

Rozgonyi Szabolcs
Stability Analysis and Control of Hybrid Systems
(Hibrid rendszerek stabilitásvizsgálata és irányítása)
című doktori (PhD) értekezésének bírálata

A bíráló sajnos nem járatos a Pannon Egyetem Informatikai Tudományok Doktori Iskola szokásjogaiban, ugyanakkor részt vett több intézménynél a minősítési folyamatokban. Opponensi véleményét a Pannon Egyetem Doktori Szabályzatában írott formában megfogalmazott szempontok alapján készítette.

A témaválasztás aktualitása

A dinamikus rendszerek leírásában egyre fontosabb teret kapnak a nemlineáris hibrid dinamikus rendszerek. Ezen belül a stabilitási kérdések kiemelkedő jelentőséggel bírnak. A szerző a nemlineáris rendszerek egy speciális osztályának vizsgálatával foglalkozik értekezésében. A hibrid modellben a folytonosság és az ugrások egyaránt szerepet kapnak, a rendszert matematikai szempontból differenciál és differencia egyenletek együttesével próbálják leírni.

Közismert, hogy lineáris rendszerek esetén a stabilitás rendszerjellemző, vagyis a rendszer stabilitása nem függ munkaponttól, bemenőjeltől. Nemlineáris rendszerek esetén azonban a stabilitás állapotfüggő is lehet, az egyensúlyi pontoknak vonzási tartománya lehet. A szerző ezeknek a tartományát kívánja értekezésében meghatározni. Annak ellenére, hogy az alapokat LaSalle már 1961-ben publikálta, a téma aktualitását jól mutatja, hogy a Springer kiadó 2011-ben jelentette meg Graziano Chesi: Domain of Attraction - Analysis and Control via SOS Programming (Series: Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 415) című könyvét. A könyv - mint azt a címe is mutatja - pontosan ezzel a témával foglalkozik.

Az értekezés felépítése

Rozgonyi Szabolcs értekezése angol nyelven készült. Terjedelme 87 oldal. Az értekezés bevezetése – a tartalmi kivonatokat, a köszönetnyilvánításokat, a tartalomjegyzéket, az ábrák és táblázatok jegyzékét követően - a 11. oldalon kezdődik, összefoglalója a 67. oldalon fejeződik be, vagyis a mű tartalmi része 57 oldal. Az összefoglalót egy 67 tételből álló bibliográfia követi. A 14 oldalas függelék a szerző által írt a maximális Ljapunov függvény

meghatározására szolgáló Mathematica-ban készült programnak a kódját tartalmazza. E programot illetően a jelölt nem fárasztja az olvasót felhasználói jellegű ismeretek közlésével, a kód száraz közlése korlátozott értelemmel bír.

A szerző értekezését 6 fő fejezetre tagolja. A bevezető fejezet után a 2. fejezetben áttekinti az értekezés előzményeként szolgáló irodalmakat, valamint ismerteti az értekezés megértéséhez szükséges előismereteket, fogalmakat és fontosabb téziseket. Ebben a fejezetben a szerző színvonalas matematikai apparátust felvonultatva foglalkozik az autonóm rendszerek stabilitási kérdéseivel, ezen belül a maximum Ljapunov függvény fogalmával. A felhasznált eredményeket Theorem, Corollary, Proposition, Algorithm formájában fogalmazza meg. Röviden ismereti a hibrid rendszerek stabilitási kérdéseinek irodalmi előzményeit, a multi-parametrikus programozás alapjait. Végül részletesebben bemutatja a nyomott vizes reaktor nemlineáris modelljének a származtatását.

Az értekezés új tudományos eredményeit a szerző a 3., 4. valamint az 5. fejezetben írja le. A 6. fejezet pedig az új eredmények tézisszerű összefoglalóját tartalmazza. A 3. fejezet nemlineáris autonóm rendszerek vonzási tartományainak becslésével foglalkozik. A fejezet első része Vanelli és Vidyasagar 1985-ben publikált algoritmusának *javított* verzióját tartalmazza. A módszer iteratív, speciális Ljapunov függvény-szekvenciával próbálja a lehető legnagyobb vonzási tartományt meghatározni. A fejezet második része - 10 oldal terjedelemben - a kifejlesztett módszert alkalmazza nyomott vizes reaktor modellre. A feldolgozás során a szerző két dimenzióban bemutatható aleseteket mutat be.

Az értekezés 4. fejezete Vanelli-Vidyasager módszerének a kiterjesztését tartalmazza tartományonként definiált hibrid rendszerekre. A kidolgozott algoritmus a 3. fejezetben leírt algoritmus továbbfejlesztése. Ezen fejezet második része analitikus megoldást ad két állapotváltozós hibrid reaktor modell vonzási tartományainak meghatározására.

Az értekezés 5. fejezete nemlineáris hibrid rendszerek irányításával foglalkozik. A fejezet az ETH-n kifejlesztett multi-parametrikus programozási toolbox-ot használja a Paksi Atomerőmű nyomáskiegyenlítő tartály modelljének a szabályozásához. A folyamat specialitása, hogy a bemenőjel csak diszkrét értékeket vehet fel. Ebben a fejezetben a jelölt a MATLAB-ot használja. Többek között vizsgálja a különböző célfüggvény, valamint a mintavételezési idő megválasztásának a kérdéseit.

Formai észrevételek

A téziszűzet felépítése nem szokásos jellegű. A téziszűzet *Új tudományos eredményeket* tartalmazó fejezete pontosan *egy oldal* terjedelmű. A kimondott állítások a téziszűzet korábbi fejezeteire utalnak vissza. Szerencsésebb lett volna az eredmények egy fejezetbe szerkeszteni. Megjegyzem, hogy a tézis szűzet 1. ábráján lévő feliratok nagytővel még olvashatóak.

Az értekezés stílusa inhomogén. A matematikailag egzakt és a tudományos szempontból lazább megfogalmazások váltakoznak benne. A szerző számos helyen adós marad a matematikai megfogalmazások mögött meghúzódó geometriai, fizikai kép megadásával, az

analitikus összefüggések interpretációjával és diszkussziójával. Az olvasó több helyen úgy érzi, hogy az értekezésben a matematikai formalizmus cél, és nem eszköz egy mérnöki feladat megoldásában. Az értekezés terjedelme lehetőséget adott volna a mérnöki gondolatok mélyebb bemutatására, a téma fontossága pedig kifejezetten igényelte volna ezt.

Az új tudományos eredmények értékelése

A jelölt eredményeit három tézisben, tézisenként két alpontban fogalmazta meg.

Mint azt már korábban is írtam, a jelölt az értekezésben felhasznált, irodalomból átvett eredményeket matematikailag jól formalizált Theorem, Corollary, Proposition, Algorithm formájában fogalmazza meg. Ugyanakkor az értekezés további részeiben már kevés az egzakt állításokat kimondó kiemelés. Az értekezés új eredményeket tartalmazó részében

- a 3. fejezetben bizonyítással együtt *egy* Theorem (Theorem 23), valamint *egy* 7 lépésből álló algoritmus található, amelyre a szerző Vanelli algoritmusként hivatkozik;
- a 4. fejezetben *egy* Proposion (Proposion 25) bizonyítással és *egy* Algorithm (Algorithm 26) került megfogalmazásra;
- a 5. fejezetben egyetlen tudományos szempontból értékelhető Theorem, Corollary, Proposition vagy Algorithm sem található.

Az értekezésben és a tézisek között is megfogalmazott alkalmazások, a paksi erőmű különböző részeinek a modelljén végzett analitikus és szintetikus feladatok szakmai szempontból érdekesek. Például a DOA-val kapcsolatos vizsgálatok jól illusztrálják a kidolgozott algoritmusok használhatóságát. Ezek a vizsgálatok inkább a fejlesztési és nem a kutatási munkáknak az eredményei. A tézisek jelenlegi megfogalmazásait figyelembe véve az erőművi modellen végzett vizsgálatok eredményei tudományos szempontból nem értékelhetők. A fentiek alapján tudományos szempontból csak a 1. tézis első része, valamint a 2. tézis első része vizsgálható.

A jelölt az 1. tézisében azt állítja, hogy nemlineáris autonóm rendszerek aszimptotikus stabilis origójának vonzási tartományára szolgáló Vanelli és Vidyasagar algoritmusát javította, majd implementálta Mathematica-ban. Ebből a tézisből az algoritmus implementációja a gyakorlat szempontjából rendkívül hasznos lehet, de a tézis megítélése vonatkozásában nem releváns. A 3.1 fejezetben megfogalmazott tézis és algoritmus első ránézésre azonos Vanelli és Vidyasagar cikkében leírtakkal. A 3.1 fejezet rendkívül jelentős, szó szerinti átfedést mutat Vanelli és Vidyasagar 1985-ös Automatica cikkével. Szerencsés lenne, ha a jelölt egyértelműen bemutatná, hogy az 1. tézisben megfogalmazott algoritmus miben tér el, és miben haladja meg a cikkben található megoldást, s a szerző megadná explicit formában, hogy mit ért Vanelli és Vidyasagar algoritmus *javításán*. Az 1985-ös Automatica cikk (63) képletében az egyenlet jobb oldalának harmadik kifejtése első ránézésre is felismerhető formai hibákat tartalmaz, több zárójel lemaradt, több elütés is található benne. A cikkben szereplő szedési hibák nem elvi jellegűek, a tézis bizonyításának menetét nem befolyásolják. Sajnos Rozgonyi Szabolcsnak sem sikerült a kifejezés formailag helyes átrendezése, az

értekezés (3.22) képlete hibás. Az 1. tézisnek az első részét csak akkor tudom új tudományos eredményként elfogadni, ha a jelölt válasza meggyőzően bemutatja, hogy az értekezésben és a cikkben megfogalmazott algoritmusok szignifikánsan különböznek egymástól.

A jelölt a 3.2 fejezetben a paksi erőmű két alrendszerének szabályozását vizsgálta. Mindkét esetben egy két állapotváltozósra redukált folyamatmodell vonzási tartományait határozza meg. Az elemzés során egyszerű arányos visszacsatolást alkalmazott. Az 1. tézis második részét, ami így kezdődik: “A kidolgozott algoritmust egy iparilag releváns rendszerre *alkalmaztam...*”, szép mérnöki feladat, de új tudományos eredményként nem értékelhető. Az 1. tézis második fele verifikálja, hogy az 1. tézis első felében megfogalmazott algoritmus használható. Ezzel a szerző is tisztában van. Ezt mutatja, hogy a 3.2 fejezet így kezdődik: “In this section the algorithm presented above will be demonstrated through a model of the pressurized water reactor in Paks.”

A 2. tézis megfogalmazása nem tézisszerű. Szó szerint így szól: “Két különböző módon vizsgáltam két különböző hibrid, tartományonként másként definiált rendszer DOA-ját.” Tudományos értelemben a tézisnek egy lehetséges értelmezése: tudományos gondolatmenet, kísérleti eredmények sorából levont általánosítható következtetés ismertetése; vagy megfogalmazott állítás vagy tétel, amelyet be lehet/kell bizonyítani. .. Ezeknek a kritériumoknak ez a megfogalmazás nem tesz eleget, vizsgálatok végzése önmagában nem tudományos értékű állítás. A 2. tézisben két egymástól független hibrid rendszerekre alkalmazott DOA algoritmus került bemutatásra. Az első Vanelli és Vidyasagar algoritmusának az alkalmazása. Logikailag ez az altézis az 1. téziscsoportéhoz tartozna. Azzal összekapcsolva új tudományos eredményként lehetne értékelni. A leírtak alapján az értekezés 45. és 46. oldalán megfogalmazottak tekinthetők új tudományos eredménynek. A szerző algoritmust ad tartományonként definiált rendszerek esetén a közös maximális Ljapunov függvény racionális tört formában való közelítésére. De a jelölt ezen a helyen is adós marad az alkalmazott matematikai jelhalmaz geometriai interpretációjával.

Ugyanebben a fejezetben (a 4. fejezetben) megjelenik a hibrid reaktor modell egy analitikus kezeléstechnikája. Bemutatja, hogy egy konkrét két állapotváltozós rendszernél, hogyan lehet a vonzási tartományokat meghatározni. A szerző az eredmények általánosítására nem tesz kísérletet. Valószínűsítem, hogy a tézis ezen része átfogalmazható lenne olyan formába, hogy tudományos értékkel is rendelkezzen. Érdekes, hogy a jelöltnek nem jut eszébe, hogy erre a modellre is be lehetne mutatni, hogy a 4.1 fejezetben leírt kiterjesztett Vanelli és Vidyasagar algoritmus milyen eredmény adna, s a két módszerrel kapott eredményeket össze lehetne hasonlítani, s a két vizsgálati módszert logikailag össze lehetne kapcsolni.

Az olvasónak hiányérzete van az értekezés elolvasása után. Örült volna, ha a DOA-val kapcsolatos új eredményeket a szerző összehasonlította volna az irodalomban található egyéb eljárásokkal is. Példaként említhetném a SOS alapú megközelítéseket. Megmutathatta volna, hogy az általa kifejlesztett algoritmus milyen előnyös tulajdonságokkal rendelkezik az irodalomban fellelhető módszerekkel összevetve. Az olvasó kíváncsi lett volna, hogy kétváltozós rendszernél komplexebb esetben milyen járulékos kihívásokkal kell megküzdeni...

A 3. tézis ismert eszközök alkalmazása egy konkrét erőművi modellre. Ezt egyértelműen jelzi a szerző például a 5. fejezet címében is: *Applicatation of multi-parametric programming...* Az értekezés megítélését jobbította volna ezen fejezet elhagyása. Az alkalmazás az értekezés alapján nem reprodukálható. Például az 5.10 célfüggvényben szereplő súlyok megválasztásáról a szerző nem foglalkozik. A megközelítés számos heurisztikus megközelítést tartalmaz. Mérnöki igényességgel nem vizsgálja az alternatív szabályozótervezési lehetőségeket... Irányítási szempontból a fejezetben vizsgált folyamatmodell egy klasszikus kéttárolós lineáris holtidő mentes rendszermodell, melynek bemenete 5 különböző értéket vehet fel. Irányítástechnikában közismert, hogy állásos jellegű bemenettel rendelkező rendszerek PWM modulációval irányítástechnikai szempontból folytonossá tehetők. Így az értekezés 5. fejezetében szabályozástechnikai szempontból egy közönséges kéttárolós folytonos rendszer irányítása a feladat, amely probléma a szabályozástechnika *elemi* feladatai közé tartozik, s amely probléma MPT használat nélkül is könnyen kezelhető, valamint nem igényel hibrid modell használatot sem. Mindezek figyelembevételével a 3. tézist nem tudom új tudományos eredményként elfogadni.

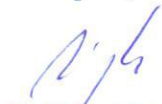
A tézisek publikáltsága

A szerző értekezésében hét saját publikációt sorol fel. A felsorolt valamennyi cikk angol nyelven íródott. Ezek közül kettő impakt faktorról is rendelkezik, az egyik a Kybernetika-ban, a másik pedig Annuals of Nuclear Energy-ben jelent meg. Ezek a 2. tézis eredményeit tartalmazzák. További négy cikk nemzetközi konferenciák kiadványaiban található. A hetedik pedig a SZTAKI belső kiadványaként jelent meg. Ezek alapján megállapítható, hogy a jelölt eredményei kellően publikáltak, a szerző a PhD publikációs követelményeit teljesíti.

Összefoglalás

A fentiek alapján a Rozgonyi András értekezését nyilvános védésre csak azzal a feltétellel javaslom, ha bírálatomra felvetett problémákra meggyőző, érdemi válaszokat ad.

Budapest, 2012. május



Vajk István

DSc, egyetemi tanár

BME Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék