

Bírálóí vélemény
Tar József:
„Adaptive Control of Smooth Nonlinear Systems Based on Lucid Geometric Interpretation” c.
2010-ben kelt. MTA doktori értekezéséről

Bevezetés

Mielőtt elvállaltam a bírálóí feladatot és elkezdtem olvasni Tar József munkáját át kellett gondolnom, hogy tudok-e majd teljesen objektív véleményt írni, aztán kétszeresen is megnyugtattam magam. Egyrészt nem lehet igazán objektív véleményem, hiszen nem rendelkezem akkora tudással, hogy minden szempontból joggal bíráljam a jelöltet, de, ha mindent tudnék, akkor sem lehetnék benne biztos, hogy igazam van. A másik megnyugtató az azért kellett, mert Tar Józsefet nagyon sok éve, talán évtizedek óta elég jól ismerem, és kiváló robotszakembernek és matematikusnak tisztelem. Tudom, hogy fizikusként diplomázott és sokoldalúságát bizonyítandó robotika mellett többek közt termodinamikát, matematikai módszereket és információtechnikát is oktat/oktatott az Óbudai Egyetemen, ill. elődein. De sajnos közös munkáink nem voltak így összeférhetetlenségről szó sem lehet, de a személyes ismeretség miatt helyenként személyes dolgokra is kitérek.

Tar József 1989-ben szerezte meg a „műszaki tudomány kandidátusa” (CSc) c. tudományos fokozatot. A jelen bírálat tárgyát képező értekezését 2010-ben nyújtotta be az MTA-hoz. A két esemény közt eltelt körülbelül 20 év bőségesen elegendő volt a kandidátusi értekezés eredményeit meghaladó új, érdemi tudományos eredmények létrehozására és összefoglalására. A jelölt publikációinak túlnyomó, a jelen értekezés tartalmát érintő része is a CSc fokozat megszerzését követő időszakban keletkezett, így az értekezés megfelel azon követelménynek, amely szerint annak tartalmában jelentősen és lényegileg meg kell haladnia a korábban megszerzett tudományos fokozathoz köthető eredményeket.

A jelölt nem sokkal a CSc fokozat megszerzése után az ipart elhagyva a műszaki felsőoktatás területén kezdett dolgozni, ahol – csakúgy, mint az iparban – a kutatás maradt a fő tevékenységi területe. Oktatói tevékenysége pozitív értelemben „nyomta rá bélyegét” a benyújtott értekezés szemléletmódjára. Az értekezésben szereplő „lucid geometric interpretation” formában megfogalmazott igény két szempontból is érvényesül. Az átláthatóság igényét az egyszerű algebrai struktúrákban való gondolkodásmód elégíti ki. A „geometriai értelmezhetőség” igénye nem a „Geometric Control Theory” tárgyban fellelhető, elsősorban matematikusok által létesített, a témakört a „differenciálgeometria, a variációszámítás és a csoportelmélet” absztrakt matematikai apparátusának alkalmazásával tárgyaló irodalmához kapcsolódik, hanem inkább azzal az igyekezettel, amellyel az oktatott anyagokat a jelölt szemléletes, érthető módon kísérelte meg előadni. A kísérlet általában sikeres volt. Ezt azért tartom fontosnak, hogy ne legyen kérdéses, hogy az értekezés elbírálására az MTA Műszaki Tudományok Osztálya az igazán megfelelő közeg. Mindenesetre inkább, mint a tisztán matematikai tudományokkal foglalkozó szakemberek kutatói közössége, noha a két terület közti átfedés nyilván jelentős és tagadhatatlan, és a műszaki bírálót meg is ijesztheti - és esetemben meg is ijesztette - a dolgozat erős matematikai tartalma. E rövid bevezető után a továbbiakban - a témaválasztásra vonatkozó rész kivételével, amelyet tágabb összefüggésekben érdemes vizsgálni - kizárólag a benyújtott mű bírálására/értékelésére szorítkozom.

Az értekezés téma- és címválasztása, aktualitása

A bíráló jelen része a szokásosnál kissé hosszadalmasabbra sikerült, mert nem csak a címben foglaltakat, hanem a jelöltnek a hozzáállását is igyekeztem vizsgálni. Főleg, mivel egy doktori értekezés témaválasztása általában nem lehet az azt elkészítő egyén magánügye. A vizsgált problémák, azok felvetési módja és a megoldásukra alkalmazott különböző eszközök szorosan kapcsolódnak annak a tudományos környezetnek a tevékenységéhez, amelyben a szerző dolgozik.

A jelölt az Eötvös Loránd Tudományegyetemen végzett, mint fizikus. Innen eredhet kötődése a csoportelméleti módszerekhez és a klasszikus mechanika formális tárgyalásmódjához. Az iparban eltöltött évek miatt kutatásai jól követhetően a robottechnikában szükséges adaptív szabályozás szűkebb területéről indultak ki, s onnan terjedtek tovább a klasszikus mechanikai, majd az ettől fenomenológiailag jelentősen eltérő egyéb nemlineáris rendszerek adaptív szabályozásában alkalmazható módszerek kifejlesztésének irányába. Az oktatásban és kutatásban aktívan tevékenykedő közvetlen környezete a lágy számítási eljárások (soft computing), azon belül is inkább a fuzzy rendszerek és szabályozók témakörét műveli, amelyhez képest a jelölt ésszerűen igyekezhetett alternatív, önálló megoldásokat keresni.

Megközelítési módja nem a szabályozáselméletet abból a mérnöki szempontból vizsgáló kulturális közegből eredeztethető, amelynek kiindulópontja a lineáris szabályozáselmélet volt a maga szokásos matematikai eszköztárával (frekvenciakép, Laplace transzformáció), s amely Kálmán Rudolf 1960-as években közölt publikációi nyomán világszerte revelációként élte át az állapotteret leírásra való áttéréssel megnyíló új lehetőségek felismerését. (A szabályozási feladatok megoldásait ennek köszönhetően kezdték vizsgálni a lineáris rendszerek kapcsán is mint közönséges differenciálegyenlet-rendszerek megoldásait, amelyekben a szabályozó jelek különböző paraméterek helyén jelennek meg, s részben ez az észrevétel vezetett a ma „geometriai szabályozáselmélet” néven ismert megközelítés kialakulásához, amely körülbelül a XX. század végére érlelődött ki.)

Az értekezés még bevezetőjében sem tesz érdemi utalást a lineáris szabályozáselmélet jelentős eredményeire, amelyek ha nem is tekinthetők „egyetemesnek”, de igen fontos feladatosztályok megoldásában alapvetőek. A lineáris rendszerekkel a jelölt egyetlen fejezetben foglalkozik, nevezetesen az „Approximation and Application of Fractional Order Derivatives in the Time Domain”-ben, és itt is jellegzetesen inkább az idő-, mint a frekvenciaképet preferálja, és az értekezés ezen része kevésbé szorosan kapcsolódik a többihez. (Bocsáttassék itt meg a bíráló esetleg túlságosan szoros kötődése az MTA SZTAKI-hoz, amely intézet kutatói e téren jelentős eredményeket értek el, és nem véletlen, hogy a SZTAKI-val többek között Kálmán Rudolf is szoros kapcsolatban állt és áll ma is.)

A „szabályozhatóság” és „megfigyelhetőség” klasszikus fogalmainak általános keretekben történő taglalásának elmaradását indokolhatta, hogy a robottechnika speciális területén általában ez megtakarítható. Többnyire megfelelő kinematikai és gyakorta dinamikai szenzorok állnak rendelkezésre, a legtöbb esetben a mozgásegyenletek az általános koordináták terében taglalhatók, és az elérhető tartományokra való szorítkozás dolga áttehető a kinematikai pályatervezés tárgykörébe. Így a dinamikai szabályozó feladata megfogalmazható úgy, hogy a feladat az, hogy precízen követni kell a kinematikailag előírt pályákat. Az eleve erősen nemlineáris szabályozási feladatból való kiindulás indokolhatja, hogy a jelölt nem szentelt különösebb figyelmet a lineáris vagy jó közelítéssel linearizálható rendszerek osztályának.

