

ZPRACOVÁNÍ SLABÝCH AKUSTICKÝCH SIGNÁLŮ MALÝCH ŽIVOČICHŮ ZAZNAMENANÝCH V NEOPTIMÁLNÍCH PODMÍNKÁCH

Kadlec, F.^a, Husník, L.^a, Pekár, S.^b

^aČeské vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, katedra radioelektroniky

^bKatedra zoologie a ekologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita

Abstrakt

Práce se signály vydávanými malými živočichy je typický případ problému zpracování signálů nízké úrovně. I v případě, kdy se záznam neprovádí v přirozeném prostředí živočichů, ale v laboratoři, je odstup signálu od šumu v některých kmitočtových pásmech velmi nízký a zejména na nízkých kmitočtech šumová složka převažuje. Proto jsou výběr vhodného zpracování signálu a jeho provedení kritické. V článku je popsáno zpracování zvuků vydávaných pavouky rodu *Palpimanus* pomocí programu MATLAB.

V našem výzkumu jsme se v tomto stádiu zaměřili na záznam a zpracování zvuků, které vydávají pavouci rodu *Palpimanus*. Tito pavouci vydávají zvuk pomocí tzv. stridulace, tedy tření některé části jejich těla (výrůstky na stehnách) o sklerotizovanou rýhovanou část hlavohrudí. Význam stridulace není ještě zcela vysvětlen, dle hypotéz může jít o vnitrodruhovou komunikaci, o zvuk odrazující predátory či o vábení kořisti. Pro vybuzení pavouků byl použit většinou dotek pinzetou na inkrustovanou součást hlavohrudě, nicméně ne u všech jedinců byl tento postup úspěšný.



Obr.1 Stridulující jedinec druhu *Palpimanus gibbulus*

I když byl záznam signálu prováděn v akusticky upravené místnosti, zaznamenaný signál obsahoval velké množství nežádoucích složek. Nejpodstatnější byl samozřejmě nízkofrekvenční hluk pozadí, nicméně dalšími nežádoucími složkami bylo například dýchání kolegy dráždícího pavouka, pohyb pavouka po podložce nebo doteky pavouka měřícího mikrofону. Posledně zmíněný typ rušení je možno ručně vyklíčovat, další ne. Dále popsaná metodika je také přípravou na situaci, kdy se budou zvuky snímat v přirozeném biotopu živočicha.

Měřicí metoda

Při snímání akustických signálů vydávaných malými živočichy jak ve volné přírodě, tak i v laboratoři, obdržíme na výstupu mikrofону signály $m(t)$, které lze obecně napsat ve tvaru

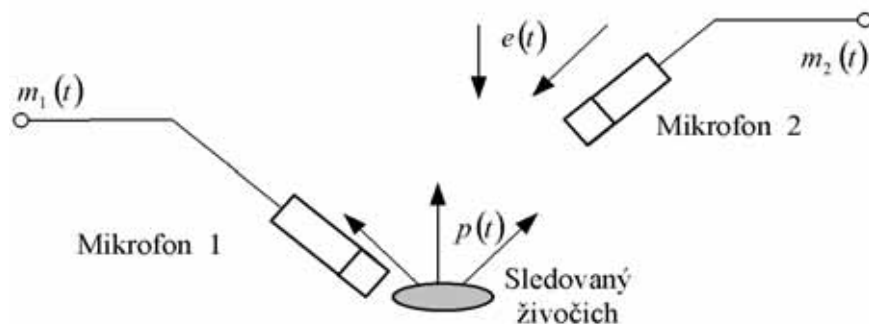
$$m(t) = p(t) + e(t), \quad (1)$$

přičemž $p(t)$ je reprezentace akustického signálu vydávaného sledovaným živočichem. Chybový signál $e(t)$ můžeme dále rozdělit na složky $s(t)$ a $n(t)$, což jsou náhodné stacionární a nestacionární části signálu pocházející z vnějšího okolí měření

$$e(t) = s(t) + n(t). \quad (2)$$

Chybové signály $s(t)$ a $n(t)$ mohou být jak akustického původu, také však mohou být způsobeny elektromagnetickým smogem, který proniká do signálové cesty.

