

Bírálóí vélemény

Dabóczi Tamás

Új jelút-kompenzációs eljárások

című MTA doktori értekezéséről

A disszertációban a szerző a jelút-kompenzáció területén végzett munkásságát, eredményeit foglalja össze.

Fizikai mennyiségek mérése, megfigyelése során a mérési eljárásból fakadóan torzulások lépnek fel és zaj rakódik a jelre. Dabóczi Tamás kutatásainak fő tárgykörét az olyan digitális jelfeldolgozási módszerek alkotják, amikkel javítható a mérési eszközök pontossága.

A dolgozat első két fejezete bevezető jellegű. A saját eredmények bemutatása a harmadik, „Jelút-kompenzáció: frekvenciafüggő hibák” című fejezetben kezdődik. Az itt tárgyalt alapmodellben a mérőrendszer lineáris, időben invariáns, úgynevezett LTI rendszer, amihez additív zaj adódik. A megoldandó feladat lényege az eredeti jel visszaállítása a transzformált jelből. Mivel az LTI rendszerek az időtérben konvolúciós operátorok, ezért ezt az inverz eljárást dekonvolúciónak szokás nevezni. A probléma megoldását alapvetően nehezíti, hogy a feladat tipikusan rosszul kondicionált, a zajcsillapítási módszerek pedig egyben a jel torzítását is eredményezik. A szerző alapos, értékelő áttekintést nyújt az eddig ismert módszerekről. Ezek után tér rá a fő célkitűzésére, azaz olyan parametrikus dekonvolúciós módszer kidolgozására, amelyben a paraméteroptimalizálás automatikusan, felhasználói beavatkozás nélkül történik. Az ilyen eljárások egyik nagy előnye, hogy beépíthetők autonóm rendszerekbe. A szerző egy frekvenciatérbeli automatikus paraméteroptimalizáló dekonvolúciós algoritmust dolgozott ki. Az eddig létező módszerekkel összevetve a konstruált algoritmus előnye, hogy tetszőleges parametrikus dekonvolúcióhoz alkalmazható, és figyelembe tudja venni a ki- és bementi zajt is. A konstrukcióban a bemenő jel és a mért jel közötti négyzetes normában vett távolság minimalizálása a cél. Ez lehetővé teszi a Fourier-transzformáltra való áttérést a Parseval egyenlőség alkalmazásával. A kapott formulában egy algebrai átalakítás után három tag különíthető el. Ezek a torzítás, a zaj, valamint egy, a kettő keresztkapcsolatából adódó tag. Ez utóbbiról a szerző megmutatja, hogy elég általános feltételek mellett elhanyagolható. Az algoritmushoz szükség van egy megfelelően paraméterevezhető szűrőkészletre. Feltételezzük továbbá, hogy a mérőrendszer operátora,

annak átviteli függvénye ismert. Az iteráció minden egyes lépésben a jel Fourier-transzformáltjára ad újabb modellt a szűrő paraméterének optimalizálásával. A módszer hatékonyságának illusztrálására három példát találunk a dolgozatban, mindegyikben inverz szűrőnek a Tyihonov-féle paraméterezhető inverz szűrőket alkalmazva. Az első példa szimuláció, amiben a mérőrendszer egy sáváteresztő rendszer. A második példában a módszer nagyfeszültségű osztóra kerül alkalmazásra. Az ehhez szükséges adatokat az ETH-Zürich Nagyfeszültségű Laboratóriumában végzett mérésekkel nyerte a szerző. A harmadik alkalmazás gyorsulásmérő sáv szélességének a kiterjesztésére vonatkozik.

A fejezet további részei az algoritmus általánosításáról szólnak. Először a kétdimenziós jelekre való általánosítást adja meg a szerző. Ennek működését szimulációval demonstrálja. Ezt követően a rendszeridentifikáció problémáját tárgyalja. Ebben az esetben a kiindulási, a Fourier-transzformáltakra vonatkozó egyenletben az ismeretlen a mérőrendszer átviteli függvénye, és a bemenő jelet lehet kontrollálni. További különbség, hogy mivel a bemeneti jelet is mérni kell, ezért hiba nemcsak kimeneti oldalon lép fel. Az ennek megfelelően módosított egyenlet átrendezésével a szerző megmutatja, hogy ez a modell visszavezethető az előzőre, és az algoritmus megfelelő változata ebben az esetben is hatékonyan működik. A módszer alkalmazására az ultragyors mintavevő oszcilloszkóp identifikációs problémáján keresztül mutat példát. Ezt követően azzal az összetett problémával foglalkozik, amikor a jelrekonstrukcióhoz nem adott a mérőrendszer átviteli függvénye, hanem annak csak egy rendszeridentifikációs eljárással nyert közelítése áll rendelkezésre. Ekkor a rekonstrukció hibában megjelenik a rendszeridentifikációnál elkövetett hiba is. A kérdés ekkor a két lépés, az identifikáció és a rekonstrukció regularizálásának együttes optimalizálása a jelrekonstrukció szempontjából. A problematika tárgyalása a dolgozatban egy nem triviális szimulációs példán keresztül történik.

A fejezet fő eredményének a parametrikus dekonvolúciós algoritmust, és annak különböző változatait, általánosításait tartom, amelyben a paraméteroptimalizáció automatikusan, felhasználói beavatkozás nélkül történik.

Kérdés: Milyen optimalizációs eljárásokat alkalmaz az algoritmus lépéseiben a paraméteroptimalizációra?

