Analiza mecanismelor de formare a preturilor în perspectiva construirii modelelor bazate pe agenti (MBA)

Prof.dr. Emil SCARLAT, conf.dr. Virginia MARACINE
Catedra de Cibernetica Economica, A.S.E. Bucuresti

Pricing mechanisms are mainly the modalities through which, on the real markets, the products' prices form and evolve. Knowing these mechanisms allows us to explain the internal dynamics of both markets and prices. But also, understanding the pricing mechanisms represent the premise for Agent-Based-Models' creating.
Keywords: *agent-based-model, market order, limit order, pricing mechanisms*.

Piete departe-de-echilibru

În loc de ipotezele si conditiile teoriei echilibrului, mai consistente sunt conceptele si metodele analizei pietei în dezechilibru sau studiul functionarii pietelor departe-de-echilibru. O modalitate de a introduce formarea pretului de piata la dezechilibru este cea a considerarii unui proces de ajustare a pietei de forma:

$$\frac{dp(t)}{dt} = f(q^d(p(t))) \qquad (1)$$

unde *p(t)* este pretul la momentul *t*, q^d - functia de cerere în exces si *f* o functie crescatoare ($f' > 0$).

În cazul procesului de ajustare prin tatonarea pretului (Walras), agentii îsi transmit reciproc functiile de cerere în exces unul altuia si ajusteaza preturile pe care le au în vedere în determinarea cererii (daca sunt consumatori) sau ofertei (daca sunt producatori), dar fac efectiv tranzactii atunci când preturile au atins echilibrul. Acest lucru nu este, însa, adevarat pe pietele financiare moderne, de exemplu. În timp ce metode tot mai sofisticate s-au dezvoltat pentru a permite tranzactii în afara starii de echilibru, scopul general al unor astfel de metode a fost sa determine conditiile de stabilitate care sa justifice convergenta catre echilibru. Comportamentul pietelor în dezechilibru era privit ca o complicatie pe ruta catre echilibru.

Teoria asteptarilor rationale a fost construita pe ipotezele competitiei perfecte, asteptarilor rationale, golirii pietelor la echilibru, optimizarii la nivel de agent si cunoasterii complete a preturilor înainte de tranzactii. Toate aceste ipoteze sunt, însa, extrem de discutabile, în special ipoteza privind cunoasterea preturilor înainte de tranzactie. De exemplu, în cazul pietelor financiare despre care vorbeam mai sus, dar si a altor tipuri de piete (a bunurilor si serviciilor, a factorilor de productie), schimbarile în cererile si ofertele agentilor de pe piata sunt exprimate în functie de ordine (comenzi) de vânzare si cumparare. Cele mai cunoscute tipuri de ordine sunt: ordinele pietei si ordinele limita.

Un ***ordin de piata*** este o cerere de a tranzactiona imediat la cel mai bun pret disponibil. Evolutia pretului pentru ordine de piata mici este, deseori, cunoscuta, astfel ca putem sa determinam în avans acest pret, dar pentru ordine de piata mari evolutia pretului este incerta.

Dimpotriva, un ***ordin limita*** este o cerere de tranzactionare doar la un pret dat sau la un pret mai bun. Deci evolutia pretului este cunoscuta, dar momentul de timp la care va avea loc tranzactia – daca aceasta are loc – este necunoscut. În ambele cazuri, apare incertitudinea fie asupra momentului de timp, fie asupra pretului tranzactiei. Acest lucru presupune ca, excluzând vreun miracol, tranzactiile individuale au loc pe o piata care nu este la echilibru. Deoarece mecanismele de ajustare descrise anterior se refereau doar la piete aflate la echilibru, trebuie sa introducem un altfel de mecanism care sa descrie formarea pretului pe piete departe-de-echilibru.

Mecanismul formarii pretului

Acest mecanism trebuie sa descrie comportamentul agentilor (consumatori sau producatori

tori) pe piete pe care tranzactiile se desfasoara departe-de-echilibru. În esenta, mecanismul are la baza o functie de impact pe piata, Φ (numita, uneori, si functia de impact a pretului pe piata) care face legatura dintre fluxul de ordine (comenzi) care sosesc pe piata si pretul ce se formeaza pe piata respectiva.

Pentru a putea elabora modelul, vom considera o piata financiara pe care sunt active doua tipuri de agenti ce tranzactioneaza un activ (masurat în unitati perfect divizibile) ce poate fi transformat în bani (banii fiind considerati un activ liber de risc ce nu plateste dobânda). Primul tip de agenti sunt denumiti investitori directionali. Ei cumpara si vând active prin plasarea de ordine pe piata, care sunt întotdeauna îndeplinite. În cazul în care ordinele de cumparare si de vânzare ale investitorilor directionali nu golesc piata, excesul este preluat de al doilea tip de agenti, care se numeste formator de piata. Ordinele sunt preluate de formatorul de piata la un pret care este diferit de pretul precedent cu o marime dependenta de ordinul net al investitorului directional. Cumpararile determina pretul sa creasca si vânzarile determina pretul sa scada. Functia de impact Φ este în esenta un algoritm pe care formatorul de piata îl utilizeaza pentru a stabili pretul. Aceasta contine o regula de formare a pretului legata de ordinul net la noul pret.

Sa presupunem, astfel, ca pe piata exista N investitori directionali, notati cu indicele i, detinând fiecare o parte $x_t^{(i)}$ din activul tranzactionat pe piata. Desi nu este absolut necesar, se presupune ca tranzactiile au loc simultan la momentele de timp *…,t-1,t,t+1,…* .

Pozitia pe piata a investitorului directional i este descrisa de o functie de forma:

$$x_{t+1}^{(i)} = X^{(i)}(P_t, P_{t-1}, \ldots, I_t^{(i)}) \quad (2)$$

unde $I_t^{(i)}$ reprezinta orice informatie aditionala externa (în afara preturilor). Functia $X^{(i)}$ poate fi considerata ca o strategie sau regula decizionala a agentului *i*. Ordinul net $w_t^{(i)}$ este legat de pozitia de piata a agentului i prin relatia:

$$w_t^{(i)} = x_t^{(i)} - x_{t-1}^{(i)} \qquad (3)$$

Un pas al procesului de tranzactionare pe piata poate fi descompus în doua etape:

(1) Investitorii directionali observa cele mai recente preturi pe piata si informatia de la momentul t si transmit ordinele nete $w_{t+1}^{(i)}, i = \overline{1, N}$;

(2) Formatorul de piata îndeplineste toate ordinele nete la noul pret, P_{t+1} pe care îl stabileste utilizând functia de impact Φ.

Pentru simplitate, sa presupunem ca pretul P_t, pentru toti t, este un numar real pozitiv si ca pozitiile de piata ale agentilor, ordinele si strategiile agentilor sunt anonime. Acest lucru mareste obiectivitatea formatorului de piata care nu poate fi influentat de un anumit agent. Asadar, formatorul de piata îsi bazeaza procesul de formare a pretului doar pe ordinele nete ale agentilor: $w = \sum_{i=1}^{N} w^{(i)}$

Algoritmul utilizat de formatorul de piata pentru a determina pretul la care îndeplineste ordinele nete w este o functie crescatoare de w: $P_{t+1} = f(P_t, w)$

Deoarece ordinele sunt anonime si piata are mai mult de un agent, pretul la care sunt îndeplinite ordinele agentilor individuali, în cazul ordinelor de piata, este necunoscut de catre acestia.

O aproximatie a functiei de impact asupra pietei poate fi obtinuta presupunând ca f este de forma: $f(P_t, w) = P_t \cdot \Phi(w)$ (4)

unde Φ este o functie crescatoare si $\Phi(0) = 1$. Logaritmând (4) si dezvoltând în serie Taylor, presupunând ca Φ (0) exista, aceasta conduce la : $\log P_{t+1} - \log P_t \cong \frac{w}{l}$ (5)

Aceasta forma functionala pentru Φ va fi numita functia log-liniara de impact asupra pietei. în relatia (5) ? este un factor de scala care normalizeaza marimea ordinelor si va fi denumit în continuare lichiditate.

Pentru un model de echilibru, pretul de golire a pietei depinde doar de functiile de cerere curente. Pentru o regula neliniara de formare a pretului, din contra, pretul, la orice moment de timp *t*, depinde de întregul sir de ordine nete anterioare. Regula data de functia de impact log-liniara se afla oarecum între aces-

tea: schimbarea pretului în orice perioada de timp data depinde doar de dezechilibrul dintre ordinele nete sosite pe piata în decursul timpului.
De fapt, putem considera acest lucru ca pe o cerinta si utiliza pentru a obtine o regula log-liniara. Presupunem, astfel, ca doua ordine plasate pe piata în succesiune imediata determina acelasi pret ca si un singur ordin egal cu suma lor, deci:

$$f(f(P,w_1),w_2) = f(P,w_1+w_2) \quad (6)$$

Grupând ordinele în perechi si aplicând repetat relatia (6), devine clar ca schimbarea de pret pe orice interval de timp depinde doar de suma ordinelor nete din acest interval. Înlocuind ecuatia (4) în (6) obtinem:

$$\Phi(w_1+w_2) = \Phi(w_1)\Phi(w_2)$$

Aceasta ecuatie functionala are o solutie de forma:

$$\Phi(w) = e^{w/l} \quad (7)$$

care, dupa cum se observa, este echivalenta cu ecuatia (5).
Ecuatia functionala de mai sus mai are doua solutii posibile: $\Phi(w) = 0$ si $\Phi(1) = 1$, dar nici una dintre acestea nu îndeplineste conditia ca Φ sa fie crescatoare. Regula log-liniara de formare a pretului este doar una aproximativa. Ea este, însa, una dintre cele mai simple si da rezultate rezonabile. Pe lânga proprietatea de mai sus, ea mai are o serie de proprietati pe care le vom prezenta mai târziu. Înainte de aceasta, sa observam faptul ca algoritmul de determinare a pretului de piata expus pâna acum porneste de la anumite ipoteze care sunt discutabile. Astfel, se presupune ca impactul pe piata al ordinelor este permanent. Deci schimbarea de pret determinata de un ordin la un moment de timp dat continua pâna când noi ordine nete determina alte schimbari. Dimpotriva, daca impactul pe piata ar fi temporar, schimbarile de pret s-ar diminua, chiar fara un nou flux de ordine de piata.
Ipoteza ca functia de impact asupra pietei, Φ depinde doar de ordinul net w nu ia în considerare aversiunea fata de risc a formatorului de piata. În realitate, formatorii de piata utilizeaza abilitatea lor de a manipula pretul pentru a-si pastra pozitia cât mai mult timp posibil. Luarea în considerare a acestor efecte de stoc face procesul de formare a pretului dependent de pozitia formatorului de piata, care depinde atât de ordinele trecute cât si de cele prezente.
Ipoteza ca noul pret depinde doar de cel mai recent ordin net si de ultimul pret neglijeaza, de asemenea, alte posibile influente, cum ar fi, de pilda, noutatile. Acestea pot schimba direct pretul, fara sa intervina fluxul de ordine.
O astfel de posibilitate poate fi modelata prin introducerea unui termen aleator, x_{t+1} care sa reprezinte zgomotul pe piata. Daca notam $p_t = \log P_t$, atunci putem scrie:

$$p_{t+1} = p_t + \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{N} w^{(i)}(p_t, p_{t-1}, \dots, I_t) + x_{t+1} \quad (8)$$

