

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT
“UTILIZAREA METODELOR STATISTICE ÎN FUNDAMENTAREA
DECIZIILOR MANAGERIALE”

Teza de doctorat cu titlul “Utilizarea metodelor statistice în fundamentarea deciziilor manageriale” a **doctorandului Matei – Cernăianu Alice - Dalina**, având drept conducător științific pe **domnul Profesor universitar doctor Georgescu Vasile**, este structurată pe cinci capitole și se încheie cu bibliografia după cum urmează:

INTRODUCERE

Capitolul 1

ORIENTĂRI RECENTE ÎN MODELAREA PROCESELOR ECONOMICE NELINIARE: DE LA METODELE DE ESTIMARE PARAMETRICĂ LA CELE DE INTELIGENȚĂ COMPUTAȚIONALĂ

- 1.1. Calitatea și rolul informației statistice în procesul decizional
- 1.2. Rolul inferenței statistice și a metodelor bazate pe teoria clasică a estimăției
- 1.3. Rolul metodelor bazate pe Inteligența Computațională
- 1.4. Demersul experimental al tezei: analiza acurateții estimațiilor pentru metodele bazate pe inteligența computațională, comparativ cu cele bazate pe teoria clasică a estimăției

Capitolul 2

DECIZII MANAGERIALE BAZATE PE TEORIA DUALITĂȚII COST-PRODUCȚIE

- 2.1. Principiile dualității cost-producție
- 2.2. Funcții de producție
 - 2.2.1. Proprietăți ale funcțiilor de producție
 - 2.2.2. Indicatori marginali ai funcțiilor de producție
 - 2.2.3. Indicatori de elasticitate
 - 2.2.4. Izocuante de producție
 - 2.2.5. Rata marginală de substituție tehnică a factorilor de producție
 - 2.2.6. Coeficientul de elasticitate a ratei marginale de substituție
- 2.3. Funcții de cost
 - 2.3.1 Definiția funcției de cost
 - 2.3.2 Combinația optimă a factorilor. Condiția de echilibru concurențial într-un sistem de producție
 - 2.3.3. Cauze care influențează alegerea combinației optime de factori
 - 2.3.4. Deducerea funcției de cost din funcția de producție. Funcțiile de cerere condiționată ale factorilor
 - 2.3.5. Deducerea funcției de producție din funcția de cost
 - 2.3.6. Funcția de cost pe termen scurt
 - 2.3.7. Specificarea unor forme funcționale flexibile
 - 2.3.7.1. Funcția de producție Translog
 - 2.3.7.2. Funcția de cost Translog

Capitolul 3

METODE DE ESTIMARE A MODELELOR BAZATE PE TEORIA CLASICĂ A ESTIMAȚIEI

- 3.1. Modelul de regresie liniară multiplă
- 3.2. Inferența statistică în cadrul modelului de regresie liniară multiplă
- 3.3. Neliniaritatea unor relații de dependență dintre variabilele economice

Capitolul 4

METODE FLEXIBILE DE ESTIMARE A MODELOR BAZATE PE INTELIGENȚA COMPUTAȚIONALĂ

- 4.1. Estimarea flexibilă a modelelor bazată pe rețele neuronale
 - 4.1.1. Principii și proprietăți de bază ale calculului neuronal
 - 4.1.2. Scurt istoric
 - 4.1.3. Modalități de învățare
 - 4.1.4. Arhitecturi neuronale
 - 4.1.4.1. Modelul general al unei rețele neuronale
 - 4.1.4.2. Modelul Perceptronului
 - 4.1.4.3. Rețele neuronale multistrat
 - 4.1.5. Propagarea înapoi a erorii
 - 4.1.5.1. Funcția criteriu
 - 4.1.5.2. Algoritm de propagare înapoi
 - 4.1.6. Probleme legate de învățare: suprainstruirea și capacitatea de generalizare
 - 4.1.7. Realizarea aplicațiilor bazate pe rețele neuronale feedforward
- 4.2. Estimarea flexibilă a modelelor bazată pe tehnici fuzzy
 - 4.2.1. Estimarea modelului în logică fuzzy
 - 4.2.2. Schema de identificare a structurii modelului
 - 4.2.3. Optimizare bazată pe modele în logică fuzzy
- 4.3. Estimarea flexibilă a modelelor bazată pe metode neuro-fuzzy
 - 4.3.1. Caracteristici ale modelelor neuro-fuzzy
 - 4.3.2. Arhitectura ANFIS
- 4.4. Concluzii

Capitolul 5

ANALIZA ACURATEȚEI ESTIMAȚIILOR PENTRU METODELE BAZATE PE INTELIGENȚA COMPUTAȚIONALĂ, COMPARATIV CU CELE BAZATE PE TEORIA CLASICĂ A ESTIMAȚIEI

- 5.1. Scopul demersului experimental
- 5.2. Performanța predictivă a metodelor bazate pe inteligența computațională în raport cu modelul etalon propus de Christensen și Greene
 - 5.2.1. Specificarea clasică a modelului Christensen-Greene printr-o formă funcțională flexibilă de tip TRANSLOG
 - 5.2.2. Proceduri eficiente de estimare a funcției de cost TRANSLOG: Estimatorul realizabil al celor mai mici pătrate generalizate
 - 5.2.3. Implementarea procedurii de estimare a funcției de cost TRANSLOG
 - 5.2.4. Estimarea modelului Christensen-Greene prin metoda modelării bazată pe sisteme de inferențe fuzzy
 - 5.2.5. Estimarea modelului Christensen-Greene prin rețele neuronale feedforward (de tip perceptroni multistrat)

- 5.2.6. Estimarea modelului Christensen-Greene prin metode hibride neuro-fuzzy (ANFIS)
- 5.2.7. Concluzii privind performanțele predictive ale modelelor
- 5.3. Modelarea sistemului cost-producție la Complexul Energetic Turceni – S.A
 - 5.3.1. Scurtă prezentare a Complexului Energetic Turceni – S.A
 - 5.3.2. Estimarea funcției de producție Cobb-Douglas cu doi factori
 - 5.3.3. Estimarea funcției de producție Cobb-Douglas cu patru factori
 - 5.3.4. Estimarea funcției de producție utilizând rețele neuronale
 - 5.3.5. Estimarea funcției de producție utilizând metode neuro-fuzzy (ANFIS)
 - 5.3.6. Analiza comparativă a acurateții estimațiilor în cazul funcțiilor de producție
 - 5.3.7. Estimarea funcției de cost Cobb-Douglas
 - 5.3.8. Estimarea funcției de cost TRANSLOG
 - 5.3.9. Estimarea funcției de cost utilizând rețele neuronale
 - 5.3.10. Estimarea funcției de cost utilizând metode neuro-fuzzy (ANFIS)
 - 5.3.11. Analiza comparativă a acurateții estimațiilor în cazul funcțiilor de cost

CONCLUZII

BIBLIOGRAFIE

Conținutul informațional al tezei elaborate poate fi sintetizat prin următoarele **cuvinte cheie** : Calitatea și rolul informației statistice în procesul decizional; Rolul inferenței statistice; Rolul inferenței statistice și a metodelor bazate pe teoria clasică a estimației; Rolul metodelor bazate pe Inteligența Computațională; Analiza acurateții estimațiilor pentru metodele bazate pe Inteligența Computațională, comparativ cu cele bazate pe teoria clasică a estimației; Principiile dualității cost – producție; Funcții de producție; Funcții de cost; Modelul de regresie liniară multiplă; Inferența statistică în cadrul modelului de regresie liniară multiplă; Neliniaritatea unor relații de dependență dintre variabilele economice; Estimarea flexibilă a modelelor bazată pe rețele neuronale; Estimarea flexibilă a modelelor bazate pe tehnici fuzzy; Estimarea flexibilă a modelelor bazată pe metode neuro-fuzzy; Performanța predictivă a metodelor bazate pe inteligența computațională în raport cu modelul etalon propus de Christensen și Greene; Modelarea sistemului cost-producție la Complexul Energetic Turceni S.A.

Sinteze ale părților principale ale tezei de doctorat

Problematica supusă cercetării doctorale are ca **obiectiv** fundamentarea deciziilor manageriale la nivel de firmă, prin utilizarea unor tehnici de modelare a funcțiilor de producție și de cost ce definesc comportamentul producătorului, în acord cu teoria dualității cost-producție.

În concordanță cu obiectivul , **demersul experimental** al tezei testează acuratețea estimațiilor obținute prin tehnicile de inteligență computațională, comparativ cu cele bazate pe teoria clasică a estimației, utilizând seturi comune de date obținute ca eşantioane ale unor procese cu caracteristici neliniare intrinseci.

În mod tradițional, aceste procese sunt modelate prin forme funcționale flexibile, asociate unor dependențe complexe, puternic neliniare, un exemplu tipic de acest gen fiind modelul parametric bazat pe funcția Translog, a cărei flexibilitate recunoscută constă în combinația complexă de funcții logaritmice liniare și pătrate. Acuratețea obținută prin

utilizarea unor astfel de modele parametrice a fost apoi comparată cu cea care rezultă din utilizarea modelelor bazate pe inteligența computațională (rețele neuronale, sisteme de inferențe fuzzy, respectiv modele mixte neuro-fuzzy).

