

Válasz Dr. Tar József opponensi véleményére

1. Bevezetés

Először is szeretném megköszönni Dr. Tar József alapos bírálói munkáját. Örömmel olvastam, hogy a Bíráló a disszertáció tématerületét tudományos szempontból izgalmasnak és aktuálisnak tekinti. Külön köszönöm azt az összefoglaló megállapítást, mely szerint a Bíráló tevékenységemet matematikailag megalapozottnak tartja, ill. hogy elismeri annak jelentőségét, hogy a disszertációban bemutatott algoritmusok nagy részét MATLAB/Octave kódok formájában is elérhetővé tettem. Véleményem szerint ez utóbbi nem csak a kutatási eredmények reprodukálhatóságát segíti, hanem az eljárások szélesebb körű elterjedésének is kedvez.

2. Formai értékelés

Köszönöm a Bíráló disszertációm dicsérő szavait. Egyetlen kritikai megjegyzésként a Bíráló felveti, hogy érdemes lett volna a területen általánosan alkalmazott, de az „átlagos olvasó” számára kevésbé ismert rövidítéseket (pl. IIR és WIIR szűrők) rövidítések jegyzékében definiálni. A kritikával maximálisan egyetértek, sajnálom, hogy a dolgozat írásakor ezt nem tettem meg.

3. Kérdés

A Bíráló felveti, hogy a dolgozat alkalmazási területén szétválasztható az implementáció és a tervezés lépése: ez valóban így van, a legtöbb esetben a szűrőket az adott (pl. mérések alapján előálló) specifikáció alapján egyszer kell megtervezni, jellemzően számítógépes környezetben. A szűrők futtatása pedig leggyakrabban beágyazott környezetben – pl. jelprocesszoron, mikrokontrollereken – történik. Tehát ilyen szempontból a szűrési komplexitás (szűrőfokszám, szűrőstruktúra) csökkentésének sokkal nagyobb a jelentősége, mint a tervezési komplexitás csökkentésének. Mindenesetre a dolgozatban javasolt eljárások egy átlagos PC-n tipikusan tizedmásodpercek nagyságrendjébe eső tervezési időket igényelnek akár ezres fokszámú szűrők esetén is, tehát e tekintetben is megfelelően teljesítenek, és lehetővé teszik a különböző algoritmusváltozatok és fokszámok gyors kipróbálását is.

Konkrét kérdés: „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?”

Az értekezés 6. fejezete, és az első tézis tekintetében, tehát amikor a fix pólusú párhuzamos szűrő számológát határozom meg, véleményem szerint az alkalmazott legkisebb négyzetek módszere számítási szempontból optimális választás. Ennek oka, hogy a feladat a számlálók együtthatóinak tekintetében lineáris, így négyzetes hibafüggvény alkalmazása esetén (feltételezve, hogy nem vétettünk hibát a pólusok megadásánál, és a bázisvektoraink függetlenek) egyetlen optimumpont van, ami zárt alakban megadható. Ez az optimum numerikus módszerekkel (pl. szinguláris érték szerinti felbontás vagy QR dekompozíció alkalmazásával [Golub and Loan 2013]) rendkívül hatékonyan számítható, még beágyazott környezetben is (ld. pl. [Belloch et al. 2017]). Természetesen lehetőségünk van rá, hogy másféle hibafüggvényt, és/vagy másfajta optimalizációs algoritmust használjunk, de ennek jelenleg nem látom gyakorlati előnyét.

Ahol viszont egyéb optimalizációs eljárások, és így az evolúciós eszközök nagy segítségünkre lehetnek, az az új pólusmeghatározó eljárások kifejlesztése. A tervezési probléma ugyanis a pólusok tekintetében nemlineáris, így, még ha négyzetes költségfüggvényt alkalmazunk is, akkor is számolnunk kell a több lokális minimum lehetőségével. Különösen igaz ez akkor, amikor a szűrő fokszáma lényegesen kisebb a modellezendő rendszer fokszámánál, és pont ez az eset, ami audio alkalmazásoknál leggyakrabban előáll. Az értekezésem 6. fejezetében a javasolt kétsávós és custom warping eljárások hagyományos szűrőtervezési módszerek speciális felhasználásán (specifikáció transzformálása, szűrő visszatranszformálása) alapulnak. A dolgozatban ezeket a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazó Steiglitz-McBride szűrőtervezési algoritmustal [Steiglitz and McBride 1965] mutatom be. Természetesen lehetséges lenne a hagyományos szűrőtervezési módszerekkel szakítani, és a problémát általános, nemlineáris optimalizációs feladatként felírni a pólusok függvényében.

Erre lokális optimalizáció tekintetében van példa a fix pólusú párhuzamos szűrő esetén is pl. Maestre et al. [2016] munkájában, ahol gradiensbecslő algoritmus segítségével határozzák meg a párhuzamos szűrő pólusait. A kezdeti értékeket az eredeti [Maestre et al. 2016] cikkben egyszerű warped IIR szűrőtervezés szolgáltatja, ez javítható, ha az értekezésemben is bemutatott kétsávós, ill. custom warping eljárásokból indulunk ki [Bank 2022]. Ugyanakkor érdemes lenne ennél is tovább lépni: nagy lehetőségeket látok abban, hogy a kezdeti értékeket szűrőtervező eljárások helyett valamilyen evolúciós algoritmus állítsa elő, így külön köszönöm a Bírálónak, hogy inspiráló kérdésével erre felhívta a figyelmem. Az irodalomban kutatva úgy látom, van már példa a részecske raj optimalizáció és a gradiens módszerek kombinációjára [Noel 2012], tehát mindenképpen érdemes lesz ezt a párhuzamos szűrő tervezésére is kibróbálni, ill. a korábbi módszerekkel összevetni.

4. Összefoglalás

Ismét szeretném megköszönni a Bíráló munkáját, és azt, hogy téziseimet elfogadja, értekezésemet nyilvános vitára bocsátásra alkalmasnak tartja, ill. támogatja az MTA doktora cím megadását.

Hivatkozások

- Bank, B. (2022). Warped, kautz, and fixed-pole parallel filters: A review. *J. Audio Eng. Soc.*, 70(6):414–434.
- Belloch, J. A., Bank, B., Igual, F. D., Quintana-Ortí, E. S., and Vidal, A. M. (2017). Solving weighted least squares (WLS) problems on ARM-based architectures. *The Journal of Supercomputing*, 73(1):530–542.
- Golub, G. H. and Loan, C. F. V. (2013). *Matrix Computations*. The John Hopkins University Press, Baltimore, MD, USA, 4th edition.
- Maestre, E., Scavone, G. P., and Smith, J. O. (2016). Design of recursive digital filters in parallel form by linearly constrained pole optimization. *IEEE Signal Process. Lett.*, 23(11):1547–1550.
- Noel, M. M. (2012). A new gradient based particle swarm optimization algorithm for accurate computation of global minimum. *Appl. Soft Comput.*, 12:353–359.
- Steiglitz, K. and McBride, L. E. (1965). A technique for the identification of linear systems. *IEEE Trans. Autom. Control*, AC-10:461–464.



Budapest, 2022. december 1.

Bank Balázs