Abychom omezili vliv chybových signálů (šumů) na přesnost analýzy akustického signálu měřeného objektu živočišného původu, zvolili jsme měřicí metodu využívající 2 mikrofónů. Blokové schéma měření je na obr. 2.



Obr. 2. Blokové schéma měření snímání akustických signálů vydávaných malými živočichy pomocí dvou mikrofónů.

První mikrofon M_1 je umístěn v bezprostřední blízkosti měřeného objektu, řádově ve vzdálenosti několika mm. Druhý mikrofon M_2 se nachází v takové vzdálenosti, kdy lze ještě předpokládat, že charakter náhodného chybového signálu je shodný s chybovým signálem v bezprostřední blízkosti živočicha, zároveň však akustický signál vydávaný sledovaným živočichem a snímáný druhým mikrofónem má velmi nízkou úroveň. Signál snímáný prvním mikrofónem M_1 můžeme pomocí rovnice (1) napsat

$$m_1(t) = p(t) + e(t - t_0) = p(t) + s(t - t_0) + n(t - t_0). \quad (3)$$

Signál $m_2(t)$ zaznamenaný druhým mikrofónem M_2 pak můžeme napsat ve tvaru

$$m_2(t) = \alpha p(t - t_0) + s(t) + n(t), \quad (4)$$

kde α je činitel tlumení, přičemž platí $\alpha < 1$. Koeficient t_0 představuje časové zpoždění akustických signálů mezi oběma mikrofóny. Vzdálenost mikrofónů l_0 je pak určena vztahem $l_0 = c \cdot t_0$, kde c je rychlost šíření akustického signálu. Šíření zvukového signálu $p(t)$ vydávaného sledovaným živočichem předpokládáme směrem od mikrofónu M_1

k mikrofonu M_2 . Směr šíření chybových signálů $s(t)$ a $n(t)$ předpokládáme opačný, tj. směrem z okolního prostředí, kde nejprve dopadnou na mikrofon M_2 a poté se dále šíří k měřenému objektu. Koeficient α představuje zatlumení signálu $p(t)$ na druhém mikrofonu M_2 . Předpokládáme-li, že mikrofon M_2 je v dostatečné vzdálenosti od sledovaného objektu a signál $p(t)$ má sám o sobě nízkou úroveň, můžeme napsat že.

$$\alpha p(t-t_0) \cong 0. \quad (5)$$

Na základě předchozí úvahy můžeme rovnici (4) napsat ve tvaru

$$m_2(t) \cong e(t) = s(t) + n(t). \quad (6)$$

Signál $e(t)$ naměřený mikrofonem M_2 použijeme při extrakci signálu $p(t)$ ze signálu $m_1(t)$ naměřeného mikrofonem M_1

$$p(t) = m_1(t) - m_2(t). \quad (7)$$

Analýza naměřených signálů

Sledování živočichové, kteří se vyznačují malými fyzikálními rozměry, nejsou schopni v oblasti nízkých kmitočtů, cca do 500 Hz vydávat žádné zvukové signály. Kmitočtové spektrum naměřených signálů $m_1(t)$ a $m_2(t)$ přitom zahrnuje celé slyšitelné kmitočtové pásmo 20 Hz ÷ 20 kHz. Z toho vyplývá, že v oblasti nízkých kmitočtů se jedná pouze o akustický, nebo indukovaný elektrický šum okolního prostředí. Z tohoto důvodu se ukázal jako nejvhodnější další postup, tyto signály nejdříve kmitočtově na dolním konci kmitočtového pásma omezit. Signály byly filtrovány horní propustí Čebyševova typu 6tého řádu s mezním kmitočtem v rozsahu 300 ÷ 500 Hz. Filtrované signály lze pak napsat v časové oblasti ve tvaru

$$m_{f1}(t) = [p(t) + s(t-t_0) + n(t-t_0)] \otimes f_c(t), \quad (8)$$

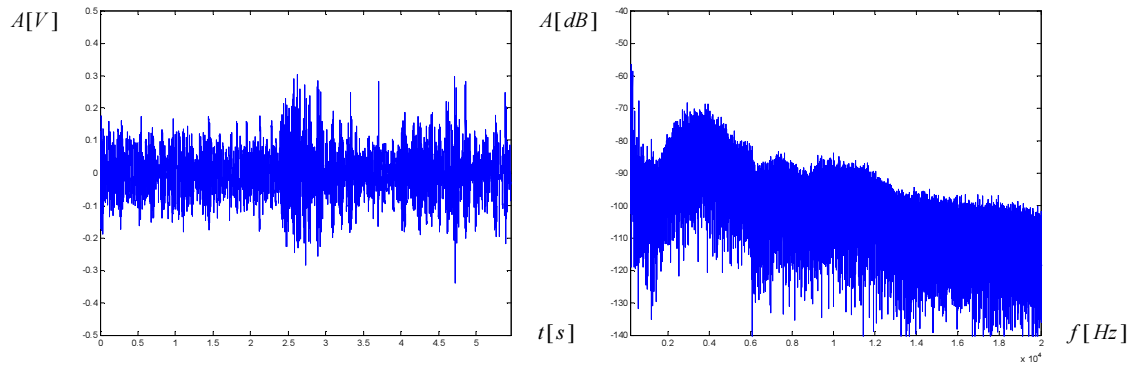
$$m_{f2}(t) = [\alpha p(t-t_0) + s(t) + n(t)] \otimes f_c(t), \quad (9)$$

kde $f_c(t)$ je impulzní odezva horní propusti. V kmitočtové oblasti můžeme napsat

$$\mathbf{M}_{f1}(\omega) = \mathbf{P}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega) + \mathbf{S}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega)e^{-j\omega t_0} + \mathbf{N}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega)e^{-j\omega t_0}, \quad (10)$$

$$\mathbf{M}_{f2}(\omega) = \alpha \mathbf{P}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega)e^{-j\omega t_0} + \mathbf{S}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega) + \mathbf{N}(\omega)\mathbf{F}_c(\omega), \quad (11)$$

kde $\mathbf{M}_{f1}(\omega)$, $\mathbf{M}_{f2}(\omega)$, $\mathbf{P}(\omega)$, $\mathbf{S}(\omega)$, $\mathbf{N}(\omega)$, $\mathbf{F}_c(\omega)$ jsou Fourierovy obrazy odpovídajících signálů $m_{f1}(t)$, $m_{f2}(t)$, $p(t)$, $s(t)$, $n(t)$, $f_c(t)$ v časové oblasti.

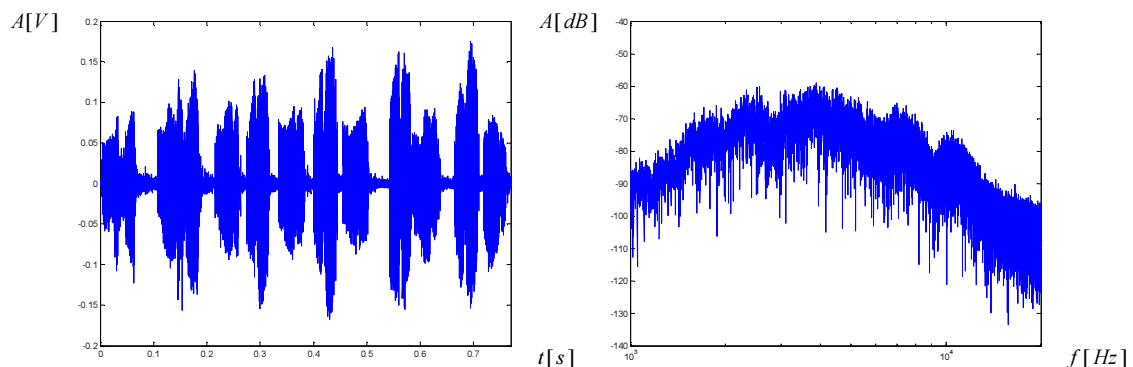


Obr. 3. Ukázka průběhu signálu $m_1(t)$ v časové a kmitočtové oblasti.

Další důležitý krok při analýze signálů spočíval ve výběru takových částí signálů $m_1(t)$ a $m_2(t)$, které neobsahují nestacionární složky signálů $n(t)$. Výběr by bylo možné provést pomocí statistické analýzy signálů v časové oblasti, prakticky se však ukázalo že vhodnější způsob je provést výběr empiricky. Výběrem signálů nezatížených náhodnou nestacionární složkou obdržíme naměřené části signálů ve tvaru

$$\mathbf{M}_{s1}(\omega) = \mathbf{P}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega) + \mathbf{S}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega) e^{-j\omega t_0}, \quad (12)$$

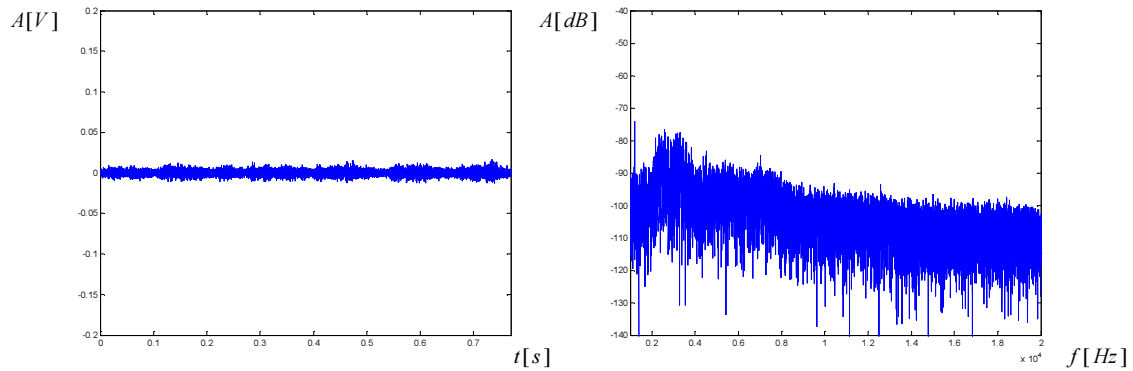
$$\mathbf{M}_{s2}(t) = \alpha \mathbf{P}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega) e^{-j\omega t_0} + \mathbf{S}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega). \quad (13)$$



Obr. 4. Ukázka průběhů filtrovaných signálů $m_{f1}(t)$ v časové a $\mathbf{M}_{f1}(\omega)$ kmitočtové oblasti.

Vezmeme-li v úvahu vztah (5), můžeme rovnici (12) dále zjednodušit na tvar

$$\mathbf{M}_{s2}(t) \cong \mathbf{S}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega). \quad (14)$$



Obr. 5. Ukázka průběhu filtrovaných signálů $m_{f2}(t)$ v časové oblasti a $\mathbf{M}_{f2}(\omega)$ v kmitočtové oblasti.

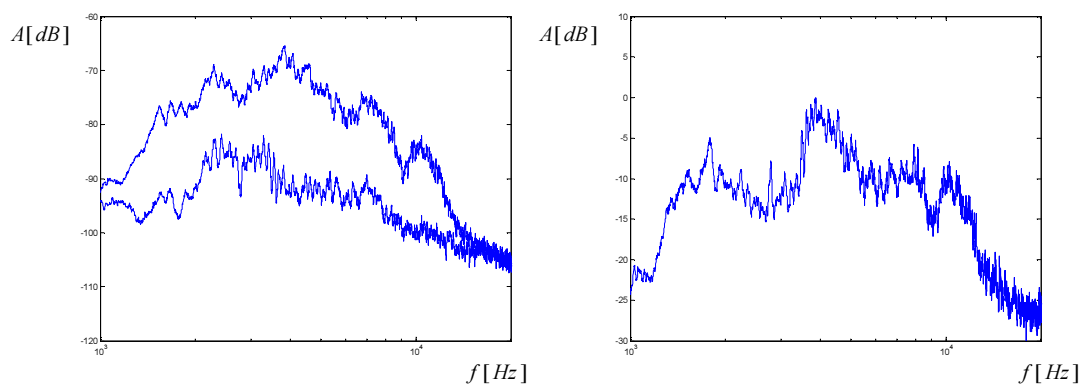
Nyní, když už známe kmitočtová spektra signálů \mathbf{M}_{s1} a \mathbf{M}_{s2} , můžeme si pomocí vztahů (12) a (14) odvodit spektrum signálu $P(\omega)$, který vydává sledovaný živočich

