

REȚELE COMPLEXE CU APLICABILITATE ÎN ANALIZA FINANCIARĂ ȘI ECONOMICĂ

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Calculatoare și tehnologia informației

autor **BOAR RENATA-GRAZIELA**

conducător științific Prof.univ.dr.ing. CIOCĂRLIE HORIA

Ianurie 2019

Această teză se încadrează în tendințele actuale ale cercetării în domeniul Calculatoare și tehnologia informației, subdomeniul aparținând rețelelor complexe, fiind determinată și dezvoltată o analiză critică dar și comparativă a rezultatelor obținute.

Teza cuprinde opt capitole, în care se pornește de la o parte introductivă, cuprinzând informații generale, motivație și obiectivele propuse și realizate dar se dezvoltă și o sinteză legată de stadiul actual al cercetării în tematica rețelelor complexe.

Cercetarea continuă cu determinarea și aplicarea unor metodologii și a unei noi metrici pe parcursul celorlalte capitole.

Partea de final a lucrării este destinată concluziilor, contribuțiilor, noilor direcții de cercetare și modului în care au fost diseminate rezultatele.

Această cercetare aparține Programului Operațional Sectorial de Dezvoltare a Resurselor Umane POSDRU/159/1.5/S/137516 finanțat prin Fondul Social European și de Guvernul României.

Referințele bibliografice, prezentate după încheierea celor opt capitole, conțin 155 de publicații, enumerate și descrise pe parcursul întregii cercetări.

În primul capitol al tezei, numit *Introducere*, se prezintă un prim subcapitol, ce conține o viziune de ansamblu asupra utilizării rețelelor complexe, prin câteva aspecte generale. Astfel, se pornește de la conceptul de algoritm, ca noțiune primară, dar se continuă cu apariția teoriei grafurilor și apoi cu cea a apariției rețelelor.

Al doilea subcapitol din *Introducere* dezvoltă motivele care au stat la baza alegerii temei de cercetare precum și scopul acestei cercetări.

Astfel, se pleacă de la interesul crescut pentru domeniul rețelelor complexe și multă literatură de specialitate în domenii precum informatica și economia. Un alt motiv pentru care se pot utiliza rețelele complexe este legat de volumul mare de date care pot fi prelucrate la un moment dat. Toate abordările din cercetare se bazează pe statistici reale.

Aceste motive expuse conduc la o creștere a nivelului științific în domeniu, bazat pe studiu universitar avansat și totodată la formularea și soluționarea anumitor probleme existente în domeniul Calculatoare și tehnologia informației, folosind procedee științifice.

Se continuă primul capitol cu un subcapitol ce cuprinde obiectivele generale și cele specifice urmărite în teză.

Astfel, obiectivele generale cuprind determinarea și dezvoltarea unor metode, tehnici și algoritmi care permit analizarea anumitor sisteme reale, folosind rețele complexe, precum și implementarea unor proprietăți ale rețelelor complexe asupra domeniilor economico-financiare.

Obiectivele specifice definesc însă întregul ansamblu de relații și particularități din teză și prin care se stabilesc patru studii de caz, identificând datele necesare prelucrării.

Se găsesc anumite legături dintre domeniul rețelelor complexe și sistemele macroeconomice și se obțin noi corelații între diferitele tipuri de date precum și reprezentarea lor în spațiul multidimensional.

Un alt obiectiv face referire la conceptul de comunitate din domeniul rețelelor complexe care se aplică asupra rețelelor ce realizează schimburi economice și se determină și aplică trei metode/ algoritmi care permit realizarea intersecției dintre teoria grafurilor și econometrie.

Un alt obiectiv urmărește și permite definirea unei noi metrici de centralitate, denumită *CORREAL*. Această metrică se aplică asupra unor date ce reprezintă unele sectoare de activitate ale indicatorului macroeconomic PIB, asupra unor piețe financiare atent selectate dar și asupra unor operațiuni din import în Uniunea Europeană UE-28.

Al doilea capitol, denumit *Stadiul actual al cercetării în tematica tezei*, privește stadiul actual al cercetării în tematica tezei și sunt introduse câteva elemente definitorii, începând cu noțiuni ce dezvoltă teoria grafurilor, algoritmilor, rețelelor, inclusiv rețelelor complexe, pentru o mai bună înțelegere a modului în care sunt utilizate rețelele complexe.

