

DISA APLIKIME TË TEORISË SË LOJRAVE NË RRJETAT WIRELESS

GODOLJA M., SPAHO A.

Universiteti i Tiranës, Fakulteti i Shkencave të Natyrës, Departamenti i Matematikës së
Aplikuar

e-mail: majlinda.godolja@unitir.edu.al

Përmbledhje

Teknikat e teorisë së lojrave janë përdorur gjerësisht në problema të ndryshme inxhinierike, aty ku veprimi i një komponentie ka ndikim dhe në ndonjë rast mund të jetë edhe në konflikt me komponente të tjera përbërëse të njësisë. Në këto rrethana mund të bëhen përpjekje për formulimin e një loje dhe gjetjen e një ekuilibri të qëndrueshem të pranuar nga lojtarët. Sjellja e një paisje wireless mund të ndikojë në cilësitë e komunikimit të nje paisje tjetër wireless fqinje me të. Ky artikull tregon se si një situatë e tillë mund të modelohet me anën e teorisë së lojrave. Nëpërmjet disa shembujve të thjeshtë do të ilustronim koncepte bazë të teorisë së lojrave jo bashkëpunuese si dhe do të prezantohen disa aplikime të teorisë së lojrave në rrjetat wireless në një perspektive të shtresëzuar.

Abstract

Game theory techniques are widely applied in various engineering problems, where the action of one component has impact and in some cases may even be in conflict with other integral components of the unit. In these circumstances a game can be formulated and finding an equilibrium accepted by players. The behavior of a wireless device can affect the communication qualities of a neighboring wireless device. This article shows how such a situation can be modeled by means of the game theory. Through some simple examples we will illustrate the basic concepts of the theory of non-cooperative games and will present some applications of the game theory in wireless networks in a layered perspective.

Fjalëkyçe: Teori e Lojrave, Rrjeta wireless, Ekuilibër Nash, Lojra jo-bashkëpunuese.

1. Hyrje

Teoria e lojrave është një disiplinë e cila ka për qëllim të modelojë situata në të cilat vendimmarrësit (lojtarët) duhet të ndërmarrin veprime individuale të cilat mund të kenë pasoja tek të gjithë pjesëmarrësit dhe në disa raste efektet mund të jenë edhe kontradiktore (Fudenberg & Tirole, 1991).

Teoria e lojrave është përdorur kryesisht në ekonomi për të analizuar sjelljet konkurruese midis kompanive. Megjithatë teoria e lojrave ka gjetur zbatim edhe në fusha të tjera si politikë, biologji, teknologjine e informacionit etj. Në kontekstin e rrjetave wireless, teoria e lojrave mund të përdoret për zgjidhjen e problemave të rutimit dhe shpërndarjen e burimeve në një mjedis konkurrues. Në

ketë rast si lojtarë shërbejnë paisjet të cilat transmetojnë ose marrin të dhëna, ato duhet të bashkëpunojnë në kushtet e burimeve të kufizuara të transmetimit duke sjellë kështu dhe konflikte interesi. Në përpjekje për të zgjidhur konfliktin ato mund të bëjnë lëvizje të ndryshme si p.sh të transmetojnë tani apo më vonë, të ndryshojnë kanalën e transmetimit ose të përshtasin shkallën e transmetimit (Niyato & Hossain, 2007).

Meqënëse në shumicën e situatave strategjike në rrjetat wireless, lojtarët duhet të bien dakort për ndarjen apo sigurimin e një burimi të perbashket në transmetim, janë marrë në studim lojrat jo-bashkëpunuese. Në lojrat lojtarët luajnë në një mjedis konfliktual dhe në rastin e rrjetave wireless si lojtarë kondiserohen paisjet në vend të përdoruesve që kontrollojnë paisjet. Lojtarët konsiderohen të sillen në menyrë racionale, d.m.th perpiqen të maksimizojnë payoff-et e tyre ose ndryshe të minimizojnë kostot e tyre. Për lehtësi shembujt që janë paraqitur në studim i perkasin lojrave me dy lojtarë. Gjithashtu supozohet se koha është e ndarë në intervale dhe secili lojtar (paisje) mund të bëjë një lëvizje në një interval kohe.

