

Bírálat

Tar József

„Adaptive Control of Smooth Nonlinear Systems Based on Lucid Geometric Interpretation”

c. doktori értekezéséről

1. Általános megjegyzések

A 183 oldal terjedelmű szép kiállítású és arányosan strukturált angol nyelvű értekezés nemlineáris rendszerek adaptív irányítási módszereivel és azok geometriai interpretációjával foglalkozik. Az értekezés hat érdemi fejezetből áll. A Jelölt lényegében ebben a hat érdemi fejezetben tárgyalja a korszerűnek és újszerűnek egyaránt tekinthető fentebb említett módszereket. A hat érdemi fejezetet öt előkészítő jellegű fejezet előzi meg.

Az első fejezet a disszertáció célkitűzésével, a második a tudományos metodikával, a harmadik egy általános bevezetéssel, míg a negyedik az eddig irányt adó módszerek rövid összefoglalásával foglalkozik. Az ötödik fejezetben a puha számítástechnikai módszereket tárgyalja a Jelölt. Az említett érdemi fejezetek, melyekben a tézisek találhatók, ezután következnek. *E rendszer alól egyedül az első tézis képez kivételt, amely olyan szorosan épül bizonyos történelmi előzmények matematikai részleteire, hogy azt a Jelölt közvetlenül a negyedik fejezet végén látta célszerűnek elhelyezni.* Az értekezés érdemi része a 95. oldalon ér véget, azután egy viszonylag hosszú, több mint 60 oldalas függelék következik. Az értekezést a publikációs jegyzék zárja, amelyben a Jelölt nagyszámú, az értekezés eredményeihez szorosan kötődő közleményt sorol fel. Ezek közül kiemelném a Jelölt 20 nemzetközi folyóiratban megjelent cikkét. Az értekezés angol nyelvezete megítélésem szerint megfelelő. Az ábrák általában szépen és gondosan szerkesztettek, a képlet formulák „megjelenése” is mutatósnak tekinthető.

Úgy tűnik, hogy a Jelölt tudományos szemléletét és gondolkodásmódját tekintve az értekezés inkább „induktív”, mint „deduktív” szemléletű. Feltűnően - és bizonyára szándékosan - nem tartalmaz „tétel-bizonyítás” struktúrát képező részleteket. Inkább egy-egy struktúra, modellezésre vagy adaptív szabályozásra való felhasználhatóságának lehetőségét mutatja meg elméletileg, nem feltétlenül törekedve arra, hogy általános keretek közt határozzon meg pontos kvantitatív hibajellemzőket. Ez a megközelítés valamelyest ellentétben áll a szabályozástechnikai szakirodalom Lyapunov függvényeket alkalmazó többségének szemléletmódjával, amely többnyire precízen „matematizált”, az aktuális állítások érvényességi feltételeit elegáns formában megadó tételekből áll.

Az értekezésben közölt szimulációs eredmények minden esetben a bebizonyított lehetőségek konkrét megvalósulásaként értékelhetők, azaz nem „bizonyításnak”, hanem illusztrációnak tekinthetők.

A Jelölt bizonyos fokú kétkedéssel tekint a numerikus számítási eredmények verifikációjának lehetőségére. Igyekszik elkülöníteni egymástól az elméletileg várt effektusokat és a szimulátor esetleges „anomáliáit” amelyek nyilván annak rossz beállításából eredhetnek. E szempontból lényeges az idő szerinti integrátorok véges időfelbontásának beállítása és „harmonizálása” a szabályozóba beépített késleltetésekkel, amelyek bizonyos esetekben a múlt tapasztalataiból tanuló szabályozót realizálják.

2. Részletes megjegyzések

Az értekezés témaválasztása korszerű, fontos elméleti és gyakorlati területet érint, továbbá véleményem szerint jól „elfér” a nemlineáris szabályozás-elmélet geometriai irányításelméletnek („*Geometric Control Theory*”) nevezett irányzata mellett, *noha annak lényegében nem képezi részét.*

Az értekezésben alkalmazott matematikai módszerek szinte sehol sem lépnek túl a klasszikus variációszámítás, a klasszikus Legendre transzformáció, a Lie csoportok klasszikus elméletének, valamint a valós Hilbert terekben értelmezhető skalárszorozathoz kötődő, irányok által bezárt szög fogalmának alkalmazásán. Ezeket a fogalmakat a Jelölt azonban igen kreatív és innovatív módon alkalmazza a nemlineáris szabályozáselmélet robottechnikához és Lyapunov XIX. sz. végi stabilitásvizsgálati módszeréhez kötődő értekezésében.

Az értekezés eredményei és tézisei (az utolsó tézis kivételével, amely a frakcionális deriváltak új, paraméteres, diszkrét közelítésével és annak lehetséges műszaki alkalmazásaival foglalkozik) érzésem szerint felfoghatók egy tudatos, módszeres útkeresés állomásainak is, amely a szabályozandó rendszerek gyakorlatilag használható modelljeinek kiépítésére koncentrál, s folyamatosan halad olyan modellek alkalmazása felé, amelyek egyre kevesebb konkrét részlet figyelembevételét, „identifikációját”, vagy valós idejű „karbantartását” igénylik. E törekvés a „*robosztus fixpont transzformációk*” módszerében látszik „révbe érni” két kvantitatív adaptív szabályozó paraméter, valamint a rendszer egy kvalitatív adata ismeretének felhasználásával, kiegészítve ezeket egy nem mindig szükséges, a konvergenciát biztosító paraméterhangolási eljárással.

A bíráló helyzetét minden bizonnyal megkönnyíti az a körülmény, hogy az eredmények valódi *tézisekben*, s nem az újabban divatos „*téziscsoportok*” formájában vannak összefoglalva. Ennek köszönhetően az egyes tézisekhez nemcsak magyarázó részek, hanem azok tartalmát pontosan összefoglaló leírások tartoznak, amelyek magukban foglalják az eredmények publikálására való utalásokat is. Ezek jól kapcsolódnak az említett érdemi fejezetekhez, melyek részletező ismertetésétől, e miatt is, eltekintenek abban a szinte biztos tudatban, hogy bíráló kartársaim bizonyosan ismertetik őket.

Kijelenthetem, hogy a Jelölt minden egyes tézisét elfogadom abban a formában, ahogyan azok az értekezésben és az angol nyelvű tézisfüzetben adva vannak. A Jelölt által elért új tudományos eredmények értékét és lényegét az alábbiakban foglaltam össze.

- a) A Jelölt az irodalomból ismert két klasszikus, robotok szabályozására kidolgozott módszer („adaptív inverz dinamika” és „Slotine és Li adaptív robotszabályozója”) példájának felhasználásával mutatta meg, hogy a Lyapunov függvény alkalmazásához szorosan kötődő megoldások esetében sem okvetlenül szükséges a módszer – a Jelölt szóhasználatával élve – „ortodox” alkalmazása. Mindkét módszert jelentős mértékben átalakította, mind a visszacsatolási tagok, mind pedig a paraméterhangolási módszer megváltoztatásával. Jelentős mértékben csökkentette a szabályozó önkényesen megválasztható paramétereinek számát. Kimutatta, hogy a szabályozó stabilitása az eredeti Lyapunov függvény „törmelékéből” is bizonyítható. Megmutatta továbbá, hogy e módszer eredeti és módosított változatai egyaránt nagyon érzékenyek maradnak a szabályozó által nem ismert külső zavarokra [1. tézis].
- b) A Jelölt egy skálázási problémáktól mentes „soft computing” jellegű modellezés alapjait vetette meg klasszikus mechanikai rendszerek szabályozásának céljaira. A klasszikus mechanika fenomenológiájához szorosabban illetve kevésbé szorosan kötődő, véletlenszerű illetve tisztán kauzális módszerekkel, „uniformizált procedúrákkal” hangolható, különféle Lie csoportokból származtatott uniformizált struktúrák használatára tett javaslatot. A javasolt módszer „modellezési készségeinek” lehetőségét elméleti megfontolásokkal mutatta ki, és azokat bőséges szimulációs példákkal illusztrálta [2. és 3. tézis].
- c) A „robosztus fixpont transzformációk” bevezetésével a Jelölt olyan új adaptív szabályozót vezetett be, melynek tervezése nem igényli Lyapunov függvény konstruálását. A szabályozó stabilitása lineáris, normált, teljes metrikus terekben képzett Cauchy sorozatok segítségével bizonyítható, melynek elemei voltaképp a gépi tanulás iteratív lépéseinek feleltethetők meg. A módszerről kimutatta, hogy az „egy az egyben” felhasználható referencia modellre épülő adaptív szabályozók (MRAC) implementálására is [4. és 5. tézis].
- d) A 6. tézis a szinguláris érték felbontás módszerének geometriai interpretációja és a közelítőleg párhuzamos/ellentétes irányok fogalma alapján egyszerű becslések alkalmazásával fejleszt ki adaptív szabályozót olyan rendszerekre, melyek közelítő modellre alapozott „válaszfüggvénye” nagy vonalakban előre ismert. A módszer működőképességét szimulációs eredmények szemléltetik. A módszer előnye, hogy a műveletigényes SVD valóban kiemelhető a szabályozó ciklusból.
- e) A 7. tézis a frakcionális deriváltak Caputo által adott egzakt formájának paraméteres numerikus közelítését vezeti be. A közelítés következtében, mint azt a Jelölt kimutatta, a kiindulási forma „deriválási rend” paramétere kiszabadítható eredeti korlátai közül, miáltal nemcsak disszipatív, hanem gerjedő rendszerek modellezése is lehetővé válik. A közelítésen alapuló definíció szabályozástechnikai alkalmazásaira a Jelölt meggyőző szimulációs példát mutatott be.

3. Kritikai észrevételek, megjegyzések és kérdések

Hogyan hozható összhangba egymással az okság elve és a módosított Slotine-Li robotszabályozó valamint adaptív inverz dinamikai szabályozó aszimptotikus stabilitása?

A „4.3. *Globally Linearizing Controllers*” c. alfejezet a maga részletességével fölöslegesnek tűnik, hiszen annak részleteire az értekezés a továbbiakban nem épít semmit. Talán elegendő lett volna megjegyezni, hogy e módszer pontos analitikus modellre építve közvetlen, affin

leképezésre emlékeztető alakú kapcsolatot származtat a megfigyelhető mennyiség bizonyos időderiváltja és azon fizikai ágens közt, amelynek felhasználásával a rendszer szabályozható.

A klasszikus *adaptív inverz dinamika* és *Slotine-Li adaptív robotszabályozó* részletes ismertetése indokolt, hiszen ezzel a Jelölt előkészíti és pontosan indokolja az általa bevezetett újításokat.

Gyanítom, hogy a (6.1.1) egyenletben lévő általános forma –attól függően, hogy miképpen paraméterezzük az ortogonális mátrixokat– a (6.1.6) additív formánál komplikáltabb struktúrákra vezetne. Mi indokolta az egyszerűsített additív forma használatát?

A (6.1.8) egyenletben a felső és az alsó sorban érzésem szerint az **M** és a **H** mátrixok ugyanazt a mennyiséget kell, hogy jelöljék. Van valami értelme a megkülönböztetett jelölésnek?

Az (A.11.7) egyenlet felső sora csak az $n=m$ esetben értelmezhető pontosan. Talán célszerű lett volna két egyéb formát is kiírni az $n>m$ és az $n<m$ esetekre is.

A „7. Tézissel” kapcsolatban kérdezném, hogy pontosan mi indokolta a Caputo által adott forma kiválasztását a numerikus-közelítés számára, szemben az egyéb lehetőségekkel?

Végül, vajon hogyan látja a Jelölt a bemutatott eljárásokban az „SVD-HOSVD” általánosítási lehetőségeket?

4. Összefoglaló megjegyzések

A fenti értékelésem és bírálatom alapján összefoglalóan megállapíthatom, hogy az értekezés igen színvonalas tudományos eredményeket tartalmazó munka, mellyel a Jelölt bizonyította kiemelkedő kutatói képességét bonyolult tudományos feladatok megoldása és azok alkalmazásának előkészítése során egyaránt. Az értekezés megítélésem szerint mindenben megfelel az MTA Doktori Tanácsa által előírt követelményeknek is. Mindezek alapján javasolom az értekezés nyilvános vitára bocsátását és sikeres védelem esetén a Jelölt számára az MTA doktora tudományos cím odaítélését.

Budapest, 2011. július 29.

Várlaki Péter
az MTA doktora