În acest context, teza este structurată pe **5 capitole** a căror abordare, în sinteză, se prezintă după cum urmează:

Capitolul 1 – ORIENTĂRI RECENTE ÎN MODELAREA PROCESELOR ECONOMICE NELINIARE: DE LA MODELE DE ESTIMARE PARAMETRICĂ LA CELE DE INTELIGENȚĂ COMPUTAȚIONALĂ - reliefează faptul că sistemele manageriale sunt prin natura lor, sisteme informațional – decizionale, care tratează informații statistice reale și în timp util. Având drept fundament, un anumit volum, o anumită structură, și un anumit mod de prezentare al informației statistice, decizia managerială apare ca un proces dinamic și rațional care solicită capacitatea managerului de a stăpâni mecanismul complex al ansamblului sistemului de management al firmei. În acest sens, subsistemele informatic, informațional – statistic și decizional își aduc o contribuție fundamentală.

Procesele decizionale se bazează pe utilizarea datelor statistice pentru elaborarea unor modele matematice ale fenomenelor și proceselor economice, la care își aduce o contribuția ulterioară inferența statistică, ca metodă de cercetare inductivă ce asigură și validează, după criteriile matematice trecerea de la particular la general. În cadrul modelului, informația este vehiculată prin intermediul variabilelor exogene sau endogene. Anumite variabile pot avea caracter aleator iar modelul care permite intervenția acestui gen de variabile este un model econometric, așa cum este cazul modelelor explicative care au drept scop să studieze diverse relații funcționale între variabile ce exprimă un anumit tip de comportament economic.

Relațiile ce definesc modelele explicative iau în general forma unor ecuații, în cadrul cărora trebuie să deosebim atât o parte deterministă, prin care se exprimă funcțional anumite legături de cauzalitate între variabilele endogene și exogene, cât și o parte nedeterministă, rezumată la nivelul ecuației de variabila eroare. Aceste precizări pun în evidență rolul disimetric al diferitelor variabile economice în cadrul modelului explicativ. Acest tip de model trebuie să fie specificat (rolul esențial revine teoriei economice de a oferi criteriile de consistență logică), estimat (determinarea structurii acestuia), validat factual (puterea predictivă în limite de toleranță acceptabile) și să poată fi utilizat efectiv (fie în scop explicativ, fie în scop predictiv).

O provocare însă chiar și în raport cu cele mai evaluate tehnici econometrice de estimare, o reprezintă problema modelării proceselor neliniare cu structură complexă și un număr mare de variabile. Maniera clasică de a răspunde acestei provocări a fost aceea de a rafina metodele de estimare parametrică și de a furniza apriori specificații suficient de elastice ale formelor funcționale, care potrivit accepțiunii tradiționale a termenului, nu au fost specificate ex-ante, făcându-se apel doar la experiență și intuiție.

Pornind însă de la aprecierea conform căreia flexibilitatea reprezintă capacitatea formei funcționale (definită parametric) - fie aceasta o funcție de producție sau o funcție de cost – de a aproxima comportamente diverse, dar teoretic consistente printr-o alegere adecvată a parametrilor, una dintre cele mai populare forme funcționale propusă pentru modelarea comportamentului producătorului, este funcția TRANSLOG (transcendental logarithmic function), a cărei flexibilitate a fost justificată teoretic și dovedită practic.

Cercetări științifice recente pun în evidență metode de estimație neparametrice, proiectate pentru a obține ajustări ale unor funcții de regresie supuse la restricții structurale de monotonie și concavitate. Este vorba despre tehnicile bazate pe inteligența computațională ce utilizează modalități diferite de a răspunde cerinței de flexibilitate (menționăm rețelele

neuronale, modele în logică fuzzy, modele neuro-fuzzy). Inteligența și adaptivitatea sunt două atribute esențiale ale sistemelor inteligente (precum cel decizional). Capacitatea de a învăța și de a se adapta stau la baza apariției și dezvoltării inteligenței computaționale, percepția asupra sistemului fiind aceea că, acesta posedă anumite atribute de raționament ce fac posibil sau facilitează un comportament inteligent în medii complexe și schimbătoare, el însuși autoorganizându-se în structuri complexe chiar și în prezența forțelor permanente care tind să îl destructureze.

Metodele bazate pe inteligența computațională sunt în prezent considerate cele mai performante tehnici de estimare a modelelor neliniare, atât din punct de vedere al puterii predictive (net superioare) cât și din punct de vedere al flexibilității, dovedite ca aproximatori universali în modelarea proceselor neliniare.

Procesul de creare a unor astfel de modele parcurge următoarele etape de modelare: construirea, evaluarea și integrarea. Într-o asemenea arhitectură modelul permite analiza acurateții estimățiilor pentru metodele bazate pe inteligența computațională, comparativ cu cele bazate pe teoria clasică a estimației.

Capitolul 2 – DECIZII MANAGERIALE BAZATE PE TEORIA DUALITĂȚII COST- PRODUCȚIE.

Managementul producției și al costurilor sunt inseparabil legate, reprezentând două fațete ale aceluiaș proces decizional orientat spre eficiența utilizării resurselor în raport de frontiera posibilităților de producție. Aceste obiective cu caracter dual se împart în două mari categorii : minimizarea costurilor de realizare a unui anumit nivel de producție și maximizarea producției realizate cu un nivel dat al costurilor.

Formularea duală a modelelor ce definesc sistemul cost-producție, pentru soluționarea realizării acestor cerințe, are la bază metode analitice de modelare bazate pe specificarea, estimarea și testarea econometrică a funcțiilor de producție și de cost, formulare admisă de altfel de teoria economică. Modelarea duală a sistemului cost-producție presupune identificarea unei funcții de cost care simultan cu reflectarea influenței prețurilor factorilor, să depindă explicit de volumul producției, având în vedere ipoteza naturală conform căreia un anumit nivel al producției este posibil doar prin asigurarea unui anumit consum de factori, combinați într-o proporție stabilită după “rețeta ”dată de funcția de producție.

Printr-o abordare teoretică detaliată și exemplificată practic, am pus în evidență, conceptul, proprietățile, indicatorii marginali și de elasticitate ai funcțiilor de producție Cobb - Douglas și CEZ (Constant Elasticity of Substitution). Cu aceeași rigoare științifică am analizat funcția cost urmărindu-i traiectoria de expansiune în conformitate cu teoria dualității cost-producție.

Pe baza acestor fundamente teoretice și în raport de caracterul limitat al resurselor disponibile , managerul trebuie să ia o decizie de alegere a combinației optime de resurse prin intermediul căreia se poate obține un anumit nivel de producție cu cost minim sau un nivel maxim de producție cu un cost dat, urmărind modificările în timp, generate de cauze care influențează alegerea combinației cum ar fi prețul factorilor și/sau nivelul tehnologiei. Avem în vedere de exemplu, modificarea raportului dintre resursele utilizate în producție, ca urmare a schimbării prețului uneia dintre ele, aspect ce generează efectul de substituție, fiecare combinație de resurse contribuind la producerea unei cantități mai mari de produse.

Analizând cauzele care influențează alegerea combinației optime de factori și presupunând că managementul organizației dorește să minimizeze costul total necesar realizării unui anumit nivel al producției, pe baza teoriei dualității cost-producție am definit funcția de cost ca funcție de prețurile factorilor de producție și nivelul producției și apoi am dedus-o din

funcția de producție. Pornind de la funcția de producție Cobb-Douglas și având ca obiectiv găsirea nivelului optim al stocului de capital (K) și al forței de muncă (L), care să asigure minimizarea costului total variabil, sub restricția de a atinge un nivel (Y) al producției, am dedus funcțiile de cerere condiționată ale factorilor K și L și am determinat funcția costului total variabil, concluzionând că funcțiile de cerere condiționată ale factorilor se pot exprima ca derivate parțiale ale funcției de cost în raport cu prețurile factorilor. Pe termen scurt, unii dintre factorii de producție se pot considera fixați la nivele predeterminate.

În finalul capitolului 2, am abordat funcțiile Translog, de producție și de cost, ca forme funcționale flexibile. Funcția de producție TRANSLOG (transcendental logaritmic) este o generalizare a modelului Cobb-Douglas în sensul că relatează ipoteza restrictivă privind elasticitatea de substituție unitară. O specificare a funcției cost Translog, ne apare sub forma unui sistem ce descrie atât funcția logaritmică a costului total variabil, cât și ponderea factorilor în costul total variabil.

Capitolul 3- METODE DE ESTIMARE A MODELELOR BAZATE PE TEORIA CLASICĂ A ESTIMAȚIEI

Sunt supuse cercetării: estimatorul celor mai mici pătrate și proprietățile acestuia pentru modelul de regresie liniară multiplă; inferența statistică în cadrul modelului de regresie liniară multiplă precum și metode specifice de tratare a neliniarității unor relații de dependență dintre variabilele economice (neliniaritatea în argumente și neliniaritatea în parametri). Modelele neliniare în argumente, dar liniare în parametri, reprezintă o extindere a modelului liniar. În ceea ce privește neliniaritatea în parametri am menționat distincția care trebuie făcută între modelele liniare, dar liniarizabile prin logaritmare și modelele neliniare propriu-zise. Una din problemele majore avute în vedere atunci când sunt utilizate metodele de regresie multiple este asigurarea stabilității estimatorilor, pentru că unul dintre principalii factori generatori de instabilitate este prezența multicoliniarității, fenomen ce se manifestă atunci când variabilele independente sunt intens corelate între ele. Cu toate că multicoliniaritatea nu afectează acuratețea previziunii, ci mai degrabă interpretarea variabilelor independente, literatura de specialitate prezintă un grupaj de soluții pentru atenuarea sau chiar eliminarea efectelor multicoliniarității.

Capitolul 4- METODE FLEXIBILE DE ESTIMARE A MODELELOR BAZATE PE INTELIGENȚA COMPUTAȚIONALĂ, abordează metode flexibile de estimare a modelelor, bazate pe inteligența computațională ca alternativă modernă la metodele bazate pe teoria clasică a estimației. Sunt descrise trei direcții principale și anume: estimarea flexibilă a modelelor bazate pe rețele neuronale; estimarea flexibilă a modelelor bazată pe tehnici fuzzy și estimarea flexibilă a modelelor bazată pe metode neuro-fuzzy.

Analiza momentelor importante ale evoluției preocupărilor din domeniul cercetărilor neuronale, pune în evidență principiile și proprietățile de bază ale calculului neuronal generat de o rețea neuronală, definită ca o clasă de metode bazate pe inteligența computațională. Interesul de a le utiliza pe un spectru larg de aplicații practice, are ca motivație, eficacitatea acestor metode de a furniza soluții, în special de natură predictivă pentru probleme de mare complexitate.

Acuratețea previziunilor unei rețele neuronale asupra prețurilor la gaze pentru un orizont de o lună (cazul unei companii nord-americane), a ajuns la o medie de 97%. Alte cazuri tipice de utilizare cu succes a rețelelor neuronale includ: stabilirea prețurilor pe piața imobiliară, evoluția cotațiilor pe piețele financiare, analiza cererilor de creditare etc...

Spre deosebire de metodele bazate pe teoria clasică a estimației, rețelele neuronale, simulează comportamentul unui ansamblu de neuroni conectați între ei analog sinapselor din

creerul uman, imitând funcționarea acestuia. Apare astfel o nouă paradigmă în calculul computerizat bazat pe modele conversioniste. Rețelele neuronale artificiale așa cum sunt ele definite de oamenii de știință ai domeniului, sunt rețele de modele de neuroni conectați prin intermediul unor sinapse ajustabile. Rețelele neuronale artificiale se caracterizează prin capacitate de învățare, paralelism înalt, robustețe și toleranță la defecte și perturbații. În plus: informațiile și cunoștințele sunt distribuite în întreaga rețea (prin valorile ponderilor sinaptice); rețeaua neuronală furnizează un răspuns global și posedă capacitatea de adaptare, de generalizare și de recuperare asociativă.

Cunoașterea pe care rețeaua neuronală o dobândește este memorată de sinapsele neuronale mai precis, în ponderile conexiunilor dintre neuroni. Un astfel de sistem învață prin modificarea intensității conexiunilor dintre elemente, prin schimbarea ponderii asociate acestor conexiuni. Învățarea se asociază întotdeauna și cu capacitatea rețelei neuronale de a reprezenta cunoașterea. Într-o rețea neuronală informația este memorată difuz în toată rețeaua ci nu doar în zone bine precizate, cum este cazul calculatoarelor standard. Datorită naturii intrinseci a unei arhitecturi neuronale bazată pe conectivitate și procesare paralelă, rețelele neuronale dau cote înalte de calcul, au un grad mare de robustețe sunt tolerante la defecte și perturbații, permit posibile acumulări asociative, stochează cunoștințele în memorii asociative la care adresarea acestora pentru regăsire se face prin conținut etc...

Ultimele două decenii au cunoscut o dezvoltare explozivă a numeroase arhitecturi de rețele neuronale, între care cele dinamice (recunoscute) cu conexiuni de tip feed-back, au dobândit o importanță aparte. Rețelele neuronale artificiale învață prin trei moduri distincte:

- a) calculul direct al ponderilor (prin transpuneri simple, prin minimizarea unei funcții sau prin găsirea unor soluții pentru un sistem de ecuații);
- b) învățarea supravegheată (aplicarea unor date la intrarea rețelei și obținerea ieșirii spontane a acesteia);
- c) învățarea nesupravegheată (fără intervenția utilizatorului);

O rețea neuronală constă dintr-o mulțime de elemente de prelucrare (neuroni, unități cognitive sau noduri ale rețelei) înalt interconectate. Fiecare neuron calculează starea sa internă sau activarea (excitația) totală ca fiind suma ponderată a semnalelor de intrare. În modelul Mc Culloch-Pitts fiecare neuron este caracterizat de un prag de excitație. Deosebim astfel neuron cu o intrare fără prag de excitație, neuron cu o intrare și prag de excitație.

Avantajul acestei abordări este acela că pragul poate fi ajustat, împreună cu celelalte ponderi în timpul procesului de instruire. Forma funcției de răspuns depinde de modelul de rețea neuronală studiat. Menționăm : funcția prag, funcția signum, funcția identitate și funcția de tip sigmoidală, cu precizarea că funcțiile sigmoide reprezintă forme netezite ale funcției prag liniare. Ele sunt funcții continue, derivabile și monoton crescătoare iar aceste proprietăți sunt convenabile pentru aplicații ce presupun calculul analogic și modelarea unei logici multivalente.

Sâmburele din care s-au dezvoltat rețelele neuronale îl reprezintă modelul perceptronului. Arhitectura standard a acestuia este cea mai simplă configurație posibilă a unei rețele. Ea permite ca instruirea acestuia să se realizeze folosind un algoritm de instruire simplu și eficient, ce aparține unei clase de instruire. (a fost depistată o gamă largă de algoritmi de instruire).

Perceptronul cu un singur strat este cea mai simplă rețea neuronală. Această rețea elementară are capacitatea de a învăța să recunoască forme simple. Deoarece perceptronul cu un singur strat nu poate discrimina decât clase liniar separabile, aplicarea acestui algoritm în rezolvarea unor probleme concrete este sever limitată. În schimb problema poate fi rezolvată

de un perceptron cu mai multe straturi. Neuronii pot fi conectați în diferite moduri pentru a forma o rețea neuronală. Un model uzual de topologie consideră neuronii organizați în mai multe straturi. Într-o asemenea rețea, primul strat privește intrările din mediu, ieșirile din acest strat constituie intrări pentru neuronii stratului următor. Ieșirea rețelei este formată din ieșirile neuronilor ultimului strat. Motivul complicării arhitecturii neuronale este legat de faptul că uneori arhitecturile mai simple se dovedesc incapabile de a rezolva o problemă sau o anumită clasă de probleme.

Dacă o rețea nu poate rezolva o problemă, este uneori suficient să mărim numărul neuronilor din rețea, păstrând vechea arhitectură. În alte situații, este necesar să modificăm arhitectura rețelei, introducând unul sau mai multe straturi neuronale noi, cu mențiunea că se pot considera arhitecturi de rețea, în care există conexiuni între neuronii aceluiași strat, sau de la un neuron spre neuronii aflați în stratul anterior, sau conexiuni ce pot lega doi neuroni care nu se află neapărat în straturi adiacente.

Unul dintre cei mai importanți și mai utilizați algoritmi pentru instruirea rețelelor neuronale îl reprezintă algoritmul de propagare înapoi a erorilor. Aceasta este o metodă de instruire a rețelelor neuronale multistrat cu transmitere înainte (rețele unidirecționale) în care se urmărește minimizarea erorii medii pătratice printr-o metodă de gradient. Nu este sigur însă că tehnica de optimizare utilizată va determina minimul global al funcției criteriu (algoritmul de propagare înapoi cere ca funcțiile de răspuns să fie derivabile). Ceea ce se obține este în general, o soluție acceptabilă și nu neapărat, o soluție optimă.

O problemă importantă a instruirii este legată de posibilitatea producerii în timpul procesului de minimizare a erorii, a fenomenului cunoscut sub numele de suprainstruire.

Algoritmii de instruire urmăresc minimizarea erorii în funcționarea rețelei. Se impune ca înainte de exploatarea rețelei să se stabilească cât de aptă este aceasta să prelucreze corespunzător date pe care nu le-a "văzut" în faza de instruire. Validarea performanțelor unei rețele instruite (testarea rețelei) se realizează cu ajutorul unor instanțe test cu structură similară celor de instruire.

Faptul că rețeaua neuronală poate să prezinte la instruire rezultate acceptabile, dar nu și la testare, se explică prin faptul că rețeaua nu poate generaliza, adică nu poate trata corect date de intrare pe care nu le-a prelucrat anterior, în faza de instruire. Aceste date produc fenomenul negativ de suprainstruire, adică degradarea performanțelor rețelei, fenomen ce poate fi și evitat printr-o serie de acțiuni cum ar fi de exemplu asigurarea unor date de instruire corespunzătoare ca volum și calitate.

O altă metodă flexibilă de estimare a modelelor bazate pe inteligența computațională, o reprezintă modelarea în logica fuzzy. Modelarea în logica fuzzy se sprijină pe idea că un model neliniar global cu formă funcțională necunoscută poate fi aproximat prin mai multe relații locale simple, fiecare dintre ele valabilă doar într-o mică regiune a domeniului pe care sunt definite variabilele. Definiția fiecărei relații locale este dată prin reguli (implicații) fuzzy.

Modelul neliniar estimat în logică fuzzy poate fi utilizat în scopul optimizării și reprezentării cu acuratețe a proceselor economice analizate. Prin hibridarea tehnicilor bazate pe rețele neuronale cu cele bazate pe sisteme de inferență fuzzy, se obțin și devin din ce în ce mai utilizate metodele bazate pe modele neuro-fuzzy. Acestea descriu sistemele prin intermediul unor reguli de tip "dacă condiție", "atunci acțiune" reprezentate într-o structură de tip rețea la care algoritmii de învățare cunoscuți din domeniul rețelelor neuronale se pot aplica. Modelul neuro-fuzzy are un grad înalt de interpretare și analiză pentru a explica fenomene care nu se pot reprezenta printr-un model funcțional clasic. O arhitectură ANEFIS

de tip Takagi-Sugeno, cu 2 intrări și 9 reguli prezentate în teză , probează supozițiile prezentate anterior.

Capitolul 5- ANALIZA ACURATEȚEI ESTIMAȚIILOR PENTRU METODELE BAZATE PE INTELIGENȚA COMPUTAȚIONALĂ, COMPARATIV CU CELE BAZATE PE TEORIA CLASICĂ A ESTIMAȚIEI

În acest capitol se propun două studii de caz privind modelarea comportamentului producătorului în sectorul energetic. Ambele vizează analiza acurateții estimațiilor pentru metodele bazate pe inteligența computațională, comparativ cu cele bazate pe teoria clasică a estimației. Principiul comun celor două studii de caz este că metodele supuse comparației se aplică acelorași seturi de date. Primul studiu de caz are ca punct de plecare utilizarea unui model etalon propus de Chiristensen și Green, model specificat clasic printr-o formă funcțională flexibilă reprezentate de funcția de cost TRANSLOG. Datorită flexibilității sale recunoscute, acest model etalon a fost utilizat ca principală bază de comparație în raport cu tehnicile de inteligență computațională. Acuratețea obținută prin estimarea modelelor cu ajutorul metodelor din ambele clase menționate, face obiectul studiului comparativ.

Menționăm că estimarea parametrilor funcției cost, atât în varianta modelării bazată pe forma funcțională TRANSLOG, cât și în cele bazate pe logica fuzzy rețele neuronale sau metode hibride neuro- fuzzy, s-au bazat pe algoritmi și implementări ale acestora în limbajul MATLAB, propuși în literatura de specialitate.

Prin obținerea graduală, prin procedee eficiente, a unui anumit nivel de acuratețe al estimațiilor funcțiilor cost TRANSLOG și Coob- Douglas, urmată de o analiză comparativă a acestuia cu nivelul acurateții rezultat prin estimarea modelului Chiristensen-Green prin metoda modelării în logică fuzzy, prin rețele neuronale feedforward (de tip perceptron multistrat) și prin metode hibride neuro-fuzzy (ANEFIS), am evidențiat performanța predictivă a metodelor bazate pe inteligența computațională în raport cu cele ale metodelor clasice de estimare.

Coeficientul de determinare obținut pentru cele cinci tipuri de modele precum și prin inspecția vizuală a diferențelor dintre valorile observate și cele estimate susțin acest adevăr științific.

Respectând rigoarea științifică a unei analize de maniera comparației clasic-computațional, am exemplificat practic utilitatea celor demonstrate și susținute de noi mai sus, printr-un al doilea studiu de caz în domeniul energetic la Complexul Energetic Turceni – S.A., ce are în componență cea mai mare termocentrală din România ce asigură circa 10% din consumul anual de electricitate. În condițiile actualei crize financiare, de preocuparea permanentă pentru reducerea costurilor și susținerea efortului bugetar destinat investițiilor în modernizarea blocurilor energetice depinde funcționarea în continuare a termocentralei .

În mod concret, demersul nostru experimental a constatat în modelarea sistemului dual cost-producție la această unitate pe baza celor două clase de metode (clasice, respectiv bazate pe inteligența computațională) obținând acuratețea corespunzătoare estimațiilor atât pentru funcțiile de producție cât și pentru cele de cost.

Estimarea funcției de producție Cobb - Douglas cu numai doi factori de producție furnizează informații de proastă calitate, puterea predictivă a unui astfel de model fiind, prin urmare extrem de slabă. Principalul motiv îl constituie faptul că, în domeniul producției de energie electrică o pondere esențială o reprezintă combustibilul, care joacă rolul unui veritabil factor de producție.

Este și motivul pentru care în demersul nostru experimental am luat în considerație acest aspect, incluzând combustibilul (sub cele două forme ale sale: cărbune și păcură) între factorii de producție, trecând la testarea funcției Cobb-Douglas, prin estimarea acestuia cu patru factori (forță de muncă, capitalul, consumul de păcură, consumul de cărbune).

