

## Prikaz knjige: Analiza i primjena više različitih varijacija vremenskih serija

### Book review: Multivariate time series analysis and applications

TIHANA ŠKRINJARIĆ  
Ekonomski fakultet – Zagreb  
Sveučilište u Zagrebu  
Trg. J. F. Kennedyja 6, 10000 Zagreb  
[tskrinjar@net.efzg.hr](mailto:tskrinjar@net.efzg.hr)

Prikaz knjige / Book review  
UDK / UDC: 303.71:330.43  
Autor knjige: William W. S. Wei  
Izdavač: John Wiley & Sons Ltd., 2019.  
ISBN: 978-1-119-50285-2

Analiza ekonomskih modela i fenomena danas je nezamisliva bez potpore ekonometrije i empirijskih analiza nad stvarnim podacima. Kako ekonomske pojave ovise jedna o drugoj, potrebno je analizu provesti tako da se promatraju multivarijatni modeli u kojima se modelira međusobna ovisnost i isprepletenost učinaka više varijabli odjedanput. Knjiga *Multivariate time series analysis and applications* sastoji se od deset poglavlja posvećenih analizi i interpretaciji rezultata multivarijatnih modela i vremenskih serija, a njezin je autor jedan od najpoznatijih imena u analizi vremenskih serija (upoznati čitatelji zasigurno su već proučili knjigu *Time Series Analysis : Univariate and Multivariate Methods*). Kako je riječ o multivarijatnim modelima, knjiga se preporučuje čitateljima koji već imaju određena znanja iz ekonometrije i vremenskih serija (poput univarijatne analize, testiranja stacionarnosti vremenskih serija i slično). Svako poglavlje potkrijepljeno je empirijskim primjerima uz opis naredbi koje je potrebno upisati u *R*, *SAS* i *Matlab* kako bi čitatelj sam mogao provesti procedure opisane u knjizi. *Online* su dostupni podaci kojima se autor koristi u knjizi, stoga je ovo dodatna prednost u odnosu na druge dostupne knjige, jer čitatelj sam može vježbati i interpretirati kao što je to učinjeno u knjizi. Kako je u nazivu knjige i riječ *primjene*, riječ je o knjizi koja ima balansiran spoj teorije i primjera kroz spomenute primjene.

Prvo poglavlje je najkraće jer se radi o uvodu u multivarijatne serije i modele, s uvođenjem oznaka i koncepata koje će se razmatrati u ostalim poglavljima, uz matrične zapise te prikaz načina na koji će se iskazivati modeli i slično. Već se ovdje uočava da je potrebno znati matrični račun kako bi se lakše pratio ostatak gradiva u knjizi. Drugo poglavlje je naziva *Vektorski modeli vremenskih serija* te se ovdje obrađuju VMA, VAR i VARMA modeli s njihovim svojstvima, metodama procjene i opsežnim primjerima. Izvode se opći matrični zapisi za svaki model, kao i matrice varijanci i kovarijanci parametara modela s obzirom na potrebne izračune za prognoziranje budućih vrijednosti i izračuna funkcija impulsnih odziva. Kratko se obrađuju Grangerova uzročnost, sezonski vektorski modeli te je dio poglavlja posvećen analizi netipičnih vrijednosti (engl. *outliers*) koje se u praksi pojavljuju pa se tako obrađuju MIO, MAO, MLS te MTC modeli (engl. *multivariate innovational outlier*, *multivariate additive outlier*, *multivariate level shift outlier* i *multivariate temporary change*). Analiza ovakvih modela sve je popularnija u posljednjih nekoliko godina, što se vidi i iz referenci u ovome dijelu knjige. Posljednji dio poglavlja posvećen je nekoliko empirijskih primjera te se proteže na više od trideset stranica sa svim grafičkim prikazima, matricama i tablicama. Svi uvedeni pojmovi analiziraju se nad stvarnim podacima te se interpretiraju kako bi ih čitatelj lakše povezao s prvim dijelom teorije. Za sve izračune autor prikazuje naredbe koje je potrebno kopirati u odgovarajuću programsku podršku. Kako se u trećem poglavlju analizira regresijska analiza multivarijatnih modela, ovo poglavlje vezano je uz prethodno. Obrađuju se pretpostavke multivarijatnih regresijskih modela te GLS metoda procjene (engl. *generalized least squares*). Ponovno su uključeni detaljni primjeri s

interpretacijama ne samo procjena, već i dijagnostike modela. Ovo poglavlje obrađuje i VARX modele, što se ponekad ne nalazi u sličnoj literaturi.

*Analiza glavnih komponenti* (engl. PCA – *principal component analysis*) naziv je četvrtog poglavlja. Autor ovdje obrađuje kako se matrica varijanci-kovarijanci varijabli od interesa pomoću PCA analize može objasniti pomoću manjeg broja linearnih kombinacija inicijalnog skupa varijabli. Posebno se analizira PCA za populaciju te posebno za uzorak. Primjer na kraju poglavlja je prikladan s obzirom na to da se analizira skup dionica za portfelj, gdje je matrica varijanci-kovarijanci prinosa veoma važan pojam u analizi portfelja. Nastavno na četvrto poglavlje, iduće je naziva *Faktorska analiza multivarijatnih vremenskih serija*, koja ima sličnu svrhu kao PCA analiza. Nakon definiranja neopazivih faktora koji se žele obuhvatiti ovom analizom, detaljno se predočava metoda procjene faktorskih modela te rotacija faktora i na kraju se primjer nastavlja na prethodno poglavlje (dionice i njihovi prinosi). Ova dva spomenuta poglavlja čak se mogu preporučiti čitateljima koji prvi put počinju učiti multivarijatne metode PCA i faktorske analize s obzirom na podrobna obrazloženja, numeričke primjere te primjere sa stvarnim podacima (koji su prikazani na mnogo stranica).

