

Opponensi bíráló Bank Balázs

“Logarithmic Frequency Resolution Filter Design for Audio Applications” c. doktori értekezéséről

Készítette: Tar József

2022. augusztus 23.

1. A témaválasztás aktualitásának értékelése gyakorlati és tudományos szempontból

Az értekezés fő célja egy koherens összefoglaló kép kialakítása volt a Szerző korábbi, szűrőtervezés területén kifejtett munkásságáról abban a reményben, hogy ezzel a jelfeldolgozással foglalkozó tudományos közösség tagjainak segítséget nyújthat. Nevezetesen, a korábban létező módszereknél jobb szűrő-közelítéseket kívánt úgy kidolgozni, hogy maga az eljárás viszonylag egyszerű, így könnyen megvalósítható legyen.

Az audiofilterek tervezése egy gyakorlatilag nagyon fontos iparág. Mindennapjaink tele vannak olyan eszközökkel, amelyek az ilyen szűrőtervezési módszerek eredményeit használják. E területen erős ipari verseny is jelen van, így nyilvánvaló, hogy **az értekezés témaválasztása gyakorlati szempontból nagyon aktuális.**

A tudományos aktualitás értékelésénél figyelemmel kell lenni arra, hogy a terület feladata az emberi hallás kiszolgálása, s ebből a körülményből kiindulva a kutatási téma matematikailag erősen leszűkíthető. Ebből adódóan **a várható tudományos újítások nem a matematika, hanem a mérnöki alkalmazások területén jelennek meg,** és ebben a körben értékelhetők tisztességesen és helyesen.

Annak ellenére, hogy ez a terület matematikai értelemben eléggé „leszűkített” műveletek alkalmazási körével kezelhető, ezek használatának konkrét módja számos újítás és speciális megoldás megjelenésére vezethet, és ebben az értelemben **az értekezés témaköre tudományos szempontból is izgalmas és aktuális.**

A matematikai értelemben vett leszűkítések inkább az alkalmazott tudományos módszerek értékelésében játszanak szerepet, így bírálatomban ott foglalkozom velük.

2. Az alkalmazott kutatási módszerek értékelése tudományos szempontból

Munkájában a Szerző frekvenciatartományát tekintve az emberi fül számára érzékelhető „szeletében” működő szűrőkre koncentrált, amelyek kimondottan alacsonyak pl. a távközlésben használt frekvenciákhoz viszonyítva, így kidolgozott eredményeinek megvalósítására ma vélhetően minden technikai lehetőség adott: bármilyen matematikai formájú eljárás, amely megfelel az okság elvének, numerikus processzorokkal és programokkal, esetleg részben analóg elemek használatával megvalósítható, így a Szerző nincs arra rászorítva, hogy hagyományosan speciális passzív elemekből összerakható struktúrákat kelljen kidolgoznia, vagy csak ezek működését kelljen szimulálnia. (A magasabb frekvenciájú jel-komponenseket az emberi fül úgyis automatikusan kiszűri.)

Ebben a helyzetben a rendelkezésre álló nagy számítási kapacitásokat igen kifinomult szűrők implementálására lehet felhasználni, így a konkrét módszerek számítási igénye a tényleges megvalósíthatóság

szempontjából nagyon is érdekes praktikus kérdés, amelyre a Szerző figyelemmel van munkásságában. A megvalósíthatóságot illetően figyelembe veszi a párhuzamosítási lehetőségeket a GPU struktúrák felhasználásával is.

Tekintettel arra, hogy a tervezett szűrőknek az emberi hallás igényeit kell kiszolgálnia, és az összes praktikus hangtani alkalmazás megfelelőnek tekinti az emberi fül tulajdonságainak modellezését egy logaritmusos skálájú „felbontási finomsággal” a hallható tartományon belül, a Szerző tudatosan szűkíthette kutatásait egy ilyen jellegű felbontásra. E modellek használhatósága valószínűleg azon alapul, hogy a kifeszülő dobhártyát mint membránt nagyon gyenge külső rezgések gerjesztik, amelyekre e rendszer fizikai viselkedése jól közelíthető konstans együtthatójú lineáris modellel, s e modellek leírására a frekvenciakép alkalmazása releváns és kényelmes matematikai lehetőség. Emiatt a Jelölt bátran támaszkodhatott arra, hogy hasonló tulajdonságú szűrőket tervezzen szintén a frekvenciakép használatával, amire a Fourier vagy Laplace transzformáció és azok inverzei felhasználásával juthatna. (A hangtanban a gyakorlatban a frekvenciától függő különböző súlyozásokat használnak a hangérzékelés leírására. Ami az érzékelés leírásában „nemlineáris” modell-elem lehetne, pl. az ingerületek terjedése az idegrendszerben, és magának az „érzetnek” a kialakulása az emberi agyban, a hagyományos hangtan területén kívül esik, így azokkal a Szerzőnek sem kell foglalkoznia. Elegendő azt vizsgálnia, hogy milyen jellegű ingert kap a fül a frekvenciaképben adott leírás szerint.)

Mivel digitális eszközök használatára tervez, e kép itt is tovább egyszerűsíthető a „Z transzformáció” alkalmazásával: a Szerző legkényelmesebben gondolatait a Z transzformáltak használatával tudja megfogalmazni, kifejezni.

Fontos megjegyezni, hogy az általános mérnöki gyakorlatban a külső gerjesztéseket az ún. „gyorsan fogyó alapfüggvények” segítségével modellezik, amelyek véges tartójú, végtelenül sokszor folytonosan differenciálható függvények, és a disztribúcióelmélet alapját is képezik. Így kiválóan alkalmasak véges időtartamú, finoman felfutó majd lecsengő hanghatások modellezésére is.

Technikai szempontból e függvények kellemes tulajdonsága, hogy a frekvenciaképben nincsenek szingularitásaik, így pl. az inverz Laplace transzformáció használata esetén az inverziós kontúr stabil [azaz a gerjesztett rendszer átviteli függvénye pólusokat csak a bal félsíkon tartalmaz] és kauzális [az átviteli függvény pólusait az inverziós kontúrnak jobbról kell megkerülnie] rendszer esetén egybeeshet a képzetes tengellyel, és az integrálásban kizárólag a tekintett szűrő átviteli függvényének szingularitásaival, pólusaival kell foglalkozni.

További előny, hogy e tengely mentén haladva a felintegrálandó jelek bármilyen véges $n \in \mathbb{N}$ értékhez tartozó $|s|^{-n}$ típusú függvénynél gyorsabban tartanak nullához, tehát az átviteli függvényt sem kell nagyon széles frekvenciatartományon pontosan közelíteni: az inverziós integrálban a nagyfrekvenciájú részeket magának a gerjesztő függvénynek a Laplace-transzformáltja vágja le igen hatékonyan.

A Szerző a szakterület alapkoncepcióit és hagyományosan alkalmazott módszereit foglalja összefoglalja egy fejezetben (Chapter 2). Ebből levonható az a következtetés, hogy matematikailag a szűrőtervezés a tervezett struktúra LTI rendszerekből összeállított átviteli függvénynek a „megközelítendő függvény” frekvenciatérben vett diszkrét pontjaiban vett eltérései valamilyen, általában súlyozott összegéből előálló költségfüggvény minimalizálásából áll. Ez egy nagyon általános keret, amelynek kitöltése erősen függ attól, hogy milyen átviteli tulajdonságot kívánunk a gyakorlatban, ha nem is „megvalósítani”, de „jó közelíteni”, és attól, hogy ezt a „jó közelítést” milyen, a gyakorlatban kényelmesen implementálható struktúrákkal kívánjuk előállítani. A „jó megközelítés” fogalma magában foglalja, hogy csak az „audio” (azaz kb. a 20 Hz-től 20 kHz-ig terjedő) tartományról van szó, amelyen belül az emberi fül érzékenysége is erősen változik. A költségfüggvény minimalizálására számos, gyakorta heurisztikus módszer áll rendelkezésre. Világos, hogy ennek a nagyon tág keretnek sokféle konkrét kitölthetősége van, és hogy a digitális technika fejlődésével a ténylegesen implementálható megoldások köre is bővül, azok számítási igényeitől függően. Az adott szakterület jóformán kimeríthetetlen.

Részletesebben tekintve a problémát, az 5. fejezetben a Szerző saját munkájának kiinduló pontjával szolgáló Kautz szűrő tulajdonságaival foglalkozik. A Szerző megjegyzi, hogy 4. fejezetben említett egyetlen

paraméters „warping” technika nem igazán elégséges a kb. 20 Hz-től 20 kHz-ig terjedő audioskála jó minőségű széthúzásához. Az abban felvetődött alkalmi ötlet, azaz több ilyen széthúzás alkalmazása több paraméterrel, tovább volt általánosítható úgy, hogy minden egyes tag különböző „warping” paraméterrel legyen tervezhető. Az ötlet első változatának módszeres vizsgálata kiderítette, hogy érdemi minőségi javulást így csak nagy számítási komplexitás árán lehetett volna elérni, tehát az implementálhatóság szempontjából az nem bizonyult kifizetődőnek. Erre a problémára adott megoldást Kautz egy 1954-ből származó ötlete, amelyet annak idején paraméter-azonosításra használtak abban az értelemben, hogy a rendszer válaszát ortogonális függvényrendszerekkel fejtették ki, és a skalárszorzat segítségével, mivel azok speciális polinomokra általában zárt alakban is kiértékelhetők, már a régi számítógépekkel is valamennyire kezelhető, megoldható problémákhoz jutottak. Az egyik lehetőség az Oliveira és Silva által 1995-ben a szűrőtervezésbe bevezetett Laguerre struktúra általánosítása volt. Ebben a struktúrában egyetlen „warping parameter”-ként értelmezhető paraméter szerepelt. Kautz ezt a Laguerre struktúrát általánosította olyan formára, amelynek tagjai implementálható filterekként voltak értelmezhetők. Az ezekben előforduló polinomok komplex pólusokkal is rendelkeznek, amelyek az időtartományban hullámozó lecsengésnek felelnek meg. Ez a valós átvitelű rendszerek estén annyi megszorítással szűkül, hogy a komplex pólusoknak egymás komplex konjugáltjának kell lennie. Ebből adódóan keletkeztek jól implementálható struktúrák Kautz ötlete nyomán („**Figure 5.1: The structure of the Kautz filter with real coefficients.**”).

Az első önálló tudományos eredmények megjelenésére annak az ötletnek a vizsgálata vezette a Szerzőt, hogy lehetne-e egyszerűsíteni a Kautz szűrőt az implementálhatóság szempontjából úgy, hogy annak fizikai működése lényegileg ne változzék. Az ötlet matematikailag abban áll, hogy ortonormált polinomok helyett lehet általánosabb, nem ortonormált bázist is felhasználni ugyanannak a mennyiségnek a kifejtésére. Ebben az esetben az ortonormalitásra vonatkozó erős kötöttségektől meg lehet szabadulni. Az illesztéshez így a megadott, pólusokkal és zérusokkal definiált tört struktúrát egyszerűen parciális törtrekre bontja, és ezután végez illesztést ezzel a formával.

Összefoglalva megállapítható, hogy a Szerző által alkalmazott módszerek, amelyek a tervezendő szűrő átviteli függvényének a frekvenciakép egy részén történő megadására koncentrálnak, többnyire pólusok és zérusok megadásával, tudományos értelemben relevánsak és elégségesek a kitűzött célok elérésében, az előforduló feladatok megoldásában. Tudományos értelemben a Szerző tevékenysége matematikailag szigorúan megalapozott, és minden tekintetben megfelel korunk általános követelményeinek.

Technikai szempontból külön értékelendő, hogy a Szerző **korszerű szimulációs eszközök** (MATLAB és Octave kódok) felhasználásával is bemutatja eredményeit.

3. A doktori értekezés formai értékelése

Az értekezés a következő fő részekből épül fel: egy *Preface* c. „előszó”-ban a Szerző ismerteti legfőbb céljait és motivációit. Egy teljes fejezetet (Chapter 1) szentel annak indoklására, hogy a hangtani alkalmazások miért igénylik a logaritmikus frekvenciskála használatát, és hogy emiatt a véges impulzusválaszú (FIR) és a végtelen impulzusválaszú (IIR) szűrők tervezésére kidolgozott általános technikák miért veszítik el kényelmes hangtani használhatóságukat. Itt veszi sorba azokat a speciális szűrő struktúrákat, amelyeket nem egyenletes frekvenciafelbontásra dolgoztak ki.

A következő (Chapter 2) fejezet a szakterület alapkoncepcióit és hagyományosan alkalmazott módszereit foglalja össze.

A 3. fejezet „*Chapter 3: Fractional-octave smoothing*” címmel a szűrők átviteli függvényére gyakran alkalmazott „törtalakú” simítási technikákat elemzi és foglalja össze. Ebben az „oktáv” kiemelt jelentősége talán a hangok képződéséhez kötődik: két végén lefogott húr rezgésénél az első felharmonikus frekvenciája duplája az alapfrekvenciának, azaz általános, a peremfeltételeket kielégítő húrrezgéseknél ezek a frekvenciák együtt jelentkeznek a legerősebben, és mindig együtt érzékelhetők, ami a „hangszín” fogalmának kialakulására vezetett. Ezt a tényt nyilván érdemes figyelembe venni a szűrőtervezésben is.

A 4. fejezet a hagyományos „warping” technikát tárgyalja, amelynek segítségével a FIR vagy IIR szűrők egyszerű késleltetési tagjait kicserélik olyan paraméteres „allpass” szűrőtől függő tagokkal, amelyek alacsony frekvencián 1, végtelen nagy frekvencián -1 értékhez közelítő átviteli függvényvel bírnak, és az adott paramétertől függ, hogy a $[0, \infty]$ tartományon belül hol helyezkedik el a 180-os fordulat felét kitevő 90 fokos fázistolási érték. Ezzel az alacsony frekvencia körüli skálát „ki lehet nyújtani” egy finomabb felbontású skálára az alkalmazott paramétertől függően, és ezt ki lehet használni a szűrőtervezésben. A módszer további változatait is tárgyalja a fejezet.

Az 5. fejezet a logaritmikus felbontású frekvenciaskálán alkalmazott egyik korábbi technikával, a Szerző saját munkájának kiinduló pontjául szolgáló Kautz szűrő tulajdonságaival foglalkozik. Tudomásul véve a tényt, hogy a 4. fejezetben említett egyetlen paraméters „warping” technika nem igazán elégséges a kb. 20 Hz-től 20 kHz-ig terjedő audioskála jó minőségű széthúzásához, ebben a fejezetben hasonló jellegű, de többféle warping paraméterrel történő megoldásokat vizsgál Kautz egy 1954-es ötlete alapján, ami egy egyparaméteres Laguerre struktúra általánosításán alapult.

Az önálló új tudományos eredmények a 6. fejezetben jelennek meg a párhuzamos, másodrendű szűrők fixált pólusú tervezésére vonatkozóan. E fejezetben a Szerző összehasonlítja azok jellemzőit a Kautz szűrő tulajdonságaival, és az átviteli függvény simítására alkalmazott technikákhoz való viszonyát is bemutatja.

A 7. fejezetben a Szerző azt a technikát mutatja be, amelyet a pólusok pozícionálására dolgozott ki, és összeveti azok jóságát a korábbi technikák jóságával.

A 8. fejezet a Szerző egyes tervezési elképzeléseinek kiterjesztését mutatja be többcsatornás rendszerekre, amelyekben „Multiple Input, Multiple Output” rendszerek kezelését kell megoldania.

A 9. fejezet a késleltetett párhuzamos szűrők javított matematikai tulajdonságairól szól, a hagyományos tervezési módszerek tulajdonságaihoz viszonyítva.

A 10. fejezet összefoglalja az eredményeket, azok jelentőségét és alkalmazását emeli ki.

Az értekezés teljes terjedelme 132 oldal úgy, hogy maga a „törzsanyag” a 121. oldalon zárul, és a maradék egy 6 pontból álló függelék tartalmaz, részletes számítási eredményekkel.

Mivel a tézisekhez tartozó legtöbb tudományos közlemény egyetlen szerzője maga a Jelölt, abból a néhány közleményből, amelyet szerzőtársakkal együtt írt, csak azokat az eredményeket használja fel, amelyek a sajátjai. Ezért elkülönül egymástól a saját publikációk listája, a 10.1. szakaszban pedig adott egy lista, amely azon közleményeket tartalmazza, amelyekközvetlenül nem tartoznak a tézisekhez, csupán az értekezés témaköréhez köthetők, és külön adottak a téziseket alátámasztó közlemények.

Az értekezést formai szempontból érheti némi kritikai megjegyzés azért, mert az előforduló rövidítések, mint pl. a *FIR filter* (Finite Impulse Response), *IIR filter* (Infinite Impuse Response), *WIIR filter* (Warped Infinite Impulse Response Filter), *WFIR filter* (Warped Finite Impulse Response Filter), *Kautz filter*, *WizFIR* (*warped individual z FIR filters*) nincsenek az első előfordulásuk helyén vagy legalább egy rövidítések jegyzékében definiálva. A Szerző számára ezek a rövidítések nyilvánvalóan triviálisak, de egy „átlagos olvasó” számára, akinek fő foglalkozási területe nem a szűrőtervezés, nem annyira otthonosak.

