

# REMOVAL OF PACING SPIKES FROM THE ELECTROCARDIOGRAPHIC SIGNAL

**Radovan Smíšek**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsmise00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Tereza Reichlová

E-mail: xreich02@stud.feec.vutbr.cz

**Abstract:** The goal of this thesis is to detect pacing spikes in ultra-high-frequency ECG and remove them. It makes evaluation of higher frequency components of QRS complex possible. This evaluation is impossible while pacing spikes are present. Chosen issue is solved using heuristic algorithm. Algorithm uses intersperse signal by line in the area which is not influenced by pacing spikes. Subsequently this line is made longer and using differences between line and signal (or other rules) edges of pacing spikes are detected. The top of the stimulation tip is detected by thresholding envelope of original signal's first difference. Outcomes of this thesis make possible to analyze ultra-high-frequency ECG analysis.

**Keywords:** ultra-high frequency electrocardiogram, detection of pacing spikes, removal of pacing spikes, cardiostimulation

## 1. ÚVOD

Elektrokardiografie je časté moderní vyšetření srdce. Při běžném vyhodnocení EKG je využíváno frekvenční pásmo od 0,05 Hz do 100-150 Hz. Při tomto omezení dochází ke ztrátě užitečné informace. Při standardním EKG nelze dokonale vyhodnocovat šířku a tvar komplexu QRS, jelikož komplex QRS neznázorňuje ve skutečnosti jen fázi depolarizace komor, ale je ovlivněn i repolarizací některých kardiomyocytů. Pokud budou hodnoceny pouze vysokofrekvenční složky EKG, dojde k potlačení ovlivnění komplexu QRS repolarizací. Pomocí vysokofrekvenční analýzy EKG lze tedy přesněji zhodnotit fázi depolarizace komor, což je ukazatel při diagnostice kardiomyopatie, infarktu myokardu a blokády Tawarových ramének. Mnoho studií se zabývalo využitím frekvenčního pásma do 250 Hz. V tomto frekvenčním pásmu se ukázala schopnost detekce srdeční ischemie a infarktu myokardu i v případech, kdy tento stav není dobře identifikovatelný v běžném EKG (viz např. [1]). Novou aktuálně zkoumanou oblastí je využití frekvenčních složek i nad 250 Hz (ultra vysokofrekvenční EKG).

Problém při analýze signálu nastává u pacientů s implantovaným kardiostimulátorem. Stimulační hroty obsahující vysokofrekvenční složky o velké amplitudě, které znemožňují vysokofrekvenční analýzu EKG. Cílem této práce je tedy detekce stimulačních hrotů a jejich následné odstranění, které by co možná nejvíce potlačilo vliv stimulátoru na ultra vysokofrekvenční analýzu EKG. V této práci bylo použito ultra vysokofrekvenční EKG snímané v Mezinárodním centru klinického výzkumu Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně (FNUSA-ICRC) se vzorkovací frekvencí 5 kHz.

## 2. DETEKCE STIMULAČNÍCH HROTŮ

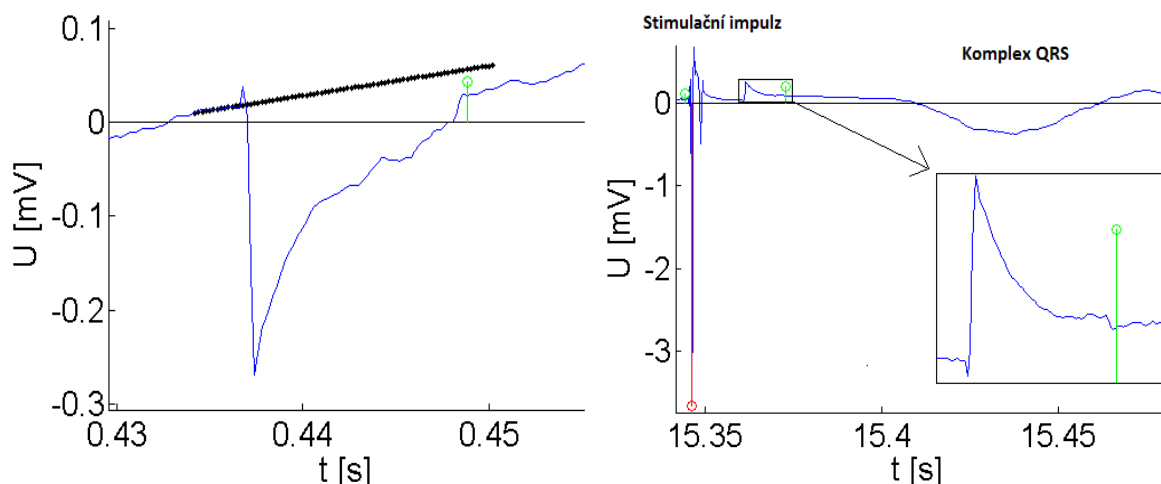
Všechny signály, ze kterých byly odstraňovány stimulační impulzy, pocházejí od pacientů s biventrikulárním stimulátorem. V záznamu se tedy mohou vyskytnout jeden až tři stimulační impulzy v závislosti na nastavení kardiostimulátoru a na zdravotním stavu pacienta. Stimulační píky se vzájemně tvarově liší u jednotlivých pacientů i v závislosti na tom, jaká srdeční dutina je stimulována.

Při detekci maxim stimulačních hrotů byla nejprve vypočítána první diference signálu. Následně byla vytvořena obálka první diference jako absolutní hodnota Hilbertovy transformace tohoto signálu. Pro samotnou detekci byl procházen signál obálky první diference vzorek po vzorku. Jakmile měl některý vzorek velikost vyšší než stanovený práh ( $1/33$  z maxima obálky první diference), byla od tohoto vzorku v okně délky dvacet hledána poloha maximální hodnoty jako maximum vzdáleností od průměru signálu. Zde byla stanovena poloha maxima stimulačního hrotu.

Detekce levého okraje stimulačních hrotů využívá okno délky 5 posunující se po signále. Okraj píku je stanoven v místě, kde jsou splněny dvě podmínky. Za prvé musí být směrodatná odchylka vzorků v okně nižší než  $0,005$  mV. Dále jsou vzorky v okně proloženy přímkou, která je protažena směrem nalevo od stimulačního impulzu. Musí platit podmínka, že rozdíl třinácti vzorků přímky od aktuálního vzorku a jim odpovídajících vzorků originálního signálu nesmí překročit  $0,09$  mV.

Pro detekci pravého okraje stimulačního impulzu je nutno proložit přímkou vzorky před stimulačním impulzem a následně tuto přímku protáhnout za stimulační impulz (tato přímka je vidět na obrázku 1 vlevo). Je vypočítán vektor rozdílů mezi vzorky přímky a příslušnými vzorky signálu. Vektorem rozdílů je posouváno okno délky 20 vzorků. Pravý okraj stimulačního hrotu je stanoven v místě, kde je směrodatná odchylka rozdílů nižší než  $0,0065$  mV a současně směrnice přímek o délkách 5, 10 a 30 vzorků proložené příslušnými vzorky vektoru rozdílů jsou vyšší než  $-0,0003$ . Na obrázku 1 vpravo je vidět detekovaný pík – vrchol se nachází v místě červené čáry a detekované okraje jsou označeny zelenou čarou.

Výše uvedené hodnoty použité při detekci hrotů byly stanoveny heuristicky. Detekce byla testována ve 46 záznamech a u všech záznamů byly všechny stimulační hroty detekovány. Hodnocení přesnosti detekce okrajů hrotů je obtížné vzhledem k neostrému konci hrotů. Dostatečná přesnost této detekce byla posuzována dle možnosti dalšího zpracování ultra vysokofrekvenčních složek EKG (viz níže).



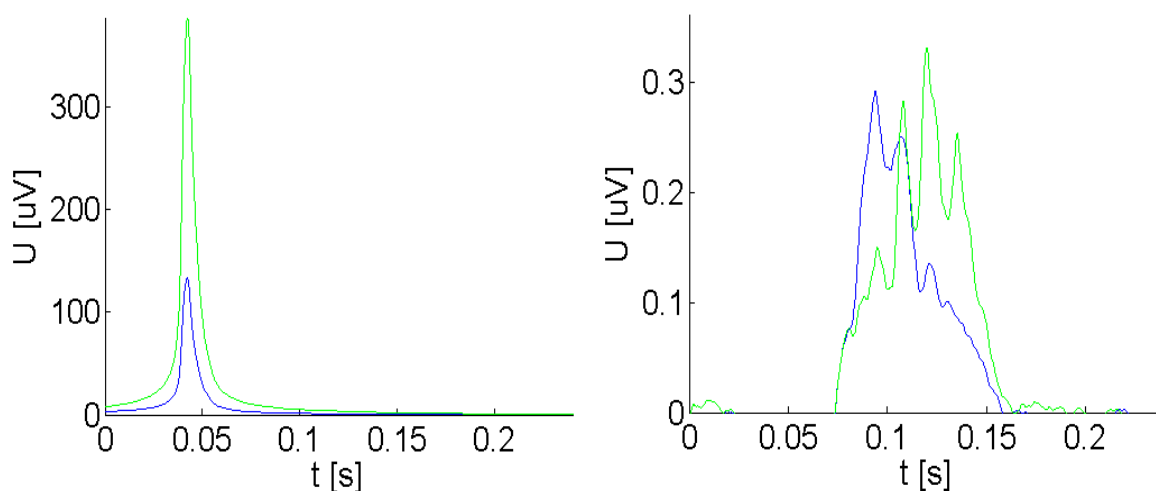
**Obrázek 1:** Proložená přímka skrz vzorky před stimulačním hrotem a prodloužená za hrot (vlevo), detekované okraje hrotu – zeleně, vrchol hrotu - červeně (vpravo) a výřez a zvětšení konce stimulačního hrotu (v rámečku vpravo).

### 3. ODSTRANĚNÍ STIMULAČNÍCH HROTŮ A NÁSLEDNÁ ANALÝZA

Po detekci stimulačních hrotů následuje jejich odstranění. Odstranění hrotu bylo provedeno několika způsoby. Hrot byl nahrazen přímkou a kubickým splinem. Další metodou bylo potlačení stimulačního hrotu frekvenční filtrací. Poslední testovaná metoda byla založena na rozřídění stimulačních hrotů dle tvaru. Pro každý typ hrotu byl vytvořen zprůměrněný stimulační hrot, který byl následně odečten od každého hrotu daného typu. Nejlepších výsledků ve smyslu minimálního ovlivnění vyšších frekvenčních složek signálu bylo dosaženo nahrazením hrotu přímkou. I při nahrazení hrotu přímkou dochází ovšem k nechtěnému ovlivnění frekvenčního spektra kvůli nespojitosti prv-

ních derivací při přechodu mezi originálním signálem a proloženou přímkou. Tyto nepřesnosti se projevují v některých signálech vznikem falešných vysokých hodnot na přechodu mezi originálním signálem a přímkou při analýze popsané níže. Nepřesnosti jsou ovšem méně významné než u jiných testovaných metod potlačení či nahrazení stimulačního hrotu.

Po odstranění stimulačního hrotu je již možná analýza ultra vysokofrekvenčních složek. Nejprve je pomocí rychlé Fourierovy transformace vypočítáno frekvenční spektrum signálu. Následně jsou vynulovány frekvenční složky mimo požadované pásmo (nejčastěji se analyzuje pásmo 500-1000 Hz a 1000-2000 Hz) a takto filtrovaná data jsou demodulována, což je provedeno přesunutím frekvenčních složek odpovídajících zkoumanému pásmu středem pásma na 0 Hz ve frekvenčním spektru. Absolutní hodnota zpětné Fourierovy transformace je poté nízkofrekvenční obálka vysokofrekvenčního signálu. Dalším krokem analýzy je rozdělení obálky na krátké úseky obsahující vždy jeden komplex QRS plus 600 vzorků před a po tomto komplexu. Tyto úseky obálky jsou zarovnány podle polohy R vlny a zprůměrovány, přičemž průměrovány jsou vždy pouze komplexy QRS podobného tvaru. Na obrázku 2 je zobrazena výsledná zprůměrovaná obálka u signálu před odstraněním stimulačních hrotů a po jejich odstranění. Je vidět, že při přítomnosti stimulačních hrotů je celá obálka ovlivněna stimulačními hroty a analýza tudíž není možná.



**Obrázek 2:** Zprůměrovaná obálka QRS komplexů, frekvenční pásmo 500-1000Hz, svod V1 modře, svod V6 zeleně – signál obsahující stimulační hroty (vlevo), signál po odstranění stimulačních hrotů (vpravo)

#### 4. ZÁVĚR

V práci byl navrhnout heuristický algoritmus pro detekci okrajů i vrcholů stimulačních hrotů. Detekované hroty byly nahrazeny přímkou. Následně byla vytvořena obálka signálu ve zvoleném frekvenčním pásmu. Detekce a odstranění stimulačních hrotů pomocí navržených algoritmů byly testovány u 46 pacientů a u všech byla díky odstranění hrotů umožněna analýza ultra vysokofrekvenčních složek. U některých záznamů se ovšem vyskytly nepřesnosti na přechodu mezi vloženou přímkou a originálním signálem. Tyto nepřesnosti by mohly být odstraněny sofistikovanější metodou nahrazení stimulačního hrotu.

#### REFERENCE

- [1] AMIT, G., O. GALANTE, L. R. DAVRATH, O. LURIA, S. ABBOUD a D. ZAHGER. High-Frequency QRS Analysis in Patients with Acute Myocardial Infarction: A Preliminary Study. In: *Annals of Noninvasive Electrocardiology* [online]. 2013, s. 149-156 [cit. 2014-11-10]. ISSN 1082720x. DOI: 10.1111/anec.12023.