

Modeliranje histereze dolžine/tlaka pri pnevmatičnih umetnih mišicah po modelu Prandtl-Ishlinskii

Yixiang Liu – Xizhe Zang* – Zhenkun Lin – Xinyu Liu – Jie Zhao
Inštitut za tehnologijo v Harbinu, Državni laboratorij za robotiko in sisteme, Kitajska

Pnevmatične umetne mišice (PAM) so razmeroma nova vrsta elastičnih pnevmatičnih izvršnih členov. Zaradi svoje netogosti ter velikega razmerja med močjo in maso so se uveljavile na različnih področjih uporabe. Njihova naravna nelinearnost, ki vključuje histerezo dolžine/tlaka in histerezo sile/tlaka, pa povečuje sistemsko nelinearnost ter zmanjšuje sposobnost natančnega sledenja. Ena od rešitev za premostitev te težave je postavitve matematičnega modela histereze ter uporaba njegovega inverza za kompenzacijo histereze in doseganje približno linearne odziva PAM. Članek obravnava modeliranje histereze dolžine/tlaka pri PAM. Histereza dolžine/tlaka se meri z izotoničnim testom ob predpostavki kvazistatičnosti procesa, meritve pa nakazujejo obstoj večje in manjše histerezne zanke med hitrostjo krčenja in notranjim tlakom PAM. Te histerezne zanke so asimetrične ter niso odvisne od manjših zunanjih obremenitev.

Ker je klasični model Prandtl-Ishlinskii učinkovit le pri simetrični histerezi, je za opis histereze dolžine/tlaka predlagan prilagojen model Prandtl-Ishlinskii. Glede na spremembe vhodnih signalov je mogoče celotno histerezo zanko razdeliti na dva dela – na vzpenjajočo se vejo za povečevanje vhoda in na spuščajočo se vejo za zmanjševanje vhoda. Model MPI zato temelji na neodvisnih asimetričnih operatorjih ohlapa za vzpenjajočo in za spuščajočo se vejo. Operatorja ohlapa opisujeta nelinearnost sistema pri vzpenjanju in pri spuščanju, z njunim kombiniranjem pa je mogoče modelirati celotno histerezo zanko. Parametri modela so določeni z rekurzivnim algoritmom najmanjših kvadratov. Primerjava med rezultati simulacij in eksperimentalnimi meritvami je pokazala, da je predlagani model primeren za zelo točno karakterizacijo asimetričnih zank večje in manjše histereze.

Prednost predlaganega modela MPI v primerjavi z obstoječimi modeli histereze je v bolj koncizni matematični obliki, visoki stopnji veljavnosti ter uspešnosti pri reproduciranju asimetrične histereze dolžine/tlaka, vključno z večjo in manjšo histerezo zanko. Model MPI poleg tega omogoča tudi poenostavljeno izpeljavo inverza modela histereze. Le-tega je mogoče določiti neposredno na podlagi meritev po predlaganem modelu MPI, pri čemer hitrost krčenja predstavlja vhod, tlak pa izhod. Ugotovitve nakazujejo, da bi lahko novi model MPI odigral svojo vlogo pri kompenzaciji histereze PAM in zato bo zanimivo preučevati možnosti njegove implementacije pri krmiljenju položaja posameznih PAM in/ali robotskih zgibov, ki so opremljeni s PAM kot izvršnimi členi. V tem delu je preučeno samo kvazistatično histerezo vedenje PAM, saj bi bilo natančno modeliranje dinamične histereze preveč zapleteno. Če se model MPI uporablja pri dinamičnih sistemih, obstajajo različne negotovosti v modelu in zunanje motnje, ki vsekakor vplivajo na njegovo uspešnost. Možna rešitev za omenjeni problem je v uporabi nelinearnega adaptivnega krmiljenja in nelinearnega robustnega krmiljenja. V prihodnje se bomo zato posvetili raziskavam položajnega krmilnika, v katerem bosta združena načelo robustnega povratnozančnega krmiljenja in kompenzacija histereze na osnovi modela MPI za boljše sledenje položaju pri PAM.

Ključne besede: pnevmatične umetne mišice, asimetrična histereza, histereza dolžine/tlaka, kompenzacija histereze, modificiran model Prandtl-Ishlinskii, rekurziven algoritem najmanjših kvadratov