

Bírálat

Dobrowiecki Tadeusz

*Lineárisan approximált nemlineáris rendszerek
multiszinuszos mérés technikája*
című MTA doktori értekezéséről

1. Témaválasztás

Az értekezés a gyengén nemlineáris rendszerek lineáris mérés technikával történő analízisével foglalkozik. Figyelembe kell venni, hogy a nemlineáris rendszerek vizsgálata egy nagyon tág tématerület, így valamely értelemben általánosítható kijelentést gyakran csak akkor tehetők, ha bizonyos megkötésekkel rendelkező esetek vizsgálatára szorítkozunk. Ez történik ebben az értekezésben is, ahol a Jelölt konvergens Volterra-sorokkal leírható nemlinearitással rendelkező rendszereket vizsgál. Mivel a gyakorlatban előforduló rendszerek gyakran ebbe a modellosztályba tartoznak, a kutatott problémakör jelentős következtetések levonására nyújt lehetőséget. A másik fontos megkötés az, hogy Szerző lineáris mérés technikai módszert, konkrétan a multiszinuszos mérőjelek módszerét, kívánja használni a gyengén nemlineáris rendszerek bizonyos tulajdonságainak meghatározásához. Ennek a választásnak számos előnye van, ilyen többek között a rendelkezésre álló mérőeszközök elterjedtsége, azok felxibilitása, ára, stb., összességében tehát viszonylag olcsó és nagyon jól tervezhető mérést lehet a kiválasztott módon elvégezni. A leírtak alapján megállapítható, hogy a vizsgált problémakör alkalmas arra, hogy annak tanulmányozása során elméleti és gyakorlati szempontokból is értékes eredményeket lehessen elérni.

2. Iskolateremtés

Jelölt kutatómunkáját a belga Vrije Universiteit Brussel, Dienst Algemeine Electriciteit en Instrumentatie nemzetközileg is elismert csoportja részeként, később velük folyamatosan együttműködve végezte. Ennek keretében részt vett a tématerület megalapozásában, a disszertáció tézisei pedig e kutatási terület egyes önállóan vizsgált részterületeihez kapcsolódó eredményeit összegzi.

Különösen méltányolandó, hogy az értekezés által tárgyalt problémakör újszerű, iskolateremtő vizsgálati módszerhez kapcsolódik, amelyet a Jelölt publikációs listája is igazol. Hiányolom azonban a magyar társszerzőkkel közös publikációkat, úgy gondolom ugyanis,

hogy a hazai tudomány számára célszerű lenne fiatal kutatók bevonásával nagyobb mértékben bekapcsolódní ebbe a nemzetközi iskolába. A hazai iskolateremtés véleményem szerint a Jelölt feladata lenne. Kérem, hogy nyilatkozzon arról, hogy szándékában áll-e a későbbiekben megalapozni ezt a hazai tudományos iskolát, ha igen, akkor nagyon röviden vázolja ennek tervezett lépéseit.

3. Publikációs tevékenység

A Jelölt disszertációhoz köthető publikációs tevékenysége – véleményem szerint – elegendő az MTA doktora cím elnyeréséhez. Az értekezésben felsorolt, annak témájához kapcsolódó 50 publikáció közül 13 nemzetközi folyóiratban jelent meg. A cikkek magas tudományos színvonalát jellemzi, hogy a Jelölt publikációira kapott független hivatkozások száma 500 feletti. Megjegyzem, hogy a legtöbbet hivatkozást (122) az a Vrije Egyetem kollégáival közösen írt cikk kapta, amely a tágabb tématerületet alapozta meg.

4. Az értekezés formai értékelése

A disszertáció 7 fejezetből (összesen 107 oldal), 321 elemből álló irodalomjegyzékből (ezek közül 50 irodalom a Jelölt saját publikációja) és függelékéből (19 oldal) áll.

Az első fejezet egy példákön keresztül történő bevezetést, majd rövid, de érdemi irodalmi áttekintést és a kutatási célkitűzéseit összefoglalását adja. Szokatlan módon ebben a bevezető fejezetben található a disszertáció téziseinek az ismertetését is. Ez önmagában még nem zavaró, az viszont jelentősen megnehezíti az értekezés olvasását, hogy az egyes tézisekhez tartozó eredmények kifejtése után nem jelenik meg összefoglalásként az éppen tárgyalt eredményekkel alátámasztott tézis kimondása. Megnehezíti az értékelés olvasását az is, hogy az egyes fejezetekben tárgyalt példákat, tételeket és bizonyításokat az olvasónak kell összekapcsolnia a tézisekben megfogalmazott állításokkal. Nehézséget jelent ez még annak ellenére is, hogy a bevezetőben közölt altézisek után Szerző jelöli azt, hogy az adott altézis kifejtését az értekezés mely szakaszai illetve tételei adják. Véleményem szerint a disszertációt a mostaninál logikusabban lehetett volna felépíteni, ha az a téziseket szigorúbban követi.

A második fejezet döntően az értekezés témaköréhez szorosan tartozó alapokat, illetve a 2.1. és 2.2. altézisek kifejtését tartalmazza. A 3–5. fejezetek a további tézisekhez kapcsolódó részleteket tárgyalja. A függelékben a hosszabb bizonyítások kaptak helyet.

A disszertáció jól olvasható, a szövegben és a képletekben található elgépelések, hibák nem zavarják a megértést, ezért a megtalált hibák felsorolásától eltekintek. Nagy segítséget jelentett volna, ha Szerző összefoglaló módon megadja a jelölések jegyzékét, ennek hiányában olvasás közben gyakran jelentős nehézséget okozott az egyszer már bevezetett, de ritkán használt jelölések feloldása.

A disszertációban és a tézisfüzetben közölt ábrák jelentős kívánnivalókat hagynak maguk után. Szinte majdnem mindegyik ábra felbontása nagyon rossz, így – mivel egyben a méretük is gyakran igen kicsi – azok elmosódottsága miatt bizonyos görbék nem láthatók jól, illetve a feliratozás nehezen, vagy egyáltalában nem olvasható. Talán ennél

is jelentősebb hiba az, hogy nagyon sok grafikon tengelyfelirata hiányzik és szinte valamennyi tengelyen hiányzik a skála egységének megadása. Az ábrák kvalitatív információt így is hordoznak, de véleményem szerint egy tudományos munkában döntően olyan grafikonoknak kell szerepelniük, amelyek az olvasó számára reprodukálhatók. Sok esetben hiányoznak az adatok, illetve a grafikonok nem egyértelműek, így a közölt eredmények gyakran nem egyértelműen megismételhetők. Ez a hiányosság nem csak formai, hanem tartalmi hibának is minősül.

A fentiek szemléltetésére megemlítem a 3.6.3. ábrát, ahol a vizsgált lineáris rendszer definíciójából hiányzik a szűrők frekvenciasávjainak és a mérő frekvenciák sávzélességének a megadása. Másik példa lehet a 4.4.2. példa, ahol a tengelyek egységeinek hiányában nem reprodukálható a bemutatott eredmény. További példákat is lehetne hozni a fenti hiányosság bizonyítására, ezektől azonban – mivel a közölt tudományos eredményeket ezek végeredményben nem befolyásolják – eltekintek.

5. A tézisek tartalmi értékelése

Az **1. téziscsoport** a SISO rendszerekhez történő multiszinuszos gerjesztő jelek tervezésével kapcsolatos új tudományos eredményeket foglalja össze. Jelentős megállapításokat tartalmaz, amelyek gyakorlati jelentősége is számottevő. Az 1.1. tézisben Szerző a kétszeresen páratlan (odd-odd) véletlen fázisú multiszinuszos gerjesztőjeleket javasolja. Indoklása szerint – többek között – ekkor a „mérés bizonytalansága nagymértékben csökken”. Ezt az állítását a disszertáció 3.5.1. ábrájával (illetve a tézisfüzet ezzel azonos 3. ábrájával) bizonyítja. Ez a bizonyítás nem támasztja alá az állítást teljes körűen, mivel ez csak egy kvalitatív példa eredménye, amely általánosan csak keveset bizonyít. Hiányzik még az is, hogy valójában kvantitatív módon megfogalmazva mit ért bizonytalanságon a Szerző, és hiányzik annak kvantitatív bizonyítása is, hogy ez a bizonytalanság valóban kisebb a javasolt gerjesztő jel esetében. A bizonyítás természetesen történhet szimulációk sorozatával is, de ekkor olyan példák szisztematikus vizsgálatára van szükség, amelyek valóban lefedik (kifeszítik) az állítás által célzott rendszerek halmazát. A fentiek alapján az *1. téziscsoport téziseit az 1.1. tézis kivételével elfogadom*, az 1.1. tézis elfogadását Jelölt választától teszem függővé.

A **2. téziscsoport** a SISO rendszerek rendszeres nemlineáris hiba tulajdonságaival kapcsolatos megállapításokat foglalja össze. A megfogalmazott eredmények vonatkoznak a legjobb lineáris közelítés torzításának worst-case esetre adott korlátaira, a nemlineáris rendszer koherencia függvényének és a legjobb lineáris közelítés kapcsolatának vizsgálatára, valamint a legjobb lineáris közelítés szuperpozíciójának érvényességének körülhatárolására gyengén nemlineáris rendszerek szuperponálása esetén. A 2.4. tézis egy gyakorlatban jól alkalmazható eljárást fogalmaz meg a legjobb lineáris közelítés mérési idejének csökkentésére. *A 2. téziscsoport téziseit jelentős tudományos eredménynek tartom és elfogadom.*

MIMO rendszerek vizsgálata során elért eredmények egy részét foglalja össze a **3. téziscsoport**. Ki kell emelni, hogy a vizsgált témakör igen összetett, így már a problémafelvetést is külön értékelni kell. A kijelentéseket első lépésben két bemenetű – két kimenetű gyengén lineáris rendszerekre kerülnek megfogalmazásra, később ezek az eredményeket

általánosítja a Szerző MIMO rendszerekre. A megfogalmazott eredmények véleményem szerint jelentősek, így a *3. téziscsoport téziseit elfogadom*.

A **4. téziscsoport** a MIMO rendszerek mérésére használható multiszinuszos gerjesztő jelek tervezésével foglalkozik. Véleményem szerint ez a disszertáció legelőremutatóbb része, hiszen ez – bizonyos értelemben az előző tézisek kiterjesztéseként – egy eddigiekben nem kutatott területen ad a gyakorlatban is jól használható elméleti alapokat. Különösen értékesnek tartom a 4.2. tézist, amely a multiszinuszos gerjesztő jelek aszimptotikus ekvivalenciáját bizonyítja az eddig használt mérőjelekkel, illetve hasonlóan értékesnek tartom a 4.3. tézist is, amely speciális ortogonális multiszinuszos mérőjeleket definiál és azok alkalmazási előnyeit tárgyalja. A *4. téziscsoport téziseit elfogadom*, egyben jelzem, hogy azokat jelentős előrelépésnek értékelem a MIMO rendszerek mérés technikájának elméletében.

6. Összegzés

A benyújtott disszertáció véleményem szerint megfelel az MTA doktora cím elnyeréséhez szükséges színvonalnak, így javaslom annak nyilvános védésre bocsátását.

Budapest, 2017. május 20.

Pávó József
MTA doktora
egyetemi tanár
BME Szélessávú Hírközlés
és Villamosságtan Tanszék