2- Koncepte bazë të Teorisë së Lojrave

Një lojë me formë normale është e përcaktuar kur janë dhënë: 1. Lojtarët e lojës, 2. Strategjitë që kanë në dispozicion të gjithë lojtarët dhe 3. Payoffet që merr secili lojtar për cdo kombinim të strategjive që mund të luajnë lojtarët (R. Gibbons, 1992).

Në përgjithësi i referohemi rastit me n -lojtarë të emertuar nga 1 deri në n dhe një lojtar i cfarëdoshëm shënohet me i (lojtari i). S_i është bashkësia e strategjive që ka në dispozicion lojtari i , (s_1, s_2, \dots, s_n) është një bashkësi strategjish e lojtarëve ndërsa $u_i(s_1, s_2, \dots, s_n)$ është payoffi i lojtarit i kur lojtarët kanë luajtur strategjitë (s_1, s_2, \dots, s_n) . Lojrat me formë normale përcaktohen nga bashkësia e strategjive S_1, S_2, \dots, S_n dhe funksionet e payoffeve u_1, u_2, \dots, u_n .

Ndryshe këto lojra shënohen $G = (S_1, S_2, \dots, S_n; u_1, u_2, \dots, u_n)$. Në lojrat me formë normale nuk është e thënë që lojtarët të luajnë njëkohësisht, por ka rëndësi fakti se lojtarët luajnë pa ditur strategjitë që do të zgjedhin kundërshtarët.

Ekilibri Nash: Në lojën $G = (S_1, S_2, \dots, S_n; u_1, u_2, \dots, u_n)$ me formë normale me n -lojtarë, themi se bashkësia e strategjive $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$ përbën një ekuilibër Nash nëqs: $u_i(s_1^*, s_2^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, s_2^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$, $\forall s_i \in S_i$, $\forall i \in \overline{1, \dots, n}$

Strategjitë e përziera

Koncepti i strategjisë së një lojtari i përdorur më sipër mund të themi se i referohet strategjive të pastra të cilat në fakt janë raste limite të strategjive mikse. Në përgjithësi le të supozojmë që lojtari i ka në dispozicion K strategji të pastra: $S_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iK})$ atëherë një strategji e përzier për lojtarin i është shpërndarja probabilitare $(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iK})$ dhe p_{ik} është probabiliteti që lojtari i të luajë strategjinë s_{ik} , për $k = 1, 2, \dots, K$, $0 \leq p_{ik} \leq 1$, $\forall k = 1, \dots, K$ dhe $\sum_{k=1}^K p_{ik} = 1$

Për të treguar një strategji mikse cfarëdo nga bashkësia S_i përdorim vektorin me k komponente p_i ashtu sikurse përdorim s_i për të treguar një strategji të pastër cfarëdo nga S_i .

Lojrat e përsëritura: Në lojërat strategjike apo statike, lojtarët i marrin vendimet e tyre në të njëjtën kohë në fillim të lojës. Përkundrazi, modeli i një loje të gjerë (extensive) përcakton kombinimet e mundshme të ngjarjeve. Lojtarët mund të marrin vendime gjatë lojës dhe ata mund të reagojnë kundrejt vendimeve të lojtarëve të tjerë. Lojrat extensive mund të jenë të fundme ose të pafundme. Një klasë e lojërave extensive janë lojrat e përsëritura, në të cilën një lojë është luajtur disa herë dhe lojtarët mund të vëzhgojnë rezultatin e lojës së mëparshme përpara se ajo të luhet sërish. Në përgjithësi lojrat që përsëriten mund t'i formalizojmë në këtë mënyrë:

Shënojmë $G = \{A_1, A_2, \dots, A_n; u_1, u_2, \dots, u_n\}$ një lojë statike me informacion të plotë ku lojtarët nga I në n zgjedhin njëkohësisht strategjitë (a_1, \dots, a_n) nga bashkësitë (A_1, \dots, A_n) me payoffe përkatëse $u_1(a_1, \dots, a_n), \dots, u_n(a_1, \dots, a_n)$.

Loja G quhet “lojë e fazës” së lojës që përsëritet.

Një “lojë faze” G , në të cilën G është luajtur T here dhe rezultatet e lojërave parardhëse janë vrojtuar të gjitha para se të luhet loja e rradhës e quajme **lojë që përsëritet** dhe e shënojmë $G(T)$. Payoffi i lojës $G(T)$ është shuma e payoffeve të T lojërave të fazës së mëparshme. Tregohet se ka vend pohimi:

Nqse loja e fazës G ka një ekuilibër Nash të vetëm, atëherë për cdo T të fundme, loja që përsëritet $G(T)$ ka vetem një rezultat perfekt të nënlojes.

3- Shembuj të lojërave që aplikohen në rrjetat wireless

3.1 Loja Dilema e Transportuesit

Në këtë lojë cila është një përafrim i lojës klasike Dilema e të Burgosurit, luajnë dy lojtarë (paisje) të cilët i shënojmë p_1 dhe p_2 . Secili lojtar, në një interval kohe, dëshiron të dërgojë një paketë te marrësi i tij të cilat i shënojmë përkatësisht r_1 dhe r_2 dhe lojtarin tjetër e përdor si transportues. Supozojmë se komunikimi ndërmjet një lojtari dhe marrësit të tij arrihet të kryhet vetëm nqs lojtari tjetër e transporton paketën e dhënë (MacKenzie, 2006).

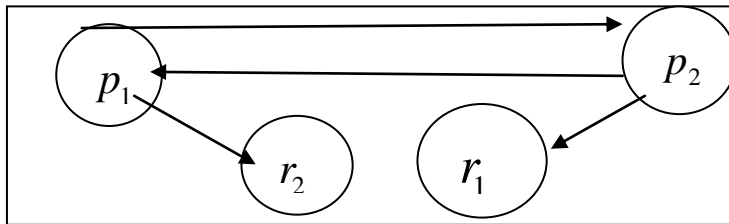


Figura 1. Nje model i rrjetës së Lojës të Dilemes së Transportuesit

Duke iu referuar edhe figurës së mësipërme mund të tregohet se kur lojtari p_1 transporton paketën e lojtarit p_2 , kostoja e tij është $0 < c < 1$. Në këtë mënyrë p_2 lidhet me r_2 dhe merr një shpërblim i vlerësuar me 1 njësi, ndërkohë që payoff-i për p_2 llogaritet sa diferenca ndërmjet shpërblimit dhe kostos. Loja supozohet të jetë simetrike kështuqë të njëjtat përfundime jepen edhe për lojtarin p_1 . Dilema e kësaj loje konsiston në: Secili lojtar përpiqet të shmangë transportin e paketës së kundërshtarit në mënyrë që të kursejë burimet e veta. Por kjo sjellje është reciproke dhe në këto kushte pika e ekuilibrit arrihet në kushtet e transportit të ndërsjelltë të paketave.

3.2 Loja e transportit të paketave të përbashkëta.

Në këtë lojë supozohet një dergues *se* i cili dëshiron që në cdo interval kohe të dërgojë një paketë tek marrësi i tij r . Për të arritur qëllimin e tij, dërguesi *se* kërkon që të dyja paisjet (lojtarët) p_1 dhe p_2 të transportojnë për nevojat e *se*. Ashtu si në rastin e lojës së Dilemës së Transportuesit, kostoja që një paisje (lojtar) të transportojë një paketë të dërguesit është $0 < c < 1$. Nqs të dy lojtarët transportojnë atëherë secili lojtar shpërblehet me 1 njësi (shpërblimi mund të jetë nga dërguesi apo marrësi) (MacKenzie, 2006).

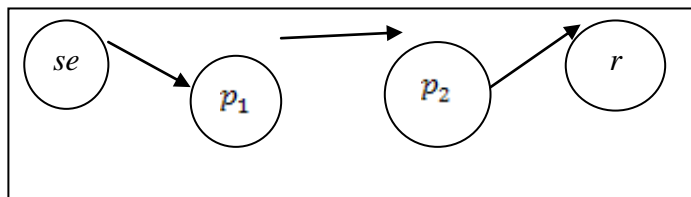


Figura 2. Loja e transportit të paketave të përbashkëta

3.3 Loja e aksesit të shumëfishtë

Në këtë lojë paraqitet problemi i aksesit të kanaleve të transmetimit. Supozohet se dy lojtarë p_1 dhe p_2 duan të dërgojnë paketat e tyre në marrësat përkatës r_1 dhe r_2 nëpërmjet një kanali të përbashkët transmetimi. Supozojmë që lojtarët duhet të transmetojnë një paketë në cdo interval kohe dhe është në dorën e tyre nëse do të transmetojnë apo jo. Për më tepër supozohet se si lojtarët edhe marrësit janë të gjithë në të njëjtat valë transmetimi. P.sh nqs lojtari p_1 do të transmetojë, atëherë ai ka nje kosto transmetimi $0 < c < 1$ ashtu si në shembujt e mësipërm, por në këtë rast transmetimi do të jetë i sukseshëm vetëm nëse p_2 nuk transmeton në atë interval kohe, përndryshe do të ketë konflikt. Nëse konflikti shmanget dhe transmetimi është i sukseshëm atëherë shpërblimi për lojtarin në fjalë është 1 njësi (MacKenzie, 2006).

3.4 Loja bllokuese

Në këtë lojë supozohet se lojtari p_1 dëshiron që të transmetojë tek marrësi i tij r_1 në cdo interval kohe. Në këtë lojë supozohet se mjedisi ku transmetohet është ndarë në dy kanale ch_1 dhe ch_2 sipas parimit (FDMA) Frequency Division Multiple Access. Lojtari “i keq” p_2 ka për qëllim të pengojë transmetimin e suksesshëm të lojtarit p_1 në kanalën e përbashkët në një kohë të dhënë. Në komunikimet wireless kjo njihet si “jamming” bllokim nga e cila merr emrin edhe vetë loja.

Qëllimi i lojtarit p_1 është që të ketë sukses në transmetim pavarësisht nga prezenca e lojtarit p_2 . Në rast transmetimi të suksesshëm p_1 merr shpërblimin 1 njësi, dhe në të kundërt do të ketë një humbje me 1 njësi. Payoff-et e lojtarit të dytë kanë shenja të kundërta me payoffet e lojtarit p_1 . Gjithashtu supozojmë se lojtari p_1 dhe marrësi i tij r_1 janë të sinkronizuar, cka do të thotë se marrësi r_1 mund t’a marrë gjithmonë paketën me përjashtim të rastit kur ajo shkatërrohet nga lojtari bllokues p_2 . Kostoja e transmetimit c mund të mos merret parasysh meqënëse ajo aplikohet te secili lojtar dhe nuk ndikon në rezultatet e lojës (MacKenzie, 2006).

Shembujt e mësipërm të lojrave mund të klasifikohen sipas shtresave të protokollit si në tabelë:

Shtresa e rrjetave	- <i>Loja Dilema e Transportuesit.</i> - <i>Loja e transportit të paketave te perbashkëta.</i>
Shtresa e aksesit të kanaleve te transmetimit	<i>Loja e aksesit të shumëfishtë.</i>
Shtresa fizike	<i>Loja bllokuese</i>

4- Teoria e lojës në rrjetet wireless në këndvështrimin e perspektivës së shtresëzuar

Perspektiva e shtresëzuar e përshtatur për qëllim demonstrimin e teorisë së lojës mund të përdoret për të zgjidhur probleme në të gjitha aspektet e telekomunikacionit, ndërsa lejohet kombinimi i mundshëm i kornizave të teorisë së lojës për të arritur optimizimin shumëshresor. Në shumicën e këtyre lojërave diskutohet edhe koncepti i çmimeve, duke qënë se çmimi përbën një faktor të rëndësishëm në funksionin e shërbimeve .

4.1 Kontrolli i energjisë

Në problemin e kontrollit të energjisë, dobishmëria e cdo përdoruesi është rritja e (SINR) dhe ulja e nivelit të energjisë (D. Goodman & M. Mandayam, 1999). Nqs të gjithë nivelet e energjisë së përdoruesve te tjerë rregullohen, atëherë rritja e SINR së njërit do të rrisë SINR edhe të tjetrit. Sidoqoftë, kur një përdorues rrit fuqinë e transemetimit, ky veprim rrit interferencën tek përdoruesit e tjerë, duke ulur SINR e tyre, duke bërë kështu që edhe ata të rrisin nivelet e tyre të energjisë. MacKenzie & Wicker (2001) kane formuluar një lojë jobashkëpunuese të kontrollit të energjisë për një sistem CDMA. Supozojmë se përdoruesit transmetojnë informacionin në shkallën R bit/s në L bit paketa përgjatë një bandwidth spektri W (Hz). Le të jetë p_j energjia e transmetuar nga përdoruesi j; duke supozuar se përdoruesit zgjedhin nivelet e tyre të energjisë nga një bashkesi numrash reale jonegative, $p_j \in [0, \infty)$, SINR e përdoruesit j

mund të përkufizohet si:
$$SINR_j = \gamma_j = \frac{W}{R} \cdot \frac{h_j p_j}{\sum_{\forall i \neq j} h_i p_i + \sigma^2}$$
, ku h_j është

rruga nga përdoruesi j tek stacioni bazë dhe σ^2 është energjia e zhurmës së sfondit tek marrësi. Po ashtu supozohet se zhurma e sfondit është një zhurmë Gaussiane additive (AWGN). Funkzioni i dobisë i përdoruesit j e ka njesinë bit/J

dhe shprehet si:
$$u_j(p_j, \gamma_j) = \frac{R}{p_j} \cdot [1 - 2 \cdot BER(\gamma_j)]^L$$
, ku BER(j) është shkalla e

gabimit në bit që merret nga një skeme transmetimi e dhenë. Nqs përdoruesi

transmeton një energji të lartë, atëherë ai po harxhon energjinë e baterisë duke pasur impakt të vogël në shkallën e gabimit në bit. Përdoruesit do të tentojnë të bëjnë zgjedhjet më të mira të mundshme, duke marrë në konsideratë se edhe përdoruesit e tjerë sillen në të njëjtën mënyrë. Duke supozuar se përdoruesit kanë informacion të plotë për njëri tjetrin dhe se janë tërësisht racionale, në bazë të teorisë së lojrave, ata do të zgjedhin një pikë operimi që është një ekuilibër Nash. MacKenzie dhe Wicker prezantojnë dy lloje të reja lojrash: lojrat e referuara dhe lojrat e kontrollit të përsëritur të energjisë. (Gunturi & Paganini 2003) formojnë një lojë të ngjashme të kontrollit të energjisë që më pas shpërndahet në një rast “multicell”. Më tej, (Zhu Han et al. 2007) shton një referim virtual në problemin e kontrollit të energjisë së multi-cell.

4.2 Kontrolli i aksesit të mediumit

Një shembull i mirë i lojrave të tilla është puna e MacKenzie & Wicker (2001) të cilët modelojnë një akses të rastësishëm tek sistemet Aloha. Sipas këtij rasti, përdoruesit deshirojnë që të transmetojnë sa më parë të jetë e mundur. Megjithatë, nëse shumë përdorues përpiqen të transmetojnë njëherazi, atëherë te gjithë akseset do të dështojnë, madje përpjekjet te metejshme për te transmetuar do te shtojnë kostot.

Në sistemet Aloha, koha ndahet në slotet dhe përmes një metode specifike sinkronizimi të gjithë përdoruesit e dinë se ku janë të vendosur kufijtë e slotëve; kur një përdorues dëshiron të aksesojë kanalën ai pret deri në kufirin tjetër të slotit dhe pastaj ai përpriqet sërish të transmetojë. Nëse dy ose më shumë përdorues tentojnë të transmetojnë në të njëjtin slot, përdoruesit kthehen në “backlogged” dhe duhet të përpriqen të përsërisin transmetimin në slotet e ardhshme. Le të jetë $G(n)$ loja në të cilën ka n përdorues. Në cdo fazë të $G(n)$ cdo lojtar duhet të vendosë nëse do të transmetojë (T) ose të presë (W). Nëse një lojtar vendos të transmetojë dhe pjesa tjetër vendos të presë, lojtari që transmeton do të marrë payoff 1 dhe gjithë $(n-1)$ lojtarët e tjerë do të luajnë $G(n-1)$ në fazën tjetër. Nqs asnjë lojtar nuk transmeton ose në të njëjtën kohë transmetojnë më shumë se një përdorues atëherë të gjithë lojtarët do të luajnë lojën $G(n)$ në fazën tjetër. Lojtarët vendosin vlera më të vogla payoffesh për fazat e mëvonshme sesa vlerat aktuale dhe kjo perfaqësohet nga faktori i skontimit për periudhë $d < 1$. Shënojmë me $u_{i,n}$ payoffin e lojtarit i nga luajtja e lojës $G(n)$ dhe K është një variabël rasti që paraqet numrin e lojtarëve të tjerë që transmetojnë në një slot të caktuar. Funkcionet e payoffeve për cdo veprim janë:

$$u_{i,n}(T) = \frac{P(K=0)}{1 - \delta P(K > 0)}, \quad u_{i,n}(W) = \frac{\delta P(K=1)}{1 - \delta P(K \neq 1)} u_{i,n-1}$$

Kjo lojë ka ekuilibra Nash simetrik. (Simeone et al. 2007) diskuton një formulim loje të një kanali interference dy-nga-dy me paketa dhe akses të rastësishëm. Në

këtë model, koha është e ndarë dhe transmetimi i cdo pakete kërkon një slot. Le të supozojmë se në këtë lojë jo bashkëpunuese transmetuesi i transmeton me probabilitet $p_i^{(1)}$ nëse transmetuesi tjetër nuk ka paketa në rradhë dhe me probabilitet $p_i^{(2)}$ në rastin e kundërt. Bashkësia e të gjitha probabiliteteve të mundshme të transmetimit përkufizohet si:

$$P_i(\rho_j) = \left\{ \rho_i = [p_i^{(1)} p_i^{(2)}]^T : 0 \leq p_i^{(1)}, p_i^{(2)} \leq 1 \right\}$$

me kushte: $p_i^{(1)} = 0 \Rightarrow p_i^{(2)} > 0$, $p_i^{(2)} = 0 \Rightarrow p_i^{(1)} > 0$, $p_i^{(1)} = 0 \Rightarrow p_j^{(2)} > 0$

Në këto rast payofffi përcaktohet si më poshtë:

$$R_i(p) = \pi_{q(i)}(p) p_i^{(1)} \rho^{(1)} + \pi_4(p) [p_i^{(2)} (1 - p_j^{(2)}) \rho^{(1)} + p_i^{(2)} p_j^{(2)} \rho^{(2)}]$$

ku $q(1) = 2$, $q(2) = 3$ dhe $\pi_{q(i)} = P[S(t) = S_k]$, $k = 1, 2, 3, 4$ janë probabilitetet e gjendje të qëndrueshme.

5- Rezultatet dhe diskutime

Nëpërmjet këtij studimi duam të tregojmë se si teoria e lojës mund të aplikohet në rrjetet wireless. Duke ndjekur një prespektivë të shtresëzuar, është shpjeguar si të kapim problemet e rrjetit wireless në formulimet teorike të lojës, duke theksuar në cilën lloj loje përshtatet më mirë cdo fushë e aplikimit dhe se si mund të ndërtohet funksioni i payoffeve përkatëse. Qëllimi i këtij vëzhgimi është të udhëzojë lexuesit e interesuar të njohin shkencën kompjuterike nëpërmjet bazës të teorisë së lojrave bashkëpunuese dhe jo-bashkëpunuese, si dhe për të ndihmuar të intergrojë këto mjete interesante në studimet e tyre.

