



FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA XVIII.

Kolozsvár, 2013. március 21–22.

IMPEDANCIA MODELL ALAPÚ ROBOT INTERAKCIÓ IDŐKÉSÉS- ÉS MEREVSÉGFÜGGŐ POLITOPIKUS LPV MODELLEZÉSE

KUTI József, GALAMBOS Péter, BARANYI Péter

Abstract

Impedance/admittance control algorithms are considered as key technologies in human-robot interaction and other fields of advanced robotics where complex physical interaction plays role. In this paper, we utilize a Tensor-Product (TP) Model Transformation based method to derive the delay and stiffness dependent polytopic LPV representation of the impedance controlled physical interaction. The applied transformation method is feasible with bounded delay, where the upper bound is the non-linear function of the environmental stiffness. Thus, the ideal transformation space is non-rectangular that makes it improper for the TP model transformation. We propose a dimensionless parametrisation to define a rectangular transformation space upon which the transformation becomes viable. The resulted model form is promptly appropriate for the modern multi-objective LMI based control design techniques.

Keywords:

Interaction robotics, LPV/qLPV modelling, impedance/admittance control, time delay, telemanipulation

Összefoglalás

Az impedancia/admittancia modell alapú irányítás napjaink egyik kulcs technológiája az ember-robot kapcsolat megvalósítása során és a korszerű robotirányítás azon területein, ahol szerepet játszik a komplex fizikai interakció. Jelen munkában a tenzor szorzat (TP) modell transzformáció alapú módszertant felhasználva előállítottuk az impedancia modell alapú robot interakció időkésés- és merevségfüggő politopikus LPV reprezentációját. Mivel az alkalmazott transzformáció felülről korlátozott időkésés tartományon végezhető el, amely korlát főként a környezeti merevség nemlineáris függvénye, az ideális transzformációs tér nem téglalap alakú, így ezen a transzformáció nem végezhető el. A probléma kiküszöbölésére dimenziótlan paraméterezés bevezetését javasoltuk, amellyel téglalap alakra hozható a vizsgált tartomány. Az eredményül kapott modellen közvetlenül alkalmazhatóak a korszerű, többcélú LMI alapú szabályozótervezési eljárások.

Kulcsszavak:

Robot interakció, LPV/qLPV modellezés, impedancia/admittancia irányítás, időkésés, telemanipuláció

1. Bevezetés

Az impedancia/admittancia modell (a továbbiakban impedancia modell) alapú irányítás kulcs szerepet foglal el a korszerű robotikai alkalmazások terén, mint például a telerobotika. A bilaterális telemanipuláció során a kommunikációs időkésés kedvezőtlenül befolyásolja az irányítás stabilitási tulajdonságait. A cikkben ennek a jelenségnek a modellezésével foglalkozunk. A problémát

részletesen vizsgálják Gil és társai [1] a haptikus alkalmazások szempontjából, amely eredmények érvényesek a bilaterális szabályozásokra is.

2. A modellezési feladat specifikációja

A cikkben egy szabadságfokú impedancia modellt vizsgálunk, de az eredmények kiterjeszthetők több dimenziós esetre is. Impedancia modell alatt a külső erők és a modell pozíciójának/sebességének dinamikai kapcsolatát értjük, amit egy tömeg-csillapítás-rugó mechanikai rendszer definiál.

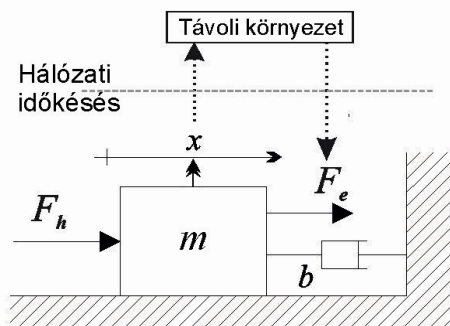
Az 1. ábrán az impedancia-szabályozott robot interakció modellje látható. Az m tömeg és a b csillapítás definiálják az impedancia modellt, mint a manipulátor elvárt dinamikáját. A bilaterális telemanipulációban, ha az impedancia modell a mester oldalon található és a szolga oldal számítógépes hálózaton keresztül csatlakozik ehhez, változó időkézés jelenik meg a mozgás előírása és a mért erő visszaküldése során is, ahogy az az ábrán látható.

A bilaterális irányítás változó időkézését ($\tau(t)$) és a változó környezeti merevséget ($k(t)$) is figyelembe véve a rendszer mozgásegyenlete:

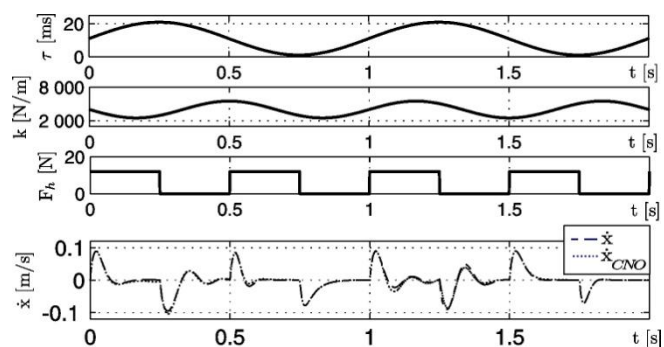
$$\ddot{x}(t) = \frac{F_h(t) + F_e(t)}{m} - \frac{b}{m} \dot{x}(t), \quad (1)$$

$$dF_e(t) = -k(t)dx(t - \tau(t)).$$

A feladathoz [2] cikkben mutattunk be olyan konvex TP típusú politopikus modellt, amelyben a változó időkézést tekintettük paraméternek, de a környezeti merevséget konstansnak feltételeztük. Jelen munkánk célja a modell érvényességének kiterjesztése változó környezeti merevség esetére. A módszer matematikai hátterét [3,4] mutatja be részletesen.



1. ábra. A vizsgált időkézéses rendszer



2. ábra. A kapott CNO leírás validálása

3. A HOSVD alapú, kanonikus TP alak előállítása

A modellezés első lépéseként a TP modell transzformáció módosított változatát használtuk [4], a rendszer ún. HOSVD alapú, kanonikus TP alakjának előállításához. Az [2]-ben bemutatott eljárás kiterjesztése során nehézséget okoz, hogy a kritikus időkézés (τ_{krit}) – amely az identifikáció alkalmazása miatt korlátozza a transzformáció elvégezhetőségét is – nemlineárisan függ a merevség

értékétől: $\tau_{krit} = c \frac{b}{k}$ [1,6], ezért a stabilitási határhoz nem illeszthető jól téglalap alakú ($\Omega = [k_{min}, k_{max}] \times [\tau_{min}, \tau_{max}]$) transzformációs tér. A transzformáció csak téglalap alakú transzformációs téren hajtható végre, a probléma áthidalására új paraméterként a dimenziótlan időskésés $\mathcal{G} = \tau / \tau_{krit}$ bevezetését javasoljuk.

A dimenziótlan paraméterezést felhasználva a következő kétdimenziós TP modell állítható elő a módosított TP modell transzformáció első és második lépésének felhasználásával:

$$\mathbf{S}(\mathbf{p}) = \mathcal{S} \boxtimes_{n=1}^2 \mathbf{w}_n(p_n) = \mathbf{S}(k, \mathcal{G}) = \sum_{i_k=1}^{R_k} \sum_{i_g=1}^{R_g} w_{k,i_k}(k) w_{g,i_g}(\mathcal{G}) \mathbf{S}_{i_k,i_g}, \quad (2)$$

ahol $\mathbf{S}(k, \mathcal{G})$ a rendszermátrixokat tartalmazó hipermátrix, a megadott k, \mathcal{G} paraméterek esetén.

Jelen cikkben bemutatott numerikus példa paraméterei: $m = 1 \text{ kg}$, $b = 120 \text{ Ns/m}$, $\mathcal{G} = [0..0.65]$ és $k = [1000..8000] \text{ N/m}$. A $k - \mathcal{G}$ síkon kijelölt diszkrétizációs háló 137×97 pontot tartalmaz.

A módosított TP modell transzformáció első lépésében minden pontban előállítottuk a rendszer közelítő LTI leírását, és ezeket \mathbf{S}^D tenzorba rendeztük. Elvégezve ezen a magasabb rendű SVD (HOSVD) eljárást a nem-zérus szinguláris értékek száma (azaz a rang) 137 és 97. A tenzor csak matematikai értelemben maximális rangú, a szinguláris értékek között több nagyságrend különbségeket találunk. A kisebb szinguláris értékek elhagyásával lehetőségünk van a modell komplexitásának csökkentésére, amely az eredeti modell jó közelítése L_2 értelemben.

4. A szabályozástervezéshez alkalmas konvex TP alak előállítása

Az LMI megoldó algoritmuskok érzékenyek a politopikus LPV/qLPV reprezentáció konvex burkának alakjára. Az előző fejezetben bemutatott kanonikus alakhoz különböző típusú konvex burkokat generálhatunk a TP modell transzformációhoz tartozó burok manipulációs eljárásokkal [7]. A rövidség kedvéért itt csak egy CNO típusú konvex burok [5] felhasználásával nyert eredményt mutatunk be, amelyet kanonikus alak 3-3 legnagyobb szinguláris értékének meghagyásával kaptunk.

5. A kapott modell validálása

A kapott konvex TP típusú politopikus modellt szisztematikusan ellenőriztük a vizsgált paramétertéren állandó és változó paraméterek esetén is. Itt – terjedelmi okok miatt – csak a változó időskésés és környezeti merevség esetéhez készített numerikus szimuláció eredményét mutatjuk be. A 2. ábrán mutatjuk be a vizsgálat eredményét, amely során a kapott CNO típusú konvex TP modell és az eredeti időskéséses rendszer viselkedését hasonlítottuk össze változó k, \mathcal{G} paraméterek esetén. A CNO modell sebességválasza láthatóan nagyon hasonló az eredeti időskéséses rendszeréhez, így ez a csökkentett komplexitású leírás jól alkalmazható a szabályozótervezés során.

6. Összefoglaló

A cikkben az időkésést tartalmazó, impedancia modell alapú robot interakció TP típusú konvex politopikus modelljénél előállítását mutattuk be, ahol a modell paraméterei az időkésés és környezeti merevség. A kapott modellen közvetlenül alkalmazhatóak a korszerű, többcélú, LMI alapú szabályozótervezési módszerek.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatta (ERC-HU-09-1-2009-0004 MTASZTAK) (OMFB-01677/2009) és az "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" című TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 projekt.

Irodalom

- [1] J. J. Gil, E. Sanchez, T. Hulin, C. Preusche, és G. Hirzinger: *Stability boundary for haptic rendering: Influence of daamping and delay*, Journal of Computing and Information Science in Engineering, vol 9, no. 1, pp. 011 005-8, Mar. 2009.
- [2] P. Galambos és P. Baranyi: *Representing the model of impedance controlled robot interaction with feedback delay in polytopic LPV form: TP model based approach*, Acta Polytechnica Hungarica, vol. 10, no. 1, pp. 139–157, 2013.
- [3] P. Baranyi: *TP model transformation as a way to LMI based controller design*, IEEE Transaction on Industrial Electronics, vol 51., no 2., pp. 387-400, April 2004.
- [4] Galambos P.: *Időkéséses rendszerek qLPV modellezése*, Műszaki Tudományos Füzetek, Fiatal Műszakiai Tudományos Ülésszaka XVII, Kolozsvár, 2012, 135-138 oldal.
- [5] P. Baranyi: *Convex hull generation methods for polytopic representations of LPV models*, Applied Machine Intelligence and Informatics, 2009. SAMI, 7th International Symposium on pp.69-74.
- [6] P. Galambos: *Stability boundary of impedance controlled robots: effect of stiffness, damping, friction and delay*, Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Systems, 2011, pp. 247-252.
- [7] TP tool for matlab. [Online]. (<http://tptool.sztaki.hu>)

Kuti József¹ – MSC hallgató, **Galambos Péter**² – doktorjelölt, **Baranyi Péter**³ – az MTA doktora

^{1,2} Munkahely: BME, Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék

1111. Budapest, Egry József u. 1.

^{2,3} Munkahely: MTA SZTAKI, 3D Internet-alapú Kontroll és Kommunikációs Laboratórium (3DICC)

1111. Budapest, Kende u. 13-17.

¹ E-mail: kutij6@gmail.com

¹ Telefon: 06-20-936-6965