

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur
ČVUT v Praze, Fakulta stavební
Katedra hydrotechniky
Thákurova 7
166 29 Praha 6

Oponentní posudek dizertační práce

Zpracovatel dizertační práce: Ing. Pavel Ježík

Název dizertační práce: Využití vybraných metod umělé inteligence pro nalezení malých povodí nejvíce ohrožených povodněmi z přívalových dešťů

Školitel: prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

Oponent: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Cílem dizertační práce Ing. Pavla Ježíka bylo vytvoření objektivního softwarového nástroje pro hledání malých povodí nejvíce ohrožených povodněmi z přívalových dešťů. Metodicky je navržený systém založen na využití vybraných metod umělé inteligence, zejména fuzzy logiky a teorie možnosti.

Aktuálnost tématu dizertační práce

Problematika přívalových povodní je v současnosti v souvislosti se zvýšenou frekvencí hydrologicky extrémních situací velmi aktuální. Svědčí o tom zvýšená pozornost, která je problematice věnována na úrovni výzkumu, provozu a státní správy. Předložená dizertační práce se nezabývá operativním předpovídáním přívalových povodní a varovných systémů, ale lokalizací nejvíce ohrožených povodí z pohledu jejich geografických a meteorologických vlastností a přihlédnutím ke kapacitě koryta v zájmové lokalitě (tzv. mezní průtok). Uvedený přístup lokalizace nejohroženějších povodí následně může sloužit pro prioritní výběr lokalit, kde budou navržena vhodná protipovodňová opatření na vodním toku a v krajině, popř. pozemkové úpravy. Uvedený princip je logický a je dlouhodobě standardně využíván.

Splnění cílů dizertační práce

Základním cílem dizertační práce je využití metod umělé inteligence pro identifikaci ohrožených povodí přívalovými povodněmi. Tento cíl byl beze zbytku splněn. Doktorand rozpracoval původní algoritmus na bázi fuzzy logiky a teorie možnosti, který řeší transformaci geografických a srážkových dat zájmových povodí na kulminační odtoky pro epizody s proměnlivou periodicitou.

Postupy řešení a výsledky dizertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda

Základním metodickým postupem aplikovaným v dizertační práci je využití teorie fuzzy množin a fuzzy logiky. Dizertační práce dále deklaruje využití teorie možnosti, které dokládá aplikací vah jednotlivých pravidel fuzzy inferenčního systému. Tento postup je však standardní součástí modelů fuzzy logiky a deklarované využití teorie možnosti pak postrádá opodstatnění. Fuzzy model je využit pro nelineární transformaci vstupně výstupního vztahu, kdy vstupy jsou tvořeny údaji o geografických charakteristikách vybraných povodí a srážkových datech a výstupy představují odtokové odezvy povodí. Fuzzy model je kalibrován

na souboru 184 vybraných povodí o velikosti do 60 km², pro které byly v minulosti vypracovány standardní hydrologické posudky. Uvedená nelineární transformace je realizována na principu black-box modelu, ovšem kalibrační data byla vytvořena hydrologickým srážko-odtokovým modelem. Nabízí se otázka jaký význam má kalibrace fuzzy modelu na datech odvozených standardním hydrologickým modelem. Důvodem je patrně snaha o určité zevšeobecnění velkého spektra hydrologických analogonů do univerzálního modelu pro pohotové nalezení problematických povodí s vysokou mírou rizika výskytu přívalových povodní.

Dizertační práce obsahuje řadu originálních postupů a analýz, které doktorand rozpracoval, aby postup mohl implementovat do prakticky využitelného výsledku typu software.

Za metodicky velmi přínosnou považuji navrženou strukturu fuzzy inferenčního systému, která významně urychluje proces kalibrace parametrů.

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru

Předložený metodický postup aproximace geografických a srážkových dat na hodnoty kulminačních průtoků přívalových povodní na malých povodích metodou fuzzy množin a fuzzy logiky je zajímavý. Využití metod umělé inteligence se obecně uplatňuje zejména v případech velmi komplexních systémů, jejichž popis konvenčními matematickými modely je nemožné nebo velmi komplikované. V tomto případě je vazba mezi vstupy a výstupy poměrně snadno formalizována standardními metodami hydrologického modelování. Pro kalibraci parametrů fuzzy modelu jsou navíc využita data, která byla hydrologickým modelem odvozena. Přínos sestaveného fuzzy systému není přesvědčivě dokumentován a spočívá patrně v univerzálnějším mapování vstupů na výstupy. Na druhou stranu výsledná softwarová aplikace neuvažuje s využitím celého fuzzy systému, ale aproximaci vstupů na výstupy pomocí předem připravených a vyhlazených řídicích ploch.

Formální úprava dizertační práce a její jazyková úroveň

Formální a grafická úprava dizertační práce je na dobré úrovni. Práce působí přehledně, je logicky členěna a dobře se čte. Připomínku mám k uvádění obrázků a tabulek v textu, které často chybí a často jsou obrázky a tabulky poprvé zmíněny až po jejich výskytu v textu. Např. obr. 7.5 není v textu komentován vůbec.

Otázky a připomínky

1. Řešená tematika vyhodnocení parametrů povodňových událostí na malých povodích na podkladě geografických a srážkových dat je u nás a ve světě dlouhodobě intenzivně sledována. Z tohoto pohledu považuji zpracovanou rešerši současného stavu poznání za velmi stručnou, což lze považovat u práce tohoto typu za nevýhodné. V současné době je otázka identifikace nejvíce ohrožených povodí přívalovými povodněmi řešena obvykle účelným propojením Geografických Informačních Systémů (GIS) a standardních hydrologických postupů metody čísel odtokových křivek (CN) a jednotkového hydrogramu. Příkladem je existence řady softwarových prostředků jako např. Hydrologický toolbox v ArcGIS, extenze HEC-GeoHMS, a další. Historicky pak lze jmenovat legendární Technical Release 55, který představuje inženýrskou příručku pro odvození objemu povrchového odtoku, kulminačního odtoku a dalších parametrů povodně na malém povodí z roku 1986. Jaká je hlavní motivace pro aproximaci srážko-odtokového vztahu fuzzy modelem? Předložený model je přitom dle popisu v dizertační práci komplikovanější než využití poměrně jednoduchých vztahů hydrologického srážko-odtokového modelu v kombinaci s prostředky GIS analýzy.

2. Na str. 29 je popsán princip kalibrace modelu. Jedná se o matici báze pravidel, kde je hledán optimální vektor konsekvencí. Dále se jedná o parametry fuzzy množin všech veličin, kdy každá fuzzy množina typu Gaussovy křivky má dva parametry. Dalšími parametry jsou váhy jednotlivých pravidel. Celkem se tedy jedná o tisíce kalibrovaných parametrů. Pro jejich optimalizaci bylo využito náhodné hledání. Proč nebyl využit nějaký optimalizační algoritmus z oblasti nelineárního programování nebo genetický algoritmus?
3. Postup snížení kulminačního odtoku z povodí při kratší nebo delší době příčinného deště uvedený na str. 35 až 38 je velmi schématický a odhaluje slabinu fuzzy modelu ve srovnání se standardními postupy hydrologického modelování. Podobně také potřeba kalibrovat pro každou periodicitu (dobu opakování kulminačního odtoku) zvláštní fuzzy model (str. 39) je ve srovnání s klasickým hydrologickým modelem nevýhoda. Je to určitá daň za využití modelu typu black-box.
4. K extrapolaci intenzitních křivek dle Trupla (1958) má dvě připomínky: (a) lze si dovolit takovouto matematickou extrapolaci založenou na nástroji Curve Fitting Toolboxu a jakou neurčitost extrapolovaných hodnot předpokládáte?; (b) jsou data o návrhových deštích (intenzita, doba trvání, periodičita) z tabulek z roku 1958 stále platná?
5. Citlivostní analýza uvedená v kapitole 7.3 ukazuje na drobné případy nelogického chování fuzzy modelu. Např. obr. 7.8 dokumentuje, že hodnoty kulminačního odtoku z povodí rostou se zvětšujícími se hodnotami veličin popisujících povodí nespojitě (často skokově). Při zvyšování hodnot veličin popisujících příčinný déšť dokonce v ojedinělých případech kulminační průtok klesá. Tyto nedostatky jsou v další části práce částečně eliminovány pomocí jakéhosi vyhlazování řídicích ploch, které mapují vstupní veličiny na výstupní. Princip tohoto vyhlazování však není zcela zřejmý, je patrně ryze účelový a není jasné, jaký vliv má na spolehlivost výsledků.
6. Na str. 52 a 53 jsou uvedeny výsledky validace modelu, které ukazují na odchylky ve srovnání se vzory (získanými standardními hydrologickými modely) v horizontu cca $\pm 50\%$. Považujete tyto výsledky za použitelné v praxi?
7. Na str. 53 je v obr. 7.15 znázorněn výsledek validace pro povodně s dobou opakování $N=100$ let. Proč je v grafu srovnání uvedeno pouze do hodnoty $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, když dle tab. 7.3 (str. 47) je maximální hodnota Q_{100} pro validační soubor dat rovna $101,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$?

Závěrečné zhodnocení

Dizertační práce splňuje všechny požadavky kladené na doktorské dizertační práce podle zákona o vysokých školách. Dizertační práce prokazuje schopnosti doktoranda k samostatné vědecké práci a obsahuje poznatky, které byly publikovány.

Doporučuji dizertační práci přijmout k obhajobě.

V Praze, dne 14. března 2016

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur