

Válasz Dr. Fridli Sándor Professzor úrnak  
az „Új jelút-kompensációs eljárások” című  
MTA doktori értekezés opponensi véleményére

Nagyon köszönöm Fridli Sándor Professzor úrnak a disszertáció gondos véleményezését. Köszönöm támogató nyilatkozatát a nyilvános vitára bocsáthatóság tekintetében. Szintén köszönöm a kérdéseket, melyekre az alábbiakban szeretnék válaszolni.

**Opponensi megjegyzés: A fájlkonverzióból adódó néhány formulában fellépő karaktervesztés okozta olvasási nehézséget a szerző egy korrekciós jegyzékkel orvosolta.**

Válasz: A pdf konverter hibájából eredő karakterhibákat egy alternatív pdf konverterrel azóta orvosoltam. Az új pdf változatot sikeres védés után elérhetővé fogom tenni az MTMT publikációs adatbázisában, ill. a személyes honlapomon:

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10000656>

<http://home.mit.bme.hu/~daboczi/>

1. Opponensi kérdés: **A (harmadik) fejezet fő eredményének a parametrikus dekonvolúciós algoritmust, és annak különböző változatait, általánosításait tartom, amelyben a paraméteroptimalizáció automatikusan, felhasználói beavatkozás nélkül történik. Milyen optimalizációs eljárásokat alkalmaz az algoritmus lépéseiben a paraméteroptimalizációra?**

Válasz: A spektrális modell-bázisú automatikus paraméteroptimalizálás egy költségfüggvény minimumhelyének kiszámítását igényli. A módszer univerzálisan alkalmazható minden olyan inverz szűrő esetén, amelynél a regularizálás mértéke, módja néhány paraméter hangolásával állítható (parametrikus inverz szűrők). Tekintettel arra, hogy nem tettem kikötést az inverz szűrő alakjára, az a regularizáló paraméterre nézve nemlineáris is lehet. Általános esetben tehát egy paramétereiben nemlineáris, egy- vagy többváltozós függvény minimumhelyét keressük. Analitikus megoldást általánosan nem tudunk adni, ezért numerikus optimalizálással kereshetjük meg azt.

Egy többváltozós nemlineáris függvény minimumhelyének keresésére nagyon sokféle numerikus optimalizálási algoritmus létezik [1]. Ezeket megkülönböztethetjük egymástól aszerint, hogy egy- vagy többdimenziós keresést tesznek lehetővé, feltételes vagy feltétel nélküli a szélsőérték keresés, és hogy derivált (gradiens) információt felhasználnak-e. A lehetséges algoritmusok közül a legfontosabbak: grid search, intervallum iteráló módszerek, parabola kereső eljárások, downhill simplex, steepest descent, conjugate gradient, Powell módszere, kvázi-Newton módszer. Az inverz szűrő paraméteroptimalizációs algoritmusban nem kötöttem ki, hogy milyen módszerrel keressük meg a minimumot. Ezt az adott alkalmazástól függően sok szempont alapján szabadon választhatja a felhasználó.

Én három fő módszert alkalmaztam: grid search (véges rácson kimerítő keresés), downhill simplex módszer, gradiens módszer. Inverz szűrés optimalizálásánál 1, 2, max. 3 paraméter optimalizálásával találkoztam. A grid search esetén a durva, majd finom felbontású rács alkalmazásával 3 paraméter esetén is elfogadható számításigénnyel sikerült alkalmazni a keresési módszert. A downhill simplex módszer tűnt a leglassabbnak (előnye nagyobb paraméterszám esetén jelentkezett volna a kimerítő kereséshez képest). Ahol

analitikusan levezethető volt a derivált (vagy gradiens), ott a simplex módszerhez képest határozott gyorsulást jelentett a gradiens módszer. Algoritmusaimat a Matlab ill. LabView környezetben implementáltam. A kifejezetten időigényes programrészeket C nyelven megírt betétekkel gyorsítottam.

A globális minimum megtalálása egy nagyon bonyolult probléma, a numerikus módszerek lokális minimumot tudnak csak garantálni. Három gyakori heurisztika segít a hibafüggvény felderítésében: (i) több véletlenszerű kiinduló pontból minimumkeresés, majd a végén a legextrémebb megoldás kiválasztása; (ii) minimumkeresés megismétlése a lokális minimum körüli perturbációval; (iii) szimulált lehűtés.

Én a downhill simplex ill. gradiens módszerek esetén az (i) módszert alkalmaztam. A többdimenziós rácson való kimerítő keresés adott felbontással feltérképezi a költségfüggvényt, így itt – ha adott simaságot feltételezhetünk a költségfüggvényről – kisebb a valószínűsége annak, hogy lokális minimumba ragad az optimalizálás. Problémát egyedül az okozhat, ha a simaságról nem tudunk nyilatkozni, vagy ha a rács intervallum határait rosszul választjuk meg. Ez utóbbira utaló jel, ha a költségfüggvény a rácshatár széle felé csökkenő tendenciát mutat.

