



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΣΤΙΣ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

ΑΡΓΥΡΗΣ Σ. ΚΑΛΑΝΤΖΑΚΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Παπαναστασίου Ιωάννης

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2012



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Διπλωματική Εργασία

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΣΤΙΣ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

ΑΡΓΥΡΗΣ Σ. ΚΑΛΑΝΤΖΑΚΗΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Παπαναστασίου Ιωάννης

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2012

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στους γονείς μου για την πολύτιμη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε ως απαιτούμενο για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων για τη λήψη διπλώματος για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης στα Πληροφοριακά Συστήματα του Πανεπιστημίου Μακεδονίας.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Αν. Καθηγητή κ. Παπαναστασίου Ιωάννη. Τον ευχαριστώ θερμά για την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση, την άψογη συνεργασία και τη διαρκή υποστήριξη κατά την εκπόνησή της.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΑΙΓΝΙΩΝ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Copyright © Αργύρης Σ. Καλαντζάκης, 2012.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) στα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης του Πανεπιστημίου Μακεδονίας δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Περίληψη

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί μεθοδολογία ανάλυσης και επίλυσης προβλημάτων, η οποία προέρχεται από τον κλάδο των εφαρμοσμένων μαθηματικών και εφαρμόζεται σε ολόένα και περισσότερους τομείς της επιστήμης και της ζωής με κυρίαρχο τον τομέα της οικονομίας. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή περιπτώσεων εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων στις τηλεπικοινωνίες, στις οποίες βασίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος η καθημερινότητά των ανθρώπων ανά τον κόσμο. Αρχικά γίνεται αναφορά σε βασικά χαρακτηριστικά της Θεωρίας Παιγνίων, όπως οι συνθήκες εφαρμογής, οι τύποι παιγνίων και οι στρατηγικές επίλυσης, με πιο σημαντική την Nash ισορροπία. Έπειτα, περιγράφονται γενικά οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες και ο τρόπος με τον οποίο ενδέχεται να προσεγγίσει η Θεωρία Παιγνίων τα προβλήματα των τηλεπικοινωνιών. Στη συνέχεια περιγράφονται παίγνια και λύσεις αυτών όπου είναι δυνατό, τόσο στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, όσο και στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών τα παίγνια σχετίζονται με τη συμπεριφορά των χρηστών και των κόμβων του δικτύου μεταξύ τους και την επίδραση αυτής στο συνολικό δίκτυο, ενώ στην αγορά σχετίζονται με τη συμπεριφορά των τηλεπικοινωνιακών εταιριών στον ανταγωνισμό. Τέλος, αναφέρονται συμπεράσματα από την προσέγγιση και την αποτελεσματικότητα της Θεωρίας Παιγνίων στα προβλήματα των τηλεπικοινωνιών.

Abstract

Game theory is a methodology for analyzing and solving problems. It emanates from the branch of applied mathematics and is applied increasingly in many areas of science and life, mostly in the economics. The subject of this thesis is to describe cases of game theory application in telecommunications, on which a large part of people around the world is based, every day. At first, this thesis refers to key features of Game Theory, such as application conditions, types of games, solution strategies including Nash equilibrium, which is the most important. Then, a general description of wireless telecommunications is presented and the way game theory may approach the problems of telecommunications as well. Moreover, the thesis describes games and their respective solutions wherever possible both in telecommunications networks and telecommunications' market. Games in telecommunication networks relate to behavior among users and network nodes and their effect to the overall network, while market games relate to behavior among telecommunications' companies in the market competition. Finally, conclusions are made on the effectiveness of the game theory approach to problems of telecommunications.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγικά στη Θεωρία Παιγνίων	1
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Ιστορικό.....	1
1.3. Βασικές υποθέσεις - χαρακτηριστικά ενός παιγνίου	3
1.4. Τρόποι αναπαράστασης ενός παιγνίου.....	4
1.4.1. Κανονική μορφή ή στρατηγική ή μήτρας.....	4
1.4.2. Αναλυτική μορφή ή μορφή δέντρου.....	5
1.5. Τύποι παιγνίων	6
1.5.1. Συνεργατικά ή μη συνεργατικά παίγνια	6
1.5.2. Παίγνια μηδενικού ή μη μηδενικού αθροίσματος.....	6
1.5.3. Διαδοχικά ή ταυτόχρονα παίγνια.....	7
1.5.4. Επαναλαμβανόμενα παίγνια.....	7
1.5.5. Παίγνια με τέλεια ή ατελή πληροφόρηση	7
1.5.6. Πεπερασμένα ή μη πεπερασμένα παίγνια.....	7
1.5.7. Συμμετρικά ή μη συμμετρικά παίγνια.....	8
1.5.8. Παίγνια συντονισμού ή ανταγωνισμού.....	8
1.5.9. Παίγνια στρατηγικής ή εκτεταμένης μορφής.....	8
1.5.10. Παίγνια αμιγών ή μικτών στρατηγικών.....	8
1.5.11. Παίγνια διαπραγμάτευσης.....	9
1.6. Είδη στρατηγικών	9
1.6.1. Αμιγείς και μεικτές στρατηγικές.....	9
1.6.2. Κυρίαρχες και κυριαρχούμενες στρατηγικές.....	10
1.6.2.1. Αυστηρά κυρίαρχες και ασθενώς κυρίαρχες στρατηγικές.....	10
1.6.2.2. Αυστηρά κυριαρχούμενες και ασθενώς κυριαρχούμενες στρατηγικές	10
1.7. Τεχνικές επίλυσης.....	10
1.7.1. Ισορροπία σε αυστηρά κυρίαρχες στρατηγικές.....	11
1.7.2. Nash Ισορροπία.....	11
1.7.3. Οπισθογενής επαγωγή.....	12
1.7.4. Βέλτιστο κατά Pareto σημείο.....	12
1.7.5. Τέλεια ισορροπία κατά Bayes.....	12
1.8. Κριτήρια λήψης αποφάσεων.....	13
1.8.1. Minimax - maximin.....	13
1.9. Παραδείγματα παραδοσιακών παιγνίων.....	13
1.9.1. «Το δίλημμα του φυλακισμένου».....	14
1.9.2. «Chicken game».....	15

1.9.3. «Κορώνα - Γράμματα».....	16
1.9.4. «Η μάχη των φύλων».....	17
Κεφάλαιο 2 Γενικά για τις Τηλεπικοινωνίες	18
2.1. Εισαγωγή.....	18
2.2. Ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών	19
2.2.1. Κατηγορίες ασύρματων δικτύων	20
2.2.2. Κυβελωτή δομή.....	21
2.2.3. Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.....	21
2.2.4. Θόρυβος.....	22
2.2.5. Διαλείψεις.....	23
2.2.6. Παρεμβολές.....	24
2.2.7. Σκίαση.....	25
2.2.8. Ασύρματα <i>Ad hoc</i> δίκτυα.....	25
Κεφάλαιο 3 Παίγνια Δικτύων Τηλεπικοινωνιών	27
3.1. Εισαγωγή.....	27
3.2. Παίγνια προώθησης πακέτων	27
3.2.1. Το παίγνιο προώθησης πακέτων δυο παικτών.....	28
3.2.1.1. Το δίλημμα της προώθησης πακέτων.....	28
3.2.1.2. Το παίγνιο της συνδυασμένης προώθησης πακέτων.....	30
3.2.1.3. Επαναλαμβανόμενο παίγνιο προώθησης με αβέβαιο τέλος	31
3.2.2. Το παίγνιο προώθησης πακέτων τριών παικτών.....	33
3.3. Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού	35
3.3.1. Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών	35
3.3.2. Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών με μεικτή στρατηγική	36
3.4. Το παίγνιο παρεμβολής	37
3.5. Παίγνια αναμετάδοσης πακέτων.....	38
3.5.1. Κανάλι χωρίς διαλείψεις	39
3.5.2. Κανάλι με διαλείψεις	39
3.6. Το παίγνιο του ελέγχου ισχύος.....	41
3.6.1. Αναγκαιότητα ελέγχου ισχύος.....	41
3.6.2. Μη επαναλαμβανόμενο παίγνιο ελέγχου ισχύος.....	41
3.6.3. Επαναλαμβανόμενο παίγνιο ελέγχου ισχύος.....	45

Κεφάλαιο 4 Παίγνια Αγοράς Τηλεπικοινωνιών	47
4.1. Εισαγωγή.....	47
4.2. Μη συνεργατικό παίγνιο τιμολόγησης υπηρεσιών τηλεπικοινωνιακών παρόχων	48
4.3. Συνεργατικό παίγνιο διασύνδεσης τηλεπικοινωνιακών παρόχων.....	49
4.4. Το παίγνιο του ανταγωνισμού τιμών των τηλεπικοινωνιακών παρόχων	51
4.4.1. Το μαθηματικό μοντέλο του ανταγωνισμού τιμών των τηλεπικοινωνιακών παρόχων	51
4.4.2. Οι λόγοι του πολέμου τιμών	52
4.4.3. Ισορροπίες Nash του παιγνίου.....	52
4.4.4. Το επαναλαμβανόμενο παίγνιο του ανταγωνισμού τιμών.....	53
4.5. Παίγνιο δυοπωλίου στην αγορά τηλεπικοινωνιών	54
4.5.1. Παράδειγμα δυοπωλίου στον τομέα τηλεπικοινωνιών - οπτικές ίνες	57
4.6. Παίγνιο τιμολόγησης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών	59
4.7. Παίγνιο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών χωρίς στρατηγικές τιμολόγησης.....	60
Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία	64

Κατάλογος Πινάκων

Π1.1 Κανονική ή στρατηγική μορφή παιγνίου.....	5
Π1.2 Πίνακας ωφελειών για το «δίλημμα του φυλακισμένου».....	14
Π1.3 Πίνακας ωφελειών για το «chicken game».....	16
Π1.4 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο «κορόνα-γράμματα».....	16
Π1.5 Πίνακας ωφελειών για τη «μάχη των φύλων».....	17
Π3.1 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο προώθησης πακέτων δύο παικτών.....	29
Π3.2 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο της συνδυασμένης προώθησης πακέτων δύο παικτών.....	31
Π3.3 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο προώθησης πακέτων τριων παικτών.....	33
Π3.4 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο προώθησης πακέτων τριων παικτών.....	33
Π3.5 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών.....	35
Π3.6 Πίνακας ωφελειών για το παράδειγμα πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών.....	36
Π3.7 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο παρεμβολής δύο παικτών.....	37
Π3.8 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο αναμετάδοσης πακέτων δύο παικτών.....	38
Π4.1 Πίνακας ωφελειών για το μη συνεργατικό παίγνιο τιμολόγησης υπηρεσιών δύο παικτών.....	49
Π4.2 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο διασύνδεσης υπηρεσιών δύο τηλεπικοινωνιακών παρόχων.....	50
Π4.3 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο τιμολόγησης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών.....	59
Π4.4 Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο χωρίς στρατηγικές τιμολόγησης.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγικά στη Θεωρία Παιγνίων

1.1 Εισαγωγή

Η Θεωρία Παιγνίων αποτελεί μια μέθοδο ανάλυσης προβλημάτων και υφίσταται ως κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών με εφαρμογή σε πληθώρα επιστημών, όπως κυρίως τα οικονομικά, οι διεθνείς σχέσεις, η πολιτική, η εξελικτική βιολογία αλλά και η επιστήμη των υπολογιστών. Το κύριο αντικείμενό της είναι η μαθηματική περιγραφή και επίλυση καταστάσεων (παιγνίων) στρατηγικής αλληλεπίδρασης μεταξύ οντοτήτων (παικτών), υπό την έννοια της εύρεσης σημείου ισορροπίας. Ο σκοπός είναι να αποδοθεί η καλύτερη δυνατή ανάλυση και ερμηνεία σε καταστάσεις στις οποίες οι παίκτες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεών τους. Κάθε παίκτης λαμβάνει τις αποφάσεις του με βάση τις προσδοκίες του για το μέλλον αλλά και με βάση την αντίληψή του για τις επερχόμενες κινήσεις των άλλων παικτών, χρησιμοποιώντας τα μέσα που διαθέτει. «Παίκτης» δεν είναι απαραίτητα κάποιος άνθρωπος, αλλά ενδέχεται να είναι ένας κόμβος ενός δικτύου μέχρι ένα κράτος ή μια ομάδα κρατών. Ουσιαστικά, η Θεωρία Παιγνίων είναι η μελέτη της ορθολογικής συμπεριφοράς υπό συνθήκες αλληλεπίδρασης (σύγκρουσης ή συνεργασίας).

1.2 Ιστορικό

Παρακάτω επιχειρείται σύνοψη των σημαντικότερων σημείων στην ιστορία της Θεωρίας Παιγνίων. Η πρώτη ιστορικά καταγεγραμμένη αναφορά προσπάθειας επίλυσης παιγνίου, εντοπίζεται στους πρώτους αιώνες μ.Χ. και προέρχεται από το Βαβυλωνιακό Talmud, ένα μνημειώδες συλλογικό έργο της θρησκείας του Ιουδαϊσμού. Στο Talmud διασώζεται χαρακτηριστικά το πρόβλημα του «συμβολαίου του γάμου», που σχετιζόταν με το ποσό που οφείλει να αφήσει ένας άντρας σε κάθε μία από τις τρεις γυναίκες του μετά το θάνατό του. Πολλούς αιώνες αργότερα, το Νοέμβριο του 1713, ο James Waldegrave απέδειξε την πρώτη (γνωστή) minimax μεικτή στρατηγική λύση με αφορμή μια εκδοχή παρτίδας δύο ατόμων σε ένα παιχνίδι με χαρτιά, όπως αυτή αναφέρεται σε επιστολή που έστειλε στον Pierre-Remond de Montmort. Ωστόσο, ο Waldegrave δεν επέκτεινε το αποτέλεσμα του σε άλλα παίγνια και εξέφρασε την ανησυχία ότι μία μεικτή στρατηγική «δεν φαινόταν να αποτελεί συνηθισμένο τμήμα των κανόνων» παιχνιδιών τύχης. Το 1838 δημοσιεύεται το βιβλίο του Augustin Cournot

«*Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth*». Σε ένα από τα κεφάλαιά του χρησιμοποιεί ένα είδος λύσης που αποτελεί μία πρώτη, περιορισμένη εκδοχή της Nash ισορροπίας. Μερικά χρόνια αργότερα, ο Δαρβίνος δίνει την πρώτη διατύπωση θεωρίας παιγνίων στην εξελικτική βιολογία, στην πρώτη έκδοση του βιβλίου του «*The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*», το 1871.

Ακολούθησαν σχετικές δημοσιεύσεις τις επόμενες δεκαετίες μέχρι και το 1944, όταν αναπτύχθηκε ουσιαστικά ο κλάδος της Θεωρίας Παιγνίων, ως κλάδος των οικονομικών, με το σπουδαίο βιβλίο «*Theory of Games and Economic Behaviour*» των John von Neumann και Oskar Morgenstern. Το βιβλίο αφορούσε παίγνια μηδενικού αθροίσματος, εισάγοντας και την έννοια του συνεργατικού παιγνίου με μεταφερόμενη χρησιμότητα. Με την εισαγωγή του στρατηγικού κανονικού παιγνίου (*strategic normal game*) των Von Neumann και Morgenstern, του στρατηγικού εκτεταμένου παιγνίου (*strategic extensive game*), της έννοιας των αμιγών και μικτών στρατηγικών (*pure mixed strategies*), των παιγνίων συνασπισμού ή συνεργασίας (*coalitional games*), των θεωριών αναμενόμενης ωφέλειας (*expected utility theory*) και μέγιστης-ελάχιστης λύσης (*maximin solution*) για την επίλυση των παιγνίων, η θεωρία παιγνίων αναλύθηκε και επεκτάθηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό. Αυτή η άνθιση της Θεωρίας Παιγνίων στη βιβλιογραφία φανέρωσε τη χρησιμότητά της στις επιστήμες, αλλά έδωσε και το έναυσμα για σημαντική και διαρκώς εξελισσόμενη επιστημονική έρευνα. Περαιτέρω θεμελιωτής ήταν ο John Nash, ο οποίος με τέσσερις συνεχόμενες δημοσιεύσεις, στα έτη 1950-1953, («*Equilibrium Points in N- Person Games*», «*Non-cooperative Games*», «*The Bargaining Problem*», «*Two-Person Cooperative Games*»), γενίκευσε το πρόβλημα του βιβλίου των Neumann- Morgenstern σε παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος και πρόσφερε σαν λύση την **ισορροπία κατά Nash** (Nash Equilibrium), σε συνεργατικά και μη συνεργατικά παίγνια. Η ισορροπία Nash αποτέλεσε σταθμό για την εξέλιξη της Θεωρίας Παιγνίων. Το 1953 επίσης, ο Kuhn εισήγαγε τα παίγνια με ατελή πληροφόρηση, που ένας παίκτης δεν γνωρίζει τις κινήσεις που έχουν ήδη γίνει από άλλους παίκτες. Στα μη συνεργατικά παίγνια οι Luce και Raiffa εξέδωσαν το 1957 το σύγγραμμα με τίτλο «*Iterated elimination of dominated strategies*» (μέθοδος της επαναλαμβανόμενης εξάλειψης των κυριαρχούμενων στρατηγικών) και εισήγαγαν την έννοια του επαναλαμβανόμενου παιγνίου (*repeated game*).

Σημαντική προσφορά είχαν και άλλοι επιστήμονες, όπως ο Reinhard Selten το 1965, που άνοιξε το δρόμο για την εύρεση ικανοποιητικής λύσης του προβλήματος σε

δυναμικά παίγνια, με την έννοια της ισορροπίας στα υποπαίγνια (*Subgame Perfect Nash Equilibrium*) και της ισορροπίας τρεμάμενου χεριού (*trembling hand perfect equilibrium*) το 1975. Ομοίως και ο John Harsanyi το 1968, που ασχολήθηκε με παιχνίδια υπό μερική πληροφόρηση (Incomplete Information) και την Bayesian ισορροπία του Nash (*Bayesian Nash equilibrium*). Ο ίδιος επιστήμονας έδωσε και την ιδέα της μικτής στρατηγικής στο 1973. Για τις πρωτοπόρες εργασίες τους στην ανάλυση των ισορροπιών στη θεωρία παιγνίων, οι Nash, Selten και Harsanyi τιμήθηκαν το 1994 με το Βραβείο Νομέλ για τις Οικονομικές Επιστήμες και 2 χρόνια αργότερα το ίδιο βραβείο απονεμήθηκε σε δύο ακόμα σημαντικούς επιστήμονες της Θεωρίας Παιγνίων, τους William Vickrey και James Mirrlees. Επίσης, το 2005, τιμήθηκαν με βραβείο Νόμπελ Οικονομικών και οι θεωρητικοί παιγνίων Thomas Schelling και Robert Aumann για τις εργασίες τους σε θέματα σύγκρουσης και συνεργασίας κατά την ανάλυση της θεωρίας παιγνίων. Πιο συγκεκριμένα, Ο Thomas Schelling στο βιβλίο του «Strategy of Conflict» εισήγαγε την έννοια του «σημείου εστίασης» (focal point) ως τρόπο με τον οποίο συντονίζονται οι παίκτες, ώστε να πετύχουν κάποια από τις ισορροπίες, όταν σε ένα παίγνιο υπάρχουν πολλές και οι παίκτες δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Τέλος, ο Robert Aumann διατύπωσε τον προβληματισμό περί διαφορετικού τρόπου περιγραφής και αντιμετώπισης των επαναλαμβανόμενων παιγνίων στη δημοσίευσή του «Survey of Repeated Games». [48]

Τις τελευταίες δεκαετίες, η Θεωρία Παιγνίων έχει ευρύτατη εφαρμογή σε όλες σχεδόν τις επιστήμες με κυρίαρχη στα οικονομικά, που ολόκληροι κλάδοι στηρίζονται στις μεθόδους της. Επίσης, η θεωρία παιγνίων χρησιμοποιείται και στην πολιτική οικονομία και ειδικά στη θεωρία της συλλογικής δράσης (Collective action), που εξηγεί ενδεχόμενα συνεργασίας μεταξύ των παικτών. Οποιαδήποτε κοινωνική κατάσταση ενδέχεται να απαιτεί ανάλυση με τη Θεωρία Παιγνίων για την κατανόηση της. Έτσι επεκτάθηκε και στις τηλεπικοινωνίες που θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία.

1.3 Βασικές υποθέσεις - χαρακτηριστικά ενός παιγνίου

Οι βασικές υποθέσεις που χαρακτηρίζουν ένα παίγνιο είναι οι εξής:

- Κάθε παίκτης είναι ορθολογικός. Προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την ωφέλειά του, εντός συγκεκριμένων χρονικών ορίων και σύμφωνα με τις πεποιθήσεις και την αντίληψή του ενώ το ίδιο πιστεύει και για τον αντίπαλό του. Θεωρείται

επίσης ότι ο παίκτης δεν επηρεάζεται ποτέ από την ψυχολογία που μπορεί να έχει από πριν ή που αποκτά κατά τη διάρκεια ενός παιγνίου. Το ίδιο πιστεύει και για κάθε αντίπαλό του.

- Κάθε παίκτης ακολουθεί κάποια στρατηγική. Οι γνώσεις του και η προσδοκία για την αντίδραση του αντιπάλου καθορίζουν τις κινήσεις που επιλέγει μέσα από ένα σύνολο επιλογών. Η στρατηγική που ακολουθεί καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την επιτυχία ή την αποτυχία του.
- Οι δυο παραπάνω υποθέσεις αποτελούν «κοινή γνώση» για όλους τους εμπλεκόμενους παίκτες.

Επιπλέον, κάθε παίγνιο αποτελείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

α. Τον αριθμό των παικτών που συμμετέχουν και λαμβάνουν αποφάσεις.. Ελάχιστη προϋπόθεση είναι να συμμετέχουν δύο παίκτες.

β. Το σύνολο των πιθανών κινήσεων (στρατηγικών) που διαθέτει κάθε παίκτης κάθε φορά που καλείται να αποφασίσει και τις ωφέλειες (*payoffs*) για κάθε πιθανή κίνηση.

γ. Την πληροφορία που έχει ο κάθε παίκτης την στιγμή που οφείλει να λάβει την απόφασή του, είτε για τον αντίπαλο ή για το ίδιο το παίγνιο.

δ. Τη χρονική στιγμή κατά την οποία λαμβάνει τις αποφάσεις του.

Στην περίπτωση που υπάρχει αβεβαιότητα, εισέρχεται στο παίγνιο και ο γνωστός παθητικός παράγοντας της τύχης, που εντοπίζεται σε σημεία του παιχνιδιού και αποφασίζει με βάση κάποιες πιθανότητες την επόμενη κίνηση.

1.4 Τρόποι αναπαράστασης ενός παιγνίου

1.4.1 Κανονική μορφή ή στρατηγική ή μήτρας

Η πιο συνηθισμένη μορφή αναπαράστασης παιγνίου είναι η κανονική μορφή, δηλαδή

ένας πίνακας στον οποίο απεικονίζονται οι παίκτες, οι στρατηγικές τους καθώς και τα αποτελέσματα σε μονάδες ωφέλειας που προκύπτουν από κάθε συνδυασμό στρατηγικών. Παράδειγμα κανονικής μορφής παιγνίου είναι ο παρακάτω πίνακας 1.1

A \ B	β_1	β_2
α_1	(5,5)	(-10, 4)
α_2	(0, 1)	(0,0)

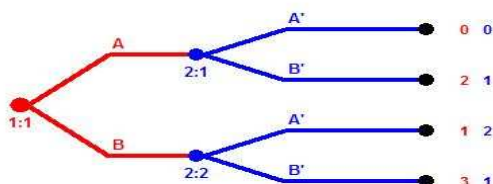
Π1.1: Κανονική ή στρατηγική μορφή παιγνίου.

Οι παίκτες είναι οι A και B και οι στρατηγικές τους είναι α_1 ή α_2 και β_1 ή β_2 αντίστοιχα. Κάθε γραμμή του πίνακα παρουσιάζει μία στρατηγική του ενός παίκτη, ενώ κάθε στήλη μία στρατηγική του άλλου παίκτη. Σε κάθε κελί του πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα για καθέναν από τους δύο παίκτες, ανάλογα με τη στρατηγική που αντιστοιχεί στη γραμμή και τη στήλη του κελιού. Ο αριθμός των διαστάσεων του πίνακα ισούται με τον αριθμό των παικτών. [21]

Στην αναπαράσταση κανονικής μορφής θεωρείται ότι οι παίκτες αποφασίζουν ταυτόχρονα ή χωρίς γνώση της κίνησης του αντιπάλου τους. Επίσης, δεν υπάρχει πληροφορία για τη γνώση των παικτών και δεν είναι γνωστή η χρονική στιγμή που λαμβάνονται οι αποφάσεις. Είναι, λοιπόν, μια στατική μορφή αναπαράστασης παιγνίου.

1.4.2. Αναλυτική μορφή ή μορφή δέντρου

Στην αναλυτική μορφή εμφανίζονται όλα τα στοιχεία του παιγνίου, η αλληλεπίδραση των παικτών καθώς και η σειρά με την οποία οφείλουν να αποφασίσουν.



Εικόνα 1.1: Μορφή δέντρου ή αναλυτική μορφή παιγνίου με το εργαλείο gambit.

Τα παίγνια αναπαρίστανται ως δέντρα που ξεκινούν από έναν κοινό κόμβο, τον κόμβο αφετηρίας. Οι κλάδοι που ξεκινούν από τους κόμβους συμβολίζουν τις πιθανές ενέργειες του παίκτη. Οι ενδιάμεσοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα σημεία που λαμβάνουν αποφάσεις οι παίκτες και ονομάζονται κόμβοι απόφασης. Σε κάθε κόμβο καταλήγει μόνο ένας κλάδος, αλλά ενδέχεται να ξεκινούν από αυτόν περισσότεροι του ενός. Στους τελικούς κόμβους παρουσιάζονται οι ωφέλειες (payoffs) κάθε στρατηγικής. Στην εικόνα 1.1 παρουσιάζεται ένα δέντρο παιγνίου με δύο παίκτες, τις κινήσεις A,B,A',B' και τα τελικά αποτελέσματα.

Η αναλυτική μορφή είναι πιο χρήσιμη για την αναπαράσταση του παιγνίου σε περίπτωση που οι παίκτες έχουν πληροφόρηση σχετικά με τις αποφάσεις των αντιπάλων τους. Στην κανονική μορφή οι επιλογές είναι και οι στρατηγικές ενώ στην εκτεταμένη μορφή οι στρατηγικές είναι περισσότερο πολύπλοκες.

1.5 Τύποι παιγνίων

Τα βασικότερα είδη παιγνίων είναι τα ακόλουθα:

1.5.1 Συνεργατικά ή μη συνεργατικά παίγνια

Συνεργατικά καλούνται τα παίγνια στα οποία οι παίκτες είναι ικανοί να κάνουν συμφωνία μεταξύ τους, την οποία ακολουθούν πιστά. Τα συνεργατικά παίγνια επικεντρώνονται στο παίγνιο ως σύνολο. Απεναντίας, στα μη συνεργατικά παίγνια κάθε παίκτης αποφασίζει και ενεργεί «εγωιστικά» προκειμένου να μεγιστοποιήσει το προσωπικό του όφελος. Υπάρχουν και τα παίγνια που αποτελούνται από στοιχεία και των δύο προηγούμενων τύπων και ονομάζονται υβριδικά. Συχνά θεωρείται ότι στα συνεργατικά παίγνια επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ των παικτών, ενώ στα μη συνεργατικά, όχι.

1.5.2 Παίγνια μηδενικού ή μη μηδενικού αθροίσματος

Παίγνια μηδενικού αθροίσματος ονομάζονται εκείνα στα οποία το συνολικό κέρδος όλων των παικτών για οποιοδήποτε συνδυασμό στρατηγικών είναι μηδέν. Το κέρδος του ενός παίκτη ισούται με τη ζημία του άλλου, συνεπώς το άθροισμα των αποτελεσμάτων είναι μηδενικό. Στα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος υπάρχουν συνδυασμοί στρατηγικών που δίνουν αποτελέσματα μεγαλύτερα ή μικρότερα του μηδενός και το κέρδος ενός παίκτη δεν ισούται απαραίτητα με τη ζημία του άλλου.

1.5.3 Διαδοχικά ή ταυτόχρονα παίγνια

Στην περίπτωση παιγνίων που οι παίκτες επιλέγουν τις στρατηγικές τους διαδοχικά, έχουμε τα δυναμικά παίγνια. Οι παίκτες στα δυναμικά παίγνια γνωρίζουν τις κινήσεις που έχουν προηγηθεί από τους αντιπάλους τους. Αντιθέτως, όταν οι παίκτες επιλέγουν τις στρατηγικές τους ταυτόχρονα, χωρίς να γνωρίζουν ποιά στρατηγική επιλέγουν οι άλλοι παίκτες την ίδια στιγμή, έχουμε ταυτόχρονα παίγνια.

1.5.4 Επαναλαμβανόμενα παίγνια

Επαναλαμβανόμενα είναι τα παίγνια στα οποία οι ενέργειες των παικτών επαναλαμβάνονται σε διαδοχικές χρονικές περιόδους-στάδια. Τα επαναλαμβανόμενα παίγνια είναι δυναμικά παίγνια και ο αριθμός των επαναλήψεων μπορεί να είναι πεπερασμένος ή άπειρος. Κάθε παίκτης λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι μπορεί με τη συμπεριφορά του να επηρεάσει τη μελλοντική συμπεριφορά των άλλων παικτών, γνωρίζοντας ότι το παίγνιο θα επαναληφθεί στο μέλλον με τον ίδιο τρόπο αρκετές φορές.

1.5.5 Παίγνια με τέλεια ή ατελή πληροφόρηση

Στα παίγνια τέλει πληροφόρησης, κάθε παίκτης γνωρίζει τις προηγούμενες κινήσεις όλων των υπολοίπων παικτών μέχρι το χρονικό σημείο στο οποίο βρίσκεται..

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου παιγνίου είναι το σκάκι.

Συνήθως, όμως, τα παίγνια που μελετούνται είναι ατελούς πληροφόρησης, που σημαίνει ότι κάθε παίκτης, που πρέπει να λάβει μια απόφαση, δε γνωρίζει τι έχει συμβεί προηγουμένως στο παιχνίδι κι έτσι η απόφαση του είναι ανεξάρτητη από το παρελθόν των κινήσεων των υπολοίπων παικτών.

1.5.6 Πεπερασμένα ή μη πεπερασμένα παίγνια

Τα πεπερασμένα παίγνια είναι εκείνα στα οποία υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός παικτών, στρατηγικών και αποτελεσμάτων. Απεναντίας, στα μη πεπερασμένα παίγνια οι παίκτες επιλέγουν τις στρατηγικές τους από ένα συνεχές σύνολο στρατηγικών.

1.5.7 Συμμετρικά ή μη συμμετρικά παίγνια

Αν σε ένα παίγνιο είναι εφικτή η εναλλαγή των παικτών χωρίς να αλλάζουν τα αποτελέσματα, τότε το παίγνιο είναι συμμετρικό. Δηλαδή είναι το παίγνιο στο οποίο τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης στρατηγικής εξαρτώνται μόνο από τις στρατηγικές που εφαρμόζονται και όχι από το ποιος παίκτης τις ακολουθεί.

1.5.8 Παίγνια συντονισμού ή ανταγωνισμού

Στα παίγνια συντονισμού υπάρχουν περισσότερα του ενός σημεία ισορροπίας, τα οποία προκύπτουν όταν οι παίκτες επιλέγουν να ακολουθήσουν ίδιες ή ανάλογες στρατηγικές. Από την άλλη πλευρά, στα παίγνια ανταγωνισμού οι παίκτες αποκτούν βέλτιστη ωφέλεια στην περίπτωση που επιλέγουν αντίθετες στρατηγικές μεταξύ τους.

1.5.9 Παίγνια στρατηγικής ή εκτεταμένης μορφής

Τα παίγνια αυτά διαχωρίζονται από τον τρόπο αναπαράστασής τους. Ένα παίγνιο εκτεταμένης μορφής διέπεται από κανόνες που μπορούν να περιγραφούν από ένα δέντρο (*game tree*). Όπως έχουμε αναφέρει, σε αυτή την αναπαράσταση απεικονίζονται οι κινήσεις των παικτών και οι αμοιβές ή απώλειές τους στο τέλος του παιχνιδιού. Το παίγνιο στρατηγικής ή κανονικής μορφής θεωρεί δεδομένη την κατανόηση όλων των δυνατών στρατηγικών του κάθε παίκτη, γι' αυτό και αναπαρίστανται με τη βοήθεια πινάκων.

1.5.10 Παίγνια αμιγών ή μικτών στρατηγικών

Σε ένα παίγνιο αμιγών στρατηγικών, κάθε στρατηγική υπαγορεύει μία συγκεκριμένη κίνηση που πρόκειται να κάνει ο παίκτης, ανεξάρτητα από άλλες παραμέτρους του παιχνιδιού. Ένας παίκτης θα επέλεγε να χρησιμοποιήσει μία μικτή στρατηγική μόνο αν είχε να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών αμιγών στρατηγικών ή στη περίπτωση που δεν θα ήθελε να φανερώσει την ακριβή του κίνηση στον αντίπαλο παίκτη.

Στα παίγνια μικτών στρατηγικών, κάθε στρατηγική αποτελείται από πιθανές κινήσεις. Στα συγκεκριμένα παίγνια υπάρχει μία κατανομή πιθανότητας που αντιστοιχεί στο πόσο συχνά πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία κίνηση.

1.5.11 Παίγνια διαπραγμάτευσης

Παίγνια διαπραγμάτευσης ονομάζονται τα παίγνια που διαμορφώνονται μεταξύ παικτών, οι οποίοι επιδιώκουν να έρθουν σε συμφωνία μεταξύ τους. Σε αυτά τα παίγνια κυριαρχούν οι διαπραγματεύσεις για τη καλύτερη δυνατή λύση προς το συμφέρον όλων των παικτών. Τα παίγνια διαπραγμάτευσης έχουν πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητα (π.χ. σε αγοραπωλησίες).

Τα περισσότερο πολύπλοκα παίγνια που αντιμετωπίζονται στην πράξη είναι συνθέσεις των παραπάνω βασικών τύπων. Επίσης είναι σημαντικό να γίνει αναφορά και στον όρο του **υποπαιγνίου**. Το υποπαίγνιο είναι μέρος κάποιου παιγνίου από κάποια χρονική στιγμή και έπειτα, που είναι δυνατό να απομονωθεί και να μελετηθεί και μόνο του.

1.6 Είδη στρατηγικών

Σε κάθε παίγνιο οι παίκτες επιλεγούν την κίνησή τους μέσα από ένα σύνολο διαθέσιμων στρατηγικών. Στην κανονική μορφή του παιγνίου η στρατηγικές και τα αποτελέσματα για τους παίκτες ορίζονται από τις γραμμές και τις στήλες του πίνακα. Στην εκτεταμένη μορφή η στρατηγική προσδιορίζει πλήρως τη συμπεριφορά των παικτών σε κάθε σημείο που καλούνται να λάβουν αποφάσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι βασικές κατηγοριοποιήσεις των πιθανών στρατηγικών ενός παιγνίου.

1.6.1 Αμιγείς και μεικτές στρατηγικές

Η αμιγής στρατηγική καθορίζει πλήρως τον τρόπο με τον οποίο ένας παίκτης συμπεριφέρεται σε ένα παίγνιο. Ορίζει τις επιλογές του παίκτη για όλα τα πιθανά ενδεχόμενα σε όλη τη διάρκεια του παιγνίου.

Κάθε παίκτης επιλέγει τις στρατηγικές του με βάση κάποια κατανομή πιθανοτήτων ανεξάρτητα από τις επιλογές του αντιπάλου του. Μια μεικτή στρατηγική είναι η ανάθεση κάποιας πιθανότητας σε καθεμία από τις αμιγείς στρατηγικές. Η πιθανότητα μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή στο συνεχές διάστημα $[0,1]$, συνεπώς ο παίκτης έχει άπειρες στρατηγικές.

1.6.2 Κυρίαρχες και κυριαρχούμενες στρατηγικές

Κυρίαρχη είναι μία στρατηγική που αποφέρει στον παίκτη καλύτερα αποτελέσματα από οποιαδήποτε άλλη, ανεξάρτητα από τις αποφάσεις των αντιπάλων του. Μπορεί να είναι αυστηρά κυρίαρχη ή ασθενώς κυρίαρχη.

1.6.2.1 Αυστηρά κυρίαρχες και ασθενώς κυρίαρχες στρατηγικές

Αυστηρά κυρίαρχη είναι η στρατηγική που εξασφαλίζει υψηλότερες αποδόσεις σε έναν παίκτη σε σχέση με τις υπόλοιπες του συνόλου στρατηγικών του, ανεξάρτητα από τις πιθανές στρατηγικές τού αντιπάλου του.

Ασθενώς κυρίαρχη είναι η στρατηγική που εξασφαλίζει σε έναν παίκτη, για κάθε επιλογή του αντιπάλου του, καλύτερο αποτέλεσμα σε σχέση με τις υπόλοιπες του συνόλου στρατηγικών του. Εξασφαλίζει, επίσης, για τις υπόλοιπες επιλογές τουλάχιστον εξίσου καλό αποτέλεσμα με αυτό όλων των υπολοίπων στρατηγικών του συνόλου.

1.6.2.2 Αυστηρά κυριαρχούμενες και ασθενώς κυριαρχούμενες στρατηγικές

Κυριαρχούμενη στρατηγική, αυστηρά ή ασθενώς, είναι μία στρατηγική όταν υπάρχει κάποια άλλη η οποία είναι αυστηρά ή ασθενώς αντίστοιχα, κυρίαρχη αυτής. Μία αυστηρά κυριαρχούμενη στρατηγική εντοπίζεται, όταν υπάρχει μία άλλη στρατηγική που δίνει καλύτερα αποτελέσματα για κάθε κίνηση του παίκτη που εξετάζεται, ανεξάρτητα από τις επιλογές των άλλων παικτών, δηλαδή να είναι αυστηρά κυρίαρχη αυτής. [41]

1.7 Τεχνικές επίλυσης

Η Θεωρία Παιγνίων προβλέπει διαφορετικές τεχνικές επίλυσης που προσαρμόζονται ανα κατηγορία παιγνίου. Λύση σε ένα παίγνιο είναι κάποιος κανόνας που προβλέπει τον τρόπο της διεξαγωγής του, αφού προσδιοριστούν οι διαθέσιμες στρατηγικές των παικτών και κατά συνέπεια περιγράφει τα αποτελέσματά του. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές επίλυσης παιγνίων είναι οι ισορροπίες, με ποιο γνωστή την **ισορροπία κατά Nash**.

1.7.1 Ισορροπία σε αυστηρά κυρίαρχες στρατηγικές

Ήδη αναφέρθηκε ότι βασικό χαρακτηριστικό των παικτών αποτελεί το γεγονός ότι είναι ορθολογικοί και ενεργούν προσδοκώντας το μέγιστο δυνατό όφελος. Επομένως, ο κάθε παίκτης δε θα ακολουθήσει μια αυστηρά κυριαρχούμενη στρατηγική, αλλά την αυστηρά κυρίαρχη αυτής, εφόσον τη διαθέτει. Με το δεδομένο ότι οι αυστηρά κυριαρχούμενες στρατηγικές δε θα χρησιμοποιηθούν, μπορούν να απαλειφθούν και το παίγνιο να απλουστευθεί σε πιο απλό. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται όσο υφίστανται αυστηρά κυριαρχούμενες στρατηγικές και μέχρι να φτάσει το παίγνιο σε σημείο που δεν επιδέχεται άλλη απαλοιφή. Προφανώς για να υπάρξει μια τέτοια περίπτωση και για να φτάσει το παίγνιο σε ισορροπία, πρέπει όλοι οι παίκτες να έχουν στη διάθεσή τους αυστηρά κυρίαρχη στρατηγική.

1.7.2 Nash Ισορροπία

Η Nash ισορροπία (εκ του ομώνυμου επιστήμονα *John Forbes Nash*) είναι μια γενική τεχνική επίλυσης παιγνίων με δύο ή περισσότερους παίκτες. Σε αυτήν κάθε παίκτης γνωρίζει τις στρατηγικές ισορροπίας των άλλων παικτών και κανείς από αυτούς δε θα κερδίσει τίποτα περισσότερο, αν αλλάξει μονομερώς την στρατηγική του. Δηλαδή, αν κάθε παίκτης έχει επιλέξει μια στρατηγική και κανείς άλλος δεν μπορεί να ωφεληθεί αλλάζοντας την στρατηγική του με δεδομένο ότι οι υπόλοιποι διατηρούν τις ίδιες στρατηγικές, τότε αυτή η ομάδα στρατηγικών επιλογών και τα αντίστοιχα οφέλη τους συνιστούν μια ισορροπία Nash. Αυτό ισχύει για όλους τους παίκτες την ίδια στιγμή.

[50]

Αν ο ορισμός της Nash ισορροπίας δοθεί παρατηρώντας από την σκοπιά του συνόλου των αποφάσεων, τότε έχουμε δύο πιθανές ερμηνείες, την καλύτερη απόκριση (*best response*) και το κίνητρο απόκλισης (*incentive to deviate*). Στην πρώτη περίπτωση ο κάθε παίκτης, γνωρίζοντας τις στρατηγικές των άλλων παικτών στο σημείο ισορροπίας, πραγματοποιεί την καλύτερη δυνατή επιλογή και άρα έχει την καλύτερη απόκριση (*best response*) με το να παραμείνει στο κοινό «διάνυσμα» στρατηγικών που εξασφαλίζει την ισορροπία. Στη δεύτερη περίπτωση ο κάθε παίκτης, γνωρίζοντας τις στρατηγικές των άλλων παικτών στο σημείο ισορροπίας έχει μηδενικό κίνητρο απόκλισης (*incentive to deviate*) από αυτό το διάνυσμα στρατηγικών.

Η ισορροπία Nash δεν εξασφαλίζει πάντα τη μέγιστη ωφέλεια στους παίκτες, όπως επίσης μπορεί να περιέχει στρατηγικές ως επιλογές παικτών οι οποίες να μη φαντάζουν ορθολογικές. Βασίστηκε στην ιδέα του Nash να προβλεφθεί τι θα συμβεί στην περίπτωση που λαμβάνονται αποφάσεις την ίδια χρονική στιγμή από διαφορετικούς ανθρώπους με διαφορετικές επιδιώξεις και οι αποφάσεις του ενός επηρεάζουν τις αποφάσεις του άλλου. Επίσης, είναι εφαρμόσιμη σε πλήθος παιγνίων και λιγότερο περιορισμένη από την ισορροπία σε κυρίαρχες στρατηγικές.

1.7.3 Οπισθογενής επαγωγή

Μία άλλη μέθοδος επίλυσης παιγνίων είναι η οπισθογενής επαγωγή. Η επίλυση αρχίζει από τον παίκτη που αποφασίζει τελευταίος στο τελευταίο στάδιο του παιγνίου και μελετά ποια είναι η καλύτερη κίνηση για τον ίδιο, θεωρώντας δεδομένο ότι είναι ορθολογικός και εκτιμώντας τη καλύτερη δυνατή ωφέλεια που θα του αποφέρει. Έπειτα, με αυτό το δεδομένο, εξετάζει με τον ίδιο τρόπο και με τον ίδιο στόχο την επιλογή του προηγούμενου παίκτη (του προτελευταίου). Διαδοχικά, λοιπόν, πηγαίνοντας προς τα πίσω, προσδιορίζονται οι αποφάσεις όλων των παικτών. Είναι σαφές ότι αν ο παίκτης δε γνωρίζει σε κάποιο σημείο τι έχει συμβεί προηγουμένως στο παίγνιο, δεν μπορεί να αξιοποιηθεί η συγκεκριμένη τεχνική επίλυσης.

1.7.4 Βέλτιστο κατά Pareto σημείο

Ένα σημείο είναι κατά Pareto βέλτιστο, αν κανείς παίκτης δεν μπορεί να αυξήσει τη χρησιμότητά του χωρίς να ελαττώσει το κέρδος κάποιου άλλου παίκτη. Το κατά Pareto κριτήριο δηλώνει μια μεταβολή στην κίνηση ενός παίκτη, που βελτιώνει τη θέση του χωρίς να ζημιώσει κάποιον άλλον παίκτη.

1.7.5 Τέλεια ισορροπία κατά Bayes

Παίγνιο Bayes είναι εκείνο στο οποίο οι παίκτες δεν έχουν πλήρη πληροφόρηση για τους αντιπάλους και τα χαρακτηριστικά τους. Συνεπώς, εισάγεται η τύχη ως παράγοντας του παιγνίου με μορφή πιθανότητας ή συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και αποδίδεται ως μια μεταβλητή σε κάθε παίκτη.

Τέλεια ισορροπία κατά Bayes σε έναν κόμβο απόφασης είναι ο προσδιορισμός της πιθανότητας με την οποία ένας παίκτης εκτιμά ότι ο συγκεκριμένος κόμβος είναι η θα είναι στο μέλλον στο μονοπάτι της ισορροπίας του σε συνδυασμό με τις στρατηγικές που έχει στη διάθεσή του. Άρα, πολύ σημαντικό ρόλο έχουν οι πεποιθήσεις των παικτών βάσει πιθανοτήτων και η τέλεια ισορροπία κατά Bayes είναι μια συνθήκη συνέπειας των παικτών σε αυτές.[41]

1.8. Κριτήρια λήψης αποφάσεων

1.8.1 Minimax - maximin

Στη Θεωρία Παιγνίων, ο όρος *minimax* εισήχθη από τον John von Neumann και αποτελεί κανόνα λήψης αποφάσεων που ελαχιστοποιεί την πιθανή ζημία κάθε παίκτη ή, εναλλακτικά, μεγιστοποιεί το ελάχιστο κέρδος, με τον όρο *maximin*. Αρχικά μορφοποιήθηκε για παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος δύο παικτών είτε αυτοί παίζουν ταυτόχρονα ή διαδοχικά και στη συνέχεια επεκτάθηκε σε πολυπλοκότερα παίγνια και πλέον υφίσταται και σαν γενικός κανόνας λήψης απόφασης όταν υπάρχει αβεβαιότητα.

Το *minimax* χρησιμοποιείται στα παίγνια μηδενικού αθροίσματος για να υποδηλώσει την ελαχιστοποίηση του μεγίστου κέρδους του αντιπάλου που στα συγκεκριμένα παίγνια είναι ταυτόσημη με τη μεγιστοποίηση του ελάχιστου κέρδους. Στα παίγνια μηδενικού αθροίσματος η λύση *minimax* είναι η ίδια με τη Nash ισορροπία.

Συχνά βεβαία, το *maximin* χρησιμοποιείται διαφορετικά στην Θεωρία Παιγνίων από το *minimax*. Το *maximin* αναφέρεται συχνά σε παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος για να περιγράψει τη στρατηγική που μεγιστοποιεί την ελάχιστη ωφέλεια κάθε παίκτη. Στα παίγνια μη μηδενικού αθροίσματος, αυτό γενικά δεν είναι το ίδιο με την ελαχιστοποίηση του μεγίστου κέρδους του αντιπάλου, ούτε το ίδιο με την Nash ισορροπία. [49]

1.9 Παραδείγματα παραδοσιακών παιγνίων

Σε επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν παίγνια που συναντώνται στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και τα οποία έχουν αρκετές ομοιότητες με κλασικά παίγνια της θεωρίας παιγνίων. Κάποια από αυτά τα βασικά παίγνια δύο παικτών

παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

1.9.1 «Το δίλημμα του φυλακισμένου»

Το σενάριο του παιγνίου αναφέρει ότι δύο ύποπτοι για κάποιο έγκλημα έχουν συλληφθεί από την αστυνομία και τοποθετούνται για ανάκριση σε διαφορετικούς χώρους ώστε να μην έχουν καμία επικοινωνία μεταξύ τους. Στους δύο κρατούμενους υποβάλλεται από την αστυνομία η ίδια ερώτηση, με στόχο ο ένας από τους δύο τουλάχιστον να καταθέσει εναντίον του άλλου στην αίθουσα του δικαστηρίου. Εδώ οι διαθέσιμες κινήσεις των παικτών είναι οι εξής:

- ❖ Αν κανένας από τους δύο δεν καταθέσει, τότε και οι δύο τιμωρούνται με φυλάκιση ενός έτους λόγω ελλιπών στοιχείων.
- ❖ Στην περίπτωση που ο ένας καταθέσει και ομολογήσει την πράξη και ο άλλος όχι, τότε ο πρώτος δε φυλακίζεται ενώ ο δεύτερος καταδικάζεται σε ποινή φυλάκισης δέκα ετών.
- ❖ Στην περίπτωση που καταθέσουν και ομολογήσουν και οι δύο, τότε και οι δύο καταδικάζονται με ποινή φυλάκισης πέντε ετών.

Ο πίνακας ωφελειών του παιγνίου με έτη κάθειρξης είναι:

	Ο κρατούμενος 2 δεν καταθέτει	Ο κρατούμενος 2 καταθέτει
Ο κρατούμενος 1 δεν καταθέτει	(-1, -1)	(-10, 0)
Ο κρατούμενος 1 καταθέτει	(0, -10)	(-5, -5)

ΠΙ.2: Πίνακας ωφελειών για το «δίλημμα του φυλακισμένου».

Από την παρατήρηση του πίνακα προκύπτει ότι και οι δύο κρατούμενοι έχουν συμφέρον να παραμείνουν σιωπηλοί, αφού αμφότεροι θα τιμωρηθούν με μόλις ένα έτος φυλάκισης. Επίσης, αν ο ένας δεν καταθέσει, δίνεται κίνητρο στον άλλον να καταθέσει

για να απαλλαχθεί. Ωστόσο, κάθε παίκτης έχει καλύτερο αποτέλεσμα αν αποφασίσει να καταθέσει αντί να σιωπήσει, ανεξάρτητα από την επιλογή του άλλου παίκτη κρατουμένου. Άρα η στρατηγική της κατάθεσης - ομολογίας είναι η κυρίαρχη για κάθε παίκτη. [50]

Εφόσον έχει αποκοπεί η επικοινωνία μεταξύ των κρατουμένων και με δεδομένο ότι θεωρούνται ορθολογικοί, αναμένεται να ακολουθήσουν αυτές τις κυρίαρχες στρατηγικές. Αν όμως αυτό το πράξουν ταυτόχρονα, θα έχουν χειρότερο αποτέλεσμα, τη φυλάκιση 5 ετών, που είναι χειρότερο ακόμα και αν παρέμεναν και οι δύο σιωπηλοί (φυλάκιση ενός έτους). Αυτή είναι και η μοναδική ισορροπία Nash του παιγνίου, δηλαδή το ζεύγος (-5,-5) αποτελεί το ζεύγος ισορροπίας Nash. Αυτό δείχνει ότι μια ισορροπία Nash δεν είναι και απαραίτητα η βέλτιστη, αφού το κριτήριο της μικρότερης δυνατής καταδίκης για τον κάθε κρατούμενο οδηγεί σε χειρότερο αποτέλεσμα σε σύγκριση με την περίπτωση που θα αποφάσιζε με κριτήριο να ελαττώσει την καταδίκη του συκρατούμενου με ένα μικρό αντίτιμο (φυλάκιση ενός έτους).

Η μόνη ισορροπία Nash, λοιπόν, προκύπτει από τη μη συνεργασία των δύο πλευρών. Η κατάσταση διαφοροποιείται ωστόσο, όταν το παίγνιο επαναλαμβάνεται πολλές φορές και υπάρχει γνώση των προηγούμενων αποφάσεων των παικτών. Τότε, πέρα από την καθαρή ανταμοιβή που επιδιώκει κάθε παίκτης υπεισέρχεται και το αίσθημα της εκδίκησης για πιθανή προηγούμενη μη συνεργασία. Η οικονομική θεωρία αποδεικνύει, ότι αν ο αριθμός των επαναλήψεων είναι εκ των προτέρων γνωστός, οι δύο παίκτες θα επιλέγουν και πάλι την τακτική της μη συνεργασίας, ανεξάρτητα από τον αριθμό των επαναλήψεων. Το προκείμενο παίγνιο αναδεικνύει με τον πιο χαρακτηριστικό τρόπο τη σύγκρουση μεταξύ του ατομικού και του ομαδικού ορθολογισμού.

1.9.2 «Chicken game»

Ένα ακόμη σημαντικό παίγνιο είναι το «chicken game». Στο συγκεκριμένο παίγνιο η ουσία είναι ότι κάθε παίκτης προσπαθεί να αποφύγει την υποταγή στον άλλον. Ωστόσο, αν κανείς δεν υποχωρήσει, το αποτέλεσμα είναι το χειρότερο και για τους δύο. Η ονομασία του συναντάται στην κινηματογραφική ταινία «Επαναστάτης χωρίς αιτία», σε σκηνή της οποίας δύο νεαροί, ένας εκ των οποίων ο James Dean, οδηγούν δύο αυτοκίνητα παράλληλα προς ένα γκρεμό. Όποιος από τους δύο εγκαταλείψει πρώτος το αυτοκίνητό του θεωρείται δειλός («chicken» στην αμερικάνικη αργκό) ενώ ο αντίπαλός

του είναι ο νικητής και κερδίζει το θαυμασμό της κοπέλας για χάρη της οποίας γίνεται η μονομαχία. Αν όμως κανένας από τους δύο δεν υποχωρήσει, τότε το τέλος είναι θανατηφόρο, αφού οδηγεί στον γκρεμό και τους δυο. Το παίγνιο είναι όμοιο και με το «Δίλημμα του φυλακισμένου» διότι υπάρχει αμοιβαία αποδεκτή λύση και οι παίκτες έχουν κίνητρο να αποκλίνουν από αυτή. Σε αυτήν την περίπτωση, βέβαια, υπάρχει η σημαντική διαφορά ότι το κόστος σε περίπτωση απόκλισης από τη στρατηγική αυτή φαντάζει απαγορευτικό. Ο πίνακας αποτελεσμάτων σε μονάδες ικανοποίησης είναι ο παρακάτω: [46]

	Ο οδηγός Β στρίβει	Ο οδηγός Β συνεχίζει
Ο οδηγός Α στρίβει	(0, 0)	(-10,+10)
Ο οδηγός Α συνεχίζει	(+10,-10)	(-100,-100)

Π1.3: Πίνακας ωφελειών για το «chicken game».

Συνάγεται το συμπέρασμα ότι ισορροπίες Nash είναι τα ζευγάρια (-10,+10) και (+10,-10).

1.9.3 «Κορώνα - Γράμματα»

Το παίγνιο «κορώνα-γράμματα» είναι ένα κλασικό παράδειγμα της παραδοσιακής θεωρίας παιγνίων που αναδεικνύει το σενάριο των μεικτών στρατηγικών και της ισορροπίας Nash σε μεικτές στρατηγικές. Δύο παίκτες, ο Α και ο Β έχουν ένα νόμισμα και πρέπει μυστικά να το στρίψουν σε κορώνα ή γράμματα. Οι παίκτες αποκαλύπτουν το νόμισμά τους ταυτόχρονα και αν τα αποτελέσματα είναι ίδια τότε το παίκτης Α κερδίζει και κρατάει και τα δυο νομίσματα. Αν είναι διαφορετικά κερδίζει ο παίκτης Β και κρατάει εκείνος τα νομίσματα [53]. Είναι χαρακτηριστική περίπτωση παιγνίου μηδενικού αθροίσματος, διότι το κέρδος του ενός παίκτη είναι ακριβώς ίσο με την απώλεια του άλλου. Ο πίνακας αποτελεσμάτων με νομίσματα είναι:

	Ο παίκτης Β τυχαίνει κορώνα	Ο παίκτης Β τυχαίνει γράμματα
Ο παίκτης Α τυχαίνει κορώνα	(+1, -1)	(-1,+1)
Ο παίκτης Α τυχαίνει γράμματα	(-1, +1)	(+1,-1)

Π1.4: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο «κορώνα-γράμματα».

Η ισορροπία Nash εντοπίζεται σε μεικτή στρατηγική και είναι το ζεύγος ενεργειών (0.5, 0.5)

1.9.4 «Η μάχη των φύλων»

Ένα ακόμα παίγνιο που βρίσκει συχνά εφαρμογή με τη Θεωρία Παιγνίων είναι «η μάχη των φύλων». Ένα ζευγάρι επιθυμεί να περάσει ένα Σάββατο απόγευμα μαζί. Ωστόσο, υπάρχει σοβαρή διαφωνία για το πού θα βγουν μαζί, καθώς ο ένας αντιπαθεί την προτίμηση του άλλου. Ο άντρας θέλει να πάει σε αγώνα ποδοσφαίρου, ενώ η γυναίκα θέλει να πάει σε παράσταση στην όπερα. Το παίγνιο αναπαρίσταται στον παρακάτω πίνακα σε μονάδες ικανοποίησης για κάθε παίκτη.[46]

	Γυναίκα	Ποδοσφαιρικός αγώνας	Όπερα
Άντρας			
Ποδοσφαιρικός αγώνας		(4, 1)	(0, 0)
Όπερα		(0, 0)	(1, 4)

Π1.5: Πίνακας ωφελειών για την «μάχη των φύλων»

Είναι σαφές ότι αν υπάρχουν κοινά ενδιαφέροντα και οι παίκτες συνεργαστούν, τότε θα αποκομίσουν και περισσότερα οφέλη, αφού σε αντίθετη περίπτωση δεν κερδίζουν τίποτα. Το παίγνιο έχει δύο σημεία ισορροπίας Nash αμιγών στρατηγικών, τις περιπτώσεις που είτε πηγαίνουν στην όπερα ή στον αγώνα ποδοσφαίρου. Επίσης υπάρχει και μια ισορροπία Nash μεικτών στρατηγικών στην οποία οι παίκτες πηγαίνουν στην προτιμώμενη επιλογή τους πιο συχνά από ότι στην άλλη. Για τις ωφέλειες που δίνονται κάθε παίκτης πηγαίνει στην επιθυμητή του επιλογή με πιθανότητα 4/5.

Είναι γεγονός ότι κάθε μία από τις ισορροπίες Nash είναι ελλιπής κατά κάποιον τρόπο, διότι ο ένα παίκτης συστηματικά έχει μεγαλύτερο κέρδος από τον άλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γενικά για τις Τηλεπικοινωνίες

2.1 Εισαγωγή

Η Θεωρία Παιγνίων στις μέρες μας βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στις επιστήμες και βέβαια στις τηλεπικοινωνίες, που έχει ως αντικείμενο της η παρούσα διπλωματική εργασία. Η βασική αρχή των τηλεπικοινωνιών σχετίζεται με κωδικοποιημένα σήματα που μεταδίδονται κατά μήκος φυσικών διόδων (καναλιών) από κόμβο σε κόμβο και από σταθμό σε σταθμό που υπάρχουν στα άκρα των καναλιών αυτών. Οι σταθμοί είναι οι γνωστές μας τηλεπικοινωνιακές συσκευές (συνήθως ηλεκτρονικοί υπολογιστές) και οι φυσικές δίοδοι είναι τα τηλεπικοινωνιακά κανάλια. Τα τηλεπικοινωνιακά κανάλια συνθέτουν τα αντίστοιχα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, όπως τα δίκτυα κινητής και σταθερής τηλεφωνίας, τα δίκτυα υπολογιστών και τα ραδιοτηλεοπτικά δίκτυα.

Στα αρχικά στάδια οι τηλεπικοινωνίες ταυτίζονταν με τη μετάδοση φωνής μέσω τηλεφωνικών γραμμών και τα συστήματα τηλεπικοινωνιών ήταν αναλογικά. Προς το τέλος του εικοστού αιώνα τα συστήματα αυτά άρχισαν να αντικαθίστανται από ψηφιακά. Έκτοτε, ένα μεγάλο μέρος των τηλεπικοινωνιών περιλαμβάνει την ασύρματη μετάδοση εικόνας και ήχου και τη ψηφιακή μετάδοση δεδομένων με χρήση υπολογιστών ή άλλων συσκευών από ένα σημείο σε ένα άλλο. Επιπλέον, η τεχνολογία των οπτικών ινών βοήθησε στην βελτίωση του διαθέσιμου εύρους ζώνης για διηπειρωτική επικοινωνία άρα και στην αποτελεσματικότερη και ταχύτερη μετάδοση πληροφορίας.

Οι τηλεπικοινωνίες έχουν ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη και εξέλιξη της κοινωνίας καθώς εφαρμόζονται σε πολλούς τομείς, από τις επιστήμες, την τέχνη, την εργασία ως την καθημερινότητα και τη διασκέδαση των ανθρώπων σε όλη την υφήλιο. Οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές επιτρέπουν μέσω των δικτύων τους την ευρεία και ταχεία διοχέτευση και αντίστοιχα ανάκτηση της ροής πληροφοριών. Η εξάπλωση αυτών των υποδομών οδήγησε περισσότερους ανθρώπους γεωγραφικά να αποκτήσουν πρόσβαση στην κοινωνία της πληροφορίας. Παράλληλα, απαλλαγή της αγοράς τηλεπικοινωνιών από το κρατικό μονοπώλιο και το άνοιγμα των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στον ανταγωνισμό είχε ως αποτέλεσμα την ραγδαία ανάπτυξη εταιριών με ποικίλες προσφερόμενες υπηρεσίες και προϊόντα τηλεπικοινωνιών. Δραστηριοποιήθηκε πλήθος

επιχειρήσεων με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, οι οποίες απασχολούν εκατομμύρια εργαζόμενων σε όλο τον κόσμο. Οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές αποτελούν πλέον βάση στήριξης της παγκόσμιας οικονομίας και δεν είναι τυχαίο ότι 3% του Ακαθάριστου Παγκόσμιου Προϊόντος προέρχεται από το εισόδημα της βιομηχανίας τηλεπικοινωνιών. Οι υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών είναι σταθερή και κινητή τηλεφωνία, ασύρματες επικοινωνίες, δίκτυα δεδομένων, καλωδιακή τηλεόραση, τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι και υπηρεσίες διαδικτύου.

Η Θεωρία Παιγνίων βρίσκει ενδιαφέρον και πρόσφορο έδαφος μελέτης κυρίως στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες και αυτές θα κυριαρχήσουν στη μελέτη που ακολουθεί.

2.2 Ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών

Ασύρματο ονομάζεται το δίκτυο τηλεπικοινωνιών, του οποίου εσωτερικά οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη χρήση καλωδίων. Στόχος των δικτύων αυτών είναι να εξασφαλίζονται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά οι επικοινωνίες μεταξύ χρηστών ή τερματικών όπου κι αν τοποθετούνται αυτοί. Στα ασύρματα δίκτυα το σημείο πρόσβασης (access point) στην υπηρεσία δεν είναι σταθερό, σε αντίθεση με τις σταθερές επικοινωνίες που υπάρχει μονοσήμαντη σχέση μεταξύ χρήστη και τερματικού. Η ασύρματη μετάδοση βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και χρησιμοποιεί κεραίες για την εκπομπή και λήψη τους. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μεταξύ των κινητών τερματικών των χρηστών και των σταθερών σταθμών βάσης μέσω των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών διαύλων και με τη βοήθεια των αντίστοιχων ραδιοεπαφών. Πλεονεκτεί έναντι των σταθερών τηλεπικοινωνιών λόγω του μικρού κόστους εγκατάστασης του δικτύου, της δυνατότητας κινητής επικοινωνίας καθώς και της αλγεβρικής και όχι γεωμετρικής απόσβεσης του σήματος όσο απομακρύνεται από την πηγή. Βασική απαίτηση από ένα ασύρματο δίκτυο είναι να λειτουργεί σε μία περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων καλύπτοντας απεριόριστους χρήστες σε απεριόριστη γεωγραφική έκταση. Η ανάπτυξη της κυψελωτής δομής που θα αναφερθεί στη συνέχεια του κεφαλαίου κινήθηκε προς την κατεύθυνση αυτή.

Η Θεωρία Παιγνίων έχει σημαντικό ρόλο στην μελέτη σύγχρονων ασυρμάτων δικτύων. Σε αυτά τα δίκτυα κάθε κόμβος που λειτουργεί με βάση κάποιο πρωτόκολλο είναι ικανός να λαμβάνει τις δικές του αποφάσεις (συνήθως όσον αφορά στην προώθηση ή αναμετάδοση πακέτων από άλλους κόμβους). Αυτές οι αποφάσεις ενδεχομένως να περιορίζονται από τους κανόνες των αλγορίθμων των πρωτοκόλλων αλλά εν τέλει κάθε

κόμβος έχει περιθώρια παρέκκλισης. Οι κόμβοι είναι αυτόνομοι λαμβάνοντας αποφάσεις για την ισχύ εκπομπής, την προώθηση πακέτων κλπ.. Κάποιες φορές λειτουργούν «αλτρουιστικά» προς όφελος του δικτύου ως σύνολο, ενώ άλλες φορές συμπεριφέρονται «εγωιστικά» επιδιώκοντας το κέρδος μόνο του δικού τους χρήστη. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις ενδέχεται να συμπεριφερθούν ακόμα και με κακόβουλο τρόπο επιδιώκοντας να καταστρέψουν την απόδοση του δικτύου για άλλους χρήστες. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις που οι στόχοι των «παικτών» έρχονται σε σύγκρουση, η εμπλοκή και η εφαρμογή της Θεωρίας Παιγνίων είναι άμεση. Στην πρώτη περίπτωση ακόμα κι αν οι κόμβοι έχουν κοινούς στόχους, αντιλαμβάνονται με διαφορετική οπτική την κατάσταση του δικτύου κάθε στιγμή, με ενδεχόμενη τη σύγκρουση ως προς τον βέλτιστο τρόπο δράσης.

2.2.1 Κατηγορίες ασύρματων δικτύων

Τα ασύρματα δίκτυα ανάλογα με το εύρος της περιοχής ραδιοκάλυψής τους διακρίνονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Local Area Networks -WLAN)

Είναι δίκτυα που χρησιμοποιούν συχνά μικροκύματα και συνδέουν σημείο προς σημείο υπολογιστές ή δίκτυα υπολογιστών. Τα συγκεκριμένα δίκτυα παρέχουν υπηρεσίες υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων σε μικρή έκταση (μέχρι 150 μέτρα

Ασύρματα Μητροπολιτικά Δίκτυα (Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN)

Τα δίκτυα αυτά συνδέουν τα επιμέρους WLAN μεταξύ τους και εκτείνονται σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή, όπως μια πόλη.

Ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wireless Wide Area Networks - WWAN)

Τα δίκτυα αυτά είναι ασύρματα δίκτυα που συνήθως καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις, όπως μια χώρα ή και μια ήπειρο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν τμήματα εταιριών μεταξύ τους ή λειτουργούν σαν ένα σύστημα κοινής πρόσβασης στο διαδίκτυο.

Επίσης, δυο ακόμα κατηγορίες είναι τα Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (*Wireless Personal Area Networks - WPAN*) και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (*Mobile devices network*). Τα πρώτα έχουν ως στόχο την ασύρματη διασύνδεση υπολογιστών και κινητών υπολογιστικών μονάδων, κυψελωτών τηλεφώνων και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών που βρίσκονται σε αρκετά μικρές αποστάσεις μεταξύ τους (μέχρι 10 μέτρα). Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πρωτόκολλο *Bluetooth*, που συνδέει συνήθως ένα τερματικό με ένα ακουστικό. Με την εξέλιξη των συσκευών κινητών τηλεφώνων, εξελίχθηκαν και τα κυψελωτά τηλεφωνικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία μπορούν να μεταφέρουν εκτός από τηλεφωνικές συνομιλίες και δεδομένα.

2.2.2 Κυψελωτή δομή

Σημαντική λύση στα προβλήματα της συμφόρησης στο φάσμα συχνοτήτων και της χωρητικότητας των χρηστών έδωσε η ανάπτυξη της κυψελωτής δομής των δικτύων. Με τη δομή αυτή δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται ευρείες περιοχές, ενώ ελαττώνεται η στάθμη της εκπεμπόμενης ισχύος. Η μεγάλη γεωγραφική περιοχή διαιρείται σε μικρότερες περιοχές εξυπηρέτησης, τις κυψέλες. Το ίδιο συμβαίνει και με την κεραία υψηλής ισχύος, η οποία αντικαθίσταται από πολλούς μικρότερους πομπούς χαμηλότερης ισχύος, οι οποίοι τοποθετούνται στο κέντρο ή στα όρια κάθε κυψέλης. Οι κυψέλες μπορούν να ακτίνα με μέγεθος από δεκάδες χιλιόμετρα έως και 100 μέτρα. Το μοντέλο αυτό παρέχει σημαντική διευκόλυνση στις υπηρεσίες περιαγωγής (roaming) και μεταπομπής κατά τη μετακίνηση του τερματικού από μια κυψέλη σε άλλη, αφού εντοπίζεται από το νέο σταθμό βάσης χωρίς να διακοπεί κάποια υπάρχουσα κλήση σε εξέλιξη. [53]

2.2.3 Τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης

Μέσα στο ασύρματο δίκτυο το διαθέσιμο φάσμα του καναλιού πρέπει να κατανέμεται σωστά στους διαφορετικούς χρήστες που μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια στιγμή ένα κοινό μέσο μετάδοσης. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης με τις οποίες αποδίδονται αποκλειστικά κανάλια στους χρήστες με τις είναι οι εξής: Η διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiple Access - FDMA), η διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA) και η διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple Access - CDMA).

Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας (FDMA), το διαθέσιμο εύρος ζώνης διαιρείται σε επιμέρους συχνότητες οι οποίες δεν επικαλύπτονται μεταξύ τους. Ένας μόνο χρήστης με συγκεκριμένη συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιεί το κανάλι.

Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου(TDMA), το διαθέσιμο εύρος χρόνου διαιρείται σε επιμέρους χρονοσχισμές. Σε κάθε χρήστη αποδίδεται μια αποκλειστική χρονοσχισμή. Διαφορετικοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα σε διαφορετικές χρονοσχισμές.

Στην τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα(CDMA), σε κάθε χρήστη ανατίθεται αποκλειστικά ένας κώδικας, τα σήματα κωδικοποιούνται και αποκωδικοποιούνται με διαφορετικούς κώδικες. Διαφορετικοί χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι επικοινωνίας την ίδια χρονική στιγμή και με την ίδια συχνότητα.

Στις τεχνικές TDMA και FDMA το κανάλι δεν χρησιμοποιείται στην περίπτωση που ένας συγκεκριμένος χρήστης δε μεταδίδει πληροφορίες τη στιγμή ή «σχισμή» (χρονική ή συχνοτική) που του έχει αποδοθεί. Στην τεχνική CDMA αξιοποιούνται καλύτερα οι διαθέσιμοι πόροι του συστήματος, αφού όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν ταυτόχρονα το ίδιο κανάλι. [22]

2.2.4 Θόρυβος

Θόρυβος ονομάζεται οποιαδήποτε ανεπιθύμητη ηλεκτρομαγνητική συμπεριφορά σήματος που εντοπίζεται σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα και το καθιστά λιγότερο λειτουργικό και αξιόπιστο. Είναι ένα σύνολο τυχαίων οντοτήτων, ασυσχέτιστων πολλές φορές μεταξύ τους που συνθέτουν ένα σήμα. Ο θόρυβος μπορεί να είναι είτε τεχνητός ή φυσικός. Η πρώτη περίπτωση αφορά το θόρυβο που οφείλεται σε μηχανήματα ή συσκευές που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι. Ο φυσικός θόρυβος οφείλεται σε φυσικά φαινόμενα και πιο γνωστός είναι ο θερμικός θόρυβος των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που σχετίζεται με την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων εντός των κυκλωμάτων.

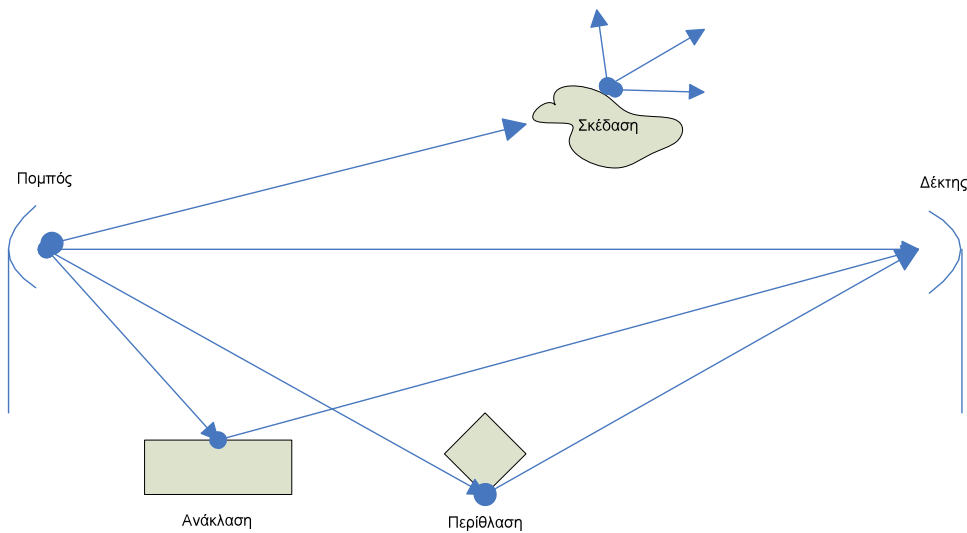
Για την κατανόηση κάποιων όρων στην παρούσα εργασία είναι σημαντικό να γίνουν γνωστές οι βασικές παράμετροι που προσδιορίζουν το θόρυβο σε ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι:

- Η μέση τετραγωνική τιμή του ($\langle n^2(t) \rangle$), που εκφράζει την ισχύ του θορύβου σε μια μοναδιαία αντίσταση.
- Η φασματική πυκνότητα ισχύος του ($S_n(f)$), που περιγράφει την κατανομή της ισχύος του θορύβου στις διάφορες συχνότητες.
- Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise ratio - SNR), ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του επιθυμητού σήματος (S) προς την ισχύ του υπάρχοντος θορύβου (N): $SNR=S/N$. Όσο πιο μεγάλο είναι το SNR τόσο μικρότερη είναι η επίδραση του θορύβου στο επιθυμητό σήμα. [22]

2.2.5 Διαλείψεις

Ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τη συμπεριφορά και την επίδοση του καναλιού στο οποίο μεταδίδεται το σήμα είναι ο πολλαπλασιαστικός θόρυβος, που εμφανίζεται με τη μορφή διαλείψεων (fading). Οι διαλείψεις οφείλονται στις διαφορετικές διαδρομές που ακολουθούν οι συνιστώσες του σήματος κατά τη μετάδοσή του. Αυτό συμβαίνει διότι στο περιβάλλον μεταξύ πομπού και δέκτη υπάρχουν επιφάνειες στις οποίες ενδεχομένως προσπίπτει το σήμα, με αποτέλεσμα να αποσβένεται, να καθυστερεί ή και να ολισθαίνει η φάση του πριν φτάσει στο δέκτη.

Το σήμα μπορεί να φτάσει απευθείας στο δέκτη σε περίπτωση οπτικής επαφής ειδάλλως ανακλάται, σκεδάζεται ή περιθλάται σε διαφορετικές επιφάνειες, οι οποίες ενδέχεται να αλλοιώσουν την ισχύ, τη χρονική μεταβλητότητα και τη φάση της εκάστοτε συνιστώσας του σήματος. [42]



Εικόνα 2.1: Συνιστώσες σήματος σε ασύρματη μετάδοση μεταξύ κεραιών

Στο δέκτη, οι αλλοιωμένες κατά φάση και ισχύ συνιστώσες του σήματος αθροίζονται διανυσματικά και συνιστούν το τελικό σήμα. Το σήμα αυτό παρουσιάζει διακυμάνσεις στο φάσμα του (διαλείψεις), η ένταση των οποίων εξαρτάται από το πλήθος των διαφορετικών διαδρομών και το βαθμό αλλοίωσης των συνιστωσών στο κανάλι. Συνεπώς, ο δέκτης υφίσταται εποικοδομητικές ή καταστρεπτικές παρεμβολές, που ενδέχεται αντίστοιχα να βελτιώσουν ή να εξασθενήσουν το σήμα. Μάλιστα, η εξασθένιση μπορεί να φτάσει σε τέτοιο σημείο ώστε να διακοπεί προσωρινά η επικοινωνία λόγω πτώσης της σηματοθορυβικής σχέσης (*SNR ratio*) του καναλιού κάτω από μία ελάχιστη τιμή ικανή για τη διάδοση της πληροφορία του σήματος. Η περίπτωση αυτή αναφέρεται ως βαθειά διάλεια (*deep fading*).

2.2.6 Παρεμβολές

Με αυτόν τον όρο προσδιορίζεται πιθανή απώλεια ή αλλοίωση της κλήσης κάποιου χρήστη λόγω της ταυτόχρονης χρήσης κάποιου γειτονικού καναλιού της ίδιας ή γειτονικής συχνότητας φέροντος από κάποιον άλλο χρήστη. Οι παρεμβολές επηρεάζουν την ποιότητα της επικοινωνίας αφού επηρεάζεται η χωρητικότητα και η επίδοση του συστήματος.

Πηγές παρεμβολών σε ένα ασύρματο (κυψελωτό) σύστημα ενδέχεται να είναι:

- οι σταθμοί βάσης που εκπέμπουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων
- ένα κινητό τερματικό εντός της ίδιας κυψέλης,

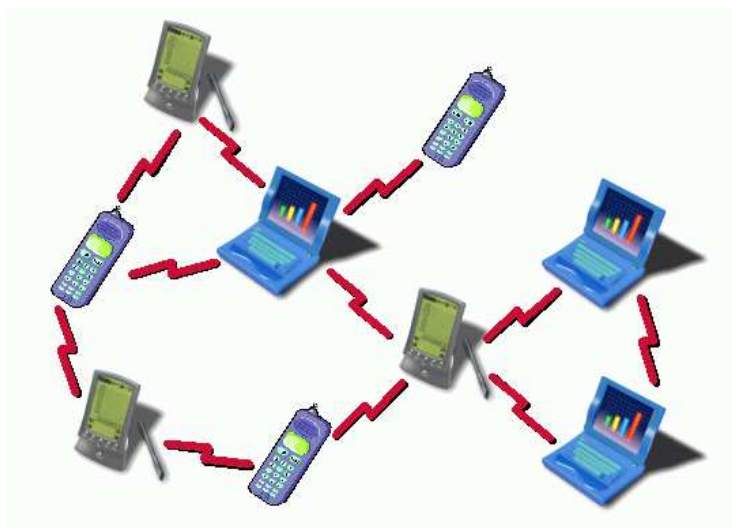
- μία κλήση που πραγματοποιείται σε γειτονική κυψέλη,
- κάποιο μη-κυψελωτό σύστημα που εισάγει ενέργεια από τη λειτουργία του στη ζώνη συχνοτήτων του κεφαλωτού συστήματος.

2.2.7 Σκίαση

Σκίαση ονομάζεται η εξασθένηση του σήματος που συμβαίνει τυχαία λόγω ενδεχόμενης παρεμπόδισης της πορείας του από αντικείμενα και άλλα εμπόδια.

2.2.8 Ασύρματα Ad hoc δίκτυα (Wireless Ad Hoc Networks)

Το ασύρματο ad hoc δίκτυο δημιουργείται από ένα σύνολο κινητών ή σταθερών κόμβων που μοιράζονται το ασύρματο μέσο μετάδοσης και επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη βοήθεια κάποιας εγκατεστημένης υποδομής που να υποστηρίζει επικοινωνία με καθορισμένο σημείο πρόσβασης (access point).



Εικόνα 2.2: Δομή ασύρματου ad hoc δικτύου

Τα ad hoc ασύρματα δίκτυα κατέχουν εξέχουσα θέση στις ασύρματες επικοινωνίες τα τελευταία χρόνια διότι υπάρχει τεράστιο ενδιαφέρον για τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητές τους. Δεν έχουν κάποια κεντρική αρχή, είναι αυτορυθμιζόμενα δίκτυα μετάδοσης πακέτων με τη μέθοδο των πολλαπλών αναπηδήσεων (multihop transmission) από κόμβο σε κόμβο. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα να αναπτυχθούν οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή χωρίς την πολυπλοκότητα της κατασκευής υποδομών και χωρίς ιδιαίτερο κόστος

Τα ad hoc ασύρματα δίκτυα βρίσκουν συχνά εφαρμογή στην υποστήριξη των επικοινωνιών στο στρατό, ειδικά σε περιπτώσεις εχθρικού περιβάλλοντος σε μάχη αλλά χρησιμοποιούνται και για παρατήρηση ή παρακολούθηση απομονωμένων ή εχθρικών περιοχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Παίγνια Δικτύων Τηλεπικοινωνιών

3.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών κατηγοριοποιούνται σε ενσύρματα και ασύρματα. Στα ενσύρματα υπάρχουν δύο σεντ παικτών, οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών και οι τελικοί χρήστες. Η πηγή της αβεβαιότητας είναι οι επιλογές των παικτών, οι οποίοι έχουν διαφορετική αντίληψη και προσδοκίες μεταξύ τους. Ωστόσο το μεγαλύτερο ενδιαφέρον το παρουσιάζουν τα ασύρματα δίκτυα. Η Θεωρία Παιγνίων ερευνά τον τρόπο αλληλεπίδρασης των χρηστών ενός ασύρματου δικτύου κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, που αφορούν τη βελτιστοποίηση της χρησιμότητας που απολαμβάνουν από τη χρήση των πόρων του δικτύου, και προσδιορίζει το σημείο στο οποίο αυτό εξασφαλίζεται (πιθανό σημείο ισορροπίας). Επίσης στοχεύει και στην ανάπτυξη μηχανισμών που θα ενθαρρύνουν τους χρήστες να παίρνουν αποφάσεις τέτοιες ώστε να βελτιώνουν την απόδοση του δικτύου.

Τα ασύρματα ad hoc δίκτυα προσφέρουν ιδιαίτερα πλούσιο έδαφος για μελέτη με τους μηχανισμούς της Θεωρίας Παιγνίων. Έστω δύο κόμβοι α και β ενός ad hoc δικτύου. Ο κόμβος α στέλνει πακέτα στον κόμβο β αν και μόνο αν ο κόμβος β είναι στο πεδίο επικοινωνίας του κόμβου α . Επίσης κανείς από τους παρεμβαλλόμενους γειτονικούς κόμβους του β δεν εκπέμπει την ίδια στιγμή με αυτόν. Οι κόμβοι είναι ικανοί να διατηρούν ενέργεια και το επιδιώκουν όποτε είναι δυνατό. Περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται κατά την εκπομπή και λήψη πακέτων. Στην περίπτωση που ένας κόμβος λειτουργεί ως ενδιάμεσος και προωθεί πακέτα για άλλον χάνει σημαντικό ποσοστό ενέργειας.

3.2 Παίγνια προώθησης πακέτων

Η εκπομπή πολλαπλών αναπηδήσεων (*multihop transmission*) χρησιμοποιείται συχνά σε ad hoc δίκτυα για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, επιτρέπει την μετάδοση πακέτων μηνυμάτων σε κόμβους που βρίσκονται εκτός του εύρους εκπομπής του αρχικού κόμβου. Δεύτερον βελτιώνει την ενεργειακή αποτελεσματικότητα του δικτύου. Το δεύτερο συμβαίνει επειδή επιτρέπει σε πακέτα να μεταδίδονται σε αρκετές μικρές

διαδρομές παρά σε μια μεγάλη. Ένας ή περισσότεροι ενδιάμεσοι κόμβοι ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη του μηνύματος μπορούν να προωθήσουν ή να αναμεταδώσουν το πακέτο. Μπορεί να θεωρηθεί αυτονόητο ότι οποιαδήποτε στιγμή ζητηθεί από κάποιον κόμβο να προωθήσει ένα πακέτο, εκείνος θα το κάνει. Ωστόσο, αυτό δεν είναι απαραίτητα σωστό, διότι σε δίκτυα χωρίς κεντρική αρχή οι αυτόνομοι κόμβοι λειτουργούν προς το συμφέρον τους. Συνεπώς, υπάρχει σοβαρή περίπτωση άρνησης προώθησης πακέτου από κάποιους κόμβους, αν έχουν περιορισμένους πόρους που με τη σειρά της ζημιώνει την απόδοση του δικτύου. Οι εγωιστές («απατεώνες») χρήστες θα προσπαθήσουν να αποκλίνουν ώστε να αποκομίσουν τα καλύτερα δυνατά οφέλη τους με αποτέλεσμα να πλήξουν άλλους χρήστες. Η Θεωρία Παιγνίων βοηθά στη σύλληψη και κατανόηση αυτής της αλληλεπίδρασης, το βαθμό επίδρασης δηλαδή των επιλογών των λογικών παικτών στην απόδοση του συστήματος.

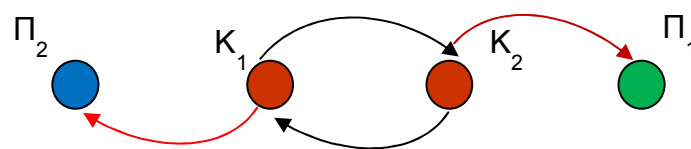
Παρακάτω περιγράφονται τρεις περιπτώσεις προώθησης πακέτων στις οποίες προκύπτει φυσική συνεργασία αλλά και συμπεράσματα για τη δομή και τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κόμβων. Επίσης εμφανίζονται κάποιοι από τους πιο βασικούς όρους της Θεωρίας Παιγνίων όπως η ισορροπία Nash, το βέλτιστο κριτήριο κατά Pareto και τα επαναλαμβανόμενα παίγνια με αβέβαιο τέλος.

3.2.1 Το παίγνιο προώθησης πακέτων δυο παικτών

Τα παίγνια προώθησης πακέτων που αναφέρονται παρακάτω αντιμετωπίστηκαν από την πλευρά του επιπέδου δικτύου. Η ισχύς εκπομπής που απαιτείται για να προωθηθεί ένα πακέτο είναι σταθερή για όλους τους κόμβους του δικτύου και ένα πακέτο θεωρείται χαμένο, αν οποιοσδήποτε κόμβος σε μια διαδρομή αρνηθεί να το προωθήσει.

3.2.1.1 Το δίλημμα της προώθησης πακέτων

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η αναπαράσταση του σεναρίου. Δυο κόμβοι - πηγές (Π_1 και Π_2) και δυο ενδιάμεσοι κόμβοι (K_1 και K_2).



Σχήμα 3.1: Κόμβοι στο παίγνιο προώθησης πακέτων

Στο παίγνιο που εξετάζεται, κάθε κόμβος επιθυμεί να στείλει πακέτα στον αντίστοιχο αποδέκτη και εμπιστεύεται τον ενδιάμεσο κόμβο ότι θα προωθήσει το πακέτο. Χωρίς συνεργασία καμία πηγή δε θα μπορέσει να στείλει επιτυχώς το πακέτο στον προορισμό της. Το παίγνιο είναι παρόμοιο με το «δίλημμα του φυλακισμένου».

Ο κόμβος K_1 επιθυμεί να στείλει ένα πακέτο στον Π_1 χρησιμοποιώντας τον κόμβο K_2 . Ο κόμβος K_2 θέλει να στείλει ένα πακέτο στον Π_2 χρησιμοποιώντας τον κόμβο K_1 . Οι διαθέσιμες επιλογές τους είναι προώθηση ή μη προώθηση του πακέτου στον άλλο κόμβο (δέκτη). Ως ωφέλεια ορίζεται η διαφορά του κόστους της προώθησης ενός πακέτου στον προορισμό του από την ανταμοιβή από επιτυχημένη μετάδοση πακέτου. Το κόστος της προώθησης θεωρείται ότι είναι σταθερό για όλους τους κόμβους, συμβολίζεται με c και παίρνει τιμές στο διάστημα $(0,1)$. Το κέρδος από την επιτυχημένη μετάδοση του πακέτου ισούται με τη μονάδα. Ο πίνακας παρουσιάζει τις ωφέλειες για κάθε πηγή, ανάλογα με τη στρατηγική που θα επιλέξει, σε ζευγάρια (u_1, u_2) , όπου $u_i(a)$ είναι η ωφέλεια για τον παίκτη i ως συνάρτηση των ενεργειών των παικτών.

$K_1 \backslash K_2$	Προωθεί (Π)	Δεν προωθεί (ΔΠ)
Προωθεί (Π)	$(1-c, 1-c)$	$(-c, 1)$
Δεν προωθεί (ΔΠ)	$(1, -c)$	$(0, 0)$

Π3.1: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο προώθησης πακέτων δύο παικτών

Οι κόμβοι θεωρούνται λογικοί και στοχεύουν στην βελτιστοποίηση της ωφέλειάς τους. Εφόσον $0 < c < 1$, η μόνη λογική επιλογή και για τους δυο παίκτες είναι να μην προωθήσουν το πακέτο, κάτι που γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας ότι η ωφέλεια για τον παίκτη K_1 είναι πάντα καλύτερη αν επιλέγει να μην προωθήσει το πακέτο, ανεξάρτητα από την επιλογή του αντιπάλου, αφού

$$u_1(\Delta\Pi, \Delta\Pi) = 0 > -c = u_1(\Pi, \Delta\Pi) \text{ και}$$

$$u_1(\Delta\Pi, \Pi) = 1 > 1-c = u_1(\Pi, \Pi)$$

Το ίδιο ισχύει λόγω συμμετρίας του παιγνίου και για τον παίκτη K_2 .

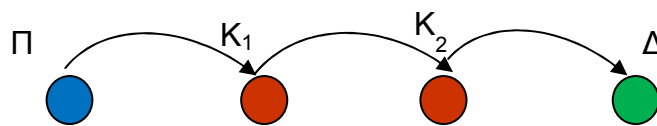
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ισορροπία Nash είναι ένα σύνολο επιλογών τέτοιο ώστε κανείς από τους συμμετέχοντες να μην έχει λόγο να παρεκκλίνει αλλάζοντας στρατηγική.

Το ζευγάρι κινήσεων $(\Delta\Pi, \Delta\Pi)$ είναι η μοναδική ισορροπία του παιγνίου, παρότι και οι δυο πηγές θα μπορούσαν να είχαν καλύτερο αποτέλεσμα αν επέλεγαν (Π, Π) , που δεν είναι ισορροπία Nash αλλά είναι κατά Pareto βέλτιστο, όπως αναλύεται στη συνέχεια.

Ένα σύνολο των ενεργειών είναι βέλτιστο κατά Pareto, όταν δεν υπάρχει κανένα άλλο σύνολο επιλογών για το οποίο μπορεί να αυξήσει ο ένας παίκτης την ωφέλεια του χωρίς να ελαττώσει την ωφέλεια κάποιου άλλου. Άρα οποιοδήποτε ζευγάρι πέραν του $(\Delta\Pi, \Delta\Pi)$ είναι βέλτιστο κατά Pareto.

Αν και οι ισορροπίες αυτές περιγράφηκαν εδώ για αμιγείς στρατηγικές στις οποίες κάθε παίκτης επιλέγει την κίνηση του νομοτελειακά από το διαθέσιμο σύνολο ενεργειών, αυτοί οι ορισμοί μπορούν εύκολα να επεκταθούν και σε πιο γενικές περιπτώσεις μεικτών στρατηγικών στις οποίες κάθε παίκτης προσδιορίζει μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για το σύνολο των ενεργειών του. Κάποια παίγνια μάλιστα, έχουν ισορροπία μόνο σε μεικτές στρατηγικές, όπως το παίγνιο της παρεμβολής που θα περιγραφεί παρακάτω.

3.2.1.2 Το παίγνιο της συνδυασμένης προώθησης πακέτων



Σχήμα 3.2: Κόμβοι στο παίγνιο συνδυασμένης προώθησης πακέτων

Σε αυτό το παίγνιο, ο κόμβος-πηγή Π χρειάζεται να στείλει πακέτα στον κόμβο-δέκτη Δ μέσω των κόμβων K_1 και K_2 και αντίστροφα. Αν το πακέτο φτάσει με επιτυχία στον κόμβο Δ , κάθε ενδιάμεσος κόμβος έχει ωφέλεια 1. Αν το πακέτο δεν φτάσει στον Δ , τότε κανένας από τους ενδιάμεσους κόμβους δεν λαμβάνει ανταμοιβή. Όπως και πριν, το κόστος προώθησης πακέτου ισούται με c , που $0 < c < 1$ και οι κινήσεις είναι προώθηση (Π) ή μη προώθηση $(\Delta\Pi)$ πακέτου. Ο πίνακας αποτελεσμάτων είναι:

$K_1 \backslash K_2$	Προωθεί (Π)	Δεν προωθεί (ΔΠ)
Προωθεί (Π)	(1-c, 1-c)	(-c,0)
Δεν προωθεί (ΔΠ)	(0, 0)	(0,0)

Π3.2: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο συνδυασμένης προώθησης πακέτων δύο παικτών

Οι ισορροπίες Nash σε αυτό το παίγνιο είναι δύο, τα ζευγάρια ενεργειών (Π,Π) και (ΔΠ,ΔΠ) και δεν υπάρχει επικρατούσα στρατηγική. Η μια από τις ισορροπίες Nash, η (Π,Π) είναι και βέλτιστη κατά Pareto.

3.2.1.3 Επαναλαμβανόμενο παίγνιο προώθησης με αβέβαιο τέλος

Στη συνέχεια εξετάζεται το παίγνιο ως επαναλαμβανόμενο, όπως είναι και στην πραγματικότητα πιο πιθανό να συμβεί. Εξετάζεται το σενάριο που το παίγνιο επαναλαμβάνεται L φορές, όπου L ανήκει στο διάστημα $[1, \infty)$. Στην L-στη φορά είναι λογικό να βγει το συμπέρασμα ότι οι κόμβοι θα επιλέγουν να μην προωθήσουν πακέτα ώστε να αποκομίσουν την καλύτερη ωφέλεια. Αντίστοιχα στο «δίλημμα του φυλακισμένου», είχε αναφερθεί ότι οι κρατούμενοι θα επέλεγαν να μην καταθέσουν σε επαναλαμβανόμενη περίπτωση του παιγνίου. Με τη γνώση αυτή θα επιλέξουν το ίδιο και στην L-1 φορά κ.ο.κ., μέχρι να διασφαλιστεί ότι δεν θα προωθηθεί το πακέτο σε κανένα χρονικό στάδιο του παιγνίου.

Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται η τεχνική της έκπτωσης, ώστε να μοντελοποιηθεί η αβεβαιότητα του τέλους του παιγνίου. Ο όρος «δ» είναι ο παράγοντας της έκπτωσης και είναι εκείνος που καθορίζει τη μείωση της τιμής των μελλοντικών ωφελειών των παικτών.

Η ωφέλεια, συμπεριλαμβανομένου του παράγοντα έκπτωσης δ, δίνεται από τη σχέση

$$U_i = \sum_{n=0}^{\infty} \delta^n u_i(a(n)), \text{ όπου } 0 < \delta < 1 \text{ και } u_i(a(n)) \text{ είναι η ωφέλεια του παίκτη } i \text{ στο } n$$

στάδιο του παιγνίου και την οποία προσπαθούν να βελτιστοποιήσουν οι πηγές. Αν οι παίκτες εκτιμούν ότι θα έχουν πολλές ευκαιρίες να παίξουν το συγκεκριμένο παίγνιο, τότε το δ τείνει στο 1.

Κάθε κόμβος επιλέγει να προωθήσει πακέτα στο πρώτο στάδιο του παιχνίτου και επιλέγει το ίδιο μέχρι ο άλλος κόμβος να επιλέξει να μην προωθήσει, άρα υποχωρεί (defects). Αν κάποιος από τους δυο παίκτες υποχωρήσει («λιποτακτήσει»), τότε ο άλλος θα επιλέγει να μην προωθεί πακέτο σε όλα τα επόμενα στάδια του παιχνίτου. Με απλά λόγια αυτή η υποχώρηση κάποιου από τους κόμβους ενεργοποιεί (triggers) «αιώνια» τιμωρία. Η στρατηγική αυτή ονομάζεται TRIGGER. [19], [31], [34]

Εφόσον οι δύο κόμβοι ακολουθήσουν πιστά την στρατηγική TRIGGER, υπολογίζεται η συνολική ωφέλεια με έκπτωση ως εξής

$$U_1 = U_2 = 1 - \frac{c}{1} - \delta$$

Αν υποτεθεί ότι ο κόμβος 1 παρεκκλίνει και υποχωρεί στο στάδιο n του παιχνίτου τότε η συνολική του ωφέλεια με έκπτωση είναι

$$U_1 = (1 + \delta + \dots + \delta^{n-1})(1 - c) + \delta^n \cdot 1$$

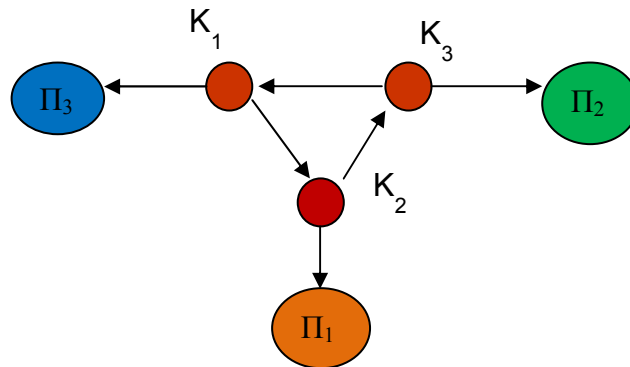
Η ωφέλεια αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από εκείνη που θα είχε αν ακολουθούσε πιστά την TRIGGER στρατηγική (με δεδομένο ότι $c \leq \delta$). Όπως αναφέρθηκε, όταν το δ τείνει στο 1 σημαίνει ότι οι παίκτες εκτιμούν ότι θα έχουν ευκαιρίες να παίξουν το συγκεκριμένο παίγνιο, συνεπώς είναι αρκετά υπομονετικοί και κανείς τους δεν έχει το κίνητρο να παρεκκλίνει από αυτή τη στρατηγική αυτοβούλως. Άρα το ζευγάρι (TRIGGER, TRIGGER) είναι μια Nash ισορροπία αλλά και βέλτιστο κατά Pareto σημείο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ισορροπία Nash για το επαναλαμβανόμενο παίγνιο δύο παικτών με αβέβαιο τέλος αποτελεί και το ζευγάρι ενεργειών (ALWAYS DEFECT, ALWAYS DEFECT) αφού κανείς παίκτης δεν μπορεί να βασιστεί σε συνεργασία για να έχει μεγαλύτερο κέρδος όταν αντιμετωπίζει αντίπαλο που μονίμως υποχωρεί.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τρόπος μοντελοποίησης και τα σημεία ισορροπίας στο παίγνιο αν συμμετέχουν περισσότεροι κόμβοι-παίκτες.

3.2.2 Το παίγνιο προώθησης πακέτων τριών παικτών

Η επιδίωξη των κόμβων παραμένει ίδια με το παίγνιο προώθησης πακέτων δύο παικτών, αφού κάθε πηγή θέλει να στείλει πακέτα στον επιθυμητό παραλήπτη και βασίζεται σε κάποιον άλλο κόμβο ότι θα το προωθήσει. Επίσης η στρατηγική για κάθε παίκτη βασίζεται στις ίδιες δύο επιλογές, της προώθησης (Π) ή μη (ΔΠ) των πακέτων και οι ωφέλειες συμβολίζονται κατά αντιστοιχία με u_1 , u_2 και u_3 για τους τρεις παίκτες-κόμβους. Μια εικόνα για τη διάταξη των κόμβων δίνεται από το σχήμα.



Σχήμα 3.3: Κόμβοι στο παίγνιο προώθησης πακέτων τριών παικτών

Και οι πίνακες των ωφελειών είναι

K ₃ προωθεί		
K ₁ \ K ₂	Προωθεί	Δεν προωθεί
Προωθεί	(1-c, 1-c, 1-c)	(-c, 1, 1-c)
Δεν προωθεί	(1, 1-c, -c)	(0, 1, -c)

K ₃ δεν προωθεί		
K ₁ \ K ₂	Προωθεί	Δεν προωθεί
Προωθεί	(1-c, -c, 1)	(-c, 0, 1)
Δεν προωθεί	(1, -c, 0)	(0, 0, 0)

Π3.3 και 3.4: Πίνακες ωφελειών για το παίγνιο προώθησης πακέτων τριών παικτών [13]

Η μοναδική ισορροπία του παιγνίου είναι η τριάδα των ενεργειών (DNF, DNF, DNF).

Στην περίπτωση του επαναλαμβανόμενου παιγνίου με αβέβαιο τέλος μελετάται η περίπτωση που όλοι οι παίκτες ακολουθούν την στρατηγική TRIGGER. Κατ' αντιστοιχία με το προηγούμενο παράδειγμα, υπολογίζονται οι συνολικές ωφέλειες με την έκπτωση της (TRIGGER, TRIGGER, TRIGGER) ως εξής:

$$U_1 = U_2 = U_3 = 1 - \frac{c}{1} - \delta$$

Αν υποθεθεί ότι ο κόμβος K_1 παρεκκλίνει από τη στρατηγική και υποχωρεί στο στάδιο n του παιγνίου, τότε ο κόμβος K_3 για να τιμωρήσει τον κόμβο K_1 θα σταματήσει να προωθεί στο στάδιο $n+1$ και ο κόμβος K_2 στο στάδιο $n+2$ του παιγνίου. Η συνολική ωφέλεια με έκπτωση του πρώτου είναι

$$U_1 = (1 + \delta + \dots + \delta^{n-1})(1 - c) + (\delta^n + \delta^{n+1}) \cdot 1$$

Όπως και στο παράδειγμα δύο παικτών η ωφέλεια αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από εκείνη που θα είχε αν ακολουθούσε πιστά την TRIGGER στρατηγική, εφόσον εδώ ισχύει $c \leq \delta^2$. Κανείς τους δεν έχει το κίνητρο να παρεκκλίνει από αυτή τη στρατηγική από μόνος του, άρα η τριάδα ενεργειών (TRIGGER, TRIGGER, TRIGGER) είναι μια Nash ισορροπία αλλά και βέλτιστο κατά Pareto σημείο στο παίγνιο προώθησης πακέτων τριών παικτών. [13]

Υπάρχουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ του μοντέλου του παιγνίου προώθησης πακέτων δύο και τριών παικτών. Ωστόσο, βασική διαφορά στο παίγνιο των τριών παικτών σε σύγκριση με το προηγούμενο είναι ότι καθυστερεί περισσότερο να φτάσει η τιμωρία της στρατηγικής TRIGGER στον κόμβο που υποχωρεί και δημιουργεί το πρόβλημα, καθώς έχει περιθώριο να διατηρήσει ωφέλεια ίση με τη μονάδα για δυο ακόμα στάδια του παιγνίου πριν σταματήσουν να προωθούνται πακέτα.

3.3 Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού

3.3.1 Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών

Στην περίπτωση του παιγνίου πολλαπλής πρόσβασης δύο παικτών, δύο χρήστες (κόμβοι) επιδιώκουν να στείλουν κάποια πληροφορία (πακέτο) την ίδια στιγμή μέσω ενός καναλιού που επιτρέπει τη μετάδοση μόνο του ενός από τα δύο πακέτα.

Έστω ότι παίκτες είναι δύο πομποί (π.χ. κινητές τερματικές συσκευές). Οι διαθέσιμες στρατηγικές τους είναι δύο, να εκπέμψουν ή να παραμείνουν αδρανείς. Το κόστος μετάδοσης πακέτου ισούται με c , όπου c ανήκει στο διάστημα $(0,1]$. Αν το πακέτο ληφθεί επιτυχώς, ο πομπός έχει ωφέλεια ίση με τη μονάδα. Μια εκπομπή θεωρείται επιτυχής, αν ο ένας παίκτης εκπέμψει και ο άλλος παραμένει αδρανής.

Ο πίνακας αποτελεσμάτων του παιγνίου είναι:

	Πομπός 2	Εκπέμπει	Παραμένει αδρανής
Πομπός 1			
Εκπέμπει		$(-c, -c)$	$(1-c, 0)$
Παραμένει αδρανής		$(0, 1-c)$	$(0, 0)$

Π3.5: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών

Στο παίγνιο υπάρχουν δύο ισορροπίες Nash, τα ζευγάρια ενεργειών $(0, 1-c)$ και $(1-c, 0)$, παρότι δεν είναι ούτε δίκαιες ούτε οι καλύτερες δυνατές.

Μια εφαρμογή του παιγνίου στην καθημερινότητα είναι το παράδειγμα που ακολουθεί. Οι παίκτες είναι δύο χρήστες που θέλουν να στείλουν ο καθένας το δικό τους μήνυμα, αλλά υπάρχει μόνο ένα διαθέσιμο κανάλι, άρα μόνο ο ένας μπορεί κάθε φορά να στείλει μήνυμα. Έστω ότι το κόστος αποστολής είναι 0.1 ευρώ, η επιτυχής αποστολή μηνύματος αποφέρει 1 ευρώ ωφέλεια, ενώ προφανώς η μη αποστολή μηνύματος δεν κοστίζει. Αν μόνο ο χρήστης 1 στείλει το μήνυμα του, θα έχει κέρδος $1-0.1=0.9$ ευρώ. Το ίδιο ισχύει και για τον δεύτερο χρήστη στην αντίστροφη περίπτωση. Αν και οι δύο στείλουν μήνυμα, το κανάλι θα μπλοκάρει και κανένα μήνυμα δεν θα περάσει, άρα και οι δύο παίκτες θα χάσουν από 0.1 ευρώ.

Ο πίνακας αποτελεσμάτων του παιγνίου είναι:

Χρήστης 2	Στέλνει	Δεν στέλνει
Χρήστης 1		
Στέλνει	(-0.1, -0.1)	(0.9, 0)
Δεν στέλνει	(0, 0.9)	(0, 0)

Π3.6: Πίνακας ωφελειών για το παράδειγμα πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών

3.3.2 Το παίγνιο της πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δυο παικτών με μεικτή στρατηγική

Στη συνέχεια προσεγγίζεται η λύση του παιγνίου πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών με εφαρμογή μεικτής στρατηγικής από τους χρήστες-παίκτες. Υπολογίζεται δηλαδή η ωφέλεια των παικτών ως μια συνάρτηση χρησιμότητας. Έστω ότι ο πομπός 1 εκπέμπει με πιθανότητα p , και παραμένει αδρανής με πιθανότητα $(1-p)$. Αντίστοιχα, ο πομπός 2 εκπέμπει με πιθανότητα q , και παραμένει αδρανής με πιθανότητα $(1-q)$

Η συνάρτηση χρησιμότητας για τον πρώτο πομπό δίνεται από τη σχέση

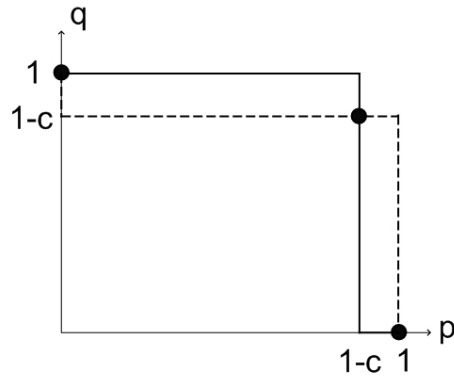
$$u_1 = p(1-q)(1-c) - pqc = p(1-c-q),$$

Ενώ για τον δεύτερο είναι

$$u_2 = q(1-p)(1-c) - qpc = q(1-c-p).$$

Ο πομπός 1 θα έχει τη βέλτιστη απόκριση αν για $q < 1-c$ επιλέγει $p = 1$, αλλιώς επιλέγει $p = 0$.

Ομοίως ο πομπός 2 θα έχει βέλτιστη απόκριση αν για $p < 1-c$ επιλέγει $q = 1$, αλλιώς επιλέγει $q = 0$



Εικόνα 3.1: Γραφική παράσταση μεικτών στρατηγικών και σημείου ισορροπίας Nash για το παίγνιο πολλαπλής πρόσβασης καναλιού δύο παικτών.

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα υπάρχει ισορροπία Nash και εντοπίζεται στο σημείο τομής $(p, q) = (1 - c, 1 - c)$.

3.4 Το παίγνιο παρεμβολής

Ένα ακόμη σενάριο που μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη θεωρία παιγνίων είναι το παίγνιο παρεμβολής δύο παικτών. Το παίγνιο παρεμβολής έχει πολλές ομοιότητες με το παίγνιο «κορώνα - γράμματα».

Οι παίκτες του παιγνίου είναι ένας πομπός (κόμβος) και ένας παρεμβολέας (jammer) και επιθυμούν να στείλουν πακέτο επιλέγοντας ένα από δυο διαθέσιμα κανάλια για τη μετάδοση. Αν οι κόμβοι εκπέμψουν στο ίδιο κανάλι κερδίζει ο παρεμβολέας λόγω συμφόρησης, ενώ αν εκπέμψουν σε διαφορετικό κερδίζει ο πομπός. Ο πίνακας ωφελειών είναι

	Παρεμβολέας	Κανάλι 1	Κανάλι 2
Πομπός			
Κανάλι 1		(-1, +1)	(+1, -1)
Κανάλι 2		(+1, -1)	(-1, +1)

Π3.7: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο παρεμβολής δύο παικτών

Καμία από τις αμιγείς στρατηγικές δεν οδηγεί σε ισορροπία Nash. Η μεικτή στρατηγική του ζεύγους $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ είναι στρατηγική ισορροπίας.

3.5 Παίγνια αναμετάδοσης πακέτων

Τα παίγνια που προαναφέρθηκαν αντιμετωπίστηκαν από την πλευρά του επιπέδου δικτύου. Τα παίγνια αναμετάδοσης αντιμετωπίζουν το πρόβλημα από τη σκοπιά του φυσικού επιπέδου του δικτύου. Οι κόμβοι σε ένα τέτοιο παίγνιο θεωρούνται ικανοί να ελέγξουν την ισχύ εκπομπής σύμφωνα με τις συνθήκες του καναλιού. Οι ωφέλειες προκύπτουν από το συνολικό ποσό ενέργειας που εξοικονομείται κατά την παράδοση ενός πακέτου στον επιθυμητό προορισμό.

Ένα παίγνιο δυο παικτών αυτού του είδους βασίζεται στο απλό συνεργατικό πρωτόκολλο ενίσχυσε-και-προώθησε (amplify-and-forward (AF) [40]. Το δίκτυο έχει τη δομή του παιγνίου προώθησης πακέτων δύο παικτών, δηλαδή κάθε κόμβος στέλνει πακέτα στον αντίστοιχο προορισμό και μπορεί επίσης να βοηθήσει την άλλη πηγή αναμεταδίδοντας πακέτα. Η βασική διαφορά σε αυτό το μοντέλο είναι ότι κάθε κόμβος έχει ένα απευθείας κανάλι με τον κόμβο προορισμού του μηνύματός του και ο κόμβος προορισμού συνδυάζει τις πληροφορίες και από την πηγή και από την αναμετάδοση. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι και οι δυο πηγές γνωρίζουν την τρέχουσα κατάσταση του καναλιού και μπορούν να υπολογίσουν τη βέλτιστη κατανομή ενέργειας για μια AF εκπομπή με ένα δεδομένο SNR στον επιθυμητό προορισμό. [14], [33]

Θεωρώντας δυο πιθανές κινήσεις, την «αναμετάδοση με βέλτιστη AF κατανομή ενέργειας» ή «μη αναμετάδοση», ο πίνακας ωφελειών του παιγνίου παρουσιάζεται παρακάτω:

	Κόμβος 2	Αναμεταδίδει	Δεν αναμεταδίδει
Κόμβος 1			
Αναμεταδίδει		$(\alpha_1 - \beta_1, \alpha_2 - \beta_2)$	$(-\beta_1, \alpha_2)$
Δεν αναμεταδίδει		$(\alpha_1, -\beta_2)$	$(0, 0)$

Π3.8: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο αναμετάδοσης πακέτων δύο παικτών

Όπου $\beta_i \geq 0$ είναι η βέλτιστη AF ενέργεια αναμετάδοσης για την πηγή i και $\alpha_i \geq 0$ είναι η ενέργεια εκπομπής που εξοικονομείται από τον κόμβο i , όταν ο άλλος κόμβος αναμεταδίδει με την βέλτιστη AF ενέργεια αναμετάδοσης. Σε αντίθεση με τα παίγνια

προώθησης πακέτων, τα πακέτα θεωρείται ότι πάντα φτάνουν επιτυχώς στον προορισμό τους. Θεωρώντας το παίγνιο ως επαναλαμβανόμενο με αβέβαιη διάρκεια κατηγοριοποιείται σε δύο περιπτώσεις, την περίπτωση που υπάρχουν διαλείψεις στο κανάλι και την περίπτωση που δεν υπάρχουν.

3.5.1 Κανάλι χωρίς διαλείψεις

Τα κανάλια χωρίς διαλείψεις θεωρούνται σταθερά για αρκετά μεγάλη διάρκεια.. Ο πίνακας αποτελεσμάτων παραμένει ο ίδιος σε κάθε στάδιο του παιγνίου. Από πριν είχε αποδειχτεί ότι το ζεύγος (TRIGGER, TRIGGER) είναι Nash ισορροπία εφόσον

$$\left(\frac{\beta_i}{\alpha_i} \right) \leq \delta, \text{ όπου } 0 < \delta < 1 \text{ είναι ο παράγοντας έκπτωσης που αντιστοιχεί στην πιθανότητα}$$

ότι το παιχνίδι δεν θα τερματίσει στο τρέχον στάδιο του παιγνίου [14], [33]. Όταν το δ τείνει στη μονάδα, η ενέργεια που έχει εξοικονομηθεί είναι τουλάχιστον όσο μεγάλη είναι και η απαιτούμενη ενέργεια αναμετάδοσης και για τους δυο κόμβους στο τρέχον στάδιο του παιγνίου. Για μικρότερες τιμές του δ , η ενέργεια που έχει εξοικονομηθεί πρέπει να υπερβαίνει αρκετά την απαιτούμενη ενέργεια αναμετάδοσης, ώστε να είναι πιο ελκυστικά τα μελλοντικά κέρδη σε σύγκριση με τα άμεσα κέρδη που μπορεί να απολαύσει κάποιος κόμβος από την υποχώρηση(defect). Έτσι, η φυσική συνεργασία είναι μια Nash ισορροπία του παιγνίου έχει νόημα μόνο αν υπάρχει προοπτική για αμοιβαίο κέρδος και αν οι κόμβοι είναι αρκετά υπομονετικοί.

3.5.2 Κανάλι με διαλείψεις

Σε αυτή την περίπτωση τα κανάλια είναι σταθερά σε κάθε στάδιο του παιγνίου αλλά αλλάζουν ανάμεσα σε στάδια του παιγνίου ανεξάρτητα και ακολουθώντας μια συνάρτηση κατανομής διαλείψεων. Από τη στιγμή που η βέλτιστη κατανομή ενέργειας είναι και συνάρτηση της τρέχουσας κατάστασης του καναλιού, ο πίνακας 3.8 αλλάζει για κάθε στάδιο του παιγνίου και μόνο οι ωφέλειες του εκάστοτε σταδίου είναι γνωστές και στους δυο παίκτες. Οι ακριβείς μελλοντικές ωφέλειες είναι άγνωστες λόγω της ασάφειας της κατάστασης του καναλιού στο μέλλον κι έτσι οι παίκτες επιλέγουν τις κινήσεις του σε κάθε στάδιο με βάση τον τρέχοντα πίνακα ωφελειών και τα στατιστικά των συνολικών μελλοντικών ωφελειών με έκπτωση.

Οι κόμβοι με εγωιστική συμπεριφορά στο δίκτυο ενδιαφέρονται να ελαχιστοποιήσουν την συνολική τους κατανάλωση ενέργειας, ενώ οι κόμβοι με αλτρουιστική

συμπεριφορά ενδιαφέρονται για τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση του δικτύου. Οι εγωιστές κόμβοι δεν μπορούν να ξεχωρίσουν τις πηγές των πακέτων, συνεπώς υιοθετούν μια μικτή στρατηγική ακολουθώντας μια σταθερή πιθανότητα αποδοχής αιτημάτων αναμετάδοσης που συμβολίζεται με p_i , όπου i κάποιος εγωιστής κόμβος. Οι αλτρουιστές κόμβοι θεωρείται ότι έχουν επιπλέον δυνατότητες επεξεργασίας που τους επιτρέπουν να διακρίνουν την πηγή του πακέτου όπως επίσης και τον εντοπισμό της πιθανότητας αποδοχής αιτημάτων αναμετάδοσης για όλους τους εγωιστές κόμβους του δικτύου. Όλοι οι αλτρουιστές κόμβοι του δικτύου υιοθετούν μια πολιτική αναμετάδοσης πακέτων που προέρχονται από τον i κόμβο με πιθανότητα που δίνεται από τη συνάρτηση

$$g(p_i) = p_i + (1 - p_i)p_{nc}, \quad p_{nc} \in [0,1]$$

όπου p_{nc} είναι μια παράμετρος που εκφράζει πόσο επιθετικά τιμωρεί ο αλτρουιστής κόμβος τον i εγωιστή όταν δε συνεργάζεται. Όταν έχει τιμή ίση με τη μονάδα σημαίνει ότι η αναμετάδοση πραγματοποιείται κανονικά, δηλαδή ο αλτρουιστής κόμβος αποδέχεται όλα τις αιτήσεις αναμετάδοσης.

Σε ένα δίκτυο με δυο εγωιστές κόμβους πομπούς, δυο κόμβους δέκτες και έναν αλτρουιστή κόμβο αναμετάδοσης προκύπτει ότι υπάρχει φυσική συνεργασία, δηλαδή $p_{nc}=1$ για όλα τα i , καθώς η μόνη Nash ισορροπία του επαναλαμβανόμενου παιγνίου είναι όταν το περιβάλλον του καναλιού ευνοεί το αμοιβαίο κέρδος των πηγών και ο αλτρουιστής κόμβος επιλέγει μια συνάρτηση αναμετάδοσης με $p_{nc}<1$. Αν ο εγωιστής κόμβος i εφαρμόζει μια στρατηγική $p_i<1$, ο αλτρουιστής κόμβος θα απορρίψει ένα μέρος αιτήσεων αναμετάδοσης που έχει κάνει ο κόμβος i . Το ενεργειακό κόστος αυτών των ανεκπλήρωτων αιτήσεων που προκύπτει, θα υπερκεράσει την ενέργεια που εξοικονομείται από την άρνηση των αιτήσεων αναμετάδοσης από τον άλλον κόμβο-πηγή.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι ένα μη συνεργατικό δίκτυο εγωιστών κόμβων ενδέχεται να μετατραπεί σε συνεργατικό αν εισαχθεί και ένα αλτρουιστής κόμβος σε κατάλληλο σημείο. Ένα πολύ μικρό ποσοστό αλτρουιστών κόμβων σε ένα δίκτυο είναι αρκετό για να διασφαλίσει τη συνεργασία ως ισορροπία Nash σε επαναλαμβανόμενα παίγνια.

Η ύπαρξη αλτρουιστών κόμβων διασφαλίζει ότι οι εγωιστές που θα αρνηθούν αιτήσεις αναμετάδοσης πακέτων θα τιμωρηθούν σε επόμενα στάδια του παιγνίου. Όταν κάτι

τέτοιο συμβεί, ο πομπός πρέπει να εκπέμψει ένα πακέτο στον προορισμό απευθείας και έτσι, η συνεργασία πραγματοποιείται υπό την σοβαρή απειλή της τιμωρίας για «λιποταξία». Η ωφέλεια ενός εγωιστή κόμβου ελαττώνεται μόνο αν παρεκκλίνει από την πλήρη συνεργασία.

3.6 Το παίγνιο του ελέγχου ισχύος

3.6.1 Αναγκαιότητα ελέγχου ισχύος

Ένας πολύ μεγάλος αριθμός χρηστών επιθυμεί να έχει πρόσβαση σε υπηρεσίες ασυρμάτου δικτύου, ανταλλάσσοντας φωνή και δεδομένα σε καλή ποιότητα, οποιαδήποτε στιγμή κι αν το επιθυμήσει. Ωστόσο, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας των κινητών τερματικών είναι περιορισμένος, συνεπώς σε αυτό το χρονικό διάστημα κάθε χρήστης εγωιστής επιθυμεί να χρησιμοποιήσει ένα κανάλι με βέλτιστη ποιότητα, χωρίς σφάλματα στη μετάδοση και με μέγιστη εμβέλεια και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Ο έλεγχος ισχύος οφείλει να είναι αποτελεσματικός προκειμένου να ελεγχθούν φαινόμενα όπως οι διαλείψεις, οι παρεμβολές, ακόμα και η σκίαση. Τα φαινόμενα αυτά επηρεάζουν δραστικά τη μετάδοση ενός σήματος και το μέγεθος της ισχύος που απαιτείται για την διασφάλιση της ποιότητας του σήματος. Επίσης, κάθε χρήστης ενδέχεται να δημιουργεί παρεμβολές με τη χρήση του κινητού του τερματικού στην επικοινωνία άλλων, συνεπώς η επιτρεπόμενη στάθμη ισχύος εκπομπής είναι βασικό χαρακτηριστικό κατά τη σχεδίαση των ασυρμάτων δικτύων. Επιπλέον, με τον έλεγχο ισχύος διασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσιών στους χρήστες χωρίς να υπάρχουν προβλήματα στη χωρητικότητα του συστήματος .

3.6.2 Μη επαναλαμβανόμενο παίγνιο ελέγχου ισχύος

Στο συγκεκριμένο παίγνιο ο σκοπός είναι να βρεθεί η βέλτιστη στάθμη ισχύος εκπομπής για κάθε χρήστη ως σημείο ισορροπίας, έτσι ώστε να βελτιστοποιεί την ωφέλειά του αλλά και τη συνολική απόδοση του δικτύου.

Κάθε φορά που ένας χρήστης αυξάνει την ισχύ εκπομπής του για να έχει πλεονεκτήματα στη μετάδοση του σήματος, πλήττονται αφενός οι υπόλοιποι χρήστες σε ποιότητα επικοινωνίας λόγω της παρεμβολής που αντιλαμβάνονται και αφετέρου πλήττεται το δίκτυο στο σύνολό του. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της

ισχύος εκπομπής του κάθε μεμονωμένου χρήστη ώστε να ισορροπήσει την μειωμένη ποιότητα υπηρεσιών που λαμβάνει όσο μειονεκτεί του άλλου χρήστη.

Οι επιθυμίες των χρηστών για βέλτιστη ποιότητα επικοινωνίας δεν μπορούν να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα και χωρίς να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Παρότι υπάρχει σημαντικός αριθμός τηλεπικοινωνιακών παρόχων και ασυρμάτων δικτύων και σημαντικός αριθμός χρηστών –πελατών τους, τα διαθέσιμα τηλεπικοινωνιακά κανάλια (ραδιοδιαύλοι) είναι περιορισμένα σε σύγκριση με τους χρήστες. Οι πόροι του συστήματος μοιράζονται στους χρήστες έτσι ώστε να εξυπηρετούνται όλοι όσοι βρίσκονται στο δίκτυο κάθε στιγμή.

Το παίγνιο του ελέγχου ισχύος υφίσταται με τις γνωστές προϋποθέσεις για τα παίγνια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (ορθολογισμός, στρατηγική με βάση τη γνώση για τους άλλους παίκτες και τις προσδοκίες του, «κοινή γνώση» και κοινές προδιαγραφές τερματικών). Αποτελείται από N παίκτες, τους χρήστες του ασύρματου δικτύου μέσω των κινητών τερματικών που χρησιμοποιούν. Ο αριθμός των χρηστών εξαρτάται από το μέγεθος του δικτύου, είναι γνωστός και δεν μπορεί να είναι απεριόριστος. Κάθε παίκτης έχει ένα σύνολο κινήσεων από τις οποίες αποφασίζει ποια θα ακολουθήσει και σχετίζονται με τη νέα στάθμη της ισχύος εκπομπής όπως αυτή έχει διαμορφωθεί μετά από κάποια αλλαγή της αρχικής. Το σύνολο των πιθανών κινήσεων του παίκτη i συμβολίζεται με P_i και το σύνολο όλων των πιθανών κινήσεων του παιγνίου, δηλαδή όλες οι τιμές που μπορεί να πάρει η ισχύς συμβολίζεται με $P = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_N$ είναι. Το διάνυσμα ισχύος $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_N)$ με στοιχεία του τις (μη αρνητικές) τιμές ισχύος για κάθε τερματικό, είναι ένα ολοκληρωμένο στρατηγικό σχέδιο $p \in P$ που περιλαμβάνει τη στρατηγική του παίκτη i ($p_i \in P_i$) και τις στρατηγικές όλων των υπόλοιπων παικτών ($p_{-i} \in P_{-i}$). Εφόσον θεωρείται ότι υπάρχει μια μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς για κάθε παίκτη i , $p_{\max} \in P_i$, οι πιθανές κινήσεις του παίκτη i θα είναι: $P_i = [0, p_{\max}]$

Ανάλογα με το σχεδιασμό του δικτύου, οι παίκτες μπορεί να αποφασίζουν διαδοχικά ή ταυτόχρονα. Το παίγνιο είναι μη μηδενικού αθροίσματος, διότι, ενώ η αύξηση της ισχύος εκπομπής ενός χρήστη αυξάνει την παρεμβολή στους υπόλοιπους με μείωση της ωφέλειάς τους, αυτό δεν γίνεται στον ίδιο βαθμό για καθένα από τους υπόλοιπους παίκτες. Επίσης, το παίγνιο είναι μη συνεργατικό. Οι παίκτες αποφασίζουν εγωιστικά

με σκοπό τη βελτιστοποίηση της ωφέλειάς τους ακόμα κι αν αυτό γίνεται εις βάρος των άλλων παικτών και του δικτύου στο σύνολό του. Συνεργατικό μπορεί να γίνει αν εξασφαλιστεί κάποιος μηχανισμός που να δίνει κίνητρο στους παίκτες για συνεργασία μεταξύ τους (όπως θα περιγραφεί στη συνέχεια) προς το κοινό συμφέρον.

Η χρησιμότητα που απολαμβάνει κάθε χρήστης στο συγκεκριμένο παίγνιο, έστω $u_i = (p_i, p_{-i})$ απεικονίζει τα αποτελέσματα των ενεργειών του κάθε παίκτη, συνδέεται άμεσα με την ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης και εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής του ίδιου αλλά και όλων των υπολοίπων χρηστών. Επιπλέον, περιγράφει πόσο υψηλή είναι η ποιότητα των υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης και κατά συνέπεια το βαθμό ικανοποίησής του. Αυτό συμβαίνει όταν έχει το μεγαλύτερο δυνατό λόγο σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο (Signal to Interference and Noise Ratio- SINR) ενώ παράλληλα δεν «ξοδεύει» πολλή από την μπαταρία του, τα οποία βέβαια είναι αντικρουόμενα μεταξύ τους. [5], [10]

Η επίλυση του προβλήματος του ελέγχου ισχύος είναι αρκετά δύσκολη. Απαιτούνται αλγόριθμοι που να προσδιορίζουν τη βέλτιστη στάθμη εκπεμπόμενης ισχύος για κάθε χρήστη λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους, όπως τα θετικά και τα αρνητικά αποτελέσματα εκπομπής σήματος σε συγκεκριμένη στάθμη ισχύος και τους διάφορους περιορισμούς σχεδίασης ενός δικτύου.

Ο βέλτιστος αλγόριθμος ελέγχου ισχύος είναι εκείνος που εξασφαλίζει το μέγιστο αριθμό συνομιλιών που ταυτόχρονα απολαμβάνουν συγκεκριμένη ποιότητα συνομιλιών με δεδομένο ένα αποδεκτό SINR. Όσο πιο υψηλό είναι το SINR, τόσο λιγότερα είναι τα σφάλματα μετάδοσης. Άρα, η συνάρτηση χρησιμότητας ενός χρήστη ορίζεται και ως ο λόγος του αριθμού των bits που μεταδόθηκαν επιτυχώς προς το ποσό ενέργειας που απαιτήθηκε για την μετάδοση.

Τυπικά, αυτό που συμβαίνει στο δίκτυο είναι ότι κάθε παίκτης αυξάνει την ισχύ του ώστε να αυξήσει το SINR του. Αυτή η αύξηση ισχύος ωστόσο μειώνει το SINR των άλλων παικτών που αντιδρούν αυξάνοντας επίσης τα επίπεδα ισχύος τους. Μέχρι να φτάσει το παίγνιο σε κάποια ισορροπία, όλοι οι παίκτες έχουν εκτοξεύσει σε πολύ υψηλότερα επίπεδα την ισχύ τους από το απαραίτητο. Αντί αυτού θα μπορούσαν όλοι να μειώσουν την ισχύ τους και να βρίσκονται σε καλύτερη θέση.

Η ισορροπία Nash του παιγνίου είναι ένα διάνυσμα ισχύος $\mathbf{p} = (p_1, \dots, p_N)$, αν για οποιοδήποτε άλλο διάνυσμα ισχύος, για κάθε χρήστη i ισχύει

$$u_i(p_i, p_{-i}) \geq u_i(p'_i, p'_{-i}) \quad [4], [10]$$

Σε ένα τέτοιο σημείο κανείς χρήστης δεν έχει κίνητρο να αλλάξει την ισχύ του διότι δεν πρόκειται να επιτύχει να αυξήσει τη χρησιμότητά του. Η βέλτιστη απόκριση του κάθε χρήστη, έστω r_i δίνεται από τη σχέση

$$r_i = \{p_i \in P_i : u_i(p_i, p_{-i}) \geq u_i(p'_i, p'_{-i})\}, \text{ για οποιοδήποτε άλλο διάνυσμα } p'_i \in P_i \quad [4]$$

Για να αποτελεί ένα σημείο, σημείο ισορροπίας Nash πρέπει η ισχύς εκπομπής ενός χρήστη σε εκείνο το σημείο να αποτελεί βέλτιστη απόκριση κάποιας ενέργειας των υπολοίπων χρηστών. Άρα το σημείο ισορροπίας Nash θα προκύπτει γραφικά ως το σημείο τομής των συναρτήσεων βέλτιστης απόκρισης δηλαδή $p_i \in r_i(p_{-i})$

Ο χρήστης επιλέγει από το σύνολο διαθέσιμων στρατηγικών τη στάθμη ισχύος εκπομπής του. Η επιλογή του χρήστη, με δεδομένο ότι η τιμή της συνάρτησης χρησιμότητάς του θα εξαρτηθεί από τις επιλογές όλων των παικτών, θα είναι η βέλτιστη εκτιμώντας ότι με όμοιο τρόπο θα δράσουν όλοι οι χρήστες. Σταδιακά, λοιπόν, το σύστημα θα οδηγηθεί στο σημείο της Nash ισορροπίας του. [4], [5]

Το σημείο ισορροπίας Nash που προέκυψε σε αυτή τη μορφή του παιγνίου δεν είναι αποτελεσματικό κατά Pareto, διότι κάθε χρήστης λειτουργεί εγωιστικά χωρίς να ενδιαφέρονται για τις επιπτώσεις των ενεργειών τους στο μέλλον και αυτό συνεπάγεται ότι δεν είναι το βέλτιστο για το συνολικό δίκτυο. Θα ήταν συνεπώς επιθυμητό να εντοπιστούν σημεία- λύσεις που να είναι αποτελεσματικές κατά Pareto. Στην ουσία του προβλήματος το ζητούμενο είναι να μειώσουν όλοι οι χρήστες την ισχύ εκπομπής τους, έστω κατά ένα παράγοντα $\omega < 1$, διότι στο σημείο ισορροπίας είναι ήδη αρκετά υψηλές. [3], [18]

Ο τρόπος είναι να εισαχθεί στο δίκτυο κάποια κεντρική αρχή ελέγχου ισχύος που να καθοδηγεί ορθολογικά το δίκτυο στην καλύτερη δυνατή κατάσταση «αναγκάζοντας» τους χρήστες σε συνεργασία ή έστω σε λογική δράσης κοινής κατεύθυνσης. Για παράδειγμα η επιβολή αυξημένου κόστους ακόμα και η διακοπή της ζεύξης για τους

χρήστες που δεν συμμορφώνονται και έχουν στάθμη μεγαλύτερη από μια επιτρεπόμενη που θα έχει οριστεί, είναι τέτοιοι μηχανισμοί.

3.6.3 Επαναλαμβανόμενο παίγνιο ελέγχου ισχύος

Έστω ότι το παίγνιο επαναλαμβάνεται με τον ίδιο τρόπο πολύ περισσότερες φορές μέχρι να ολοκληρωθεί. Οι παίκτες προσαρμόζουν τη στρατηγική τους με τέτοιο τρόπο ώστε να εκμεταλλευτούν την τελευταία επανάληψη του παιγνίου για τη βελτιστοποίηση του κέρδους τους.

Είναι σημαντικό οι χρήστες να πειθαρχούν χωρίς να απαιτείται παρέμβαση από εξωτερικό μηχανισμό. Αν υπάρχει αβεβαιότητα ως προς το τέλος του παιγνίου, δηλαδή δεν είναι γνωστή η τελευταία επανάληψη, η προσέγγιση είναι διαφορετική. Ρεαλιστικά, αυτό συμβαίνει τις περισσότερες φορές σε ένα δίκτυο, αφού κάθε χρήστης ελπίζει να συνεχίσει να χρησιμοποιεί το δίκτυο και στο μέλλον, ενώ δε γνωρίζει πότε θα τελειώσει ο χρόνος ζωής της μπαταρίας του τερματικού του. Συνεπώς κάποιος χρήστης που ενδεχομένως θα συμπεριφερθεί εγωιστικά, θα «τιμωρηθεί» σε επόμενο στάδιο του παιγνίου, αφού οι υπόλοιποι χρήστες που συνεργάζονται θα τον απομονώσουν μειώνοντας τη χρησιμότητα του. Άρα υπάρχει βάσιμη απειλή για τιμωρία ή υπόσχεση για συνεργασία και σε μελλοντικά στάδια του παιγνίου, παράγοντες που επηρεάζουν την καλή συμπεριφορά των χρηστών -παικτών προς όφελος του δικτύου.

Σε κάθε επανάληψη, λοιπόν, του παιγνίου κάθε χρήστης υπολογίζει αν η αύξηση της ωφέλειάς του στον τρέχον στάδιο θα του εξασφαλίσει κέρδος που θα αντισταθμίσει μια ενδεχόμενη τιμωρία για παρέκκλιση στο μέλλον. Όσο πιο υπομονετικός είναι (δηλαδή ο παράγοντας έκπτωσης τείνει στην μονάδα) τόσο μεγαλύτερη χρησιμότητα θα έχει, που δίνεται από τη σχέση

$$u_{i,total} = \sum_{n=0}^{\infty} u_{i,n} \delta^n$$

Αν όλοι οι χρήστες συνεργάζονται, τότε το σύστημα λειτουργεί κανονικά. Αν κάποιος παρεκκλίνει, υφίσταται την τιμωρία του από την επόμενη επανάληψη του παιγνίου που είναι η αύξηση της ισχύος εκπομπής των υπολοίπων στην ισορροπία Nash με μειωμένες χρησιμότητες για όλους. Το σύστημα καθορίζει τη χρονική διάρκεια της τιμωρίας. Οι

χρήστες χρησιμοποιούν την TRIGGER στρατηγική έχοντας την πρόθεση συνεργασίας και αν κάποιοι χρήστες παρεκκλίνουν, τους τιμωρούν. Στατιστικά αποδεικνύεται ότι κατά διαστήματα κάποιος ή κάποιοι χρήστες θα συμπεριφέρονται εγωιστικά που έχει ως επακόλουθο την τιμωρία του και άρα μειωμένη χρησιμότητα για όλους για κάποια διαστήματα [3]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Παίγνια Αγοράς Τηλεπικοινωνιών

4.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη τομέων όπως οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες αν και ήταν ραγδαία, ωστόσο τα προβλήματα που προέκυψαν από αυτήν εμφανίστηκαν σταδιακά. Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα είναι αποτέλεσμα του υπερβολικού και εκτεταμένου ανταγωνισμού μεταξύ τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Στόχος είναι λοιπόν ο επαναπροσδιορισμός της σχέσης μεταξύ των παρόχων και αυτό είναι το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται η Θεωρία Παιγνίων. Αποτελεί ένα καλό εργαλείο ιδιαίτερα σε ολιγοπωλιακές αγορές όπου υπάρχει δυνατότητα στρατηγικής σε αντίθεση με ανταγωνιστικές αγορές όπου είναι πιο δύσκολη η παρουσίαση ή εφαρμογή στρατηγικής. Η ορθολογική προσέγγιση των καταστάσεων και η συγκέντρωση στη λήψη αποφάσεων υπό διαφορετικές συνθήκες με αμεροληψία και με στόχο την αποφυγή συγκρούσεων κατά την αλληλεπίδραση «παικτών», καθιστά τη Θεωρία Παιγνίων εφαρμόσιμη και στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Με την εφαρμογή αυτή, αναλύονται τα δεδομένα της αγοράς τηλεπικοινωνιών και διαπιστώνεται η καλύτερη δυνατή στρατηγική των εταιριών μέσα από τον ανταγωνισμό αλλά και τη συνεργασία μεταξύ τους.

Τα μοντέλα που θα παρουσιαστούν βασίζονται ασφαλώς στην ισορροπία Nash και αναδεικνύεται το γεγονός ότι η συνεργασία στα πλαίσια του ανταγωνισμού μπορεί να αποφέρει κέρδη και για τις δύο (ή περισσότερες) πλευρές. Σημειώνεται ότι για να υπάρχει ένα τέτοιο αποτέλεσμα από τη «σύγκρουση», με βάση τη Θεωρία Παιγνίων πρέπει να ικανοποιούνται κάποιες βασικές προϋποθέσεις

- Ο «παίκτης» που λαμβάνει τις αποφάσεις, είτε είναι ένας άνθρωπος, μια επιχείρηση ή ένα κράτος είναι ορθολογικοί και δεν επηρεάζονται από το συναίσθημα.
- Οι δυο τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι έχουν σχετική ισότητα στον ανταγωνισμό
- Το περιβάλλον της αγοράς στην οποία εντάσσονται οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, ευνοεί τον ανταγωνισμό.

Αν δεν ισχύουν και οι τρεις αυτές συνθήκες, τότε η ισορροπία του παιγνίου μπορεί πολύ εύκολα να διαταραχθεί. Στην πρώτη περίπτωση, αν οι εταιρίες τηλεπικοινωνιών δεν έχουν ορθολογική προσέγγιση του ανταγωνισμού, αντιμετωπίζονται μεταξύ τους ως μισητοί εχθροί και η συνεργασία είναι ανέφικτη. Στην δεύτερη περίπτωση, οι πάροχοι ενδέχεται να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, μεταξύ τους, όπως είναι τα έσοδα, η τηλεπικοινωνιακή υποδομή, το πλήθος και η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν. Στο μοντέλο που μελετήθηκε εκτιμάται ότι οι εταιρίες έχουν το ίδιο επίπεδο ισχύος στην αγορά, ώστε να έχει νόημα η μελέτη της σχέσης τους. Τέλος, αν το περιβάλλον της αγοράς δεν ευνοεί τον ανταγωνισμό και την ανάπτυξη, τότε δεν υπάρχει κανένα περιθώριο συνεργασίας και τα έσοδα των εταιριών διαρκώς μειώνονται.

Η πολιτική του κράτους σε θέματα τηλεπικοινωνιών επηρεάζει επίσης άμεσα η συμπεριφορά των εταιριών τηλεπικοινωνιών. Στην Ελλάδα η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) καθορίζει κανόνες και συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργούν εύρυθμα και σε συνθήκες υγιούς ανταγωνισμού οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, πολλές φορές ενεργώντας και ως «διαιτητής» σε διαμάχες μεταξύ των εταιριών.

Κάποια από τα πιο σταθερά μοντέλα ολιγοπωλίου, βασίζονται στα μη συνεργατικά παίγνια. Η μελέτη των ολιγοπωλιακών μοντέλων είναι αναγκαία για τη μελέτη της δύναμης της αγοράς.

4.2 Μη συνεργατικό παίγνιο τιμολόγησης υπηρεσιών τηλεπικοινωνιακών παρόχων

Με το άνοιγμα της αγοράς τηλεπικοινωνιών από το μονοπώλιο στον ανταγωνισμό εμφανίστηκαν εταιρίες που διεκδίκησαν μερίδιο αγοράς, αλλά λίγες επιβίωσαν ποιοτικά. Για παράδειγμα, οι βασικοί τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι στην Ελλάδα είναι περίπου τέσσερεις και αυτοί καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς στην Ελληνική αγορά τηλεπικοινωνιών. Χαρακτηριστικό του ολιγοπωλίου είναι ότι κάθε πάροχος μπορεί να επηρεάσει την αγορά, ιδιαίτερα ως προς τις τιμές των υπηρεσιών.

Κάθε εταιρία επιθυμεί να αποκτήσει όλο και μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς, με αποτέλεσμα να εισέρχεται σε μικροπολιτικές και πόλεμο τιμών, το οποίο έχει με τη σειρά του ως συνέπεια τη μείωση των εσόδων (άρα και των κερδών) των

τηλεπικοινωνιακών παρόχων. Κάθε πάροχος τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζει τον ανταγωνιστή του ως εχθρό και η συμπεριφορά αυτή θυμίζει το κλασικό παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου.

Στον παρακάτω πίνακα ωφελειών παρατηρείται ένα παίγνιο δύο παικτών (οι αριθμοί εκφράζουν μονάδες κέρδους για κάθε παίκτη). Παίκτες είναι δύο τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι που ανταγωνίζονται στις τιμές κάποιας υπηρεσίας, έστω στο κόστος των υπεραστικών κλήσεων από σταθερό τηλέφωνο και επιλέγουν ενέργεια μεταξύ των δύο επιλογών του συνόλου {έκπτωση, όχι έκπτωση}.

	Πάροχος 2	Δεν κάνει έκπτωση	Κάνει έκπτωση
Πάροχος 1			
Δεν κάνει έκπτωση		(50, 50)	(10, 80)
Κάνει έκπτωση		(80, 10)	(25, 25)

Π4.1: Πίνακας ωφελειών για το μη συνεργατικό παίγνιο τιμολόγησης υπηρεσιών δύο παικτών

Από τον πίνακα προκύπτει ότι αν και οι δύο πάροχοι διατηρήσουν τις υπάρχουσες τιμές τους, θα έχουν 50 μονάδες κέρδος έκαστος. Αν η μια από τις δύο τηλεπικοινωνιακές εταιρίες κάνει έκπτωση ενώ η άλλη διατηρήσει τις τιμές της, η πρώτη θα έχει κέρδος της τάξεως των 80 μονάδων ενώ η δεύτερη θα έχει μόλις 10 μονάδες κέρδος. Στην τελευταία περίπτωση που και οι δυο κάνουν εκπτώσεις θα τους αποφέρει κέρδος 25 στην κάθε μια. Ό,τι κι αν επιλέξει ο πάροχος Β κάθε φορά, η κυρίαρχη στρατηγική για τον Α είναι να πράξει όπως κι εκείνος. Η σύγκρουση φέρνει διαρκή μείωση στις τιμές των υπηρεσιών και ο πόλεμος των τιμών γίνεται πιο επιθετικός.

Συμπερασματικά, ο ανταγωνισμός των εταιριών με αλληπάλληλες εκπτώσεις τους επιφέρει ζημία. Αν ακολουθήσουν όμως μια κοινή πορεία κάτω από κάποιους κανόνες, θα αποφύγουν την αναξιοπιστία από τους πελάτες τους και τη διατάραξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών.

4.3 Συνεργατικό παίγνιο διασύνδεσης τηλεπικοινωνιακών παρόχων.

Συχνά υπάρχουν ακόμα πολλά εμπόδια στη διασύνδεση μεταξύ εταιριών ιδιαίτερα σε κάποιες υπηρεσίες. Το παράδειγμα της Κίνας μεταξύ της China Telecom, της China

Mobile και της China Unicom είναι χαρακτηριστικό. Στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας η China Unicom έχει καταλάβει το 35% περίπου του μεριδίου αγοράς, αλλά υπάρχουν προβλήματα διασύνδεσης με την China Mobile σε υπηρεσίες όπως το δίκτυο CDMA και το SMS. [9]. Ακόμα κι αν υπερέχει έναντι του ανταγωνιστή της σε κάποιο βαθμό, τα προβλήματα διασύνδεσης θα παρουσιαστούν εν τέλει διότι οι τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες απαιτούν την ακεραιότητα του δικτύου.

Η συνεργασία σε αυτές τις περιπτώσεις είναι λογική και το παίγνιο είναι παρόμοιο με το κλασικό μοντέλο της θεωρίας παιγνίων, τη «μάχη των φύλων». Έστω ότι ένα πάροχος κινητής τηλεφωνίας έχει καλύτερη υπηρεσία MMS ενώ ο άλλος υπερτερεί σε υπηρεσία SMS και ο πίνακας ωφελειών σε μονάδες κέρδους είναι

Πάροχος 2 Πάροχος 1	MMS	SMS
MMS	(12, 7)	(0, 0)
SMS	(0, 0)	(3.5, 6.5)

Π4.2: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο διασύνδεσης δύο τηλεπικοινωνιακών παρόχων

Ο πάροχος 1 έχει ισχυρότερο δίκτυο MMS ενώ ο πάροχος 2 έχει καλύτερη υπηρεσία SMS. Παρά τη δυναμική που έχει κάθε εταιρία ξεχωριστά, η συνεργασία, είναι η κυρίαρχη στρατηγική που μπορεί να βελτιστοποιήσει την ωφέλειά τους. Επιθυμούν, όμως, να βελτιώσουν τους αδύνατους τομείς τους, συνεπώς αν ένας πάροχος προσεγγίσει για συνεργασία τον άλλον, με δεδομένο το κοινό κέρδος από τη συνεργασία, ο δεύτερος θα ήταν πιο λογικό να την αποδεχθεί.

Το συμπέρασμα που προκύπτει και με βάση το παράδειγμα της Κίνας είναι ότι η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών εν τέλει χρειάζεται τη συνεργασία ώστε να αποκομίσουν τα καλύτερα οφέλη οι εταιρίες και να γίνουν πιο αποτελεσματικές. Η αγορά διευρύνεται, οι ανταγωνιστές δεν επιδιώκουν τον αφανισμό μεταξύ τους και δεν σπαταλούνται χρήσιμοι πόροι στα πλαίσια ενός οργανωμένου κανονισμού λειτουργίας.

4.4 Το παίγνιο του ανταγωνισμού τιμών των τηλεπικοινωνιακών παρόχων

4.4.1 Το μαθηματικό μοντέλο του ανταγωνισμού τιμών των τηλεπικοινωνιακών παρόχων

Για τη μοντελοποίηση του παιγνίου ισχύει ότι ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος με τις χαμηλότερες τιμές πουλά ευκολότερα τα προϊόντα του, καθώς επίσης ότι τα προϊόντα είναι παρόμοια σε χαρακτηριστικά και ότι οι καταναλωτές επηρεάζονται σχετικά εύκολα από τις αλλαγές των τιμών. Παρακάτω παρουσιάζεται μια μαθηματική περιγραφή του μοντέλου του ανταγωνισμού τιμών μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών εταιριών

Έστω t_i και t_j οι τιμές των τηλεπικοινωνιακών παρόχων i και j και

$$d_i(t_i, t_j) = \begin{cases} a - t_i, & t_i < t_j \\ a - \frac{t_i}{2}, & t_i = t_j \\ 0, & t_i > t_j \end{cases},$$

Όπου $d_i(t_i, t_j)$ η ζήτηση του προϊόντος του παρόχου i (και κατά αντιστοιχία του παρόχου j) και a είναι μια σταθερά αρκετά μεγάλη ώστε να φανεί ότι όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή του προϊόντος, τόσο μικρότερη είναι η ζήτησή του. Η σχέση επιβεβαιώνει ότι η ζήτηση είναι μηδενική όταν τη τιμή του προϊόντος του παρόχου i είναι μικρότερη του ανταγωνιστή j . Θεωρείται ότι το κόστος των επιχειρήσεων είναι το ίδιο και έστω ότι το σταθερό κόστος και το οριακό κόστος του προϊόντος ορίζονται με τις μεταβλητές c_1 και c_2 . Οι συναρτήσεις ωφέλειας (εσόδων) των δύο εταιριών δίνονται από τις σχέσεις:

$$u_i = (t_i, t_j) = d_i(t_i, t_j)(t_i - c_2) - c_1$$
$$u_j = (t_i, t_j) = d_j(t_i, t_j)(t_j - c_2) - c_1$$

Στις περιπτώσεις ολιγοπωλίου οι πληροφορίες μεταξύ των εταιριών είναι γνωστές και πολύ δύσκολα μπορούν να αποκρύψουν μεταξύ τους τις τιμές, την τεχνολογία και την υποδομή τους. [38]

4.4.2 Οι λόγοι του πολέμου τιμών

- ✓ Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μαθηματικό μοντέλο του ανταγωνισμού τιμών όταν οι τιμές των προϊόντων είναι ίδιες, δηλαδή $t_i=t_j$, οι συναρτήσεις ωφέλειας είναι

$$u_i(t_i, t_j) = a - \frac{t_i}{2}(t_i - c_2) - c_1$$

$$u_j(t_i, t_j) = a - \frac{t_j}{2}(t_j - c_2) - c_1$$

και έπειτα από την ανάλυση προκύπτει ότι οι συναρτήσεις ωφέλειας παίρνουν την τιμή

$$u_i(t_i, t_j) = u_j(t_i, t_j) = \frac{1}{8}(a - c_2)^2 - c_1 = \frac{1}{8}a^2 - \frac{1}{4}ac_2 + \frac{1}{8}c_2^2 - c_1$$

- ✓ Όταν $t_i < t_j$, έστω $t_i = a/2$ και η τιμή της συνάρτησης εσόδων γίνεται

$$u_i'(t_i, t_j) = \frac{a^2}{4} - \frac{ac_2}{2} - c_1$$

και με δεδομένο ότι το a είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος,

$$u_i'(t_i, t_j) > u_i(t_i, t_j) \text{ και τελικά } d_i' = \frac{a}{2} > d_i = \frac{a - c_2}{4}$$

Συνεπώς, οι συνδρομητές και τα έσοδα αυξάνονται όσο μειώνει τις τιμές ο πάροχος i , αλλά ο πάροχος j δεν έχει ούτε συνδρομητές ούτε έσοδα εκείνη τη στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι όλοι οι συνδρομητές του παρόχου j πηγαίνουν στον άλλο πάροχο όταν εκείνος μειώνει τις τιμές του ενώ ο j τις διατηρεί ίδιες. Βέβαια, στην πραγματικότητα είναι πολύ πιθανό όταν ο πάροχος i μειώνει τις τιμές του να κάποιους από τους συνδρομητές του j , αλλά όχι όλους. [38]

4.4.3. Ισορροπίες Nash του παιγνίου

- Αν ο ανταγωνισμός των τιμών είναι ορθολογικός, θα σταματήσει όταν τα κέρδη τους είναι μηδενικά, δηλαδή όταν η τιμή του προϊόντος γίνει ίση με το κόστος παραγωγής του. Σε αυτό το σημείο η τιμή της υπηρεσίας του τηλεπικοινωνιακού παρόχου είναι $c_2 + c_1/d_i$. Αν οι πάροχοι μειώσουν περαιτέρω τις τιμές σε αυτό το σημείο, θα έχουν ζημία.

- Αν η ζήτηση είναι η ίδια για τους δυο παρόχους, αυτοί εναλλάσσονται στη μείωση των τιμών και όταν η τιμή φτάσει την τιμή $c_2 + c_1 / dj$ τα κέρδη τους είναι μηδενικά. Αν κάποιος πάροχος μειώσει περαιτέρω την τιμή σε αυτό το σημείο, τότε το αποτέλεσμα θα είναι αρνητικό (ζημία). Αν πάλι αυξήσει την τιμή, θα χάσει όλους τους συνδρομητές και τα έσοδα θα παραμείνουν μηδενικά. Συνεπώς, το σημείο ισορροπίας θα είναι το $(c_2 + c_1 / dj, c_2 + c_1 / dj)$.
- Αν η ζήτηση του παρόχου j είναι μικρότερη από τον πάροχο i ($d_j < d_i$), τότε υστερεί σημαντικά στον ανταγωνισμό των τιμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο j να μην μειώσει περισσότερο τις τιμές και ο i να διατηρήσει τη δυνατότητα κέρδους που έχει. Το παίγνιο είναι σε ισορροπία και το σημείο ισορροπίας της τιμής είναι και πάλι το ζεύγος $(c_2 + c_1 / dj, c_2 + c_1 / dj)$.
- Αν ο ανταγωνισμός των τιμών είναι άγριος με τα κέρδη των παρόχων να είναι μηδενικά, έχουν ακόμα την πιθανότητα να μειώσουν τις τιμές τους, μόνο αν αυτές παραμένουν μεγαλύτερες από το οριακό κόστος c_2 . Όταν η τιμή της υπηρεσίας γίνει ίση με το οριακό κόστος c_2 και κάποιος πάροχος αυξήσει την τιμή, θα χάσει όλους τους συνδρομητές του. Άρα το σημείο ισορροπίας είναι (c_2, c_2) .

4.4.4 Το επαναλαμβανόμενο παίγνιο του ανταγωνισμού τιμών

Στη συνέχεια μελετάται τι θα συμβεί αν το παίγνιο επαναλαμβάνεται με αβέβαιο τέλος. Αρχικά, οι δύο τηλεπικοινωνιακοί φορείς υιοθετούν μονοπωλιακή τιμή. Αν ο πάροχος i συνεχίσει με αυτή τη στρατηγική, θα λαμβάνει σταθερά τα μισά κέρδη από το μονοπώλιο, έστω π . Στην περίπτωση που μόνο ο i μειώνει την τιμή, λαμβάνει όλα τα τρέχοντα μονοπωλιακά οφέλη, αλλά σε ακόλουθα στάδια τα κέρδη του θα γίνουν μηδέν λόγω του άγριου ανταγωνισμού. Όσο ισχύει

$$\pi(1 + \delta + \delta^2 + \dots) \geq 2\pi, \text{ δηλαδή } \delta \geq \frac{1}{2},$$

ο πάροχος i πάντα θα υιοθετεί μονοπωλιακή τιμή. Λόγω συμμετρίας, όταν το $\delta \geq \frac{1}{2}$, η παραπάνω TRIGGER στρατηγική είναι η τέλεια ισορροπία ενός Nash υποπαιγνίου για το επαναλαμβανόμενο παίγνιο που μελετάται. Αυτή η σχέση είναι και η συνθήκη για να

συνεργάζονται οι δύο πλευρές σε ένα αόριστα επαναλαμβανόμενο παίγνιο. Οι ίδιες TRIGGER στρατηγικές βασισμένες στις τιμές αυτές μπορούν να αποδειχθούν ότι είναι τέλειες ισορροπίες Nash υποπαιγνίων. Κατά συνέπεια, αυτό το είδος ισορροπίας δεν είναι μοναδικό. Αν η τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι υπάρχουν σε ένα επαναλαμβανόμενο παίγνιο τιμών, τότε οι συνθήκες της στρατηγικής TRIGGER που είναι τέλεια ισορροπία Nash υποπαιγνίου όταν συνεργάζονται σε μονοπωλιακή τιμή είναι:

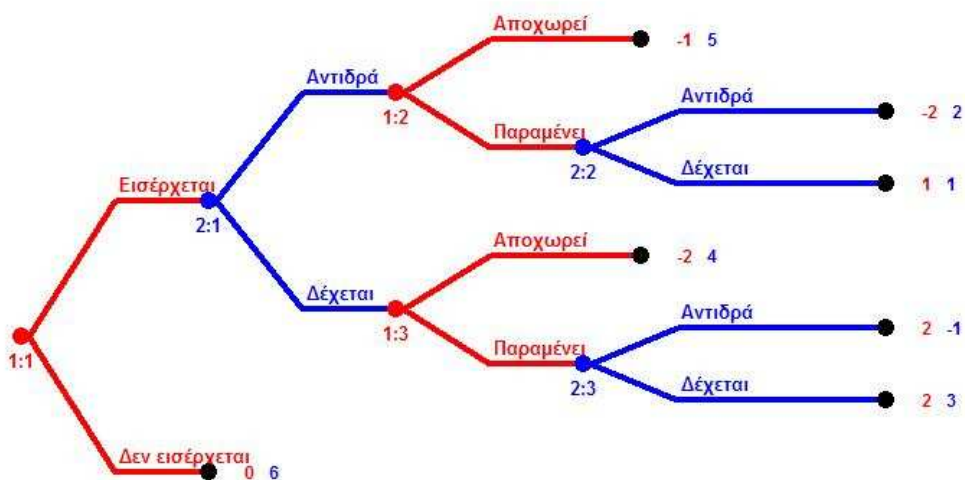
$$\pi(1 + \delta + \delta^2 + \dots) \geq n\pi, \text{ που σημαίνει } \delta \geq \frac{n-1}{n}$$

Όπως παρατηρείται από την εξίσωση η κρίσιμη τιμή του παράγοντα έκπτωσης αυξάνεται όσο ο αριθμός n των τηλεπικοινωνιακών παρόχων μεγαλώνει.

4.5 Παίγνιο δυοπωλίου στην αγορά τηλεπικοινωνιών

Στη διαμάχη για την πρώτη κίνηση, κάθε παίκτης προσπαθεί να αποκαλύψει την μελλοντική συμπεριφορά του στον αντίπαλό του. Στον αγώνα για τη δεύτερη κίνηση ο κάθε παίκτης προσπαθεί να κρύψει τον τρόπο σκέψης του και η πληροφορία που υπάρχει μπορεί να είναι λανθασμένη ή σωστή ανάλογα με την αντίληψη του παίκτη για τον αντίπαλό του.

Μια μονοπωλιακή επιχείρηση τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζει την επερχόμενη είσοδο κάποιου ανταγωνιστή στην αγορά. Ο διευθυντής της μονοπωλιακής επιχείρησης μπορεί να είναι είτε λογικός ή «τρελός». Αν είναι λογικός, η καλύτερη στρατηγική του εκ των προτέρων είναι να αποδεχθεί τον ανταγωνιστή και να προσαρμόσει τις τιμές του έτσι ώστε να αποφέρει και στους δύο κέρδος. Αν είναι «τρελός», αρχίζει πόλεμο τιμών και η στρατηγική του εμφανώς δεν έχει σκοπό τη βελτιστοποίηση του κέρδους του αλλά τον αφανισμό του ανταγωνιστή. Το παίγνιο χωρίζεται σε δύο περιόδους. Παρακάτω παρουσιάζεται η αναλυτική μορφή του παιγνίου ως την αρχή της δεύτερης περιόδου του παιγνίου. Ο νεοεισερχόμενος ανταγωνιστής είναι ο 1 με την κόκκινη γραμμή αποφάσεων και αποτελεσμάτων, ενώ ο ιδιοκτήτης της υπάρχουσας επιχείρησης είναι ο 2 και οι αποφάσεις και τα ενδεικτικά αποτελέσματά του συμβολίζονται με μπλε χρώμα.



Εικόνα 4.1: Αναλυτική μορφή δυοπωλίου με το εργαλείο gambit.

Στην αρχή του παιγνίου, μια νέα επιχείρηση εισέρχεται στην αγορά και σε αυτή την πρώτη περίοδο η καθεστώσα επιχείρηση αποφασίζει αν θα το δεχτεί ή αν θα ξεκινήσει τον πόλεμο των τιμών. Στο ξεκίνημα της δεύτερης περιόδου ο νεοεισερχόμενος αποφασίζει αν θα παραμείνει ή αν θα αποχωρήσει από την αγορά. Ακολουθεί το δέντρο που αναπαριστά το παίγνιο και στις δύο περιόδους του. Ανάλογα με την απόφαση του, η υπάρχουσα επιχείρηση αποδέχεται ή όχι την είσοδο. Αν ο διευθυντής της παλιάς επιχείρησης είναι λογικός, θα ήταν προς το συμφέρον του να ανεχτεί την είσοδο στη δεύτερη περίοδο από τη στιγμή που το παίγνιο τελειώνει. Αν όμως είναι τρελός, επιλέγει αποκλειστικά τον πόλεμο τιμών και είναι προς το συμφέρον του νεοεισερχόμενου να αποχωρήσει διότι θα υποστεί ζημία. Από την πλευρά του νεοεισερχόμενου, αν διαπιστώσει ότι ο διευθυντής της μονοπωλιακής επιχείρησης είναι λογικός, πρέπει να παραμείνει στην αγορά, κι αυτό είναι το κόστος του λογικού διευθυντή για το γεγονός ότι αποκαλύφθηκαν οι προθέσεις του. Ενδέχεται να είναι προς το συμφέρον του διευθυντή της υπάρχουσας επιχείρησης να παραστήσει τον τρελό ώστε να αποτρέψει τον ανταγωνιστή να παραμείνει στην αγορά κατά την δεύτερη περίοδο. Με αυτόν τον τρόπο θα παρέκκλινε από μια συμπεριφορά που θα αντιστοιχούσε σε τέλεια πληροφόρηση, προσπαθώντας να παρουσιαστεί τρελός γνωρίζοντας πολύ καλά ότι αν επιτύχει θα αναγκάσει τον ανταγωνιστή να απομακρυνθεί. Έτσι θα ανακτούσε το μονοπώλιο του μαζί με μεγαλύτερα κέρδη.

Αρκετά σημεία ισορροπίας προβλέπονται για την περίπτωση που ο τρελός διευθυντής εξ ορισμού θα κάνει πάντα πόλεμο τιμών. Επίσης προβλέπονται ισορροπίες και για την περίπτωση που συμπεριφερθεί λογικά.

- Στην ισορροπία «λογικής» ο διευθυντής είναι λογικός και ανέχεται την κατάσταση, δείχνοντας έτσι την πρόθεσή του και δεν υπάρχει περίπτωση στη συνέχεια να αποχωρήσει από την αγορά ο νεοεισερχόμενος.
- Στην ισορροπία της μεικτής περίπτωσης, ο λογικός διευθυντής υποχρεώνεται να αρχίσει πόλεμο τιμών ώστε να εκφοβίσει τον ανταγωνιστή και να τον κάνει να αποχωρήσει στην δεύτερη περίοδο.
- Στην ισορροπία της «αμφιβολίας», ο λογικός διευθυντής ορίζει τη συμπεριφορά του με τρόπο τέτοιο ώστε να διατηρήσει τις αμφιβολίες του ανταγωνιστή για τον πραγματικό του χαρακτήρα.

Από την πλευρά του ανταγωνιστή είναι σημαντική η εκτίμηση που έχει εξαρχής για τον διευθυντή της υπάρχουσας επιχείρησης. Αν εκτιμά ότι είναι λογικός, τότε πολύ δύσκολα θα αποχωρήσει από την αγορά και μόνο η ισορροπία διαχωριστή μπορεί να εμφανιστεί. Αντιθέτως, αν πιστεύει ότι ο διευθυντής είναι τρελός, πρέπει ο δεύτερος να ενισχύσει αυτήν την άποψη για να τον υποχρεώσει να αποχωρήσει στην δεύτερη περίοδο.

Σε αυτόν τον τύπο παιγνίου η δυνατότητα να παίξει κάποιος πρώτος είναι διαφορούμενη. Από τη μία πλευρά, δίνει τη δυνατότητα για μια απόφαση που θα επηρεάσει τον αντίπαλο. Από την άλλη πλευρά ενδέχεται να «προδώσει» τον τρόπο σκέψης του που ήταν μέχρι εκείνο το σημείο άγνωστος στον αντίπαλό του.

Το πλαίσιο το οποίο αναφέρεται προηγουμένως καθιστά δυνατό τον καθορισμό των στόχων των εταιριών σε περιπτώσεις ατελούς ανταγωνισμού (δυσωπώλιο ή μονοπώλιο). Οι στόχοι είναι να επιλέξουν το σημείο ισορροπίας, που συνήθως είναι κάποια μορφή συνεργασίας μεταξύ τους, ανάλογα με το είδος του ανταγωνισμού.

Στον ανταγωνισμό τύπου *Bertrand* οι φίρμες εξαπολύουν πόλεμο τιμών και πωλούν σε οριακό κόστος και σε συνδυασμό με την παρουσία σταθερού κόστους τις οδηγεί σε ναυάγιο. Το περιεχόμενο είναι αντίστοιχο με το παίγνιο του διλήμματος του φυλακισμένου. Σε περίπτωση πλήρους συνεργασίας οι επιχειρήσεις θα μοιράζονταν τα κέρδη που θα προέκυπταν.

		Firm 2	
		High Price	Low Price
Firm 1	High Price	(100, 100)	(-10, 140)
	Low Price	(140, -10)	(0, 0)

Εικόνα 4.2: Παράδειγμα δυοπωλίου Bertrand

Στον *Cournot* ανταγωνισμό επιτρέπεται να διατηρηθούν κάποια κέρδη και αυτό θυμίζει τη «μάχη των φύλων». Αυτό σημαίνει ότι αν ένας παίκτης αποκαλύψει το προϊόν του νωρίτερα από τους άλλους, έχει μεγαλύτερο κέρδος.

Τέλος, στον μονοπωλιακό ανταγωνισμό, κάθε παίκτης προσπαθεί να διαφοροποιήσει τη στάση του και να αποφύγει τη σύγκρουση. Αν το αντικείμενο μπορεί να χωριστεί σε δύο προϊόντα, τότε κάθε μια επιχείρηση αναλαμβάνει την διαχείριση του καθενός. Βεβαία, ο ανταγωνισμός δεν εξαφανίζεται, απλώς γίνεται πιο αδύναμος αφού οι καταναλωτές έχουν τις προτιμήσεις τους και θα απευθυνθούν στο άλλο προϊόν μόνο αν είναι αρκετά φθηνότερο.

4.5.1 Παράδειγμα δυοπωλίου στον τομέα τηλεπικοινωνιών - οπτικές ίνες

Οι τηλεπικοινωνίες παρέχουν πρόσφορο έδαφος για μελέτη με τη Θεωρία Παιγνίων καθώς δεν έχουν πολύ μεγάλο πλήθος ανταγωνιστικών εταιριών και πολλές φορές έχουν πολύπλοκους κανόνες στο παίγνιο που διαμορφώνεται. Γίνεται προσπάθεια να δώσει η Θεωρία Παιγνίων κάποιες λύσεις χωρίς να ξεφύγει η μελέτη από το πόσο πολύπλοκα μπορεί να είναι τα περισσότερα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι τηλεπικοινωνίες.

Η οπτική ίνα είναι γυάλινη ή πλαστική ίνα που έχει ως βασική ιδιότητα ότι μεταφέρει το φως κατά μήκος της. Οι οπτικές ίνες επιτρέπουν την μετάδοση σημάτων σε μεγαλύτερες αποστάσεις και σε υψηλότερο εύρος ζώνης από άλλες μορφές επικοινωνίας όπως με τα χάλκινα καλώδια. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε δίκτυα επικοινωνιών αντί των μεταλλικών καλωδίων, διότι τα σήματα ταξιδεύουν με λιγότερη απώλεια και δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Με την ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών, ένας τηλεπικοινωνιακός φορέας έχει τη δυνατότητα πολύ σημαντικής χωρητικότητας εκπομπής με αποτέλεσμα να πολλαπλασιάσει τους συνδρομητές του συγκριτικά με το δίκτυο με το παραδοσιακό χάλκινο καλώδιο.

Αντιμετωπίζοντας έναν ανταγωνιστή που επίσης θέλει να αναπτύξει δίκτυο οπτικών ινών, μπορεί να χρησιμοποιήσει την σοβαρή απειλή της μείωσης των τιμών της υπηρεσίας έως ένα όριο (σημείο ισορροπίας), αφού το σταθερό κόστος θα έχει βυθιστεί. Από την άλλη πλευρά η απόφαση του νεοεισερχόμενου να παρέμβει, συμπεριλαμβάνει τον οικονομικό υπολογισμό του κόστους και η ενδεχόμενη προοπτική ενός πολέμου τιμών ενδεχομένως τον αποθαρρύνει να εισέλθει στην αγορά.

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί σε ποια περίπτωση και με ποιόν όρο πρέπει ο κυρίαρχος φορέας να «παίξει» πρώτος και να κατασκευάσει γρήγορα το δίκτυο οπτικών ινών. Καταρχήν, μια περίπτωση είναι όταν το παίγνιο γίνεται περισσότερο συνεργατικό απ'ότι επιθετικό. Αν η επίθεση από τον ανταγωνιστή γίνει σε όλα τα μέτωπα και προϊόντα και με συνδυαστικές προτάσεις προϊόντων και υπηρεσιών, το παίγνιο είναι περισσότερο συνεργατικής φύσεως και η διαμάχη σχετίζεται με το ποιος θα κάνει την πρώτη κίνηση.

Επιπλέον, αν ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος επιθυμεί να διατηρήσει τη μονοπωλιακή του θέση πρέπει να αποκομίσει κέρδος. Κατασκευάζοντας αυτές τις χωρητικότητες δημιουργεί τη σοβαρή απειλή προς τον νεοεισερχόμενο της αποδοχής της απώλειας χρημάτων στο σύνολο της επιχείρησης. Αυτή η απειλή («μπλόφα») ενδέχεται να υποχρεώσει τον νεοεισερχόμενο να υποχωρήσει άρα εν τέλει δεν θα πραγματοποιηθεί.

Στη συνέχεια περιγράφεται το ενδεχόμενο παρουσίας πολλών ανταγωνιστών στην αγορά. Όσο εύκολο κι αν είναι να συνεργαστούν δύο (από ότι περισσότερες) πλευρές σε ένα παίγνιο άλλο τόσο δύσκολο είναι ο ένας σαν εξουδετερώσει τον άλλον. Αν εμφανιστεί τρίτος παίκτης υπάρχει ρίσκο, διότι είναι σίγουρο ότι θα προσπαθήσει να

εκμεταλλευτεί τη σύγκρουση των άλλων δυο. Έτσι ωθούνται οι δύο αρχικοί παίκτες να βρουν έναν τρόπο να συνεχίσουν χωρίς να επιτρέψουν άλλη είσοδο ανταγωνιστή, κάτι το οποίο για εκείνον που ορίζει τους κανονισμούς (κράτος) είναι αποφευκτέο. Γενικά ένας περιττός αριθμός παικτών είναι πιο σταθερός(η πιθανότητα συνεργασίας είναι μεγαλύτερη) από έναν άρτιο. Η παρουσία πολλών εταιριών τις κάνει πιο ανεκτικές σε υψηλό κόστος. Η προοπτική του μεγάλου αριθμού ανταγωνιστών έχει τις δικές της ανεπιθύμητες επιπτώσεις.. Η ύπαρξη πολλών ανταγωνιστών αυξάνει την πιθανότητα κάποιος από αυτούς να εισάγει μια νέα τεχνολογία ή υπηρεσία και να γίνει πολύ πιο δυνατός με μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς. Ωστόσο δεν θα ήταν σφρόν για το νομοθέτη να κρίνει την ποιότητα του ανταγωνισμού από τον αριθμό των αδειών που μπορεί να παρέχει.

4.6 Παίγνιο τιμολόγησης τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών

Οι μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες δρουν υπό κανόνες ολιγοπωλίου, όπου η στρατηγική παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Οι στρατηγικές τιμολόγησης συμπεριλαμβάνουν εκπτώσεις, μειώσεις και διακρίσεις τιμών. Η αποτελεσματικότητα της μείωσης τιμών για μια εταιρία που βρίσκεται σε ολιγοπωλιακές συνθήκες εξαρτάται από τις αντιδράσεις των άλλων τηλεπικοινωνιακών εταιριών στην αγορά, είναι δηλαδή αλληλοεξαρτώμενες μεταξύ τους.

Στο μοντέλο του παιγνίου που παρουσιάζεται υπάρχουν δύο παίκτες, δύο τηλεπικοινωνιακές εταιρίες οι οποίες επιλέγουν μεταξύ δύο επιλογών, της αύξησης ή της μείωσης της τιμής των συμβολαίων συνδέσεων κινητών τηλεφώνων. Η ενέργεια επιλέγεται με βάση τις προσδοκίες και την αντίληψη (αισιόδοξη ή απαισιόδοξη) της κάθε εταιρίας για την αντίπαλό της, όμοια με το παίγνιο του «διλήμματος του φυλακισμένου». Ο πίνακας των αποτελεσμάτων με τυχαίους αριθμούς σε μονάδες κέρδους είναι ο παρακάτω:

	Εταιρία Β	Αυξάνει τιμή	Μειώνει τιμή
Εταιρία Α			
Αυξάνει τιμή		(10, 10)	(3, 3)
Μειώνει τιμή		(12, 3)	(6, 6)

Π4.3: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο τιμολόγησης τηλ/κων υπηρεσιών

Υπάρχουν δύο βασικές στρατηγικές που μπορούν οι εταιρίες να ακολουθήσουν. Η πρώτη είναι η αισιόδοξη στρατηγική που έχει ως αποτέλεσμα τη καλύτερη δυνατή ωφέλεια από τις καλύτερες και η δεύτερη είναι η καλύτερη από τις χειρότερες ωφέλειες (maximin).

Για την αισιόδοξη στρατηγική η καλύτερη ωφέλεια για την εταιρία A είναι 10 για αύξηση της τιμής και 12 για μείωση, άρα καλύτερη επιλογή είναι η δεύτερη.

Για την ίδια εταιρία, το χειρότερο αποτέλεσμα της αύξησης της τιμής είναι 3 και η χειρότερη ωφέλεια από τη μείωση της τιμής είναι 6, άρα η μείωση της τιμής είναι επίσης καλύτερη επιλογή.

Άρα η μείωση της τιμής είναι λύση και για τις δυο στρατηγικές και είναι η κυρίαρχη στρατηγική και για τις δύο εταιρίες. Επίσης είναι Nash ισορροπία διότι οποιαδήποτε αλλαγή από αυτό το σημείο ζημιώνει τις εταιρίες. Ασφαλώς η μείωση της τιμής δεν είναι η καλύτερη επιλογή των εταιριών, αφού θα μπορούσαν να είχαν και οι δύο μεγαλύτερο κέρδος (10) αν ταυτόχρονα αύξαναν τις τιμές του προϊόντος τους. Αυτό ρεαλιστικά θα μπορούσε να λειτουργήσει κατόπιν συνεννόησης (συμπαιγνίας) και εφόσον γίνει αντιληπτό από τον κρατικό φορέα ελέγχου τηλεπικοινωνιών, θεωρείται μη ανταγωνιστική συμπεριφορά και τιμωρείται. Εκτός των άλλων, η ίδια η συμπαιγνία επίσης μπορεί να μην ευοδωθεί καθώς η μια εταιρία μπορεί να αθετήσει τη συμφωνία.

Η θεωρία της καμπύλης ζήτησης [54] στην αγορά αναφέρει ότι η μείωση τιμών δεν επιφέρει κέρδη για ολιγοπώλια, άρα είναι προτιμότερο να παραμείνουν σταθερές οι τιμές. Η μείωση των τιμών ενέχει ρίσκο για τις εταιρίες, διότι εκείνες θα μπορούσαν να υιοθετήσουν TIT-FOR TAT στρατηγικές, δηλαδή αντιγραφή της στρατηγικής από τον αντίπαλο. Η TIT-FOR-TAT στρατηγική με τη σειρά της οδηγεί σε πόλεμο τιμών με υπερβολικές μειώσεις των τιμών των προϊόντων με αποτέλεσμα τα έσοδα και τα κέρδη να μειώνονται.

4.7 Παίγνιο τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών χωρίς στρατηγικές τιμολόγησης

Οι στρατηγικές χωρίς τιμολόγηση συμπεριλαμβάνουν οποιαδήποτε προσπάθεια των τηλεπικοινωνιακών εταιριών να αποκομίσουν κέρδος πραγματοποιώντας μια επιχειρηματική απόφαση χωρίς να αλλάξουν την τιμή του προϊόντος. Η Θεωρία Παίγνιων μπορεί να προσεγγίσει και αυτό το πρόβλημα. Στη συνέχεια μοντελοποιείται

το παίγνιο των ίδιων εταιριών με προηγουμένως που πλέον έχουν ως επιλογές ενέργειας την διαφήμιση ή μη διαφήμιση του προϊόντος τους

Ο πίνακας ωφελειών είναι με μονάδες κέρδους έστω ότι είναι :

Εταιρία A \ Εταιρία B	Διαφημίζει το προϊόν	Δεν διαφημίζει το προϊόν
Διαφημίζει το προϊόν	(6, 6)	(8, 3)
Δεν διαφημίζει το προϊόν	(3, 8)	(5, 5)

Π4.4: Πίνακας ωφελειών για το παίγνιο χωρίς στρατηγικές τιμολόγησης

Η καλύτερη στρατηγική από τις χειρότερες (maximin) είναι να διαφημίσει (6 για διαφήμιση είναι καλύτερα από ότι 3 από μη διαφήμιση) και η καλύτερη από τις καλύτερες στρατηγική είναι επίσης η διαφήμιση (8 αντί 5). Επομένως σε αυτή την περίπτωση η κυρίαρχη στρατηγική είναι να διαφημιστεί το προϊόν ή και αυτό θα ήταν και το σημείο της Nash ισορροπίας του παιγνίου.

Συμπερασματικά, αν οι εταιρίες δεν επηρεάζουν τις τιμές τους αλλά επιδιώκουν να αναβαθμίσουν το προϊόν τους στην ποιότητα και με την κατάλληλη διαφήμιση έχουν μεγαλύτερα έσοδα, άρα μεγαλύτερο κέρδος.

Συμπεράσματα

Η Θεωρία Παιγνίων είναι ένα πολύ ενδιαφέρον και διαρκώς αναπτυσσόμενο πεδίο μελέτης. Στην παρούσα εργασία έγινε παρουσίαση κάποιων βασικών παραδειγμάτων της εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων στον τομέα τόσο των δικτύων, όσο και της αγοράς των τηλεπικοινωνιών. Η παρουσίαση έγινε απλοποιώντας, στο βαθμό που ήταν εφικτό, τα προβλήματα τα οποία επιχειρεί να επιλύσει η μέθοδος.

Με βάση την απλούστευση των συνθηκών χωρίς όμως αλλοίωση της ουσίας της αλληλεπίδρασης, έγινε περιγραφή παιγνίων εντός των δικτύων των ασύρματων τηλεπικοινωνιών, παρατηρήθηκε η συμπεριφορά των χρηστών μέσω των συσκευών και των κόμβων των δικτύων και διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη απόδοση του δικτύου προκύπτει με τη συνεργασία των κόμβων σε περιπτώσεις προώθησης ή αναδρομολόγησης πακέτων πληροφορίας από κάποια πηγή σε κάποιον δέκτη. Εντοπίστηκαν λύσεις με κύρια την ισορροπία Nash και τα βέλτιστα σημεία κατά Pareto και όπως φάνηκε, στην βάση τους τα παίγνια δικτύων τηλεπικοινωνιών δεν διαφέρουν από κάποια πολύ κλασικά παίγνια της Θεωρίας Παιγνίων. Συμπεραίνεται επίσης ότι η συνεργασία των κόμβων ενός δικτύου προκύπτει φυσιολογικά (χωρίς εξωτερικούς μηχανισμούς σε ρόλο διαιτητή) αν πληρούνται συνθήκες όπως τα επαναλαμβανόμενα παίγνια με αβέβαιο τέλος, η τιμωρία σε μη συνεργάσιμους κόμβους και η εύνοια σε κόμβους που λειτουργούν συνεργατικά και με «υπομονή»

Από την περιγραφή των παιγνίων της αγοράς των τηλεπικοινωνιών διαπιστώθηκε ότι η συνεισφορά της παιγνιοθεωρητικής προσέγγισης στο στρατηγικό σχεδιασμό μιας μεγάλης επιχείρησης του τομέα είναι καθοριστική. Ιδιαίτερη σημασία έχει η προοπτική της συνεργασίας που απορρέει πολλές φορές από τη μελέτη προς το κοινό όφελος των εταιριών του τηλεπικοινωνιακού τομέα ή ακόμα και της επιθετικότητας για το προσωπικό τους συμφέρον. Επιπλέον, αναδεικνύει τους καθοριστικούς παράγοντες που οδηγούν κάποια εταιρία στην πρωτοβουλία των κινήσεων ή στην υπομονή στα πλαίσια του ανταγωνισμού της αγοράς. Η Θεωρία Παιγνίων προτείνει την αποδοχή ανταγωνιστών για την ισορροπία του παιγνίου σε μονοπωλιακές αγορές που ανοίγουν, όμως στην πραγματικότητα πολύ δύσκολα εκείνες επιτρέπουν μερίδιο αγοράς σε άλλους. Αφού όμως εισαχθούν ανταγωνιστές, εκτιμάται ότι το καλύτερο που μπορούν να κάνουν οι εταιρίες είναι να συνεργαστούν προς την αύξηση της ποιότητας των υπηρεσιών τους, τη διασύνδεση των υπηρεσιών τους και τη διαφήμισή των προϊόντων

τους παρά να απομονωθούν και να οδηγηθούν σε πόλεμο των τιμών που θα αποφέρει ανεπιθύμητη και συχνά αναπόφευκτη μείωση εσόδων.

Ορισμένες έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η Θεωρία Παιγνίων προβλέπει την συμπεριφορά των παικτών, ενώ άλλες εκτιμούν ότι την υπαγορεύει. Αυτό που ισχύει μάλλον είναι ότι η Θεωρία Παιγνίων εισάγει κάποιες απλουστεύσεις και επιλύει με τρόπο που αρκετές φορές ενδεχομένως να μην αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι μια πολύ βασική συνθήκη της Θεωρίας Παιγνίων είναι ότι σε καμία περίπτωση οι παίκτες δεν επηρεάζονται από το συναίσθημα κατά τη διεξαγωγή ενός παιγνίου. Κι αν στην περίπτωση των δικτύων στα οποία συμμετέχουν κυρίως συσκευές αυτό διασφαλίζεται αρκετά, στην περίπτωση του ανταγωνισμού εταιριών στην αγορά, αυτό δεν διασφαλίζεται και η επίδραση του συναισθήματος ιδιαίτερα σε επαναλαμβανόμενα παίγνια είναι ικανή να διαταράξει σε εξαιρετικό βαθμό την ισορροπία της μελέτης και της μεθοδολογίας των παιγνίων.

Το πεδίο που μπορεί να μελετήσει η Θεωρία Παιγνίων στις τηλεπικοινωνίες είναι αρκετά ευρύ και σίγουρα υπάρχουν προβλήματα που ακόμα δεν έχουν επιλυθεί ή που είναι εκ των πραγμάτων πολύ δύσκολο να επιλυθούν. Ως μελλοντική έρευνα θα μπορούσαν να μελετηθούν παίγνια δορυφορικών ζεύξεων καθώς επίσης και η εφαρμογή και προσομοίωση της Θεωρίας Παιγνίων σε τομείς άμεσα σχετιζόμενους με τις τηλεπικοινωνίες, όπως η πρόσβαση και η διαχείριση αρχείων στο διαδίκτυο.

Βιβλιογραφία

- [1] Agah Afrand, Das K. Sajal, Basu Kalyan (2004), “A game theory based approach for security in wireless sensor networks”, Performance, Computing, and Communications, 2004 IEEE International Conference.
- [2] Azman Osman Lim, Youiti Kado (2007), “Using Game Theory for Power and Rate Control in Wireless Ad Hoc Networks”, SICE Annual Conference 2007 Sept. 17-20, Kagawa University, Japan
- [3] Cao Xi-Ren, Shen Hong-Xia, Milito Rodolfo, Wirth Patrica (2002), “Internet Pricing With a Game Theoretical Approach: Concepts and Examples”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 10, no. 2, p.208-216 april 2002.
- [4] Cem U. Saraydar, Narayan B. Mandayam, David J. Goodman. Efficient Power Control via Pricing in Wireless Data Networks. IEEE, 2002.
- [5] David Goodman, Narayan Mandayam. Power Control for Wireless Data. IEEE, 2000.
- [6] Delpiano Roberta, Fragnelli Vito, Garin Federica, Tadei Roberto , Vario Isabella (2004), “Game Theory and Wireless Communication Networks”, AIRO, Lecce - 7/10 September 2004.
- [7] de Oliveira Duarte A. Manuel, Silveirinha Félix Hugo, Marques Alexander N., Carrilho David , Coelho Sara (2011), “Market Modelling in Access Networks: an approach combining dynamic systems and Game Theory”, 10th Conference of Telecommunication, Media and Internet Techno-Economics (CTTE), 16-18 May, p.1 – 7, Berlin, Germany.
- [8] Etienne Turpin, Liz. Libbrecht, “Lessons from Game Theory for Telecommunications”. In: Réseaux, 1998, volume 6 n°1. pp. 15-39.
- [9] Fu Si-bao, Lv Ting-jie (2006), “Duopoly Market, Unwise Price Battle:

China Mobile & China Unicom,” Telecommunications Science, vol. 9, pp. 59-62.

[10] Goodman David, Manpayam Narayan (1999), “Power Control for Wireless Data” Mobile Multimedia Communications, (MoMuC '99) on 1999 IEEE International Workshop .

[11] Guanghou Jin, Gengyin Li, Ming Zhou, “Application of Game Theory in Power Quality Market”, International Conference on Power System Technology – POWERCON, Singapore, 21-24 November 2004.

[12] Hassan A. Jahan, Hassan Mahbub, Das K. Sajal (2010), “A Brinkmanship Game Theory Model for Competitive Wireless Networking Environment”, In Proceedings of LCN'2010. pp.120-127.

[13] Jie Yang, Klein Andrew G., Brown D. Richard(2009), “Natural Cooperation in Wireless Networks”, *IEEE Signal Processing Magazine* [98]

[14] Laneman J. N., Tse D. N. C., and. Wornell G. W, “Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062–3080, 2004.

[15] Liqiang Zhao, Jie Zhang, Kun Yang, Hailin Zhang (2007), “Using Incompletely Cooperative Game Theory in Mobile Ad Hoc Networks”, in Proceedings ICC, pp.3401-3406.

[16] Liqiang Zhao, Jie Zhang, Hailin Zhang (2008), “Using Incompletely Cooperative Game Theory in Wireless Mesh Networks”, *IEEE Network* , January/February 2008

[17] MacKenzie B. Allen, Wicker B. Stephen (2001), “Game Theory and the Design of Self -Configuring, Adaptive Wireless Networks”, *Communications Magazine, IEEE In Communications Magazine, IEEE*, Vol. 39, No. 11, pp. 126-131.

[18] MacKenzie B. Allen, Wicker B. Stephen (2001), “Game Theory in Communications: Motivation, Explanation, and Application to Power Control”, *Global*

Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM '01. IEEE, vol.2 , p.821 - 826

[19] MacKenzie A. and DaSilva L., *Game Theory for Wireless Engineers*. San Rafael, CA: Morgan and Claypool, 2006.

[20] Menon R. , MacKenzie B. Allen,, Hicks J., Buehrer R. M., Reed J. H.(2009), “A Game-Theoretic Framework for Interference Avoidance”, IEEE Transactions on Communications, vol. 57, no. 4, april 2009.

[21] Osborne J. Martin., Rubinstein Ariel (1998), *A Course in Game Theory*. Massachusetts Institute of Technology, Fifth printing.

[22] Proakis g. John, Salehi Mahmoud (2002), «*Συστήματα Τηλεπικοινωνιών*», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

[23] Sagan Marcelo, Keseriet Nenad, Dessante Philippe, Glachant Jean-Michel (2006), “Market Power in Power Markets: Game Theory vs. Agent-Based Approach”, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America, Venezuela.

[24] Sengupta Shamik, Chatterjee Mainak, Kwiat Kevin A. (2010), “A Game Theoretic Framework for Power Control in Wireless Sensor Networks” IEEE Transactions on Computers, vol. 59, no. 2

[25] Sergi Simone, Pancaldi Fabrizio, Vitetta Giorgio Matteo(2009), “A Game Theory Approach to Selection Diversity in Wireless Ad-Hoc Networks”, in proceedings of IEEE ICC 2009.

[26] Sergi Simone, Pancaldi Fabrizio, Vitetta Giorgio Matteo(2010), “A Game Theoretical Approach to the Management of Transmission Selection Scheme in Wireless Ad-Hoc Networks”, IEEE Transactions on Communications, vol. 58, no. 10, October 2010.

[27] Song Yang, Zhang Chi, Fang Yuguang (2008), “Joint Channel and Power Allocation in Wireless Mesh Networks: A Game Theoretical Perspective”

IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 26, no. 7.

[28] Song Yang, Zhang Chi, Fang Yuguang (2008), “Joint Channel and Power Allocation in Wireless Mesh Networks: A Game Theoretical Perspective”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 26, no. 7, September, p.1149-1159.

[29] Srivastava V., J. Neel, A.B. Mackenzie, R. Menon, L. A. DaSilva, J. E. Hicks, J. H. Reed, R. P. Gilles (2005), “Using game theory to analyze wireless ad hoc networks”, Communications Surveys & Tutorials, IEEE FOURTH QUARTER 2005, VOLUME 7, NO. 4.

[30] van den Nouweland A., Borm P., van Golstein Brouwers W., Groot Bruinderink R., Tijs S. “A Game Theoretic Approach to Problems in Telecommunication”, Management Science, Vol. 42, No. 2, pp. 294-303.

[31] Wang B., Wu Y., Z., Liu K., and T. Clancy, “Game theoretical mechanism design methods,” *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 25, pp. 74–84, Nov. 2008.

[32] Yan Xia, Zhongchun Mi (2009), “Analysis Of the Bargain Power Under Clean Development Mechanism With Game Theory”, ICICTA '09 Proceedings of the 2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation – Vol. 03.

[33] Yang J. and Brown D. R., III, “Energy efficient relaying games in cooperative wireless transmission systems,” in *Conf. Rec. 41st Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers, 2007 (ACSSC'07)*, Nov. 2007, pp. 835–839.

[34] Y. Wu, B. Wang, K. J. R. Liu, and T. C. Clancy, “Repeated open spectrum sharing game with cheat-proof strategies,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, pp. 1922–1933, Apr. 2009.

[35] Zhang Xidong, Cai Yueming, Zhang Heng (2006), “A Game-Theoretic Dynamic Power Management Policy on Wireless Sensor Network”, International Conference on Communication Technology, ICCT '06, 27-30 Nov, p.1 – 4, Guilin, China

- [36] Zhang Wei-ying (2000), “Game Theory and Information Economics,” Shanghai People’s Press.
- [37] Zhenglin Yang, Guoqing Tang (2008), “Application of Genetic on Analysis of Market Equilibrium Strategy with Game Theory”, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008, 6-9 April, p. 238 – 241, Nanjing China.
- [38] Zi-yang Cheng, Shou-lian Tang (2009), Game Analysis of Price Competition and Cooperation of Telecom Operators, 2009 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering
- [39] Zeng Jianqiu, Fan Hailan, “China’s Telecommunications Market and Game Theory”, ITC19/ ITU & ITC Workshop for Developing Countries, p. 2091-2098
- [40] Zhao Yi, Raviraj Adve and Teng Joon Lim,
”Improving Amplify-and-Forward Relay Networks: Optimal Power Allocation versus Selection”
- [41] Βαρουφάκης Γ.(2007), *ΘΕΩΡΙΑ ΠΑΙΓΝΙΩΝ: Η θεωρία που φιλοδοξεί να ενοποιήσει τις Κοινωνικές Επιστήμες*, Εκδόσεις Δαρδανός-Τυπωθήτω.
- [42] Καλαντζάκης Αργύρης, Μπαδινάκης Κωνσταντίνος (2008), «Ασύρματη μετάδοση φωνής σε περιβάλλον διαλείψεων με κωδικοποίηση χώρου-χρόνου», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [43] Παναγοπούλου Παναγιώτα (2005), «Μελέτη Δρομολογήσεων και Συμφόρησης σε Δίκτυα με βάση τη Θεωρία Παιγνίων», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [44] Παυλίδης Κων/νος (2008), «Εφαρμογές Αυστηρής και Ασθενούς Κυριαρχίας στη Θεωρία Παιγνίων με τη συνδυαστική λύση των προγραμμάτων *gambit* και *excel*», Μεταπτυχιακή εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

(Δ.Π.Μ.Σ.) στα Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης (Master in Information Systems - MIS), Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.

[45] Συργκάνης Βασίλειος (2009), «Καταστάσεις Ισορροπίας σε Μοντέλα Παιγνίων Συμφοράς: Ύπαρξη, Πολυπλοκότητα και Απόδοση», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

[46] http://en.wikipedia.org/wiki/Game_of_chicken

(ημερομηνία επίσκεψης: 27/10/2011)

[47] http://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_the_sexes_%28game_theory%29

(ημερομηνία επίσκεψης: 27/10/2011)

[48] http://en.wikipedia.org/wiki/Game_theory

(ημερομηνία επίσκεψης: 12/10/2011)

[49] <http://en.wikipedia.org/wiki/Minimax>

(ημερομηνία επίσκεψης: 30/10/2011)

[50] http://en.wikipedia.org/wiki/Prisoner's_dilemma

(ημερομηνία επίσκεψης: 27/10/2011)

[51] http://en.wikipedia.org/wiki/Nash_equilibrium

(ημερομηνία επίσκεψης: 27/10/2011)

[52] <http://en.wikipedia.org/wiki/Minimax>

(ημερομηνία επίσκεψης: 5/11/2011)

[53] http://en.wikipedia.org/wiki/Matching_pennies

(ημερομηνία επίσκεψης: 27/10/2011)

[54] http://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/BaseStationRdt/Network/NetworkMore.html

(ημερομηνία επίσκεψης: 15/11/2011)

[55] http://www.csd.uoc.gr/~hy305/kefalaio_2.pdf

(ημερομηνία επίσκεψης: 22/12/2011)