

OPPONENSI VÉLEMÉNY

Rappai Gábor:

*A modellezés sajátosságai időszori anomáliák esetén
c. MTA doktori értekezéséről*

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA DOKTORI TANÁCSA

Tisztelt Doktori Tanács!

Alulírott, Hajdu Ottó, az MTA doktora – mint felkért bíráló - ezúton állást foglalom arról, hogy Rappai Gábor doktori munkájának tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, a nyilvános vita kitűzését és a cím odaítélését javaslom.

Opponensi észrevételeim a következők

Általános jellegű megjegyzések

A téma módszertani és gyakorlati kutatásának szükségességéhez nem fér kétség. Az értekezés fő motivációja az okság/kausalitás tárgyalása statisztikai szempontból standard sztochasztikus időszori modellek felhasználásával, ami egyfelől szimulált modell-adatok, másfelől – ritkábban alkalmazva - empirikus idősorok adatai alapján történt.

A dolgozat fő célja - három témakörre tagolva - fogalmi, tartalmi áttekintést adni az alábbi tekintetekben:

- 1.) gazdasági jelenségek *ok-okozati* feltárása **kausalitás-modellekkel**,
- 2.) időszori folyamatok sztochasztikus *trendjeinek* kimutatása,
- 3.) A közös trend által indukált **kointegráció** detektálása.

A második célkitűzése az értekezésnek, hogy útmutatót adjon arra a problémára, hogy még a modellezés előtti fázisban milyen jellegű feladatok várnak a modellezőre, hogy megfelelő „adatsimítási revíziók” (például adattisztítás, adatpótlás, adatelhagyás, adatsűrítés, stb.) révén „releváns” tendenciákat nyerjünk a rendelkezésre álló adatokból. A probléma súlyát az értekezés bevezető fejezete által illusztratív céllal használt Granger-féle klasszikus példa húzza alá - az USA makro-fogyasztása és a lakosság rendelkezésre álló jövedelme közötti kauzalitást vizsgálandó, miszerint valamely gazdasági-társadalmi jelenség idősorainak a horizontját, periódusát szűkítve/bővítve, más-más konklúziókra juthatunk/jutunk.

Az értekezés lényegi felépítése a következő:

- A 2. fejezet (12-43. oldal) **idősori alapfogalmakkal** foglalkozik.
- A 3. fejezet (44-71. oldal) a **rendszeretlen idősorok** jellemzőit definiálja.
- A 4. fejezet az ún. „**outlierek**” detektálását tárgyalja.
- Az 5. fejezet a **strukturális törés** következményeit elemzi.
- A 6. fejezet az **aggregálás** hatását vizsgálja idősorokban alkalmazva.

A fentiekkel kapcsolatban aláhúzendó, hogy az értekezés az „anomáliákkal terhelt zajos idősor” esetén az anomáliák kezelésére az ún. „**korrekt adatelőkészítés**” eszközét javasolja. Egyetértve azzal, hogy a statisztikai ökonometriai modellezés alapvető, legidőigényesebb és minden eredményt meghatározó mozzanata a végső adatállomány kialakítása, hangsúlyozzuk emellett, hogy a „megfelelő adatállomány” kialakítása a modell megfelelő gondolati adatkeretének a kialakítása, és ezen adatkeret konkrét adatokkal való feltöltése, ún. „adatmasszírozása” már „csak” technikai részlet. Ez érvényes mind a keresztmetszeti, mind az időszori, mind a panel adatokra, bár a panel adatok esetén további anomáliaként megjelenik a **kiegyensúlyozatlanság** problémája is.

Az értekezés általános tartalmi követelményeinek való megfeleléssel kapcsolatban a dolgozat bizonyítja, hogy a Jelölt képes új tudományos problémák megfogalmazására, átfogóan ismeri a szakirodalmat, magasszintű jártassággal mozgatja a statisztikai módszereket, és magabiztosan alkalmazza a vizsgált témák fogalmi rendszerét.

Az értekezés megfogalmazza a saját hozzájárulásait a kutatási területhez, az alábbi témák szerint:

1. A nem ekvidisztáns idősorok modellezési nehézségeire való megoldások.
2. Az outlierekkel terhelt idősorok előrejelzése, elemzése.
3. Statisztikai tesztek megvalósítása strukturálisan tört idősorokban.
4. Az időszori aggregálás következményeinek az áttekintése.