Összefoglalva megállítható, hogy az értekezés formailag gondosan megszerkesztett, szép és rendkívül igényes munka, kiváló angol nyelvhasználattal.

4. Kérdés

Ha jól értem az értekezés lényegét, a megoldandó konkrét feladatok sokszor „egyedi jellegűek”, amennyiben egy adott technikai eszközökkel felszerelt terem sajátos akusztikai tulajdonságaihoz kellhet szűrőket tervezni úgy, hogy azok segítségével a rendelkezésre álló eszközök kielégítő minőségű működést tudjanak produkálni. Ezzel szétválasztható egymástól az implementáció és a tervezés problémaköre, és a tervezés időszükséglete mint egy optimalizációs feladat időszükséglete önmagában is érdekes kérdés lehet.

Az értekezés a legkisebb négyzetek módszerét, vagy az annak 6. oldalán megadott L_p normák használatát említi, noha ezek a normák eléggé számításigényesek. A legkisebb négyzetek használata általában akkor előnyös, ha valamilyen gradiens módszeren alapuló technikával optimalizálunk. Lát-e a Szerző arra lehetőséget, hogy az általa javasolt struktúrák illesztésére nem deriválható, a lokális minimum környékén gyorsabban változó és primitívebb normákat alkalmazzon, amelyekből összeálló költségfüggvényét evolúciós eszközök segítségével (pl. részecske raj optimalizáció) is lehetne minimalizálni?

5. A tézisek értékelése, nyilatkozat a tézisek elfogadásáról

Az értekezés tézisei az általános matematikai formai keretbe beleillő számos technikai részlet gyakorlati szempontból könnyű megvalósíthatóságából állnak. Ennek megfelelően a **Jelölt valamennyi tézisét elismerem új tudományos eredménynek a műszaki tudományok terén.** A tézisek lényegét, amennyiben sikerült azokat világosan megértenem, a következőkben próbálom összefoglalni:

1. Tézis: A Szerző megalkotott egy *tervezési módszertant*, amelynek használata nagy fokszámú átviteli függvények modellezése esetén célszerű. Ebben párhuzamos másodfokú szűrők tervezését végzi oly módon, hogy az a lefedendő frekvenciatartományban tetszőlegesen elhelyezhető pólusokkal dolgozik (ezek paraméterei fixek a kívánt átviteli függvényhez illesztendő struktúrában), míg a többi paramétert a résztortekre bontási forma a számlálóban tartalmazza, és ezeket a paramétereket kell a fittelés folyamán beállítani. A fittelésre a Szerző a legkisebb négyzetek formáját használta. Miután ehhez az ötethez a Szerző a Kautz szűrők tanulmányozásából jutott el, módszerének hatékonyságát összehasonlította a Kautz szűrő hatékonyságával, azzal összemérhetőnek találta, és kimutatta, hogy az általa javasolt struktúra implementálása sokkal egyszerűbb, mint a Kautz szűrőké.

A tézishez szorosan kapcsolódó eredményeket a Szerző egy konferencia cikkben [Bank 2007] és három folyóiratcikkben tette közzé [Bank 2008], [Bank 2011b] (IEEE Signal Process. Lett.), [Bank]2013a] (J. Audio Eng. Soc.) és egy konferenciacikkben tette közzé.

2. Tézis: Olyan modellezési feladatok megoldására, amelyekben nem nagyon nagy fokszámú átviteli függvények közelítése a cél, mind az 1. Tézisben adott forma, mind pedig a Kautz szűrők használatának lehetőségét lehetővé tette azzal a kiegészítéssel, hogy módszert dolgozott ki az azokban előforduló pólusok célszerű megadására. Megmutatta, hogy azonos fokszám mellett végezve az összehasonlítást, logaritmikus frekvenciafelbontás mellett potosabb modelleket képes kidolgozni, mint amelyek a hagyományos módszerekkel érhetők el. A kidolgozott módszer a korábbi „manuális” tervezési módszerek kiváltására alkalmas, nagyobb pólussűrűséget alkalmaz a kritikus frekvenciatartományokban mint az egyéb tartományokban, és ilyen értelemben „takarékosan” gazdálkodik az implementálandó struktúra méretével.

Az eredményeket a Szerző két folyóiratcikkben [Bank 2013a] (J. Audio Eng. Soc.), [Bank and Ramos 2011] (IEEE Signal Process. Lett.) és két konferenciacikkben [Bank 2011c], [Bank 2013c] jelentette meg. Egyértelműen nyilatkozott saját tudományos járulékáról a [Bank and Ramos 2011] közleményre vonatkozóan.

3. Tézis: E tézis annak felismerésén alapul, hogyha szimultán kell szűrőket tervezni *fizikailag egymástól függetlenül működő több csatornára*, akkor a korábbi tervezési módszerei valamennyi csatornára egymástól független póluskészlet és egyéb illesztett paraméter megadását igénylik. Ebben az esetben a „Multiple Input – Multiple Output (MIMO)” struktúra használatát csupán üres matematikai formalitás. A MIMO

formalizmus újfajta kiaknázása lehet az a helyzet, amelyben **a kapcsolat nem a modellezendő fizikai rendszerek fizikájában** valósul meg, hanem **a tervezési eljárásban**, amelyet a szerző azzal egyszerűsített, hogy az egyes csatornákra közös póluskészlettel rendelkező modelleket kívánt ráfittelni. Ez az eljárás az egyes csatornák vonatkozásában kompromisszumot jelenthet. A Szerző kimutatta, hogy a tervezési folyamat egészének komplexitása és az implementálandó struktúra komplexitása is redukálódik. (A Szerző óvatosan utal arra, hogy a különböző csatornák működése között általában fizikai kapcsolat is lehetséges, ami további indokul szolgálhat a közös póluskészlet használatának relevanciájára.) Továbbá, számolva azzal a gyakorlati tapasztalattal, amely szerint elvileg tudottan passzív rendszerekre a numerikus hibák miatt gyakorta aktív modellt kapnak, amelynek más rendszerekbe való belillesztése általában stabilitási problémákat okozhat, olyan módszert is kidolgozott, amely garantálja az illesztett modell passzivitását.

Az eredményeket a Szerző egy folyóiratcikkben [Bank 2018b] (J. Audio Eng. Soc.) és egy konferenciacikkben [Bank and Karjalainen 2010] jelentette meg. Egyértelműen nyilatkozott saját tudományos járulékáról a [Bank and Karjalainen 2010] közleményre vonatkozóan.

4. Tézis: A tézis lényege annak felismerése, hogy a résztörtekre bontott alak, amely IIR és FIR szűrők párhuzamos alkalmazásaként interpretálható, akkor okoz dinamikai problémákat, amikor az IIR rész válasza „átlapolódik” a „FIR” rész válaszával. Az átlapolódás elkerülésére az IIR részre késleltetést vezetett be, és megmutatta, hogy ez a struktúra egy numerikusan jól illeszthető, robusztus modellnek felel meg.

Az eredményeket a Szerző egy folyóiratcikkben [Bank 2018a] (IEEE Signal Process. Mag.) és egy konferenciacikkben [Bank and Smith 2014] tette közzé. Egyértelműen nyilatkozott saját tudományos járulékáról a [Bank and Smith 2014] közleményre vonatkozóan.

A tézisek publikáltságáról elmondható, hogy a folyóirat közlemények olyan lapokban jelentek meg, amelyek a saját szakterületükön nemzetközi szinten elsőrangú minősítéssel rendelkeznek (1. ábra).



1. ábra. A SCIMAGO journal raking rendszer jelenlegi minősítése a folyóirat közleményeket tartalmazó szaklapokról

A „Clarivate Analytics” Web of Science Master Journal List (<https://mjl.clarivate.com/search-results>) szerint minden egyes lap jegyzett a „Science Citation Index Expanded” adatbázisban, továbbá az <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=97> honlap szerint az *IEEE Signal Processing Letters* jelenlegi impakt faktora 3.201. **Össességében megállapítható, hogy a tézisek publikációs alátámasztottsága igen erős, a tézisekhez kötődő közlemények szigorú nemzetközi szakmai bírálási folyamatokon mentek keresztül.**

6. Nyilatkozat arról, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz-e

A tézisek tudományos tartalmának igényes és részletes ismertetése, a szakterület aktuális állását ismertető alapos és részletes szakirodalmi áttekintés valamint a tézisek megállapításainak erős publikáltsága alapján **az a határozott meggyőződés alakult ki, hogy az értekezés hiteles eredményekről számol be.**

7. Nyilatkozat a nyilvános vita megtartásáról

A fentiek alapján határozottan javasolom a nyilvános vita megtartását.

8. Javaslat az „MTA doktora” cím odaítéléséről

Értékelésem alapján határozottan javasolom a Jelölt számára az MTA doktora cím megadását.

Tar József egyetemi tanár, az MTA doktora