

Bírálat  
Bank Balázs:  
*Logaritmikus frekvenciafelbontású szűrőtervezés audio  
alkalmazásokhoz*  
című MTA doktori értekezéséről

## 1. Témaválasztás

Az értekezés olyan új szűrőtervezési eljárásokkal foglalkozik, amelyek kielégítik az audio eszközök és alkalmazások által támasztott speciális kívánalmakat. Egy adott szűrő minőségét az határozza meg, hogy milyen pontosan tudja követni azt a frekvenciamenetet, amelyet annak specifikációja megad. Audio alkalmazásoknál ezt a pontosságok végső soron egy szubjektív elem, az emberi hallás határozza meg. Gyakorlati tapasztalatok bizonyítják, hogy azok a szűrők a jók, amelyek a frekvencia szerinti logaritmikus skálán egyenletesen jól közelítik a specifikációt. Tapasztalati tény továbbá, hogy a frekvencia szerinti nagyon gyors változások simítása nem befolyásolja a szűrő jóságát. A Jelölt által bemutatott új eljárások elsősorban e kívánalmak hatékony kielégítését célozzák.

A vizsgált témakör a nemzetközi irodalomban aktívan kutatott, időszerű és jelentős. A témakörhöz kapcsolódó mérnöki alkalmazások számossága folyamatosan nő, így az értekezésben megfogalmazott tézisek gyakorlati jelentősége is számottevő.

## 2. Iskolateremtés

Jelölt az értekezésben bemutatott eredményeit megalapozó kutatásait a Helsinkii Műszaki Egyetem (mai nevén Aalto Egyetem) Akusztikai és Audio Jelfeldolgozás Laboratóriumában indította 2007-ben. Publikációit a mai napig döntően külföldi társszerzőkkel együtt jegyzi, amely kiterjedt és élő nemzetközi kapcsolatait bizonyítja. Az általa kidolgozott szűrőtervezési eljárásokkal egy iskolát alapozott meg a szakmában, értekezésében hivatkozik olyan külföldi szerzőkre is, akik az ő eredményeiből kiindulva közöltek új módszereket. Ez is bizonyítja a disszertációban leírtak iskolateremtő erejét.

A hazai iskolateremtés eredményei azonban még nem értek be, Jelölt publikációs listája alapján az eddigiekben egyelőre csak egy hazai társszerzővel (a Jelölt vezetése alatt álló doktorandusszal) jelentetett meg rendszeresen eredményeket. Remélhetőleg a közeli jövőben a téma hazai iskolájának megerősítése is meg fog történni.

### 3. Publikációs tevékenység

A Jelölt disszertációhoz köthető publikációs tevékenysége megfelel az MTA doktora cím elnyeréséhez támasztott követelményeknek. Az értekezésben felsorolt, annak témájához kapcsolódó 37 publikáció közül 15 nemzetközi folyóiratban jelent meg. A Jelölt cikkeinek magas tudományos színvonalát általánosan jellemzi, hogy a publikációira (beleszámítva azokat is, amelyek nem kapcsolódnak a disszertáció témájához) kapott független hivatkozások száma 500 feletti. Az értekezés témájához kapcsolódó legtöbbet hivatkozott cikke 22 független idézéssel rendelkezik, ez az a cikk, amely a tématerületet egyik megalapozó publikációja. A 22 idézetből 6 disszertációban jelent meg, ez a tény is alátámasztja a fentebb említett iskolateremtést.

### 4. Az értekezés formai értékelése

A disszertáció 10 fejezetből (összesen 100 oldal), 163 elemből álló irodalomjegyzékből (ezek közül 37 irodalom a Jelölt saját publikációja) és 6 pontból álló függelékből (11 oldal) áll.

Jelölt a disszertációját azzal a igénnyel írta meg, hogy az – a tudományos állítások közzétételén és bizonyításán túl – referenciaként szolgáljon azoknak, aki a témakörrel ismerkednek. Az első öt fejezet tehát az eredmények alapjául szolgáló előzmények didaktikus bemutatásával foglalkozik. Ezek a fejezetek kitűzik a megoldandó feladatot, ismertetik a megoldáshoz eddigiekben használt eljárásokat és értékeli azokat. Úgy vélem, hogy ezek a fejezetek nagyon jól szolgálják a kitűzött célt, olvasmányosak és kiválóan alapozzák meg az értekezés elkövetkező részeit. Összességében az első öt fejezet nagyban segíti az olvasót.

A 6. – 9. fejezetekben a négy tudományos tézis kerül kifejtésre, a 10. fejezet az összefoglalást és a kitekintést tartalmazza.

A disszertáció jól olvasható, nyelvezete világos, a szövegben csak kisebb, a megértést nem zavaró elgépelések vannak. Az ábrák áttekinthetőek és informatívak. A részletes ábraaláírások nagyon jól segítik a mondanivaló megértését.

### 5. A tézisek tartalmi értékelése

A tézisek kifejtése kapcsán többnyire megállapítható, hogy az állítások bizonyítására Jelölt csupán egy szemléletes példát mutat, amelyen keresztül összehasonlítja az általa kidolgozott eljárás eredményét az irodalomból ismertekkel. Gyakran ezek a példák szolgálnak annak bizonyítására, hogy a kidolgozott eljárás jobb az azonos feladat megoldására szolgáló egyéb módszereknél. Egy példa vizsgálata mindazonáltal nem tekinthető kimerítő bizonyításnak. Természetesen érezhető, hogy a Kautz-szűrő és az ezzel azonos pólusokat tartalmazó párhuzamos másodfokú szűrőket tartalmazó struktúra ekvivalenciája alapján a bizonyítások többnyire visszavezethetők a Kautz-szűrők kapcsán már kidolgozott bizonyításokra. Ennek a ténynek és következményeinek tárgyalása viszont nem eléggé hangsúlyos a tézisek bizonyítása során.

Nyilvánvaló, hogy a bizonyos jellegű szűrő specifikációk jobban, más jellegűek pedig kevésbé pontosan valósíthatók meg a javasolt struktúrákkal. A disszertáció sajnos nem

részletezi azt, hogy a specifikációk tulajdonságaitól függően milyen pontossággal lehet megvalósítani azokat a javasolt eljárással. E tekintetben zavaró az, hogy a szűrő tulajdonságainak bemutatása csak egy szabadon választott specifikáción keresztül történik meg, azonban nem kerül megvitatásra az, hogy a specifikáció jellegétől függően milyen megvalósításra számíthat az, aki a kidolgozott módszert követi.

Összességében tehát gyakran nem eléggé hangsúlyosak a bemutatott eljárások bizonyítása és annak diszkussziója, hogy mely típusú szűrőspecifikációk milyen pontossággal állíthatók elő a bemutatott módszerekkel. Ugyanakkor, figyelembe véve, hogy a rigorózus matematikai bizonyítás gyakran nehézségekbe ütközhet (gondoljunk csak arra, hogy már maga a célfüggvény is a szubjektív módon kiértékelhető hangzáson alapul, amely matematikai megfogalmazása már önmagában is nehézségeket okoz), valamint azt, hogy az egyes eljárások eredményeinek részletes diszkutálása – a bemutatott eljárások számossága okán – szétfeszítené az értekezés kereteit, úgy értékelem, hogy a disszertáció a jelen formájában is *tudományosan értékes és jelentős eredményeket tartalmaz*. Ebből adódóan a most megfogalmazott kifogásokat egy-két kivételtől eltekintve nem fogom az egyes tézisek értékelése során megismételni.

Az **1. tézis** a párhuzamos másodfokú szűrők fix pólusú tervezésének módszertanáról szól. Jelölt bemutatta a kidolgozott eljárást, amely segítségével közelíteni lehet akár a megadott impulzusválaszt, akár az átviteli karakterisztikát. Bemutatta, hogy a kidolgozott eljárás eredményeként kapott szűrő ekvivalens a Kautz-szűrővel, amennyiben mindkét típusú szűrőnél ugyanaz a választott póluselrendezés. Megmutatta továbbá, hogy a párhuzamos szűrő fix pólusú tervezése a célátvitel komplex simításának megfelelő szűrőátvitelt eredményez, kapcsolatot teremtett a simítás jellege és a pólustávolság között. Az ebben a tézisben közölt eljárás az alapja a 3. tézisnek is. *Az 1. tézist, annak három altézisével együtt elfogadom új tudományos eredményként.* A közölt eljárásokkal kapcsolatban a következő két kérdés merül fel:

- Hogyan bizonyítható a 6.2.3. szakaszban bemutatott iteratív eljárás konvergenciája?
- Matematikailag bizonyítható-e az, hogy a pólusok frekvenciájának logaritmikus választása vezet a legjobb approximációhoz?

A **2. tézis** három új póluselrendezési módszert közöl, amely segítségével egy adott specifikáció pontosabban közelíthető azonos fokszámú szűrővel, mint ahogyan az megtehető volt az eddigiekben az irodalomban alkalmazott póluselrendezések esetében. Ezek szerint: (i) módszert adott a célátvitel hullámosságán alapuló póluselrendezés meghatározására, (ii) kidolgozta az egyszerű warpolt IIR szűrő tervezésén alapuló módszer kétsávós változatát és (iii) megalkotta az ún. „custom warping” eljárást, ahol a warpolt IIR szűrő tetszőleges monoton, folytonosan deriválható frekvenciatranszformáció alapján tervezhető. *A 2. tézist, annak három altézisével együtt elfogadom új tudományos eredményként.* A tézissel kapcsolatban felmerülő kérdés:

- Az értekezésben összehasonlítja az egyes póluselrendezési eljárások eredményét egy adott szűrő esetében (7.6. alfejezet), kvalitatív megfontolások alapján elemzi, hogy mely esetekben lehet célszerű egyik, vagy a másik módszer alkalmazása (7.5. alfejezet). Meg lehet-e fogalmazni bármilyen kvantitatív kritériumot arra vonatkozóan,

hogy mely szűrő specifikációt milyen póluselrendezésre támaszkodva a leggazdaságosabb megtervezni?

A **3. tézis** az 1. tézisben tárgyalt fix pólusú párhuzamos szűrők tervezésére kidolgozott eljárást kiterjeszti MIMO rendszerekhez alkalmazott szűrők tervezésére. A bemutatott módszerrel – a közös pólusok alkalmazása okán – jelentős számításigény-csökkenés érhető el. *A 3. tézist mindkét altézisével együtt elfogadom új tudományos eredményként.*

A **4. tézisben** Jelölt megmutatta, hogy a hagyományos struktúrához képest numerikus szempontból előnyösebben megvalósítható az a szűrő, ahol a szűrő IIR részének válasza nem lapolódik át a párhuzamos FIR rész válaszával. Véleményem szerint ez az állítás egy speciális megjelenése a numerikus számításoknál nagyon gyakran megjelenő ún. „kioltási hibának” (catastrophic cancellation). Nyilvánvaló, hogy ezt a hibát legjobban úgy kerülhetjük el, ha nem történik meg a kivonás. Annak ellenére, hogy a probléma és annak kezelése általánosságban jól ismert, annak felismerését és elkerülésére tett javaslatot a digitális szűrőtervezésben elfogadom új eredményként. Értékes eredmény az is, hogy nagy foksámú rendszerekre numerikusan stabil megoldás került megfogalmazásra. Annak ellenére, hogy az első három tézist nagyobb jelentőségűnek ítélem, *a 4. tézist is elfogadom új tudományos eredményként.* A tézis leírása során a következő hibákat találtam:

- A (9.13) kifejezés nehezen értelmezhető, feltehetően itt valami hibás. Ha  $\tilde{h}(i)$  közelíti  $h(i)$ -t ( $i > M + 1$ ), akkor a (9.11) és (9.12)-ből az következne, hogy (9.13)-ban az  $m_l(i)$  és  $m_l(i - 1)$  függvények  $M + 1$ -el eltolt értékei vannak.
- A (9.14) alatti második sorban van egy elírás: „ $\tilde{b}_{l,0}$  and  $\tilde{b}_{l,0}$  values.” helyett „ $\tilde{b}_{l,0}$  and  $\tilde{b}_{l,1}$ ” values.

## 6. Összegzés

A benyújtott értekezés tudományos eredményei véleményem szerint megfelelnek az MTA doktora cím elnyeréséhez szükséges színvonalnak, így javaslom az értekezés nyilvános védésre bocsátását.

Budapest, 2022. május 18.

Pávó József  
MTA doktora  
egyetemi tanár

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék