

Posudek dizertační práce

Název dizertační práce: **Stability in autoregressive time series models**

Autor: Mgr. Marek Dvořák

Předložená práce Mgr. Marka Dvořáka se týká problematiky detekce změn ve slabě stacionárních vektorových autoregresních modelech. V práci jsou navrženy testové statistiky pro retrospektivní detekci změny v různých parametrech těchto modelů, je odvozeno jejich asymptotické rozdělení za nulové hypotézy, t.j. za předpokladu neměnnosti těchto parametrů. Testové statistiky jsou založeny na principu maximální věrohodnosti a odvozeny za předpokladu normality, nicméně asymptotické výsledky u těchto statistik jsou platné za daleko slabších předpokladů na rozdělení a zahrnují i modely, kde se vyskytují konkrétní formy závislosti. Součástí práce jsou simulační studie ilustrující kvalitu odvozených teoretických výsledků a aplikace na reálná data.

Práce je rozdělena do 6 kapitol a též obsahuje dvě doplňující kapitoly. První kapitola je úvodem do problematiky detekce změn, vysvětleny jsou základní přístupy sekvenční i retrospektivní verze a přehled výsledků dosud dosažených. Je přesně specifikováno, co bylo uděláno a jaký je příspěvek autora.

V druhé kapitole jsou uvedeny základní pojmy a tvrzení týkající se vícerozměrných časových řad potřebných v dalších částech práce.

Třetí kapitola se týká postupů pro detekci změny ve střední hodnotě vícerozměrných časových řad, kapitola čtvrtá je věnována postupům, jestliže změna může nastat buď v autoregresních parametrech nebo varianční struktuře náhodných chyb, zatímco čtvrtá kapitola pokrývá změny ve střední hodnotě, autoregresních parametrech i v závislostní struktuře náhodných chyb. Vše se týká vícerozměrných časových řad. Šestá kapitola rekapituluje výsledky dosažené v dizertaci a formuluje otevřené problémy, které je třeba ještě řešit. Ve dvou doplňujících kapitolách jsou uvedeny potřebné pokročilé výsledky z teorie matic a limitních vět z teorie pravděpodobnosti, různé verze centrálních limitních vět.

Hlavní těžiště práce je v kapitolách 3-5. Mají podobnou strukturu: formulace modelu a předpokladů, odvození testových statistik, formulace jejich základních limitních vlastností ve tvaru vět, příslušné podrobné důkazy a simulační studie a aplikace. Testové procedury jsou odvozeny metodou podílem věrohodností za dodatečného předpokladu normálně rozdělených náhodných chyb a pak je ukázáno, že takto získané testy dobře fungují i za podstatně slabších předpokladů. Autor uvažuje

různé varianty problému, pro snažší pochopení uvádí i variantu známého bodu změny. Jsou uvažovány různé typy závislostní struktury nahodných chyb (inovací). Zatímco v tomto případě je limitní chování testových statistik stejné jako rozdělení funkcionalů gaussovských procesů, při neznámém bodu změny (důležité pro praktické aplikace) vede limitní rozdělení na tzv. Gumbelovo rozdělení. Při známém bodu změny jsou využity různé funkcionální centrální limitní věty při neznámém bodu změny je nutné použít velice hluboké věty (funkcionální limitní věty nestačí). Důraz práce je na konstrukci testových statistik, studium jejich limitního chování při nulové hypotéze a simulační studie. Problematika detekce změny rozdělení je poměrně náročná a její část zabývající se změnami ve vícerozměrných časových řadách patří k jejím nejobtížnějším partiím. V žádném případě nejde jen o přímočaré zobecnění postupů pro detekci změn v jednorozměrných časových řadách. Autor podrobně vysvětluje komplikace, se kterými si musel vypořádat. M. Dvořákovi podařilo odvodit hluboké, nové, zajímavé výsledky.

K jejich odvození autor využívá řadu metod používaných při sledování limitních vlastností navržených testových procedur, v řadě případů bylo třeba odvodit netriviální zobecnění. Metody důkazů jsou založené na pokročilých partiích teorie pravděpodobnosti a asymptotické statistiky. Autor do podstaty metod pronikl a dokázal na ně navázat.

K práci mám několik poznámek.

- Str. 13 , (2.1) čtenář by určitě uvítal připomenutí dimenze vektoru y
- Str. 14, Scenario 3 - asi by mělo být "and /or".
- Str. 14, druhý odstavec je velice důležitý, stál by za to více zdůraznit.
- Str. 13, (Ph.3) – δ totéž co v (Ph.2)?
- P.23, definice Q_T^\dagger – bylo by vhodné připomenout definici.
- Str. 73 – asi uvést přesnou definici $\widehat{B}(t)$ včetně definice standardizační matice, kterou je nutné hledat na několika stránkách.
- Str. 77 – asi lemma 3.8, věta 3.8 neexistuje.

Smyslem těchto dotazů je jen malé upřesnění. V práci jsem našla jen minimální počet překlepů.

Prezentace výsledků je vysoká. Autor prokázal nejen vědeckou invenci, ale také obrovskou dávku trpělivosti a péče. Práce je dobře strukturovaná, dobře se čte, podrobně jsou vysvětlovány postupy, motivace, nechybí interpretace teoretických výsledků i numerické studie.

Dizertace Mgr. Marka Dvořáka obsahuje mnoho nových zajímavých a užitečných výsledků z oblasti detekce změn v mnohorozměných časových řadách. Prokázal, že je schopen samostatné a tvořivé vědecké práce.

Domnívám se, že práce splňuje požadavky kladené na dizertační práci ve studijním oboru Ekonometrie a operační výzkum a doporučuji ji za ni uznat.

Prof. RNDr. Marie Hušková, DrSc., oponentka
KPMS MFF UK

3.12.2015