Ecuatia de dinamica (8) este însa prea generala. Depinzând de functia neliniara $w^{(i)}$, ea poate avea puncte fixe stabile, cicluri limita sau atractori haotici sau poate fi global instabila. Functiile $w^{(i)}$ stim ca sunt definite în raport cu pozitiile din ecuatia (3).
Exista un anumit grad de imprecizie privind sensul termenului de "strategie". Daca un agent comuta aleator între doua strategii, aceasta poate fi privita ca o strategie mixta unica. În functia de dinamica a pretului (8), *N* agenti utilizând toti aceeasi strategie, $x^{(i)}$ sunt echivalenti cu un singur agent cu strategia $Nx^{(i)}$. Totusi, aceste doua lucruri nu sunt echivalente. Indicele superior *(i)* poate deci sa se refere atât la un anumit agent cât si la o strategie data, depinzând de context.
Modificarea ecuatiei (8) se poate face usor în fiecare caz. Timpul Δt, corespunzator unei singure iteratii, poate fi interpretat ca o scala de timp în care investitorii cei mai rapizi observa si reactioneaza la pret (de exemplu un minut pe zi).
În ecuatia (8) apar si câtiva parametri liberi. Acestia sunt ?, ?, ?*t* si scala lui $w^{(i)}$. Ultimii trei nu sunt independenti. De exemplu, daca facem o schimbare de scala $w^{(i)} \to c^{(i)} w^{(i)}$, unde $c^{(i)} > 0$, parametrul de scala $c^{(i)}$ este proportional cu capitalul investit *i* si controleaza marimea ordinelor si pozitiilor sale.

Ecuatia (8) depinde doar de raportul adimensional $a^{(i)} = c^{(i)}/l$ astfel ca dublarea lichiditatii pe piata este echivalenta cu dublarea scalei tuturor strategiilor. Similar, la limita, stiind ca $\Delta t \rightarrow 0$, cresterea lui Δt echivaleaza cu cresterea lui l cu acelasi factor.

Poate aparea, de asemenea, o problema de unitate de masura. Astfel, marimile *x*, *?* si *?* pot fi transformate din unitati de parti ale pietei în unitati monetare prin înmultirea cu pretul P_t.

Evolutie si cooperare pe piata

Pâna acum am considerat ca fiecare agent dispune de un capital fixat care ramâne acelasi pe parcursul tranzactiilor. În realitate, capitalul de care dispune fiecare agent variaza pe masura ce profiturile sunt reinvestite, strategiile se schimba sau apar noi strategii.

Schimbarile în volumul capitalului schimba piata si dinamica acesteia, determinând evolutia pietei. În orice moment de timp, exista o multime finita de strategii care au un capital pozitiv; inovatia pe piata apare atunci când noile strategii atrag capital pozitiv si intra în aceasta multime.

Evolutia pietei este determinata de alocarea capitalului între agenti. Ea are loc însa pe o scala temporala suficient de lunga,]n timp ce schimbarile de preturi au loc destul de frecvent. Exista, însa, un feedback între cele doua perioade de timp. Dinamica rapida a preturilor determina profiturile, care afecteaza alocarea capitalului, care la rândul ei schimba dinamica pretului. Cu cât piata evolueaza mai mult, ea devine mai eficienta. Strategiile exploateaza oportunitatile de a obtine profituri si a acumula, în acest fel, capital care sporeste impactul pe piata al unor agenti si diminueaza veniturile altora. În acest fel, piata învata sa fie mai eficienta.

Sa aratam, în continuare, mecanismul prin care profitul influenteaza evolutia pietei. Utilizând regula log-liniara de formare a pretului (5), se poate caracteriza modul în care apare pe o piata fluxul de bani. Evolutia pietelor financiare este influentata de acest flux la fel cum evolutia biologica este influentata de mâncare. Vom introduce, în continuare, marimea avutiei nerealizata de agentul *i* ca:

$$w_t^{(i)} = P_t \cdot x_t^{(i)} + u_t^{(i)} \qquad (9)$$

unde $u_t^{(i)}$ este cantitatea de bani detinuta de agentul *i* la momentul *t*.

Schimbarea cantitatii de bani detinuta de un agent între doua momente succesive de timp este data de:

$$u_t^{(i)} - u_{t-1}^{(i)} = P_t (x_t^{(i)} - x_{t-1}^{(i)}) + d_t x_{t-1}^{(i)} \qquad (10)$$

Primul termen din partea dreapta a relatiei (10) reprezinta cantitatea de bani necesara pentru a cumpara sau vinde activul. Dividendul d_t da posibilitatea efectuarii de plati.

Din relatiile (9) si (10) rezulta ca profitul (câstigul) agentului *i* la momentul *t* este dat de:

$$g_t^{(i)} = (\Delta P_t + d_t) x_{t-1}^{(i)} \qquad (11)$$

g_t mai este denumit si câstig nerealizat deoarece este determinat prin reevaluarea unei parti de piata ca urmare a cresterii (scaderii) pretului, la momentul de timp curent. Aceasta este însa o evaluare optimista, deoarece orice conversie a banilor este riscanta si impactul asupra pietei tinde catre o valoare mai scazuta.

Spunem ca piata este un sistem închis daca ea nu interactioneaza cu alte piete sau cu economia externa. Acest concept permite introducerea unor legi de conservare. Exista doua astfel de legi pentru pietele financiare: conservarea partilor si conservarea banilor. Într-o tranzactie data, agentii schimba parti de piata si schimba bani; desi tranzactia pe piata schimba cantitatea detinuta de fiecare agent individual; totalul la nivelul pietei ramâne acelasi. Desigur, pietele reale sunt sisteme deschise în care noi parti pot fi emise si unde pot aparea noi fluxuri nete de bani. De exemplu, un activ poate plati dividende sau un agent poate importa sau reinvesti capital.

Avutia totala nerealizata nu este conservativa, deci nu ramâne aceeasi. Pentru a arata acest lucru, fie pozitia formatorului de piata $x_i^{(m)}$. Conservarea partilor implica

$$\sum_{i=1}^{N} x_t^{(i)} + x_t^{(m)} = K \qquad (12)$$

unde *K* este o constanta. Înmultind în ambele parti cu $\Delta P_{t+1} + d_{t+1}$ si, înlocuind în ecuatia (11), schimbarea în avutia totala la momentul *t* este:

$$\Delta w_t = \sum_{i=1}^{N} g_t^{(i)} + g_t^{(m)} = (\Delta P_t + d_t)K \qquad (13)$$

unde $g_t^{(m)}$ este profitul formatorului de piata. Chiar daca presupunem ca $d_t = 0$, în general $\Delta P_t \neq 0$. Avutia totala este strict conservata numai daca $K = 0$, ceea ce nu poate fi adevarat deoarece nu ar mai exista piata.

O proprietate speciala a regulii log-liniare de formare a pretului pe piata este ca exista totusi un sens în care avutia realizata este conservata. Astfel, daca definim un ciclu de tranzactii de perioada *T* ca pe o situatie în care pozitia $x_{t+T}^{(i)} = x_t^{(i)}$ pentru toti *i*, deci perioada în care pozitia pe piata revine la o valoare precedenta, atunci, presupunând ca toti agentii directionali încep si termina un ciclu cu pozitia zero, realizând avutia doar în cadrul ciclului respectiv.

Ecuatia (13) arata faptul ca, în cadrul unui ciclu de tranzactii, avutia totala va fi conservata (deci $\Delta w_t = 0$) daca $d_t = 0$ si $P_{t+T} = P_t$.

Pe pietele financiare, profitul (randamentul) se mai exprima ca $\Delta P_t / P_{t-1}$. Profiturile pot fi atunci exprimate ca

$$r_t = \log P_t - \log P_{t-1} \cong \Delta P_t / P_{t-1} \qquad (14)$$

Aceasta relatie constituie o buna aproximatie atunci când fluxul de ordine nete *w* este mic în comparatie cu *l* si devine exact atunci când $\Delta t \to 0$.