MGARCH (engl. *multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity*) modeli analiziraju se u šestome poglavlju: prve generacije modela (izravne generalizacije univarijatnih GARCH modela) te druge (linearne kombinacije univarijatnih modela). Ortogonalni GARCH model povezuje se s prethodnim poglavljima (zbog koreliranosti faktora/varijabli u matricama varijanci-kovarijanci). Naravno, prikazuje se metoda najveće vjerodostojnosti za procjenu MGARCH modela, ali i WSE metoda (engl. *weighted scatter estimation*), koja se nešto rjeđe nalazi u drugoj literaturi. Stoga se i ovdje uočava kako se postojeća znanja čitatelja koji su se već susreli s određenim pojmovima u ovoj knjizi mogu nadopuniti.

Iduće, sedmo poglavlje, naziva je *Ponovljena mjerenja* (engl. *repeated measurements*) jer se u praksi događaju situacije kada se određene varijable mjere samo nekoliko puta kroz vrijeme, a potrebno je izvršiti određene analize. Stoga se ovdje obrađuju MANOVA (engl. *multivariate analysis of variance*), model s fiksnim efektima, model sa slučajnim efektima, NRE model (engl. *nested random effects*) i primjeri su ponovno opširni. Ovdje se uočava mogućnost primjena u sociološkim istraživanjima, kao i u medicini. Autor je svjestan brojnih drugih područja primjene osim ekonomije stoga na kraju poglavlja zainteresirane čitatelje upućuje na daljnju literaturu za specifična pitanja. Osmo poglavlje naziva je *Space-time series models* te se odnosi na prostornu ekonometriju s obzirom na to da se neke ekonomske fenomene može modelirati ovisno o šokovima bližih ekonomskih jedinica/regija/država. Tako se ovdje modeliraju matrice udaljenosti jednog entiteta od drugih te pripadajući STARIMA modeli (engl. *Space-time ARIMA*). Uvode se i pojmovi ST-ACF i ST-PACF funkcija (engl. *space-time autocorrelation, partial autocorrelation function*) te GSTARIMA (engl. *generalized STARIMA*). Primjeri uključuju modeliranja za američke države te je ovdje uključeno mnoštvo rezultata i grafičkih prikaza. Prostorna ekonometrija sve je popularnija u posljednjih nekoliko godina te je ovo poglavlje jedno od onih koje se može preporučiti početnicima za upoznavanje s takvom materijom.

Spektralna analiza multivarijatnih serija razmatra se u devetom poglavlju. Za ovo poglavlje preporučuje se čitateljima najprije upoznavanje iste ove analize, ali za univarijatne serije s obzirom na to da je potrebno znati određene nalaze primjenom diferencijalnog i integralnog računa te je potrebno znati asimptotska svojstva pojedinih procjenitelja. Ovo je jedno od naprednijih poglavlja u ovoj knjizi te se ovdje nalazi najviše izvoda u odnosu na ostatak knjige. Razlog leži vjerojatno u tome što je autor svjestan da se ova analiza rjeđe nalazi u literaturi tipičnoj za vremenske serije. Nakon uvođenja inicijalnih pojmova koje je potrebno znati u ovoj analizi, prikazuju se prethodno uvedeni pojmovi i analiziraju se s aspekta spektralne analize (npr. VAR model). Posljednje poglavlje posvećeno je smanjenju broja dimenzija u multivarijatnim analizama. U praksi se često mogu dogoditi situacije velikog broja varijabli i broja parametara u modelu koji vode do smanjenja broja stupnjeva slobode ili pak potpune nemogućnosti procjene parametara modela. Stoga je ovo poglavlje posvećeno metodama smanjenja broja dimenzija u takvim slučajevima: obrađuju se *lasso* metoda i njezine varijante (kao najpopularnije metode), HVAR (engl. *hierarchical VAR*) i faktorska analiza. Empirijski primjeri na kraju uspoređuju sve metode odjedanput, što može biti izrazito korisno za čitatelja.

Može se zaključiti da je knjiga *Multivariate time series analysis and applications* jedan od značajnijih doprinosa u području primijenjene ekonometrije, posebice u području multivarijatnih modela. Knjiga se preporučuje onima koji već imaju određena znanja iz ekonometrijske analize te analize univarijatnih

vremenskih serija. Posebno je važno naglasiti da je za lakše razumijevanje materije u ovoj knjizi potrebno šire znanje iz matičnog računa jer je cijela knjiga pisana uz tu pretpostavku. Još jedanput se treba pohvaliti dobar omjer spomenute teorije i velikog broja ekonomskih primjena s ispisanim naredbama za nekoliko različitih programskih podrški. Stoga se ova knjiga može koristiti u različitim granama ekonomije i zasigurno može dopuniti postojeća znanja onih koji se bave (primijenjenom) ekonometrijom.