Urmărind firul istoriei, în 1735 Leonhard Euler a studiat rețelele, rezolvând o primă problemă de drumuri în rețea și anume problema celor șapte poduri din Königsberg, fiind considerată una din problemele care stau la baza teoriei grafurilor. Se continuă apoi prezentarea cu modul de transmisie a datelor și administrarea acestora în rețea dar și cu evidențierea faptului că rețelele complexe reprezintă unul din punctele cheie în tehnologia atât de dezvoltată la ora actuală și în care noutățile apar cu o mare rapiditate. Însăși rețelele complexe și teoria grafurilor permit, în condiții mult mai eficiente, obținerea unor analize de o valoare superioară, la care metodele clasice nu reușesc să le mai facă față.

Tot în acest capitol doi este realizată și o anumită clasificare a rețelelor complexe, ținând cont de anumite topologii. Identificarea structurii unei comunități este un domeniu complex de cercetare și de actualitate iar folosirea unor tehnici de rețea ajută la evoluția domeniului, relevantă fiind determinarea celor mai influente noduri.

Totodată sunt formulate definiții și noțiuni fundamentale, utilizate în cercetare, necesare pentru o mai bună cunoaștere a modului în care sunt asociate tehnologiile folosite în domeniul rețelelor complexe cu mediul economico-financiar.

Evidențierea unor fundamente matematice, proprietăți, tehnici de rețea, modele și algoritmi de detecție comunități existenți, permit să fie accesibile noțiunile și metodologiile determinate în cadrul cercetării.

O analiză a acestui capitol doi este realizată și asupra unor categorii de algoritmi de detecție a comunităților pornind cu unii din algoritmi clasici, continuând cu cei ce utilizează suprapuneri, apoi cu o serie din cei bazați pe optimizarea modularității și, în final, cu o parte din cei de detecție a comunităților în mod dinamic, realizându-se și o schemă de prezentare a algoritmilor evidențiați dar există și un studiu comparativ asupra unor algoritmi de optimizare a modularității.

Datorită aplicabilității rețelelor complexe în cercetare asupra datelor din domeniul economico-financiar, se prezintă anumite informații și din perspectivă economică.

Un ultim subcapitol din capitolul al doilea se referă la o sinteză bazată pe bibliografia consultată.

Capitolul al treilea investighează comportamentul unor fenomene, caracterizate sub forma unor serii de timp. Folosirea rețelelor complexe permite determinarea corelațiilor existente între anumite date financiare și analiza rezultatelor obținute, cu referire la produsul intern brut al României, pe o perioadă mai lungă de timp, cuprinzând perioada 2001-2013, modelând astfel 14 sectoare de activitate pentru o perioadă de peste 12 ani.

Se realizează anumite măsurători specifice și se determină un coeficient de grupare de noduri care se poate folosi ca scor în descrierea structurii PIB-ului unei țări, fiind util în

compararea a două sau mai multe economii.

Un alt aspect al acestei direcții are legătură cu determinarea unor comunități, folosind un algoritm de detecție pe un graf filtrat.

Se evidențiază astfel o nouă posibilitate de vizualizare a datelor, prin anumite metode pentru a oferi experților soluții alternative de a prezenta și interpreta date. Reprezentarea și vizualizarea bazată pe graf oferă un mod puternic vizual care prezintă relația dintre toate aceste date.

Noutatea abordării constă în realizarea unui algoritm, denumit metodologia *PIBGRA*, care permite descompunerea principalelor sectoare ale economiei văzute prin produsul intern brut și construirea unor reprezentări, în spațiul multidimensional, ale relațiilor dintre ele.

Algoritmul evidențiază anumite comunități sub forma unor grafuri complete și a unor diagrame și grafice relevante, datele folosite în algoritm fiind selectate din baza de date aparținând Institutului Național de Statistică al României.

O parte din acest studiu a fost susținut în lucrarea cu titlul „A spatial approach in analyzing the structure and dynamics of the Romanian GDP” și prezentat la SACI 2014 [7].

În cel de-al patrulea capitol, denumit *Metodologia și rezultatele cu privire la a doua direcție de cercetare-Rețele complexe cu aplicabilitate în analiza structurii piețelor financiare*, s-au folosit rețelele complexe care permit prelucrarea datelor privind dinamica piețelor financiare.

O utilizare a unor seturi de date brute și construirea rețelor asociate permite realizarea unei analize ulterioare, specifică, prin vizualizări noi, pertinente.

În primă fază referirea se face la seturi de date preluate din baza de date Eurostat a Comisiei Europene și concentrate pe ratele de schimb valutar a 23 de monede principale în raport cu dolarul american. selecția de date acoperind perioada din 1 ianuarie 2000 și până la 1 august 2014, cu o rezoluție de un curs pe zi. Sunt 3646 date pentru fiecare din cele 23 de monede. Studiul acesta privește o abordare duală: una este cea clasică, privind evoluția temporală a datelor și vizualizarea lor prin intermediul unei corelograme, iar cealaltă, bazată pe analiza rețelor complexe, ne va arăta distribuția într-un spațiu n-dimensional a datelor, cu accent pe grupuri de seturi puternic intercorelate.

În faza a doua a direcției de studiu, legată de structura piețelor financiare globale, accentul se pune pe seturi de date preluate de la BNR. De această dată referirea se face la ratele de schimb valutar a 31 de monede principale, însă informațiile sunt selectate ca fiind mai apropiate de perioada actuală, cuprinzând perioada de antecriză 2005-2007 însă și perioada care a marcat criza și continuând prelucrările astfel pe o perioadă de 11 ani.

Dezvoltarea unor procedee și crearea unor modele ca relații între entități o consider necesară, la fel și construirea unor reprezentări spațiale ale acestora care să permită analiza intuitivă a relațiilor precum și caracterizarea cantitativă a fenomenelor, având în vedere că economiile moderne trebuie să țină cont de foarte mulți parametri, fiind sisteme extrem de dinamice, dar cu un echilibru instabil.

Cercetarea se axează pe folosirea analizei rețelor complexe. După ce se definește mecanismul construirii rețelor de corelație, se construiesc grafuri complete asociate și subgrafurile corespunzătoare (prin impunerea diverselor praguri pentru indicii de corelație).

După ce se aplică pragul de 0.3 asupra datelor, se observă că există o corelație statistică între majoritatea monedelor principale ale lumii, independent de țara sau continentul de origine.

Acest studiu se referă și la conceperea și aplicarea algoritmului, denumit *CORGRA*, prin folosirea unor tehnici cu ajutorul rețelor complexe care permit o analiză a structurii piețelor financiare mondiale. Metodele sunt aplicate asupra unor seturi de date folosite la nivel global, pe o perioadă de 14 ani iar o parte din studiile acestui capitol sunt susținute în lucrările și publicațiile din [8], [13].

Al treilea studiu al tezei, realizat și dezvoltat în capitolul cinci, denumit *Metodologia și rezultatele cu privire la a treia direcție de cercetare- Rețele complexe cu aplicabilitate în operațiuni de import-export EU-28*, a vizat crearea algoritmului *IMEXGRA* ce implică determinarea și aplicarea unor tehnici ale rețelor complexe asupra unor valori ale unor serii de timp rezultate din operațiuni comerciale de import-export între țări din EU-28 și a privit anumite perioade de timp, începând cu anul 2007, adică din momentul integrării țării noastre în Uniunea Europeană.

Intervenția în teză este una dinamică, cuprinzând o perioadă îndelungată de analizare a datelor, sau o perioadă scurtă supusă analizei, permițând analiștilor noi perspective de abordare asupra interpretării datelor pe perioade scurte sau lungi de timp. Dacă ne concentrăm asupra aceluiași comunități, în doi ani consecutivi, se observă că factorul de modularitate aproape este dublat. Indicele de corelație Pearson și pragul de 0,3 al indicelui, aplicat la diferite comunități, permite observarea diferențelor care au apărut în diferite perioade de timp, atât în ce privește importurile cât și exporturile în EU-28.

Noutatea abordării constă în folosirea rețelor complexe implementate prin intermediul grafurilor orientate, permițând compararea sigură și eficientă a două sau mai multe economii.

O parte din studiile acestui capitol au fost susținute în lucrarea cu titlul “Complex networks analysis of international import-export trade”.

Capitolul șase a fost destinat tot elementelor de gândire creativă și a vizat domeniul bursier, implicând indici de top din domeniu. Acest capitol al cercetării a îmbinat, prin intermediul rețelor complexe, elemente financiare care pot influența relațiile economice existente la nivelul actual între țările lumii. De aceasta dată, în lucrare, mulțimile selecționate au reprezentat instrumente financiare derivate ale piețelor de capital, mai precis anumiți indici bursieri reținuți pentru prelucrare.

O parte din studiile acestui capitol au fost susținute în lucrarea cu titlul “Complex Networks with Applicability to the Structure and Dynamics of Stock Market Evolution”.

În cel de-al șaptelea capitol, denumit *Centralitate în rețele economice*, s-a propus o nouă metrică de centralitate, *CORREAL*, care s-a definit și apoi s-a aplicat asupra datelor din primele trei studii de caz ale cercetării.

În prima situație, cu referire la PIB, România, metrica *CORREAL* a fost aplicată asupra celor 14 noduri din rețea ce reprezintă sectoare cheie selectate și prelucrate în întreaga cercetare și a cărui mod de reprezentare grafic a permis evidențierea anumitor noduri din rețea.

A doua reprezentare grafică a metricii de centralitate *CORREAL* a oferit posibilitatea realizării unei analize pertinente asupra a 23 de serii de timp, reprezentând, pentru circa 14 ani, rata de schimb valutar raportată la dolarul american.

O nouă reprezentare grafică a fost aplicată asupra datelor din al treilea studiu de caz. De această dată raportarea s-a făcut la o serie de moment, fiind expusă analizei, prin aplicarea metricii *CORREAL*, seria anilor 2007, cu referire la operațiuni economice de import realizate în întreaga Uniune Europeană-UE 28.

Totodată, asupra primelor trei direcții au fost aplicate o serie de măsurători asupra datelor, folosind diferiți indici de coeziune, obținându-se o serie de valori, regăsite în teză, aceste date permițând obținerea unui studiu comparativ cu metrica *CORREAL*, pe fiecare din subdomeniile selectate.

În capitolul al optulea este realizată o sinteză a lucrării de cercetare precum și contribuțiile personale dovedite prin articolele prezentate și publicate în conferințe internaționale și publicații în reviste care se regăsesc specificate în subcapitolul 8.4.

Una din contribuții o constituie adăugarea de metode noi pentru descrierea importanței unui nod (sistem economic) al rețelei în cadrul topologiei globale, bazate pe metrica de

betweenees. O altă contribuție o constituie identificarea corelațiilor ascunse în domeniul rețelelor de schimb de mărfuri și monede prin intermediul metodelor și metricilor specifice teoriei rețelelor complexe și realizarea unei noi metrici de centralitate *CORREAL*. O nouă contribuție este legată de detecția de comunități folosind topologia de rețea prin baleierea rezoluției cu pasul de 0.1 până la determinarea punctului de inflexiune al graficului ce cuprinde numărul de comunități și rezoluția. Realizarea a trei algoritmi/metodologii de reprezentarea într-un spațiu multidimensional a informațiilor specifice domeniului economic precum și a unui studiu comparativ schematic, pentru a extrage informații cu dimensionalitate scăzută din seturi de date cu dimensiune superioară, constituie o nouă contribuție, la fel și realizarea a patru studii de caz cu rol de aplicații demonstrative care să reliefeze utilitatea celor introduse prin prisma analizei interacțiunilor economice la nivelul produsului intern brut, a structurii piețelor financiare, a schimbului de mărfuri la import și export dar și în ceea ce privește piața bursieră.

Tot în acest capitol opt sunt precizate noi propuneri pentru cercetarea viitoare.

Atât calculele statistice cât și trasarea graficelor prezentate au fost realizate prin intermediul limbajului și mediului de programare R, versiunea 3.0.2., executat pe Windows 7 Ultimate Edition, platforma x64. Avem de-a face cu reprezentări grafice și vizualizări, toate redările fiind făcute folosind Gephi 0.8, sau 0.9.1 unul dintre cele mai importante instrumente de analiză de rețea OpenSource.

În finalul cercetării au fost expuse anexe la cercetare ce conțin o parte din seturile de date pe care s-au realizat măsurătorile.

Dintre referințele bibliografice prezentate în cercetare se evidențiază următoarele:

1. S. H. STROGATZ, Exploring complex networks, Nature, 410(6825):268–276, 2001
2. BARABASI A.-L, Scale-Free Networks: A decade and Beyond, Science 325, 412-413, 2009
3. R. ALBERT, A.-L. BARABÁSI, Statistical mechanics of complex networks, Reviews of modern physics, vol. 74, no. 1, p. 47, 2002
4. F. VEGA-REDOND, Complex Social Networks, Series: Econometric Society Monographs, 2007, Cambridge University Press
5. M. D. KÖNIG, S. BATTISTON, From Graph Theory to Models of Economic Networks. A Tutorial, in Networks, Topology and Dynamics, Theory and Applications to Economics and Social Systems, Series: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 613, Springer, 2008.
6. M. GEIPEL, Self-organization applied to dynamic network layout, International Journal of Modern Physics C. forthcoming, 2007
7. R.G. BOAR, A. IOVANOVICI and H.CIOCÂRLIE, A spatial approach in analyzing the structure and dynamics of the Romanian GDP”, 978-1-4799-4694-5/14/ SACI 2014 IEEE Page(s): 259 – 262
8. R. G. BOAR, A. FORTIS, A. IOVANOVICI, H.CIOCÂRLIE, A Spatial Analysys of International World Exchange Using Complex Networks Analysys, Annals. Computer Science Series . Dec2017, Vol. 15 Issue 2, p136-142. 7p.
9. NEWMAN M., The structure and function of complex networks, SIAM review, 45(2): 167 –256, 2003.
10. NEWMAN M., Networks: An Introduction, Oxford University,2010
11. M. BASTIAN, S. HEYMANN, and M. JAMCOV, Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks, in ICWSM, 2009.
12. R.-E. PRECUP, S. KOVACS, S. PREITL, E. M. PETRIU (editori), Applied Computational Intelligence in Engineering and Information Technology, Topics in Intelligent

Engineering and Informatics, vol. 1, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 356 pp., 2012.

13. R. G. BOAR, A. IOVANOVICI and H.CIOCÂRLIE, Complex Network Interpretation of European Union Economic Dynamics, 978-1-5090-5656-9/17 © 2017 IEEE pages 201-206(SAMI 2017)

14. R. G. BOAR, A. IOVANOVICI and H.CIOCÂRLIE, Complex networks analysis of international import-export trade, 14-16 noiembrie, 2017 IEEE, 14th International Scientific Conference on Informatics (INFORMATICS'2017)

15. KRICHENE H., CHAKRABORTY A., INOUE H., FUJIWARA Y., Business cycles' correlation in the Japanese production network, The 6th International Conference on Complex Networks & Their Applications, Nov. 29-Dec. 01, 2017, Lyon(France)

16. R.-G. BOAR, A. IOVANOVICI and H.CIOCÂRLIE, Complex Networks with Applicability to the Structure and Dynamics of Stock Market Evolution, Precedeengs of the IEEE 12th International Symposium Applied Computational Intelligence and Informatics(SACI 2018), May 17-19, 2018 in Timisoara, Romania

17. S. FORTUNATO, Community detection in graph, arXiv:0906.0612.(2009)

18. M. E. NEWMAN, Fast algorithm for detecting community structure in networks. Physical review E, 69(6), 066133.(2004)

19. V.D.BLONDEL,J.-L GUILLAUME, R. LAMBIOTTE,E LEFEBVRE, Fast unfolding of communities in large networks, Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. 2008 (10): P10008. arXiv:0803.0476

20. A.CLAUSET, M.E.J NEWMAN, C. MOORE, Finding community structure in very large networks, Physical Review E. 70 (6). arXiv:cond-mat/0408187 (2004)

21. K WAKITA, T. TSURUMI, Finding Community Structure in Mega-scale Social Networks <https://arxiv.org/abs/cs/0702048>