístěny v ortogonální konfiguraci, která je zajištěna přesným geometrickým nastavením pomocí laserové vodováhy. Toto uspořádání umožňuje spolehlivý záznam pohybu v sagitální a frontální rovině a následnou analýzu kinematiky pomocí bezmarkérových algoritmů pro odhad polohy těla.

Optický subsystém je využíván pro záznam pohybových charakteristik během následujících testů:

- kliky,
- single hop test,
- člunkový běh 4×10 m.



Obr. 1 Schéma uspořádání a struktury kamerového systému



Obr. 2 Realizace uspořádání kamer kamerového systému a ukázka využití

Nositelný senzorický subsystém – EKG a IMU

Fyziologická a pohybová data jsou zaznamenávána pomocí nositelného senzoru Movesense Flash, který disponuje interní pamětí o kapacitě 128 MB umožňující dlouhodobý autonomní záznam dat bez nutnosti kontinuálního bezdrátového přenosu.

V rámci funkčního vzoru je použita maximální možná kombinovaná konfigurace senzorů:

- EKG signál se vzorkovací frekvencí 125 Hz,
- akcelerometrická data ve třech osách se vzorkovací frekvencí 56 Hz,
- gyroskopická data ve třech osách se vzorkovací frekvencí 56 Hz,
- magnetometrická data se vzorkovací frekvencí 14 Hz.

Senzor je upevněn na hrudním pásu, což zajišťuje stabilní snímání i při dynamické zátěži.



Obr.3 Ukázka realizace a upevnění nositelného systému pro měření fyziologických a pohybových dat

Nositelný senzorický subsystém je využíván pro záznam pohybových charakteristik při následujících testech:

- běh na 1 km,
- kliky,
- single hop test,
- člunkový běh 4×10 m.

Synchronizace a zpracování dat

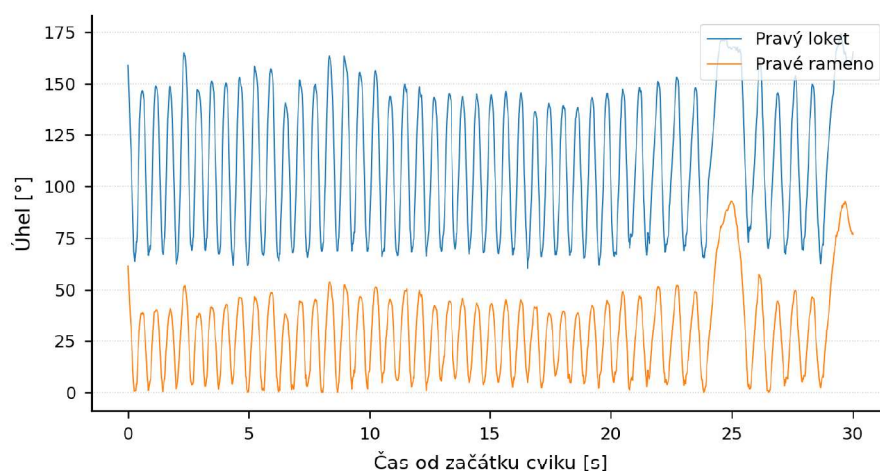
Funkční vzor zahrnuje softwarové nástroje pro:

- synchronizovaný záznam dat z kamer a nositelné senzoriky,
- stažení dat z interní paměti senzoru,
- základní předzpracování signálů (filtrace),
- odhad kloubních úhlů z obrazových dat,
- výpočet základních fyziologických a spatiotemporálních parametrů.

Systém umožňuje propojení fyziologických dat (HR, HRV) s biomechanickými charakteristikami pohybu v jednotné časové ose pro další analýzu naměřených dat.

Optický subsystém – markerless motion capture

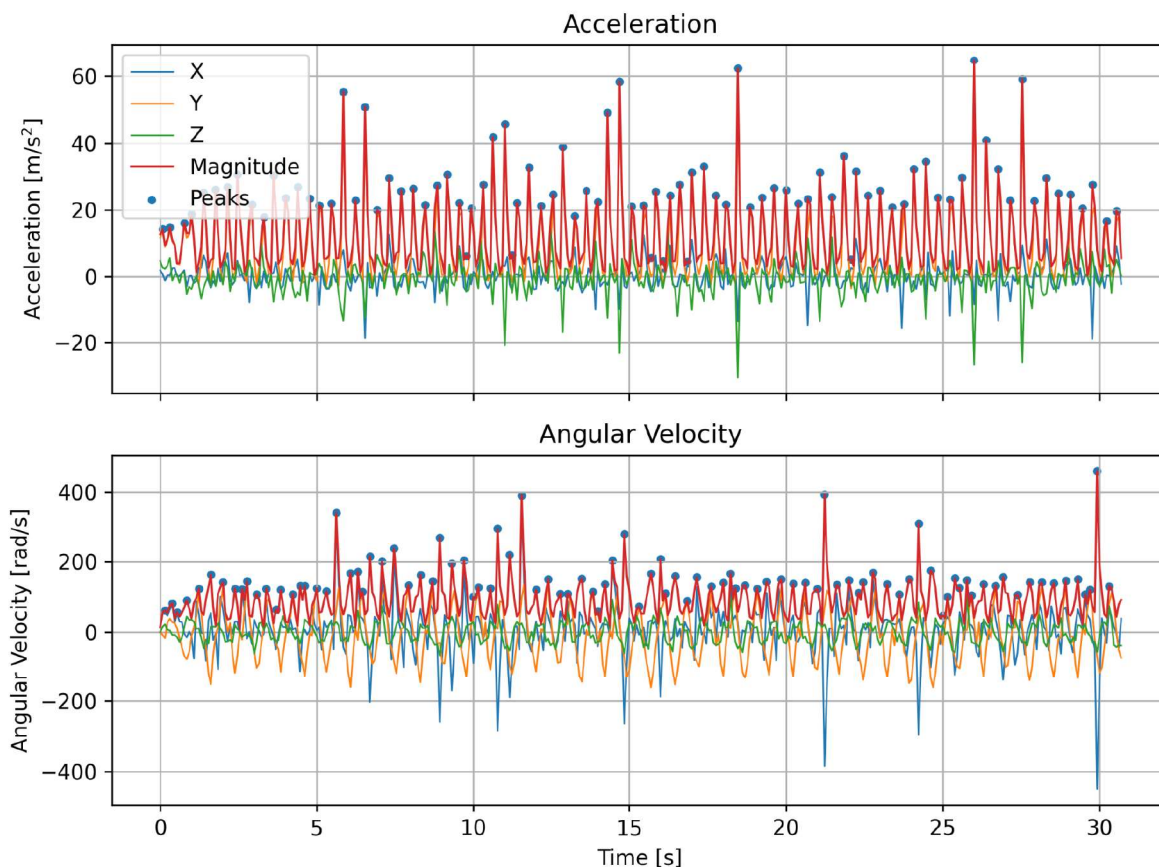
Výsledkem aplikace uvedených postupů zpracování dat je, že funkční vzorek umožňuje zaznamenávat a předzpracovat data z kamerové části do podoby, která je interpretovatelná expertem, ale současně umožňuje komplexní analýzu dat.



Obr. 4 Analýza polohy segmentů těla a určený průběh úhlů v pravém lokti a rameni během kliků.

Nositelný senzorický subsystém – EKG a IMU

Výsledkem aplikace uvedených postupů zpracování dat je, že funkční vzorek umožňuje zaznamenávat a předzpracovat data z nositelné EKG a IMU části do podoby, která je interpretovatelná expertem, ale současně umožňuje komplexní analýzu dat. Výstup z optického subsystému tak poskytuje nejen kvantitativní a vizuálně interpretovatelnou informaci o pohybu, ale zároveň umožňuje komplexní propojení s dalšími datovými kanály pro multidimenzionální analýzu výkonu a zátěže. Výstup nositelného senzoru tak přináší detailní kvantitativní pohled na fyziologickou reakci organismu a umožňuje komplexní vyhodnocení tělesné zátěže při různých fyzických aktivitách.



Obr. 5 Ukázka výstupu akceleraace a úhlové rychlosti naměřené senzorem při běhu. Modře jsou zobrazena detekovaná lokální maxima celkové akceleraace/úhlové rychlosti, které slouží pro určení parametrů běhu, jako je kadence, délka kroku a jejich variabilita.

Účel a využití funkčního vzoru

Funkční vzor slouží k:

- ověření technické proveditelnosti navrženého multimodálního měřicího konceptu,
- testování a optimalizaci měřicích protokolů,
- pilotnímu a rutinnímu měření pohybových aktivit vybraných fyzicky náročných profesí,
- získávání dat pro identifikaci popisných znaků a následný vývoj modelů strojového učení.

Výstup představuje mezistupeň mezi laboratorním výzkumem a budoucím řešením pro hodnocení zátěže a prevenci zranění.