

# Klasifikácia život ohrozujúcich stavov

Jakub PARÁK<sup>1</sup>, Jan Havlík<sup>1</sup>

<sup>1</sup> České vysoké učení v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů

[parakjak@fel.cvut.cz](mailto:parakjak@fel.cvut.cz)

**Abstrakt:** V nasledujúcom príspevku sú popísané návrh a implementácia jednoduchých metód a algoritmov na klasifikáciu život ohrozujúcich stavov. Metódy sú zamerané predovšetkým na monitorovanie a klasifikáciu základných srdečných arytmii a fyzickej aktivity monitorovanej osoby. Navrhnuté algoritmy sú prispôbené hlavne nízkym nárokom na systémové zdroje a výpočtový výkon, aby mohli byť použité v Real-Time embedded aplikáciách. Metódy boli implementované a testované v jednoduchom vývojovom modulárnom telemonitorovacom systéme, ktorého základ tvorí vývojový kit STM EvoPrimer s mikroprocesorom rady ARM Cortex. Na klasifikáciu život ohrozujúcich stavov obsahuje telemonitorovací systém moduly na snímanie biologických signálov a akcelerometer na snímanie fyzickej aktivity monitorovanej osoby. Príspevok taktiež popisuje návrh ďalších klasifikačných metód s využitím zložitejších algoritmov štatistického rozpoznávania, ktoré sa pripravujú na implementáciu.

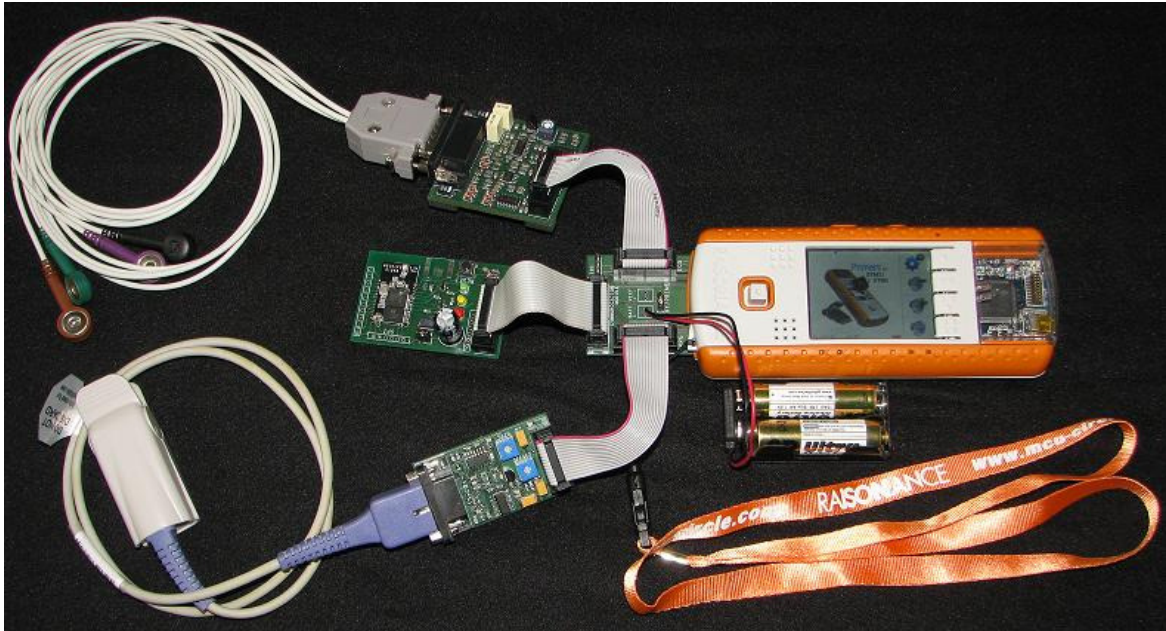
## 1. Úvod

Klasifikácia život ohrozujúcich stavov začína byť stále častejšie implementovaná ako súčasť asistívnych technológií. V súčasnosti vznikajú návrhy rôznych systémov, ktoré umožňujú monitorovať životné funkcie. Vzhľadom na starnúcu populáciu sú tieto systémy určené najmä pre osamelých seniorov. Hlavnou funkciou týchto systémov je možnosť aktivácie alarmu pri život ohrozujúcej situácii a následné upovedomenie záchranných zložiek, ošetrojúcich lekárov alebo príbuzných. Takýto alarm je aktivovaný na základe klasifikačných algoritmov a metód, ktoré spracúvajú dáta z rôznych senzorov, ktoré sú súčasťou zariadenia alebo sú pripevné k monitorovanej osobe [1].

Klasifikácia život ohrozujúcich stavov je vykonávaná predovšetkým na základe zmien srdečného tepu, ktorý je vypočítaný z meraného signálu elektrokardiogramu. Na správnu klasifikáciu sa okrem monitorovania zmien srdečnej tepovej frekvencie využíva aj meranie fyzickej aktivity monitorovanej osoby predovšetkým pomocou akcelerometrov [2].

Mnohé z navrhnutých systémov sú prepojené so Smart-Phone zariadením, do ktorého sú pomocou bezdrôtových protokolov prenášané dáta s rôznych senzorov umiestnených na monitorovanej osobe. Tieto systémy na spracovanie signálov a klasifikáciu život ohrozujúcich stavov využívajú pomerne vysokého výpočtového výkonu mobilného telefónu. Pre zariadenie je vytvorená mobilná aplikácia, ktorá spracováva snímané signály, vyhodnocuje život ohrozujúce situácie a spúšťa signalizačné alarmy. [3].

Navrhnuté zariadenie na spracovanie snímaných signálov a klasifikáciu život ohrozujúcich stavov v reálnom čase využíva iba výpočtový výkon jedného mikroprocesoru, v ktorom sú implementované algoritmy na spracovanie signálov, klasifikáciu život ohrozujúcich stavov signalizáciu alarmov a ovládanie komponentov riadiacej jednotky. Bezdrôtové pripojenie je využité iba na vizualizáciu alarmov a signálov na PC pomocou špeciálnej aplikácie. Aplikácia v PC nevykonáva už žiadne spracovanie prenesených dát.



Obr. 1: Modulárny telemonitorovací systém

## 2. Popis testovacieho telemonitorovacieho systému

Testovací telemonitorovací systém je zložený z hlavnej riadiacej jednotky a modulov na snímanie biologických signálov a bezdrôtový prenos dát. Riadiacu jednotku tvorí vývojový kit STM EvoPrimer osadený mikroprocesorom rady ARM Cortex F103. Kit má v sebe implementovaný trojosí MEMS akcelerometrický senzor, LCD display, bzučiak, slot na SD kartu, ovládací joystick a rozširujúci konektor na pripájanie vlastných externých modulov. Vývojový kit obsahuje vlastnú nabíjateľnú batériu, z ktorej môžu byť napájané aj externé moduly.

Na snímanie biologických signálov boli vyvinuté externé moduly pre elektrokardiogram, fotopletyzogram a fonokardiogram. Keďže sa jedná o telemonitorovací systém, je k nemu možné pripojiť aj moduly na prenos dát pomocou Wi-Fi, Bluetooth alebo GSM.

Ovládanie jednotlivých komponentov vývojového kitu je vykonávané pomocou operačného systému CircleOS, ktorý je napísaný v jazyku C. Do tohto operačného systému boli vytvorené aj knižnice na snímanie signálov a prenos dát pomocou externých modulov. Bližšie informácie o telemonitorovacom systéme sú uvedené v publikácii [4].

Na implementáciu navrhnutých metód na klasifikáciu život ohrozujúcich stavov bola využitá kombinácia modulov na snímanie elektrokardiogramu, fotopletyzogramu a prenos dát cez Bluetooth. Celkové riešenie je zobrazené na obr. 1.

## 3. Metódy a algoritmy na klasifikáciu život ohrozujúcich stavov

### 3.1. Navrhnuté metódy a algoritmy

Navrhnuté metódy sú zamerané predovšetkým na monitorovanie a klasifikáciu základných srdečných arytmií a fyzickej aktivity monitorovanej osoby, pri ktorých môžu nastať život ohrozujúce stavy. Tieto metódy boli navrhnuté tak, aby ich bolo možné jednoducho zrealizovať a implementovať do vývojového telemonitorovacieho systému. Vzhľadom na obmedzené systémové prostriedky mikroprocesoru v riadiacej jednotke, navrhnuté algoritmy nie sú výpočtovo ani pamäťovo náročné a teda dokážu bežať v reálnom čase a vyhodnocovať život ohrozujúce situácie.

Základné srdečné arytmie, ako sú zvýšená a znížená srdečná tepová frekvencia (bradykardia a tachykardia), sú detekované pomocou jednoduchého pevne stanoveného prahu. Hodnoty tepovej srdečnej frekvencie zvýšené nad 90 bpm (úderov za minútu) sú klasifikované ako tachykardia a hodnoty znížené pod 40 bpm sú klasifikované ako bradykardia.

Fyzická aktivita je monitorovaná pomocou zrýchlenia, ktoré je merané trojosím akcelerometrom. Na klasifikáciu sa využíva výsledný vektor, ktorý je zložený z vektorového súčtu zrýchlení vo všetkých troch osiach. Fyzická aktivita je klasifikovaná pomocou dát z akcelerometru, ktoré prekročujú stanovený prah alebo na základe reakcie monitorovanej osoby, od ktorej sa vyžaduje aby počas zadaného času niekoľkonásobne stlačila tlačidlo joysticku na riadiacej jednotke. Jedná sa o podobný systém ako je tlačidlo bdelosti v lokomotívach, ktoré musí rušňovodič stlačiť v presne stanovenom maximálnom čase, inak sa spustí zvukový alarm. V našom prípade je fyzická aktivita klasifikovaná iba do dvoch tried a to, či sa monitorovaná osoba pohybuje, alebo sa dlhší čas nepohybuje, čo môže signalizovať život ohrozujúci stav.

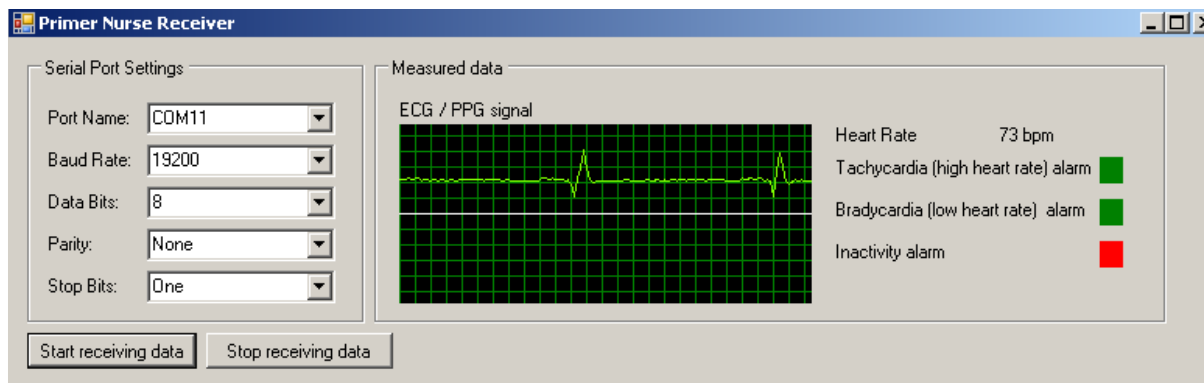
### **3.2. Implementácia navrhnutých algoritmov**

Klasifikácia srdečných arytmií je robená na základe srdečnej tepovej frekvencie, ktorá je počítaná z II. zvodu elektrokardiogramu. Algoritmus na výpočet srdečnej frekvencie z elektrokardiogramu a jeho implementácia v jazyku C je bližšie popísaná v článku [5]. Hodnota srdečného tepu je vyhodnocovaná každých 5 sekúnd. Samotná klasifikácia je implementovaná ako premenná typu „semafor“ z dôvodu eliminácie chybné vypočítanej srdečnej frekvencie napríklad kvôli značným pohybovým artefaktom v biologickom signáli elektrokardiogramu. Znamená to, že napríklad pri vyhodnocovaní tachykardie sa inkrementuje čítač alarmu vždy pri prekročení prahu a dekrementuje sa pri hodnote nižšej ako prah. Čítač beží v rozmedzí od 0 do 5, to znamená, že až po príchode 5 nadprahových hodnôt je daný stav klasifikovaný ako rizikový a je spustený alarm. Alarm je signalizovaný blikajúcim nápisom na displeji a zvukovým znamením zo zvučiaku na riadiacej jednotke. Pokiaľ sa čítač alarmu pri ďalšom vyhodnovení zníži na hodnotu menšiu ako 5, alarm sa automaticky vypne.