Acuratețea estimăției funcției Cobb-Douglas cu patru factori este ceva mai mare decât în cazul celei cu doi factori, dar de foarte slabă calitate, cu o putere predictivă foarte scăzută. Testând însă în continuare predictibilitatea unor tehnici alternative de estimare bazate pe inteligența computațională am constatat că astfel de metode furnizează estimății cu o acuratețe net superioară metodelor clasice. Valoarea coeficientului de determinație obținut devansează net pe cea obținută în cazul funcției de producție Cobb -Douglas cu patru factori. Prin inspecția vizuală a diferențelor dintre valorile observate și estimate, calitatea estimăției este elocventă și grafic. În cazul estimăției funcției de producție utilizând spre exemplu metode neuro-fuzzy(ANEFIS) estimăția este aproape perfectă (diferă extrem de puțin de valoarea ideală 1), confirmând în mod exemplar pe baza analizei comparative, calitatea de aproximatori universali a metodelor bazate pe inteligența computațională.

Aceleași concluzii s-au desprins prin estimarea funcțiilor de cost Cobb- Douglas și TRANSLOG , comparativ cu estimățiile făcute prin metode computaționale. Valorile rezultate ale coeficienților de determinația , atât pentru estimățiile funcțiilor de producție cât și pentru cele ale funcțiilor cost , prin metode computaționale, sunt aproape identice și extrem de aproape de cea ideală.

Având în vedere fundamentul teoretic și aplicativ ala abordărilor noastre privind modelarea proceselor economice neliniare cu structură complexă și a comportamentului producătorului , se impun următoarele concluzii:

1. Caracterul puternic neliniar al dependențelor funcționale dintre variabilele economice implicate, estimarea parametrică a modelelor continuând să reprezinte o provocare. Metodele tradiționale nu oferă o soluție adecvată la această problemă .

2. Deși utilizarea formelor funcționale a condus la o îmbunătățire semnificativă a performanțelor predictive ale modelelor clasice, în numeroase situații practice, însă, ele nu ajustează corespunzător datele de observație, a cureteții estimățiilor fiind mai degrabă modestă.

3. Din motivele menționate mai sus , efortul de cercetare s-a îndreptat către găsierea unor căi alternative , de tip neconvențional pentru modelarea proceselor neliniare. Cea mai importantă direcție de cercetare s-a concentrat în jurul metodelor și tehnicilor bazate pe inteligența computațională , acestea utilizând modalități diferite de a răspunde cerinței de flexibilitate , și pun la dispoziție mijloace de calibrare și acordare fină a modelelor prin obținuni de ordin structural de tip descendent(top-down).

4. Abordările tipice pentru Inteligența Artificială clasică sunt bazate preponderent pe logica formală , adică proiectantul sistemului inteligent îi transmite acestuia întregul set de cunoștințe pentru a rezolva o problemă , încă din faza de construcție(elaborare) a sistemului . Dimpotrivă , în cazul Inteligenței Computaționale abordarea este mai degrabă de tip ascendent (bottom- up) în sensul că algoritmi sunt proiectați să învețe singuri (prin acumulare de experiențe).

5. Ca efect al inspirației de factură biologică și cognitivă din creier, inteligența computațională își impune superioritatea prin sisteme inteligente care

au capacitatea de a învăța de a se adapta , de a se autoorganiza și de a face generalizări.

6. Prin demersul experimental asumat în cazul tezei de doctorat am testat comparativ puterea de predicție performantă a metodelor bazate pe inteligența computațională. Demersul experimental s-a bazat pe utilizarea unor seturi comune de date obținute ca eșantioane ale unor procese cu caracteristici neliniare intrinseci , precum și pe acelea care descriu comportamentul producătorului.

7. Evaluarea performanțelor predictive ale celor două clase de metode (parametrice clasice și computaționale) s-a realizat prin intermediul a două studii de caz.

În cazul primului studiu de caz s-au utilizat drept model, pentru estimarea parametrică tradițională, modelul lui Christensen și Green. Notorietatea modelului se datorează introducerii pentru prima dată a unei forme funcționale flexibile a funcției de tip Translog , în scopul obținerii unei funcții de cost pentru industria de energie electrică. Disponibilitatea publică a setului format din cele 99 de observații ale aplicației originale a permis utilizarea sa pentru estimarea funcției de cost corespunzătoare prin ambele clase de metode (parametrice clasice și cele bazate pe inteligența computațională). Studiul de caz s-a finalizat printr-o evaluare comparativă a curateții estimațiilor, semnalând diferențe notabile. Cel de-al doilea studiu de caz a constatat în modelarea sistemului cost- producție la Termocentrala Turceni, principala componentă a celui mai mare complex energetic românesc. Analiza comparativă a celor două clase de metode s-a realizat atât pentru un set de funcții de producție cât și pentru un set de funcții de cost.

8. Ambele studii de caz au relevat superioritatea netă a puterii de predicție a metodelor de tip Inteligență Computațională, comparativ cu cele clasice de estimare parametrică.

Concluziile obținute în cadrul tezei validează odată în plus tehnicile de modelare neconvențională bazate pe Inteligența Computațională și deschid larg porțile cercetării și aplicării lor sistematice în modelarea proceselor lor economice neliniare.