

# Sledilno vodenje za manipulatorje na osnovi mehke ekvivalence in terminalnega drsnega režima

Youyu Liu<sup>1,2,\*</sup> – Yi Li<sup>1,2</sup> – Xuyou Zhang<sup>1,2</sup> – Bo Chen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Državni laboratorij za napredno senzoriko in pametno upravljanje visokotehnološke opreme,

Ministrstvo za izobraževanje, Kitajska

<sup>2</sup> Politehnika Anhui, Šola za strojništvo, Kitajska

Za zmanjšanje poskakovanja v pogojih težkih obremenitev in zagotavljanje primerne točnosti vodenja zgibov, hitrosti konvergence napak in robustnosti je bil podan predlog metode za vodenje manipulatorjev na osnovi mehke ekvivalence in terminalnega drsnega režima (FETSM).

Sistemi za regulacijo drsnega režima so obremenjeni s pojavom poskakovanja. Danes obstaja več metod za odpravo poskakovanja, ki pa imajo vse svoje pomanjkljivosti. Metoda, ki uporablja zakon približevanja s funkcijo FAL (ali SAL), ima tako npr. slabost, da je težko izbrati položaj za uvajanje pojemka. Druga metoda, ki uporablja mehka pravila za ravnanje z eksponentom v potenčnih zakonih približevanja in, ki funkcijo predznaka zamenja s funkcijo hiperboličnega tangensa, ne more zmanjšati amplitude poskakovanja. Tretja metoda z adaptivno kompenzacijo napak (ali z nevronske mreže BP) je povezana z občutnim povečanjem računske kompleksnosti.

Na osnovi člena za preklapljanje ESM je bila uvedena matrika z mehкими parametri, ki se obdeluje s preprostimi mehкими pravili, in določen je bil mehki člen za preklapljanje. S seštevanjem mehkega člena za preklapljanje ter ekvivalentnega člena ekvivalence in terminalnega drsnega režima (ETSM) je bil določen regulacijski zakon FETSM za manipulatorje. Na tej osnovi je bila analizirana stabilnost sistema s funkcijo po Lyapunovu in izpeljan je bil njen končni čas prihoda. Na podlagi domneve zagotavljanja stabilnosti sistema so bila oblikovana mehka pravila in članske funkcije za mehke konstante. Uporabnost in učinkovitost predlagane metode sta bili preverjeni s primerjavo sledenja trajektoriji in vhodnega momenta za več obstoječih metod.

Rezultati in ugotovitve:

- (1) Predlagano metodo regulacije FETSM je mogoče uporabiti za sledenje dejanskemu položaju vsakega zgiba glede na njegovo idealno trajektorijo. Ta tehnologija je praktično uporabna pri manipulatorjih, ki so med obratovanjem izpostavljeni velikim obremenitvam.
- (2) Rezultati simulacij kažejo, da je celotna natančnost sledenja po predlagani metodi FETSM za 3,56 % boljša v primerjavi z ETSM, celotna robustnost pa se je izboljšala za 30,24 %. Hitrost konvergence napake je praktično enaka. Celotna natančnost sledenja se je s predlagano metodo FETSM izboljšala za 89,30 %, celotna robustnost se je izboljšala za 96,83 %, hitrost konvergence napak pa za 83,13 % v primerjavi z ESM. Celotna natančnost sledenja s predlagano metodo FETSM se je v primerjavi s PID-regulacijo izboljšala za 92,78 %. Hitrost konvergence napak in celotna robustnost sta boljši kot pri PID-regulaciji. Predlagana metoda FETSM lahko zagotavlja zadostno natančnost sledenja trajektoriji, hitrost konvergence napak in robustnost.
- (3) Pri predlagani metodi FETSM prihaja do poskakovanja le pod pogojem, da sistem ne doseže površine drsnega režima. Metoda FETSM lahko v primerjavi z ETSM v povprečju skrajša čas poskakovanja za 94,75 %. V primerjavi z regulacijo PID se maksimalna amplituda poskakovanja pri metodi FETSM zmanjša za vsaj 99,21 %. Predlagana metoda FETSM lahko torej omeji poskakovanje sistema in optimizira regulacijo vhodnega momenta.

Praktični učinek predlagane metode pri manipulatorjih, ki obratujejo v pogojih težkih obremenitev, ni bil preverjen in to bo predmet nadaljnjih raziskav.

Določen je zakon regulacijskega sistema FETSM za manipulatorje. Preverjena sta stabilnost in končni čas prihoda sistema FETSM. Z mehкими pravili so ocenjene zunanje motnje in negotovosti sistema. Predlagana metoda regulacije omogoča omejitev poskakovanja sistema v drsnem režimu. Sistem FETSM je primeren za manipulatorje, ki obratujejo v pogojih težkih obremenitev.

**Ključne besede:** regulacija drsnega režima, mehki člen za preklapljanje, poskakovanje, manipulator, sledenje trajektoriji, hitrost konvergence napake, robustnost