

BÍRÁLAT

Molnár Sándor

a matematikai tudomány kandidátusa

„Strukturált rendszerek kvalitatív vizsgálata”

c. doktori értekezésről

BÍRÁLAT

Molnár Sándor

1. Általános megjegyzések

A Jelölt nemzetközi viszonylatban is korszerűnek tekinthető értekezése 128 oldalon, hét fejezetben (amit hatvanhárom tételből álló hivatkozási lista zár le) foglalja össze a Szerzőnek az adott kutatási témában elért eredményeit. Az értekezés kivitelezése szépnek mondható, nyelvezete és stílusa megfelelő, bár a téma kifejtésének tömörsége gyakran az érthetőség rovására megy. Ugyancsak fenntartással kezelhető a képletek túlzottan sűrű megjelenítése, melyeket viszont sok helyen nem kísér megfelelő műszaki matematikai értelmezés. Általánosságban már most előzetesen megállapítható, hogy a disszertáció formailag és terjedelemben is megfelel az MTA Doktori Tanácsa által megfogalmazott követelményeknek.

2. Részletes megjegyzések

Az *első fejezetben* a Jelölt megadja a dolgozat tárgyalásához szükséges algebrai fogalmak összefoglalását, többek között a differenciálgyűrűk, az algebrai illetve differenciálalgebrai függés, függetlenség, a differenciál polinom és az algebrai differenciálegyenletek definícióit.

A paraméterváltozós irányítási rendszerek vizsgálatához a Jelölt megadja a parciális differenciálgyűrűk néhány elemi tulajdonságát, és a Kalman-féle kanonikus alaknál általánosabb ún. Fliess-féle kanonikus alakot.

A paraméterváltozós irányítási rendszerek közül részletesen foglalkozik a lineáris vertikum típusú rendszerek kanonikus alakjával.

A *második fejezetben* a lineáris, időtől függő rendszerek elérhetőségével, irányíthatóságával, megfigyelhetőségével, rekonstruálhatóságával és stabilitásával foglalkozik. Kapcsolatot teremt az elérhetőség Gram-féle mátrixos jellemzése és az általánosított Kalman-féle rangfeltétellel megfogalmazott szükséges és elégséges feltételek között.

A Wei-Norman-féle differenciálegyenletre és a Diop-féle állapot eliminációs algoritmusra támaszkodva bevezeti az ún. gerjesztési feltételeket.

A *harmadik fejezetben* olyan LPV-rendszerekkel foglalkozik a Jelölt, amelyeknél az együtthatók az állapottól függenek. Megmutatja, hogy a gerjesztési feltételek teljesülése esetén a lokális irányíthatóság szükséges és elégséges feltétele az általánosított Kalman-féle rangfeltételek teljesülése.

A *negyedik fejezetben* a Szerző fontos approximációs problémákkal foglalkozik. R Gamkrelidze optimális irányítások minőségi vizsgálataiból kiindulva bebizonyított egy approximációs tételt, az ott kapott eredményeket kiterjesztve, egy viszonylag általánosnak tekinthető approximációs problémát vizsgál és old meg a Jelölt, amely megalapozza az ún. kapcsolási (switching) rendszerek további vizsgálatát.

Az *ötödik fejezetben* az előző fejezet eredményeit figyelembe véve időtől függő paraméteres LPV-rendszerekre és állapottól függő LPV-rendszerekre bizonyítja, hogy a 4.1-es approximációs tétel által leírt approximációs eljárásra nézve az irányítható rendszereket közelítő rendszerek is irányíthatóak.

A mátrix Riccati-féle differenciálegyenlet segítségével az irányíthatósági vizsgálatok és a Kalman-féle mátrix rangfeltételek kapcsolata a dolgozatban kimondott approximációs tételek tükrében természetesen módon vetődik fel. A mátrix Lie-algebrák elemeinek felhasználásával a Wei-Norman-féle exponenciális szorzat alkalmazásával lineáris algebrai eliminációval kapja meg az előző fejezetekben említett gerjesztési feltételeket. Így nem lesz szükség a Diop-féle differenciálalgebrai eliminációra (ld. 5.3. Tétel).

A *hatodik fejezetben* a korábban (az első fejezetben) már absztrakt módon definiált vertikum típusú rendszerek vizsgálatát végzi a szerző. Véleményem szerint az itt elért eredmények központi szerepet játszanak az egész dolgozat felépítésében, annak a gerincét adják.

Ebben a rendszerosztályban a Jelölt a speciális struktúrát, hierarchiát gráfok segítségével is sikeresen megfogalmazza.

Egy nem kommutatív Lie-algebrai technikát alkalmazó kalkulus kiépítésével megmutatja, hogy az i -edik rendszer „bemenetbe” csak az előző részrendszerek a múltjára van szükség, de nincs szüksége az előző részrendszerek állapotára. Ezt az alkalmazott technikát Wei-Norman-féle reorganizációnak nevezi el.

Azt is megmutatta, hogy miként lehet LPV-rendszerként interpretálni a vertikum-típusú rendszereket.

A *hetedik fejezetben* a vizsgált vertikum-típusú rendszerosztály alkalmazásaira mutat néhány példát a populációökológia és a műszaki tudományok területéről.

A vertikum-típusú rendszerek egyik fontos jelenlegi alkalmazása a populációökológia területén található. A populációk kölcsönhatása jellemzően nemlineáris, de a Jelölt szerzőtársaival együtt megmutatta, hogy egy tipikus erőforrás termelő elsődleges felhasználó „esetén”, másodlagos fogyasztó láncot lehet egy konkrét ökológiai rendszerben vertikum-típusú rendszerként azonosítani. Ezzel pedig az eredeti modell megfigyelhetőségét lokálisan egy lineáris rendszer megfigyelhetőségére redukálta.

A kőolaj feldolgozásban a csatolt finomító rendszerek operatív irányítása a keletkező termékek összetételének ismeretét igényli a teljes folyamat során.

Egyes esetekben a Jelölt modell-prediktívirányítást alkalmaz, amely az állapotbecslésből származó pontos adatok rendelkezésre állását igényli. Ez általában igen költséges eljárásnak tekinthető.

Egy másik alternatíva lehet állapotbecslések alkalmazására, melynek során szekunder hőmérséklet mérésére támaszkodunk megfigyelésként. Valós, nem szimulált gyáregység szintű adatokra sikerült alternatív megfogalmazást adniük Szerzőtársaival egy csatolt finomítási eljárás segítségével, amely a vertikum-típusú rendszerek egyik jó gyakorlati példájaként szemléltethető.

3. A tézisek ismertetése és értékelése

A fejezetekben ismertetett témakörben elért új eredményeit öt *tézispontba* csoportosította a Jelölt az alábbiak szerint.

Az *első tézispontban* megmutatja, hogy lineáris, időtől függő rendszerekre az általánosított Kálmán-féle rangfeltétel kiegészítve az ún. gerjesztési feltételekkel szükséges és elégséges az ilyen típusú rendszerek elérhetőségére.

A *második tézispontban* a Buck-Boost konverterből kiindulva két approximációs tételt bizonyít LPV-rendszerek közelítésére. Az első tételben az irányítási paraméterek U halmaza konvex poliéder, az $A(p,t)$ és a $B(p,t)$ struktúramátrixok pedig a megszokott folytonossági feltételeket teljesítik.

Ez a tétel a Gamkrelidze-féle approximációs tétel általánosítása. A második tételben az $A(p,t)$ és a $B(p,t)$ mátrixokról felteszi, hogy lineárisak p paraméter függvényében és a p paraméter egy adott P konvex poliéderből veszi értékét.

A *harmadik tézispontban* a mátrix Lie-algebrák elemeinek felhasználásával és a Wei-Norman-féle exponenciális szorzat alkalmazásával megmutatja, hogy ha a közelített rendszer irányítható, akkor az approximáló rendszerek is irányíthatóak. A gerjesztési feltételeket lineáris algebrai approximációval állítja elő, így nincs szükség a Diop-féle differenciálalgebrai eliminációra.

A *negyedik tézispontban* a szerző bizonyítja az általánosított Kálmán-féle tételt vertikum-típusú rendszerekre. Megmutatja, hogy az általa bevezetett Wei-Norman féle reorganizáció segítségével hogyan bontható az egész rendszer szétcsatolt rendszerekre.

Az *ötödik tézispontban* a vertikum-típusú rendszerek alkalmazását mutatja be populációökológiai és műszaki területről vett példákon keresztül.

Mindezeket figyelembe véve az első négy tézispontban foglaltakat elfogadom új tudományos eredményként, de az ötödik tézispontban szerepelteket külön nem szerepeltetném, mivel ebben a pontban a korábbi eredmények gyakorlati alkalmazásai szerepelnek.

A tézisekben megfogalmazott új eredményeken túl számos igen jelentős technikai újdonság szerepel az értekezésben. A teljesség igénye nélkül megemlítem a 4. fejezetben a 4.1. és 4.2. tétel bizonyítása során használt, a szakirodalomban nem ismert kalkulust, ami Lie-algebrán értelmezett mátrixértékű függvények parciális integrálására vonatkozik, vagy ugyanebben a fejezetben a Gronwall-Bellman-féle lemma nem klasszikus értelmezését. Az 5. fejezetben az

5.2 tétel bizonyítása során a mátrix Riccati-féle differenciálegyenlet újrafogalmazásával kapott eredményeket is figyelemreméltónak tartom.

Összefoglalva a fentieket, a doktori értekezés téziseiben megfogalmazott állításokat lényegét tekintve új tudományos eredményeknek tekintem és értékelem.

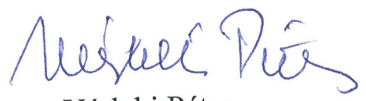
Kérdések

- 1. A dolgozatban a kapcsolási rendszerek bevezetése nagyon szemléletesen, egy konverterrel történik. A későbbiek folyamán a Jelölt mellőzi a „konverter” szó használatát, és áttér a kapcsolási rendszer terminológiájára. A kérdés erre vonatkozóan az, hogy miért volt erre szükség, és nem okozhat-e félreértést a kifejezés használata, mivel ezt, mint köztudott más értelemben is szokás alkalmazni.
- 2. Az 5. fejezetben, amikor az approximáló rendszerek irányíthatóságát és megfigyelhetőségét vizsgálja a Szerző, a bizonyítások során meglepő módon a mátrix Riccati-féle differenciálegyenleteket használta. Ezeket az eszközöket szokásosan a rendszerek stabilitásának jellemzésénél használjuk. Van-e valamilyen mélyebb összefüggés a két téma között?

4. Összefoglaló megjegyzések

Összefoglalóan megállapítható, hogy a Jelölt tudományos értekezésével és teljes kutatási munkásságával, megítélésem szerint, meggyőzően bizonyította magas szintű jártasságát nemzetközi szinten is jelentős kutatási feladatok megoldásában illetve érdekes és fontos új tudományos eredmények megalkotásában. Ezért fenti elemzésem és értékelésem alapján javaslom a doktori értekezés nyilvános vitára való bocsátását, és sikeres védelem esetén, a Jelöltnek az MTA doktori cím odaítélését.

Budapest, 2017. július 3.


Várlaki Péter
az MTA doktora