Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering 60(2014)11, SI 137
© 2014 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.
Prejeto v recenzijo: 2014-02-08
Prejeto popravljeno: 2014-04-02
Odobreno za objavo: 2014-04-04

Preiskovanje apriornih porazdelitev parametrov v inverznem modeliranju hidravličnih modelov vodovodnih sistemov

Daniel Kozelj[1,*] – Zoran Kapelan[2] – Gorazd Novak[3] – Franci Steinman[1]

[1] Univerza v Ljubljani, , Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Slovenija
[2] Univerza v Exeterju, Visoka šola za inženirstvo in računalništvo, Velika Britanija
[3] Inštitut za hidravlične raziskave, Slovenija

Inverzno modeliranje oziroma umerjanje je recipročni proces modeliranja naravnih procesov, ki se osredotoča na ocenjevanje modelnih parametrov, katerih vrednosti niso neposredno merljive in jih je zato treba določiti s posrednim pristopom. Modeliranje vodovodnega sistema (VS) zahteva, da se vzpostavljeni matematični opis realnega sistema in njegove rešitve (tj. modelne napovedi) z zadostno gotovostjo skladajo z dejanskim odzivom delovanja realnega sistema. Izvrednoteni hidravlični koeficienti hrapavosti cevovodov imajo razmeroma veliko negotovost, saj so njihove vrednosti odvisne od tokovnih razmer pri obratovanju in ne od tehnične hrapavosti cevi, takšne negotovosti pa lahko močno vplivajo na modelne napovedi (npr. pretoka, pritiskov ipd.). Ocena negotovosti parametrov in modelnih napovedi je bistveni del procesa modeliranja, s katerim se zagotovi zaupanje v rezultate modeliranja. Za analize je uporabljeno Bayesovo sklepanje, pri katerem so parametri podani kot verjetnostne spremenljivke z ustreznimi funkcijami gostote verjetnosti (pdf). Pristop Bayesovega sklepanja ima nekaj prednosti v primerjavi z običajnimi metodami umerjanja VS: uporablja verjetnostno opredelitev predhodnih informacij o vrednostih parametrov, omogoča pridobitev skupne in robnih posteriornih pdf ter ne zahteva numeričnega izračuna odvodov funkcij.

Pri inverznem modeliranju z Bayesovim pristopom se uporabljajo metode Monte Carlo z Markovskimi verigami (MCMC), ki omogočajo neposredno določitev tako najboljših vrednosti parametrov θ, kakor tudi njihove negotovosti in negotovosti modelnih napovedi Y. Uporaba Bayesovega pristopa omogoča združitev predhodnih informacij o parametrih (tj. apriornih porazdelitev $p(\theta)$) in informacij, ki so pridobljene iz opazovanih parametrov oz. stanja sistema, $\hat{Y}$ (tj. verjetje $L(\theta|\hat{Y})$). Z združitvijo omenjenih verjetnostnih modelov je z uporabo MCMC algoritmov mogoče določiti robne posteriorne porazdelitve parametrov $p(\theta|\hat{Y})$. Izboljšanje ocene negotovosti parametrov in modelnih napovedi je bilo doseženo z vključitvijo apriornih porazdelitev parametrov $p(\theta)$ in uporabe posplošene funkcije verjetja $L(\theta|\hat{Y})$ v analize. Uporabljene so bile različne sheme vzorčenja parametrov, ki je bilo opravljeno na podlagi treh predpostavljenih apriornih porazdelitev vrednosti koeficientov hrapavosti, ki so: zvezna enakomerna, normalna in gama porazdelitev. V tem prispevku so prikazani rezultati MCMC metode, poimenovane »DREAM(ZS)«, ki je diferencirano evolucijsko prilagodljiv »Metropolis« algoritem in vključuje vzorčenje iz preteklih stanj ter metodo »Snooker update«.

Za določanje prednosti in slabosti izbora posameznih apriornih porazdelitev je bila izdelana metodologija in preverjena tako na hipotetičnem VS, kakor tudi v obratovalnih pogojih stvarnega VS. Rezultati kažejo, da je stopnja določljivosti (oz. občutljivosti) parametrov ena najpomembnejših lastnosti, ki vpliva na ustreznost izbire tipa apriorne porazdelitve. Poleg navedenega je bilo z uporabo posplošene funkcije verjetja (GL) dokazano, da pogreški umerjanja niso vedno porazdeljeni po normalni porazdelitvi in da so heteroskedastični (varianca ni konstantna), kar sta ravno nasprotni ključni lastnosti, ki se običajno uporabljata pri običajnih metodah določevanja pogreškov. Ta pojav je bil opažen tako pri hipotetičnem, kot pri stvarnem modelu VS.

Rezultati raziskav kažejo, da skrbno zbiranje predhodnih informacij o parametrih (tj. koeficientih hrapavosti cevovodov) in uporaba ustreznejšega statističnega modela pogreškov bistveno izboljšajo določljivost parametrov v procesu inverznega modeliranja, kar zmanjšuje tako stopnjo njihove negotovosti, kakor tudi območje negotovosti modelnih napovedi. Opredelitev ustrezne apriorne porazdelitve parametrov je težavna, zato je izdelan pristop, po katerem je izbira apriorne porazdelitve temelji na analizi določljivosti (tj. občutljivosti) parametrov. Izkazalo se je, da natančnejša ponazoritev apriornih porazdelitev parametrov ustrezno zmanjša razpone negotovosti njihovih robnih posteriornih porazdelitev. Pomembno je, da se s tem zagotovi večje zaupanje v vrednosti optimiziranih / umerjenih parametrov, z uporabo predstavljenega pristopa pa so uspešno določene robne posteriorne porazdelitve parametrov, kar zmanjša tako negotovost umerjenih parametrov, kakor tudi modelnih napovedi.

Ključne besede: Bayesovo sklepanje, umerjanje, posplošena funkcija verjetja, metoda Monte Carlo z Markovskimi verigami, diferencirano evolucijsko prilagodljiv Metropolis algoritem, cevovodni sistemi, hidravlika, vodovodni sistemi

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, , Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana, Slovenija, daniel.kozelj@fgg.uni-lj.si