Daca exprimam pozitia în unitati monetare $(\tilde{x}_t = P_t \cdot x_t)$ si dividendele ca functie din pretul unei parti $(\tilde{d}_t = d_t / P_{t-1})$ atunci ecuatia (11) poate fi rescrisa

$$g_t^{(i)} \cong (r_t + \tilde{d}_t)\tilde{x}_{t-1}^{(i)} \qquad (15)$$

Înlocuind pe r_t dat de ecuatia (14) si relatia (8) si pe $w_t^{(i)}$ dat de ecuatia (3) în ecuatia (15) avem:

$$g_t^{(j)} = \left(\frac{1}{l}\sum_{i=1}^{N}(x_t^{(i)} - x_{t-1}^{(i)}) + x_t + d_t\right)x_{t-1}^{(j)} \qquad (16)$$

Relatia (16) arata faptul ca profiturile obtinute prin aplicarea unei anumite strategii de piata sunt dependente de relatia cu alte strategii. În ipoteza simplificatoare ca lichiditatea *l* este constanta când este masurata în functie de bani, luând mediile temporale si presupunând stationaritatea acestora, relatia (16) mai poate fi scrisa

$$\langle g^{(j)} \rangle \cong \frac{1}{l}\sum_{i=1}^{N} G^{(ij)} + m^{(j)} \qquad (17)$$

unde $\langle\ \rangle$ reprezinta simbolul mediei temporale, $G^{(ij)} = s_x^{(i)} s_x^{(j)} \left[r_x^{(ij)}(1) - r_x^{(ij)}(0) \right]$ (18)

si $m^j = \langle (x_t + d_t)\, x_{t-1}^{(j)} \rangle$. (19)

$x_x^{(ij)}(t)$ reprezinta corelatia dintre $x_t^{(i)}$ si $x_{t-t}^{(j)}$ iar $s_x^{(i)}$ este abaterea medie standard a lui $x_t^{(i)}$.

Matricea câstigurilor $G^{(ij)}$ descrie profiturile aduse de interactiunile cu alte strategii, iar $m^{(j)}$ descrie profiturile obtinute de o strategie *j* în conditiile unor perturbatii externe x_t si a fluxului de dividende d_t. Evident ca daca piata este un sistem închis atunci $m^{(i)} = 0, \forall i$.

Ecuatiile (18) si (19) arata ce face o structura de piata profitabila. Matricea câstigurilor $G^{(ij)}$ (care este asimetrica) masoara profiturile strategiei *j* obtinute în prezenta strategiei *i*. Aceste profituri cresc atunci când strategia *j* este capabila sa anticipeze strategia *i* (lucru masurat de $r_x^{(ij)}(1)$) si descresc daca strategia *j* este similara cu strategia *i* (lucru care este masurat de $r_x^{(ij)}(0)$).

Corelatiile întârziate arata daca o strategie este capabila sa anticipeze alte strategii, iar valorile curente arata daca o strategie este în minoritate pe piata.

Depinzând de semnul lui $G^{(ij)}$ pentru orice pereche de strategii, sunt atunci posibile trei relatii de interdependenta pe piata:

i) Competitia: $G^{(ij)} < 0$ si $G^{(ji)} < 0$

ii) Pradator – pradat: *i* este pradat de *j* daca: $G^{(ij)} < 0$ si $G^{(ji)} > 0$

iii) Simbioza (cooperare): $G^{(ij)} > 0$ si $G^{(ji)} > 0$.

Aceste trei tipuri de relatii definesc, pentru orice piata, interactiunile ce se pot forma între agenti. Ele influenteaza în mod esential comportamentul pe piata al acestor agenti, de aceea cunoasterea în avans a tipurilor de relatii este de natura sa permita anticiparea comportamentului competitiv sau strategic al agentilor particulari. În functie de aceasta, se pot asocia agentilor respectivi modele corespunzatoare, ce descriu mai exact relatia complexa agent-piata.

