

Linearni modeli in modeli na osnovi nevronske mreže za kratkoročno napovedovanje odjema toplote

Primož Potočnik* – Ervin Strmčnik – Edvard Govekar
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Raziskava obravnava problematiko kratkoročnega napovedovanja odjema toplote v sistemu daljinskega ogrevanja. Kakovostne napovedi odjema toplote v vročevodnem sistemu so zelo pomembne s stališča učinkovite rabe energije, ki zahteva usklajevanje prihodnih potreb odjemalcev ter proizvodnje in dobave ustreznih količin toplote. Napovedovanje odjema toplote sodi zaradi prisotnosti kompleksnih procesov med zahtevnejše naloge daljinskega ogrevanja, kratkoročne napovedi pa so direktno uporabne za učinkovito krmiljenje in optimizacijo sistema daljinskega ogrevanja.

Osredotočili smo se na napovedovanje odjema toplote Q na dnevem nivoju za en dan naprej, torej $Q(t+1)$, pri čemer t izraža čas na dnevem nivoju. Kakovost napovedovanja smo ocenili s pomočjo tako imenovane MARNE napake (ang. *mean absolute range normalized error*), ki izraža povprečno procentualno odstopanje napovedi, normiranih na maksimalno prenosno kapaciteto sistema (Q_{max}). Posplošitveno sposobnost obravnavanih modelov smo ocenjevali na osnovi križnega vrednotenja, kjer smo 60 % podatkov uporabili za učenje modelov, preostalih 40 % pa za testiranje modelov. Za končno oceno kakovosti modelov smo uporabili testno napako MARNE, ki predstavlja neodvisno mero kakovosti modelov in njihove posplošitvene zmožnosti.

Pri raziskavi smo uporabili podatke o odjemu toplote na področju Mestne občine Ljubljana od septembra 2008 do februarja 2013, ki smo jih prejeli s strani podjetja Energetika Ljubljana. Na voljo smo imeli podatke za naslednje fizikalne veličine: odjem toplote Q , temperaturo ozračja T , sončno obsevanje R , hitrost vetra W in relativno vlažnost zraka H . Poleg naštetih podatkov smo izpeljali še dodatne značilke za označevanje linearnega trenda in sezonskega cikla, ter treh dodatnih značilok za označevanje delavnikov, sobot in nedelj (ter praznikov).

Za napovedovanje smo raziskali uporabo različnih vrst modelov, vključno s preprostimi referenčnimi modeli (model *random walk* in model temperaturne korelacije), linearnimi modeli (regresijski modeli, avtoregresijski modeli, modeli stopenjske regresije), ter nelinearnimi modeli (nevronske mreže, nevronske mreže z direktno linearno vhodno-izhodno povezavo). Pri nelinearnih modelih je učenje obsegalo 200 iteracij naključne inicializacije parametrov modela in nato gradientno učenje po metodi *Levenberg-Marquardt*.

Rezultati obeh referenčnih modelov znašajo prek 3 % (testna napaka MARNE), in sicer 3,23 % za model *random walk* in 3,43 % za model temperaturne korelacije. Z linearnimi modeli je mogoče bistveno izboljšati kakovost napovedovanja. Testna napaka regresijskega modela znaša 2,62%, avtoregresijskih modelov pa 1,33 %. Rezultat najboljšega linearnega modela (model stopenjske regresije), ki uporablja optimizirano podmnožico vključenih spremenljivk, znaša 1,24 %. Takšen model je že primeren za uporabo v sistemih daljinskega ogrevanja, saj ga poleg dobre kakovosti napovedovanja označuje tudi robustnost in nizka kompleksnost.

Glede uporabe nelinearnih modelov, zasnovanih na osnovi nevronske mreže, lahko podamo več ugotovitev: 1) izgradnja kakovostnega modela zahteva več ponovitev naključnih inicializacij parametrov modela, 2) za obravnavani proces odjema toplote zadošča le nekaj nevronov skrite plasti mreže, 3) najboljši nelinearni modeli še izboljšajo kakovost napovedovanja linearnih modelov – najboljši rezultat nevronskega modela z direktno linearno vhodno-izhodno povezavo znaša 1,15 %, kar pomeni še 7,3 % izboljšanje glede na najboljši linearni model.

Zato lahko zaključimo, da je poleg enostavnih in robustnih linearnih modelov na področju napovedovanja odjema toplote v sistemih daljinskega ogrevanja smiselna tudi uporaba nelinearnih modelov na osnovi nevronske mreže, s katerimi lahko še izboljšamo kakovost napovedovanja. Problem modelov na osnovi nevronske mreže je slaba interpretabilnost in nestabilno učenje, ki zahteva več iteracij učnega postopka, vendar rezultati kažejo, da lahko ustrezno pripravljene nevronske modele še bistveno izboljšajo kakovost kratkorčnih napovedi prihodnjega odjema toplote.

Ključne besede: daljinsko ogrevanje, napovedovanje odjema toplote, izpeljava značilok, stopenjska regresija, avtoregresijski model, nevronske mreže