

AUTOMATIC DELINEATION OF QRS COMPLEX

Jakub Zimolka

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xzimol00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Martin Vitek

E-mail: vitek@feec.vutbr.cz

Abstract: This article details my realization of the QRS delineation, based on the method introduced by Laguna, Jané and Caminal, described in the first part. The following part describes my realization and modifications aimed at the best possible results. The algorithm was tested on the standard CSE database as to compare with authors Laguna, Jané and Caminal.

Keywords: ECG, QRS delineation, CSE

1. ÚVOD

EKG (elektrokardiografie) je základní, neinvazivní vyšetření srdeční činnosti. Automatické rozměření EKG signálů nachází uplatnění převážně v dlouhých elektrokardiogramech, nebo při kontinuálním měření. Informace z EKG jsou významným nástrojem diagnózy srdečních onemocnění. QRS komplex je dominantní část každého cyklu EKG, a proto bývá v drtivé většině programů počítačové analýzy detekován jako první, a je žádoucí jej rozměřit co možná nejlépe. Komplex QRS jehož extrém může dosahovat úrovně několika mV má většinu energie v rozmezí 5-20 Hz s maximem mezi 10 a 15 Hz. Skládá se z jednotlivých kmitů Q, R a S, které reprezentují depolarizaci pravé a levé komory, která u zdravého srdce trvá 70-110 ms. Tento článek je zaměřen na vlastní řešení rozměření komplexu QRS, které vychází z metody autorů Laguna, Jané a Caminal [1].

2. METODY DETEKCE

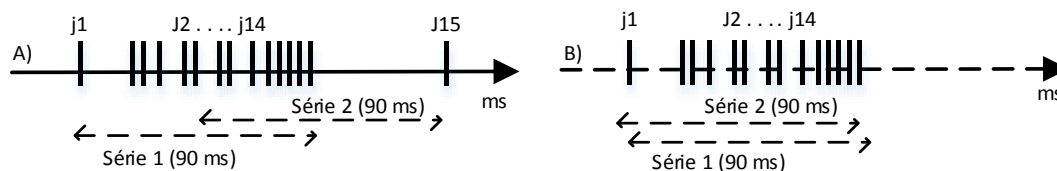
2.1. DETEKTOR PODLE AUTORŮ LAGUNA, JANÉ A CAMINAL

Nejprve bude představena metoda autorů Laguna, Jané a Caminal [1] jakožto výchozí literatura pro moji další práci. Do detektoru vstupuje filtrovaný (pásmová propust Lynnův filtr, 0,8-18 Hz, -3 dB) a diferencovaný signál (ECGDER). Jednosvodový detektor QRS je adaptací metody popsané autory Pan a Tompkins [2] využívající sklon signálu k detekci kmitu R. Vícesvodový detektor je navržen na 15 svodů. Na odhady pozic komplexů QRS $QRS_j(i)$ v cyklu i a svodu j získané jednosvodovým detektorem je aplikováno vícesvodové rozhodovací pravidlo (**Obrázek 2.1:** . Komplex bude považován za správně detekovaný, pokud se většina detekcí cyklu i ve všech 15 svodech neliší o více než 90 ms. Vstupními hodnotami do rozhodovací fáze jsou detekované pozice $QRS_j(i)$ ($j = 1 \dots 15$). V takovémto souboru hodnot je vyhledána první (min) a poslední (max) hodnota. Od těchto hodnot se definují dvě série, každá o velikost 90 ms od dané krajní hodnoty. Tyto dvě série jsou porovnány, a pokud obě obsahují všech 15 detekovaných pozic, je rozhodnuto, že v pořadí i -tý kmit byl správně detekován ve všech svodech. Pokud série obsahují rozdílný počet pozic, je vyloučena krajní hodnota (min, nebo max), která má ve své sérii méně pozic. Tento proces se opakuje, dokud nejsou obě série identické. Zbývající detekce jsou považovány za správné v každém svodu. [1]

QRS pozice dané detektorem mohou být kmity Q, R, nebo S. Algoritmus hledá nejbližší pozici vrcholu před a za pozicí QRS v signálu ECGDER (hledání průchodu nulou). Na základě polarity a relativní hodnoty těchto vrcholů se algoritmus rozhodne, zda pozice QRS náleží kmitu Q, R, nebo S. Ostatní kmity jsou hledány jako nejbližší k pozici QRS nulou procházející body v ECGDER. Aby

mohly být takto detekované kmity uznány jako pozice skutečných kmitů, musí být časový rozdíl mezi kmity v rozmezí fyziologické vzdálenosti mezi kmity. [1]

Začátek a konec komplexu QRS se hledá následovně: je vyhledán vrchol (pk) napravo od kmitu S (pro konec), nebo nalevo od kmitu Q (pro začátek). Tento vrchol je bodem maximálního sklonu ve vlně. Je definován práh $TH = ECGDER(pk)/k$. Hodnota k je stanovena experimentálně. Konec QRS je stanoven jako bod odpovídající hodnotě TH za vrcholem v signálu ECGDER. Je nalezena první minimální hodnota za daným vrcholem a ta je označena jako konec QRS. Začátek QRS je stanoven obdobně, hledá se bod odpovídající hodnotě TH před vrcholem. [1]

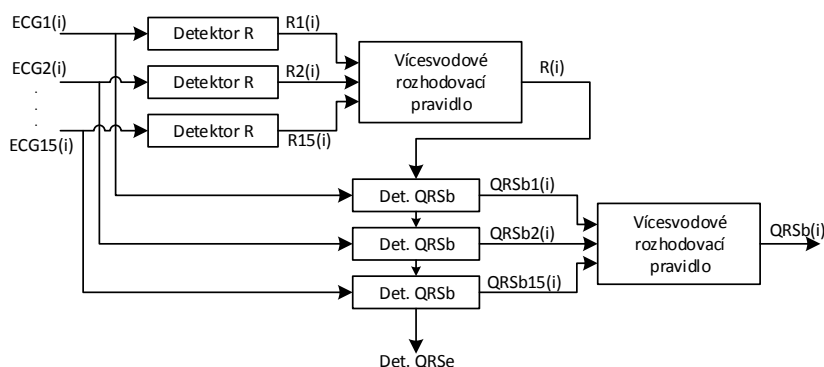


Obrázek 2.1: Vícesvodové rozhodovací pravidlo. A) neshodné série, B) série po vyloučení krajní hodnoty j_{15}

2.2. VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Navržený algoritmus je modifikací metoda Laguna, Jané a Caminal [1]. Modifikace byly provedeny za účelem zkvalitnění detekce a zvýšení výkonnosti algoritmu. Na vstupní signál je aplikována pásmová propust typu FIR s mezními frekvencemi 0,8 Hz a 26 Hz. V dalším kroku je vypočtena diference signálu (ECGDER), abychom získali informace o sklonu filtrovaného signálu. Umocněním diference na druhou zvýrazníme v signálu už tak dominantní komplex QRS. Posledním krokem předzpracování sloužícím k vyhlazení signálu je aplikace klouzavého integračního okna o velikosti 95 ms (ECGINT).

Detekce komplexu QRS funguje na principu hledání maximální hodnoty v okně. Začátek okna definuje nadprahová hodnota. Vyfiltrovaný signál (ECGINT) je nejprve normalizován (hodnoty jen v rozmezí 0 a 1) a prvotní práh je nastaven na hodnotu 0,35. Jakmile algoritmus najde první komplex QRS, jsou pak další prahy nastavovány adaptivně jako 0,35-průměrná hodnota předchozích detekovaných vrcholů. Jsou samozřejmě ošetřeny i situace, kdy z nějakého důvodu není nalezena nadprahová hodnota ve fyziologickém rozmezí komplexů QRS. V tomto případě dochází ke snižování prahu. V dalších krocích dochází ke zpřesňování detekce pomocí průchodu nulovou hladinou v derivovaném signálu (ECGDER). Z hodnot, které byly určeny pomocí hledání maximální hodnoty v nadprahovém okně, je hledán nejbližší průchod nulou v okně 60 ms (30 ms nalevo, 30 ms napravo), který je označen jako skutečná poloha komplexu QRS.



