NEM-STANDARD BÁZISFÜGGVÉNYEK ALKALMAZÁSA JELEK ÉS RENDSZEREK LEÍRÁSÁRA

Ph.D. értekezés tézisei

Soumelidis Alexandros

2002. március

Benyújtásra került a
Ph.D. fokozat
követelményeinek teljesítése érdekében
a
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki Karára
Budapest 2002. március

Összefoglaló

A disszertáció tárgya nem-standard bázisfüggvények alkalmazása jelek és rendszerek leírásában. A jelreprezentációkkal kapcsolatos általános bevezető után a diszkrét idejű jelek frekvenciatartománybeli reprezentációival foglalkozunk, és bevezetésre kerül egy függvényrendszer, az un. általánosított ortogonális bázisfüggvények (GOB) rendszere, amely ortonormált bázist alkot a $\mathcal{H}^2$ térben.

Az ezen a rendszeren alapuló jelreprezentációk alkalmazhatók a detektálás és a rendszer-identifikáció területén, olyan jelekkel és rendszerekkel kapcsolatban, amelyek az ipar, energiatermelés, járműirányítás területén merülnek fel. Ilyen reprezentációk alkalmazásának legfőbb indítéka, hogy ezek a konstrukciók képesek magukba foglalni előzetes ismereteket az analizálandó rendszerrel kapcsolatban, és ezen keresztül érzékennyé válnak az ezekben megtestesülő tulajdonságokra. Az előzetes (a priori) információ, amely a disszertációban vizsgált módszerekkel kapcsolatos, az analizálandó rendszer pólusainak elhelyezkedése, amely a rendszerek dinamikájának egyik legfontosabb összetevője. A disszertáció módszereket javasol a nem-standard bázisok segítségével végzett detektálás és rendszer-identifikáció megvalósítására, továbbá vizsgálja az ezekkel kapcsolatos realizálási és konvergencia problémákat.

Tartalomjegyzék

Bevezetés

A disszertáció tárgya nem-standard bázisfüggvények alkalmazása — az élet számos területén, így a mérnöki tudományokban, az iparban, az energiatermelésben, a járműirányításokban, stb. előforduló — *jelek* és *rendszerek leírására. Leírás*on sokféle dolgot lehet érteni: leginkább egy matematikai nyelvezet alkalmazását értjük rajta, amely lehetővé teszi az illető rendszer megismerését, ennélfogva megvalósítja a rendszerek modellezését és identifikációját, és kiegészíthető olyan irányban, hogy lehetőség nyíljon a rendszer állapotának és működésének megismerésére, illetve ezen az alapon döntéshozatalra, azaz jelenségek detektálására, illetve irányításra. Mindezen témakör közül a jelen disszertáció főleg a detektálás és az identifikáció tárgykörére koncentrál. Továbbá a disszertáció *jelek*kel és *rendszerek*kel foglalkozik: a cél általában valamely rendszer megismerése, azonban ez a hozzá tartozó jelek vizsgálatán keresztül érhető el. A megfigyelések, mérések általában jeleknek tekinthetők, és jelfeldolgozási módszerek alkalmazásával nyílik lehetőség az alapjukat képező rendszer szerkezetének és viselkedésének megismerésére. A jelen disszertáció főleg a jelekre koncentrál, azonban a rendszerekkel való kapcsolatuk mindig szem előtt marad.

Végül a címből a *nem-standard bázisfüggvények* kifejezést értelmezzük: ennek a fogalomnak a használata azt sugallja, hogy a nem-standard bázisfüggvényeket standard bázisok ellenében alkalmazzuk. A standard bázis a matematikában és a rendszerelméletben általában a trigonometrikus bázist jelenti, és szigorúan kötődik a Fourier sorok és a Fourier transzformáció fogalmához. Annak indítéka, hogy ezek helyett valami mást használjunk, többféle forrásból ered.

A matematikában ez a terület a XX. század elején kezdett el fejlődni a Fourier sorokkal kapcsolatos különböző terekben, pl. az $\mathcal{L}^\infty$ térben fellépő konvergencia problémák kapcsán. A fejlődés másik előrevivője az a törekvés volt, hogy különböző — érdeklődésre számot tartó — Hilbert terekben, így az $\mathcal{L}^2$ és $\mathcal{H}^2$ terekben levő minden függvényt reprezentáló ortogonális rendszereket találjanak. Ezek a törekvések vezettek a Schauder, Franklin, Walsh, Haar és más érdekes rendszerek felfedezéséhez.

A rendszerelméleten belül a rendszer-identifikáció volt az a terület, amely leginkább hozzájárult a *nem-standard reprezentációk* és a *nem-standard bázisok* fogalmának kialakulásához és fejlődéséhez. Ilyen konstrukciók alkalmazásának igénye az optimális módszereket felváltó robusztus megközelítések ($\mathcal{L}^\infty$ és $\mathcal{H}^\infty$ módszerek) által előidézett konvergencia problémák megoldása céljából merült fel [8], [14], [3], [11], [1].