2. Opponensi kérdés: **A szerzőnek a zavarszűrés területén elért, a dolgozatban ismertetett eredményei közül az általa konstruált új, kombinált adaptív Fourier-analizátort, és az AD konverter tesztelésére kidolgozott módszert tartom kiemelendőnek. Vannak-e konvergencia eredmények, becslések az Extended Improved Robust AFA algoritmussal kapcsolatban?**

Válasz: Az általam javasolt Extended Improved Robust AFA (eirAFA) egy közös algoritmusban kombinálja a mások által kidolgozott AFA zavarszűrés technikákat. Mindegyik módszer egy-egy paraméterrel hangolható (átlagolási szám, késleltetés, elnyomási tényező stb.). Az eirAFA konvergencia tulajdonsága – egy paraméter hangolása, és a többi rögzítése esetén – megegyezik az eredeti algoritmusok konvergencia tulajdonságaival.

Konvergencia bizonyítás ismereteim szerint egyedül a Block AFA (BAFA) esetében áll rendelkezésünkre. A Block AFA eredeti motivációja nem a zavarszűrés növelése volt, hanem a konvergencia feltételének analitikus meghatározása. Tekintettel arra, hogy az AFA nemlineáris viselkedést visz a rendszerbe, nehéz az univerzális analitikus bizonyítás. A szerző ezért a működést három fázisra bontotta [2]. Az első fázisban az AFA részt inaktívvá tesszük, és a Fourier analízator (FA) lineáris üzemmódban dead-beat tulajdonságának megfelelően  $N$  lépésben beáll. Az  $N$ . lépésre a harmadik fázisban alkalmazandó frekvencia adaptációból eredő tranziensek lecsengenek. Ezt követi egy mérési fázis, ahol ismét nincs beavatkozás a rezonátor pozíciókba, hanem hagyjuk, hogy a hiba kellően megnövekedjen. Ezek után a harmadik fázisban a mért hiba alapján egy lépésben megtörténik a frekvenciakorrekció. Ilyen blokkos üzemmód esetére [2] megadta annak a feltételét, hogy egymás utáni adaptációs lépésekben a frekvenciahiba csökkenjen, és bizonyította, hogy abszolút monoton módon a valós frekvenciához tart a frekvenciabecslő.

A gyakorlatban a BAFA által megkívánt blokkos működés ritkán engedhető meg. Ezért tartalmaz folyamatos frekvenciakorrekciót az eredeti AFA, és annak egyéb robusztus változatai (rAFA, irAFA, eirAFA). A konvergencia analitikus levezetését nehezíti, hogy két, egymásba ágyazott szabályozó kör viselkedését kell megfigyelnünk, melyek kölcsönösen hatnak egymásra, tekintve hogy a frekvencia a fázis deriváltja. Folyamatos hangolás esetén a konvergencia bizonyítása, vagy a konvergencia feltételeinek meghatározása ezért még várta magát. Ebben a pillanatban a módszerek működéséből és a megfigyelésekből levont tapasztalatok alapján kvalitatív tulajdonságokat tudunk csak mondani. Ezek a következők. Az

rAFA által bevezetett csillapítási tényező hatása egy aluláteresztő szűrés a frekvencia becszlőre. Értelemszerűen a csillapítási tényező növelése a beállást, a konvergencia sebességet lassítja. A Fourier együtthatók átlagolásának hatása (irAFA), hasonlóan az egymástól  $P$  távolságra lévő minták összevetésének ötletéhez egy lokális, kis környezetben megfigyelhető szűrést eredményez. Olyan, mintha a frekvenciaváltozás nagyfrekvenciás tartományát csillapítaná csak, a közepes és kis frekvenciákra nem lenne hatással (meredek levágású aluláteresztő szűrő). Kisebb frekvenciákon is jelentkező hatás csak irreálisan nagy átlagolási számmal, ill. késleltetéssel (nagy  $P$ ) érhető el. A Fourier együtthatók átlagolása nagyobb számításigényű, de kisebb késleltetéssel adja ugyanazt a hatást, mint amit  $P$  távolságra lévő minták mérése alapján kapnánk.

Hivatkozások:

- [1] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery, „Numerical Recipes – The art of scientific computing,” Cambridge University Press, 2007.
- [2] Simon Gyula, „Adaptív jelfeldolgozó eljárások vizsgálata,” PhD értekezés, BME, 1997.

Budapest, 2018. 12. 03.



Dabóczi Tamás