A dolgozat 4. fejezetében a jelútkompenzálásnak azzal a változatával foglalkozik a szerző, amikor inverz szűrésre, dekonvolúcióra nincs szükség. Ebben az esetben a cél a közvetlen zavarssűrés. Tipikus eset, amikor egy rendszert, például egy AD konvertert tesztelnek ismert gerjesztő jellel. Ekkor azt vizsgálják, hogy a bemenő jelet, annak paramétereit hogyan lehet felismerni, visszaállítani a kimenő jelből. A problémát konkretizálja, ha a bemenő jelet valamilyen adott jelmodell keretein belül választják. Periodikus jelek esetén a jel analízis természetes módszere a Fourier analízis. A diszkrét esetben azonban az a megkötés, hogy a jel alaphérvenciája összhangban legyen a mintavételezési hérvenciával nem mindig biztosítható. Ennek az esetnek a hatékony kezelésére vezette be Péceli Gábor a rekurzív Fourier-analízátort. Nagy Gábor olyan Adaptív Fourier Analizátornak (AFA) nevezett módszert dolgozott ki, amelyhez nem szükséges előre tudnunk a megfigyelendő jel alapharmonikusát, arra az algoritmus automatikusan

ráhangelődik. Az algoritmus továbbfejlesztett változataiban a robusztusságot növelik különböző módszerekkel, pl. Fourier együtthatók átlagolása, összehasonlítása. Dabóczi Tamás az általa konstruált Extended Improved robust AFA algoritmusban ezeket az eljárásokat ötvözi. Az algoritmusban szereplő paraméterek hangolásával lehet beállítani az egyes komponensek súlyát. Szimuláción és valós példán keresztül összehasonlító tesztelést végzett. Valós példaként az AD átalakító tesztelését ismerteti. Ehhez egy hatékony, több egységből álló, komplex algoritmust dolgozott ki, amelynek egyik komponense az adaptív Fourier analízátor valamelyik változata. A mérési adatokon nyert eredményeket a 4 paraméteres szinusz-illesztés algoritmus által kapott értékekkel összevetve meggyőzően látszanak az új algoritmus előnyeit. A fejezet utolsó részében elméleti levezetést tartalmaz az úgynevezett jitter hatására abban az esetben, amikor a gerjesztő jel szinuszos, és az eredményekre is szinuszos illesztő jelet alkalmazunk, továbbá kitér a PhD hallgatójával közösen végzett jelmodell-alapú jeldetektálás területén végzett kutatásaira.

A szerzőnek a zavarsszűrés területén elért, a dolgozatban ismertetett eredményei közül az általa konstruált új, kombinált adaptív Fourier-analízátort, és az AD konverter tesztelésére kidolgozott módszert tartom kiemelendőnek.

Kérdés: Vannak-e konvergencia eredmények, becslések az Extended Improved robust AFA algoritmussal kapcsolatban?

Az 5. fejezetben a szerző összefoglalja a jelút-kompenzáció általánosított feladatával kapcsolatos tevékenységét. Ismerteti a rosszul kondicionált nemlineáris rendszerek, a szenzorfüzió, és a szenzor nélküli mérés technika területén végzett munkásságát. Külön említésre méltónak tartom az egyensúlyozó robotokkal kapcsolatban a frekvencia tartománybeli szenzorfüziós algoritmusok területén elért eredményeit. A szenzor nélküli mérés témakörében az állandó paraméterű szinkronmotor paraméterbecslésével foglalkozik. Felírja a motor modelljét, utána ismerteti az általa javasolt paraméterbecslési eljárást, az ennek megfelelő rendszer identifikációs probléma megoldását.

A szerző az egyes fejezetekben világosan bemutatja az abban tárgyalt problémakört, az eddigi eredményeket, módszereket, majd ismerteti, kifejti saját eredményeit, végül összehasonlító vizsgálatokon keresztül igazolja az adott területen tett előrelépést. Az eredmények színvonalát mutatja, hogy közülük számos a szakterület vezető folyóiratában került publikálásra. Ennek, valamint a témák időszerűségének bizonyítéka a nagyszámú hivatkozás is. A szerző a saját eredményeit világosan, jól elkülöníthetően mutatja be, és szisztematikusan tárgyalja azoknak a témakörbe való beágyazottságát. Szabatosan fogalmazza meg az elméleti modelleket és az aktuális a feltételeket. Az eredményeknek valódi alkalmazásokon keresztül történő demonstrálása, analízáló bemutatása minden esetben meggyőző.

A dolgozat egységes szerkezetű. Felépítése, strukturája mind a fejezetenkénti bontás, mind pedig az azokon belüli szerkezet tekintetében világos és logikus, a bennük tárgyalt tartalomnak megfelelően arányos terjedelmű. Jól elkülönülnek a történeti előzmények, az elméleti részek és az alkalmazások. A dolgozat nyelvezete érthető, a megfogalmazások

kellően precízek. A fájlkonverzióból adódó néhány formulában fellépő karaktervesztés okozta olvasási nehézséget a szerző egy korrekciós jegyzékkel orvosolta.

Dabóczi Tamásnak a jelút-kompenzáció témakörében végzett munkássága, a disszertációban bemutatott eredményei alapján a nyilvános védés kitűzését és az MTA doktori cím odaítélését javaslom.

Budapest, 2018. november. 19.

Fridli Sándor
egyetemi tanár
az MTA doktora