

Meranie tónovej modulácie akustického rečového signálu

Július Zimmermann, Filozofická fakulta PU, zimmer@unipo.sk

Kľúčové slová: meranie, základný tón, rečový signál, poltónová stupnica, melódia

Keywords: measurement, fundamental frequency, speech signal, half-tone scale, melody

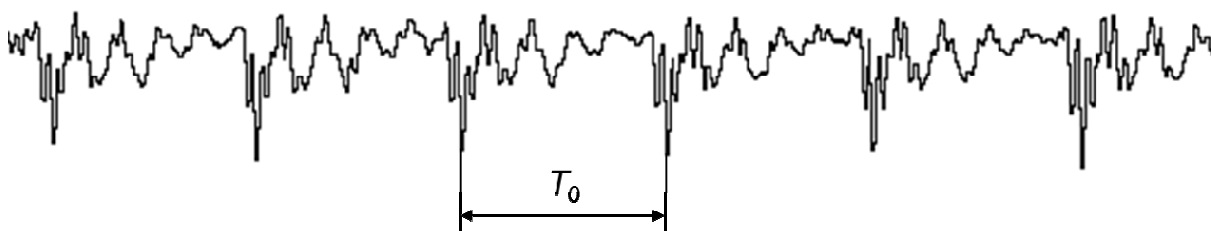
1. Úvod

Experimentálna fonetika sa okrem analýzy segmentov venuje v značnej miere aj analýze suprasegmentov, prozodických vlastností, ktoré vznikajú silovou, časovou a tónovou moduláciou rečového prúdu. Tónová modulácia – zmena výšky hlasu – sa realizuje zmenami frekvencie kmitania hlasiviek. Na oscilograme ju môžeme pozorovať ako plynulé skracovanie, alebo predlžovanie základnej periódy, na jej presné automatické meranie jestvuje okolo 200 algoritmov. Treba pripomenúť, že aj napriek tomuto vysokému počtu metód je meranie v niektorých prípadoch problematické, z čoho vyplývajú nepresné, až zavádzajúce výsledky. Príčinou týchto ťažkostí môže byť malá amplitúda signálu a nepriaznivý odstup signál/šum.

Skúsený experimentátor nielen v sporných prípadoch, keď je automatické meranie nemožné, ale aj vtedy, keď potrebuje okamžitú informáciu o výške hlasu, použije „ručnú“ metódu merania základného tónu. Stačí mu pritom oscilogram s x-ovou osou, na ktorej sú vyznačené časové údaje. Metóda vychádza zo skutočnosti, že frekvencia hlasivkových kmitov je nepriamo úmerná perióde týchto kmitov podľa jednoduchého vzťahu:

$$F_0 = \frac{1}{T_0}$$

kde F_0 je frekvencia kmitania hlasiviek a T_0 je základná perióda (obr. 1). Z obrázku je zrejmé, že hlasivkové kmity sú v znelých segmentoch dobre pozorovateľné; vždy sa prejavujú ako dominantné kladné alebo aj záporné amplitúdové špičky, vzdialenosť medzi nimi je napr. pri základnom tóne 100 Hz 10 milisekúnd.



Obr. 1. Oscilogram samohlásky *e* s vyznačením trvania základnej periódy T_0 .

Presnosť merania výšky základného tónu touto metódou je závislá od toho, ako presne odmeriame základnú periódu. Každý zvukový editor, na ktorom budeme skúmať oscilogram, má k dispozícii dva časové kurzory. Ak nimi vyčleníme časový segment signálu, editor ukáže trvanie tohto segmentu. Teda presnosť merania bude daná presnosťou umiestnenia kurzorov. Môžeme ju zvýšiť tak, že odmeriame trvanie segmentu obsahujúceho 10 alebo 20 základných periód a vypočítanú výšku základného tónu potom násobíme číslom 10 alebo 20.

Automatické algoritmy merania výšky základného tónu sú najčastejšie založené na princípe centrálného orezania signálu v časovej doméne. Zo signálu tak ostanú len jeho amplitúdové špičky – hlasivkové kmity. Časové polohy maximálnych amplitúd špičiek sa pokladajú za okamihy realizácie hlasivkových kmitov, ich perióda, ktorá nie je stála, je východiskom pri stanovovaní kolísania výšky základného tónu.

Inou metódou automatického merania výšky základného tónu v časovej doméne je autokorelačná metóda. Autokorelačná funkcia diskretného signálu $x(n)$, definovaného pre všetky n , je daná vzťahom (Rabiner, 1977)

$$\phi_x(m) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x(n)x(n+m)$$

Autokorelačná funkcia $\phi_x(m)$ nevratnou transformáciou zobrazí časovú štruktúru signálu. Keď predpokladáme, že rečový signál $x(n)$ je periodický s periódou P , teda

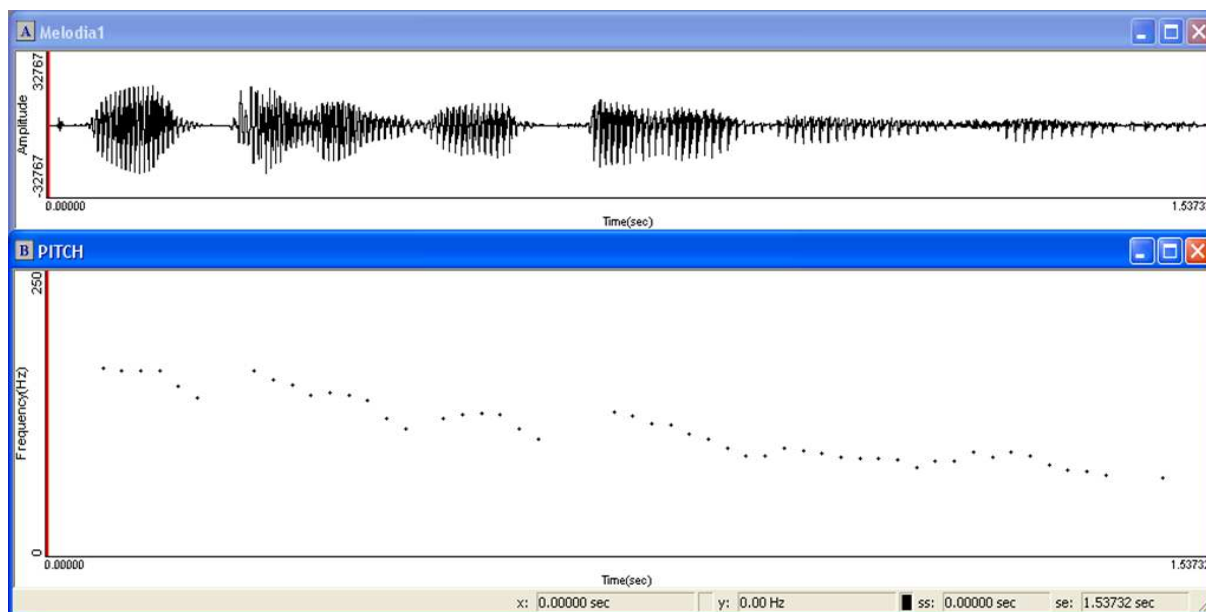
$$x(n) = x(n+P)$$

pre všetky n , potom platí

$$\phi_x(m) = \phi_x(m+P)$$

Je zrejmé, že vo frekvenčnej doméne je rýchla Fourierova transformácia tou metódou, ktorou sa frekvencia základného tónu dá odhaliť. O presnosti určenia frekvencie tu rozhoduje dĺžka časového okna, z ktorého vyplýva počet spektrálnych čiar, teda frekvenčné rozlíšenie. Ak by sme kvôli presnosti zvolili dlhšie časové okno, frekvencia bude určená presne, ale výsledkom bude priemerná hodnota F_0 platná pre dlhší časový úsek.

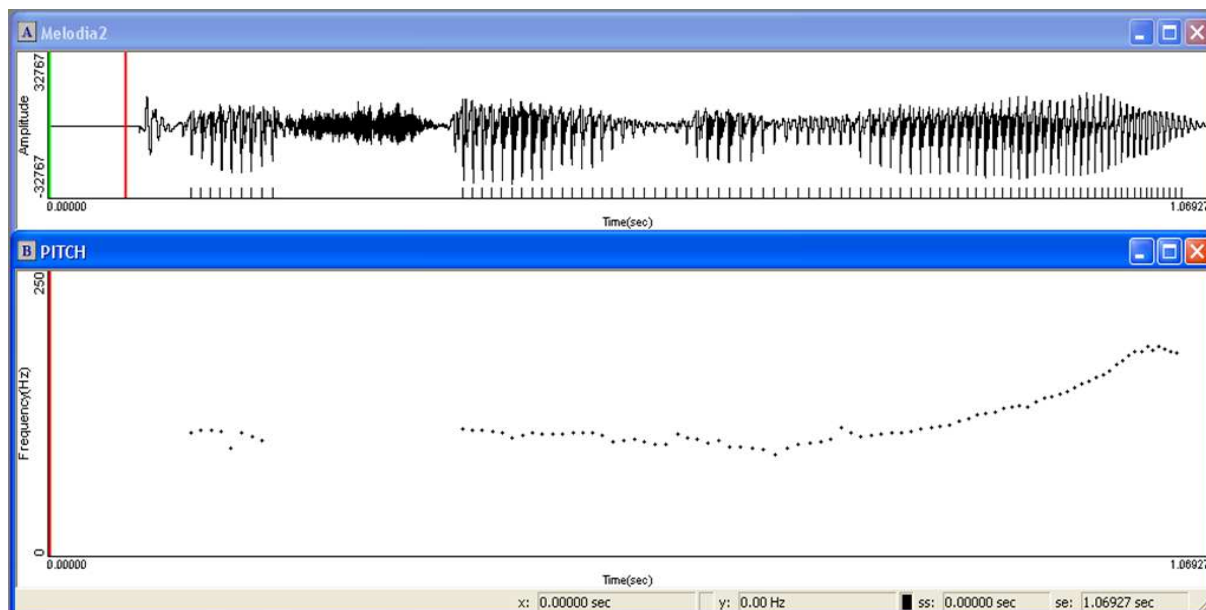
Na obr. 2 je znázornený oscilogram a časový priebeh základného tónu oznamovacej vety *Kúpili sme televízor*. Z grafu je zrejmé, že melódia má klesavý priebeh, je typická pre konkluzívnu kadenciu. Kontúra základného tónu je prerušená v miestach záverových fáz expozícií *k*, *p* a *t* a na konci výpovede v miestach realizácie spoluhlásky *r*. Táto absencia kontúry je zapríčinená malou amplitúdou signálu a prítomnosťou šumu.



Obr. 2. Oscilogram a priebeh zmien základného tónu oznamovacej vety *Kúpili sme televízor*.

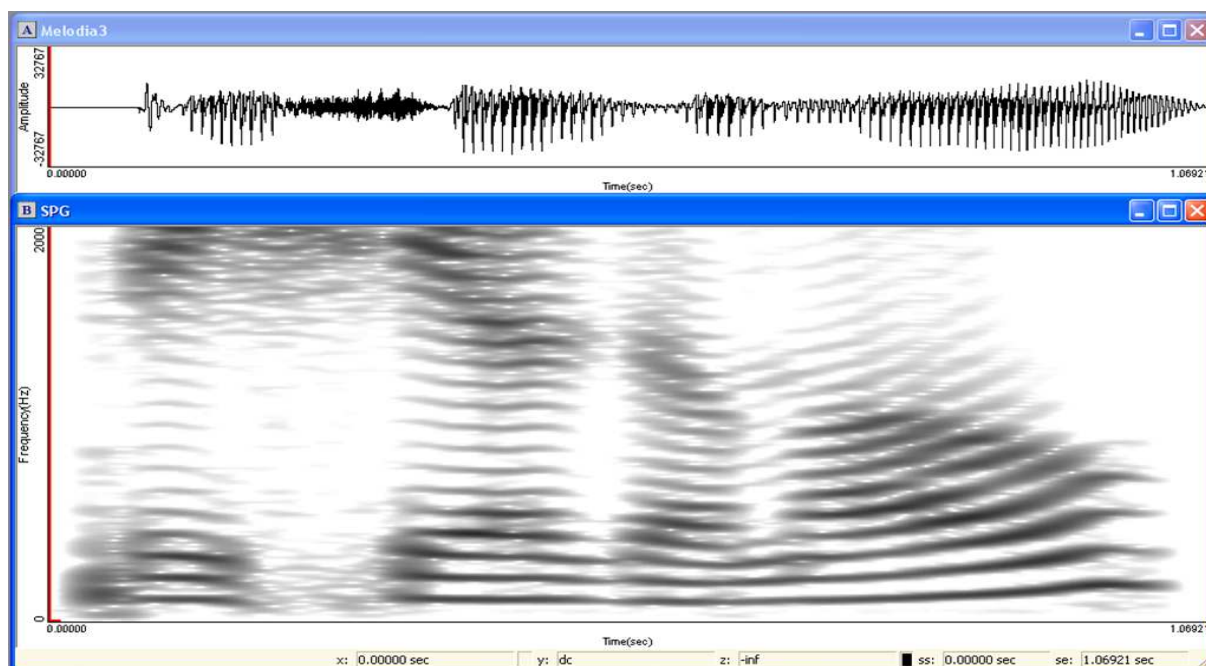
Podobnú analýzu opytovacej vety *Prišiel domov?* uvádzame na obr. 3. Melódia má v tomto prípade stúpavý priebeh, ide o antikadenciu. Kontúra je prerušená v mieste realizácie sykavky *š*, hlasivkové impulzy sú na časovej osi oscilogramu vyznačené čiarkami. Z hustoty

hlasivkových kmitov je na prvý pohľad zrejmé, že melódia má na konci výpovede stúpacý charakter.



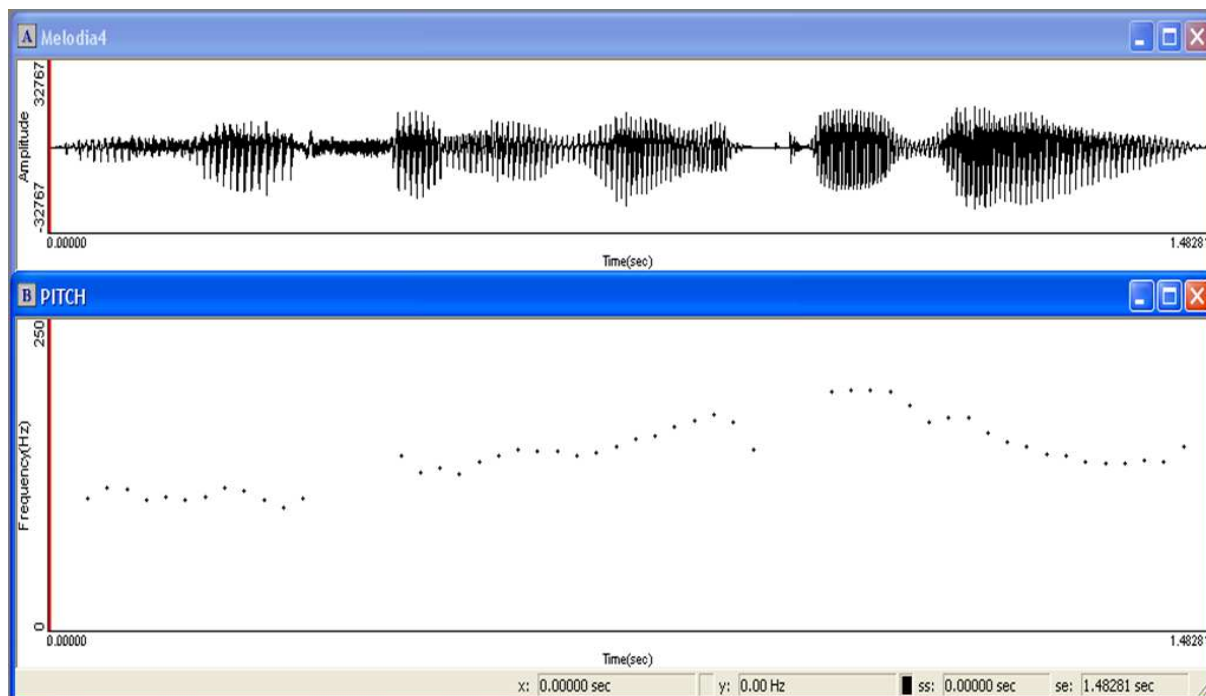
Obr. 3. Oscilogram a priebeh zmien základného tónu opytovacej vety *Prišiel domov?*

Na obr. 4 uvádzame pre tú istú opytovaciu vetu ako v predchádzajúcom prípade okrem oscilogramu aj úzkopásmový sonagram. Frekvencie harmonických zložiek, zobrazených zvlnenými horizontálnymi tmavými neostrými čiarami, sú celočíselnými násobkami základného tónu, teda najnižšie položené čiary. Tónovú moduláciu rečového signálu môžeme posudzovať nielen podľa trendu základného tónu, ale aj pohybu harmonických zložiek. V nich sa môže nachádzať informácia, ktorú analýzou F_0 nemusíme odhaliť. V tomto prípade treba čitateľovi pripomenúť, že úzkopásmový sonagram má síce vysoké frekvenčné rozlíšenie, ale jeho časové rozlíšenie je veľmi nepriaznivé.



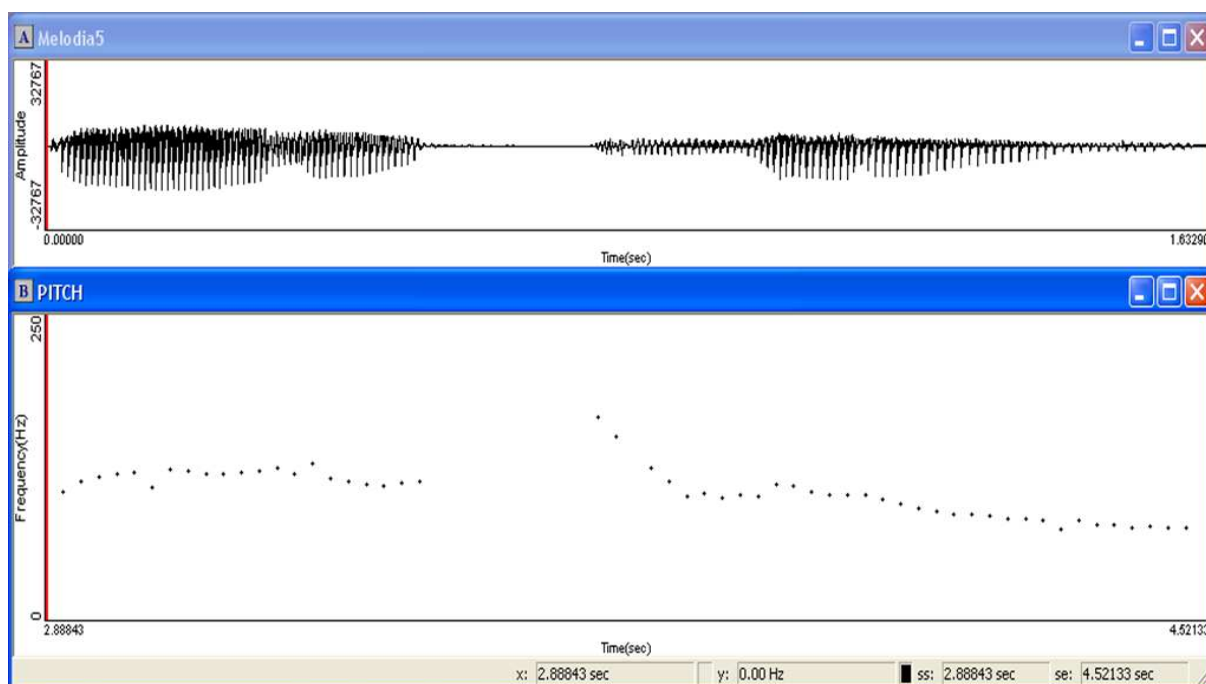
Obr. 4. Oscilogram a úzkopásmový sonagram opytovacej vety *Prišiel domov?*

Na obr. 5 je ukážka stúpavo-klesavej melódie, antikadencie opytovacej vety *Zase Nováková?* Najvyššiu výšku základného tónu nájdeme na predposlednej slabike výpovede. Z tohto miesta melódia prudko klesá. Aj v tomto prípade je kontúra základného tónu prerušená v mieste realizácie sykavky a počas záverovej fázy spoluhlásky *k*.



Obr. 5. Oscilogram a priebeh zmien základného tónu opytovacej vety *Zase Nováková?*

Posledným príkladom analýzy zmien výšky hlasu (obr. 6) je výpoveď so semikadenciou, monotónnym priebehom melódie pred pauzou v súvetí *Áno, za rána*. Plynulý pokles melódie nájdeme v druhej časti výpovede, čím je intonačná expedícia súvetia ukončená.



Obr. 6. Oscilogram a priebeh zmien základného tónu súvetia *Áno, za rána*.

Aby sme mohli nameraný časový priebeh základného tónu pokladať za smerodajný pre fonetiku, teda za priebeh melódie reči, musíme upraviť jeho amplitúdu s ohľadom na percepciu. Najvhodnejšou mierou na meranie melódie v experimentálnej fonetike je poltónová stupnica. Frekvencia základného tónu F_0 v hertzoch, odvodená od trvania periódy T_0 , je transformovaná na poltóny (ST) podľa vzťahu (Volín 2007, Zimmermann – Volín 2008)

$$ST = \frac{12 \cdot \ln\left(\frac{F_0}{100}\right)}{\ln(2)}$$

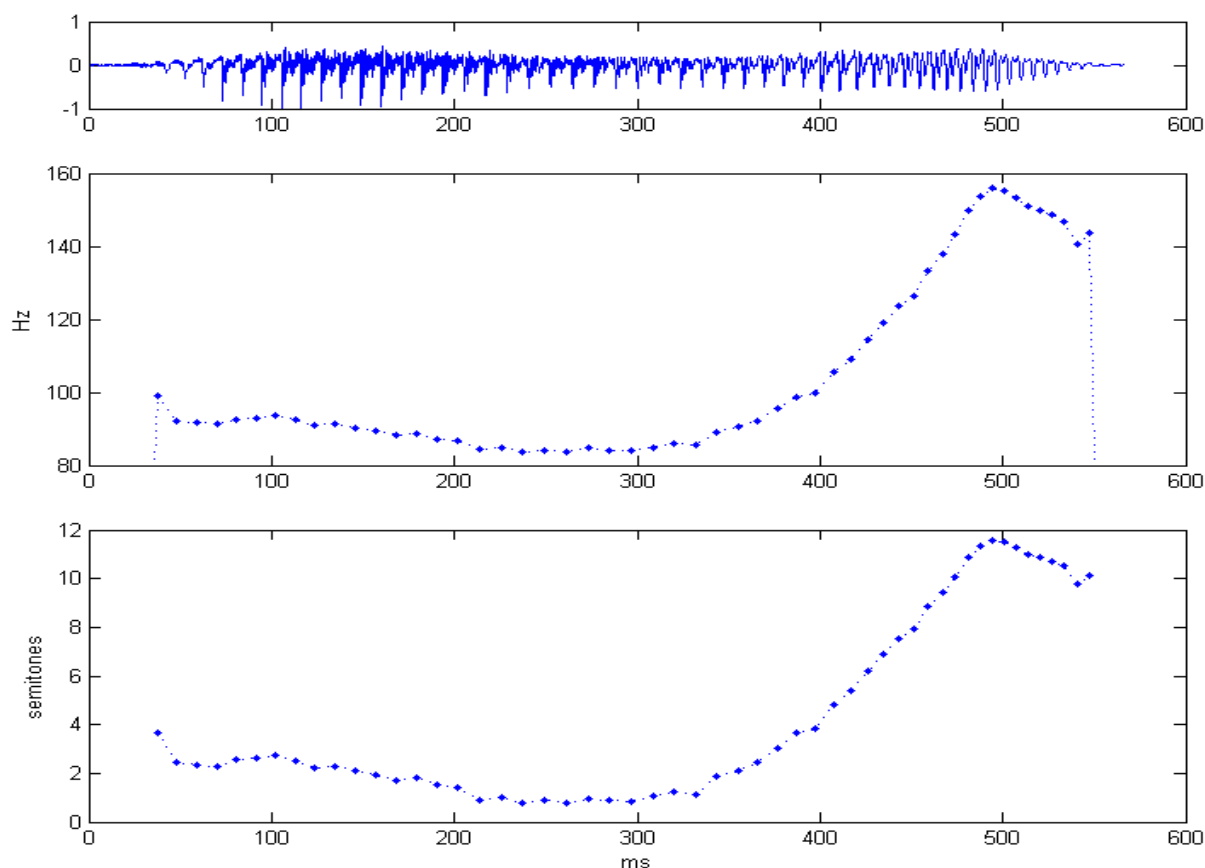
Vzostup tónu o poltón je v hudobnej vede vzostup tónu o dvanástinu oktávy; oktáva je rozpätie dvoch tónov v pomere ich výšok 1:2. Ak sa vo fonetike určuje vzostup základného tónu v poltónoch, musí byť voliteľne stanovený začiatok stupnice v hertzoch, od ktorého sa poltóny počítajú. V uvedenom vzorci je tento začiatok stanovený na hodnotu 100 Hz.

Podobne, zo známeho rozpätia zmien F_0 v hertzoch sa vypočíta počet poltónov v tomto intervale podľa vzťahu

$$\text{počet poltónov} = 39,863 \cdot \log\left(\frac{F_h}{F_d}\right)$$

kde F_h je horná hranica a F_d je dolná hranica frekvenčného intervalu v Hz.

Na interpretáciu týchto poznatkov zmeníme frekvenčnú stupnicu v hertzoch v grafe zmien výšky základného tónu na poltónovú stupnicu, aby sa dala kontúra tejto krivky pokladať za melodický priebeh reči. Na obr. 7 je znázornená analýza výrazu *Hej?*, kde je v druhej krivke zhora použitá frekvenčná stupnica a v najspodnejšej krivke poltónová stupnica, jej začiatok je stanovený na hodnotu 80 Hz.



Obr. 7. Konverzia frekvenčnej stupnice na poltónovú stupnicu priebehu melódie výrazu *Hej?*

Literatúra

- KRÁĽ, Ā. – SABOL, J.: *Fonetika a fonológia*. Bratislava, Slovenské pedagogické nakladateľstvo 1989, s. 108.
- RABINER, L. R.: *On the Use of Autocorrelation Analysis for Pitch Detection*. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-25, No. 1, February 1977.
- SABOL, J. – ZIMMERMANN, J.: *Základy akustickej fonetiky*. 3. vyd. Košice, Rektorát Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach 1986a. 105 s.
- VOLÍN, J.: *Statistické metódy vo fonetickom výskume*. Praha, EPOCHA 2007.
- ZIMMERMANN, J. – VOLÍN, J.: *Meranie základného tónu reči wavelet transformáciou*. International Conference Technical Computing Prague 2008. Praha 11. 11. 2008, Humusoft 2008, s 122 – 127.
- ZIMMERMANN, J.: *Spektrografická a škálografická analýza akustického rečového signálu*. Prešov, Náuka 2002. 176 s.

Measurement of tone modulation of acoustic speech signal

Abstract

The study deals with experimental measurement of changes in frequency of fundamental tone of speech signal. At first, there is explained the way how it is possible from the curve of time behaviour of a signal – oscillogram – to calculate either momentary value of frequency F_0 or its average value. We have to take into consideration the length of basic period T_0 , from its inversion then results in F_0 . Automatic methods of measurement of fundamental frequency are presented by analyzing sentences with conclusive cadence, semicadence and anticadence. Melodic waving of all harmonic elements of signal the authors presented by means of narrow-band sonagram. In the end in the study there is explained the way of conversion of frequency scale in Hertz into half-tone scale in order the outline of variation amount F_0 could be considered as behaviour of melody of speech.

Táto štúdia, bola vytvorená realizáciou projektu *Vybudovanie lingvokulturologického a prekladateľsko-tlmočnického centra*, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.