

Zariadenie pre dlhodobý záznam srdečnej tepovej frekvencie

Jakub Parák, Jan Dvořák, Jan Havlík

Katedra teorie obvodů, Fakulta Elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze, Technická 2, 166 27 Praha 6, Česká republika
{parakjak|dvoraj45|khavlikj}@fel.cvut.cz

Abstrakt. V nasledujúcom príspevku je popísané zariadenie pre dlhodobý záznam srdečnej tepovej frekvencie, ktoré je určené na výskumné a výukové účely v oblastiach lekárskej prístrojovej techniky a spracovania biologických signálov. Zariadenie je vytvorené na vývojovom kite STM32-Primer2. Srdečná tepová frekvencia sa počíta z vybraného zvodu elektrokardiogramu, zo signálu meraného externým modulom pripojeným k vývojovému kitu. Zariadenie umožňuje paralelný záznam zrýchlenia, ktorý je vhodný na detekciu fyzickej aktivity meranej osoby. Namerané dáta sa ukladajú na pamäťovú kartu vo forme raw signálov, ktoré môžu byť použité na ďalšie spracovanie v rôznych oblastiach výskumu. Modulárne riešenie zariadenia umožňuje, aby k nemu mohli byť pripojené prípadne i ďalšie externé moduly.

Kľúčové slová: srdečný tep, zrýchlenie, záťažové testy, biofeedback, STM32-Primer2.

I. ÚVOD

Dlhodobé meranie srdečnej tepovej frekvencie je jednou z najrozšírenejších metód monitorovania životných funkcií pacienta. Na základe monitorovania srdečnej tepovej frekvencie je možné získať informácie o mnohých srdečných anomáliách. Dlhodobé monitorovanie sa využíva najmä pri rôznych druhoch fyzických a psychických záťažových testov. Pri fyzickej záťaži je dobré merať záznam srdečného tepu spolu so signálom zrýchlenia, ktorý poskytuje informácie o pohybe, resp. fyzickej aktivite meranej osoby.

Výpočet srdečnej tepovej frekvencie je možný z rôznych signálov, ktoré dokážeme merať rozličnými metódami. Signály bežne používané v klinickej praxi sú elektrokardiogram a fotopletyzogram.

Fonokardiogram je záznam srdcových oziev, ktoré vznikajú pri činnosti chlopní a stien komôr. Balistokardiogram je záznam úderov srdca nameraný pomocou tenzometrických senzorov sily umiestnených pod telom meranej osoby [1]. Signál, ktorý tiež dobre zobrazuje srdečnú činnosť, je možné namerať po vložení tela do magnetického poľa. Toto pole po prechode telom generuje vírivé prúdy na základe zmeny impedancie tkaniva spôsobované srdečnou činnosťou. Tieto prúdy vytvárajú nové pole, ktorého indukcia je detekovaná a ďalej spracovávaná pomocou špeciálnych obvodov a filtrov, ktorých výstupom je daný signál [2]. Vložením optického vlákna do matrace postele sa počas dýchania a srdečnej činnosti mení dĺžka optického vlákna. Pomocou optického

interferometru je možné tieto zmeny zmerať a získať signál obsahujúci informácie o srdečnej činnosti [3].

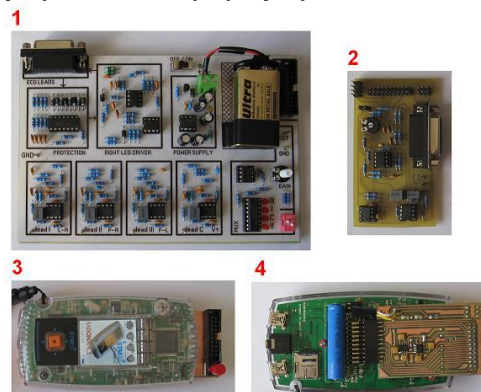
Popísané signály však nie sú vhodné na dlhodobý záznam srdečnej tepovej frekvencie, pretože merací systém väčšiny z nich nie je možné jednoducho implementovať do prenosného zariadenia.

Existujú však aj rôzne iné zariadenia, ktoré dokážu merať srdečnú tepovú frekvenciu a monitorovať základné životné funkcie. Nevýhodou mnohých týchto zariadení je, že neumožňujú záznam dát. Príkladom je profesionálny športový merač tepu typu Polar F7. Pokiaľ záznam dát umožňujú, tak dáta z nich nie je možné vyexportovať na ďalšie spracovanie, pretože sú uzamknuté výrobcom, ako napríklad EKG Holter typu BTL-08.

Vytvorené zariadenie poskytuje namerané raw signály vhodné pre ďalšie spracovanie. Zariadenie je pre svoju jednoduchosť a prenosnosť určené predovšetkým na záťažové testy a biofeedback. Modulárne riešenie zariadenia umožňuje jednoduché pripájanie ďalších modulov na merania a prenos biosignálov najmä v telemedicínskych aplikáciách. Takýto systém je možné taktiež využiť pri výuke predmetov zameraných napr. na telemedicínske a asistívne technológie.

II. POPIS ZARIADENIA

Zariadenie sa skladá z týchto hlavných častí (viď obr1): externé moduly na meranie EKG signálu, extension board pre vývojový kit a samotný vývojový kit STM32-Primer2.

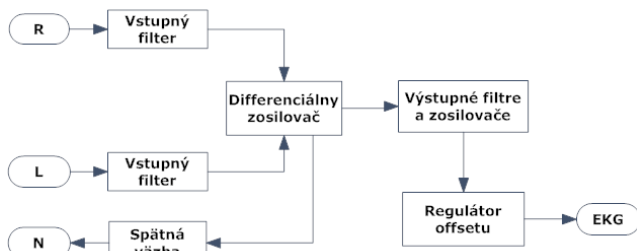


Obr. 1. Hlavné časti zariadenia. 1 a 2 externé moduly, 3 vývojový kit, 4 extension board zasunutý vo vývojovom kite

A. Externé moduly

V rámci tohto projektu boli vytvorené dva externé moduly určené na merania EKG signálu. Prvý modul je určený na meranie signálu I. zvodu EKG pomocou 3 elektród. Bol vytvorený na základe schém uvedených v zdrojoch [5]. Modul sa skladá z týchto funkčných blokov (viď obr.2) – vstupné filtre, diferenciálny zosilňovač, obvod spätnej väzby, výstupné filtre a zosilňovače, regulátor offsetu výstupného signálu.

Vstupné filtre majú za účel odstrániť nežiaduce vysokofrekvenčné rušenie. Na mieste diferenciálneho zosilňovača bol použitý prístrojový zosilňovač AD620. Obvod spätnej väzby je určený na aktívne potlačenie súhlasného rušenia.



Obr. 2. Bloková schéma externého modulu.

Výstupné filtre sú nastavené na pásmo EKG signálu v rozmedzí 0,05 Hz až 100 Hz. Regulátor offsetu výstupného signálu je v obvode zaradený kvôli rozsahu vstupného napätia analógovo – digitálneho (AD) prevodníku vývojového kitu, ktoré je 0 až 2,8 V,

Druhý modul je navrhnutý podľa obvodového zapojenia profesionálneho elektrokardiografu [4]. Na tomto module je možné merať signál zo zvodov I, II, III a V1 pomocou 5 elektród. Modul okrem spomenutých funkčných blokov obsahuje multiplexor, ktorý je určený na prepínanie jednotlivých zvodov EKG na výstupe. Na rozdiel od predchádzajúceho modulu je na mieste diferenciálnych zosilňovačov jednotlivých zvodov, namiesto prístrojového zosilňovača AD620, použitý zosilňovač TL072, pričom každý vstup obsahuje aj impedančné oddelenie tvorené týmto typom zosilňovača.

B. Extension board

Vývojový kit obsahuje vo vnútri extension konektor, na ktorom je vyvedené napájacie napätie batérie a piny voľných periférií mikroprocesoru. Do tohto konektora sa pripája navrhnutý extension board, ktorý obsahuje tieto bloky: napájacie obvody, konektory na pripájanie vývojového kitu a externých modulov. Napájacie obvody sú tvorené Step-Up meničom, invertorom napätia a napäťovými stabilizátormi. Tieto obvody vytvárajú z napájacieho napätia batérie vývojového kitu, ktoré je 2,8 V, napätie ± 5 V určené na napájanie externých modulov. Jednotlivé piny periférií mikroprocesoru sú na extension board chránené ochrannými odpormi.

C. Vývojový kit STM32-Primer2

Pre túto aplikáciu bol zvolený vývojový kit STM32-

Primer2, ktorý je osadený 32-bitovým mikroprocesorom ARM CORTEX STM32F103BRET s maximálnou taktovacou frekvenciou 72 MHz. Vytvorené zariadenie využíva na vývojovom kite predovšetkým tieto komponenty: LCD displej, akcelerometer, slot pre micro SD Flash karty a extension konektor pre rozširujúce dosky.

III. SPRACOVANIE SIGNÁLU

V prostredí Matlab boli navrhnuté digitálne filtre na spracovanie EKG signálu a algoritmus na výpočet srdečnej tepovej frekvencie.

Na odstránenie sieťového rušenia 50 Hz bol navrhnutý filter typu bikvády. Na odstránenie frekvencie dýchania bola navrhnutá horná priepusť 2. rádu typu Butterworth na frekvencii 0,5 Hz. K filtrácii pásma R-vln boli navrhnuté filtre horná a dolná priepusť 4. rádu typu Butterworth na frekvenciách 15 Hz a 20 Hz.

Výpočet tepovej frekvencie prebieha pomocou R-R intervalu z energie signálu po spracovaní danými filtermi. Energia signálu je vyhľadaná integračným filterom a R-špičky sú detekované pomocou špičkového detektoru.

Navrhnuté filtre a algoritmus boli implementované podľa návrhu do vývojového kitu v jazyku C podľa normy ANSI.

Srdečný tep je počítaný každé 2 s ($f_s = 0,5$ Hz) podľa nasledovného postupu. Vzorkovanie EKG signálu prebieha neustále ako nezávislý proces a ukladá vzorky do pamäti. Srdečný tep je počítaný z okna signálu dĺžky 4 s, pričom okná sa prekrývajú po dobu 2 s. Okno signálu dĺžky 4 s teda obsahuje posledné 2 s signálu z predchádzajúceho okna.

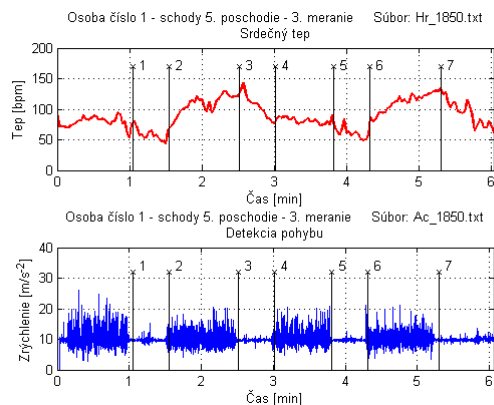
Zrýchlenie merané akcelerometrom umiestneným na vývojovom kite je vzorkované frekvenciou $f_s = 10$ Hz.

Okamžitá vypočítaná hodnota srdečného tepu je zobrazovaná na displeji vývojového kitu, pričom je spolu so zrýchlením zaznamenávaná na micro SD Flash kartu. Takto získané raw záznamy srdečného tepu a akcelerácie sú určené predovšetkým na ďalší výskum a spracovanie.

IV. EXPERIMENTÁLNE MERANIA

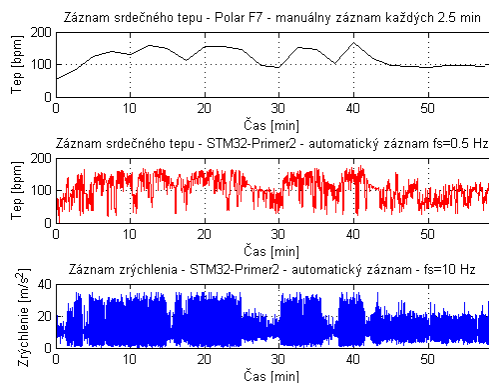
Na zhotovenom zariadení boli vykonané experimentálne merania na niekoľkých osobách pri rôznych fyzických aktivitách. Na ukážku sú uvedené (viď obr. 3) záznamy z merania, ktoré bolo prevedené pri chôdzi po schodoch z 5. pochodia na prízemie a späť. Meraná osoba mala túto aktivitu zopakovať dva krát za sebou, pričom pri dosiahnutí prízemie a 5. poschodia vykonala 30 s prestávku. Pri meraní boli pre kontrolu použité stopky, z ktorých boli zisťované časy kontrolných bodov. Na zobrazenom grafe je možné pozorovať zvýšenú srdečnú tepovú frekvenciu pri chôdzi po schodoch smerom nahor. Záznam zrýchlenia dobre informuje o tom, kedy meraná osoba kráčala po schodoch nahor, kedy nadol a kedy mala prestávku. Táto záťažová fyzická aktivita dobre ukazuje na závislosť medzi srdečnou tepovou frekvenciou a zrýchlením, ktoré

zobrazuje pohyb meranej osoby. Pre kontrolu sú v grafe zobrazené jednotlivé časové značky podľa časových údajov získaných zo stopiek.



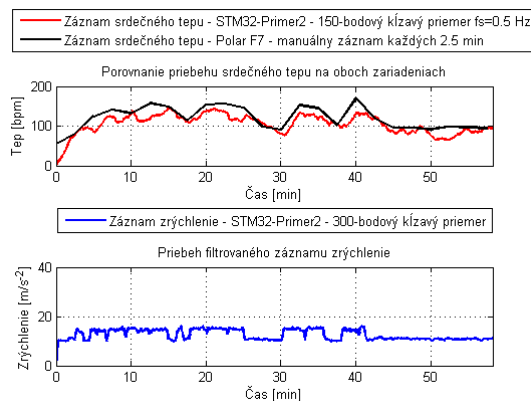
Obr. 3. Raw záznamy merania pri chôdzi po schodoch.

Ďalšie experimentálne meranie bolo prevedené pri behu a kráčaní meranej osoby v parku. Pri tomto meraní bol poriadnený aj manuálny záznam z profesionálneho merača tepu Polar F7. Záznam bol robený každých cca. 2,5 minúty, pretože prístroj neumožňuje žiadne ukladanie dát počas merania. Na grafoch (viď obr. 4), ktoré boli vytvorené na základe dát nameraných na jednotlivých prístrojoch, je možné dobre pozorovať, kedy meraná osoba kráčala, bežala alebo nečinne stála.



Obr. 4. Raw záznamy z merania počas behu a kráčania v parku.

Pre lepšie porovnanie záznamov boli dáta z vývojového kitu prefiltrované filtermi kľzavých priemerov. Po tejto filtrácii (viď obr. 5) je dobre vidieť podobnosť medzi krivkami srdečného tepu získanými z manuálneho merania pomocou profesionálneho merača tepu a automatického merania na zhotovenom zariadení. Po filtrácii zrýchlenia sa nám zo záznamu odstránila informácia o tom, kedy osoba nečinne stála, avšak sa nám lepšie zobrazili informácie o behu a chôdzi meranej osoby.



Obr. 5. Filtervané záznamy z merania počas behu a kráčania v parku.

V. ZÁVER

Na základe experimentálnych meraní je možné tvrdiť, že zhotovené zariadenie poskytuje kvalitné záznamy o srdečnom tepe a zrýchlení. Možno ho využiť napríklad na meranie tepu pri riešení stresových úloh a situácií (biofeedback). Vzhľadom na jeho malú veľkosť je vhodné napríklad na meranie srdečného tepu a zrýchlenia pri vysokohorskej turistike alebo horolezectve, kde je možné sledovať reakcie meranej osoby na rôznu záťaž.

Po rozšírení zariadenia o ďalšie moduly môže byť ďalej použité v telemedicínskych aplikáciách pri dlhodobom monitorovaní životných funkcií.

POĎAKOVANIE

Tato práca bola podporovaná výskumným zámernom Ministerstva školstva, mládeže a telovýchovy Českej republiky č. MSM 6840770012 a ďalej grantom poskytnutým z Fondu rozvoja vysokých škôl č. 2122/2011. Účasť na konferencii je hradená z prostriedkov poskytnutých Nadačným fondom Stanislava Hanzla (ČVUT v Praze).

ZDROJE

- [1] Friedrich, D.; Aubert, X. L.; Führ, H. and Brauers, A., "Heart Rate Estimation on a Beat-to-Beat Basis via Ballistocardiography – A hybrid Approach," in 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Buenos Aires, Argentina, August 31 - September 4 2004, pp. 4048–4051.
- [2] Steffen M.; Leonhardt S, "Non-Contact Monitoring of Heart and Lung Activity by Magnetic Induction Measurement," Acta Polytechnica, vol. 48, pp. 71–78, No. 3/2008.
- [3] Sprager, S.; Donlagic, D.; Zazula, D., "Monitoring of basic human vital functions using optical interferometer," in 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing (ICSP), Beijing, China, 24–28 Október 2010, pp. 1738–1741.
- [4] Danek, J. (2010, Marec) CARDIOLOGY, ECG – basic information. [cit:2011-03-03]. [Online]. Dostupné na internete: http://noel.feld.cvut.cz/vyu/x311et/Lectures/05_EKGDanek.pdf
- [5] Tenedero, M. C.; Raya, D. A. M.; Sison, G. L., "Design and implementation of a single-channel ecg amplifier with dsp post-processing in matlab," Philippines, November 2010.