Klasifikácia fyzickej aktivity, ktorá je popísaná vyššie, je implementovaná ako voľne bežiaci čítač. Tento čítač sa inkrementuje každú sekundu alebo reštartuje na nulovú hodnotu pokiaľ bolo stlačené tlačidlo joysticku alebo výsledné zrýchlenie zaznamenané akcelerometrom dosiahlo nadprahovú hodnotu, ktorá bola nastavená na  $1,4 \times 9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Pokiaľ čítač alarmu presiahne hodnotu 30, je automaticky spustený alarm, ktorý je signalizovaný blikajúcim nápisom na displayi a zvukovým znamením zo zvučiaku na riadiacej jednotke. Alarm je vypnutý pri následnom stlačení tlačidla alebo zachytený pohybu pomocou akcelerometrického senzoru.

### **3.3. Vizualizácia a prenos alarmov rizikových stavov**

Alarmy, ktorými sú signalizované rizikové stavy na základe výslednej klasifikácie, sú prenášané pomocou bezdrôtového Bluetooth prenosu do PC. V PC sú alarmy rizikových stavov pomocou jednoduchej aplikácie vizualizované spolu s meraným signálom. Vizualizácia signálu a alarmu je vhodná napríklad pre operátora záchranného strediska alebo lekára, ktorý môže vidieť či sa jedná o chybnú klasifikáciu a následný planý poplach. Ukážka vizualizácie sa nachádza na screenshots aplikácie na obr. 2.



Obr. 2: PC aplikácia na vizualizáciu alarmov a signálov

#### 4. Návrh pripravovaných pokročilých metód klasifikácie

V predchádzajúcej časti bol popísaný návrh a implementácia jednoduchých metód klasifikácie život ohrozujúcich stavov. Na základe predchádzajúcich skúseností a testovaní sa pripravuje implementácia klasifikácie pomocou metód štatistického rozpoznávania. Merané dáta budú rozšírené o signály z gyroskopického senzoru a na výpočet srdečnej frekvencie sa použije ako druhý referenčný signál fotopletysmografická krivka. Namiesto prahovacích metód bude použitá implementácia lineárneho klasifikátora typu Perceptron, ktorý nemá veľké nároky na systémové zdroje pri klasifikácii daného stavu, vzhľadom k tomu, že na určenie správnej triedy je nutné vypočítať jednu lineárnu funkciu. Tento klasifikátor bude natrénovaný na dátach, ktoré budú získané na základe rozdelenia do jednotlivých tried pomocou zhukovanej analýzy K-Means [6]. Trénovanie klasifikátora bude prebiehať na PC v prostredí Matlab.

Pri implementácii algoritmov sa bude klásť dôraz na rýchlosť výpočtov, ktorá je pri vyhodnocovaní život ohrozujúcich situácií a malý výpočtový výkon mikropočítačov dôležitým faktorom správneho návrhu algoritmov.

Klasifikácia rizikových stavov bude rozšírená o priamu detekciu pádov a vylepšenú detekciu fyzickej aktivity a srdečných arytmií, pretože bude využitá fúzia dát z pohybových senzorov a srdečná tepová frekvencia získaná z elektrokardiogramu a fotopletysmogramu [7].

Tieto metódy budú implementované a testované na vývojom modulárnom telemonitorovacom systéme, ktorý bol navrhnutý na tieto účely. Konečným výsledkom má byť implementácia algoritmov do jedného kompaktného systému, ktorý bude zložený z riadiacej jednotky a senzorického systému [8].

