

Napovedovanje napak robotov za obdelavo velikih optičnih zrcal na osnovi globokega učenja

Zujin Jin¹ – Gang Cheng^{1,2,*} – Shichang Xu¹ – Dudpeng Yuan¹

¹ Kitajska rudarska in tehniška univerza, Šola za mehatroniko, Kitajska

² Shangdong Zhongheng Optoelectronic Technology Co., Kitajska

Sodobni optični sistemi z razvojem informacijske dobe hitro napredujejo v smeri velikih zaslonk, visoke točnosti, visoke ločljivosti in velikih moči. S tem se povečujejo tudi zahteve za robote, ki so namenjeni obdelavi velikih optičnih zrcal (LOMPR). LOMPR za učinkovito in točno obdelavo velikih in asferičnih optičnih zrcal so ključna tehnologija, ki omogoča hiter razvoj sodobne optike in naprednih optičnih sistemov. Obdelava optičnih zrcal vključuje štiri korake: grobo brušenje, oblikovanje z rezkanjem, fino brušenje in poliranje. Roboti LOMPR uporabljajo za vse štiri korake fiksno trajektorijo v obliki mrež, koncentričnih krogov ali spiral. Dinamične lastnosti in parametri regulacije LOMPR na določeni trajektoriji izkazujejo periodične spremembe. Obdelava optičnih zrcal zahteva več iteracij, proces izdelave velikih optičnih zrcal iz surovcev pa lahko traja od nekaj dni do več mesecev. Določanje dolgotrajnih periodičnih gibanj je lahko uporabno za statistično analizo nelinearnih napak ter napovedovanje usmeritve in velikosti napak kot osnovo za pravočasne protiukrepe. Napake trajektorije LOMPR je treba napovedati na osnovi predhodnih parametrov obdelave za kompenzacijo negotovosti modela ter izboljšanje natančnosti površin in učinkovitosti obdelave optičnih zrcal.

Postavljen je bil model za napovedovanje napak končne trajektorije LOMPR na osnovi nevronske mreže z dolgim kratkoročnim spominom in Bayesovsko optimizacijo (BO-LSTM). Po Bayesovi metodi je bilo optimizirano število paketov, število skritih nevronov in hitrost učenja LSTM. Postavljeni modeli so bili nato uporabljeni za napovedovanje napak spiralne trajektorije LOMPR v smereh X in Y, rezultati napovedi pa so bili primerjani z rezultati nevronske mreže z vzratnim postopkom učenja (BP).

Rezultati eksperimentov so pokazali, da se je čas učenja BO-LSTM v primerjavi z nevronske mreže BP skrajšal za 21,4 % oz. 15,2 % v smereh X in Y. Poleg tega so se vrednosti MSE, RMSE in MAE napake napovedi v smeri X zmanjšale na 9,4 %, 30,5 % oz. 31,8%, v smeri Y pa na 9,6 %, 30,8 % oz. 37,8 %. Potrjeno je, da je model za napovedovanje BO-LSTM izboljšal natančnost napovedi napake končne trajektorije LOMPR in učinkovitost napovedi, ki predstavlja raziskovalno osnovo za izboljševanje točnosti površin optičnih zrcal.

Poudarki v članku so:

- 1) Postavljen je bil model za napovedovanje napak končne trajektorije na osnovi nevronske mreže z dolgim kratkoročnim spominom in Bayesovsko optimizacijo.
- 2) Modeli so bili uporabljeni za napovedovanje napak spiralne trajektorije robota za obdelavo velikih optičnih zrcal.
- 3) Po Bayesovi metodi je bilo optimizirano število paketov, število skritih nevronov in hitrost učenja LSTM.
- 4) Rezultati eksperimentov so pokazali, da model za napovedovanje napak končne trajektorije z dolgim kratkoročnim spominom in Bayesovsko optimizacijo ne izboljšuje le točnosti napovedi napake končne trajektorije robotov LOMPR, temveč tudi učinkovitost teh napovedi.

Model za napovedovanje BO-LSTM je izboljšal tako natančnost napovedi napake končne trajektorije LOMPR kakor tudi učinkovitost napovedi, ki bo zanesljiva teoretična osnova in podatkovna podpora za kompenzacijo napak končnih trajektorij z upoštevanjem motenj pri prihodnjih LOMPR. Predlagani model za napovedovanje napak BO-LSTM v pričujočem članku bo lahko uporaben za napovedovanje kinematične napake tudi pri drugih paralelnih in hibridnih robotih.

Ključne besede: Bayesova optimizacija, BO-LSTM, napovedovanje napak, obdelava optičnih zrcal, hibridni manipulator, hiperparametrika