

ALULAKTUÁLT ROBOTOK KISZÁMÍTOTT NYOMATÉK SZABÁLYOZÁSA SZERVO KÉNYSZEREK ALKALMAZÁSÁVAL

Bencsik László¹

¹BME, Műszaki Mechanikai Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. MM Épület
l.bencsik@hotmail.com

Zelei Ambrus² és Kovács László³

^{2,3}MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5. MM Épület
kovacs@mm.bme.hu, zelei@mm.bme.hu

Mechanizmusok, zárt láncú robotok és az [1] irodalomban bemutatott köteleken felfüggesztett szervizrobot esetén, a kinematikai leírás és a dinamikai modell egyszerűsítése érdekében célszerű lehet, a rendszer szabadsági fokainak számát meghaladó, speciálisan választott leíró koordinátákat használni. Ilyen leíró koordináták a [2] irodalomban bevezetett természetes koordináták, melyek alkalmazása esetén a rendszer tömegmátrixa konstans és általában elkerülhető az összetett trigonometrikus függvények használata a kinematikai összefüggésekben, mely tulajdonságok segítik a dinamikai modell valós idejű szimulációját. Ugyanakkor a természetes koordinátákkal modellezett rendszer mozgásegyenlete differenciál algebrai egyenlet (DAE), mely esetben a hagyományos robot modellekre az irodalomban megtalálható kiszámított nyomatók módoszerén alapuló pozíciószabályozás közvetlenül nem alkalmazható.

Jelen tanulmány célja a kiszámított nyomatók módoszerének általánosítása nem minimális számú általános koordinátával modellezett, alulaktuált robotok pozíciószabályozására. Természetes koordináták alkalmazását feltételezve a vizsgált robotok mozgásegyenlete

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \Phi_q^T \lambda = \mathbf{Q} + \mathbf{H}\mathbf{u}, \quad \Phi = 0 \quad (1)$$

alakban adható meg, ahol $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ a tömegmátrix és $\Phi_q = \partial \Phi / \partial \mathbf{q} \in \mathbb{R}^{m \times n}$ a nem minimális számú koordináták közötti kapcsolatot kifejező geometriai kényszerek Jacobi mátrixa. Az (1) egyenletben $\mathbf{Q} \in \mathbb{R}^n$ jelöli a beavatkozó vagy aktuátor erőkön kívüli általános erőket, $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{n \times l}$ a beavatkozó erőkhöz tartozó bemeneti mátrix és $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^l$ az aktuátor erők vektora. Feltételezve, hogy a rendszer alulaktuált ($l < n$) az inverz dinamikai feladat az előírt koordináták függvényében, az aktuátor erők mozgásegyenletből történő kifejezésével nem oldható meg közvetlenül.

Alulaktuált DAE modell esetén, a [3] irodalomban közölt módszer helyett, célszerű a mozgásegyenletet a beavatkozó erők nullterére vetíteni a $\mathbf{V} = \text{Null}(\mathbf{H}^T)^T$ transzformációval. Az így kapott $n-l$ egyenlet írja le a rendszer nem szabályozott dinamikáját. További m egyenletet jelentenek a geometriai kényszerekből számítható gyorsulások. A szabályozási feladatot a geometriai kényszerekhez hasonló alakban a $\Phi_s = \mathbf{g}(\mathbf{q}) - \mathbf{p}(t) \in \mathbb{R}^l$ servo kényszerekkel adhatjuk meg, ahol $\mathbf{p}(t)$ az előírt mozgás melyet a koordináták függvényeként $\mathbf{g}(\mathbf{q})$ definiál. A servo kényszerek gyorsulások szintjén való figyelembe vételével a nem szabályozott mozgást leíró egyenlet

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}\mathbf{M} & \mathbf{V}\Phi_q^T \\ \Phi_q & \mathbf{0} \\ \mathbf{G}_q & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}\mathbf{Q}^T \\ -\Phi_q \dot{\mathbf{q}} \\ -\dot{\mathbf{G}}_q \dot{\mathbf{q}} - \ddot{\mathbf{p}} - \mathbf{K}_p \Phi_s - \mathbf{K}_D \dot{\Phi}_s \end{bmatrix}. \quad (2)$$

ahol $\mathbf{G}_q = \partial \mathbf{g} / \partial \mathbf{q}$ és $\mathbf{K}_p$ ill. $\mathbf{K}_D$ az alkalmazott PD szabályozás erősítési tényező mátrixai. A (2) egyenletből meghatározhatók a szükséges $\ddot{\mathbf{q}}$ gyorsulás és λ Lagrange multiplikátor értékek, melyekkel a beavatkozó erő

$$\mathbf{u} = \mathbf{H}^\dagger \mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{H}^\dagger \Phi_q^T(\mathbf{q})\lambda - \mathbf{H}^\dagger \mathbf{Q}_g. \quad (3)$$

összefüggéssel számítható, ahol $\mathbf{H}^\dagger$ az átviteli mátrix (Moore-Penrose) általánosított inverze.

A bemutatott módszer alkalmazhatóságát az ACROBOTER robot [1] szabályozásának szimulációja és a Quanser 2DoF pantográf, mint zárt láncú síkbeli robottal, végzett kísérletek igazolják.

HIVATKOZÁSOK

1. Stépán G. *et al*: A ceiling based crawling, hoisting and swinging service robot platform. Beyond Gray Droids: Domestic Robot Design for the 21st Century, Workshop at Human Computer Interaction (HCI), Cambridge, UK, 1 September, 2009, (4 pages, available online at <http://www.cl.cam.ac.uk/conference/drd09/papers/toth.pdf>)
2. de Jalón J.G., Bayo E.: Kinematic and dynamic simulation of multibody systems: the real-time challenge. Springer-Verlag, 1994.
3. Lammerts I.M.M.: Adaptive computed reference computed torque control. PHD thesis, Eindhoven University of Technology, 1993.