

Návrh tématu disertace (schváleno Oborovou radou FJFI)

Školitel: Václav Kůs, KM FJFI

Účast pgs studenta na grantech a ve spolupracujících institucích:

- Ústav Termomechaniky AVČR (Oddělení D4 – Rázy a vlny v tělesech).
- VVI LM2023061 Velké Výzkumné Infrastruktury FNAL (FzÚ, ČVUT, MatFyz, ÚI AV).
- Podaný grant ‚Small Modular Reactors‘ (SMR) v Mezisektorové spolupráci MŠMT.
- SGS při KM.

Možné výjezdy pgs studenta na stáže a pobyty:

- Universidad de Granada, ES (prof. Antolino Gallego, elasticity, defectoscopy)
- Universidad de Elche, ES (prof. Domingo Morales, divergence measures, statistics)

Název rámcového tématu:

Akustická emise a elasticita hysterezních materiálů ve světle strojových a statistických algoritmů založených na robustních divergenčních mírách a vzdálenostech.

Toto matematicko-statisticky-strojové inženýrské téma obsahuje 2 hlavní cílové oblasti:

I) V oblasti akustické emise (AE) v defektoskopii materiálů půjde o vývoj pokročilé metody strojového učení pro klasifikaci zdrojů AE (trhlina, únik, opotřebení, poškození, atd.) Snažení bude napnuto do dvou směrů. Jednak do dalšího vývoje *vlastní ML klasifikační procedury nazývané SDDT* (Supervised Divergence Decision Tree), která v uzlech stromu bude používat nové typy statistických divergencí a vzdáleností pro snížení dimenze single-uzlové klasifikace. Plánujeme použití nelineárních separačních funkcí, tzv. projection pursuit, maximalizující divergenční kritérium vzdáleností mezi empirickými odhady oddělovaných podskupin. Druhým směrem snažení bude aplikace architektury CNN, které zpracovávají ‚raw‘ signály akustické emise jako Inception-time a transformery (a další nově vznikající) a srovnání jejich výsledků s prvním přístupem.

V rámci SDDT klasifikace budou vyvíjeny a zkoumány statistické vlastnosti divergencí, především související robustnost a eficeince, speciálně vyšetřovaná v klasifikačních, resp. identifikačních nebo diskriminačních úlohách. Jak se ukázalo v dřívější disertaci, přestože dnes existují celé balíky signálových features (Matlab, Python), stejně je nakonec užitečné pro danou aplikaci navrhnout vlastní funkční klasifikační atributy na míru. Budeme se soustředit na ty features využívající vyvíjené divergenční spektrální míry. Pro některé defektoskopické experimenty není možné získat dostatečné množství trénovacích a validačních dat pro použití náročných neuronových metod (pentestové testy, bublinkové kapiláry), ale je efektivnější aplikovat jednodušší rychlé identifikační algoritmy typu SDDT založené na divergenčních spektrálních attributech signálů akustické emise.

Součástí práce studenta bude i designování, provádění a klasifikační vyhodnocování vlastních defektoskopických experimentů ve spolupráci s ÚT AV ČR (Odd. D4 – Rázy a vlny v tělesech). Plánován je nový komplexní experiment s degradací kuličkových ložisek. Výsledkem prací studenta by měla být spolehlivá identifikace stupně poškození ložiska a predikce jeho výměny dříve než dojde k vážnější poruše ložiska nebo jeho lůžka.

Tato oblast vývoje strojových metod v akustické defektoskopii, jak atributových, divergenčních nebo plnohodnotných strojových, bude také přímo souviset s problematikou malých modulárních reaktorů (SMR) v rámci podaného grantu MŠMT v sekci Mezisektorové spolupráce (ČVUT, ÚT AV, CIIRC), kde by měly být testovány strojové metody k odhalování úniků z primárních okruhů SMR a návrh AI chat-bota vypomáhající s hodnocením bezpečnosti SMR při návrhu jejich systémů nebo po provedených zásazích ze strany dodavatele.

II) V oblasti elasticity hysterezních materiálů půjde o nové odhady pravděpodobnostních hustot s trojúhelníkovým supportem v Preisach-Mayergoyzově (PM) prostoru, který reprezentuje pravděpodobnostní zastoupení různých typů elastických jednotek, ze kterého je vytvořena struktura zkoumaného materiálu. Půjde o vývoj metody identifikace hustoty PM prostoru a poté návrh a výpočet nového PM indexu poškození či PM indexu elasticity před a po plastické deformaci materiálu. Pro konstrukci nového PM indexu budou preferovaně použity vyvinuté a testované divergenční informační míry. Provedeme opět srovnání s přímou identifikací poškození pomocí strojových metod, kterým plánujeme předložit ke klasifikaci přímo hysterezní smyčku z testových laboratorních zkoušek.

Pro různé materiály jsou vytipovány distribuce, kterým může podléhat přidružený PM prostor, jedná se např. o Guyerovo nebo Koenovo typy hustot, Laplaceovské a jiné směsi distribucí. Úkolem práce bude tyto různé směsi identifikovat strojovými metodami s regresním výstupem nebo empirickými Bayesovskými metodami (parametrickými i neparametrickými) a následně je robustně statisticky odhadnout a porovnat se standardními ML odhady jejich PM prostorů. Vyvinuté identifikace využijeme k predikci hysterezního chování materiálu při zbrusu nových podmínkách jejich nasazení v praxi, např. v případě vyššího stress-strain zatížení (např. u brzd) nebo vibračního přetížení (např. zemětřeseného).

Celá vyvinutá metoda bude odzkoušena na datech spolupracující University v Granadě, která vlastní velký ‚shaking table‘ simulující zemětřesné vibrace, působící na nosníky velkých výškových konstrukcí chráněných pomocí disipativních zemětřesných příčných tlumičů (dampers) o speciálních profilech, vyrobených z různých typů materiálů schopných plastifikace a přejímání degradace. Druhá aplikace PM identifikace by měla vzniknout ve spolupráci s automobilovým průmyslem pro frikční materiály brzd, které vykazují hysterezní vlastnosti při quasi-statickém silovém zatížení typu strain-stress. PM stupeň degradace tohoto materiálu bude srovnán s degradací brzdových desek zjištěnou pomocí běžné ultrazvukového skenování.

Relevantní literatura školitele přímo k PGS tématu (IF/WoS/Scopus):

Zavadil, J.; Kůs, V.; Chlada, M., **Algorithmic feature selection and dimensionality reduction in signal classification tasks**, In: Mathematical Modeling in Physical Sciences. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2024. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. ISSN 2194-1009. ISBN 978-3-031-52967-2.

Dvořáková, Z.; dos Santos, S.; Kůs, V.; Převorovský, Z. , **Localization and classification of scattered nonlinear ultrasonic signatures in bio-mechanical media using time reversal approach**, JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. 2023, 154(3), 1684-1695. ISSN 0001-4966.

Hrabáková, J. , **Probability density estimators, their properties and applications**, Praha: Defense date 2023-03-07. PhD Thesis. CESKE VYSOKE UCENI TECHNICKE V PRAZE. Supervised by V. KŮS.

Bielčík, J.; Hladká, K.; Kramárik, L.; Kůs, V. , **Machine learning classification for D-0 meson signal extraction in d+Au collisions**, Journal of Instrumentation. 2022, 17 ISSN 1748-0221.

Kůs, V.; Dolejš, E., **Elasticity index evaluation based on le Cam divergence and kernel density estimator in PM space**, Journal of Physics Conference Series. 2021, 1730(1), ISSN 1742-6588.

Kůs, V.; Morales, D.; Hrabáková, J.; Frýdlová, I., **Existence, Consistency and Computer Simulation for Selected Variants of Minimum Distance Estimators**, Kybernetika. 2018, 54(2), 336-350. ISSN 0023-5954.

Kožená, C.; Kůs, V.; Galego, A.; Benavent-Climent, A., **Damage assessment of earthquake dampers based on Preisach-Mayergoyz model**, In: 2018 16th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC). USA: IEEE Computer Society, 2018. p. 1-4. ISSN 1736-3705. ISBN 978-1-5386-7312-6.

Hrabáková, J.; Kůs, V. , **Notes on consistency of some minimum distance estimators with simulation results**, Metrika. 2017, 80(2), 243-257. ISSN 0026-1335.