A kialakított vizsgálati keret, tárgyalásmód szerencsésen éppen annyira formalizált és oldott, hogy a verbális interpretációk segítik a módszertani mondanivaló átadását, megértését. Az értekezés elméleti eredményeinek empirikus alátámasztása az értekezés mondandójához képest arányosan alkalmazott. Az értekezés következtetései mind elméletileg mind empirikusan megalapozottak. Az elért eredmények érdemben hozzájárulnak a vizsgált terület ismereteihez.

Az értekezés alapvetően módszertani indíttatású, és a statisztikai-diagnosztikai tesztek időszori anomáliákra való érzékenységét v.s. robusztusságát vizsgálja.

Mindazonáltal nem hagyhatjuk említés nélkül, hogy a szimulált idősorokon nyugvó konklúziók túlsúlyban szerepelnek az empirikus következtetések rovására.

Végül lényeges általános jellegű észrevételem statisztikai modellezési nézőpontra át, hogy a specifikált (alkalmazandó) modell elméleti tulajdonságait összeveti, szembesíti azok empirikus megfelelőivel, a helytelen modell típus alkalmazásának elkerülése érdekében.

Erre a problémára keresztmetszeti példa, hogy pl. ha az empirikus rugalmasság nem mutat konstans tendenciát, akkor sem illesztünk az adatokra konstans rugalmasságú modellt, ha az esetleg „jól” illeszkedik az adatokhoz. Ennek időszori analógiája például a korrelogram előzetes vizsgálata.

Mindazonáltal hiányérzetet kelt az Olvasóban, hogy az alkalmazott modellek idősor-anomália jellemzői nem elméletileg levezetettek, hanem szimulált adatokon alapulnak.

Részletes észrevételek

Az alábbiakban az egyes fejezetekkel, alfejezetekkel kapcsolatos megjegyzéseimet, kritikai észrevételeimet és kérdéseimet fogalmazom meg oldalszám és fejezetszám hivatkozásokkal, nem esszé-jelleggel, hanem felsorolással, olvasási sorrendben haladva.

2. fejezet: A dolgozatban használt legalapvetőbb idősor-modellek, illetve tesztek

Kérdés (14-15. oldal): Mi az indoka, hogy a MA(q) folyamat bevezetése megelőzi az AR(p) folyamat bevezetését?

Megjegyzés (14. oldal): A korábbiságra és a későbbiségre vonatkozó megállapítással kapcsolatban, miszerint „... ha a korábbi időszakban történtek befolyásolják még a mai megfigyeléseket, akkor van létjogosultsága a mozgóátlag modelleknek...” Ez a tulajdonság az AR folyamatra is igaz. Bizonyára a korábbi időpontban elkövetett *hibára/innovációra* gondol a megfogalmazás.

A (2.3) egyenletben (15. old.) a konstans hogyan van kezelve? Conditional vagy Exact Maximum Likelihood?

Az „Okság a filozófiában” c. 2.2.1 alfejezet (18-21. oldal) szerepeltetése érdemben nem járul hozzá a kauzalitás statisztikai tesztjeinek a megértéséhez. A 21. oldalon a felsorolás 1. pontját illetően véleményem szerint az okság feltárása nem csak idősor-modellezési, hanem keresztmetszeti modellezési feladat is, különösen a panel modelleken át.

Visszatérve az okság filozófiai megközelítéséhez (21. old 1-3. pontok) említést érdemelne további pontként az okság lényegének kiemelése, ami nem más, mint egy ***reakció kimenete adott reakció idő elteltével.***

Az okság statisztikai modellezése, 2.2.2 alfejezet

Megjegyzés: Nem tudok egyetérteni azzal a Granger-axiómával (22. oldal), hogy a „jövő nem lehet oka múltbéli eseménynek”. A jövőbeli várakozásaink befolyásolják a jelenbeli döntéseinket.

A (2.15) képletben (23. oldal) a nevező szabadsági fokában magyarázni valót látok, mert a „mintaméret mínusz becsült paraméterek száma a szaturált modell esetében” a Wald-F próba szerint 1 db szabadsági fok levonása hiányzik?

A 24. oldal formuláinak közlésekor érdemes lett volna a szigmanégyszet jelölést nem kézenfekvőként kezelni, hanem megadni a jelentését. Annál is inkább, mivel a (2.18) képlet (24. oldal) részletesebb elemzést igényel, ha már említésre került.

(2.3.1) alfejezet: Determinisztikus és sztochasztikus trend,

Kérdés: A sztochasztikus trend tágabb, vagy szinonim fogalom-e mint az eltolásos Random Walk? Értve persze, hogy a determinisztikus trendre, mint várható értékére „ráül” az egyre inkább volatilis (táguló) Bolyongás, mely ily módon mindig visszatér a determinált trendhez.

A Dickey-Fuller teszthez kötődő megjegyzéseim a következők:

A 29. oldal lapteteje: a H1 alternatív hipotézis tartalmaz determinisztikus (lineáris) trendet, szemben a bekezdés felvezetőjével. Tartalmazhatna szezonális komponenst is.

Érdemes lenne megjegyezni, hogy ugyanitt, a módszertani megoldás szerint az alapfolyamat mindkét oldalából - a szinten - levonjuk a megelőző időszak y_{t-1} adatát, így jelenik meg a baloldalon dependent változóként az első rendű differencia, jobboldalon pedig kiemelés után a $(\phi-1)$ tesztelendő tau regressziós koefficiens, aminek az eloszlása DF-tau eloszlás, és ma már nem kell kritikusérték táblát alkalmazni, mert approximatív p-value érték áll rendelkezésre a döntéshez.

Az ADF teszt részletes ismertetésénél - ha erre egyáltalán szükség van - a késleltetett differenciák szerepeltetésének szükségességének az irodalmi hivatkozása (Said-Dickey (1984)) szükségtelen, mert egy statikus (most éppen a dependent = diff(Y)) regresszió autoregresszív hibataggal mindig visszavezethető egy dinamizált modellre fehér zaj innovációval. Itt a $\text{diff}(Y)_{t-k}$ k-rend megválasztása a praktikus modellszelekciós probléma. A szimulált idősorok bevezetésében (2.4 alfejezet) a 38. oldalon a dolgozat nem tesz említést arról, hogy a szimulált folyamatok reziduumaik teljesítették-e a WN-teszteket.

Kérdés: Mi a magyarázata, illetve konklúziója annak, hogy a szimulált adatokat jellemző alapstatisztikák 39. oldali 2-2a és 2-2b ábrái esetén a 0.9 paraméterű AR(1) folyamat ADF teszt-értékei -6 max. értékről csökkennek lefelé, míg a -0.4 paraméterűé -45 max értékről

indulnak lefelé. Továbbá a J-B teszt alapján az előbbi eset normalitást, az utóbbi pedig nagyon nem normalitást mutat.

A 2.4.2. VAR-modellel szimulált idősorok alfejezetben (40. old.) az időszori ábrák vizualitása nem segíti a modell megértését, praktikusán „csaknem egyformák”, nyilván a 0.9 meghatározó AR(1) tagok miatt, az ellentétes előjelű ± 0.4 AR(2) paraméterek ellenére.

2.4.3 alfejezet: Az egységgyököt tartalmazó idősorok szimulációja (41. oldal):

Kérdés: ha „... a véletlen bolyongás a sztochasztikus trend alapesete, akkor mik a többi esetei?

Kérdés: Mi indokolta a 0.01 Drift-érték alkalmazását, és mennyi volt a szimulált folyamat innovációjának a varianciája?

Megjegyzés: Az alfejezet végén a következtetés, hogy a véletlen bolyongás nemstacioner folyamat, nem igényel ADF tesztet, ez teoretikusan igaz.

Az a tény, hogy egységgyök folyamat generálása során 100 szimulációból 4 esetben az ADF teszt a nullhipotézis elutasítását javasolja, az az alkalmazott innováció nem véletlen voltára is utalhat.

2.4.4 alfejezet: *Kointegrált idősorok generálása (42-43. oldal)*

Megjegyzés: Természetes - statisztikai teszt nélkül is - hogy generáltak kointegrált idősorok Engle-Granger értelemben kointegráltak bizonyulnak. Vagy a tesztstatisztikával van probléma.

Kérdés: az y_1 és az y_2 idősorokban az x változó koefficinseinek (Coeff=1, Coeff=2) megválasztása ad-hoc-e, vagy van valami indoka?.

Az alfejezetet záró gondolat az Opponens számára kérdéses (43. oldal), hogy miként lehet érzékenység teszt-vizsgálatot végezni empirikus idősorok alapján, hiszen minden empirikus idősor egyedi, és a hozzá tartozó anomália is egyedi.

3.1 alfejezet: *A probléma kezelése hiányzó adatok feltételezésével*

Megjegyzés: Az alfejezetben használt példák között található olyanok, amik nem „hiányzó-adat” problémák. Az, hogy a Tőzsde hétfévére bezár, miközben hétközben real-time adatokat ad, nem hiányzó adat probléma, hanem adottság. Hogy egy sportág

világcsúcsai hogyan alakulnak időrendben eklektikusan, nem hiányzó adat, hanem megfelelő sportoló/körülmények kérdése (lásd például Maraton-futás). A „kormánypart mandátum-változása(i)” pedig időszori értelemben inkább a „sokk” fogalomhoz sorolandó.

3.2 alfejezet: Folytonos idejű modellek a rendszertelenül megfigyelt adatok elemzésében

Kérdésem: az idő lehet nem folytonos? Merthogy: „Definiáljuk a folytonos időt feltételező autoregresszív modellt” (53. oldal).

Az alfejezet véletlenszerűen generált idősorokból hagy el véletlenszerűen adatokat. Kérdés, hogy ebből levonható-e empirikus problémák elemzésére szolgáló módszertani következtetés?

3.3 alfejezet: Rendszertelen idősorok kiegészítésével (interpolálással) elkövethető hibák

Kérdés: Ha minden harmadik elemet elhagyva szisztémát, vagy újabb trendelemet (spline) viszünk a folyamatba nem viszünk-e be az idősorba hamis kointegrációt?

3.3.1 alfejezet: A stacionaritás, illetve a sztochasztikus trend felismerése nem-ekvidisztáns idősorok esetén

Megjegyzés (58-59. oldal): Ahol magas a mintaméret, érdemes lett volna szigorítani a mintaméretet, pl. 1%-ra. Egyébként a 3.1/a/b táblákban nem látjuk a p-value értékeket. Ugyanezen táblák kapcsán az 5% mértékű adatelhagyást még értem, de a 75-90% mértékűt már nem értem.

Az alfejezet záró gondolata, hogy: „a rendszertelenül megfigyelt idősorok interpolációval történő ekvidisztáns kiegészítése az idősorok stacionaritása szempontjából nem aggályos” vitatható. Ugyanis az interpolációs adatpótlás követi az időponti környezete tendenciáit, másfelől, lehet, hogy a kiesett nem ismert Missing Value esetleg Outlier lett volna.

A fejezetben újra fölmerül a 90%-os adatelhagyás problémája.

Ugyanitt (a 62. oldal lapteteje) statisztikai kutatás nélkül is várható eredmény, hogy a hibás döntés valószínűségét növeli, ha az „Ok” változóból hiányzik több adat, mint az „Okozatéból”.

Mindemellett megjegyzem, hogy ha egy empirikus idősorból nagy arányban hiányoznak adatok, akkor az az idősor nem alkalmas elemzésre, előrejelzésre.

3.3.2 alfejezet: Okság, illetve együttmozgás felismerése rendszertelen, illetve nem azonos frekvenciájú idősorok esetén.

Kérdés itt: Mit értünk az ún. „közös trend” lényege alatt (60. oldal)? Mármost gazdasági-társadalmi, statisztika-módszertani jelentésben?

Megjegyzés: Az alfejezet záró kiemeléseivel kapcsolatban (67. oldal) említtem, hogy az idősor kutatás azon alapul, hogy vannak empirikus időrendi megfigyeléseink és nem azon, hogy nincsenek.

3.4 alfejezet: A GDP és az export növekedése közötti kapcsolat Magyarországon az elmúlt közel két évtizedben.

Véleményem szerint a termelés, tehát a GDP okozza az exportot, és nem fordítva, bár a megfordított oksági irány is érvelhető, tesztelendő.

4. fejezet: Outlierek az idősorokban

Megjegyzés: Az extrém értékek detektálásának kiterjedt, általános elmélete és gyakorlata van a statisztikai irodalomban. Ezekből az alábbiak nem kerülnek tárgyalásra az értekezésben:

1. A Deleted standardizált (Studentizált) reziduumok alkalmazása:
2. A „Hat mátrix” h_{ij} leverage diagonálisainak tárgyalása, melyek minimuma $1/N$ és maximuma 1, ami leginkább X-outliert jelez az X változók terében.
3. Magas h_{ij} Hat-érték befolyásolja a regressziós koefficiensek értékét.
4. Ha mind a Studentizált reziduális, mind a Hat-diagonális „large” mértékű, akkor a megfigyelés Outlier.
5. Hiányérzetet kelt az Olvasóban, hogy nem olvasható az értekezés Outlier fejezetében egy megfigyelésnek a centroidtól mért Mahalanobis távolsága, mint Outlier feltáró eszköz.

A 4.1a ábra „pooled” lineáris trendje helytelen, mert láthatóan (bár az ábra felbontása ezt nem domborítja ki) inkább strukturális törés van szakaszonként, és ha ezt a törést megtesszük, akkor az outlierok szerepe is megváltozik.

4.1 alfejezet: Az outlierok típusai

A 4-2 ábrán (77. oldal) milyen extrém gazdasági-társadalmi jelenség indokol az idősor közepén praktikusán egyetlen ilyen kiugrást? Utána persze a „sokk” hatása megmarad, mert a „véletlen bolyongás” nem felejt.