Modele de piata bazate pe agenti

Modelele-bazate-pe-agenti sunt tot mai frecvent utilizate în studiul mecanismelor de piata. Acest lucru poate fi motivat, în primul rând, prin esecul modelelor-bazate-pe-ecuatii, care utilizeaza notiunile de *echilibru* si *asteptari rationale* în a descrie astfel de mecanisme. Totusi, acesta nu este un motiv suficient. Treptat s-a înteles faptul ca pietele au un comportament care, în ciuda numarului mic de agenti care actioneaza (consumatori, producatori, formatori de piata), devine extrem de complex necesitând utilizarea unor concepte cum ar fi: feedback, frustrare, adaptare, evolutie s.a. Aceste concepte nu pot fi, însa, întelese si utilizate în contextul modelelor bazate pe ecuatii.

Prin introducerea MBA devine posibila studierea pietelor pe care actioneaza agenti eterogeni având fiecare propria strategie de piata si din a caror activitate agregata rezulta proprietatile generale ale pietei respective, cum ar fi, de exemplu, pretul de piata. În acest mod se poate întelege mai bine efectul pe care diferite scheme de functionare la nivel microscopic ale pietei îl are asupra dinamicii pietei la nivel macroscopic. Aceasta interactiune micro-macro este favorizata de faptul ca cu ajutorul unui numar relativ redus de agenti, având fiecare un numar mic de tipuri diferite de comportamente individuale se obtine un numar extraordinar de mare de comportamente comune (sociale). Astfel, într-un sistem cu doar 100 de agenti (care pentru o piata este un numar rezonabil), având fiecare câte 10 comportamente diferite, ceea ce ar necesita descrierea a 1000 de comportamente individuale, se obtine un spatiu al comportamentelor posibile de 10^{100}, care este un numar cu mult mai mare decât numarul total al particulelor elementare din Univers! Un MBA capabil sa genereze o astfel de diversitate de situatii comportamentale este cu mult superior din toate punctele de vedere modelelor-bazate-pe-ecuatii. Desigur ca ramâne problema resurselor de calcul necesare rezolvarii unui astfel de model, dar dezvoltarea exploziva a supercalculatoarelor si a metodelor de calcul de tip Grid se pare ca vor oferi în curând solutii acceptabile pentru MBA.

Bibliografie

[1] Axelrod, R. (1997), *The complexity of cooperation: Agent – based models of conflict and cooperation*, Princeton, N.J. The Princeton University Press;

[2] Batten, D. (2000), *Discovering artificial economics: How agents learn and economies evolve*. Boulder Co: Westview Press, 2000;

[3] Buyya, R., Stockinger, H., Giddy, J., Abramson, D. (2002), *Economic Models for Management of Resources in Peer-to-Peer and grid Computing*, working paper, Monash University, Mebourne, Australia;

[4] Chan, N.T., Le Baron, B., Lo, A., Poggio, T. (1999), *Agent – based models of financial markets: A comparison with experimental markets*. MIT Artificial Markets Project, Paper No. 124, September;

[5] Dawid, H. (1999), *Adaptive learning by genetic algorithms: Analytical result and application to economic models*, Revised Second Edition, Berlin: Springer – Verlag;

[6] Faratin, P., Klein, M., Sayama, H., Bar – Yam, Y., *Simple Negotiating Agents in Complex Games: Emergent Equilibria and Dominance of Strategies*. The Proceedings of the Int. Conf. on Multiagent Systems (ICMAS – 2000), Boston, MA;

[7] Farmer, J.D. (2000), *Market force, ecology, and evolution*, Journal of Economic Behaviour and Organization;

[8] Fisher, F.M. (1983), *Disequilibrium foundation of equilibrium economics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, England

[9] Grandmant, J.-M. (1988), *Temporary equilibrium*, Academic Press, San Diego, CA;

[10] Sandholm,T., Ygge, F. (1997), *Constructing Speculative Demand Functions in Equilibrium Markets*, Working Paper, Carnegie-Mellon University;

[11] Tesfatsion, L. (2001), *Economic Agents and Markets as Emergent Phenomena*, www.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm.