

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Téma disertace: Využití metod umělé inteligence pro simulaci a identifikaci dat v oblasti proudění
Autor disertace: Ing. Jan Richter
Pracoviště: Ústav automatizace a informatiky FSI VUT v Brně

Disertační práce pana Ing. Jana Richtera je zaměřena na využití metod umělé inteligence pro simulaci a identifikaci dat v oblasti proudění. Věnuje se zejména problematice počítačových úprav, zpracování a vyhodnocování obrazových záznamů a videozáznamů pořízených při vizualizaci proudění vzduchu ve výzkumu vytápění, větrání a klimatizace. Její výsledky lze ale snadno aplikovat i v jiných oblastech mechaniky tekutin. Vizualizační metody jsou velice užitečné, jelikož poskytují informace o neviditelných fyzikálních parametrech tekutin. Záznamy jsou názorné, dávají ucelené i detailní informace, odhalují dynamické chování proudění, umožní hlubší poznání sledovaných dějů a při použití počítačů bývají přesné a progresivní. Přestože grafickým aplikacím je ve světě i u nás věnována značná pozornost, efektivní vyhodnocování různorodých vizualizačních experimentů vyžaduje často vlastní speciální algoritmy a speciální programy, a proto je téma disertace vysoce aktuální. Práce se věnuje zejména vyhodnocování vizualizačních záznamů proudění získaných zaváděním látek tvořících v tekutině souvislá vlákna, a vizualizačních záznamů proudění získaných zaváděním částic do tekutiny. V obou případech se autor zaměřil na určování hranic proudů a určování rozložení rychlostí v proudech.

Disertační práce má 120 stran a je uspořádána do 16 kapitol. Na začátku je titulní list, abstrakty s klíčovými slovy v češtině a angličtině, bibliografická citace práce a prohlášení o autorství s poděkováním školiteli. Pak následuje obsah. Ten odkazuje na 11 stěžejních kapitol práce a dále na seznam použité literatury, seznam použitých zkratk a symbolů, seznam obrázků, seznam tabulek a seznam příloh. K práci je přiložen nosič CD, který obsahuje program HEGenetic, program Interfer, manuál k programu Interfer a elektronickou verzi disertace.

První kapitola disertace představuje úvod do problematiky, kde jsou zmíněny zejména cíle disertace. *Druhá* kapitola se zabývá vlastnostmi vzduchových proudů, metodami pro měření a vizualizaci proudění a zavádí klasifikaci získaných snímků dle stupně nehomogenity pozadí a kontrastu zavedené látky. *Třetí* kapitola obsahuje teoretické základy pro řešení disertace, a to algoritmy pro úpravu kvality a předzpracování obrazů, algoritmy pro rozlišení hran v obrazech, postupy zpracování videosekvencí a základní principy aplikace neuronových sítí a genetických algoritmů. Ve *čtvrté* kapitole autor uvádí nově vyvinuté algoritmy pro předzpracování obrazu, a to nelineární hranový detektor a hranovou detekci s použitím neuronových sítí. *Pátá* kapitola se zabývá určováním tvarů proudů z vizualizace proudění vzduchu pomocí mlhy. Autor zde popisuje a porovnává různé metody používané v literatuře, ale zejména vyvíjí vlastní přístup k této problematice, což je rozpoznávání mlhy neuronovými sítěmi. *Šestá* kapitola řeší určování tvarů proudů z vizualizačních záznamů proudění vzduchu získaných zaváděním částic, zejména heliových bublinek. I zde jsou uvedeny různé metody pro detekci bublinek a pro určení obálky prostoru s bublinkami, což by mělo nahradit tvar proudu. Je však třeba poznamenat, že takové určování tvarů proudů je nepřesné a v oblasti vytápění, větrání a klimatizace málo využitelné. Další dvě kapitoly jsou zaměřené na určování rychlosti proudění. *Sedmá* kapitola se zabývá určováním rychlosti proudění vzduchu z vizualizačních záznamů získaných pomocí mlhy. Používá se zde jedna z mnohých metod korelace po sobě jdoucích snímků, kterou autor upravil a zdokonalil. Metoda však není v práci ověřena na záznamech s mlhou, ale jen s heliovými bublinkami. *Osmá* kapitola se zabývá určováním rychlosti proudění vzduchu z vizualizačních záznamů získaných heliovými bublinkami. Jsou zde rozebrány metody pro sledování částic, metody pro generování, rozvíjení a hodnocení jejich cest a metody pro zpracování detekovaných vektorů rychlostí proudění včetně vytvoření vektorové mapy rozložení rychlostí. *Devátá* kapitola

popisuje postupy, jakými lze z vizualizačních záznamů vyhodnotit typické parametry ventilačního systému. Zabývá se určováním tvaru proudu z jednoho snímku či z videosekvence s cílem určit úhel rozšíření proudu, dosah proudu, polohu vyústky aj. Také je zde popsán postup vyhodnocování vektorové mapy rychlostí proudění vzduchu, což spočívá zejména ve filtraci nežádoucích rychlostí. Též je zde uveden postup zpracování videosekvencí. V *desáté* kapitole jsou hodnoceny výsledky práce. Jsou zde porovnány metody pro vyhodnocování tvarů proudů a metody pro vyhodnocování rychlostí proudění, jejich přednosti, nedostatky a možnosti využití. *Jedenáctá* kapitola obsahuje závěr práce a specifikuje její vědecký a praktický přínos.

Disertace zpracovala a porovnala, ale též vytvořila nové algoritmy pro identifikaci neostrých hran objektů v obrazech, které začlenila do vyvíjeného software Interfer. To pak dává možnost uživateli software např. v oblasti vizualizace proudění vzduchu pomocí mlhy či kouře, vybrat si vhodnou metodu, a to tak, aby dokázala identifikovat neostré hranice proudů dle fyzikálních představ o hranici proudu, viz např. obr. 14 na str. 42. Velkým přínosem disertace je však vytvoření algoritmů s využitím neuronových sítí pro identifikaci tvaru proudu zviditelněného kouřem či mlhou, a to vůči nehomogennímu pozadí, viz např. obr. 24b na str. 51, nebo obr. 68 na str. 107. Dalším důležitým přínosem je vytvoření algoritmů pro vyhodnocování vektorových map rychlostí proudění vzduchu z videozáznamů získaných při vizualizaci proudění pomocí kouře, mlhy nebo i částic, viz obr. 54 na str. 81, obr. 62 na str. 96, nebo i obr. 70 a 71 na str. 109. Pro vyhodnocení rychlostí proudění je použita metoda korelace a metoda sledování částic, které autor pro své účely upravil a zdokonalil.

Disertace má význam pro rozvoj vědního oboru, jelikož zejména nové počítačové algoritmy, včetně metod umělé inteligence, které byly použity na rozpoznávání obrazů a videosekvencí obsahující objekty s neostrými hranami, jsou velice přínosné. Je zřejmé, že takové metody se budou dále rozvíjet, aby počítač sám rozhodl, co vidí a nevyžadoval přítom validaci člověkem. Rovněž bude možné využít algoritmy pro určování vektorů rychlostí proudění k exaktnímu určování hranic proudů dle fyzikálních představ o hranicích proudů. Velký význam má disertační práce pro praxi. K práci je totiž přiložen komplexní software Interfer obsahující metody zmiňované v této práci, což umožní jejich použití při vyhodnocování různých vizualizačních záznamů získaných při měřeních, a to jak v laboratořích, tak i provozu. Vytvořené algoritmy spolu s běžně používanými kamerami mohou pak v mnohých případech nahradit i velice drahé experimentální zařízení pro tzv. metodu PIV (Particle Image Velocimetry).

Práce je členěna logicky, některé pasáže jsou však příliš stručné a méně srozumitelné. Výsledky ale prokazují, že použité algoritmy jsou správné. Po stránce grafické by bylo dobré uspořádat vícedílné obrázky tak, aby se vyskytovaly vždy jen na jedné stránce a aby nevytvářely proluky v textu. Vektorové mapy rychlostí proudění vzduchu jsou zřejmě značně komprimované, vektory mají nevhodnou barvu a nejsou tudíž příliš viditelné. Gramaticky je text přijatelný, jazykový styl je ale značně svérázný.

Připomínky k disertační práci:

- V disertaci není vymezeno, že v oblasti vytápění, větrání a klimatizace se práce zabývá zejména izotermními proudy ze vzduchotechnických vyústek. Mnohé z procedur není totiž možné aplikovat obecně, např. na vzduchotechnické vytápění či chlazení, zaplavovací větrání aj. Shluky bublinek se mohou totiž vyskytovat nejen v ústí vyústky, ale i v zúženém proudu zaplavovacího větrání nebo v místě zavádění bublinek do proudu mimo vyústku. Procedury na „konvexní obálky proudnice“ (správně obálky proudu) nejsou pak příliš užitečné, jelikož se nehodí pro vyhodnocování hranic neizotermních proudů při vzduchotechnickém vytápění či chlazení včetně zaplavovacího větrání, hranic proudů v ohraničeném prostředí apod.
- V práci se vyskytují neexaktní a nesprávné výrazy. V celé práci se hovoří nesprávně o proudnici místo o proudu. V abstraktu se používá nepřesný pojem „exaktní postupy“. V úvodu je chybně řečeno, že optické metody využívají optická zařízení a vizualizační

metody běžná zařízení. Obrázky se označují nevhodně jako snímky, což mnohdy neodpovídá obsahu, viz např. obr. 4, 5, 13 a další. Místo úhlu rozptylu proudu, je třeba používat pojem úhel rozšíření proudu, jelikož volný proud v krajní či hlavní oblasti v blízkosti vyústky neztrácí svůj objemový tok (nerozptyluje se) a u zaplavovacího větrání se dokonce zužuje. V kap. 9 se nepřesně uvádí, že tvar proudnice představuje „výseč určenou dvojicí přímek“ aj.

- V práci je celá řada méně srozumitelných textů. Např. na str. 12 uprostřed je uveden pojem „neprůhledný vzduch“. Na str. 17 není výrazný rozdíl mezi snímky 1. typu a 2. typu. Na str. 22 uprostřed je konstatováno, že „nelze ze sekvence jakýkoliv snímek odstranit ...“. Na začátku kap. 5.1.3 se konstatuje, že „vyhlazovací algoritmus bude sloužit k získání hranice detekovaného území...“ a na konci této kapitoly stojí, že „takový algoritmus není pro účely této práce potřeba“. Obr. 13 a text k tomuto obrázku je nesrozumitelný a nevztahuje se k odvolávané literatuře. Vysvětlení vzorce (6.7) na str. 62 a vzorce (6.9) na str. 74 je málo srozumitelné a navíc veličina φ je na str. 63, 12 řádek shora, definovaná jako směr proudu a na str. 64 pod obr. 38 jako vnitřní konkávní úhel. Mapa vektorů rychlostí proudění tekutiny je často prezentována zkráceně, jako vektorová mapa, a to i v nadpisech. Na str. 91 je málo srozumitelný odstavec před počítačovým kódem, zejména není zřejmé, co jsou to „body označené indexy“.
- V práci schází seznam označení fyzikálních veličin, je tam vlastně jen seznam zkratk složitějších výrazů. Nevhodně je pak zavedena veličina Σ představující na str. 74 počet bodů hranice, dále pak veličiny dt , dX , dY , které by měly značit diferenciály a nikoli diference apod. Nedostatkem práce je zejména neuvedení definice rychlosti proudění tekutiny, což vyžaduje i zavedení měřítka zobrazení snímku.
- Teze disertační práce kopírují skladbu disertace, nejsou členěny do předepsané struktury (obsah, současný stav, cíle, metody, výsledky, závěr, literatura a životopis), ale svou náplní problematiku této struktury zahrnují. Teze mají celkem 37 stran a výše uvedené připomínky, či chyby platí i pro ně.

Dotazy k disertační práci:

- Jak se v proudu, např. ze štěrbinové vzduchotechnické vyústky, definuje hranice proudu, osa proudu, proudnice a dosah proudu a jak vypadá při vizualizaci proudění dráha částice a dráha kouřového vlákna?
- Jak se procedury uváděné v disertační práci vyrovnávají se zvětšujícími se počty obrazových bodů? Existují nějaká omezení?

Disertační práce obsahuje ucelené informace o algoritmech a metodách umělé inteligence vhodných pro simulaci a identifikaci dat v oblasti proudění. Mnohé z těchto metod byly doktorandem přímo vyvinuty či upraveny a souhrnně pak zapracovány do software Interfer. Tento software byl otestován a použit při řešení dvou výzkumných projektů z oblasti vytápění, větrání a klimatizace, a to obytných budov a automobilů. Doktorand prokázal, že je zkušeným programátorem, umí vyvíjet a zapracovávat teoretické metody včetně matematických postupů umělé inteligence do praktických zadání. Disertační práce splnila stanovené cíle a je přínosem pro rozvoj vědního oboru i praxi. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem **doporučuji, aby Ing. Janu Richterovi byl udělen akademický titul Ph.D.**

V Brně dne 14. 1. 2019

Prof. Ing. Milan Pavelek, CSc.
Odbor termomechaniky a techniky prostředí
EÚ FSI VUT v Brně