4.2.1 alfejezet: Modell független outlier-szűrés

Megjegyzésem ehhez az alfejezethez, hogy a távolságmérés nem igényel eloszlástípust, csak akkor, ha valószínűséget, vagy kritikus értéket kívánunk hozzá fűzni.

Nem világos a 80. oldalon, hogy ha egy módszer erősen érzékeny a kiugró értékekre, akkor ennek következtében az outlier miért fedődik el.

4.2.2 alfejezet: Modell-alapú outlier szűrés

Megjegyzés: A (4.24) képletben (87. oldal) érdekes, hogy a normálásnál a nevezőben egy variancia és egy szórás szorzata szerepel.

A 88. oldal 4-4 ábráján lényegileg ugyanaz az információ szerepel, mint a megelőző oldal 4-3 ábráján.

Kérdés: A 89. oldal (4.26) formuláját illetően kérdés, hogy kell-e az alfa paraméter, ami még inkább minimalizál? Végül is fuzzy outliert (fuzzy dummyt) nem értelmezünk: vagy Igen a válasz, vagy Nem.

Kérdés: A 92. oldalon szereplő „Qt idősor nyoma” konstrukcióval kapcsolatban kérdésem, hogy mi támasztja alá a ± 1 kritikus értékeket. Az értékek lehetnének aszimmetrikusak is? Vagyis mi a lefelé szignifikáns és mi a felfelé szignifikáns ebben a modell-környezetben?

4.3 alfejezet: Outlierekkel terhelt idősorok kezelése

Megjegyzésem: hogy a *winzorizációs* transzformáció analóg statisztikai terminológiája az ún. *cenzorált* eloszlások alkalmazása.

5.1 fejezet: A strukturális törés kimutatására szolgáló tesztek

Megjegyzés: Az Opponens véleménye szerint a strukturális törés helyének és típusának a megjelölése nem csak tesztelési, hanem szakmai-vizuális feladat is. A törések típusainak a megfelelő identifikálása mindenképpen javítja az előrejelzést, de ez már tesztelési feladat.

5.3. alfejezet: Kointegráció tesztje strukturális törést tartalmazó idősor esetén (121. oldal).

Megjegyzés: Véleményem szerint kointegrációt csak strukturálisan törésmentes időszaki szakaszban érdemes vizsgálni.

5.4 alfejezet: Az adatgeneráló folyamatok félre specifikálásának lehetősége strukturális törést tartalmazó idősorokban. (123. oldal)

Kérdés: milyen a mértéke egy strukturális törésnek? Hogy mérjük? Létezik ilyen skála?

5.4 alfejezet: Az adatgeneráló folyamatok félre specifikálásának lehetősége strukturális törést tartalmazó idősorokban (123. oldal)

Megjegyzés: Zavaró az oldal jelölésrendszere, mert az oldal közepén lévő alapmodellben „béta” a $t=1,2,\dots,T$ időproxy koefficiense, és „nú” a megelőző 117. oldalon definiáltan a $D_{2t}=0,0,\dots,0_{T1}, 1_{T1+1,2,\dots,T}$ változó koefficiense, miközben (5.16) egyszerűsítése érdekében a „béta” = 0 megszorítás történik: de megmarad a t-trend proxy a modellben, de nem béta, hanem „nú” paraméterrel.

5.4.1 alfejezet: A sztochasztikus trend létének felismerése strukturális törést tartalmazó idősorokban.

Megjegyzés: A 124. oldal 5-2 ábráján „jól láthatóan” a folyamat vízszintesen alakul a vízszintes tengely 500. érték sokkhatásáig „kis szórással”. Utána a trend természetesen megőrzi a „Sokk” hatását, mert Drift- és Marginális-hatás-váltás is történt, amit a trend megjegyéz és kumulál.

Véleményem szerint ebben a példában az idősort ketté kell bontani vizuálisan a $t=501$ pontnál fizikailag és külön elvégezni az egységgyök teszteket. Vizuálisan is látható az ábrán, hogy az idősorban egységgyök van.

Másik megközelítés, hogy a modell becslése során a 4 (lineáris) trendhez (kék és piros) 4 trendparamétert kellene rendelni (definiálni) és becsülni, tehát teljesen „törjük” az idősort és teszteljük. Ehhez viszont meg kellene jelennie a modellben a törés-dummy és az időproxy interakciójának is.

Tisztelettel

Dr. Hajdu Ottó, DSc
BME, GTK Pénzügyek Tanszék
egyetemi tanár

Budapest, 2017. 06. 06.