



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Ing. Alek Lichtman

Autoreferát dizertačnej práce

**VYUŽITIE NEINVAZÍVNYCH METÓD MERANIA
BIOSIGNÁLOV VODIČA V RIADENÍ
MECHATRONICKÝCH SYSTÉMOV**

na získanie akademického titulu

doktor (philosophiae doctor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe:

mechatronické systémy

v študijnom odbore:

kybernetika

Forma štúdia:

denná

Miesto a dátum:

Bratislava, 18.5.2020



Dizertačná práca bola vypracovaná na

Ústave automobilovej mechatroniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky STU
v Bratislave (FEI STU BA)

Predkladateľ:

Ing. Alek Lichtman
Ústav automobilovej mechatroniky
FEI STU BA, Ilkovičova 3,
812 19 Bratislava

Školiteľ:

doc. Ing. Peter Fuchs, PhD.
Ústav automobilovej mechatroniky
FEI STU BA, Ilkovičova 3,
812 19 Bratislava

Oponenti:

doc. Ing. Marek Kukučka, PhD.
Lektor, oddelenie projektovania a realizácie
simulátorového výcviku pre energetiku
Školiace a výcvikové stredisko personálu JZ
VUJE, a. s.,
Okružná 5, 918 64 Trnava

prof. Ing. Pavol Tanuška, PhD.
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie
a mechatroniky
Materiálovotechnologická fakulta STU so
sídлом v Trnave,
Jána Bottu 25, 917 24 Trnava



Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa

..... **o****h.**

na Fakulte elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave,
 Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, v miestnosti

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec

ABSTRAKT

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav automobilovej mechatroniky

Študijný program: MECHATRONICKÉ SYSTÉMY
Autor: Ing. Alek Lichtman
Názov dizertačnej práce: VYUŽITIE NEINVAZÍVNYCH
METÓD MERANIA BIOSIGNÁLOV
VODIČA V RIADENÍ
MECHATRONICKÝCH SYSTÉMOV
Vedúci dizertačnej práce: doc. Ing. Peter Fuchs, PhD.
Rok odovzdania: máj 2020

Práca sa zaoberá analýzou diagnostických systémov, štúdiom metód merania biosignálov s dôrazom na neinvazívny charakter a snímaním biosignálov s cieľom zabezpečiť prevádzku mechatronického systému na základe zosnímaných dát z vodiča. V práci je preskúmaná teória biosignálov a súčasného stavu dostupných snímacích zariadení. Hlavným zameraním práce je monitorovanie EKG signálu, z ktorého možno detekovať infarkt, vyslať signál na zastavenie mechatronického systému a privolať pomoc navrhnutým systémom popísaným v práci.

ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
Faculty of electrical engineering
Institute of automotive mechatronics

Study programme:	MECHATRONIC SYSTEMS
Author:	Ing. Alek Lichtman
Title of dissertation thesis:	UTILIZATION OF NON- INVASIVE METHODS OF DRIVER'S BIOSIGNALS MEASUREMENT IN MECHATRONIC SYSTEMS CONTROLLING
Supervisor:	doc. Ing. Peter Fuchs, PhD.
Year of submission:	May 2020

This work deals with diagnostic system analysis, studying biosignal measurement methods with emphasis on non-invasive nature and measuring biosignals with goal of ensuring operation of mechatronic system based on data obtained from driver. The thesis examines theory of biosignals and current state of available monitoring devices. Main concern of the work is monitoring ECG signal, based on which we can detect heart attack, sending a signal for mechatronic system stopping and calling help using designed system described in the thesis.

Zoznam použitých skratiek

EKG	elektrokardiogram
AKS	akútny kororárny syndróm
STEMI	infarkt myokardu s eleváciou ST segmentu
NSTEMI	infarkt myokardu s depresiou ST segmentu
DRL	budič pravej nohy (driven right leg)
ADC	analógovo-digitálny prevodník
GPS	globálny polohový systém
SMS	služba krátkych textových správ
UART	univerzálny asynchrónny vysielač-prjímač
bpm	údery za minútu
s.z.š.	severná zemepisná šírka
j.z.š.	južná zemepisná šírka

Obsah

1. Úvod	1
2. Ciele práce	2
3. Príčina a príznaky infarktu	3
3.1.1 Zmena ST segmentu pri infarkte myokardu	4
4. Výsledky práce	6
4.1 Zosilňovač EKG	7
4.2 Mikropočítačový systém MSP430F5529	15
4.2.1 Kalibrácia prahov detekcie R, S vln a algoritmus pre detekciu NSTEMI	17
4.3 Android aplikácia	20
5. Diskusia	24
6. Teoretické a praktické prínosy dizertačnej práce	29
7. Záver	32
Zoznam vlastných publikácií	34
Zoznam bibliografických odkazov	36

1. Úvod

V dnešnej dobe má automatizácia aj tých najjednoduchších procesov svoje podstatné miesto. Problematika riadenia a kontroly nekončí len pri urýchlčení, zefektívnení a zjednodušení opakovaných procesov. Je o to závažnejšia, pokiaľ jej správna funkcia má na starosti nielen hmotné statky, ale aj životy. Preto je dôležité dbať na kvalitu a presnosť procesných dát. Zákonitosti ohľadom snímania, spracovania, prenosu signálov a dát predstavujú samostatnú oblasť využiteľnú nielen v biomedicínskej diagnostike. Výstup diagnostiky biosignálov môže byť vstupom pre ďalšiu oblasť, ako je riadenie mechatronických systémov. Celý proces je možné monitorovať, zdokumentovať, prípadne usmerniť informačnými technológiami.

Témou práce sú zákonitosti ohľadom neinvazívnych metód merania biosignálov vodiča za účelom ich spracovania a vhodnej diagnostiky aplikovateľnej na riadenie mechatronického systému.

2. Ciele práce

Na základe analýzy súčasného stavu monitorovania signálov je EKG najvhodnejším parametrom pre zasiahnutie do riadenia, a to v prípade infarktu. Nenašli sme žiadne zariadenia, ktoré by boli schopné okamžite detekovať infarkt v kontinuálnom reálnom čase, čo by mohlo pomôcť predísť dopravnej nehode a zachrániť životy. Cieľ práce je vyhotoviť systém, ktorý dokáže zosnímať EKG vodiča a vyhodnotiť dáta tak, aby bolo možné identifikovať infarkt a vyslať signál pre zastavenie mechatronického vozidla,

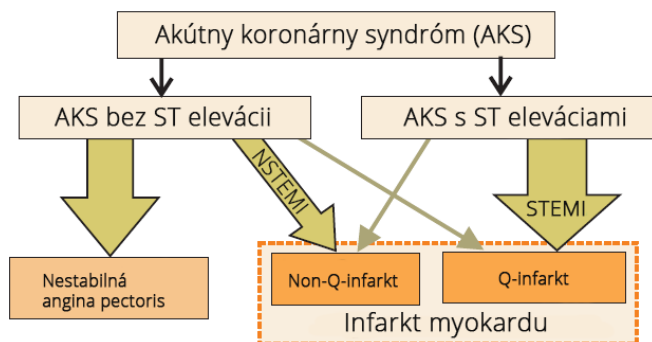
V práci sa snažíme spojiť tri oblasti - bioelektroniku, informatiku a mechatroniku. Myšlienka je zabezpečiť prevádzku mechatronického vozidla na základe zosnímaných dát z vodiča.

3. Príčina a príznaky infarktu

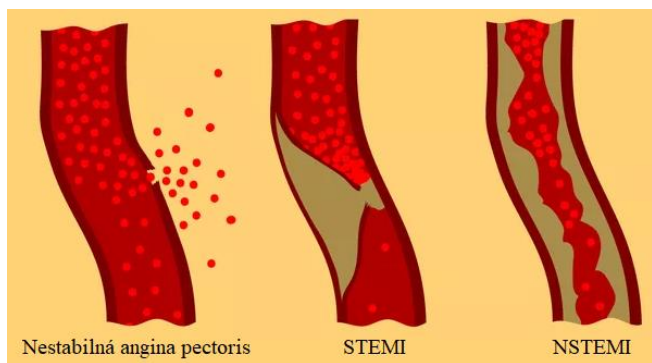
Akútny koronárny syndróm (AKS) je akútne ischemické poškodenie myokardu (ischémia je redukcia prietoku krvi v tkanive). Typy AKS sú (obr. 3.1, 3.2):

- nestabilná angina pectoris: je čiastočné prasknutie jemnej tepny s malým priemerom, ktorá spôsobuje bolesti v oblasti hrudníka a napriek jej symptómom nespôsobuje trvalé poškodenie srdca,
- infarkt myokardu s eleváciou ST segmentu (STEMI): je považovaný za typický infarkt, pri ktorom prasknutý štít blokuje celú alebo takmer celú koronárnu artériu (artérie sú dve a zásobujú srdce), čo spôsobuje rozsiahle poškodenie srdca,
- infarkt myokardu s depresiou ST segmentu (NSTEMI): je považovaný za strednú formu AKS, pri ktorej koronárna artéria je len čiastočne blokovaná s rovnakými symptómami ako pri STEMI, ale menšími rozsahmi poškodenia srdca. [1]

NSTEMI a nestabilná angina môžu pokročiť až na úplný STEMI infarkt od niekoľkých hodín až mesiacov. Oba predpovedajú STEMI a sú skorým varovným signálom, že je potrebný lekársky zásah. [1]



Obr. 3.1: Rozdelenie akútnych koronárnych syndrómov. [2]

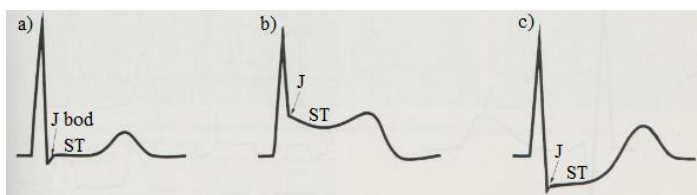


Obr. 3.2: Vplyv akútnych koronárnych syndrómov na koronárnu artériu. [1]

3.1.1 Zmena ST segmentu pri infarkte myokardu

ST segment sa nachádza medzi koncom QRS komplexu a začiatkom T vlny EKG krivky. Bod, ktorý je prechodom medzi QRS a ST segmentom, sa nazýva J bod alebo J funkcia. J bod je normálne izoelektrický, ale môže byť zvýšený (elevácia) nad základnú líniu alebo znížený (depresia) pod základnú líniu (obr. 3.3). ST segment mierne klesá z J bodu do T vlny. Stred ST

segmentu normálne dosiahne izoelektrickú líniu, ale úplne horizontálny priebeh môže znamenať ischémiu myokardu (čo je redukcia prietoku krvi v tkanive). Na EKG krivke sa základná línia nachádza v intervale medzi koncom T alebo U vlny a ďalšou P vlnou. [3]



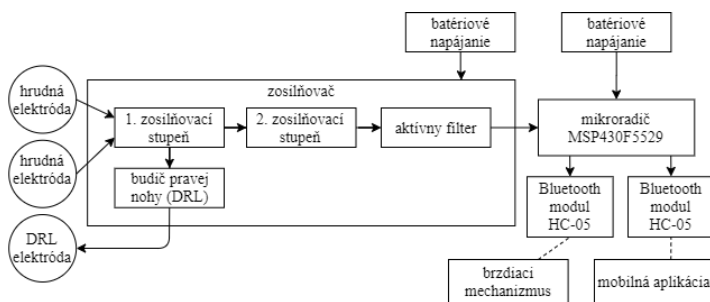
Obr. 3.3: Grafická reprezentácia ST segmentu:

- a) isoelektrický J bod a ST segment,
- b) elevácia J bodu a ST segmentu,
- c) depresia J bodu a ST segmentu. [3]

4. Výsledky práce

Na základe naštudovanej problematiky sme sa rozhodli vybudovať systém z hlavných nasledujúcich častí (obr. 4.1):

- zosilňovač pre EKG: zosilnenie a filtrovanie snímaného biosignálu je realizované analógovým zosilňovačom zloženého z dvoch zosilňovacích stupňov a aktívneho filtra,
- mikropočítačový systém: samotné meranie, číslicové spracovanie a prenos dát do mobilnej aplikácie pomocou sériového rozhrania Bluetooth zabezpečuje mikroradič MSP430F5529, ktorý aj zabezpečuje vyhodnotenie infarktového stavu a odoslanie signálu pre zastavenie vozidla,
- mobilná aplikácia: Android aplikácia pre zobrazovanie snímaných dát a notifikáciu vodiča.



Obr. 4.1: Bloková schéma navrhnutého systému.

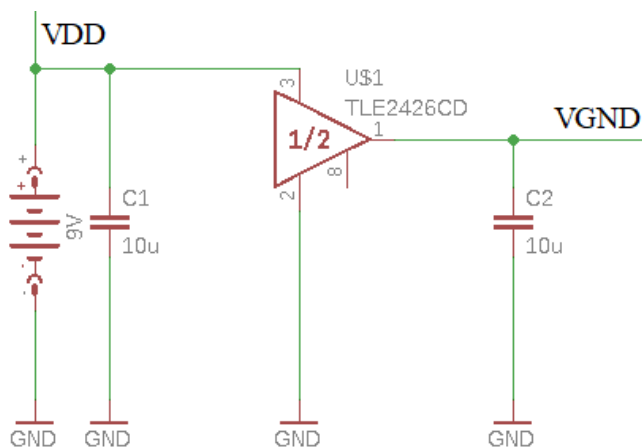
4.1 Zosilňovač EKG

Na návrh zosilňovača vplývajú viaceré faktory:

- detekčný rozsah analógovo-digitálneho prevodníka zvoleného mikroradiča MSP430F5529: 0 - 3,3 V,
- maximálny rozsah typického EKG signálu: v bibliografických zdrojoch [4], [5], [6] sú uvádzané rozličné rozsahy s maximálnymi hodnotami 1 až 1,6 mV a frekvenčný rozsah do 100 Hz, v [7] maximum do 4 mV vrátane abnormálnych hodnôt a frekvenčný rozsah do 250 Hz,
- vytvorenie offsetu pre asymetrický vstup prevodníka, aby bolo možné získať údaje celej EKG krivky.

Obvod napájania

Obvod zosilňovača je napájaný 9 V batériou. Keďže operačné zosilňovače využívané v zosilňovacích stupňoch potrebujú symetrické napájanie pre správnu činnosť, obvod TLE2426 zabezpečí virtuálnu zem VGND, ktorá je rovná polovici napájacieho napätia. VGND predstavuje nulový potenciál a bude vstup pre prevodník mikroradiča, VDD predstavuje napäťovú úroveň +4,5 V a GND -4,5 V. [8]



Obr. 4.2: Batériou napájací obvod zosilňovača. [8]

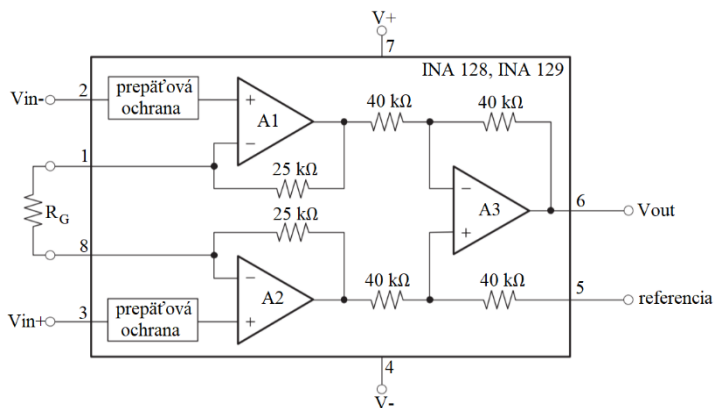
Prvý zosilňovací stupeň

Prvý zosilňovací stupeň tvorí INA128, ktorého zjednodušená schéma je na obr. 4.3. Je to nízko príkonový vysokoimpedačný zosilňovač vhodný na snímanie biosignálov a hodnota jeho zosilnenia sa nastaví rezistorom R_G . Pre jeho napájací rozsah $\pm 2,25$ V do ± 18 V je možné ho využiť v aplikáciách napájaných batériou. Zosilnenie G je definované podľa vzťahu (4.1),

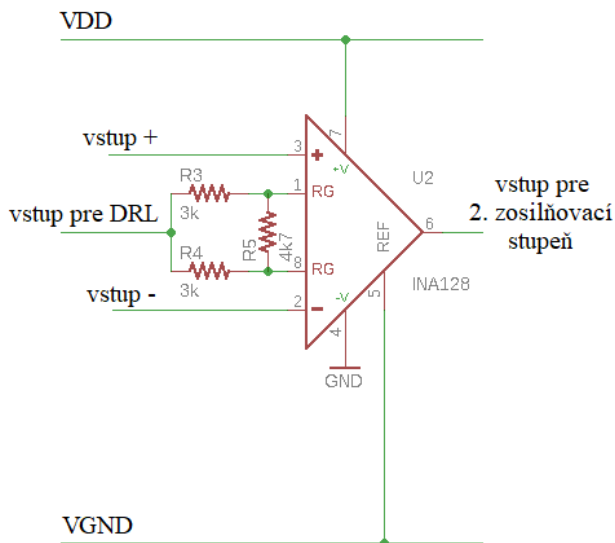
$$G = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{R_G} = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{\left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_3 + R_4}\right)^{-1}} = 1 + \frac{50 \text{ k}\Omega}{\left(\frac{1}{4,7 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{6 \text{ k}\Omega}\right)^{-1}} = 19,97 \quad (4.1)$$

kde kombinácia rezistorov tvorí odpor R_G , aby bolo možné získať vstupný signál pre DRL obvod (obr. 4.4). [9]

Podľa zapojenia na obr. 4.4 a vzťahu (4.1) je zosilnenie prvého zosilňovacieho stupňa rovné 19,97.



Obr. 4.3: Štruktúra zosilňovača INA128. [9]



Obr. 4.4: Prvý zosilňovací stupeň. [8]

Druhý zosilňovací stupeň

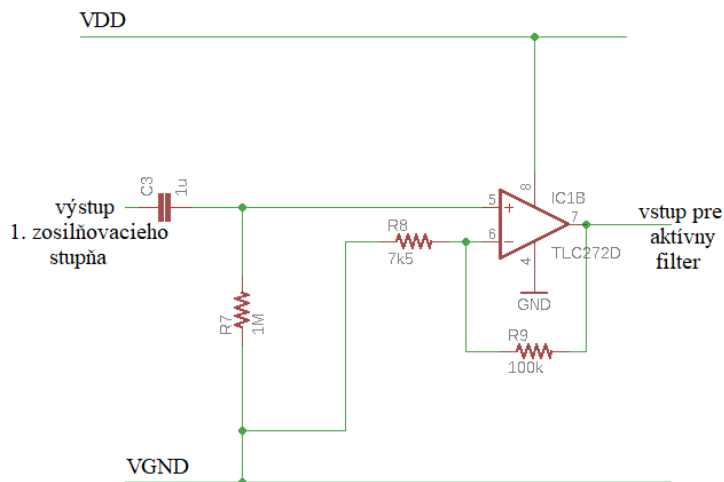
Druhý zosilňovací stupeň (obr. 4.5) pozostáva z vysokoimpedančného nízkošumového neinvertujúceho zosilňovača TLC272D. Od prvého stupňa je oddelený hornopriepustným filtrom s medznou frekvenciou f_m pre potlačenie nízkofrekvenčných zložiek. Hodnota f_m je určená vzťahom (3.2).

$$f_m = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_7 \cdot C_3} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10^6 \Omega \cdot 10^{-6} \text{F}} = 0,1592 \text{ Hz} \quad (4.2)$$

Zosilnenie 2. stupňa je určené hodnotami rezistorov R_8 a R_9 podľa vzťahu (3.3),

$$G = \frac{R_8 + R_9}{R_8} = \frac{7,5 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega}{7,5 \text{ k}\Omega} = 14,33 \quad (4.3)$$

čo zodpovedá hodnote 14,33. [8]



Obr. 4.5: Druhý zosilňovací stupeň. [8]

Aktívny filter

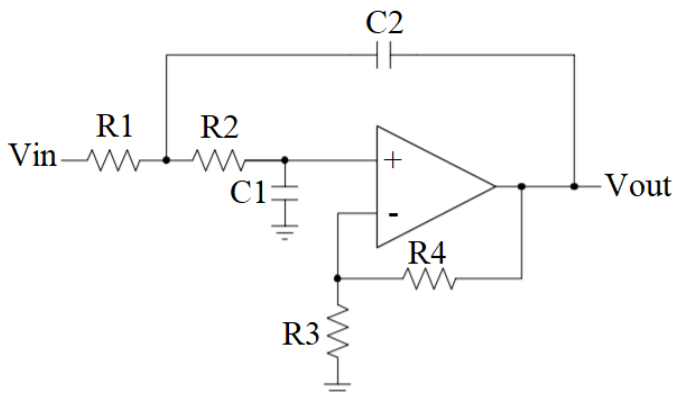
Tretí zosilňovací stupeň, označovaný ako aktívny filter, je rovnako oddelený od druhého zosilňovacieho stupňa hornopriepustným filtrom s $f_m = 0,1592$ Hz, tak ako druhý stupeň od prvého. Aktívny filter je dolnopriepustný filter so Sallen-Key štruktúrou (obr. 4.6), ktorej výhody sú vysoká vstupná impedancia a jednoduchý systém pre dosiahnutie potrebného zosilnenia. [10]

Parametre Sallen-Key filtra možno vypočítať podľa vzťahov (4.4) - (4.6):

medzná frekvencia:
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad (4.4)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (4.5)$$

zosilnenie:
$$G = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (4.6)$$



Obr. 4.6: Dolnopriepustný filter so Sallen-Key štruktúrou. [10]

Podľa obr. 4.7 a vzťahov (4.4) - (4.6) vyplývajú parametre aktívneho filtra nasledovne:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 \cdot C_2}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{6,2 \text{ k}\Omega \cdot 36 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} \cdot 100 \text{ nF}}} = 106,53 \text{ Hz} \quad (4.7)$$

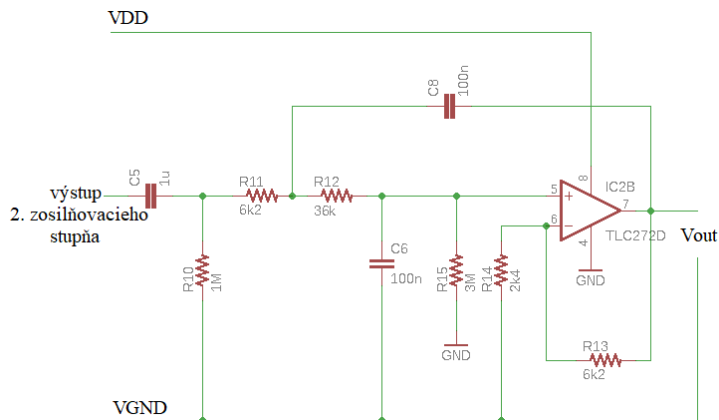
$$G = 1 + \frac{6,2 \text{ k}\Omega}{2,4 \text{ k}\Omega} = 3,583 \quad (4.8)$$

Prenosné pásmo celého zosilňovača je 0,16 až 106,53 Hz s celkovým zosilnením G_Z určených ako súčin všetkých stupňov:

$$G_Z = G_1 \cdot G_2 \cdot G_{AF} = 19,97 \cdot 14,33 \cdot 3,583 = 1025,35 \quad (4.10)$$

Hodnoty súčiastok aktívneho filtra boli vybrané pomocou simulátoru Webench od Texas Instruments. [11], [12], [13]

Rezistor R15 má funkciu pull-up rezistora - vytvára offset o veľkosti 1,65 V na výstupe zosilňovača, teda jednosmernú zložku signálu, pretože rozsah prevodníka je nesymetrický. Hodnota bola určená experimentálne pomocou potenciometra.

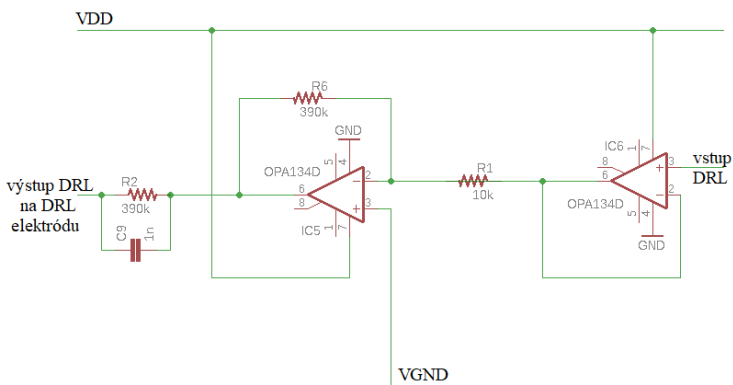


Obr. 4.7: Aktívny filter.

Budič pravej nohy

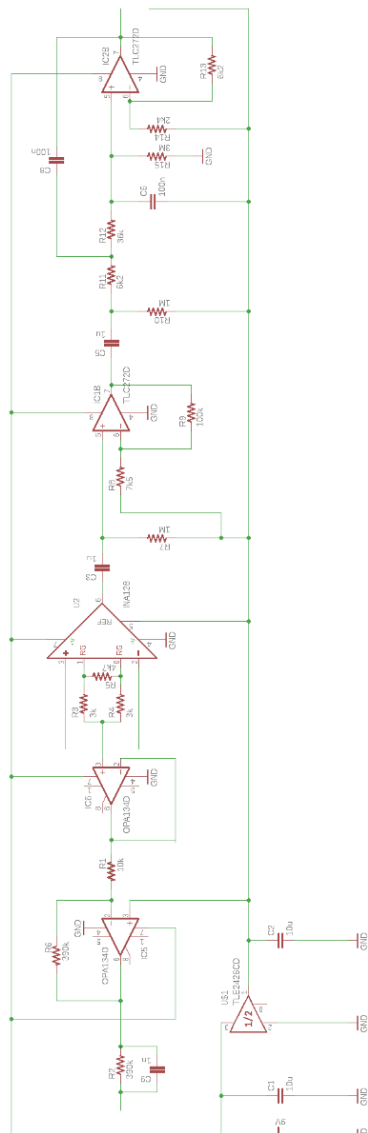
Úlohami obvodu budiča pravej nohy (angl. driven right leg - DRL) sú uzemniť meraný objekt a potlačiť interferenciu rušivého signálu. [8]

Vstup pre DRL sa odoberá z prvého stupňa zosilňovača (obr. 4.4). Konkrétne operačné zosilňovače a hodnoty súčiastok pre DRL sú na obr. 4.8.



Obr. 4.8: Obvod DRL. [8]

Celé schematické zapojenie zosilňovača je zobrazené na obr. 4.9.



Obr. 4.9: Schéma zosilňovača EKG.

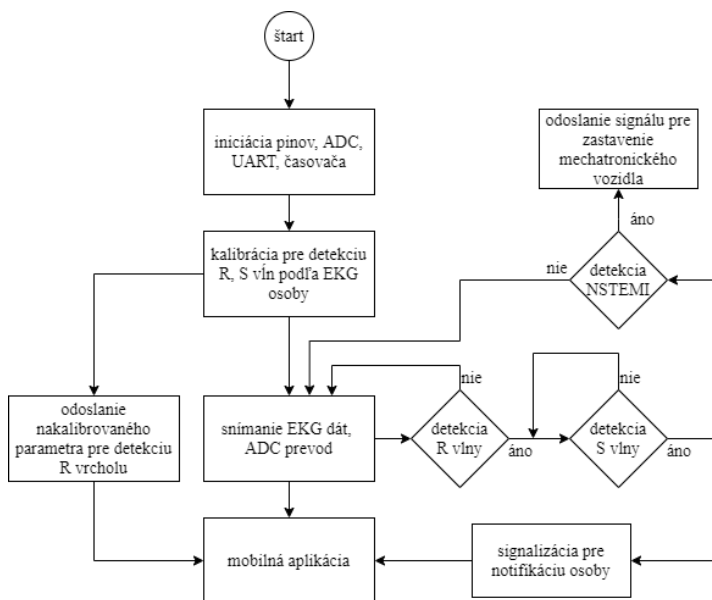
4.2 Mikropočítačový systém MSP430F5529

Architektúra rodiny ultra nízkonákladových procesorov Texas Instruments MSP430 je optimalizovaná tak, aby sa dosiahla maximálna životnosť batérie v prenosných meracích aplikáciach. [14]

Činnosti mikroradiča v navrhnutom systéme zobrazuje vývojový diagram na obr. 4.10 a sú nasledovné:

- iniciácia: predvolené nastavenie potrebných pinov, analógovo-digitálneho prevodníka (ADC), univerzálnych asynchrónnych vysieláčov-príjmačov (UART) pre komunikácie s Bluetooth modulmi HC-05 a časovača, ktorý zabezpečuje vzorkovaciu frekvenciu 400 Hz merania EKG spúšťaním ADC prevodu,
- kalibrácia pre detekciu R, S vln podľa EKG osoby: osoba má možnosť kalibrovať parametre pre metódu prahových hodnôt detekcie R, S vln, keďže každý človek má špecifické EKG, a teda často môže nastať prípad, že všeobecne predvolené hodnoty nemusia byť najoptimálnejšie,
- snímanie EKG dát, ADC prevod: získanie vyfiltrovaných dát pre EKG zobrazenie a analýzu,
- obsluha mobilnej aplikácie: zabezpečuje zobrazenie EKG priebehu a hlavne upozorňuje osobu na netypické zníženie alebo zvýšenie tepu srdca a na NSTEMI infarkt,
- odoslanie nakalibrovaného parametra pre detekciu R vrcholu: mobilná aplikácia využíva parameter R vrcholu na výpočet úderov za minútu (bpm),

- detekcia R vlny, S vlny a NSTEMI: popísané v podkapitole 4.2.1. [15]



Obr. 4.10: Vývojový diagram činnosti mikropočítačového systému MSP430F5529.

Mikroradič komunikuje s mobilnou aplikáciou pomocou rozhrania Bluetooth. Komunikáciu realizuje Bluetooth modul HC-05, ktorý je v spojení s mikroradičom pomocou UART komunikácie. Ďalší pár HC-05 modulov je automaticky nakonfigurovaných v master - slave režime a ich úloha je signalizovať zastavenie vozidla, takže vstup pre brzdiaci mechanizmus mechatronického vozidla je výstup slave HC-05 modulu. Tento signál môže byť napr. vstupom pre regulátor,

ktorý nastaví požadovanú hodnotu otáčok motora na nulu podľa takých charakteristík, aby došlo k bezpečnému odstaveniu vozidla. To je ale ďalšia problematika vytvorenia mechanizmu brzdenia ako odozvy na signál zastavenia už pre konkrétny mechatronický systém.

4.2.1 Kalibrácia prahov detekcie R, S vln a algoritmus pre detekciu NSTEMI

Každá vzorka EKG signálu je kontrolovaná a podľa štádia v detekčnom NSTEMI procese podlieha ďalším kritériam, aby sa určilo, v ktorej časti EKG signálu sa akurát nachádza. Ak sa vzorka nachádza práve v ST segmente, vyhodnocuje sa jej veľkosť, resp. pokles voči základnej línii.

Využíva sa prahová metóda detekcie R a S vln ako orientačných bodov na EKG krivke. EKG krivka má premenlivý charakter, ktorý sa líši pre rozličné osoby počas rôznych častí dňa, v ktorom prebieha meranie, ďalej kontaktom elektród atď. Prahové hodnoty možno nakalibrovať, pričom kalibráciu spustí užívateľ. Signál by mal byť počas kalibrácie nerušený. Merajú sa maximálne a minimálne hodnoty EKG krivky, ktoré sa spriemerňujú a prahové hodnoty sa vypočítajú ako 80% priemernej hodnoty. To sú prahy, odkiaľ sa začínajú kontrolovať hodnoty pre vrchol R a minim S vlny.

Prípad, že T vlna zasahuje do prahovej hodnoty detekcie R vlny, teda prípad nesprávnej pozitívnej detekcie T vlny ako R vlny je ošetrený spôsobom, že ďalší prah nemôže byť

detekovaný skôr, než o 320 ms, čo je dané ako trvanie ST intervalu (tab. 4.1, obr. 4.11).

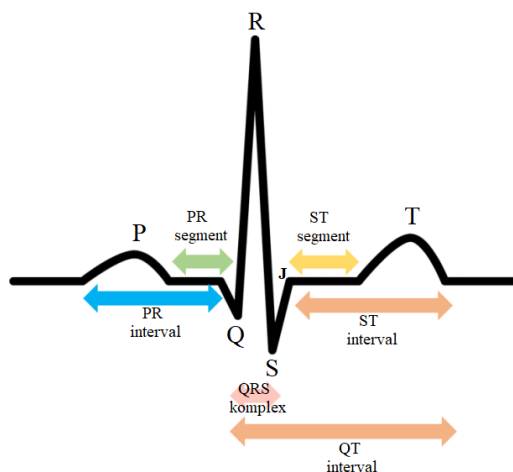
Po detekcii S vlny sa čaká 40 ms, čo je oblasť medzi S vlnou a J bodom. Detekcia S vlny je tiež časovo limitovaná pre prípad, že v signále nie je možné odhadnúť S vlnu ani voľným okom (obr. 4.12), zatiaľ čo v iných prípadoch je jasná (obr. 4.13).

Tab. 4.1: Časti EKG krivky. [16]

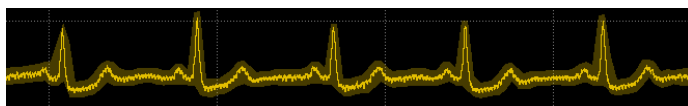
vzdialenosti krivky	trvanie
RR interval	0,6-1,2 s
P vlna	80 ms
PR interval	120-200 ms
PR segment	50-120 ms
QRS komplex	80-120 ms
ST segment	80-120 ms
T vlna	160 ms
ST interval	320 ms
QT interval	<420 ms pri 60 bpm

Meranie ST segmentu prebieha 0,08 s od J bodu. Tri úderý srdca s ST segmentom posunutých nadol o 0,1 mV znamenajú pozitívny nález depresie ST segmentu [18]. Praktická realizácia je, že ak 66,67% ST segmentu klesne pod stanovenú hodnotu, vyhodnotí sa depresia segmentu, keďže signál môže byť

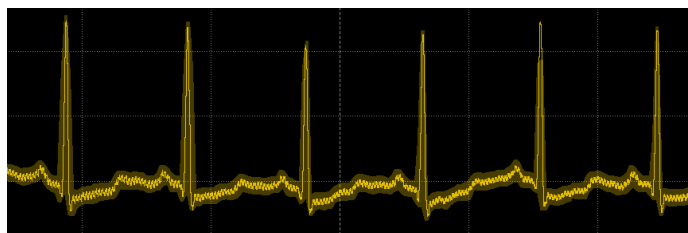
mierne rušený a zasahovať do tohto intervalu nesprávne alebo naopak, depresia ST segmentu nemusí byť detekovaná pre kvantizáciu pri analógovo-digitálnom prevode.



Obr. 4.11: Časti EKG krivky. [17]



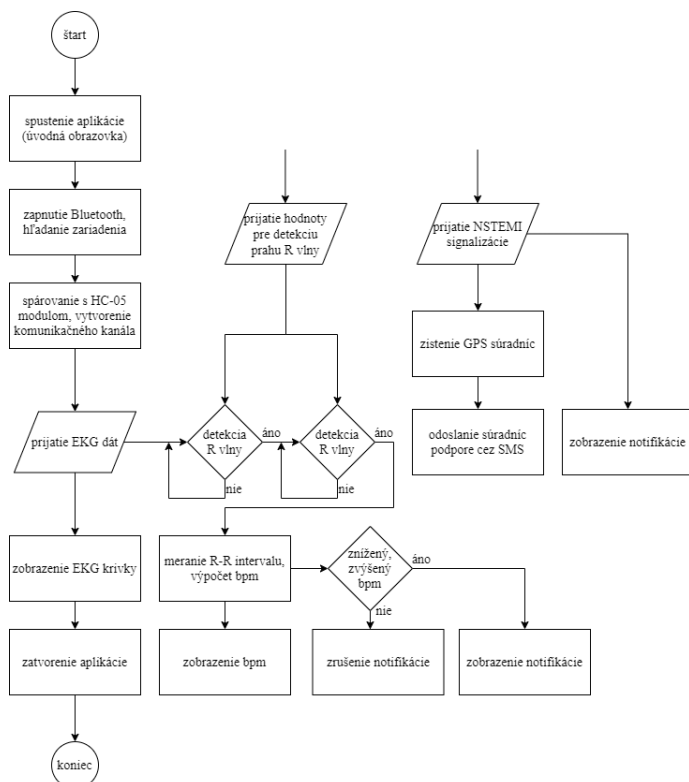
Obr. 4.12: Testovací reálny NSTEMI signál č. 1.



Obr. 4.13: Testovací reálny NSTEMI signál č. 2.

4.3 Android aplikácia

Diagram celej činnosti Android aplikácie je na obr. 4.14.

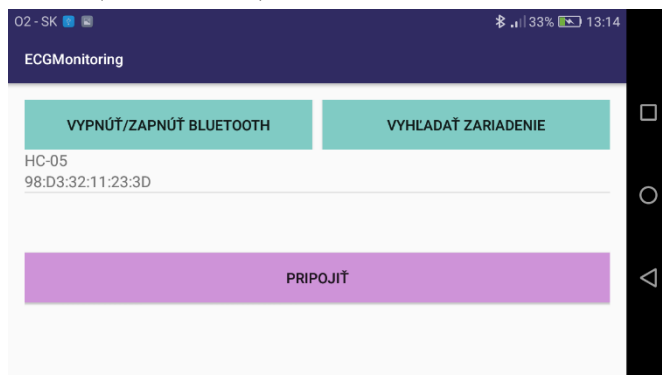


Obr. 4.14: Vývojový diagram Android aplikácie.

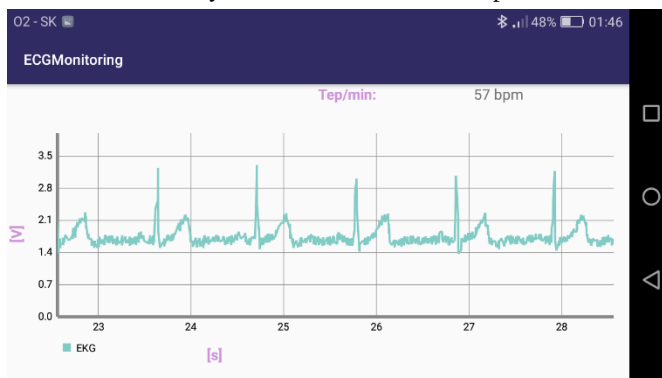
Po zapnutí aplikácie musí užívateľ spárovať svoj smartfón s Bluetooth modulom HC-05 pre vytvorenie komunikačného kanála (obr. 4.15). Ak nie je zapnutý Bluetooth, aplikácia sa vyžiada povolenie na jeho zapnutie. Po kalibrácii sa odošle nakalibrovaná hodnota do aplikácie ako parameter pre detekciu

R vlny, ktorý slúži na určenie úderov za minútu (bpm). Ukončenie kalibrácie je signalizované užívateľovi zvukovým tónom.

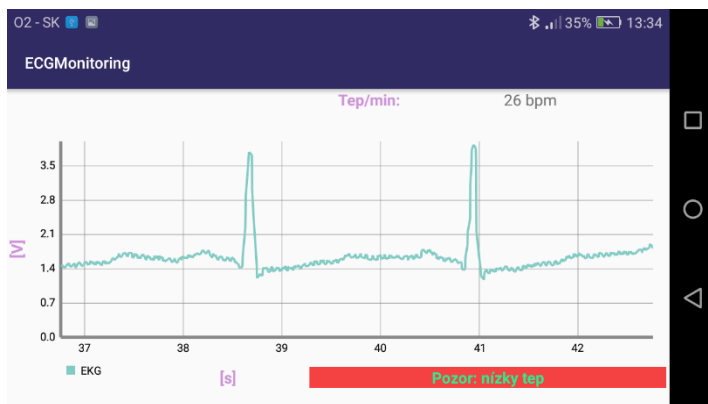
Funkcie Android aplikácie sú zobrazit' namerané dáta, zmerať a zobrazit' bpm (obr. 4.16), upozorniť užívateľa v prípade neštandardného tepu srdca (obr. 4.17) a v prípade nastania infarktu aj odoslať SMS poverenej osobe s GPS súradnicami užívateľa (obr. 4.18, 4.19).



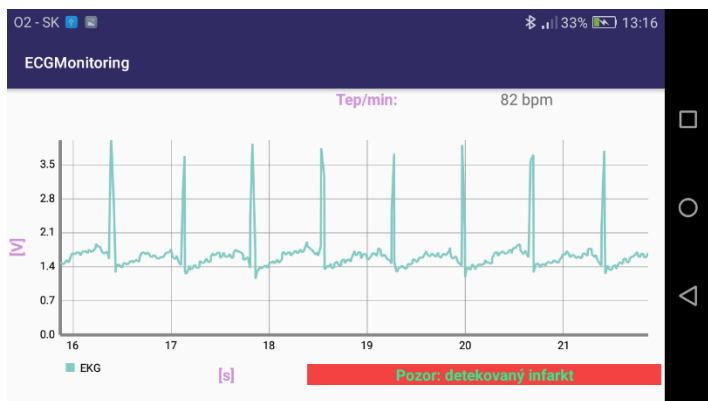
Obr. 4.15: Vyhľadávanie zariadenia a spárovanie.



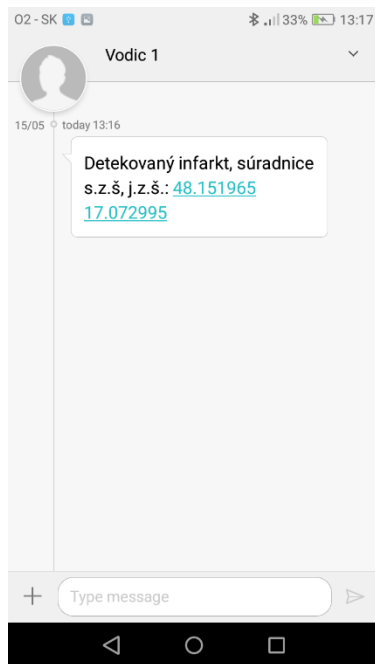
Obr. 4.16: Zobrazenie EKG krivky a bpm parametra.



Obr. 4.17: Upozornenie na nízku hodnotu bpm.



Obr. 4.18: Upozornenie na detekciu infarktu.



Obr. 4.19: SMS správa s GPS súradnicami - severná zemepisná šírka (s.z.š.), južná zemepisná šírka (j.z.š).

5. Diskusia

Algoritmus pre NSTEMI bol navrhnutý a testovaný pomocou dvoch nameraných EKG signálov s depresiou ST segmentoch priamo na dvoch pacientoch prijatých na invazívnej kardiológii. Ďalšie testovania detekcie boli vykonané pomocou databáz EKG záznamov z Physionet [19]:

- The Long-Term ST Database, [20]
- European ST-T Database. [21]

Našli sme 12 vhodných signálov, kde sme na základe opisu záznamu a nášeho odhadu identifikovali NSTEMI. Vybrali sme si náhodný úsek signálu, ktorý sme poslali ako vstup pre vyhodnocovací algoritmus. 10 z 12-tich signálov bolo korektne detekovaných, pričom jeden z nesprávne nevyhodnotených signálov mal v popise spomenutý náznak ischémie, ktorú nepotvrdil ani ďalší meraný zvod v zázname. Druhý signál mal moc nevýraznú depresiou ST segmentu oscilujúcu pod prahovú hodnotu 1 mV, ale nemal identifikovaný použitý merací zvod. Falošne detekovaný NSTEMI prípad nenastal.

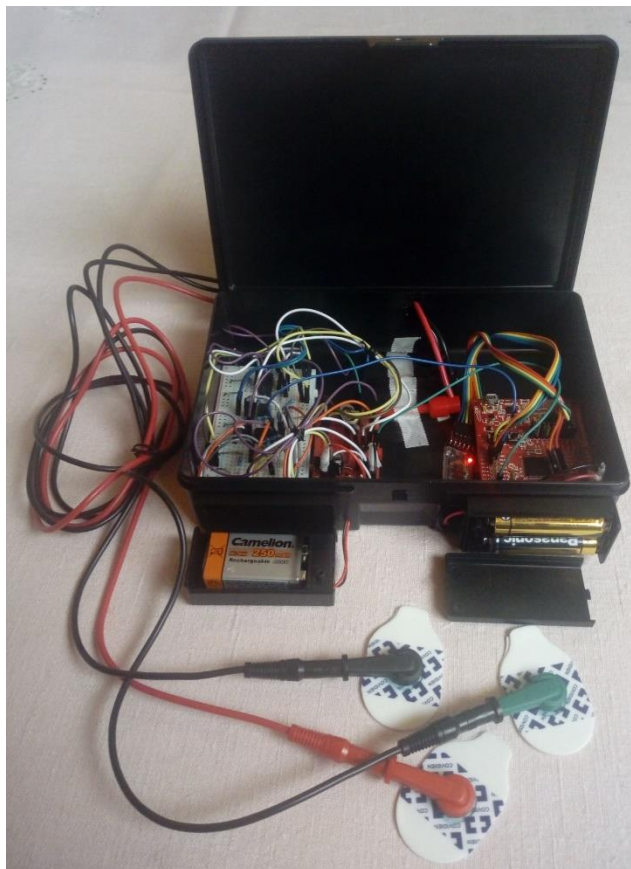
Algoritmus pre NSTEMI detekciu je vhodný pri meraní s minimálnym pohybom, kde nedochádza k rušeniu signálu ani posunu základnej línie, čo zodpovedá podmienkam u vodiča mechatronického vozidla, ale vyžadovalo by si to ešte ďalšie testovanie v praxi.

Depresia ST segmentu je vyhodnotená pozitívne, ak 66,67% hodnôt ST segmentu klesne pod hranicu 1 mV od

základnej línie. Percentuálna časť segmentu sa pri overovaní pohybovala okolo 90%, takže táto hodnota má zmysel iba pri nevýrazných signáloch.

Smartfóny s Androidom pravdepodobne podľa [22] neumožňujú nastaviť akékoľvek parametre pre Bluetooth komunikáciu, všetko prebieha podľa pôvodných nastavení, čo zahŕňa aj baud rate o veľkosti 9600. Odosielanie dát do Android aplikácie môže spomaliť analógovo-digitálny prevod do takej miery, že sa strácajú vzorky - keď prejde čas vzorkovacej periódy, stále sa vykonáva len UART prenos, a skôr než sa dokončí, prichádza ďalšia vzorka. Tento fakt robí Android veľmi nevhodný pre akékoľvek systémy, ktoré pracujú s veľkým počtom dát v malom časovom okamihu. Teda ak by sme chceli preniesť ďalšie biosignály do aplikácie a vyhodnotiť ich alebo zobrazit', nebolo by to možné bez podstatnej straty dát. Ponúka sa možnosť neposielat' všetky vzorky do aplikácie a zobrazovat' iba skreslený priebeh, pričom v mikroradiči sa získajú a vyhodnotia všetky vzorky. To zabezpečí prenosť analýzy, minimálne oneskorenie, aby nenastala strata vzorky, a stále je možné zobrazit' nameraný priebeh. Alebo Android aplikáciu nepoužívat' na zobrazovanie dát, ale použiť napr. LCD displej na mikroradiči [23], čo sa odrazí na cene. Android aplikácia by slúžila len na notifikáciu užívateľa a získanie GPS súradníc, prípadne ju úplne vynechať využitím GPS modulu a notifikáciami priamo na LCD displeji.

Celý navrhnutý systém je prenosný. Aktuálna realizácia nezahrňuje plošný spoj zosilňovača, ale kontaktné pole (obr. 5.1). Plošný spoj by umožnil zmenšiť púzdro, v ktorom je uložený (obr. 5.2). Púzdro sa vloží do prenosnej tašky, z ktorej vystupujú káble s nalepovacími EKG elektródami (obr. 5.3).



Obr. 5.1: Púzdro so zosilňovačom, batériami, káblami a MSP430F5529.



Obr. 5.2: Púzdro a prenosná taška.



Obr. 5.3: Úplný diagnostický systém.

6. Teoretické a praktické prínosy dizertačnej práce

V práci prinášame návrh a realizáciu diagnostického systému, ktorý sa zameriava na detekciu NSTEMI typu infarktu. EKG a v mnohých prípadoch iba tep srdca, sa dajú snímať rôznymi zariadeniami, no nenašli sme žiadne dostupné externé neinvazívne zariadenie, ktoré poskytuje monitorovanie v reálnom čase s cieľom detekovať infarkt. Existujú snímače, ktoré človek môže využiť na krátke meranie vždy, keď pociťuje ťažkosti so srdcom, ale to sú riešenia, ktoré sú v mechatronike pre vodiča nevhodné. Náš systém poskytuje monitorovanie v reálnom čase a notifikovanie pomoci o núdzovom stave s GPS súradnicami, kde osoba nemusí žiadnym spôsobom zasahovať a obsluhovať meranie okrem počiatočnej kalibrácie prahovej metódy. Systém je možné ďalej rozvíť a vytvoriť brzdiaci mechanizmus pre konkrétne vozidlo na základe signálu prijatého od nášho zariadenia, čo by umožnilo predísť scenárom, keď človek zomrel za volantom v prípade [24] bez privolania pomoci, ktorá by ho možno zachránila, alebo v prípadoch [25], kde dvaja vodiči dostali infarkt a ich vozidlá pokračovali v jazde, kým nenarazili na prekážku.

Rôzne články a štúdie analyzujú problematiku EKG a infarktov. Veľmi často, resp. 100% prípadov nami nájdených a naštudovaných článkov, sa zaoberá infarktom typu STEMI, čo je najnebezpečnejší typ infarktu. Ale v niektorých STEMI

prípadoch už môže byť neskoro a človeku v tejto situácii nemusí byť možné zachrániť ani keby bol ihneď v okamihu prítomný kardiológ. Je to posledné štádium poškodenia srdcového svalu. Každý infarkt začína depresiou ST segmentu, teda NSTEMI. Preto NSTEMI nie je považovaný za pravý typický infarkt, ale naznačuje, že nie je niečo v poriadku a treba lekársku pomoc. Je to počiatočný stav, ktorý je problémový a môže prejsť až do STEMI, ale stále je možné človeku pomôcť, preto sme sa v práci zamerali na úplne počiatočnú predohru najnebezpečnejšieho infarktu.

Klasický EKG záznam pozostáva z 12-tich zvodov meraných 10-timi elektródami, ktoré by boli pre vodiča nekomfortné a možno aj obmedzujúce. V práci ponúkame riešenie merania EKG jedným zvodom, teda dvomi elektródami, a ďalšou DRL elektródou na odstránenie rušenia a uzemnenie osoby, ktoré poskytuje dostatočné informácie o EKG pre naše potrebné účely analýz. Miesto nalepenia elektród stačí definovať orientačne, čo zvládne každý aj samostane bez ďalšej pomoci a zásahu odborníka alebo inej osoby.

Analógová filtrácia ušetrí výpočtový výkon aj spotrebu mikroradiča, ktorej konečná realizácia nie je ani finančne náročná, ani jej konečná praktická implementácia si nemusí nutne vyžadovať veľký obmedzujúci úložný priestor.

Analógový zosilňovač poskytuje aj voľbu základnej línie signálu, čo výrazne zjednoduší algoritmus detekcie kriviek signálu. Nemusíme vytvárať algoritmus pre detekciu základnej

linie EKG signálu, pretože poznáme jej hodnotu. Poskytnuté riešenie sa zjednodušuje faktom, že konečný používateľ je vodič, ktorý je primárne v pokoji.

Celý systém nie je finančne náročný a zariadenie sa dá realizovať sériovo, jediný chýbajúci prvok je smartfón, ktorý je dnes naozaj populárny a takmer každý ho dnes vlastní. Náš diagnostický systém detekuje infarkt v reálnom čase a umožní vyslať signál pre zastavenie vozidla, aby sa predišlo ďalším problémom a privolá pomoc so súradnicami osoby v núdzovom stave.

7. Záver

V práci sme sa zaoberali problematikou biosignálov a ich merania s dôrazom na neinvazívny charakter. Zanalyzovali sme súčasný stav problematiky a dostupnosť reálnych zariadení na trhu, ktoré sa venujú snímaniu a vyhodnocovaniu biosignálov. V rámci biosignálov vodiča vhodných na vstup pre riadenie mechatronických systémov sme sa zamerali na EKG a na detekciu infarktu. Už možno fatálny STEMI typ infarktu je najčastejším predmetom štúdií a článkov, no my sme sa zamerali na jeho predzvesť - NSTEMI typ infarktu.

