

Oponentský posudek disertační práce

Autor disertační práce: Ing. Jaroslav Štorkán

Název disertační práce: Návrh výpočetních postupů pro redistribuci akustické energie v hlasovém projevu člověka

Školitel: Prof. Dr. Ing. Tomáš Vampola

Oponent: Ing. Pavel Švancara, Ph.D., Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně, Technická 2896/2, 616 69, Brno

Předložená disertační práce Ing. Jaroslava Štorkána o 174 stranách se zabývá numerickým modelováním šíření akustických vln v lidském vokálním traktu.

Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle disertační práce jsou jasně formulovány v kapitole 3. Jde především o vyvinutí speciálního izopramaterického prvku pro numerické simulace akustických prostorových (3D) problémů se složitou geometrií pomocí metody konečných prvků (MKP). Cílem je snížit velikost úlohy a tím i výpočetní čas v porovnání s klasickými MKP prvky používanými v komerčních programech pro tuto metodu. Tento nový MKP prvek je aplikován na simulaci akustických dějů v lidském vokálním traktu pro fonaci české samohlásky [a:] v autorem vyvinutém programu. Výsledky jsou srovnávány s 1D modelem na bázi válců a kuželů (metoda přenosových matic) a MKP modelem s klasickými prvky v komerčním programovém systému ANSYS. Dále je cílem využití tohoto nového prvku pro optimalizaci geometrie vokálního traktu, pro dosažení naměřených frekvencí prvních čtyřech formantů a pro ověření podmínek ke vzniku tzv. pěveckého formantu. Konstatuji, že stanovených cílů bylo plně dosaženo.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Autor práce provedl v kapitole 2 nejdříve podrobnou rešerši literatury týkající se anatomie lidského vokálního traktu a výpočtových modelů tvorby lidského hlasu. V této části prokázal dobrý přehled v současných člancích a odborné literatuře týkající se dané oblasti. Možná bych jen do této kapitoly nezařazoval podkapitolu týkající se lidského sluchu, protože této oblasti se disertační práce nevěnuje. V další části této kapitoly jsou obsáhle a přehledně rozebrány základní rovnice akustických úloh a jejich řešení s použitím 1D modelu (metoda přenosových matic), metody konečných prvků a metody redukce počtu stupňů volnosti

(modální, Guyanova a IRS redukce). Také tato část je podepřena mnoha odkazy na relevantní literaturu.

Teoretický přínos disertační práce

Hlavním přínosem předložené disertační práce je vytvoření nového izoparametrického konečného prvku umožňujícího jej použít pro MKP výpočty akustických vlastností dutin se složitou geometrií, jako je lidský vokální trakt. To vede ke snížení počtu stupňů volnosti úlohy a potenciálně tak ke snížení výpočetního času. Dalším přínosem práce je navržená optimalizace tvaru vokálního traktu s využitím genetických algoritmů pro naladění výpočtového modelu dle měřených veličin, nebo pro redistribuci energie v akustickém výstupu z vokálního traktu do zvoleného frekvenčního pásma - modelování vzniku tzv. pěveckého formantu. Autor svou prací přispěl k přiblížení výpočetních modelů k reálné simulaci hlasu člověka.

Praktický přínos disertační práce

V práci byla ověřena schopnost diskretizovat pomocí nově navrženého speciálního konečného prvku i složité 3D geometrie. Může tak být zakomponován do komerčního nebo volně šířeného MKP programu a přispět ke snížení časové náročnosti výpočtů. Dalším praktickým přínosem práce je analýza podmínek vzniku pěveckého formantu, což může být využito při výuce a tréninku operního zpěvu.

Vhodnost použitých metod řešení a způsob jak byly použité metody aplikovány

Použité metody a postup řešení jsou přiměřené, vhodně zvolené a vedly k naplnění stanovených cílů disertační práce.

Úroveň znalostí studenta doktorského programu

Autor prokázal velmi dobré znalosti v několika vědních oborech – fyziologii a biomechanice lidského hlasu, mechanice kontinua, aplikované matematice a akustice, ale také v oblasti programování a numerických simulací. Ukázal, že má nejen dobré teoretické znalosti, ale dovede je i prakticky aplikovat a dovést ke konkrétním výsledkům.

Formální úroveň práce

Práce je zpracována přehledně s dobrou grafickou úpravou. Také jazyková stránka a formální úprava je na dobré úrovni. V celé práci jsem našel jenom málo nepodstatných nesrovnalostí (např. opakující se formulace např. str. 16 a str. 98, na str. 97 není zobrazen 5. tvar kmitu o kterém se píše v předchozím textu, nejasné používání pojmů hrtan a hltan, na str. 143 tvrzení že čtvrtý formant nahradí třetí apod.).

Otázky k obhajobě:

1. Můžete blíže vysvětlit, jakým způsobem byly počítány vlastní frekvence a vlastní tvary kmitů pro 1D model vokálního traktu na bázi válců a kuželů? V práci to není blíže popsáno.
2. V Tab. 7.6 vychází při srovnání vlastních frekvencí vypočtených pomocí MKP modelu v programu ANSYS a MKP modelu s v práci vytvořeným izoparametrickým prvkem relativně velké rozdíly (13.4 % a 10.8 %) pro třetí a čtvrtou vlastní frekvenci. Můžete vysvětlit proč?
3. Mohl byste kvantifikovat rozdíl v časové náročnosti výpočtu pomocí MKP modelu v programu ANSYS a MKP modelu s novým izoparametrickým prvkem?
4. Bylo testováno, jestli jemnější diskretizace pro MKP modelu se speciálním izoparametrickým prvkem ovlivňuje výsledky? Na str. 106 je zmiňována testovací úloha, kde se modeloval nezakřivený kanál kruhového průřezu s použitím jemnější sítě po délce MKP modelu, ale výsledky nejsou v práci uvedeny.

Závěr:

Autor prokázal schopnost samostatné vědecké práce a zvládl komplexní a poměrně náročnou úlohu numerické simulace akustických dějů v lidském vokálním traktu při fonaci samohlásek. Dosažené výsledky přispívají k vylepšení výpočtových modelů biomechaniky tvorby lidského hlasu. Poznámky, připomínky a otázky, které jsem uvedl, nepovažuji za zásadní a snižující význam a úroveň práce. Použité metody a postup řešení jsou zcela adekvátní stanoveným cílům. Cíle disertační práce byly beze zbytku splněny. Předložená disertační práci Ing. Jaroslava Štorkána je na dobré úrovni a proto ji doporučuji k obhajobě a

doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

V Brně dne 16. 2. 2024

Ing. Pavel Švancara, Ph.D.