

# Vodenje elektrohidravličnega aktuatorja z nevronske mreže RBF po metodi drsnega režima s sestopom

Wending Li<sup>1,2,3,\*</sup> – Guanglin Shi<sup>1</sup> – Chun Zhao<sup>2,3</sup> – Hongyu Liu<sup>2,3</sup> – Junyong Fu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Šola za strojništvo, Univerza v Šanghaju Jiao Tong, Kitajska

<sup>2</sup>Šanghajski inštitut za regulacijsko tehniko v letalstvu, Kitajska

<sup>3</sup>Šanghajsko tehnično raziskovalno središče za servosisteme, Kitajska

Cilj predstavljenega dela je razrešitev problema nelinearnega vodenja elektrohidravličnega aktuatorja in v ta namen je bil postavljen nelinearen model sistema. V raziskavi nove strategije vodenja sta bili opredeljeni stabilnost in natančnost vodenja pri velikih motilnih obremenitvah, regulacijski zakon pa je bil razrešen za neznane in negotove pogoje. Z uvedbo opazovalca motenj in v kombinaciji z nevronske mreže za vodenje po metodi drsnega režima so bili odpravljeni vplivi neznanega modela in nemodelirane dinamike, razrešen je bil problem nelinearnega vodenja elektrohidravličnega sistema in izboljšana je bila natančnost vodenja. Za izboljšanje obstojnosti proti velikim motnjam in visoko natančnost nelinearnega aktuatorja so najprej določene nelinearne enačbe stanja elektrohidravličnega aktuatorja, ki vključujejo motnje. Tri enačbe stanja vsebujejo dva perturbacijska člena za uporabo sestopne metode pri reševanju problema perturbacij nelinearnega sistema. Velika prva motnja predstavlja obremenitev in je vključena z opazovalnikom motenj ter odpravljena z zaviralnim členom drsnega režima. Druga motnja je nemodelirana dinamika in je odpravljena z zaviralnimi členi drsnega režima. Neznani člen v nelinearnem modelu sistema je aproksimiran z adaptivnim algoritmom nevronske mreže. Pri konstruiranju enačbe napak sistema je bila uporabljena posebna metoda, ki razreši odvedljivost napake in odpravi »eksplozijo« odvoda. Virtualni regulacijski zakon in sistemski regulacijski zakon sta izračunana po sestopni metodi. Funkcija predznaka v virtualnem regulacijskem zakonu je zamenjana s posebno funkcijo na osnovi arkus tangensa za odpravo težav zaradi singularnosti. V raziskavi so uporabljene naslednje glavne metode: 1. Postavljen je nelinearen model elektrohidravličnega aktuatorja tretjega reda z motnjo; 2. Za odpravo različnih motenj sta uporabljena opazovalnik stanj in člen drsnega režima; 3. Z uvedbo sestopne metode je najprej razrešen virtualni regulacijski zakon, nato pa je razrešen še sistemski regulacijski zakon z nevronske mreže za vodenje po metodi drsnega režima, ki dosega visoko stopnjo natančnosti; 4. Opravljene so bile simulacije delovanja pri visokih in nizkih hitrostih, primerjava rezultatov eksperimentov z rezultati simulacij pa je pokazala dobro ujemanje. V enačbo stanja nelinearnega sistema sta bila vključena dva perturbacijska člena, ki zagotavljata dobre pogoje za omejevanje perturbacij. Prva motnja predstavlja velike obremenitve, druga pa nemodelirano dinamiko sistema. Uvedba dveh različnih členov za motnje zagotavlja večjo prilagodljivost pri načrtovanju strategije vodenja in izbiro ustreznega pristopa za omejevanje različnih motenj. Sestopna metoda ima lahko zelo pomembno vlogo pri načrtovanju strategije vodenja nelinearnih sistemov. Najprej je bil določen virtualni regulacijski zakon, nato pa je bil izračunan regulacijski zakon sistema. Uporabiti je mogoče različne metode načrtovanja za optimalno zmogljivost sistema. Uporaba drsnega režima za omejevanje napak in motenj zahteva uvedbo simbolnih funkcij. Virtualni regulacijski zakon vsebuje funkcijo predznaka, ki je ni mogoče odvajati. Za aproksimacijo te funkcije je bila zato uporabljena posebna funkcija z arkus tangensom. Pri modeliranju nelinearnega sistema ni mogoče določiti natančnega modela in potrebna je aproksimacija z nevronske mreže RBF. Napaka aproksimacije nevronske mreže RBF je odpravljena z zaviralnim členom drsnega režima. S kombiniranim pametnim algoritmom je bolje razrešen problem strategije vodenja nelinearnega sistema. V simulacijah in eksperimentih sta bila zajeta dva značilna seta delovnih pogojev, ki dobro predstavljata delovne pogoje predmeta raziskav. Rezultati simulacij in analiz dokazujejo reprezentančnost delovnih pogojev. V predstavljeni študiji nelinearne strategije vodenja je omejevanje zunanje motnje izvedeno z opazovalnikom, brez uvedbe razlike tlakov v komorah hidravličnega valja. V prihodnjih raziskavah bo opazovalnik motenj mogoče nadgraditi z uvedbo omenjene tlačne razlike za izboljšanje natančnosti vodenja. Uporabljen je bil inovativen pristop k načrtovanju strategije vodenja nelinearnega sistema, ki povezuje sestopno metodo in nevronske mreže po metodi drsnega režima. Novost v sestopni metodi sta uporaba aproksimacije za funkcijo predznaka in uvedba opazovalnika motenj ter uporaba različnih strategij za razrešitev motnje. V kombinaciji z nevronske mreže RBF in strategijo drsnega režima so dobro razrešene nelinearnost, motnje in negotovost modela sistema. Natančnost vodenja in odpravljanje motenj pri delovanju elektrohidravličnega aktuatorja sta bila izboljšana s sestopno metodo. Simulacije in eksperimenti kažejo dobro in robustno delovanje strategije vodenja.

**Ključne besede:** nevronska mreža RBF, drsni režim, sestop, nelinearno vodenje, elektrohidravlični aktuator, opazovanje motenj, regulacijski zakon