Obrázek 2.2: Blokové schéma rozměření QRS a vícesvodového rozhodovacího pravidla (i =cyklus, 1-15=svody)

Vícesvodové rozhodovací pravidlo je na rozdíl od autorů řešeno pomocí shlukové analýzy. Aby mohl být shluk označen jako správně detekovaný, musí obsahovat detekce z více než poloviny

svodů. Z těchto shluků je následně určen medián a ten je považován za společnou pozici kmitu R ve všech svodech. Maximální vzdálenost pro zařazení detekovaných hodnot do shluku je 90 ms. Následuje detekce kmitů Q a S. Ty jsou opět hledány odlišně, než popsali autoři v [1]. Protože známe přesnou pozici kmitu R a známe průběh komplexu QRS, víme, že nejbližší průchod nulou v derivovaném signálu z levé resp. pravé strany bude náležet kmitu Q resp. kmitu S. Dalším důležitým krokem je detekce začátků a konců komplexu QRS, která je na rozdíl od předchozích kroků shodná s autory metody. Na hodnoty začátků a konců QRS je aplikováno vícesvodové rozhodovací pravidlo, které je realizováno obdobně jako v předchozím kroku.

3. STATISTICKÉ ZHODNOCENÍ

Podobně jako autoři Laguna, Jané, Caminal [1] byl algoritmus testován na standardní databázi CSE (The Common Standards for Electrocardiography). Hodnocení spolehlivosti rozměření QRS, porovnávání a hodnocení výsledků navzájem je prováděno pomocí hodnot senzitivity Se , směrodatné odchylky δ a průměrné odchylky μ . Senzitivita vyjadřuje pravděpodobnost pozitivní detekce. Prediktivitu nelze spočítat, jelikož nejsou známy všechny referenční hodnoty. Byly hodnoceny výsledky ze všech 15 svodů (12 standardních a 3 ortogonální). V následující tabulce je uvedena senzitivita rozměření komplexu QRS, průměrná a směrodatná odchylka mezi referenčními a detekovanými pozicemi. Na posledním řádku tabulky je také uvedeno kritérium $2s_{CSE}$ [3].

Tabulka 1: Porovnání dosažených výsledků s autory metody

Parametry	Článek Laguna		Realizace Laguny		Vlastní řešení	
	začátek QRS	konec QRS	začátek QRS	konec QRS	začátek QRS	konec QRS
Se [%]	N	N	100	99,15	100	96,52
počet	121	121	115	115	115	115
$\mu \pm \delta$ [ms]	-3,6 ± 4,2	0,1 ± 7,7	-2,1 ± 7,4	1,4 ± 10,9	-1,7 ± 7,1	-6,6 ± 9,8
$2s_{CSE}$: δ [ms]	6,5	11,6				

μ : průměrná odchylka mezi referenčními a detekovanými pozicemi, δ : směrodatná odchylka mezi referenčními a detekovanými pozicemi, červeně: nesplnění kritéria CSE, zeleně: splnění kritéria CSE, N: není uvedeno

4. ZÁVĚR

Z tabulky je patrné, že navržený detektor nedosahuje stejně kvalitních výsledků jako detektor popsáný autory Laguna, Jané a Caminal, nicméně po vlastní realizaci jejich algoritmu bylo zjištěno, že hodnoty popsané v článku se neshodují s hodnotami z realizovaného detektoru (viz. **Tabulka 1:** Porovnání dosažených výsledků s autory metody). Autoři pravděpodobně zamlčeli některou modifikaci, nebo mezikrok. Můžeme si všimnout, že vlastní řešení dosahuje tedy lepších výsledků, než realizovaný detektor popsáný autory Laguna, Jané a Caminal. Směrodatná odchylka pro začátek QRS relativně těsně nevyhovuje kritériu $2s_{CSE}$, naopak konec QRS toto kritérium splňuje. Výsledky senzitivity pro začátek a konec QRS dosahují velice kvalitních výsledků, 100 % a 96,52 %.

5. REFERENCE

- [1] LAGUNA, P., JANÉ, R., CAMINAL, P. Automatic detection of wave boundaries in multi-lead ECG signals: Validation with the CSE database. Computers and biomedical research. 1994, vol. 27, no. 1, pp. 45-60.
- [2] PAN, J.; TOMPKINS, W. J. A real-time QRS detection algorithm. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 230-236, 1985
- [3] The CSE working party. Recommendations for measurement standards in quantitative electrocardiography. Eur. Heart J.6, 815, 1985.