Ehelyett közvetlenül a differenciálegyenlet-rendszerek és a geometria kapcsolatából indul ki, ennek alapján keres geometriai és csoportelméleti előzményeket, míg a szabályozástechnikai oldaláról közvetlen előzménynek Lyapunov direkt módszerének alkalmazását tekinti.

Az értekezés szintén „független” a „geometriai szabályozáselmélet” másik alapvető motivációs ágától, az optimális szabályozók témakörétől, amely a klasszikus variációszámítás termékeny továbbfejlődéséhez, s a differenciálgeometriai szemléletmód elterjedéséhez vezetett a szakirodalomban. Ennek - érzésem szerint - kettős oka lehet: az jelölt kiindulási alapjául szolgáló ipari robottechnika főleg biztonsági okokból nem koncentrálhat „szűkös erőforrásokra”, míg pl. az űrkutatási szabályozási feladatok terén az erőforrások szűkössége igen lényeges, gyakorlati korlát. Variációszámítás közvetlen alkalmazására továbbá azért nincs szüksége, mert annak termékétől, a kezdeti robotmodellre alapozott Euler-Lagrange egyenletekből tud közvetlenül kiindulni. Másik lényeges szempont, hogy az optimális szabályozók és az ezekre épülő „népszerű” (pl. hátráló horizontú szabályozók) erősen építenek a rendelkezésre álló dinamikai modell alapján végezhető predikcióra, míg az adaptív szabályozók feladatosztályában lényeges elem, hogy se precíz se teljes kiindulási modellel nem rendelkezünk, sem a szabályozó számára ismeretlen külső zavarhatások vagy nagyon nehezen modellezhető (pl. sűrűlódási) jelenségek jelenléte nem védhető ki.

Egyértelműen megállapítható, hogy az értekezés címében szereplő „geometriai interpretáció” nem a fent vázolt elméleti háttérhez kötődik, és hogy az értekezés aktualitását és újdonságtartalmát nem ahhoz viszonyítva lehet megállapítani.

A jelölt megközelítési módja nem tekinthető elszigeteltnek. A Massachusetts Institute of Technology (MIT) Nonlinear Systems Laboratory vezetőjeként dolgozó J.-J. E. Slotine és munkatársa, W. Li szemléletmódja hasonló volt a maga idejében, s ők is Lyapunov direkt módszerét tekintették megfelelő kiindulási alapnak az 1990-es években. Ugyanez áll a modell referenciás adaptív szabályozók elméletére, amely körülbelül ugyanebben az időszakban fejlődött ki, s szintén a Lyapunov függvények alkalmazását tekinti alapvető módszernek a szabályozók megtervezésében.

A jelölt saját közvetlen előzményeihez vonatkoztathatóan kutatott aktuális területen és ért el új eredményeket. Ezek részben a hagyományos lágy számítási eljárások általános skálázási problémáinak megkerülését, Lyapunov direkt módszerének megkerülését és néhány azon alapuló klasszikus módszer továbbfejlesztését célozták, továbbá eredményeket hoztak a modell-referenciás adaptív szabályozók új implementációja terén. További járulék a frakcionális rendszerek újfajta, gyakorlatilag hasznosnak tűnő egyszerű modellezése. A hagyományos Lyapunov függvényen alapuló technikák konkrét kidolgozása geometriailag nem különösebben szemléletes, egyenletei általában nehezen áttekinthetőek vagy követhetőek.

Így elmondható, hogy az értekezés témaválasztása fontos, aktuális, és – noha ennek megállapítása később aktuális - ezen a területen a jelölt tudott új, értékes, tudományos eredményeket produkálni.

Az értekezés formája

Az értekezés „törzsanyaga” 95 oldal, ezt követi egy függelék, amely a 96. és 160. oldal között húzódik. Az értekezés elkülöníthető formában hivatkozik az értekezéshez szorosan kapcsolódó, annak eredményeit tartalmazó publikációkra (szintén elkülönítve egymástól a könyvrészleteket [8 tétel], folyóirat cikkeket [20 tétel], konferencia kiadványokban megjelenő közleményeket/előadásokat [122 tétel]). Az értekezéshez szorosan nem tartozó, hivatkozott irodalom bibliográfiai adatai is külön listán vannak feltüntetve (138 hivatkozás).

Az értekezés tartalmaz néhány tudományos műben „szokatlan” referenciát (Wikipedia), de meg kell jegyezni, hogy ezek a hivatkozások kizárólag életrajzi és nem a szaktudomány területére vonatkozó információkat tartalmaznak, s az értekezésben közölt eredmények nem épülnek ilyen jellegű hivatkozásokra.

Az arányok megtervezését illetően a jelölt eljárása indokolt, hiszen a szimulációs eredmények az értekezés jelentős érdemi részét képezik, ugyanakkor nem okvetlenül szükségesek a javasolt módszerek megértéséhez, melyeket kielégítően ismertet a „törzsanyag”. Az ábrák megfelelő élességűek, minőségűek és elegendően informatívak, de erre vonatkozóan még lesz megjegyzésem.

Az értekezés nyelvezete általában elfogadható, a nem matematikus olvasó számára itt-ott talán kissé körülményes. Ennek oka a precizításra való törekvés lehet, de ennek ellenére maradtak benne kifelejtett mondatrészek vagy szavacskák (elég sok helyen), ezek azonban nem befolyásolják a mű érthetőségét és így módon nem perdöntő hatásúak.

Az értekezés tartalmi értékelése

Az értekezésben kitűzött célokat a jelölt világosan megfogalmazta a kétoldalas 1. fejezetben. A 2. fejezet 3 oldala ismerteti a kutatás módszertanát, az alkalmazott eszközöket, hipotéziseket és a megoldások általános útjait. A 3. fejezet a Bevezetés (3 oldal) a szakma egyenetlen fejlődését, valamint a geometriai gondolkodás történelmét/történetét ismerteti igen alaposan nyúlva a múltba.

A 4. fejezet (15 oldal) már elvezet az **1. tézishez**. Ebben a matematikailag nagyon erős részben (aminek részletes vizsgálatában bírálótársaimban bízom) a jelölt, mint a megoldás alapjául szolgáló kiindulást bírálta az analitikus modelleket, amelyek gyakorta meglehetősen összetettek és körülményesek, paramétereik többnyire csak részlegesen és pontatlanul ismertek, nehezen vagy sehogy sem identifikálhatók, időben lassan változhatnak, s általában nem tartalmaznak információt a szabályozott rendszer és környezete közti lehetséges kölcsönhatásokra vonatkozóan.

Hasonló bírálatban részesíti a lágy számítási eljárások (soft computing) keretében használatos, a többváltozós folytonos függvényeket univerzális közelítőkkal helyettesítő modellekre épített megoldásokat (5. fejezet, 5 oldal). A velük kapcsolatban felmerülő skálázási problémákat részben a teljes, kellően pontos és minden körülmények közt alkalmazható modellek kimunkálása igényének „számlájára írja”, részben pedig abból eredezteti, hogy a folytonos függvények osztálya mérnöki szempontból meglehetősen „extrém” elemeket is tartalmaz, így ez az apparátus „túlságosan általános” a gyakorlati problémák megközelítéséhez.

A **6-11. fejezetek képezik a dolgozat lényegi részét**, és a jelölt kutatásának és kutatási eredményeinek az összefoglalását tartalmazzák, minden esetben a téziseket és a tézisekhez vezető utat is megmutatva.

A 6. fejezet (19 oldal) egységes modellstruktúrákat javasol identifikációs célra, majd a kumulatív irányítást elemzi és számos szimulációs eredményt mutat be és eredménye a **2. sz. tézis**. A 7. fejezet (10 oldal) egyes fizikai rendszerek adaptív irányítását tárgyalja, majd egy széles rendszerosztály stabilitását bizonyítja és itt is mutat szimulációs példákat, végül elvezet a **3. sz. tézishoz**. A 8. fejezet (9 oldal) eredménye a **4. tézis**, míg a 9. fejezet (5 oldal) az új modell referencia alapú adaptív irányítás és a belőle fakadó **5. tézis**. A 10. fejezet (3. oldal) és 11. (9 oldal) fejezet, amelyek adaptív irányítással és közelítő eljárásokkal foglalkozik, eredményezi a **6. és 7. tézist**. Az 5. és 6. tézis alapozó leírása túl rövidnek tűnik, feltehetően alkalmazási jellegük miatt.

Eredményeit egyrészt a vizsgált feladatosztály szűkítésére (folytonos függvények helyett „sima” függvényekkel modellezhető rendszerek), másrészt a kidolgozott megoldással szemben támasztott elvárások redukálására (a permanensen, minden körülmények közt érvényes modellek identifikálása igényének elvetésére) alapozza. Az így behatárolt „résben” vizsgál geometriailag és csoportelméletileg interpretálható modelleket és uniformizálható eljárásokat, amelyek a szabályozott rendszer folyamatos megfigyelését igénylik. Fontos, hogy a felhasznált csoportelméleti eszközök általában nem kötődnek szorosan a szabályozott rendszer fenomenológiájához, hanem csak az egyszerű kiszámíthatóság és az önkényesen megválasztható paraméterek ésszerű megadásának, néhol egyszerűen csupán a kényelmes paraméterezés igényéhez. A gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából jelentősnek tartom a frakcionális rendszerek diszkrét, paraméteres közelítését, ami kivezet a számos fellelhető közleményben zárt analitikus alakban tárgyalt speciális rendszerek világából, s a numerikus kezelhetőségre és a fizikai interpretálhatóságra koncentrálni.

Következtetések, a tézisek értékelése

Megfelelőnek tartom a jelölt által követett tudományos módszert, amely a szimulációs eredményeket nem bizonyítékoknak, hanem csak a lehetőségükben bizonyított megoldások illusztrációinak tekinti. Osztom a jelölt véleményét és óvatos hozzáállását a konvergens és a divergens eredmények részleteinek hihetőségét illetően is.

Az általános, a jelölt látóterébe beleférő kultúrtörténeti előzmények nem értéktelen ismertetése, valamint néhány konkrét tudományos előzmény részletes elemzése után a jelölt saját eredményeit szerencsére konkrét tézisekben, s nem „téziscsoportokban” találja. A tézisek rövid kimondását az elért újdonságok gondos részletezése követi. Az **egyes tézisek eredményeinek** publikációkkal való alátámasztása szintén világosan adott a tézisekben. Ezeknek megfelelően:

- *Önálló új tudományos eredménynek fogadom el az „1. Tézist”, amelynek lényege a közvetlen kiindulási alapul szolgáló „Adaptív Inverz Dinamika” illetve „Adaptív Slotine-Li Robotszabályozó” visszacsatolásainak és hangolási módszerének módosítása, s annak kimutatása, hogy a szabályozó stabilitásának bizonyításához nem szükséges Lyapunov II. vagy „direkt” módszerének ortodox alkalmazása. A módosítások praktikus nyeresége minimális számú önkényes szabályozó paraméter bevezetése és a paraméterhangolás gyorsá, „célirányossá” tétele.*

- *Önálló új tudományos eredménynek fogadom el a „2. Tézist”* is, amely klasszikus mechanikai rendszerek, precízebben **robotok** szabályozásához fenomenológiailag még kötődő megfontolásokra épít. Lényeges újdonságnak tartom, hogy a szerző e szűkebb feladatosztályra nézve elkezdte a lágy számítási eljárások egy új ágának kiépítését, amely szakít a Kolmogorov féle univerzális közelítőkre alapozó hagyományokkal. Egyszerű algebrai és geometriai analógiák alapján a szerző elméletileg mutatta meg, hogy a Jánossy Lajostól származó „deformációs elv” bizonyos fenomenológiai megszorításokkal alkalmazható klasszikus mechanikai rendszerek uniformizált formájú modellezésére oly módon, hogy méretezési és skálázási problémák e modellekben nem lépnek fel, s a módszer alkalmas *ideiglenes és részleges, közvetlen megfigyelésekkel karbantartott modell* kiépítésére *uniformizált procedúrák* segítségével. A tézisben a jelölt a klasszikus mechanika formavilágának két különböző absztrakciós szintjéhez kötődő lehetséges megoldást mutatott be. Az Euler-Lagrange egyenletekhez tartozó forma még regresszió-analízisen alapuló kiegészítéseket igényelt, a kanonikus egyenletekre alapozó forma csupán a fenomenológiailag nem interpretálható, nagyságukban jelentéktelen járulékok levágását. A javasolt megközelítések modellező erejét meggyőző szimulációs vizsgálatokkal illusztrálta. *Megjegyzem, hogy ezek az eredmények már önmagukban hordozzák egy adaptív szabályozási módszer kezdeményeit is.*
- *Önálló új tudományos eredménynek fogadom el a „3. Tézist”*, amely a 2. Tézisben bevezetett új típusú lágy számítási eljárást kiterjeszti egy magasabb absztrakciós szintre, függetlenül a szabályozandó rendszer fenomenológiai részleteitől. A tézisben javasolt, a friss megfigyelésekhez tartozó információ megfelelő felhasználását biztosító „*minimális műveletek elvét*” szemléletesen mutatja meg több lehetséges absztrakt algebrai konstrukció esetében, melyek egyúttal mind egyszerű Lie csoportokhoz kötődnek. A szabályozandó rendszerből csak a szabadsági fokok száma érinti az új modellező struktúrák méretét. E tézis lényegesen meghaladja a megelőző tézist abból a szempontból is, hogy bizonyos, meglehetősen általános feltételek mellett bizonyítani tudja az immár teljesen kauzális algoritmus konvergenciáját, azaz a szabályozó komplett stabilitását. A tézis eredményeit kiválóan illusztrálják a részlegesen modellezett, csatolt kocsikettős inga rendszerre végzett szimulációk.
- *Szintén elfogadom önálló új tudományos eredménynek a „4. Tézist”*. Ez bizonyos értelemben a 3. Tézis eredményeinek továbbépítése, amennyiben még az ott kifejtettnél is kevesebb erőfeszítést tesz valamiféle rendszermodell megadására és karbantartására. A szabályozott rendszer stabilitását Lyapunov függvény használata helyett egyszerű Cauchy sorozatokkal biztosítja. A tézis eredményei a Robusztus Fixpont Transzformációk módszerében csúcsosodnak ki, amely –szemben a hagyományos, Lyapunov függvényen alapuló technikákkal- szétválasztja egymástól a kívánt, kinematikailag megfogalmazott pályakövetés megadását és az adaptív szabályozó megtervezését. A jelölt egyszerű módszert javasol az adaptív szabályozó három paraméterének megadására, módszerét SISO rendszerekről egyszerű geometriai megfontolásokkal terjeszti ki MIMO rendszerekre, továbbá a globális stabilitás biztosításának hiányát hatékonyan ellensúlyozza az egyik adaptív paraméter hangolásával. (Megjegyzem, hogy pl. a tenzorszorzat modellekre épített szabályozási eljárások szintén nélkülözik a globális stabilitást -a szabályozó ekkor valamilyen konvex burok belsejére van tervezve, s nem állít semmit arra nézve, mi történik, ha a rendszert valamilyen külső hatás kilöki a burokból-, mégis széles körben létjogosultságot nyertek a modern szabályozási eljárások körében.) A tézis eredményeit bőséges szimulációs vizsgálatok támasztják alá különböző fizikai rendszerek szabályozására.

- Az „**5. Tézist**”, amely a 4. Tézis eredményeinek közvetlen felhasználását jelenti a modell referenciás adaptív szabályozók tág osztályában, szintén **elfogadom** önálló új tudományos eredménynek, noha az alkalmazási téziseket gyakran vitatni szoktuk. A jelölt ötletét kiváltképp szellemesnek tartom, hiszen az jóformán semmilyen új matematikai megfontolást nem igényel, csupán az iteráció terét helyezi át a kinematikai adatokról a dinamikai adatokra. A „tradicionális” megoldásokkal való összevetés érdekében –amelyek létében én nem nagyon hiszek, hiszen számtalan partikuláris megoldásról lehet szó, amelyek csak nagyon lazán „tartoznak össze”- a jelölt kidolgozott egy Lyapunov függvénnyel tervezett egyszerű MRAC szabályozót is. A tézis állítását az elméleti bizonyításon túl érdekes szimulációs alkalmazási példák is illusztrálják.
- Szintén **elfogadom** önálló új tudományos eredménynek a „**6. Tézist**”, amely véleményem szerint a 2. Tézis alkalmazhatósági korlátainak kibővítését jelenti az SVD módszerének geometriai értelmezése alapján. A tézis lényege, hogy a valós Hilbert terekben adott skalárszorozathoz rendelhető szögek alapján be lehet vezetni a „közel azonos” és „közel ellentétes” irányok fogalmát, s a szabályozandó rendszer durva kvantitatív modelljéből kinyerhető kvalitatív információ alapján tervez szabályozót a jelölt. Ezt a tézist is bőséges szimulációs eredmények illusztrálják. Ez a tézis is alkalmazás.
- A korábbi tézisekhez lazán sem kötődő, a törtrendű deriváltak modellezését célzó „**7. Tézis**” eredményeit szintén **elfogadhatónak tartom**, mint új tudományos eredményeket. A jelölt meggyőzően bizonyítja, miként adják vissza az új közelítések a klasszikus „egész rendű” eseteket, s milyen tipikus viselkedést produkálnak a törtrendű esetek. A tézis különös értékének érzem műszaki szempontból, hogy az kilép a zárt alakú analitikus formulák „bűvköréből”, s az új derivált fogalmakat közvetlenül konkrét problémák modellezésére alkalmas alakban adja meg, diszkrét időfelbontáshoz illesztve. Az alkalmazási példák szintén meggyőzőek: az egyik a hagyományos egész rendű rendszerek esetére javasol egy simítási, zajszűrési módszert, a másik egy hipotetikus frakcionális rendszer adaptív szabályozását mutatja be, amelyre nagyon nehezen lehetne Lyapunov függvényt konstruálni, hiszen a törtrendű deriváltak képzésének szabályai nem olyan egyszerűek, mint az egész rendűeké a bennük lévő memória miatt. (Például a szorzatra vonatkozóan, ami a hagyományos kvadratikusan Lyapunov függvényekben kiterjedten használt, ez a deriváltak „elrettentő” komplexitást mutatnak.)

Kritikai észrevételek

Az értekezés olvasása közben – egyebek mellett – a következő kérdések merültek fel bennem:

0. Mint olvasót engem zavar, hogy a jelölt sokáig úgy tesz a dolgozatban, mintha nem robotikáról, hanem általában adaptív szabályozásokról, és azok matematikai kezeléséről lenne szó, az első érdemi robotikai összefüggést a 4. fejezetben találtam, noha természetesen a célok között jócskán vannak robottechnikaiak is. Ugyanakkor, ha szükségesnek érzi (pl. az optimális szabályozók tárgyalásakor, vagy pl. a szabályozhatóság és megfigyelhetőség klasszikus fogalmainak általános keretekben történő taglalásának elhagyásakor), akkor inkább robottechnikus, mint matematikus, vagy szabályzás-technikus.
1. Számomra úgy tűnik, hogy a 40. oldal (6.1.1) egyenletében lévő forma szigorúan szorzat forma, amely jóval komplikáltabb lehet, mint a (6.1.6) egyenlet összeg formája. Az egyenleteket övező szövegből nem tűnik ki, hogy szándékos egyszerűsítésről volna szó. Mi a szerző szándéka?

2. A (6.1.7) egyenletben a 42. oldal tetején az összegzésből és a ξ változóból néhol eltűnni látszik egy „t” index. Mi az oka?
3. A (6.1.8) egyenlet körüli magyarázat pontosabb megfogalmazása talán az lett volna, ha a jelölt gondosan kiírja, hogy az egyenlet bal oldalán lévő kifejezés jobb oldalán lévő szimmetrikus mátrix invertálásáról van szó.
4. A (6.1.15) egyenlet praktikus realizációja azt igényelné, hogy az integrál alsó határa ne $-\infty$ legyen, hanem valami véges kezdeti érték, ahonnan az alkalmazás „indul”.
5. A 158. oldal táblázatának a fejléctet nem számítva 2. sorában és 2. oszlopában a Szerző bizonyára $\mathbf{b}^{(1)T} \mathfrak{B}^{(j)} = 0$ helyett a $\mathbf{b}^{(1)T} \mathfrak{B}^{(1)} = 0$ kifejezésre gondolt.
6. Az 59. oldal redundánsan mutatja be a várt és megfigyelt válasz sémát, amelyet a tudományos módszerek ismertetésében az értekezés elején a jelölt egyszer már kifejtett. Ennek elhagyásával néhány oldalt meg lehetett volna spórolni.
7. A 78. oldal 9.1. ábrájával kapcsolatban kérdelem: az ábrán nincs semmi feltüntetve a „Referencia Modell” és a „Valódi Modell” állapotfüggéséről. Hogyan kezelhető a modellek állapotfüggése az új MRAC technika keretein belül?
8. A (11.2.11) egyenlethez kötött feltétel – az alatta álló szövegben „ $|1 + \alpha \delta^2| < 1$ ” látható – véleményem szerint hibás, és itt ugyanannak a feltételnek kellene állnia, mint amelyik a (11.2.6) egyenletben adott.
9. A magyar nyelvű Tézisfüzet nekem jutott példányában az első sorok valamilyen szerkesztési hiba miatt nem jól láthatók. Ezt nem tenném szóvá, ha nem lenne a füzetben, annak minden oldalán elég sok apró, zavaró elütés és nyelvtani, fogalmazásbeli hiányosság.
10. A dolgozatban elég sok ábrán hiányzik az egyik vagy másik tengely dimenziója, más ábrákon a felhőszerű képződmények elhelyezkedése és kiterjedése (feltételezem, hogy szándékosan) nem egyértelmű.

Összefoglaló értékelés, bírálói javaslat

A benyújtott értekezés és az eredmények publikáltsága meggyőzött arról, hogy abban Tar József olyan saját kutatási eredményeket ismertet, melyek elkülöníthetők a PhD (CSC) fokozat megszerzéséig elért eredményeitől. A doktori munka eredményeit és azok tudományos értékét elegendőnek tartom MTA doktora cím megszerzéséhez. Az értekezésben összefoglalt eredmények részben azért járultak hozzá lényegesen az adott szakterület továbbfejlődéséhez, mert a jelölt bizonyos értelemben „kívülről” hatolt be a nemlineáris szabályozások elméletébe, így megközelítése a kezdet kezdetén nem állt rá arra a „sínpárra”, amely az 1960-as években a lineáris rendszerek szabályozáselméletéből kiindulva lett lefektetve és fokozatosan terjeszkedik máig is a nemlineáris szabályozáselmélet irányába. A geometriai gondolkodásmódra és a Lie csoportok elméletének használatára is más (tulajdonképpen jóval régebbi eredetű) előzmények ösztönözték.

Az értekezéssel kapcsolatban tett kritikai észrevételeim nem érintik a lényegét, nem csökkentik a dolgozat tudományos értékét, hanem valószínűleg szövegszerkesztési illetve megfogalmazási problémák, ill. az ellenőrzés elégtelensége miatt bennmaradt szavak, jelek, ragok stb., amik persze általában elkerülhetők lettek volna.

A fentiek alapján **javaslom a nyilvános vita kitűzését és sikeres védés esetén a doktori mű elfogadását és a cím megítélését.** Az értekezés minden egyes tézisét elfogadom új tudományos eredménynek.

Budapest, 2011. Október 5.

Kovács György, az MTA doktora