Sfidat e përdorimit të teorisë së lojës

Përdorimi i teorisë së lojës në rrjetet wireless perballt me një sërë sfidash ku më të rëndësishmet renditen më poshtë:

1. Supozimi i racionalitetit. Teoria e lojës është bazuar në hipotezën se cdo lojtar luan në mënyrë racionale duke kërkuar interesin e tij në mënyrë të arsyeshme. Kur kanë të bëjnë me nyje ose terminale kjo sjellje nuk është gjithmonë e garantuar. Megjithatë për shkak se kanë të bëjnë me makina të cilat ekzekutojnë kode, atëherë mund të ketë një supozim racionaliteti nëse kodi është racional.

2. Supozimi i gadishmërisë për të bashkëpunuar. Në lojrat kooperative supozohet që lojtarët do të bashkëpunojnë në mënyrë për të maksimizuar fitimet e tyre. Një problem i rëndësishëm, është se lojtarët disa herë zgjedhin të sillen në mënyrë egoiste ose të mashtrojnë që të optimizojnë fitimin e tyre. Për këtë arsye, në disa raste duhet të formulohen mekanizmat nxitës për bashkëpunimin si dhe pengesat kundër mashtrimit.

3. Ndërtimi i funksioneve të payoffeve. Kjo është pa dyshim pjesa më e vështirë e një kuadri torik, pasi funksioni i payoffeve interpreton perceptimin e performancës dhe kënaqësisë së lojtarit. Funksionet e payoffeve gjithashtu tregojnë edhe humbjet që

lojtari është i gatshëm të pranojë në kushtet mes kërkesës së shumë burimeve dhe kursimit të parave.

4. Ekzistenca e ekuilibrit jo e garantuar. Në formulimet torike, një analizë shpesh e nevojshme kërkohet për të kontrolluar nëse arrihet një ekuilibër NASH. Edhe nëse një ekuilibër është arritur, ekzistenca e shumë ekuilibrave nuk përjashtohet gjithmonë. Në rast të tillë kërkohet ekuilibri më eficient dhe më i qëndrueshëm.

Literatura

Fudenberg D., Tirole J. (1991): *Game Theory*, MIT Press

Niyato D., Hossain E. (2007): Radio resource management games in wireless networks: an approach to bandwidth allocation and admission control for polling service in *IEEE 802.16, Wireless Communications*, IEEE 14 (1); 27–35

Goodman D., Mandayam M. (1999): Power control for wireless data, in *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications*; 55–63

Allen B., MacKenzie A. B., Stephen B., Wicker. (2001): Game theory in communications: motivation, explanation and application to power control, in: *IEEE Global Telecommunications Conference*.

Allen B., MacKenzie A. B., Stephen B., Wicker. (2001): Game theory and the design of self-configuring, adaptive wireless networks, *IEEE Communications Magazine*; 126–131

Gunturi S., Paganini F., Instruments T., Bangalore I. (2003): Game theoretic approach to power control in cellular CDMA, in: *Vehicular Technology Conference. VTC 2003*

Han Zhu, Ji Zhu, Ray Liu K.J. (2007): Non-cooperative resource competition game by virtual referee in multi-cell OFDMA networks, *IEEE Journal on Selected Areas in communications* 25 (6); 1079–1090

Simeone O., Bar-Ness Y. (2007): A game-theoretic view on the interference channel with random access, in: *Second IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*.

Gibbons R. (1992): *A Primer in Game Theory*. Prentice Hall.

MacKenzie A. B., Dasilva L., Tranter W. (2006): *Game Theory for Wireless Engineers*. Morgan and Claypool Publishers.