

VENTILÁTORRAL SZABÁLYOZOTT, ALULAKTUÁLT INGA KÍSÉRLETI ANALÍZISE

Móra Máté¹, Bencsik László², Stépán Gábor³

^{1,2,3}BME, Műszaki Mechanikai Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. MM Épület
mora.mate@gmail.com, l.bencsik@hotmail.com, stepan@mm.bme.hu

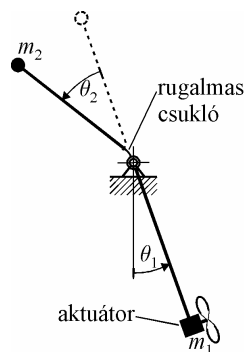
Zelei Ambrus⁴

⁴MTA-BME Gépek és Jarművek Dinamikája Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. MM Épület
zelei@mm.bme.hu

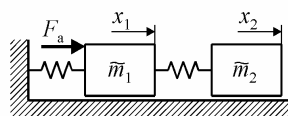
Alulaktuált rendszerről akkor beszélünk, ha a beavatkozó jelek száma kisebb, mint a rendszer szabadsági fokainak a száma [1-3]. Az alulaktuált rendszerek közé tartoznak a daruk, mivel ezeknél a beavatkozó erők a kötél felső végpontján működnek, míg a teher lengésére nincs közvetlen befolyásunk. Rugalmas elemek is okozhatják egy rendszer alulaktuáltságát, amint ez a jelen munkában vizsgált modell esetén is fennáll. Minden alulaktuált rendszer közös jellemzője, hogy az aktuátorokkal az ún. zéró dinamikára nem tudunk hatni.

Alulaktuált dinamikai rendszerek kiszámított nyomaték szabályozása a robotikában leginkább megszokott esetekhez képest kihívást jelent. Ennek oka az, hogy az inverz kinematikai és inverz dinamikai feladat egymástól nem választható szét, megoldásuk pedig az ismeretlen beavatkozójelekre és leíró koordinátákra nézve differenciál-algebrai egyenletrendszerre vezet. A szakirodalomban több lehetőség is található az alulaktuált rendszerek kiszámított nyomaték szabályozására [1-3]. Jelen munkában ezek közül a differenciál-algebrai egyenletrendszer implicit Euler módszerrel történő közvetlen numerikus megoldására épülő algoritmus [1, 2] alkalmazását vizsgáljuk kísérleti úton az 1. ábrán bemutatott kísérleti berendezés segítségével.

Az 1. ábrán látható kísérleti berendezés egy ventilátorral szabályozott ingából és az arra rugalmasan rögzített inverz ingából áll. A vizsgált modell szabadsági fokainak száma kettő (θ_1 és θ_2 szögek) a beavatkozó jelek száma egy, tehát a rendszer alulaktuált. Matematikailag teljesen analóg rendszer a 2. ábrán látható $\bar{m}_1$ és $\bar{m}_2$ testekből kialakított lengő rendszer, ahol a két szabadsági fokhoz szintén egyetlen F_a beavatkozó erő van.



1. ábra



2. ábra

A rendszer alulaktuáltságán túl további nehézséget okoz, hogy a két szabadsági fok közül csak a θ_1 szög mérhető, így a θ_2 szög mozgását a szabályozás közben egy ún. observer-rel becsüljük meg. A rendszert és a szabályozási feladatot leíró egyenletek általános alakban a következő formában fogalmazhatók meg:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{H}(\mathbf{q})\mathbf{u}, \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\varphi}_s(\mathbf{q}, t) = \mathbf{0}, \quad (2)$$

ahol $\mathbf{q}$ az általános koordináta vektor, $\mathbf{M}$ a tömegmátrix, $\mathbf{C}$ a tehetetlenségi és szabályozó erőkön kívüli általános erők vektora, $\mathbf{u}$ a szabályozó jelek vektora, $\mathbf{H}$ pedig az általános bemeneti mátrix. A szabályozási feladatot a (2) szervokényszer-egyenlet adja meg [2]. Az (1) és (2) diszkrétizációjával nemlineáris egyenletrendszer adódik a beavatkozó jelek és az általános koordináták új időlépésbeli értékeire. A módszer alkalmazhatóságát kísérleti eredményekkel bizonyítjuk különös figyelmet fordítva a stabilitási kérdésekre és a pályakövetési pontosságra.

HIVATKOZÁSOK

1. Kovacs, L. L., Zelei, A., Bencsik, L., Turi, J., Stepan, G.: Motion Control of an Under-Actuated Service Robot Using Natural Coordinates. *Proc. ROMANSY 18 – Robot Design, Dynamics and Control*, 331-338, Udine, Italy, 2010.
2. Blajer, W., Kolodziejczyk, K.: Modeling of underactuated mechanical systems in partly specified motion. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 46(2): 383-394, 2008.
3. Lammerts I.M.M.: *Adaptive computed reference computed torque control*. PHD thesis, Eindhoven University of Technology, 1993.