

CHARACTERIZATION OF ACOUSTIC EMISSION SIGNAL FOR CLUSTER ANALYSIS

Petr Blažek

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xblaze24@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Sedlák

E-mail: sedlakp@feec.vutbr.cz

Abstract: This work describes characterization of acoustic emission (AE) signals by cluster analysis. Acoustic emission, which belongs to passive non-destruction methods, offers a huge potential due to ability of quantitative evaluation, such as localization and characterization of emission sources. In this paper I focus especially on AE events generated by two artificial AE sources (pencil-lead break and laser pulse).

Keywords: acoustic emission, cluster analysis, signal features, wavelet transform

1. ÚVOD

Práce pojednává o charakterizaci signálů akustické emise (AE) pomocí metod shlukové analýzy. Akustická emise je fyzikální jev, při němž dochází ke spontánnímu uvolnění energie v důsledku mechanického či teplotního namáhání sledovaného materiálu. Pojem akustická emise se rozumí postup zahrnující metodu detekce AE, následně digitalizaci získaného signálu a výsledné hodnocení získaných dat. Akustická emise, jakož to jedna z pasivních metod nedestruktivního testování, má obrovský potenciál díky své možnosti kvantizačního vyhodnocení AE událostí, jako je lokalizace a charakterizace emisních zdrojů.

2. TESTOVÁNÍ PARAMETRŮ

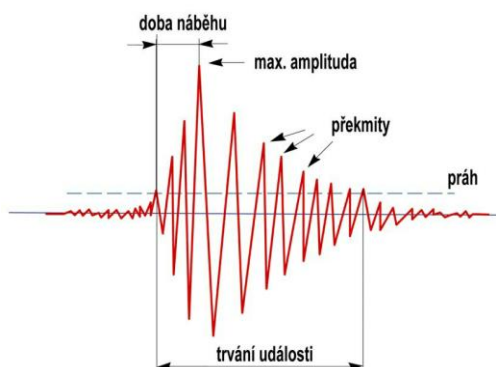
2.1. PARAMETRY AE UDÁLOSTI

Akustické signály můžeme rozdělit podle jejich charakteru v časové oblasti na událostní a kontinuální emise. Událostní emise obsahuje „pulsy“ neboli události, které jsou krátkodobé. Tyto události lze popsat pomocí rozsáhlé množiny parametrů. Správná volba parametrů hraje klíčovou roli při analýze akustické emise. Tyto parametry můžeme definovat v časové, frekvenční a časově-frekvenční oblasti. Některé ze základních parametrů AE v časové oblasti jsou ukázány na obrázku 1. Parametry ve frekvenční oblasti a v časově-frekvenční oblasti jsou získány pomocí Fourierovy transformace (FFT), respektive spojité vlnkové transformace (CWT) s Gaborovou mateřskou vlnkou původního signálu AE události.

2.2. METODIKA TESTOVÁNÍ

Shluková analýza je statická metoda zabývající se vyšetřováním vícerozměrných objektů a jejich členěním do tříd (shluků). V rozlišení jednotlivých zdrojů akustické emise hraje klíčovou roli volba parametrů signálů akustické emise v časové, frekvenční a časově-frekvenční oblasti. Pro testování bylo vybráno následujících 23 parametrů: maximální amplituda, trvání AE, doba náběhu signálu, nástupní úhel, velikost amplitudy prvního překmitu, časová četnost překmitů, prahová hodnota na vrcholu, počet průchodů nulou, poměr hodnot počtu průchodů nulou a trvání AE, energie signálu nad úrovní, statický moment 3. a 4. řádu, maximální amplituda ve frekvenční oblasti, frekvence

odpovídající maximu ve frekvenční oblasti, frekvence těžiště FFT signálu [2], energie pro pásmo od 10kHz do 610kHz po 100kHz, frekvence prvního peaku v CWT [3] a frekvence maximálního peaku v CWT.



Obrázek 1: Událost a vybrané parametry AE v časové oblasti [1]; *Práh* - nastavená hodnota, definuje začátek a konec jednotlivých emisních událostí; *Počet překmitů* - udává počet kmitů přes nastavenou prahovou hodnotu; *Max. amplituda emisní události* - je maximální výchylka emisní události; *Doba náběhu* - čas mezi prvním překročením prahu a maximální výchylkou.

Pro výpočet shlukové analýzy byla vybrána metoda k-means . Tento nehierarchický algoritmus třídí data do shluků na základě jejich vlastností. Pracuje tím způsobem, že každý bod přiřadí do shluku, kterému je nejbliž. Po každém přiřazení se znovu přepočítají těžiště zvětšených shluků. Po přiřazení všech bodů, jsou stávající těžiště výsledné vzorové body - přiřazování a přepočítání těžišť se provede znovu.

Nicméně důležitými kroky před vlastním použitím této metody je normalizace dat a následná redukce matice dat do trojrozměrného prostoru. V mém případě jsem měl šest normovacích metod: var, range, log, logistic histD a histC, které byly použity k normování vstupních parametrů signálu. Redukční metody hrají zásadní roli při analýze pomocí shlukování. Použité metody jsou PCA (Principal Component Analysis), LLE (Locally Linear Embedding), t-SNE (Stochastic Neighbor Embedding) a LEM (The method Laplacian Eigenmap).

2.3. VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ

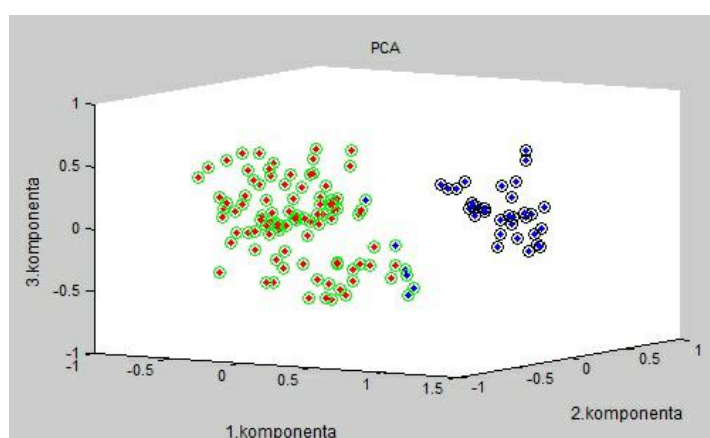
Výsledky shlukové analýzy jsou v tabulce 1. Barevně jsou označeny hodnoty, které nejvíce vyhovují. Hodnoty jsou vybrány na základě výpočtu poměru vzdáleností nejbližších a nejvzdálenějších bodů v trojrozměrném prostoru a dále také na základě porovnání znalosti o skutečném zdroji a odhadnutém zdroji pomocí shlukové analýzy. Nulové hodnoty v tabulce značí, že příslušná metoda nesplnila podmínku, protože chybovost musí být menší než deset procent. Nenulové hodnoty, v intervalu od 0 do 1, nám udávají vzdálenost shluků od sebe. Čím větší hodnota, tím vzdálenější jsou shluky od sebe a tím docházíme k lepším výsledkům.

V tabulce vidíme, že nejvíce vyhovující byla redukční metoda LEM, tedy až na oblast časově-frekvenční, kde byly použity pouze dva vstupní parametry. Mezi metodami byla nejméně vyhovující metoda LEE, nesplňující u skoro žádné oblasti podmínku, že výsledné shluky se nesmí překrývat. Na obrázku 2 vidíme příklad metody PCA ve frekvenční oblasti s normovací metodou histD. Barvy bodů (červená a modrá) v grafu prezentují odhad pomocí shlukové analýzy, zdali se jedná o událost vyvolanou zlomením tuhy nebo laserovým pulsem. Barevná kolečka, okolo těchto jednotlivých bodů, značí, o který zdroj se ve skutečnosti jedná. Zelený prezentuje Hsu-Nielsonův zdroj (buzení zlomením tuhy) a černý prezentuje buzení laserovým pulsem . Jestliže některé body nebyly správně zařazeny, poznáme je podle toho, že barva kolečka nesouhlasí s barvou bodu.

Tabulka 1: Výsledky zdrojů laserový puls a lom tuhy

Redukční metody	PCA						t-SNE					
	histC	histD	var	range	logistic	log	histC	histD	var	range	logistic	log
všechny features	0,205	0,054	0,183	0,163	0,224	0	0,306	0,298	0,255	0,202	0,3	0
časová oblast	0,179	0	0	0	0,156	0	0,158	0,118	0,048	0,062	0,081	0
frekvenční oblast	0,09	0,061	0,192	0,044	0,087	0	0,279	0,032	0,3	0	0,324	0
čas. - frek. oblast	0	0	0	0,154	0	0	0	0	0	0	0	0

Redukční metody	LLE						LEM					
	histC	histD	var	range	logistic	log	histC	histD	var	range	logistic	log
všechny features	0	0,055	0,069	0	0,021	0	0,408	0,498	0	0,404	0,595	0
časová oblast	0	0	0	0	0	0	0,125	0,144	0,147	0,163	0,148	0,19
frekvenční oblast	0	0	0	0	0	0	0,448	0,507	0,651	0	0,324	0
čas. - frek. oblast	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Obrázek 2: Metoda PCA pro frekvenční oblast

3. ZÁVĚR

V této práci jsem se především zaměřil na parametry AE události v časové, frekvenční a zejména časově-frekvenční oblasti a otestoval jsem je na základě dat generovaných pomocí dvou „umělých“ zdrojů AE. Jedná se o zdroje lom tuhou a laserový puls. Použity byly čtyři redukční metody PCA, t-SNE, LLE a LEM. Metody PCA a t-SNE dosahovaly dobrých výsledků, ale nejvíce vyhovující byla metoda LEM. Z použitých normalizačních metod se daly použít všechny kromě metody log, která neprošla ve skoro žádném z výpočtů kritéria chybovosti, jež bylo maximálně deset procent. Nejlepších hodnot bylo dosaženo při použití všech vstupních parametrů s metodou *logistic* a při použití vstupních parametrů ve frekvenční oblasti s metodou *var*. Parametry, použité v časové oblasti, nedosahovaly takových výsledků, jako při použití všech vstupních parametrů a vstupních parametrů ve frekvenční oblasti. Nejhorších výsledků bylo dosaženo v časově-frekvenční oblasti, což bylo způsobeno malým počtem vstupních parametrů. Použity byly pouze dva vstupní parametry, což je nedostačující ve tří dimenzionální analýze.

REFERENCE

- [1] PREDITEST. Akustická emise obecně [online]. Dostupné z: <http://www.preditest.cz/>
- [2] Pattern recognition approach to identify natural clusters of acoustic emission signals. Pattern Recognition Letters [online]. roč. 2012, č. 33, s. 17-23 [cit. 2013-03-03]. DOI: 10.1016/j.patrec.2011.09018.
- [3] Cséfalvay, G. Využití metod umělé inteligence pro charakterizaci zdrojů akustické emise v pevných látkách. Pojednání o disertační práci. VUT v Brně. 2012