$$\mathbf{P}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega) = \mathbf{M}_{s1}(\omega) - \mathbf{M}_{s2}(\omega) e^{-j\omega t_0} \quad (15)$$

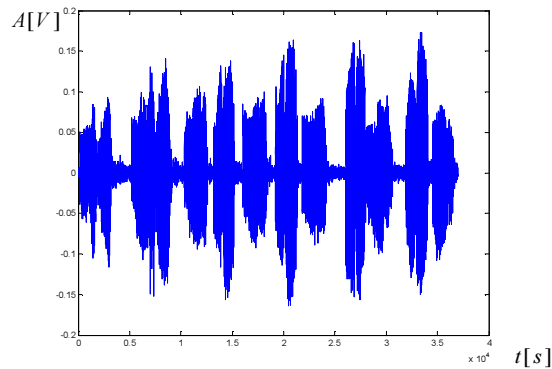
Jestliže víme, že signál byl odfiltrován pouze v kmitočtové oblasti ve které se hledaný signál $\mathbf{P}(\omega)$ nevyskytuje, můžeme rovnici pro praktické použití napsat ve tvaru

$$\mathbf{P}(\omega) = \mathbf{M}_{s1}(\omega) - \mathbf{M}_{s2}(\omega) e^{-j\omega t_0} \quad (16)$$

Dalšími úpravami, jako je použití průměrování signálů a využití korelačních vztahů mezi signály, lze pomocí signálu $\mathbf{P}(\omega) \mathbf{F}_c(\omega)$ restaurovat akustický signál vydávaný malým živočichem.



Obr.6. Ukázka průběhu kmitočtových spekter $\mathbf{M}_{s1}(\omega)$ spolu s $\mathbf{M}_{s2}(\omega)$ a jejich rozdílu v dB.



Obr.7. Časový průběh výsledného signálu $p(t)$.

Závěr

Zpracováním akustického signálu pomocí softwaru MATLAB jsme dosáhli vylepšení odstupu S/N zvuku vydávaného malými živočichy, konkrétně pavouky rodu *Palpimanus*. Použitý postup má za cíl především připravit rychlou a spolehlivou metodu pro zpracování signálů živočichů zaznamenaných v jejich přirozeném biotopu.

Poděkování

Projekt byl podporován Grantovou agenturou České republiky, grant č. 102/02/0156 spolu s výzkumným záměrem MSM 212300014.

Literatura

Kadlec, F.: Design, Generation and Analysis of Digital Test Signals. The 111th Audio Eng. Soc. Convention, New York, December 2001, Preprint 3501.

Kadlec, F.: Zpracování akustických signálů. Skripta, 1. vyd. Praha, Vydavatelství ČVUT, 2002. 189 s. ISBN 80-01-02588-8.

Husník, L., Pekár, S.: Snímání a analýza zvuků vydávaných pavouky rodu *Palpimanus* (Araneae: Palpimanidae), Akustické listy (4) Vol. 8, 2002, pp20-23.

Kontaktní adresy:

František Kadlec, Libor Husník: ČVUT – FEL, katedra radioelektroniky, Technická 2, 160 00 Praha 6, e-mail: kadlec, husnik@fel.cvut.cz

Stano Pekár: Katedra zoologie a ekologie, Přírodovědecká fakulta MU, Kotlářská 2, 611 37, Brno, e-mail: pekar@sci.muni.cz