V práci sme ponúkli riešenie vytvorenia diagnostického systému, ktorý sníma jednozvodové EKG, zobrazuje namerané dáta a detekuje NSTEMI, v ktorého prípade odošle SMS správu s GPS súradnicami poverenej osobe, a vyšle signál pre ďalšiu operačnú jednotku pre bezpečné zastavenie mechatronického systému. Opisujeme návrh zosilňovača pre biosignály, konkrétne EKG, no s miernymi úpravami podľa požiadaviek ho možno modifikovať na ľubovoľný biosignál (na základe zmien potrieb veľkosti zosilnenia a priepustného frekvenčného rozsahu). Ďalej sme vybudovali architektúru nízkopríkonového mikropočítačového systému s vlastným programovým vybavením pre meranie, spracovanie, vyhodnocovanie a prenos dát. Dáta sú prenášané do Android aplikácie, v ktorej sa uskutočňuje ich zobrazovanie a meranie tepu srdca. Celý systém

pracuje v reálnom čase, využitím navrhnutého algoritmu pre detekciu NSTEMI dokáže detekovať infarkt.

Náš systém sme overili na 12-tich dostupných signáloch z EKG databáz, kde 10 signálov bolo detekovaných správne. Celý systém nie je finančne náročný na realizáciu. V rámci nášho prieskumu sme nenašli takýto dostupný systém v reálnom čase.

Navrhnutý diagnostický systém je možné rozšíriť o snímanie ďalších biosignálov a ich vyhodnocovanie.

V tomto autoreferáte sú vybrané časti zo šiestej, siedmej, ôsmej a deviatej kapitoly dizertačnej práce.

Zoznam vlastných publikácií

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciach:

LICHTMAN, A., *PI controller of a DC motor for DSP implementation*. ELITECH '17: 19th Conference of Doctoral Students. Bratislava. 24. máj 2017. CD-ROM. 4 s. ISBN 978-80-227-4686

LICHTMAN, A., KLIMO, I. DRAHOŠ, P., FUCHS, P., *Návrh a simulácia PID regulátora*. Konferencia Nové trendy vo vzdelávaní, Banská Štiavnica – 3.-5. september 2017, vyd. STU - Slovenská chemická knižnica Bratislava 2017. 4 s. ISBN 978-80-89597-68-0

LICHTMAN, A., FUCHS, P., *Theory of PI controller and introduction to implementation for DC motor controls*. Communication and Information Technologies, 9th International Scientific Conference, KIT 2017, Tatranské Zruby – 4.-6. október 2017, vyd. IEEE, Scopus, 5 s. elektronické ISBN 978-80-8040-550-2

LICHTMAN, A., FUCHS, P., *Hardware and software design for one channel ECG measurement using MSP430 microcontroller*. 2018 Cybernetics & Informatics (K&I), 29th International Conference, Lazy pod Makytou - 31. január - 3. február 2018, vyd. IEEE, Scopus, 5 s. elektronické ISBN 978-1-5386-4420-1

LICHTMAN, A., SVETLÁK, M., UZSÁK, R., FUCHS, P., *A smart ECG monitoring system on Android*. International Conference: New Trends In Signal Processing 2018. ISBN 978-80-8040-546-5

Zoznam bibliografických odkazov

- [1] VERYWELL HEALTH, *Non-ST Segment Myocardial Infarction Overview*. [online] Dostupné z <https://www.verywellhealth.com/non-st-segment-elevation-myocardial-infarction-nstemi-1746017>
- [2] TECHMED, *STEMI infarkt*. [online] Dostupné z <https://www.techmed.sk/infarkt-myokardu-stemi/>
- [3] FRYE, S., J., LOUNSBURY, P., *Cardiac rhythm disorders - A nursing process approach*. Mosby-Year Book, Inc., USA, 1992. ISBN 0-8016-6576-0
- [4] SUBRAMANIAN, B., *ECG signal classification and parameter estimation using multiwavelet transform*. Biomedical Research (2017) Volume 28, Issue 7. [online] Dostupné z <https://www.biomedres.info/biomedical-research/ecg-signal-classification-and-parameter-estimation-using-multiwavelet-transform.html>
- [5] JOVE EDUCATION, *Acquisition and Analysis of an ECG (electrocardiography) Signal*. [online] Dostupné z <https://www.jove.com/science-education/10473/acquisition-and-analysis-of-an-ecg-electrocardiography-signal>
- [6] ECG & ECHO LEARNING, *ECG interpretation: Characteristics of the normal ECG (P-wave, QRS complex, ST segment, T wave)*. [online] Dostupné z <https://ecgwaves.com/topic/ecg-normal-p-wave-qrs-complex-st-segment-t-wave-j-point/>

- [7] WEBSTER, John G. *Medical instrumentation: Application and Design*. 4. vyd. New York: Malloy inc. 2010. 675 s. ISBN-13 978-0471-67600-3
- [8] FUCHS, P., LICHTMAN, A., SVETLÁK, M., UZSÁK, R., *A smart ECG monitoring system on Android*. International Conference: New Trends In Signal Processing 2018. ISBN 978-80-8040-546-5
- [9] TEXAS INSTRUMENTS, *INA12x Precision, Low Power Instrumentation Amplifiers*. 1995, revidované 2019. [online] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina128.pdf>
- [10] TEXAS INSTRUMENTS, *Analysis of the Sallen-Key Architecture*. 1999, revidované 2002. [online] Dostupné z <http://www.ti.com.cn/cn/lit/an/sloa024b/sloa024b.pdf>
- [11] TEXAS INSTRUMENTS, *WEBENCH Designer*. [online] Dostupné z www.ti.com/webench
- [12] CARTER, B., *Filter Design in Thirty Seconds*. 2001. [online] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/an/sloa093/sloa093.pdf>
- [13] KARKI, J., *Active Low-Pass Filter Design*. 2002. [online] Dostupné z <http://www.ti.com/lit/an/sloa049b/sloa049b.pdf>
- [14] TEXAS INSTRUMENTS, *MSP430F5529*. [online] Dostupné z <https://www.ti.com/product/MSP430F5529>
- [15] FUCHS, P., LOJKO, B., *Mikroradiče MSP430*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2012. 297 s. ISBN 978-80-227-3660-2

- [16] PADSALGIKAR, A., *Plastics In Medical Devices For Cardiovascular Applications*. 1. vyd. Vydavateľstvo: Elsevier Inc, 2017. 196 s. ISBN 978-0-32335885-9
- [17] THE STUDENT PHYSIOLOGIST, *The Normal ECG*. [online] Dostupné z <https://thephysiologist.org/study-materials/the-normal-ecg/>
- [18] CANDELL-RIERA, J., ORTEGA-ALCADE, D., *Nuclear Cardiology in Everyday Practice*. Vydavateľstvo Kluwer Academic Publishers, 1994. 401 s. ISBN 978-94-010-4876-7
- [19] GOLDBERGER, A., L., a kol., *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals*. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/content/101/23/e215.full>]; 2000 (June 13).
- [20] JAGER, R., a kol., *Long-term ST database: a reference for the development and evaluation of automated ischaemia detectors and for the study of the dynamics of myocardial ischaemia*. *Medical & Biological Engineering & Computing* 41(2):172-183 (2003).
- [21] TADDEI A., a kol., *The European ST-T Database: standard for evaluating systems for the analysis of ST-T changes in ambulatory electrocardiography*. *European Heart Journal* 13: 1164-1172 (1992).

- [22] STACK OVERFLOW, *Android Bluetooth Serial/RFCOMM/SPP, How to Change the BAUD RATE?* [online] Dostupné z <https://stackoverflow.com/questions/5576237/android-bluetooth-serial-rfcomm-spp-how-to-change-the-baud-rate>
- [23] TEXAS INSTRUMENTS, *AM335x Starter Kit* . [online] Dostupné z <http://www.ti.com/tool/TMDSSK3358#3>
- [24] THE KOREA HERALD, *Passengers Leave Taxi Driver to Die*. [online] Dostupné z <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20160828000185>
- [25] ALDERGROVE STAR, *Eldery driver crasher after suffering medical incident*. [online] Dostupné z <https://www.aldergrovestar.com/news/elderly-driver-crashes-after-suffering-medical-incident/>