#### 5. Záver

Klasifikácia život ohrozujúcich stavov je jedna z významných funkcií systémov určených pre asistívne technológie a monitorovanie životných funkcií.

Pri návrhu algoritmov, ktoré majú bežať na zariadeniach s malým výpočtovým výkonom a majú byť pritom dostatočne rýchle a spoľahlivé, treba vyberať z jednoduchých metód a ich správnej implementácie.

Implementáciou algoritmov na klasifikáciu základných srdečných arytmií a fyzickej aktivity monitorovanej osoby do modulárneho telemonitorovacieho systému bola zlepšená jeho funkcionalita, ktorá môže byť využitá na ďalšie výskumné a výukové účely.

Systém s touto rozšírenou funkcionalitou komplexne demonštruje získavanie dát z monitorovaného pacienta, ich následné spracovanie, vyhodnotenie život ohrozujúceho stavu, prenos dát do PC a ich následnú vizualizáciu.

Funkčné prototypové riešenie celého telemonitorovacieho systému, bolo pod názvom projektu „Intelligent Primer Nurse“, ohodnotené prvou cenou v súťaži 2011 OpenWorld

Design Contest Promoting Human Assistance, ktorá bola organizovaná pod záštitou firiem Raisonance a STMicroelectronics [9].

Na základe úspešných výsledkov pri testovaní jednoduchého riešenia sú pripravované pokročilé klasifikačné metódy, ktoré boli popísané v poslednej časti príspevku. Pri výbere a použití týchto metód je nutné dbať na ich správnu implementáciu v Real-Time systémoch.

## Podakovanie

Tato práca bola podporená výskumným zámerom Ministerstva školstva, mládeže a telovýchovy Českej republiky č. MSM 6840770012.

## References

- [1] Pantelopoulos, A.; Bourbakis, N. G. A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*. Jan. 2010, vol. 40, 1–12.
- [2] Wan-Young Chung; Bhardwaj, S.; Purwar, A.; Dae-Seok Lee; Myllylae, R. W. A Fusion Health Monitoring Using ECG and Accelerometer sensors for Elderly Persons at Home. In *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Lyon, August 2007.
- [3] Leijdekkers, P.; Gay, V. Personal Heart Monitoring System Using Smart Phones To Detect Life Threatening Arrhythmias. In *Proceedings of the 19th IEEE International Symposium Computer-Based Medical Systems*. Salt Lake City, June 2006.
- [4] Parak, J.; Dvořák, J.; Pokorný, M.; Havlík, J. Modular development telemonitoring system. In *Proceedings of the 35th IEEE International Conference on Telecommunications and Signal Processing*, Prague, July 2012. (in press)
- [5] Parak, J.; Dvořák, J.; Havlík, J. Device for Long Term Measurement of Heart Rate. In *Proceedings on the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*, Barcelona, Spain, October 2011.
- [6] Bidargaddi, N.; Sarela, A.; Korhonen, I. Physiological state characterization by clustering heart rate, heart rate variability and movement activity information. In *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Vancouver, August 2008.
- [7] Anh Dinh; Teng, D.; Li Chen; Yang Shi; McCrosky, C.; Basran, J.; Del Bello-Hass, V. Implementation of a Physical Activity Monitoring System for The Elderly People With Built-in Vital Sign and Fall Detection. In *Proceedings of the IEEE International Solid-State Circuits Conference, 2008. Digest of Technical Papers*, San Francisco, Feb. 2008.
- [8] Wong, A.C.-W.; McDonagh, D.; Kathiresan, G.; Omeni, O. C.; El-Jamaly, O.; Chan, T. C.-K.; Paddan, P.; Burdett, A. J. A 1V, Micropower System-on-Chip for Vital-Sign Monitoring in Wireless Body Sensor Networks. In *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: New Generations*, Las Vegas, April 2009.
- [9] STMicroelectronics. STMicroelectronics Announces Results of the Autonomie 'OpenWorld Design Contest' Initiative to Promote Human-Assistance Technologies. [http://www.st.com/internet/com/press\\_release/t3291.jsp](http://www.st.com/internet/com/press_release/t3291.jsp), 4/2012.