Ezen túlmenően jelen disszertáció a nem-standard bázisokkal kapcsolatban egy új szempont figyelembevételére is koncentrál: a nem-standard bázisok lehetőséget nyújtanak arra, hogy magukban foglaljanak olyan információt, amely az analizálandó rendszerről rendelkezésre álló előzetes (a priori) ismeretekkel függ össze. A bázisfüggvényeket ilyen tulajdonságokkal felszerelve, a rájuk épülő reprezentációk ezekre érzékennyé válnak, amely igen kedvező detektálási és identifikációs problémák megoldásában.

Áttekintés

Itt egy rövid áttekintést adunk a disszertáció tudományos tartalmáról.

A disszertáció felépítése

A disszertáció öt fő fejezetre és egy kiegészítő fejezetre tagozódik.

Először egy általános bevezetés következik a jelreprezentációkba (1. fejezet), utána a tárgyalás a $\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ térben értelmezett, a rendszer-pólusokon alapuló frekvencia tartománybeli reprezentációkra konkretizálódik, és bevezetésre kerül az általánosított ortogonális bázis (GOB) fogalma (2. fejezet).

A 3. fejezetben a GOB reprezentációk realizációs és méréstechnikai szempontjai kerülnek tárgyalásra.

A 4. és 5. fejezet a GOB reprezentációk két alkalmazási területét vizsgálja, a detektálás valamint a rendszer-identifikáció területeit; mindkettő a jelfeldolgozás és a rendszerelmélet fontos részterületei számos alkalmazással az ipar, az energiatermelés, a közlekedés, a járműirányítások, stb. területén. A 4. fejezet foglalkozik a detektálás, az 5. fejezet a rendszer-identifikáció témakörével.

Végül egy rövid áttekintést tartalmaz az elért tudományos eredményekről (6. fejezet), amely része a jelen összefoglalónak is.

Jelreprezentációk

Bevezetésre kerül a jelek különböző függvényrendszerekben és lineáris terekben való reprezentálásának fogalma. A reprezentációkat osztályozzuk: folytonos és diszkrét, idő- és frekvencia tartománybeli, általános, kauzális és periodikus jelreprezentációk kerülnek tárgyalásra. A legjelentősebb reprezentáló függvénytereknek az $\mathcal{L}^2$, $\mathcal{L}^\infty$, $\mathcal{H}^2$, $\mathcal{H}^\infty$ terek tekinthetők a fizikai interpretációjuk eredményeképpen.

A jelreprezentációk alkalmazása a jelek leírásában előnyös lehet olyan tekintetben, hogy a reprezentációs paraméterek tere (vagy transzformált) sok esetben lényegesen egyszerűbb, mint az eredeti jeltér, például megszámlálható paramétereket tartalmaz, vagy kiemeli a reprezentált jel bizonyos tulajdonságait.

Reprezentációk a $\mathcal{H}^2$ térben

A jelreprezentációk tanulmányozását diszkrét idejű, a Shannon-féle mintavételezési törvényt kielégítő sávkorlátozott, véges energiatartalmú jelek frekvencia tartománybeli reprezentációira konkretizáljuk. Az ehhez a reprezentációhoz tartozó frekvencia függvények a $\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ függvénytérbe tartoznak. Ezeket a függvényeket a standard trigonometrikus bázisban lehet reprezentálni az általánosan használt z-transzformáció segítségével.

A 2. fejezetben nem-standard bázisokat vizsgálunk, amelyeket az un. Laguerre rendszer általánosítása révén nyerünk, és az analizált rendszerhez tartozó, véges elemet tartalmazó, előre definiált pólus-készlet alapján épülnek fel. Ezeket a konstrukciókat általánosított ortogonális bázisoknak (az angol elnevezés kezdőbetűi alapján GOB) nevezzük. Ezeknek a konstrukcióknak a rendszerelméletbe való bevezetése, amelyet főleg a robusztus irányításokban alkalmazható reprezentációk iránti igény motivált, néhány tudományos iskolának köszönhető, lásd a [8], [14], [11], [12], [3], [17], [13], [17], [40],[15], [16], [5], [1] publikációkat. Ebben a fejezetben a $\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ térben értelmezett ortogonális bázisok tulajdonságait és konvergencia tulajdonságait vizsgáljuk, valamint módszert adunk a reprezentációs paramétereknek mérési adatokon alapuló közelítő meghatározására [25].

A GOB reprezentáció megvalósítása

A 3. fejezetben az általánosított ortogonális bázisokban való jelreprezentációk realizálási problémáival foglalkozunk. A 2. fejezetben elméletileg megalapozott algoritmust a megvalósítás szintjéig dolgozzuk ki. Ezenfelül az un. argumentum transzformáció tulajdonságait is elemezzük különösen annak interpolációs / approximációs képességeire koncentrálva véges számú minta alkalmazása esetén. Ezek a képességek teszik a tárgyalt módszereket alkalmassá rendszerek leírására általános értelemben, túlhaladva a GOB reprezentációk témakörén; a fejezetben javaslatot teszünk egy mérési sémára, amely lehetővé teszi ezek alkalmazását.

A GOB alapú jelreprezentációkat egy speciálisan elrendezett nem-egyenletes skálán értelmezett frekvencia tartománybeli adatok alapján konstruálhatjuk meg, amelyet a feltételezett pólus struktúra által definiált inverz *argumentum transzformáció* határoz meg. Ezt a skálát ajánljuk általános irányelvként való alkalmazásra frekvenciatartománybeli mérések lebonyolítására klasszikus spektrális módszerek alkalmazásánál olyan jelek és rendszerek esetében, amelyek eleget tesznek legalább közelítőleg az előzetes feltételezéseknek. Ezt a skálát alkalmazva egyenletesebb és simább frekvencia tartománybeli ábrázolásokhoz jutunk kisebb adatmennyiség esetén is, mint a szokásosan alkalmazott, egyenletesen felosztott skálán alapuló leírásokban.

GOB reprezentációk alkalmazása: detektálás

A GOB alapú reprezentációk alkalmazásának fő motivációja abból fakad, hogy lehetőséget nyújtanak az analizálandó rendszerrel kapcsolatban rendelkezésre álló *a priori* ismeretek beépítésére. Ezzel az információval ellátva a reprezentációk érzékenyek és szelektívek lesznek az előzetesen feltételezett tulajdonságokra, ez a tény olyan előnyöket nyújt, amelyekkel nem rendelkeznek a standard bázison alapuló hagyományos módszerek. Az a priori ismeretek, amelyeket egy adott GOB reprezentáció képvisel, a vizsgálandó rendszerhez tartozó feltételezett pólusokban nyilvánul meg. A pólus információ a rendszer dinamikájának egyik legfontosabb összetevője, ennélfogva különös jelentőséggel bír mind a felmerülő detektálási, mind pedig a rendszer identifikációs problémákban.

A 4. fejezetet az általánosított ortogonális bázisokban való jelreprezentációk egy alkalmazási területének szenteljük: a GOB reprezentációk detektálásban, zajelnyomásban, lényegkiemelésben és hasonló problémákban való alkalmazását tárgyaljuk.

A detektálás a jelfeldolgozás egyik legfontosabb részterülete. A célja jelenségek kimutatása a rendszer dinamikájában, például változásoké a rendszer szerkezetében vagy viselkedésében. A detektálás egy döntési probléma, a cél elhatározni, hogy a vizsgált jelenség jelen van vagy sem az analizált jelben. A GOB jellegű reprezentációk alkalmazásánál a detektálási módszerek a rendszer pólus szerkezetének — beleértve a pólusok számát és multiplicitását is — változásaira lesznek érzékenyek az előzetesen feltételezett pólus-elhelyezkedéshez viszonyítva. Két megközelítést ismertet a disszertáció: egy a reprezentációs együtthatók viselkedése alapján működő következtetési módszert, továbbá egy másikat, amely nem igényli az együtthatók kiszámítását [39].

Az első módszer a GOB reprezentációk konvergencia tulajdonságain alapul, amelyeket részletesen tárgyal a disszertáció. Ezt az irányt követve a döntéshozatal a reprezentáció véges voltának, és a nullától lényegesen eltérő együtthatók számának, és elhelyezkedésének elemzése útján jön létre. Kapcsolódó problémák, mint a zajelnyomás és a lényegkiemelés is tárgyalhatók ebben a keretben. A második megközelítés egy mérték képzésén alapul, amelyet egy diszkrét skaláris szorzat definiál, a reprezentáló függvénytérhez tartozó reprodukáló magból levezethető módon, ez reziduálként szolgál a döntési probléma megoldásában.

GOB reprezentációk alkalmazása: identifikáció

Az 5. fejezetben az általánosított ortogonális bázisok alkalmazásának néhány aspektusát taglaljuk a rendszer-identifikációban. A GOB reprezentációk modellező képességének felderítése után egy a $\mathcal{H}^2$ reprezentációk körében operáló iteratív sémát adunk meg a kezdetben feltételezett modell javítására. Utána a GOB reprezentációk egy kiterjesztését adjuk meg a $\mathcal{H}^\infty$ tér irányába, amely alkalmassá teszi ezen reprezentációk alkalmazását robusztus identifikációs feladatok megoldásában.

A rendszer identifikáció egy lényegi probléma a rendszerek szerkezetének és viselkedésének megítélésében, és kiterjedt kutatás tárgya mind elméleti, mind pedig gyakorlati szempontból. A GOB reprezentációk alkalmazása nem nyújt kizárólagos alternatívát a klasszikus megközelítésekkel szemben, inkább felhasználva egy — általában klasszikus módszerekkel nyert — kezdeti közelítő pólus szerkezetben megtestesülő *a priori* ismereteket, annak finomítását hivatott megvalósítani, azaz célja a valóságos pólus struktúrában rejlő pontosabb modell megtalálása.

A feltételezett kezdeti póluselrendezés javítására egy iterációs módszert javaslunk [36], amely algoritmikusan változtatja a pólusok elrendezését annak érdekében, hogy elérje a mérési adatokkal jellemzett függvényhez legjobban illeszkedő pólus halmazt. Az iteratív pólus elhelyezés algoritmusa egy a GOB-ra épülő bi-ortogonális rendszer segítségével generált diszkrét skaláris szorzaton alapul.

A fejezet végén az identifikációs problémához kapcsolódóan a GOB reprezentációk egy kiterjesztését adjuk a $\mathcal{H}^2$-ről a $\mathcal{H}^\infty$ térre az un. ϕ-szummációs sémák alkalmazásával [25]. Ennélfogva az általánosított ortogonális bázisok használhatóvá válnak a robusztus identifikáció területén, sőt minden olyan területen is, ahol $\mathcal{H}^\infty$ jellegű kritériumok kerülnek alkalmazásra, így a robusztus detektálás, és zajelnyomás területein.

Új eredmények

A disszertációban bemutatott, és a disszertáció alapját képező kutatómunka során elért új tudományos eredményeket a következőkben felsorolt, 1-től 6-ig számozott tézisekben foglaljuk össze.

1. tézis

A jelfeldolgozás és a rendszerelmélet területén felmerülő identifikáció, detektálás, zajelnyomás, és más, a kapcsolódó területen felmerülő problémákkal kapcsolatban javaslatot tettem speciálisan kialakított, *a priori* ismereteket magukban foglaló jelreprezentációk alkalmazására.

Ha a rendelkezésre álló *a priori* ismereteket felhasználjuk a reprezentáló függvényrendszerben helyet foglaló elemek alakjának kialakításában, a reprezentáció érzékeny lesz az analizált függvény megfelelésére az *a priori* feltételezett tulajdonságoknak. Ennélfogva a reprezentáció együtthatói alkalmasak lesznek szelektív döntések meghozatalára annak meghatározására, hogy a szóbanforgó jel rendelkezik-e a feltételezett tulajdonságokkal vagy sem, valamint kvantitatív feltételek képzésével lehetőség nyílik az egyezés mértékének megítélésére is.

Ezt az elvet az 1. fejezetben vezettem be, majd a 4. fejezet 4.1 és 4.2 pontjában dolgoztam ki.

2. tézis

Egy módszert alkottam a $\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ térbeli függvények $\{a_k \in \mathbb{D} \mid k = 0, 1, 2, \ldots, N-1\}$ póluskészlet alapján definiált általánosított ortogonális bázisbeli reprezentációjának együtthatói közelítő kiszámítására. A módszer a szóbanforgó diszkrét idejű jelhez tartozó, a $[-\pi, \pi]$ intervallumba normalizált frekvenciatartomány nem-egyenletes felosztásán alapul, amely a pólusok által generált Blaschke szorzathoz tartozó argumentum függvény inverze alapján jön létre. A módszer az FFT algoritmust alkalmazza az együtthatók kiszámítására.

Az $F \in \mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ függvény $\{\Phi_n\}$ általánosított ortogonális bázisbeli reprezentációjához tartozó $c_n = c_{N\ell+k}$ együtthatók közelítő meghatározása a következő lépések végrehajtásával valósítható meg:

- Meghatározunk az s paraméter $[-\pi, \pi]$ intervallumán egy M egyenletesen elhelyezkedő mintapontot tartalmazó skálát, azaz $\{s_0, s_1, \ldots, s_m, \ldots, s_M\}$-t.

- Közelítőleg kiszámítjuk ezekben a pontokban a β_a argumentum függvény értékeit, azaz $\{t_0, t_1, \ldots, t_m, \ldots, t_M\}$-t a $t_m = \beta_a^{-1}(s_m)$ összefüggés alapján $m = 0, 1, \ldots, (M-1)$ indexekre.

- Kiszámítjuk a
$$f_k(s) = F(e^{i\beta_a^{-1}(s)})\overline{\Phi_k(e^{i\beta_a^{-1}(s)})}\beta_a'(s),$$
függvény értékeit az s_m illetve a $t_m = \beta_a^{-1}(s_m)$ pontokban az $F(t_m)$ mért függvényértékek felhasználásával a $k = 0, 1, \ldots, (N-1)$ és $m = 0, 1, \ldots, (M-1)$ indexekre.

- Az együtthatók kifejezésének $f_k(s_m)$ függvénnyel kifejezett alakját,
$$< F, \Phi_{\ell N+k} >= \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f_k(s)e^{-i\ell N s}\, ds$$
N számú M-pontos FFT segítségével értékeljük ki
$$d_{kj} = \frac{1}{M}\sum_{m=-M/2}^{M/2-1} f_k(s_m)e^{-i2\pi\frac{jm}{M}}$$

szerint, amely a Fourier együtthatók véges $\{d_{kj}\}$ rendszerét eredményezi, ahol $k = 0, 1, \ldots, (N-1)$ és $j = 0, 1, \ldots, (M-1)$.

- A kapott Fourier együttható sorozatok tizedelése N szerint és egy sorozatba rendezése $\ell = j/N$ és

$$c_{\ell N+k} = d_{k,\ell N} \quad (k = 0, 1, \ldots, N-1) \quad (\ell = 0, 1, \ldots, M/N - 1)$$

  alapján.

A módszert a disszertáció 2. fejezetében vezettük be, és a 3. fejezetben került kidolgozásra. Publikálása a [25] konferencia cikkben történt.

3. tézis

Kidolgoztam egy módszert rendszerek szerkezetével kapcsolatos jelenségek detektálására a hozzátartozó jeleknek a rendszer pólusaira épülő általánosított ortogonális bázisban való reprezentációja alapján. A detektálási módszer azon a tényen alapul, hogy a véges Takenaka-Malmquist rendszer által generált $\mathcal{B}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{N}}\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ altérhez tartozó függvények reprezentációja véges, azaz véges számú reprezentációs együttható különbözik zérustól. A pólus-szerkezetben mutatkozó különbségek esetén, amikor is az analizált függvény eltér a feltételezett altértől, a reprezentáció végtelenné válik.

Megmutattam, hogy a végtelen reprezentáció együtthatói a pólusok multiplicitását meghaladó indexekben exponenciális lecsengést mutatnak, amelynek mértéke arányos az eltéréssel.

Egy detektálási sémát állítottam fel, amelyik a reprezentációs együtthatók alapján alkalmas

- a pólusok elhelyezkedésében mutatkozó eltérések,
- új pólusok megjelenésének,
- meglevő pólusok eltűnésének, továbbá

- a rendszer zérusaiban mutatkozó eltérések

kimutatására. A detektálás a reprezentációs együtthatók értékein értelmezett, determinisztikus küszöbértékeken vagy statisztikai meggondolásokon alapuló döntési algoritmusok végrehajtásával valósítható meg.

A részletes leírás a disszertáció 4. fejezetében található, és a [39, 37] konferencia cikkekben került publikálásra.

4. tézis

A rendszerek identifikációjával kapcsolatban a hozzájuk tartozó jelek általánosított ortogonális bázisokban történő reprezentációi alapján egy módszert javasoltam az előzetesen rögzített póluskészlet finomítására. A módszer egy konvergens iterációs sémát állít fel a pólusok multiplicitásukat is tartalmazó módosítására, amelyet az általánosított ortgonális bázis mellett egy *diszkrét skaláris szorzat* szerint felvett *bi-ortogonális* rendszer határoz meg. Az iterációt az $\mathbf{m} = \{m_0, m_1, \ldots, m_{n-1}\}$ multiplicitással rendelkező $\mathbf{a} = \{a_0, a_1, \ldots, a_{n-1}\}$ pólusokon a következő összefüggés definiálja:

$$\mathbf{a}^{\nu+1} := G(\mathbf{a}^{\nu}) \quad (\nu \in \mathbb{N},\ \mathbf{a}^0 \in \mathbb{D}^n)$$

ahol

$$G_k(\mathbf{a}) := a_k + \frac{1}{m_k - 1} \frac{F_k(\mathbf{a})}{F_k^-(\mathbf{a})} \quad (k = 1, \ldots, n) \quad G := (G_1, \ldots, G_n).$$

és

$$F_k(\mathbf{a}) := [\Phi^{\mathbf{m}}_{k(m_k-1)}(\cdot, \mathbf{a}), f_{\hat{\mathbf{a}}}]_N, \quad F_k^-(\mathbf{a}) := [\Phi^{\mathbf{m}}_{k(m_k-2)}(\cdot, \mathbf{a}), f_{\hat{\mathbf{a}}}]_N.$$

A $\{\Phi_{k\ell}\}$ függvények bi-ortogonális rendszert alkotnak a $\varphi_{k\ell}$ általánosított ortogonális bázisfüggvényekkel a $[\cdot,\cdot]_N$ diszkrét skaláris szorzat szerint, amelyet N számú mérési pont alapján számítunk ki, azaz

$$[\Phi_{kl}, \varphi_{rs}] = \delta_{k\ell}\delta_{rs}.$$

A diszkrét skaláris szorzatot a Cauchy integrál egy diszkretizált formája alapján definiáljuk. Módszert adunk a $\Phi_{k\ell}$ függvények kiszámítására is.

A részletes leírás a disszertáció 5. fejezetének 5.4. pontjában található meg, és a [36] konferencia cikkben került publikálásra.

5. tézis

Egy nem-egyenletesen elosztott frekvencia-értékeket tartalmazó skálán alapuló mérési módszert javasoltam, amely egy előre definiált pólus-készletre épülő Blaschke-szorzathoz tartozó argumentum függvény inverzével állítható elő a $[-\pi, \pi]$ intervallum egyenletes felosztásából. Ez a nem-egyenletes skála képezi a kiinduló pontot az általánosított ortogonális bázisokban történő reprezentációs módszerekhez (lásd 2. tézis), azonban előnyös más spektrális függvényekkel kapcsolatos jelfeldolgozási módszerek esetében is, mivel

- a Blaschke-szorzat által generált $\mathcal{B}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{N}}\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ altérbe tartozó jelek esetén ez a skála optimális elrendezését adja a frekvencia-függvény mintapontjainak, lévén ezek alappontjai az altér egy egzakt interpolációs operátorának,

- az $\mathcal{B}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{N}}\mathcal{H}^2(\mathbb{D})$ altérhez közel álló függvények esetén a skála szub-optimális — de előnyösen használható — elrendezését adja a függvénypontoknak.

Ezt a nem-egyenletes skálát alkalmazva a fenti két eset feltételeit kielégítő spektrális függvények kevesebb mintapontot alkalmazva is jobban reprezentálhatók, mint a klasszikus módszerek szerinti egyenletes skála alkalmazásával.

A részletes leírás a 3. fejezet 3.3. és 3.4. pontjában található meg, és a [38] konferencia cikkben került publikálásra.

6. tézis

Alkalmazva a ϕ-szummációs sémákat az általánosított ortogonális bázisokon alapuló reprezentációk konvergenciája kiterjeszthető a $\mathcal{H}^2$ térről a $\mathcal{H}^\infty$-re. A ϕ-szummációs operátor definícióját,

$$U_m^{\varphi}(F) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{\infty} \varphi(\frac{\ell N}{m}) \langle F, \Phi_{\ell N+k} \rangle \Phi_{\ell N+k},$$

ahol $\{\Phi_n\}$ az általánosított ortogonális bázis elemei, φ pedig a szummációs eljárás függvénye, valamint a

$$M_p(\hat{\varphi}) := \int_{-\infty}^{\infty} |t|^p |\hat{\varphi}(t)| \, dt < \infty \quad p \geq 0)$$

definíciót felhasználva bizonyításra került a következő tétel:

Tétel. *Legyen φ egy kompakt tartójú folytonos páros függvény $\varphi(0) = 1$ tulajdonsággal, és $M_1(\hat{\varphi}) < \infty$. Ekkor létezik a konstans $C > 0$, amely csak $a \in \mathbb{D}^N$-től és φ-től függ (és független m-től) amellyel*

$$\|U_m^{\varphi} F\|_{H^\infty} \leq C \|F\|_{H^\infty}$$

ahol $F \in H^\infty, m = 1, 2, \cdots$. Továbbá minden diszk-algebrához tartozó F függvényre teljesül, hogy

$$\lim_{m \to \infty} \|U_m^{\varphi} F - F\|_{H^\infty} = 0.$$

A részletes leírás megtalálható az 5. fejezet 5.5. pontjában, és publikálásra került a [25] konferencia cikkben..

Gyakorlat

Az elméleti munka mellett lényeges szempont volt az eredmények alkalmazhatóságának biztosítása gyakorlati területeken.

A kutatás eredményeképpen létrejövő módszerek tesztelés és demonstrálás céljára a Mathworks *MATLAB*® rendszerében kerültek megvalósításra. Gyakorlati alkalmazások céljaira "C" nyelvi környezetben jöttek létre eljárások, amelyek készen állnak arra, hogy különböző alkalmazási területeken felmerülő jelfeldolgozási, detektálási és irányítási problémákban felhasználásra kerüljenek.

A módszerek felhasználásra kerülnek a járművek és technológiai berendezések irányítása és hibadiagnosztikája során felmerülő identifikációs és detektálási problémák megoldásában.

Tevékenység

Tudományos tevékenység

A disszertációban közölt tudományos eredményeket a szerző a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetében a Rendszer és Irányításelméleti Kutató Laborban végzett több éves folyamatos kutatómunka során érte el. Tudományos munkásságát az alábbiakban közölt, a művelt terület szerint csoportosított, válogatott publikációk jellemzik:

Hibadetektálás és diagnosztika: Konferencia cikkek [34], [33], [31], [26], [4], [2], [9], [24], [22], [6], [7], [21], és folyóirat cikkek [35], [23].

Irányításelmélet és alkalmazásai: Konferencia cikkek [41], [19], [27], [29], és folyóirat cikk [28].

Jármű irányítás és detektálás: Konferencia cikk [30].

Jelfeldolgozás, együttes idő-frekvencia tartománybeli leírás, wavelet-ek: Konferencia cikkek [20], [18], és [32].

Jelfeldolgozás, rendszerelmélet, GOB rendszerek: Konferencia cikkek [25], [39], [36], [38], és [37].

Orvosi alkalmazások: Folyóirat cikk [10].

A szerző jelenlegi és jövőbeli tudományos tevékenysége az előzetes ismeretek szélesebb osztályain alapuló speciális reprezentációk konstruálása és alkalmazása irányában orientálódik.

Szakmai tevékenység

A szerző tudományos aktivitása kiegészül ipari alkalmazási területeken végzett kutatási fejlesztési tevékenységgel. Legfontosabbak területek az energia- illetve az autóipar.

A jelfeldolgozás, hibadetektálás és hibadiagnosztika témakörökben a Paksi Atomerőmű Rt-nél vett részt fejlesztési feladatok megoldásában, korábban a reaktor és primerköri zajdiagnosztikai rendszer, később és jelenleg a reaktorvédelmi rekonstrukciós projekthez kapcsolódóan.

A jelfeldolgozás, detektálás, és irányítás területén az eredmények alkalmazásra találtak a gépjárművek pozíció-meghatározása, valamint mozgásuk identifikálása és irányítása terén a Knorr-Bremse cég budapesti fejlesztő intézetével együttműködésben.

Oktatási tevékenység

Meghívott előadóként a "Jelfeldolgozás" és a "Digitális méréstechnika" című tantárgyak (graduális és posztgraduális képzés) oktatója a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Karán.

Társadalmi tevékenység

A Méréstechnikai, Automatizálási és Informatikai Tudományos Egyesület tagja 1978 óta.

Az IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Control Systems Society és Signal Processing Society tagja 1997 óta.

Irodalomjegyzék

[1] J. Bokor, *Approximate Identification for Robust Control*, Annual Reviews in Control **22** (1998), 187–198.

[2] J. Bokor, A. Edelmayer, A. Soumelidis, M. Tanyi, P. Gáspár, and I. Nagy, *Knowledge-based noise analysis: a promising tool for early failure detection in nuclear power plants*, Preprints of the IFAC/IMACS-Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical processes (Baden-Baden, Germany), 1991, SAFEPROCESS'91, pp. 73–80.

[3] P.M.J. Van den Hof, P.S.C. Heuberger, and J. Bokor, *System identification with generalized orthonormal basis functions*, Proc. of the 33rd Conference on Decision and Control (Lake Buena Vista, FL), 1994, CDC'94, pp. 3382–3387.

[4] A. Edelmayer and A. Soumelidis, *TELEMACH: A functional approach to face problem solving in knowledge-based signal processing systems*, Prepr. of 9th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation (Budapest, Hungary), 1991, pp. 248–253.

[5] L. Gianone, J. Bokor, and F. Schipp, *Approximate $\mathcal{H}_\infty$ Identification Using Partial Sum Operators in a Disc Algebra Basis*, IEEE Transaction on Automatic Control **43** (1996), no. 8, 1117–1122.

[6] J. Kiss, , A. Soumelidis, and J. Bokor, *Applying artificial neural networks in nuclear power plant diagnostics*, Symposium on Nuclear Reactor Surveillance and Diagnostics (Avignon, France), vol. 1, 1995, SMORN VII, pp. 323–331.

[7] J. Kiss, J. Bokor, A. Edelmayer, and A. Soumelidis, *An open system approach to change detection and failure monitoring of complex plants: the npp experience*, Symposium on Nuclear Reactor Surveillance and Diagnostics (Avignon, France), vol. 1, 1995, SMORN VII, pp. 590–598.

[8] P. M. Mäkilä, *Approximation of Stable Systems and Optimal Approximation*, Automatica **27** (1991), no. 4, 663–676.

[9] I. Nagy, A. Soumelidis, and J. Bokor, *Knowledge representation and inference in noise diagnostic expert systems*, Symposium on Nuclear Reactor Surveillance and Diagnostics (Gatlinburg, Tennessee), 1991, SMORN VI, pp. 62.02–62.12.

[10] J. Németh, B. Erdélyi, B. Csákány, P. Gáspár, A. Soumelidis, and F. Káhlesz, *High-speed video topographic measurement of tear film build-up time*, to appear in Investigative Ophthalmology of Visual Science (2002), –.

[11] B.M. Ninness and F. Gustafsson, *A general construction of orthonormal bases for system identification*, Proc. of 33rd IEEE Conf. on Decision and Control (Orlando, FL), Dec 1994, pp. 3388–3393.

[12] ———, *A Unifying Construction of Orthonormal Bases for System Identification*, Tech. Report EE9432, Department of Electrical Engineering, University of Newcastle, Newcastle, NSA, Australia, 1994.

[13] ———, *A Unifying Construction of Orthonormal Bases for System Identification*, IEEE Transactions on Automatic Control **42** (1997), no. 4, 515–521.

[14] J. R. Partington, *Robust Identification and Interpolation in H_∞*, Int. J. Control **54** (1991), no. 5, 1281–1290.

[15] F. Schipp and J. Bokor, *L^∞ system approximation algorithms generated by ϕ summations*, Automatica **33** (1997), no. 11, 2019–2024.

[16] ———, *Approximate Identification in Laguerre and Kautz Bases*, Automatica **34** (1998), no. 4, 463–468.

[17] F. Schipp, L. Gianone, J. Bokor, and Z. Szabó, *Identification in generalized orthonormal basis - a frequency domain approach*, Proc. of the 13th IFAC World Congress (San Francisco, CA), 1996, pp. 387–392.

[18] A. Soumelidis, *Applications of wavelets in vehicle dynamics*, Proceedings of the 5th Mini Conference On Vehicle Dynamics, Identification and Anomalies (Budapest, Hungary), 1996, VSDIA'96, pp. 537–546.

[19] A. Soumelidis, Cs. Bányász, L. Keviczky, and I. Vajk, *On the use of virtual instruments in realizing adaptive controllers*, 2nd IFAC Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications (Budapest, Hungary), 1994, SICICA'94, pp. 246–251.

[20] A. Soumelidis, J. Bokor, P. Gáspár, and A. Edelmayer, *Applying joint time-frequency methods in the failure detection of time-varying systems*, Proceedings of AUTOMATIZÁLÁS'95 Conference (Budapest, Hungary), vol. I, 1995, pp. 221–230.

[21] ______, *A user-friendly environment for designing signal processing based failure monitoring in nuclear power plant*, Proceedings of AUTOMATIZÁLÁS'95 Conference (Budapest, Hungary), vol. II, 1995, pp. 573–582.

[22] A. Soumelidis, J. Bokor, P. Gáspár, and T.T. Hai, *Virtual instrument tools for signal processing and system identification based failure detection in complex plants*, Proc. of National Instruments European User Symposium (Munich, Germany), 1994, pp. 153–159.

[23] ______, *Virtual instrument tools for signal processing and system identification based failure detection in complex plants*, Chemical Engineering World **XXXI** (1996), no. 7, 49–52.

[24] A. Soumelidis, J. Bokor, L. Keviczky, A. Edelmayer, P. Gáspár, Zs. Csáki, and E. Varga, *Toward an intelligent evolutionary signal processing based failure monitoring and diagnostic system for complex plants*, Proc. of 2nd IFAC Symposium

on Fault Detection Supervision and Safety for Technical Processes (Espoo, Finland), 1994, SAFEPROCESS'94, pp. 760–765.

[25] A. Soumelidis, J. Bokor, and F. Schipp, *Representation and approximation of signals and systems using generalized Kautz functions*, Proc. of the 36th Conference on Decision and Control (San Diego, CA), 1997, CDC'97, pp. 3793–3796.

[26] A. Soumelidis and A. Edelmayer, *Modelling of complex systems for control and fault diagnostics: a knowledge based approach*, Engineering Systems with Intelligence. Concepts, Tools and Applications, pp. 125–132, Kluwer Academic Publ., Amsterdam, Holland, 1991, EURISCON'91, Corfu, Greece, 1991, ed. S. Tzafestas.

[27] A. Soumelidis, P. Gáspár, and J. Bokor, *Inverted pendulum: an environment for intelligent control design and tests*, 3rd IFAC Symposium on Intelligent Components and Instruments for Control Applications (Annecy, France), 1997, SICICA'97, pp. 421–425.

[28] ______, *An inverted pendulum tool for teaching linear optimal and model based control*, Periodica Polytechnica Ser. Transportation Engineering **25** (1997), no. 1-2, 9–19.

[29] A. Soumelidis, P. Gáspár, and J. Bokor, *Educational application of inverted pendulum experiment: optimal and model-based control*, MÉRÉS-AUTOMATIZÁLÁS'98 Konferencia az "Alkalmazott Informatika" jegyében (Budapest, Magyarország), 1998, pp. 221–231.

[30] A. Soumelidis, G. Kovács, J. Bokor, P. Gáspár, L. Palkovics, and L. Gianone, *Automatic detection of the lane departure of vehicles*, 8th IFAC Symposium on Transportation Systems (Chania, Greece), 1997, pp. 1096–1101.

[31] A. Soumelidis and I. Nagy, *Intelligent modelling of complex physical systems: application in diagnostics of NPPs*, Proc. of the 11th IFAC World Congress (Tallin, USSR), vol. 7, 1990, pp. 13–17.

[32] A. Soumelidis, I. Nagy, and J. Bokor, *Analyzing time-varying and transient vibration properties in technological systems*, 5th International Congress on Sound and Vibration (Adelaide, Australia), 1997, pp. 2071–2078.

[33] A. Soumelidis, I. Nagy, J. Kiss, and I. Piacsek, *Knowledge representation and diagnostic inference in PWRs using structural and functional information*, Proceedings of the Specialists' Meeting on Early Failure Detection and Diagnosis in Nuclear Power Plants (Dresden, GDR), 1989, pp. 284–294.

[34] A. Soumelidis, I. Nagy, and I. Piacsek, *Tudásreprezentácio és következtetés szerkezet és viselkedés alapján: alkalmazás reaktor-zajdiagnosztikai rendszerben*, AUTOMATIZÁLÁS'89 Konferencia előadásai (Székesfehérvár, Magyarország), vol. I, 1989, pp. 165–174.

[35] ______, *Tudásreprezentácio és következtetés szerkezet és viselkedés alapján: alkalmazás reaktor-zajdiagnosztikai rendszerben*, Mérés és Automatika **38** (1990), no. 1, 12–16.

[36] A. Soumelidis, M. Papp, F. Schipp, and J. Bokor, *Frequency domain identification of partial fraction models*, accepted for publication on the 15th IFAC World Congress (Barcelona, Spain), 2002, pp. –.

[37] A. Soumelidis, F. Schipp, and J. Bokor, *Detection of changes on signals and systems based upon representations in orthogonal rational bases*, submitted to 36th Conference on Decision and Control (Las Vegas, Nevada, USA), 2002, CDC'2002, pp. –.

[38] ______, *Frequency domain representation of signals in rational orthogonal bases*, submitted to Mediterranean Control Conference (Lissabon, Portugal), 2002, MED'2002, pp. –.

[39] A. Soumelidis, Z. Szabó, and J. Bokor, *Fault detection in lightly damped systems using rational orthonormal functions*, Proc. of 4th IFAC Symposium on Fault

Detection Supervision and Safety for Technical Processes (Budapest, Hungary), June 2000, pp. 548–553.

[40] Z. Szabó, J. Bokor, and F. Schipp, *Nonlinear rational approximation using generalized orthonormal basis*, Proc. of the European Control Conference (Brussels, Belgium), vol. 6 Part B, 1997, ECC'97, pp. 25–36.

[41] I. Vajk, A. Soumelidis, Cs. Bányász, and L. Keviczky, *Adaptive controllers as virtual instruments*, Proceedings of the 1st IFAC Conference on System Identification (Budapest, Hungary), 1994, SYSID'94, pp. 291–296.