

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

“Αποδοτική ανάθεση πόρων σε Δίκτυα 5G με τεχνικές Game Theory”

ΚΟΛΤΣΙΔΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

1043785

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1)ΜΠΟΥΡΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

2)ΜΠΕΡΜΠΕΡΙΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

3)ΓΑΡΟΦΑΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Σ
Ϝ
Μ
Η
Ϝ
Ρ
Ϟ
Σ
Μ
Α
Φ
Α
Α
Κ
Α
Ι
Π
Μ
Ε
Ϝ
Δ
Ο
Ν
Τ
Ι
Κ
Η

Ε
Ρ
Γ
Α
Σ
Ι
Α

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική Δικτύων 5G [1]	15
Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική Τεμαχισμού Δικτύου [1].....	16
Ε	
Εικόνα 4: Οι περιπτώσεις χρήσης του 5G [1]	21
Εικόνα 5: Παίγνιο: το δίλημμα του φυλακισμένου [27].....	32
Εικόνα 6: Παίγνιο με 2 παίκτες και 3 διαθέσιμες στρατηγικές ανά παίκτη [27]	33
Εικόνα 7: Παίγνιο μηδενικού αθροίσματος [27]	35
Εικόνα 8: Παίγνιο με αμιγείς ισορροπίες [27].....	37
Εικόνα 9: Γράφημα Nash Dynamics [27].....	38
Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική Mobile Data Offloading [38]	48
Εικόνα 11: Το σχηματιζόμενο μονοπάτι από mobile users [38].....	52
Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική Συστήματος για α-β κλάδεμα [31].....	59
Εικόνα 13: Αλγόριθμος α-β κλαδέματος -1 [31]	63
Εικόνα 14: Αλγόριθμος α-β κλαδέματος – 2 [31].....	63
Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική IOT - 5G Δικτύου [30].....	66

ι

τ

ε

κ

τ

ο

ν

ι

κ

ή

κ

υ

ψ

ε

λ

ω

τ

ο

ύ

5

G

δ

ι

κ

τ

ύ

ο

υ

.....

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Συγκριτικά Χαρακτηριστικά γενιών κινητών δικτύων	14
Πίνακας 2: Μηχανισμοί Ασφαλείας στις Γενιές Κινητών Δικτύων	14
Πίνακας 3: Προδιαγραφές Προτύπου IMT-2020	24
Πίνακας 4: Αντιστοιχίες μεταξύ αλγορίθμου α-β κλαδέματος και Μηχανισμού Εντοπισμού Συγκρούσεων	62

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, πέρα από την μελέτη των χαρακτηριστικών των δικτύων 5G, αλλά και την παρουσίαση των βασικών αρχών της Θεωρίας Παιγνίων, μελετήσαμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συνδυαστούν, έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Πιο συγκεκριμένα, μελετήσαμε 3 διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογής της Θεωρίας Παιγνίων στην ανάθεση πόρων των δικτύων 5G, παρουσιάζοντας αναλυτικά τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, εξάγαμε τα κατάλληλα συμπεράσματα από την βιβλιογραφική μελέτη που πραγματοποιήσαμε.

ABSTRACT

In the context of this diploma thesis, in addition to studying the characteristics of 5G networks, but also the presentation of the basic principles of Game Theory, we studied how they can be combined to optimize the quality of services provided. More specifically, we studied 3 different cases of application of Game Theory in the allocation of resources of 5G networks, presenting in detail the models that were used. Finally, we drew the appropriate conclusions.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Είναι αδιαπραγμάτευτο το γεγονός ότι ο όρος 5G παραπέμπει στην πέμπτη γενιά τεχνολογίας στον τομέα των ασύρματων τηλεπικοινωνιών, αφήνοντας πολλές υποσχέσεις για τον θετικό τρόπο με τον οποίο θα επηρεάσει πολλές πλευρές της καθημερινής ζωής. Δεν πρέπει να παραβλέπουμε το ότι η κίνηση στα κινητά δίκτυα αυξάνεται με αρκετά μεγάλους ρυθμούς, εξαιτίας του γεγονότος ότι προσπαθούν να συμβαδίσουν με τις ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις [2], [3]. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, η μετάδοση live βίντεο σε πολύ υψηλή ανάλυση, αλλά και οι εφαρμογές gaming, οι οποίες στηρίζονται σε cloud τεχνολογίες.

Όλες οι παραπάνω εξελίξεις, έχουν σαν αποτέλεσμα τα δίκτυα της αμέσως προηγούμενης γενιάς (4G) να μην μπορούν να ανταποκριθούν στις υψηλές απαιτήσεις ταχυτήτων. Οι αυξημένες αυτές απαιτήσεις οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα, η οποία δραστηριοποιείται στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών να προχωρήσει στην δημιουργία της 5G τεχνολογίας.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας:

- Στο πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάσαμε τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5G δίνοντας μεγάλη έμφαση στα χαρακτηριστικά τους και στην αρχιτεκτονική τους, στα οφέλη από την χρήση τους αλλά και τους περιορισμούς που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν

- Στο δεύτερο κεφάλαιο, ασχοληθήκαμε με την Θεωρία Παιγνίων και διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό εργαλείο σε διάφορους επιστημονικούς κλάδους
- Στο τρίτο κεφάλαιο, διαπιστώσαμε ότι 2 κλάδοι φαινομενικά διαφορετικοί μεταξύ τους, μπορούν να συνδυαστούν και μάλιστα με τρόπο αποδοτικό, έτσι ώστε να επιφέρουν σημαντικά αποτελέσματα στον κλάδο των δικτύων κινητής επικοινωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάσαμε αναλυτικά 3 διαφορετικές προσεγγίσεις βασισμένες στην θεωρία παιγνίων, οι οποίες χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να βελτιστοποιήσουν τον τρόπο ανάθεσης πόρων σε δίκτυα πέμπτης γενιάς:

- Η πρώτη τεχνική αφορούσε τον χειρισμό του Mobile Data Offloading
- Η δεύτερη τεχνική την αντιμετώπιση του φαινομένου υπερφόρτωσης κυψελών
- Η τρίτη την βελτιστοποίηση του QoE, μέσω ενός αποκεντροποιημένου αλγορίθμου για την ανάθεση χρήσης του καναλιού.

Κεφάλαιο 2: Κινητά Δίκτυα 5G

. Η εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας

3G

Πρόκειται για την τρίτη γενιά, η οποία εδραιώθηκε στα τέλη του 2000. Εξασφαλίζει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μέχρι 2Mbps. Κύριο χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτής της γενιάς είναι η επίτευξη υψηλών ταχυτήτων σε υπηρεσίες χρησιμοποιώντας το IP πρωτόκολλο. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το

γ

ε

γ

ο

ν

- ό • WCDMA (WideBand Code Division Multiple Access)
- ς • UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems)
- CDMA (Code Division Multiple Access)

ό

τ

B.5G

Ε

ξ

φ

σ

σχέση με την προηγούμενη γενιά είναι οι εξής:

- HSUPA/HSDPA (High Speed Uplink Packet Access/ High Speed Downlink Packet Access)
- EVDO (Evolution Data Optimized)

3.75G

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, έκαναν την εμφάνισή τους 2 επαναστατικές τεχνολογίες: η τεχνολογία LTE, και η τεχνολογία Fixed WiMax, που αποτελούν το μέλλον των υπηρεσιών σε δίκτυα κινητών τηλεφώνων, καθώς πλέον παρέχεται η δυνατότητα συμπλήρωσης της χωρητικότητας του δικτύου και δίνεται η δυνατότητα σε έναν ικανό αριθμό χρηστών να έχουν πρόσβαση σε ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων, όπως:

- On demand video
- P2P διαμοιρασμός αρχείων
- Σύνθετες web υπηρεσίες

4G

Πολλοί χαρακτηρίζουν την συγκεκριμένη γενιά ως τον απόγονο των 3G και των 2G προτύπων. Ένα 4G σύστημα βελτιώνει τα προϋπάρχοντα συστήματα επικοινωνίας, παρέχοντας μια πλήρη και αξιόπιστη λύση βασισμένη στο πρωτόκολλο IP. Φωνή, δεδομένα και πολυμέσα πλέον μεταδίδονται στους

συνδρομητές ανά πάσα στιγμή και σε οποιαδήποτε βάση σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Εφαρμογές, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί για να χρησιμοποιούν την 4G τεχνολογία είναι οι :

- MMS (MultiMedia Messaging Service)
- DVB (Digital Video Broadcasting)
- Video Chat
- HD TV (High Definition)
- Cable TV

5G

Εξαιτίας της εκθετικής αύξησης των απαιτήσεων των χρηστών, το 4G έχει ήδη αρχίσει να δίνει την θέση του στο 5G, που αποτελεί ένα από τα δύο κύρια ζητούμενα της διπλωματικής μας εργασίας. Η βασική τεχνολογία που το ξεχωρίζει είναι η BDMA (Beam Division Multiple Access) [8]. Η βασική ιδέα πίσω από την συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να εξηγηθεί θεωρώντας την περίπτωση ενός σταθμού – βάσης που επικοινωνεί με τους κινητούς σταθμούς. Σε αυτή την περίπτωση, ανατίθεται μια ορθογώνια δέσμη σε κάθε κινητό σταθμό και η τεχνική αυτή θα διαιρέσει την δέσμη σε περιοχές ανάλογα με τις τοποθεσίες των κινητών σταθμών. Με τον τρόπο αυτό δίνεται πολλαπλή πρόσβαση στους σταθμούς, οι οποίοι αντίστοιχα αυξάνουν την χωρητικότητα του συστήματος.

Οι 6 προκλήσεις που έρχονται να αντιμετωπίσουν τα δίκτυα 5G είναι οι εξής:

- Υψηλό τερη χωρητικό τητα
- Υψηλό τερος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων
- Χαμηλό τερη καθυστέρηση από άκρο σε άκρο
- Υψηλός βαθμός συνδεσιμότητας συσκευών
- Μειωμένο κόστος
- Σταθεροποίηση στην παροχή υψηλού επιπέδου υπηρεσιών

Στην συνέχεια του κεφαλαίου, θα γίνει πιο αναλυτική παρουσίαση των 5G δικτύων, δίνοντας μεγάλη έμφαση στα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής τους.

Στους δύο επόμενους πίνακες, παρουσιάζονται τα συγκριτικά χαρακτηριστικά [6] των τεχνολογιών που προϋπήρχαν των 5G, δίνοντας έμφαση σε:

- περίοδο χρήσης
- bandwidth
- συχνότητα
- data rate
- μηχανισμούς ασφαλείας

Πίνακας 1: Συγκριτικά Χαρακτηριστικά γενιών κινητών δικτύων

	1G	2G	3G	4G
Περίοδος	1980 - 1990	1990 - 2000	2000 - 2010	2010 - 2020
Bandwidth	150/900 MHz	900 MHz	100 MHz	100 MHz
Συχνότητα	30 KHz	1.8 GHz	1.6 - 2.0 GHz	2 - 8 GHz
Data Rate	2 Kbps	64 Kbps	144 Kbps - 2Mbps	100 Mbps - 1 Gbps

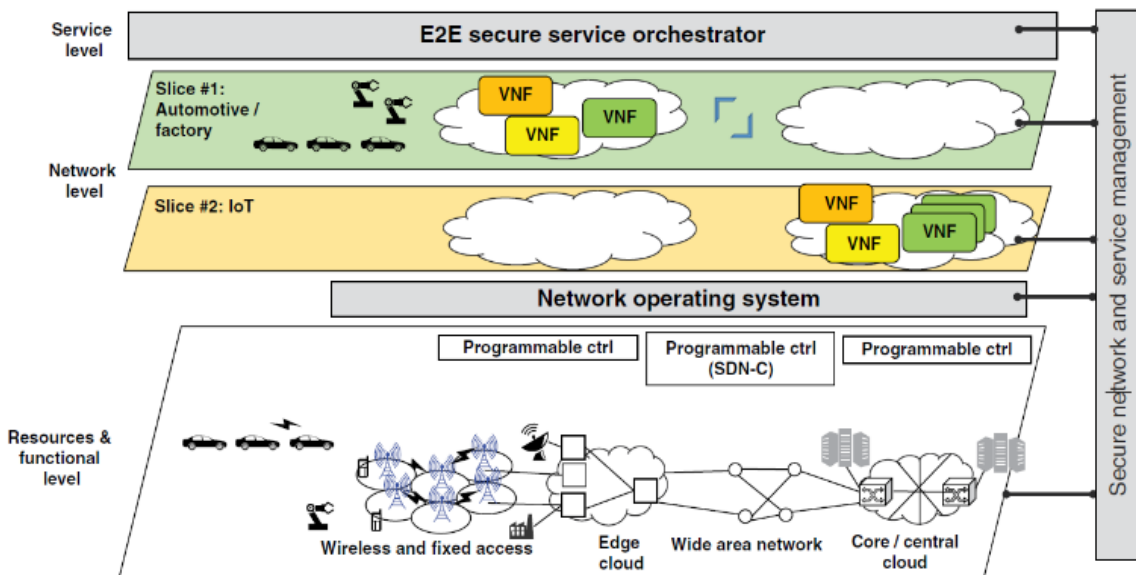
Πίνακας 2: Μηχανισμοί Ασφαλείας στις Γενιές Κινητών Δικτύων

Δίκτυο	Μηχανισμοί Ασφαλείας
1G	Σχεδόν ανύπαρκτοι
2G	Αυθεντικοποίηση, Ανωνυμία και προστασία βασιζόμενα στην κρυπτογράφηση
3G	Αυθεντικοποίηση 2 τρόπων
4G	Νέοι μηχανισμοί κρυπτογράφησης και εξασφάλισης εμπιστοσύνης, Κρυπτογράφηση κλειδιών, τεχνική 3GPP, Προστασία της ακεραιότητας.

2

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός 5G δικτύου από άκρο σε άκρο (end- to – end ή E2E συνοπτικά) [4]. Μεγάλη σημασία πρέπει να δώσουμε στο γεγονός ότι σε αντίθεση με προηγούμενες τεχνολογίες, η 5G τεχνολογία παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον, καθώς ο σταθμός βάσης δεν αποτελεί το κύριο σημείο συμφόρησης. Αρχικά, αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι διακρίνουμε 3 επίπεδα [5] :

- Επίπεδο υπηρεσιών
- Επίπεδο δικτύου
- Επίπεδο διαχείρισης πόρων και λειτουργιών

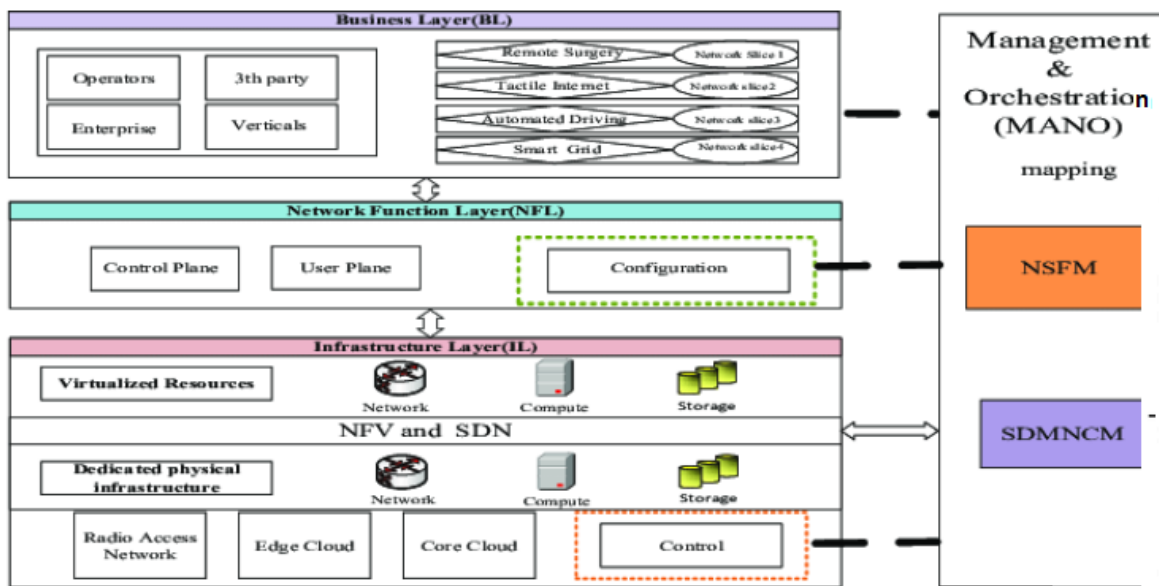


Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική Δικτύων 5G [1]

. 1. Αρχιτεκτονική τεμαχισμού δικτύου (Network Slicing)

Καταρχάς να αναφέρουμε ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση αρχιτεκτονικής, επιτρέπεται η πολυπλεξία ανεξάρτητων λογικών δικτύων στην ίδια υποδομή φυσικού δικτύου[4].

Χαρακτηριστικό είναι το παρακάτω σχήμα, το οποίο παρουσιάζει συνοπτικά την έννοια του network slicing σε δίκτυα 5G.



Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική Τεμαχισμού Δικτύου [1]

2.2. 2. Κυτταρική Αρχιτεκτονική Δικτύου

Κάτι το οποίο παρατηρήθηκε από τους επιστήμονες ήταν ότι οι χρήστες κινητών συσκευών, στο 80 % του χρόνου τους παραμένουν εντός της κυψέλης, και στο 20 % εκτός αυτής. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη χρήστες που βρίσκονται εντός της κυψέλης να επικοινωνούν με χρήστες που βρίσκονται εκτός αυτής. Στην περίπτωση αυτή τα σήματα χρειάζεται να ταξιδεύουν μέσα από τα τείχη

του εσωτερικού, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε απώλειες επιφέροντας και τα αντίστοιχα κόστη. Προκειμένου να δοθεί λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα, προτάθηκε η διάκριση των εσωτερικών από τις εξωτερικές ρυθμίσεις. Με τον τρόπο αυτό η απώλεια διείσδυσης μέσα από τα τείχη του κυττάρου θα μειωθεί σε σημαντικό βαθμό.

Για να μπορέσει να υποστηριχτεί μια τέτοια λογική, χρησιμοποιήθηκε η Massive MIMO [7] (Multiple Inputs Multiple Outputs) τεχνολογία.

Προκειμένου να μπορέσει να δημιουργηθεί ένα μαζικό MIMO δίκτυο, οι εξωτερικοί σταθμοί βάσης τροφοδοτούνται με μεγάλες συστοιχίες κεραιών και μεταξύ τους μερικές είναι τοποθετημένες γύρω από την εξάγωνη κυψέλη και συνδεδεμένες με τον σταθμό βάσης χρησιμοποιώντας καλώδια οπτικών ινών, εφοδιασμένα με μαζικές MIMO τεχνολογίες.

Οι χρήστες που βρίσκονται εκτός συνδέονται με ένα συγκεκριμένο αριθμό κεραιών, αλλά για βοηθητικούς σκοπούς μπορεί να δημιουργηθεί μια εικονική συστοιχία κεραιών, οι οποίες μαζί με τις συστοιχίες κεραιών που αναφέρθηκαν προηγουμένως σχηματίζουν εικονικούς μαζικούς MIMO συνδέσμους.

Επιπροσθέτως, κάθε κτίριο είναι εφοδιασμένο με μεγάλες συστοιχίες κεραιών εξωτερικά, έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με εξωτερικούς σταθμούς βάσης.

Τα ασύρματα σημεία πρόσβασης εντός των κτιρίων συνδέονται με τις μεγάλες συστοιχίες κεραιών μέσω καλωδίων έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επικοινωνία με τους εσωτερικούς χρήστες. Η συγκεκριμένη πρακτική αυξάνει :

- την ενεργειακή αποδοτικότητα
- την μέση διεκπεραιωτική ικανότητα της κυψέλης
- την αποδοτικότητα φάσματος του κυψελωτού συστήματος

Όλα βέβαια τα παραπάνω με υψηλό κατασκευαστικό κόστος, αν αναλογιστεί κανείς την υποδομή που απαιτείται να δημιουργηθεί.

Με βάση την αρχιτεκτονική που αναφέρθηκε προηγουμένως, οι εσωτερικοί χρήστες θα πρέπει να συνδέονται ή να επικοινωνούν με εσωτερικά ασύρματα σημεία πρόσβασης, ενώ μεγάλες συστοιχίες κεραιών παραμένουν εγκατεστημένες εκτός των κτιρίων.

Καθώς η αρχιτεκτονική των 5G δικτύων χαρακτηρίζεται από ετερογένεια, πρέπει να περιέχει [9]:

- μακροκυψέλες (macrocells)
- μικροκυψέλες (microcells)
- μικρές κυψέλες (small cells)
- αναμεταδότες (relays)

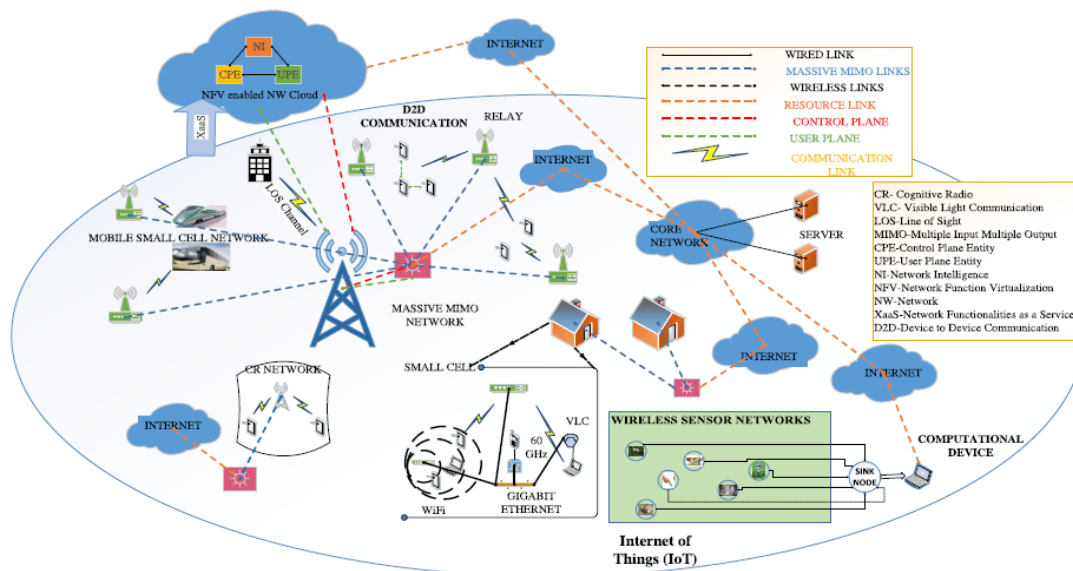
Το ασύρματο 5G κυψελωτό δίκτυο αποτελείται από 2 λογικά επίπεδα:

- το ασύρματο δίκτυο
- το σύννεφο δικτύου (network cloud)

Οι διαφορετικοί τύποι συστατικών που υλοποιούν διαφορετικές λειτουργίες συγκροτούν το ασύρματο δίκτυο. Η NVF (Network Virtualization Function) [25], [26] αποτελείται από τις:

- User Plane Entity (UPE)
- Control Plane Entity (CPE)

Πρόκειται για 2 οντότητες, οι οποίες υλοποιούν λειτουργίες υψηλότερου επιπέδου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός κυψελωτού 5G δικτύου:



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική κυψελωτού 5G δικτύου [24]

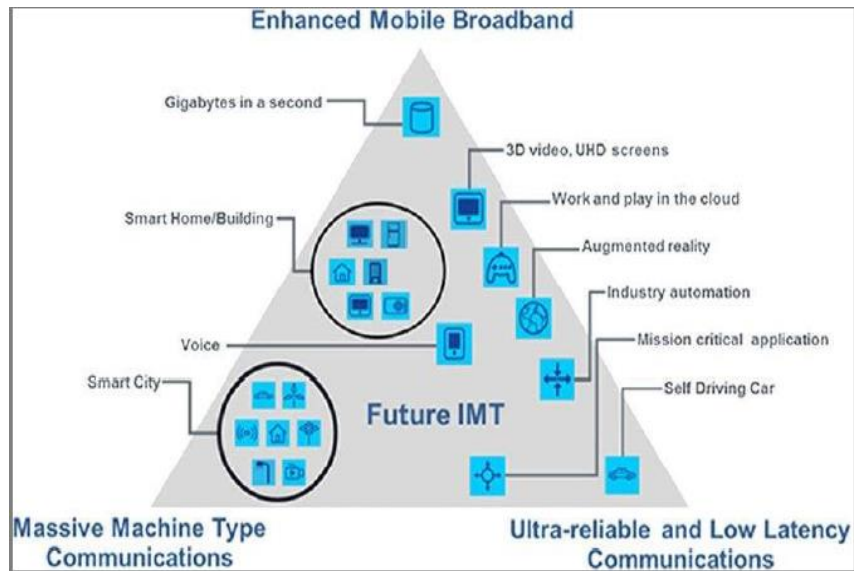
Στο παραπάνω σχήμα, περιγράφεται η διασυνδεσιμότητα μεταξύ διαφορετικών αναδυόμενων τεχνολογιών, όπως:

- Μαζικό MIMO δίκτυο (Massive MIMO Network)
- Cognitive Radio δίκτυο (Cognitive radio Network)
- Κινητά και στατικά δίκτυα αποτελούμενα από μικρές κυψέλες

2. 3. Οι περιπτώσεις χρήσης του 5G

Προσπαθώντας κανείς, να εστιάσει σε 3 βασικές περιπτώσεις χρήσης [7] του 5G, θα μπορούσε να αναφέρει τις εξής:

- Ενισχυμένη ευρυζωνικότητα (eMBB): η οποία σχετίζεται με την βελτίωση της εμπειρίας χρήστη, η οποία ήδη παρέχεται από τα δίκτυα 4G. Πιο συγκεκριμένα, παρέχονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:
 - Μέγιστος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων : 20Gbps
 - Ελάχιστος εγγυημένος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων 100Mbps
 - 10000 φορές μεγαλύτερη κίνηση
 - Εξασφάλιση υψηλής κινητικότητας της τάξης των 500 Km/h
 - Εξοικονόμηση ενεργειακών αναγκών (περίπου 100 φορές)
- Massive- Machine-Type-Connectivity (MMTC)[10] : η οποία σχετίζεται με την δυνατότητα διασύνδεσης πολύ μεγάλου πλήθους συσκευών. Οι συγκεκριμένες συσκευές είναι σε θέση να παρέχουν υψηλού επιπέδου υπηρεσίες, έχοντας ως κύριο γνώμονα την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Ultra-reliable-low-latency-communication (URLLC): Στην συγκεκριμένη περίπτωση εξασφαλίζεται μικρή καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων, με ταυτόχρονη υψηλή αξιοπιστία. Πρόκειται για έναν συνδυασμό, ο οποίος σε παλιότερες εποχές και τεχνολογίες έμοιαζε απαγορευτικός.



Εικόνα 4: Οι περιπτώσεις χρήσης του 5G [1]

2.4. Εφαρμογές του 5G

2.4.1. Ο υψηλός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων

Οι όροι υψηλές ταχύτητες και έξυπνα δίκτυα, θα μπορούσαν να χαρακτηρίσουν ένα 5G δίκτυο. Χαρακτηριστικό θα μπορούσε να είναι το παρακάτω παράδειγμα: με χρήση της τεχνολογίας 4G, το κατέβασμα μιας ταινίας θα απαιτούσε περίπου 8 λεπτά, ενώ στην περίπτωση της 5G τεχνολογίας, η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να ολοκληρωθεί σε μόλις 5 δευτερόλεπτα. Οι υψηλές ταχύτητες μπορούν να υποστηρίξουν ενδεικτικά τις παρακάτω τεχνολογίες[1]:

- σελίδες κοινωνικής δικτύωσης
- μετάδοση πολυμέσων

- 3D περιεχόμενο και περιεχόμενο υψηλής ανάλυσης
- επαυξημένη πραγματικότητα
- ρομποτική
- οχήματα χωρίς οδηγό
- προηγμένες κατασκευές

Θα μπορούσαν να αναφερθούν και άλλες περιπτώσεις, αλλά σταθήκαμε στις σημαντικότερες. Επιπλέον, θα πρέπει να επισημανθεί το γεγονός ότι για τις δισεκατομμύρια συσκευές οι οποίες είναι δυνατόν να διασυνδεθούν, δεν είναι απαραίτητο να γίνεται ταυτόχρονη μετάδοση των δεδομένων. Η χρήση δικτύων, τα οποία συνεχόμενα ελέγχουν την κίνηση των δεδομένων και λαμβάνουν αποφάσεις ως προς την προτεραιότητα μετάδοσης, είναι απαραίτητα στην περίπτωση της 5G τεχνολογίας.

Χαρακτηριστικά μπορούν να αναφερθούν οι κατηγορίες συσκευών που μπορούν πλέον να συνδέονται χρησιμοποιώντας την 5G τεχνολογία:

- Έξυπνα ρολόγια
- Οχήματα
- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
- Συσκευές απομακρυσμένου ελέγχου

Ωστόσο, αυτό το μεγάλο εύρος διασυνδεδεμένων συσκευών, δύναται να δημιουργεί και μεγάλο όγκο πληροφορίας, η οποία αναμένεται να είναι αρκετά

χρήσιμη στα χέρια της επιστημονικής κοινότητας. Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι αναμένεται να παρατηρηθεί αύξηση των διακινούμενων ψηφιακών δεδομένων κατά 35 % [10].

2.4.2. 4K Μετάδοση

Η χρήση δικτύων κινητής τηλεφωνίας παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αύξηση, εξαιτίας υπηρεσιών που παρέχει όπως: η διαμοίραση βίντεο υψηλής ανάλυσης, το online gaming, και οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας. Για τον λόγο αυτό, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, εισήγαγε το πρότυπο IMT-2020, το οποίο αποτελεί ένα σύνολο προδιαγραφών που αφορούν τα 5G δίκτυα. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται συνοπτικά, οι προδιαγραφές του συγκεκριμένου προτύπου:

Πίνακας 3: Προδιαγραφές Προτύπου IMT-2020

Δυνατότητα	Απαίτηση
Download Peak Data Rate	20 Gbit/s
Upload Peak Data Rate	10 Gbit/s
Download Rate σε πυκνό αστικό περιβάλλον	100 Mbit/s
Upload Rate σε πυκνό αστικό περιβάλλον	50 Mbit/s
Καθυστέρηση	4 ms
Κινητικότητα	500 km/h
Πυκνότητα Σύνδεσης	$10^6/\text{km}^2$
Ενεργειακή Αποτελεσματικότητα	Ίδια με το 4G
Χωρητικότητα κυκλοφορίας περιοχής	10 Mbps/m ²

Πρόκειται για προδιαγραφές, οι οποίες μπορούν να ανταποκριθούν στις υψηλές απαιτήσεις της 4K μετάδοσης. Καθώς συνεχίζουν να εδραιώνονται τα 5G δίκτυα, είναι αναμενόμενο ότι χρήστες κινητής τηλεφωνίας θα χρησιμοποιούν eMBB εφαρμογές στις συσκευές τους. Αυτού του τύπου οι εφαρμογές, προσφέρουν πολύ καλύτερα εικονικά περιβάλλοντα στους χρήστες, απαιτώντας όμως υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Στόχος της 5G τεχνολογίας, είναι να συνεχίσει να εξυπηρετεί τέτοιου τύπου απαιτητικές εφαρμογές, λαμβάνοντας υπόψη ακόμη και τα πιο περίπλοκα και απαιτητικά σενάρια.

2.4.3. Έξυπνες μετακινήσεις χρησιμοποιώντας 5G

Οι 5G τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την μετακίνηση ποικίλλουν από μια συμβατική προετοιμασία διαδρομών μέχρι αυτοματοποιημένα συστήματα οδήγησης (χρήση συνδεδεμένων οχημάτων) και εκτεταμένη χρήση έξυπνων μεταφορών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής:

- Διαχείριση δρόμων
- Ασφαλής πλοήγηση
- Αποφυγή ατυχημάτων
- Εξοικονόμηση καυσίμων
- Μείωση εκπομπών ρύπων

2.4.4. Έξυπνες πόλεις χρησιμοποιώντας 5G

Μέσα στο άμεσο μέλλον, η τεχνολογία 5G θα συνδέσει τον υπόλοιπο πλανήτη με το ήδη υπάρχον Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things). Μια τέτοια συνδεδεμένη ιεραρχία θα συγχωνεύσει έξυπνες πόλεις, έξυπνα σπίτια και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε μια μεγάλη συνεκτική υποδομή. Είναι γενικά αποδεκτό ότι όγκος πληροφορίας που θα παράγεται από τους αισθητήρες, θα συμβάλλει αρκετά στην απόδοση της συνδεσιμότητας η οποία εξασφαλίζεται από τα δίκτυα 5G. Το 5G συγκεντρώνει διάφορα συστήματα πρόσβασης, βελτιώνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα του δικτύου επικοινωνίας και διευκολύνοντας την ανταλλαγή πληροφοριών, η οποία πλέον θα πραγματοποιείται μεταξύ ετερογενών συστημάτων.

2.4.5. Επαυξημένη πραγματικότητα στα δίκτυα 5G

Τα τελευταία χρόνια, η επαυξημένη και η εικονική πραγματικότητα έχουν αρχίσει να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες υψηλής ταχύτητας της τεχνολογίας ροής βίντεο και των κυψελοειδών δικτύων. Ωστόσο, περιορισμοί όπως το εύρος ζώνης και η καθυστέρηση μας απαγορεύουν να προσεγγίσουμε υπηρεσίες υψηλής πιστότητας και ολοκληρωμένες εφαρμογές διαδραστικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Ευτυχώς, τόσο οι προγραμματιστές όσο και οι αρχιτέκτονες έχουν επίγνωση αυτών των προβλημάτων και έχουν δημιουργήσει τα δίκτυα 5G έτσι ώστε να μας βοηθήσουν να μεταβούμε στη νέα φάση των

διεπαφών λογισμικού.

Για τον λόγο αυτό οι εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, αναμένονται να είναι 2 κατηγορίες εφαρμογών που θα αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της 5G τεχνολογίας. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, το 2021 η βιομηχανία της επαυξημένης πραγματικότητας αναμένεται να αγγίξει τα 114 δισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως, ενώ αυτή της εικονικής πραγματικότητας αναμένεται να αγγίξει τα 65 δισεκατομμύρια δολάρια εντός της χρονιάς που διανύουμε.

Η υποδομή 5G στοχεύει να είναι σε θέση να βοηθήσει μια ποικιλία συμβατικών και νέων τεχνολογιών, όπως η σύνδεση μεταξύ συσκευών και συσκευών και του Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) [8]. Κύριος γνώμονας αυτής της προσπάθειας είναι να προωθηθεί κυρίως η ανάπτυξη εκπαιδευτικών πλατφορμών, που χρησιμοποιούν τεχνολογίες εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας.

Προβληματισμοί σχετικά με την χρήση των 5G δικτύων

2.5.1. Ασφάλεια

Οι αλγόριθμοι ασφάλειας στην περίπτωση των 5G είναι πιο περιεκτικοί [24] από αυτούς που υποστηρίζονται από το πρότυπο 4G, αλλά οι επιχειρήσεις ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σημαντικά ζητήματα ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Ο τεράστιος αριθμός συσκευών IoT και εξαρτημάτων που συνδέονται με δίκτυα 5G

θα αυξήσει δραματικά την έκθεση των επιχειρήσεων σε απειλές, καθώς οι εισβολείς προσπαθούν να εκμεταλλευτούν τις ευπάθειες.

Οι ίδιες οι συσκευές 5G θα μπορούσαν επίσης να προκαλέσουν ανησυχία, καθώς τα τσιπ και άλλα εξαρτήματα που έχουν σχεδιαστεί για να οδηγούν αυτές τις συσκευές θα μπορούσαν να μολυνθούν από κακόβουλα προγράμματα. Μια παραβίαση σε οποιοδήποτε μέρος της υποδομής του παρόχου θα μπορούσε να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα ασφάλειας σε όλο το δίκτυο. Τα ιδιωτικά δίκτυα 5G μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή για εταιρείες με χαμηλότερη ανοχή στον κίνδυνο.

2.5.2. Εύρος κάλυψης

Παρά τις μεγάλες προσπάθειες που γίνονται από πολλές χώρες για την αύξηση των επενδύσεων πάνω στις 5G τεχνολογίες, είναι πολύ πιθανόν πολλές περιοχές των χωρών (όπως και στην περίπτωση της Ελλάδας) να μην υπάρχει 5G κάλυψη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πρόκειται για ένα βάρος το οποίο καλούνται να αντιμετωπίσουν οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι, οι οποίοι θα πρέπει να καταβάλλουν μεγάλη προσπάθεια οικονομική και υλικοτεχνική έτσι ώστε να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των πελατών, και να παραμείνουν ανταγωνιστικές

2.5.3. Ισχύς Σήματος

Τα σήματα υψηλής συχνότητας του 5G αποκλείονται ευκολότερα από κοινά αντικείμενα, οπότε η εξασφάλιση συνεπούς κάλυψης σε όλες τις ρυθμίσεις γραφείου και εργοστασίου μπορεί να αποτελεί πρόβλημα. Ως αποτέλεσμα, οι επιχειρήσεις ενδέχεται να χρειαστεί να επανασχεδιάσουν ορισμένες εγκαταστάσεις για να εγγυηθούν επαρκή εξυπηρέτηση ή να κατασκευάσουν συμπληρωματικά δίκτυα ραδιοφάσματος, που θα τους επιτρέψουν να επεκτείνουν την κάλυψη και τη χωρητικότητα των 5G δικτύων τους.

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Θεωρία Παιγνίων

3. 1. Εισαγωγικά

Η θεωρία παιγνίων[27] αποτελεί ένα θεωρητικό πλαίσιο, που εφαρμόζεται στα εφαρμοσμένα μαθηματικά, τις κοινωνικές επιστήμες, και κυρίως στην οικονομία. Νέοι κλάδοι στους οποίους έχει αρχίσει να εφαρμόζεται είναι η βιολογία, η μηχανική, οι πολιτικές επιστήμες, οι διεθνείς σχέσεις, η επιστήμη των υπολογιστών και η φιλοσοφία. Επομένως μπορεί κανείς να διακρίνει ότι έχει εξαπλωθεί η χρήση της, γεγονός που αποτέλεσε έναυσμα για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Θα μπορούσε κανείς να την χαρακτηρίσει σαν μία μαθηματική μελέτη της στρατηγικής, όπου η επιτυχία της στρατηγικής ενός ατόμου εξαρτάται από τις επιλογές άλλων ατόμων.

Πρωταρχικά είχε αναπτυχθεί για να δίνει λύσεις στην οικονομική επιστήμη, προσπαθώντας να κατανοήσει συμπεριφορές, όπως αυτές των:

- εταιρειών
- καταναλωτών
- αγορών

Δεν θα πρέπει επίσης να παραβλέψουμε το γεγονός ότι στην οικονομία και την φιλοσοφία, πολλοί μελετητές έχουν εφαρμόσει την θεωρία παιγνίων έτσι ώστε να μπορέσουν να κατανοήσουν την λογική συμπεριφορά.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε κάποιες βασικές έννοιες της θεωρίας παιγνίων, απαραίτητες έτσι ώστε να κατανοήσουμε την συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.2. Βασικές Έννοιες

3.2.1. Η έννοια του παιχνιδιού

Το παιχνίδι[11] αποτελεί το βασικό αντικείμενο μελέτης στην θεωρία παιγνίων. Θα μπορούσε να ορίσει κανείς ένα παιχνίδι σαν ένα σύνολο από κανόνες. Μια παρτίδα του παιχνιδιού, θα μπορούσε κανείς να αποκαλέσει ένα στιγμίο τυπο του παιχνιδιού.

Ένας τυπικός ορισμός[12] που θα μπορούσε να δοθεί για το παιχνίδι είναι ο ακόλουθος:

Ένα παιχνίδι είναι μια αφαίρεση, η οποία μπορεί να οριστεί σαν μία επίσημη περιγραφή μιας στρατηγικής κατάστασης. Κάθε στρατηγική αλληλεπίδραση περιλαμβάνει 2 ή και παραπάνω άτομα τα οποία λαμβάνουν αποφάσεις και ονομάζονται παίκτες. Κάθε ένας από τους παίκτες μπορεί να δράσει με 2 ή και παραπάνω τρόπους. Ο τρόπος δράσης ενός παίκτη ονομάζεται στρατηγική. Το αποτέλεσμα του παιχνιδιού εξαρτάται από την στρατηγική δράση όλων των παικτών.

Κάθε παίκτης ανά λογα με το ποια στρατηγική θα επιλέξει σε κάθε κατάσταση του παιχνιδιού αποκομίζει και ένα κέρδος (το οποίο μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό)”

Κάθε παιχνίδι μπορεί να χαρακτηριστεί επομένως από τα παρακάτω [13]:

- Ένα σύνολο παικτών
- Ένα σύνολο στρατηγικών
- Μια συνάρτηση που καθορίζει τα κέρδη των παικτών

Χαρακτηριστικό παράδειγμα από την θεωρία παιγνίων αποτελεί το παιχνίδι δίλημμα του φυλακισμένου, το οποίο μπορεί να αναπαρασταθεί από τον παρακάτω πίνακα κέρδους:

	Ομολογία	Σιωπή
Ομολογία	-3 -3	-5 -5
Σιωπή	-5 0	-1 -1

Εικόνα 5: Παίγνιο: το δίλημμα του φυλακισμένου [27]

Από τον παραπάνω πίνακα κέρδους, έχουμε όλη την πληροφορία, που χρειαζόμαστε για το παιχνίδι:

- Έχουμε 2 παίκτες
- Οι διαθέσιμες στρατηγικές των παικτών είναι Ομολογία και Σιωπή

- Το παιχνίδι διαθέτει 4 καταστάσεις
- Σε κάθε κατάσταση φαίνεται το κέρδος που αποκομίζει κάθε παίκτης ανάλογα με την στρατηγική που επιλέγεται και από τους 2.

Ένα παίγνιο σαν το παραπάνω ονομάζεται παίγνιο κανονικής μορφής (γιατί μπορεί να αναπαρασταθεί με έναν πίνακα κέρδους).

Χαρακτηριστικό είναι επίσης το παρακάτω παράδειγμα, στο οποίο:

- Υπάρχουν 2 παίκτες
- 3 διαθέσιμες στρατηγικές ανά παίκτη

	Πέτρα	Ψαλίδι	Χαρτί
Πέτρα	0	-1	1
Ψαλίδι	1	0	-1
Χαρτί	-1	1	0

Εικόνα 6: Παίγνιο με 2 παίκτες και 3 διαθέσιμες στρατηγικές ανά παίκτη [27]

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, αυξάνεται η πολυπλοκότητα του παιχνιδιού, οπότε υπάρχουν και περισσότερες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την διαδικασία λήψης αποφάσεων.

3.2.2. Κατηγορίες Παιγνίων

Στην θεωρία παιγνίων, τα παίγνια μπορούν να διακριθούν σε διάφορες

κατηγορίες[14], ανάλογα με το κριτήριο το οποίο κάθε φορά λαμβάνουμε υπόψη:

- **Ανάλογα με το πλήθος των παικτών:** Η πλέον συνηθισμένη περίπτωση είναι να παίζουν από 1 παίκτες. Το μέγιστο πλήθος των παικτών είναι πεπερασμένο. Ανάλογα με το πλήθος των παικτών, στην γενική περίπτωση όπου έχουμε n παίκτες, το παιχνίδι ονομάζεται παιχνίδι των n παικτών (n-game).
- **Ανάλογα με την λογική των παικτών:** Μια βασική υπόθεση που γίνεται στην θεωρία παιγνίων είναι ότι οι παίκτες διαθέτουν λογική. Θα θεωρούμε ότι ένας παίκτης είναι λογικός όταν επιλέγει εκείνη την στρατηγική σε κάποια κατάσταση η οποία θα του αποφέρει το μέγιστο κέρδος, λαμβάνοντας υπόψη τι θα πράξουν και οι αντίπαλοί του. Διακρίνουμε δύο παίκτες: τον λογικό παίκτη και τον παίκτη που επιλέγει κάποια στρατηγική με τυχαίο τρόπο.
- **Ανάλογα με την συνεργασία :** Τα παιχνίδια μπορούν να διακριθούν στα συνεργαστικά και τα μη - συνεργαστικά. Ένα παιχνίδι στο οποίο οι παίκτες επιτρέπεται να συνεργαστούν μεταξύ τους, ονομάζεται συνεργατικό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ονομάζεται μη – συνεργατικό.
- **Κανονικής και εκτενούς μορφής:** Η στρατηγική μορφή, η οποία επίσης ονομάζεται κανονική αποτελεί τον βασικό τύπο παιχνιδιού που μελετάται στην μη – συνεργατική θεωρία παιγνίων. Το παράδειγμα με το δίλημμα του φυλακισμένου που παρουσιάστηκε και νωρίτερα, αποτελεί ένα παίγνιο

κανονική μορφή. Η εκτενής μορφή, που επίσης ονομάζεται παιχνίδι δέντρου, αποτελεί μια πιο λεπτομερή εκδοχή, καθώς υπάρχει μια πλήρης περιγραφή για το πως το παιχνίδι παίζεται στο βάθος του χρόνου.

- **Παιχνίδια μηδενικού και μη – μηδενικού αθροίσματος:** Όπως αναφέρει και το όνομά του, σε ένα παιχνίδι μηδενικού αθροίσματος, το άθροισμα των κερδών των παικτών σε κάθε κατάσταση του παιχνιδιού ισούται με το μηδέν. Η πρακτική σημασία αυτών των παιχνιδιών είναι ότι ό,τι κερδίζει ο ένας παίκτης στην μία κατάσταση, το χάνει ο άλλος. Σπάνια όμως θα συναντήσει κανείς παίγνια στην πραγματική ζωή που να είναι μηδενικού αθροίσματος. Ακολουθεί ένα παράδειγμα τέτοιου παιχνιδιού, το γνωστό σε όλους Κορώνα – Γράμματα

	Κορώνα	Γράμματα
Κορώνα	1 -1	-1 1
Γράμματα	-1 1	1 -1

Εικόνα 7: Παίγνιο μηδενικού αθροίσματος [27]

3.2.3. Ορισμός Θεωρίας Παιγνίων

Η θεωρία παιγνίων είναι η λογική ανάλυση καταστάσεων [11]. Στηρίζεται σε 4 βασικά σύνολα:

- Ένα σύνολο από μων που λαμβάνουν αποφάσεις, που ονομάζονται παίκτες
- Ένα σύνολο στρατηγικών που είναι διαθέσιμες σε κάθε παίκτη
- Ένα σύνολο αποφάσεων που λαμβάνει ο κάθε παίκτης
- Ένα σύνολο κερδών που λαμβάνει ο κάθε παίκτης σε καθεμία κατάσταση

Επομένως θα μπορούσε να χαρακτηρίσει κανείς την θεωρία παιγνίων σαν την μελέτη του πως πρέπει δύο παίκτες να παίζουν παιχνίδια. Κάθε παίκτης θα επιθυμούσε το παιχνίδι να τελειώσει έτσι ώστε να του δώσει το μέγιστο δυνατό κέρδος.

Η συμβολή του Nash στην Θεωρία Παιγνίων

Η συμβολή του John Nash στην θεωρία παιγνίων υπήρξε καθοριστική, καθώς εισήγαγε την έννοια των ισορροπιών κατά Nash.

Οι ισορροπίες κατά Nash (ή διαφορετικά αμιγείς ισορροπίες), αποτελούν κάποιες ειδικές περιπτώσεις καταστάσεων, στις οποίες κανείς παίκτης δεν έχει συμφέρον να αποκλίνει μονομερώς, δηλαδή να αλλάξει την στρατηγική του με δεδομένο ότι ο άλλος παίκτης διατηρεί την στρατηγική του ίδια.

Σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των αμιγών ισορροπιών (ή ισορροπιών κατά Nash), αποτελούν τα γραφήματα Nash Dynamics. Πριν παραθέσουμε την λογική με την οποία κατασκευάζεται ένα γράφημα Nash Dynamics [12], να αναφέρουμε ότι αποτελεί ένα κατευθυνόμενο γράφημα. Η λογική με βάση την οποία

κατασκευάζεται ένα γράφημα Nash Dynamics είναι η εξής:

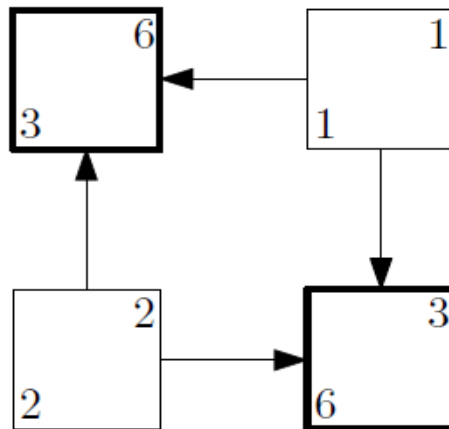
- Οι κορυφές του γραφήματος είναι οι καταστάσεις του παιχνιδιού.
- Για να δημιουργήσουμε μια κατευθυνόμενη ακμή η οποία ξεκινάει από μια κορυφή a και καταλήγει σε μια κορυφή b , θα πρέπει :
 1. Οι καταστάσεις να διαφοροποιούνται μόνο ως προς την στρατηγική ενός παίκτη
 2. Ο παίκτης ο οποίος άλλαξε την στρατηγική του να έχει αυξημένο κέρδος στην κατάσταση b σε σχέση με την κατάσταση a

Για παράδειγμα, για ένα παιχνίδι το οποίο περιγράφεται από τον παρακάτω πίνακα κέρδους:

	Γήπεδο	Σινεμά
Γήπεδο	3, 6	1, 1
Σινεμά	2, 2	6, 3

Εικόνα 8: Πάινιο με αμιγείς ισορροπίες [27]

το αντίστοιχο γράφημα Nash Dynamics είναι το παρακάτω:



Εικόνα 9: Γράφημα Nash Dynamics [27]

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι ισορροπίες κατά Nash, είναι οι καταστάσεις οι οποίες έχουν βαθμό εξόδου ίσο με το μηδέν.

Δεν θα προβούμε σε περαιτέρω ανάλυση, καθώς δεν επιθυμούμε να ξεφύγουμε από τα όρια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, απλά θα αναφέρουμε ότι πρόκειται για καταστάσεις οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση και η συμβολή του John Nash στην προκειμένη περίπτωση ήταν σημαντική

3.3.1. Οι μικτές ισορροπίες

Πέρα από τις αμιγείς ισορροπίες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, υπάρχει και η έννοια των μικτών ισορροπιών (κατά Nash), για τις οποίες θα αναφέρουμε κάποια βασικά στοιχεία, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην Θεωρία Παιγνίων.

Καταρχάς, σαν μικτή στρατηγική θεωρούμε μια πιθανοτική κατανομή επί του συνόλου των στρατηγικών που διαθέτει ένας παίκτης, τέτοια ώστε το άθροισμα των πιθανοτήτων επιλογής των στρατηγικών να ισούται με 1.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κάθε παίκτης παίζει με στόχο να μεγιστοποιήσει το κέρδος του, το οποίο στην περίπτωση των μικτών στρατηγικών ονομάζεται αναμενόμενο κέρδος. Έτσι θα θεωρούμε σαν μικτή ισορροπία, εκείνη την περίπτωση στην οποία ο παίκτης επιλέγει μια μικτή στρατηγική έτσι ώστε να μεγιστοποιήσει το αναμενόμενο κέρδος του.

Παραθέτουμε και ενδεικτικό τυπολογία, το οποίο εφαρμόζεται στην συγκεκριμένη περίπτωση:

Αν θεωρήσουμε έναν παίκτη i , ο οποίος επιλέγει μια συγκεκριμένη στρατηγική s_i με πιθανότητα $p_i(s_i)$, τότε η πιθανότητα να βρεθεί το παιχνίδι σε μία κατάσταση s είναι:

$$p(s) = \prod_i p_i(s_i) = p_1(s_1) \times \dots \times p_n(s_n).$$

και αντίστοιχα το αναμενόμενο κέρδος του παίκτη στην κατάσταση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$P_i = \sum_s p(s) \times \text{κέρδος του παίκτη } i \text{ στην κατάσταση } s.$$

3.4. Εφαρμογές της Θεωρίας Παιγνίων

Όταν μιλάμε για θεωρία παιγνίων, θα πρέπει να έχουμε στο νου μας ότι δεν πρόκειται μόνο για μια θεωρητική προσέγγιση, αλλά εφαρμόζεται και στην πράξη. Μερικοί κλάδοι στους οποίους εφαρμόζεται [16], [17] με επιτυχία η θεωρία παιγνίων:

- οικονομικά [21]
- επιχειρήσεις
- βιολογία
- επιστήμη της πληροφορικής
- πολιτική επιστήμη
- ψυχολογία
- φιλοσοφία

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, θα δούμε το πως μπορεί να εφαρμοστεί και όσον αφορά το κομμάτι της ανάθεσης πόρων σε 5G δίκτυα.

Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι η θεωρία παιγνίων μπορεί να περιγράψει ένα σύνολο από φαινόμενα:

- διαπροσωπικές σχέσεις
- ανταγωνισμός
- πόλεμος
- πολιτικές υποθέσεις

- κανονιστική συμπεριφορά

Ενδεικτικά αναφέρονται πιο αναλυτικά κάποιες εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων στην συνέχεια:

3.4.1. Οικονομία και Επιχειρήσεις

Αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται στην οικονομία και στον κλάδο των επιχειρήσεων, έτσι ώστε να μοντελοποιεί πρότυπα συμπεριφοράς πρακτόρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους [19].

Οι οικονομολόγοι χρησιμοποιούν την Θεωρία Παιγνίων σαν ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση φαινομένων όπως:

- διαπραγματεύση [23]
- σχεδιασμός μηχανισμών
- δημοπρασίες
- ψηφοφορίες

Επιπλέον, χρησιμοποιείται για τον καθορισμό διαφορετικών στρατηγικών στον κόσμο των επιχειρήσεων. Δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι προσφέρει σημαντικά εργαλεία, τα οποία χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων επιλογής στρατηγικής. Πολλές επιχειρησιακές στρατηγικές αποτελούν βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα πλάνα, που οδηγούν στην εξασφάλιση των κατάλληλων κερδών.

3.4.2. Η θεωρία παιγνίων στην πολιτική

Μια επιπλέον εφαρμογή της θεωρίας παιγνίων αφορά την πολιτική, η οποία επικεντρώνεται σε τομείς όπως:

- διεθνής πολιτική
- στρατηγική πολέμου
- διαπραγμάτευση σε περίπτωση πολέμου[22]
- θεωρία κοινωνικών επιλογών
- πολιτική οικονομία

Αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο στα χέρια των διπλωματών και των πολιτικών, προκειμένου να μπορούν να προβούν σε ανάλυση οποιασδήποτε κατάστασης προκύπτει μεταξύ :

- ιδιωτών
- εταιρειών
- πολιτικών κομμάτων

Μια βασική υπόθεση η οποία γίνεται και στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η λογική των συμμετεχόντων στην επιλογή των εκάστοτε στρατηγικών. Επιπροσθέτως, η θεωρία παιγνίων έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στην έρευνα κατά της τρομοκρατίας, καθώς καταγράφει την αλληλεπίδραση του αντικειμένου το οποίο υφίσταται την επίθεση και της τρομοκρατικής οργάνωσης.

3.4.3. Εξέλιξη της συνεργασίας

Ο προαναφερθείς τίτλος αποτελεί ένα θεμελιώδες πρόβλημα στην βιολογία, καθώς ανιδιοτελείς, αλτρουιστικές δράσεις έρχονται σε αντίθεση με την επιλογή του Δαρβίνου. Για τον λόγο αυτό η θεωρία παιγνίων έχει αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο που έχει βοηθήσει στην εξέλιξη της συνεργασίας. Οι πιο γνωστοί συνεργατικοί μηχανισμοί είναι οι :

- άμεση και έμμεση αβεβαιότητα
- χωρική δομή

3.4.4. Η εφαρμογή στην φιλοσοφία

Πρόκειται για 2 κλάδους, οι οποίοι είναι άμεσα συνδεδεμένοι, καθώς η θεωρία παιγνίων έχει χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο σε φιλοσοφικές συζητήσεις. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οι φιλόσοφοι έχουν προσκολληθεί στην θεωρία παιγνίων, καθώς αυτή παρέχει τρόπους για την ερμηνεία της σκέψης των φιλοσόφων.

3.4.5. Ορθολογική Συμπεριφορά και Θεωρία Αποφάσεων

Είναι επίσης αδιαπραγμάτευτο το γεγονός ότι η θεωρία παιγνίων αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στην κατανόηση των ανθρώπινων συμπεριφορών [18], καθώς

μπορεί να θεωρηθεί ένα κομμάτι την γενικής θεωρίας της ορθολογικής συμπεριφοράς. Η λογική αποτελεί μια έννοια, που υποδηλώνει τι πρέπει να κάνουμε έτσι ώστε να φτάσουμε σε έναν τελικό στόχο. Όταν σκεφτόμαστε με στόχο να πετύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, τότε μιλάμε για ορθολογική συμπεριφορά, η οποία δεν εμπλέκει καθόλου την έννοια της τυχαιότητας. Τέτοια μοντέλα λογικής συμπεριφοράς χρησιμοποιούνται στην θεωρία παιγνίων.

Όσο αφορά την θεωρία αποφάσεων, αυτή αποτελεί την ανάλυση της ανθρώπινης συμπεριφοράς, που έχει σαν στόχο την λήψη της καλύτερης επιλογής από το άτομο που λαμβάνει την απόφαση. Η θεωρία αποφάσεων παρέχει τον ορθολογισμό στην λήψη αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες, οι οποίοι δεν θα αναλυθούν περαιτέρω στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Και στην συγκεκριμένη περίπτωση μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η θεωρία παιγνίων είναι άμεσα συνδεδεμένη με την θεωρία αποφάσεων, καθώς μελετά τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε παίκτες που στόχο έχουν την επίτευξη των προσωπικών τους στόχων. Η θεωρία παιγνίων συνδυαστικά με την θεωρία αποφάσεων αναλύουν αλληλεξαρτώμενα προβλήματα αποφάσεων ανάμεσα σε παίκτες που παίζουν με 2 βασικά χαρακτηριστικά:

- λογικά
- στρατηγικά

Έχοντας παρουσιάσει στα 2 πρώτα κεφάλαια της διπλωματικής τα βασικά χαρακτηριστικά των 5G δικτύων και της θεωρίας παιγνίων, στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε το πως η θεωρία παιγνίων μπορεί να εφαρμοστεί και να δώσει λύσεις στο ζητούμενο της ανάθεσης πόρων στα 5G δίκτυα. Πρόκειται για μια αλληλεπίδραση, η οποία έχει ενδιαφέρον να εξεταστεί, καθώς είναι πιθανόν να αποφέρει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα.

ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Θεωρία Παιγνίων και ανάθεση πόρων σε δίκτυα 5G

Θεωρία Παιγνίων στην περίπτωση του Mobile Data Offloading

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα 5G δίκτυα στοχεύουν σε επικοινωνίες υψηλού επιπέδου, κάτι το οποίο μεταφράζεται σε:

- υψηλού ρυθμού μεταφορά δεδομένων
- μειωμένη καθυστέρηση
- ενεργειακή αποδοτικότητα
- υψηλού βαθμού συνδεσιμότητα

Μια τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση είναι αυτή του mobile data offloading[38] (η απόδοση του όρου στα ελληνικά είναι εκφόρτωση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας). Πρόκειται στην ουσία για την χρήση συμπληρωματικών τεχνολογιών όσο αφορά την παράδοση δεδομένων, που κανονικά θα έπρεπε να μεταδίδονται μέσω της υποδομής του δικτύου. Η χρήση αυτής της τεχνικής έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας των δεδομένων που διακινούνται, ελευθερώνοντας με τον τρόπο αυτό εύρος ζώνης για χρήση από περισσότερους χρήστες του δικτύου.

Πρόκειται για μια τεχνική αρκετά απαραίτητη, αν αναλογιστεί κανείς τον τεράστιο όγκο των διακινούμενων δεδομένων, καθώς και την ανάγκη που υπάρχει για την αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης στην περίπτωση πολύ

απαιτητικώ ν εφαρμογώ ν που κά νουν την εμφάνισης τους εξαιτίας της ανάπτυξης της 5G τεχνολογίας.

Ο χρήστης πλέον αντιμετωπίζεται με άλλη οπτική γωνία, διαδραματίζοντας πιο ενεργό ρόλο στο δίκτυο, καθώς θα θεωρείται σαν ένα σημείο της υποδομής (content repeater), που θα βοηθάει στην μετάδοση της πληροφορίας προς τον τελικό της προορισμό.

Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε και το φαινόμενο της συμφόρησης. Στην συγκεκριμένη ενότητα, θα παρουσιαστεί ένα σενάριο, στο οποίο οι συσκευές των χρηστών θα χρησιμοποιηθούν ως μέσο για την επιτάχυνση της μετάδοσης μεταξύ πηγής και προορισμού.

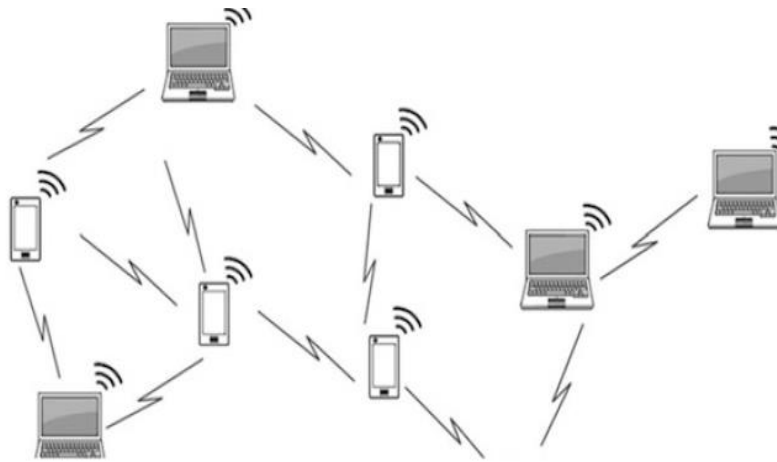
Η συγκεκριμένη στρατηγική βασίζεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χρηστών και χρησιμοποιεί ένα μοντέλο της θεωρίας των παιγνίων, που βασίζεται στην παρακάτω ιδέα:

- Δίνεται η δυνατότητα της δημοπράτησης της επιλογής του offloading έναντι κάποιας χρηματικής ανταμοιβής που δίνεται από τα σημεία της υποδομής, τα οποία επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τους χρήστες κινητών συσκευών.

Πρόκειται για μια ιδέα η οποία θα μπορούσε να ωφελήσει και τους παρόχους, καθώς θα εξαιτίας των συνθηκών ανταγωνισμού μεταξύ των χρηστών, οι οποίοι ταυτόχρονα θα πρέπει να συνεργάζονται για την επίτευξη του ζητούμενου της επικοινωνίας, είναι πολύ πιθανόν να μειώσουν και το κόστος της ανάπτυξης των

υποδομών τους, χωρίς όμως να γίνεται έκπτωση στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Ακόμη δεν θα πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι θα αυξηθεί με τον τρόπο αυτό και το ποσοστό κάλυψης των δικτύων.



Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική Mobile Data Offloading [38]

4.1.1. Το προτεινόμενο μοντέλο

Στο συγκεκριμένο σύστημα, υπάρχουν 2 ρόλοι χρηστών:

- Ο χρήστης που καθορίζει την τιμή
- Ο χρήστης που λαμβάνει την τιμή

Η τιμή αρχικοποιείται από το σημείο της υποδομής, το οποίο λειτουργεί υποκινούμενο από τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Αφού το σημείο της υποδομής διαπραγματευτεί με του διαθέσιμους χρήστες κινητών συσκευών και αποφασίσει ποιος είναι ο κόμβος, ο οποίος θα μεταδώσει το πακέτο πληροφορίας,

πραγματοποιείται η πληρωμή προς τον επιλεγμένο κόμβο του δικτύου. Στην συνέχεια, ο επιλεγμένος κόμβος θα λειτουργήσει σαν ο επόμενος χρήστης που θα λάβει την τιμή και θα πραγματοποιήσει την πληρωμή προς τον κόμβο προς τον επόμενο επιλεγμένο κόμβο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να φτάσει η πληροφορία στον ζητούμενο προορισμό. Επιπλέον, στο συγκεκριμένο μοντέλο προβλέπεται και πρόστιμο σε περίπτωση που ένας επιλεγμένος κόμβος δεν καταφέρει να μεταδώσει με επιτυχία το πακέτο που του έχει ανατεθεί.

Μια ακόμη παραδοχή, η οποία έχει πραγματοποιηθεί για την απλοποίηση του μοντέλου είναι ότι όλα τα πακέτα παρουσιάζουν ομοιογένεια. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε απόφαση λαμβάνεται για την επιλογή δεν βασίζεται στα χαρακτηριστικά του πακέτου, αλλά στην διαδικασία της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Κάτι το οποίο έχει αξία να αναφερθεί είναι ότι όλες οι αποφάσεις λαμβάνονται διαδοχικά και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται μια ανταγωνιστική κατάσταση μεταξύ των χρηστών που θέτουν την τιμή, στην προσπάθειά τους να είναι αυτοί που θα επιλεγούν.

Σε περίπτωση που παραπάνω από ένας χρήστες που θέτουν την τιμή, προσφέρουν ίδια ή παραπλήσια τιμή, τότε ο χρήστης που λαμβάνει τις τιμές θα πρέπει να λάβει υπόψη επιπλέον παράγοντες για την λήψη της απόφασής του. (στην περίπτωση του μοντέλου αναγράφονται ως OAF). Τέτοιοι παράγοντες θα μπορούσαν να είναι:

- Η απόσταση από τον τελικό προορισμό
- Η συνολική τοπολογία του 5G δικτύου
- Η πιθανότητα το πακέτο να φτάσει στον προορισμό

Επομένως, η συνάρτηση που λαμβάνει υπόψη ο λαμβάνων την απόφαση είναι η εξής:

$$U_i = (B - k) - f(\text{OAF})$$

Στον παραπάνω τύπο:

- Με B συμβολίζεται το αρχικό budget.
- Με k συμβολίζεται το ποσό που πρέπει να δοθεί στον επιλεγμένο κόμβο.
- Η συνάρτηση f αντιπροσωπεύει το ρίσκο, το οποίο σχετίζεται με την επιτυχή παράδοση του πακέτου προς τον τελικό του προορισμό. Πρόκειται για μια παράμετρο, η οποία δεν εξαρτάται από την τιμή. Όπως είναι αναμενόμενο, το ρίσκο θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι οποιεσδήποτε ποινή προβλέπονται από τον πάροχο.

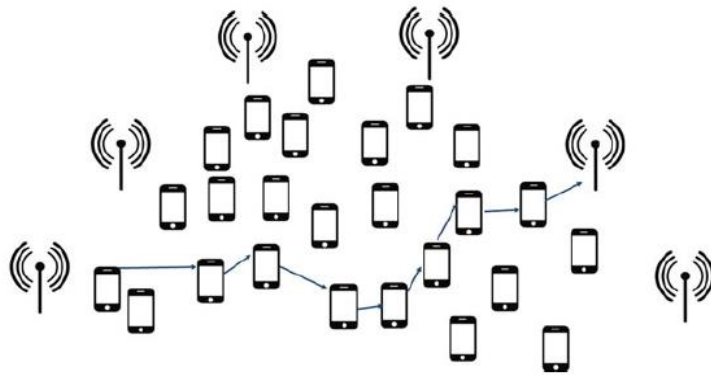
Η τιμή της παραπάνω συνάρτησης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τους χρήστες που θέτουν τιμή. Ένας επιπλέον τύπος παρατίθεται στην συνέχεια, ο οποίος δίνει το συνολικό ποσό πληρωμής για τον χρήστη που θέτει την τιμή και είναι ο εξής:

$$\Pi_i = \sum_{i=1}^x k_i - \sum_{i=1}^x \phi_i,$$

για όλα τα προωθημένα πακέτα, όπου x είναι το συνολικό πλήθος των πακέτων που έχουν προωθηθεί, και ϕ_i αντιπροσωπεύει την ποινή για το πακέτο i .

Επομένως, αυτό που μπορεί να συμπεραθεί είναι ότι εάν ένας παίκτης λαμβάνει τον ρόλο αυτού που λαμβάνει τιμές και πληρώνει ένα ποσό $B - k$ σε έναν γείτονα προκειμένου να προωθήσει ένα πακέτο, τότε το συνολικό ποσό πληρωμής για έναν παίκτη l , θα ήταν το άθροισμα των χρημάτων που απαιτούνται για να προωθηθεί κάθε πακέτο μείον το άθροισμα των ποσών που ο παίκτης ο παίκτης θα πρέπει να πληρώσει σε γειτονικούς προς αυτόν κόμβους για να προωθήσουν το πακέτο ακόμη προς τον τελικό του προορισμό.

Χαρακτηριστικό είναι το παρακάτω σχήμα, το οποίο δείχνει ένα μονοπάτι επικοινωνίας, το οποίο δημιουργείται μεταξύ χρηστών κινητών συσκευών, οι οποίοι λειτουργούν σαν αναμεταδότες της πληροφορίας:



Εικόνα 11: Το σχηματιζόμενο μονοπάτι από mobile users [38]

4.1.2. Στρατηγική Δημοπρασίας

Αν αναφερθεί ο κόμβος που λαμβάνει την τιμή ως δημοπράτης και ο κόμβος που θέτει την τιμή ως πλειοδότης. Μία από τις κύριες στρατηγικές κινήσεις ενός δημοπράτη είναι ότι όλες τις φορές θα θέτει μια οριακή μείωση στο budget σε σχέση με το προηγούμενο βήμα. Ωστόσο, η ποινή θα παραμείνει ίδια με το προηγούμενο βήμα.

Προκειμένου να μπορεί να επιλέξει τον κατάλληλο κόμβο, ο δημοπράτης, δεν θα λαμβάνει υπόψη του μόνο τους παράγοντες budget – ποινής, αλλά και επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τον πλειοδότη, που σχετίζονται με το ρίσκο του να μεταδώσει το πακέτο επιτυχώς. Το ρίσκο αυτό μπορεί να μοντελοποιηθεί με έναν συντελεστή που μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ του μηδενός και του ένα και είναι βέβαιο ότι μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τα προφίλ των χρηστών που πλειοδοτούν. Είναι αναμενόμενο ότι σε περίπτωση χρήστη που έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να μεταδώσει το πακέτο επιτυχώς.

Μπορούμε πλέον, να εξειδικεύσουμε την συνάρτηση που χρησιμοποιεί ο δημοπράτης (ας τον συμβολίσουμε με i) σε σχέση με έναν συγκεκριμένο πλειοδότη j :

$$U_{ij} = B_i - k_j - c_i \times (f(OAF_j))$$

Στον παραπάνω τύπο:

- B_i είναι το πραγματικό budget
- k_j είναι η τιμή που δίνεται από τον πλειοδότη j
- c_i είναι ένα αυθαίρετο κόστος για την επιλογή του επόμενου κόμβου προώθησης j και υποδηλώνει το ρίσκο για την επιλογή του j

4.1.3. Στρατηγική Πλειοδοσίας

Δεν θα πρέπει να παραβλέπει κανείς το γεγονός ότι ο χρήστης που πλειοδοτεί, θα πρέπει να λάβει υπόψη του ότι υπάρχουν και άλλοι παίκτες που ορίζουν τις δικές τους τιμές και ότι η απόφαση λαμβάνεται τελικά από τον δημοπράτη, ο οποίος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως λαμβάνει υπόψη και άλλους παράγοντες. Όσο αφορά τις στρατηγικές, αυτές μπορούν να διακριθούν σε 2 κατηγορίες:

- **Στρατηγική Ισορροπίας:** Δεν μπορεί να κανείς να αμφισβητήσει το γεγονός ότι το ποντάρισμα σε τιμή η οποία να κυμαίνεται στα όρια του προστίμου που επιβάλλει είναι μια στρατηγική, η οποία προσπαθεί να κινηθεί

ισορροπημένα. Συγκεκριμένα, η πρόταση που έγινε, αναφέρει ότι η ισορροπία επέρχεται μόνο στην περίπτωση που όλοι οι παίκτες θέτουν την τιμή ίση με το πρόστιμο.

- **Επιθετική Στρατηγική:** Όπως επίσης έχει καταστεί σαφές, κάθε ποντάρισμα εμπεριέχει και το δικό του ρίσκο. Το ρίσκο δεν σχετίζεται μόνο με τις στρατηγικές που ακολουθούνται από κάθε παίκτη, αλλά και με ένα σύνολο παραγόντων σχετιζόμενων με το δίκτυο. Επομένως δεν είναι θεμιτό ο παίκτης να προβαίνει σε πονταρίσματα τα οποία είναι πολύ χαμηλότερα από την ποινή. Εν κατακλείδι, το ύψος του πονταρίσματος θα πρέπει να μεταβάλλεται δυναμικά κατά την διάρκεια του παιχνιδιού, και θα μπορούσε να είναι μια δυναμικά μεταβαλλόμενη τιμή, η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της απόφασης ενός παίκτη σχετικά με το εάν αξίζει ή όχι να πάρει το ρίσκο για μια συγκεκριμένη αλληλεπίδραση και ένα συγκεκριμένο πακέτο.

Χειρισμός της υψηλής πυκνότητας χρησιμοποιώντας θεωρία παιγνίων

Η υπέρ-συμπύκνωση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη αρχιτεκτονική λύση[31], η οποία χρησιμοποιείται για να δώσει λύση στις ανάγκες κάλυψης και χωρητικότητας των 5G δικτύων. Στον συγκεκριμένο αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, διαφορετικοί τύποι μικρών κυψελών χρησιμοποιούνται στην περιοχή κάλυψης μιας μακροκυψέλης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι μικρές κυψέλες αναπαρίστανται

σαν 4G eNBs[32], που είναι διαφορετικές από τις μακροκυψέλες, οι οποίες αποτελούν τα gNBs. Ένας κόμβος του δικτύου μπορεί να αναπτύξει σύνδεση με τις κυψέλες αυτές χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες την ίδια χρονική στιγμή. Εξαιτίας αυτού του τύπου της αρχιτεκτονικής, η κίνηση μπορεί να ανατεθεί σε αυτές τις μικρές κυψέλες. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση του mobile offloading, περισσότεροι χρήστες είναι σε θέση να λαμβάνουν υπηρεσίες, έχοντας στην διάθεσή τους αυξημένη χωρητικότητα δικτύου. Όμως, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι διαφορετικοί τύποι τεχνολογιών[33] που χρησιμοποιούνται, αυξάνουν την ετερογένεια του δικτύου, οδηγώντας με τον τρόπο αυτό σε αύξηση των κοστών λειτουργίας του δικτύου. Προκειμένου να μπορέσουν να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα, χρησιμοποιούνται 2 πολύ σημαντικές λειτουργίες:

- **Mobility Load Balancing (MLB) ή Εξισορρόπηση Φορτίου Κινητικότητας**
- **Mobility Robustness Optimization (MRO) ή Εξισορρόπηση Ανθεκτικότητας Κινητικότητας**

Επισκόπηση των μεθόδων MLB και MRO

Ανάλογα με τα πρότυπα κινητικότητας του χρήστη, οι μερικές κυψέλες είναι δυνατόν να παρουσιάζουν υψηλότερη πυκνότητα σε σχέση με άλλες γειτονικές. Η κίνηση η οποία παρατηρείται στην κυψέλη, η οποία εμφανίζει το φαινόμενο της υπερφόρτωσης μπορεί να μετατεθεί σε όλες κυψέλες οι οποίες δεν είναι τόσο

υπερφορτωμένες. Τέτοιου είδους διεργασίες εξισορρόπησης φορτίου εκτελούνται από την MLB συνάρτηση αυτόματα εντός της μικρής κυψέλης. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι κάθε μικρή κυψέλη μετράει το πραγματικό φορτίο και μοιράζεται την πληροφορία αυτή με τους γείτονές της. Σε περίπτωση που το φορτίο παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με ένα προαποφασισμένο κατώ φλι, τότε ενεργοποιείται αυτόματα η λειτουργία MLB. Προκειμένου να εξισορροπήσει το φορτίο, η συγκεκριμένη συνάρτηση μπορεί να προσαρμόσει την περιοχή κάλυψης, διαφοροποιώντας την μετατόπιση της κυψέλης. Επιπλέον, είναι δυνατόν να τροποποιηθούν και κάποιες παράμετροι του handover.

Στην περίπτωση της MRO λειτουργίας, αυτή προσαρμόζει αυτόματα τις παραμέτρους του handover, προσπαθώντας με τον τρόπο αυτό να ελαχιστοποιήσει τις αποτυχίες που παρατηρούνται κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις στην οποίες το handover μπορεί να ενεργοποιείται νωρίτερα, πολύ συχνά ή συνεχόμενα. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τέτοιου είδους ζητήματα, η λειτουργία MRO προσπαθεί να ομαλοποιήσει τις αντίστοιχες παραμέτρους, στοχεύοντας στην βελτιστοποίηση.

Η σύγκρουση μεταξύ της MLB και της MRO

Οι παράμετροι, που απαιτούν ανάλυση στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι εξής:

- Time to Trigger (TTT)

- Hysteresis (Hyst)
- Cell Individual Offset (CIO)

Η πρώτη παράμετρος χρησιμοποιείται για να δώσει λύση στο φαινόμενο του ping-pong. Η δεύτερη παράμετρος χρησιμοποιείται προκειμένου να γίνει η διαβεβαίωση ότι το γειτονικό κελί είναι πραγματικά αρκετά ισχυρό σε σχέση με αυτό που εξυπηρετεί. Η τελευταία παράμετρος χρησιμοποιείται για την διαχείριση του φορτίου κατά την διάρκεια του handover.

Λαμβάνοντας υπόψη τα όσα αναφέραμε παραπάνω, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι εάν οι παράμετροι Hyst και TTT έχουν μικρές τιμές, τότε είναι πολύ πιθανόν να εμφανίζονται τα συχνά και ping-pong handovers. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η MLB κινείται προς την μείωση των τιμών των 2 αυτών παραμέτρων. Με τον τρόπο αυτό, η κίνηση από την κυψέλη η οποία παρουσιάζει υψηλό φορτίο μεταφέρεται σε γειτονικά κελιά. Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραβλέπουμε το γεγονός ότι το πλήθος των απορριφθέντων και μπλοκαρισμένων κλήσεων μειώνεται. Από την άλλη πλευρά όμως, η δεύτερη λειτουργία, η MRO στοχεύει στην αύξηση των τιμών των 2 παραμέτρων.

Ερχόμενοι στην τρίτη παράμετρο, μέσω της προσαρμογής της, τα όρια των κυψελών μπορούν να μειώνονται ή να αυξάνονται. Επομένως, μειώνοντας την τιμή αυτής της παραμέτρου, οι χρήστες στην υπερφορτωμένη κυψέλη μεταφέρονται στους γείτονες. Για τον λόγο αυτό, η λειτουργία MLB προσπαθεί να μειώσει την τιμή της, ενώ η MRO προσπαθεί να την αυξήσει προκειμένου να

αποφευχθεί το φαινόμενο των handovers που εμφανίζονται νωρίς.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι προφανές ότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη μηχανισμών, που να εντοπίζουν τις συγκρούσεις μεταξύ των 2 λειτουργιών σε ένα 5G δίκτυο.

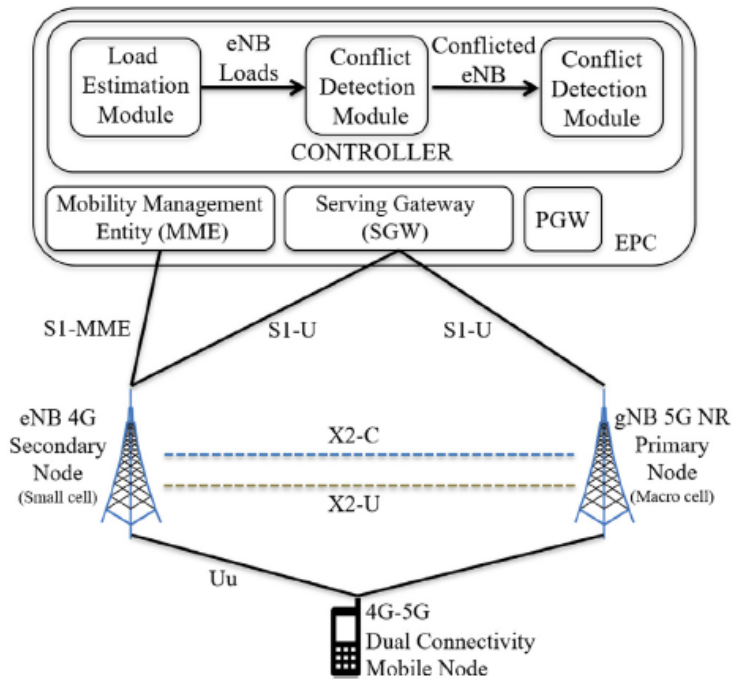
Εξαιτίας του αντικειμένου της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, εστιάζουμε σε μια προσέγγιση βασισμένη στην θεωρία παιγνίων, η οποία προτάθηκε. Η προσέγγιση χρησιμοποιεί τον Αλγόριθμο Κλαδέματος α - β για τον εντοπισμό συγκρούσεων. Προκειμένου να μπορέσει να γίνει η συγκεκριμένη μοντελοποίηση, οι λειτουργίες MLB και MRO αντιμετωπίζονται σαν παίκτες, οι οποίοι παίζουν αντίπαλοι. Λειτουργώντας μέσα σε αυτό το πλαίσιο, θα πρέπει να εργάζονται λαμβάνοντας υπόψη τις κινήσεις του αντιπάλου.

Για τον λόγο αυτό, θα παρουσιαστεί μια δενδρική αναπαράσταση των eNBs και κάθε επίπεδο του δέντρου θα αντιστοιχεί είτε στην λειτουργία MLB είτε στην λειτουργία MRO. Επιπλέον, τα eNBs αναπαρίστανται σαν φύλλα στο δέντρο, έχοντας ως βάρη τις εκτιμώμενες τιμές του φορτίου. Θα πρέπει ακόμη να αναφερθεί ότι εκτίμηση των τιμών αυτών γίνεται χρησιμοποιώντας G/G/1 σύστημα. Κλείνοντας με τα εισαγωγικά, πρέπει να αναφερθεί ότι ο κύριος στόχος του α - β κλαδέματος είναι μείωση του χρόνου εντοπισμού της σύγκρουσης σε δίκτυα τα οποία παρουσιάζουν υψηλό βαθμό πυκνότητας.

4.2.3. Αρχιτεκτονική του Δικτύου

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του δικτύου[31]. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, τα εξωτερικά gNBs λειτουργούν σαν κύριος κόμβος, ενώ τα εσωτερικά eNBs αντιμετωπίζονται σαν δευτερεύον κόμβος. Ο κινητός κόμβος συνδέεται και με τον πρωτεύοντα και τον δευτερεύοντα κόμβο.

Επιπλέον, στην συγκεκριμένη αρχιτεκτονική, οι πρωτεύοντες gNB κόμβοι συνδέονται με το EPC (Evolved Packet Core) και οι άλλοι κόμβοι (eNBs) χρησιμοποιώντας τις διεπαφές S1-U και X2 αντίστοιχα.



Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική Συστήματος για α-β κλάδεμα [31]

4.2. 4. Διαδικασία του α-β κλαδέματος

Τρία είναι τα τμήματα, τα οποία είναι υπεύθυνα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης διαδικασίας:

- Εκτίμηση Φορτίου
- Ανίχνευση Σύγκρουσης
- Επίλυση Σύγκρουσης

Εμείς, θα εστιάσουμε την ανάλυσή μας στο δεύτερο τμήμα, το οποίο εμπεριέχει την τεχνική της θεωρίας παιγνίων.

4.2.4.1. Εκτίμηση φορτίου

Οι λειτουργίες MLB και MRO, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, επηρεάζουν το φορτίο των eNBs με διαφορετικούς τρόπους. Η MLB ενεργοποιείται σε περίπτωση που το φορτίο είναι υψηλό. Από την άλλη πλευρά, η MRO μπορεί να το αυξήσει. Επομένως, προκειμένου να μπορέσει να εντοπιστεί η σύγκρουση, θα πρέπει να γίνει εκτίμηση των τιμών του φορτίου των eNBs. Χρησιμοποιώντας το G/G/1 σύστημα, μπορούν να γίνουν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί (εκτός ορίων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας).

4.2.4.2. Εντοπισμός της σύγκρουσης

Το α - β κλάδεμα αποτελεί μια από τις πλέον συνηθισμένες τεχνικές στην θεωρία παιγνίων, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση των δικτύων 5G. Αν θεωρήσουμε ότι 2 παίκτες παίζουν αντίπαλοι, τότε η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να δώσει λύσει. Στην περίπτωσή μας οι παίκτες είναι οι MLB και MRO, οι οποίες πρέπει με βάση την βασική φιλοσοφία του αλγορίθμου να λειτουργούν σκεπτόμενοι την επόμενη κίνηση του αντιπάλου. Η αντίστοιχη η οποία έγινε ήταν η εξής:

- Η MLB συνάρτηση αντιστοιχίστηκε με την τιμή α
- Η MRO συνάρτηση αντιστοιχίστηκε με την τιμή β .

Ο παρακάτω πίνακας είναι αντιπροσωπευτικός και δείχνει τον τρόπο με τον οποίο προσαρμόστηκε ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, έτσι ώστε να δώσει λύσει

στο πρόβλημα του εντοπισμού των συγκρούσεων:

Πίνακας 4: Αντιστοιχίες μεταξύ αλγορίθμου α-β κλαδέματος και Μηχανισμού Εντοπισμού Συγκρούσεων

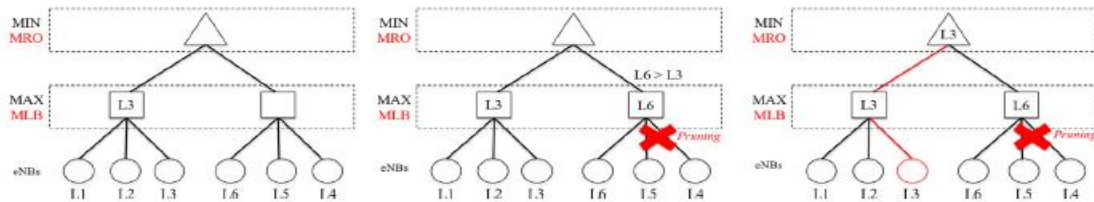
α-β Αλγόριθμος Κλαδέματος	Μηχανισμός Εντοπισμού Συγκρούσεων
Παίκτης 1	MLB
Παίκτης 2	MRO
α	MLB
β	MRO
Κόμβοι	eNBs
Τελικός Κόμβος	ENB που παρουσιάζει σύγκρουση
MAX	MLB
MIN	MRO

Όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα, οι τιμές L1 έως L6 αντιπροσωπεύουν την εκτίμηση φορτίου. Μια επιπλέον θεώρηση η οποία γίνεται, είναι ότι οι τιμές στα φύλλα είναι διατεταγμένες σε αύξουσα σειρά. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση ότι η λειτουργία MLB λειτουργεί στο πρώτο επίπεδο του δέντρου, έτσι ώστε να περιορίσει τις υψηλές τιμές του φορτίου. Επομένως, αυτό που μπορεί να κανείς να ισχυριστεί είναι ότι η MLB επιλέγει τα εκείνα τα eNBs μεταξύ των φύλλων που παρουσιάζουν υψηλό φορτίο.

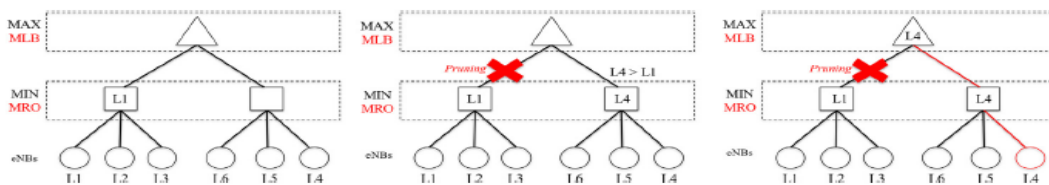
Στην συνέχεια, θεωρούμε ότι εφαρμόζεται η λειτουργία MRO στο πρώτο επίπεδο

του δέντρου. Αντίθετα με την προηγούμενη περίπτωση, επιλέγει τα eNBs με το χαμηλότερο φόρτο, που έχουν την πιθανότητα εμφάνισης υψηλού handover.

Οι κόμβοι, οι οποίοι εντοπίζονται σαν αποτέλεσμα του α-β κλαδέματος είναι δυνητικοί κόμβοι για εμφάνιση σύγκρουσης.



Εικόνα 13: Αλγόριθμος α-β κλαδέματος -1 [31]



Εικόνα 14: Αλγόριθμος α-β κλαδέματος - 2 [31]

function alphabeta (node, α , β , MLB)

if node is a leaf then

 return the load of eNB

end if

if MLB activated then

 value = $-\infty$

 for each child of node do

 value = alphabeta (child, α , β , false)

$\alpha = \max(\alpha, \text{value})$

 if $\alpha \geq \beta$ then

 break

 end if

 end for

 return value

else***MRO activated

 value = ∞

 for each child of node do

 value = alphabeta (child, α , β , true)

$\beta = \min(\beta, \text{value})$

 if $\alpha \geq \beta$ then

 break

 end if

 end for

 return value

end if

3. Η θεωρία παιγνίων για ανάθεση πόρων βασιζόμενη σε QoE

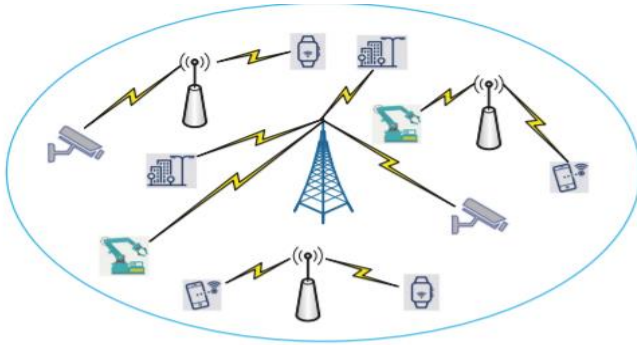
Στόχος της συγκεκριμένης προσέγγισης είναι να δώσει λύση στο πρόβλημα της κατανομής πόρων σε 5G-IoT δίκτυο[30]. Μια βασική θεωρία, η οποία γίνεται στην συγκεκριμένη προσέγγιση είναι ότι υπάρχουν κάποια έξυπνα αντικείμενα (Smart Objects – SOs), τα οποία έχουν πρόσβαση στο 5G δίκτυο και γίνεται μια προσπάθεια να επιτευχθεί μια αποτελεσματική ανάπτυξη του IoT, χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με την τοποθεσία και την απόσταση. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να μελετηθεί το πρόβλημα ανάθεσης του καναλιού χρησιμοποιώντας θεωρία παιγνίων έτσι ώστε να γίνεται ανάλυση των κατανεμημένων αποφάσεων που λαμβάνονται από τα SOs.

4.3.1. Μοντέλο του συστήματος

Θα θεωρήσουμε ένα 5G – IoT δίκτυο, το οποίο αποτελείται από:

- Β σταθμούς βάσης
- Κ διακριτά SOs
- Ν ορθογώνια κανάλια

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική IOT - 5G Δικτύου [30]

Ας συμβολίσουμε με b_k τον σταθμό βάσης που βρίσκεται στην υπηρεσία του αντικειμένου k . Επιπλέον, ας θεωρήσουμε ότι κάθε αντικείμενο SO επιλέγει ένα κανάλι τη μετάδοση δεδομένων και το εύρος ζώνης για κάθε κανάλι είναι το ίδιο. Επιπροσθέτως, ας συμβολίσουμε με a_k το κανάλι το οποίο έχει επιλεγεί από το αντικείμενο k και με A_k το σύνολο των πιθανών επιλογών για το k .

Επομένως:

- $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ αντιστοιχεί στο προφίλ επιλογής καναλιού για όλα τα αντικείμενα και
- A αντιστοιχεί στον χώρο όλων των πιθανών επιλογών για όλα τα αντικείμενα.

Όπως είναι επίσης γνωστό, στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet Of Things), διαφορετικά αντικείμενα εκτελούν διαφορετικές εφαρμογές. Επομένως τα SOs, χρειάζεται να μεταφέρουν διαφορετικά μεγέθη δεδομένων, έτσι ώστε να αποκομίσουν την ίδια εμπειρία χρήστη στην ίδια περίοδο του χρόνου.

Προσπαθώντας να μαθηματικοποιηθούν τα παραπάνω, το σύνολο των τύπων

υπηρεσιών που απαιτούνται από τα αντικείμενα αναπαρίσταται σαν $S = \{1, 2, \dots, S\}$

και με s_k συμβολίζεται ο τύπος της εκτελούμενης υπηρεσίας από το αντικείμενο k . Επιπλέον, αν συμβολίσουμε με C_{sk} το πλήθος των δεδομένων που απαιτούνται από το αντικείμενο k σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, τότε ο χρόνος μετάδοσης για το αντικείμενο k ορίζεται ως εξής:

$$T_k = C_{sk} / R_k, \text{ όπου } R_k \text{ είναι ο ρυθμός που επιτυγχάνεται.}$$

4.3.2. QoE Μετρική

Προκειμένου να μπορεί να μετρηθεί το QoE (Quality of Experience), προτάθηκε ένα πρότυπο, το οποίο ονομάστηκε MOS (Mean Opinion Score), το οποίο κυμαίνεται μεταξύ του 1 και του 5. Ο τύπος για τον υπολογισμό του MOS δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{MOS}_k(a) = \begin{cases} 5, & T_k \leq \tau_{1,s_k}, \\ \alpha \ln \frac{\tau_{1,s_k} + \tau_{2,s_k} - T_k}{\beta}, & \tau_{1,s_k} < T_k < \tau_{2,s_k}, \\ 1, & T_k \geq \tau_{2,s_k}, \end{cases}$$

4.3.3. Ο Αλγόριθμος

Χωρίς να εισερχόμαστε σε περαιτέρω λεπτομέρειες, οι οποίες ξεφεύγουν από τα όρια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζουμε τον αποκεντροποιημένο αλγόριθμο[30], ο οποίος προσπαθεί να δώσει λύση στο πρόβλημα της χρήσης του καναλιού έχοντας την παρακάτω λογική:

- Μια προσέγγιση που προσεγγίζει την καλύτερη ισορροπία κατά Nash είναι μια προσέγγιση που προσεγγίζει την βέλτιστη δυνατή λύση για το πρόβλημα.

Προτεινόμενος Αλγόριθμος

1. Αρχικοποίηση της μεταβλητής a^t
2. Τίθεται ο χρόνος $t = 0$ και κάθε παίκτης k τυχαία επιλέγει μια ενέργεια $a_k(0)$
3. Για κάθε χρονική στιγμή t ,
4. **Βήμα 1:** Τυχαία επιλέγεται ένας παίκτης k , σύμφωνα με μια συγκεκριμένη πιθανοτική κατανομή. Ο παίκτης k , επιλέγει μια ενέργεια a_k από το σύνολο A_k , ενώ οι ενέργειες των υπολοίπων παικτών παραμένουν αμετάβλητες.
5. **Βήμα 2:** Ο παίκτης k ανανεώνει την επιλογή του σύμφωνα με τον παρακάτω κανόνα:

$$\begin{cases} p_k^{a_k}(t) = \frac{(1+\lambda)^{\gamma u_k(a_k, a_{-k}(t-1))}}{\max\{(1+\lambda)^{\gamma u_k(a(t-1))}, (1+\lambda)^{\gamma u_k(a_k, a_{-k}(t-1))}\}} \\ p_k^{a_k(t-1)}(t) = 1 - p_k^{a_k}(t), \end{cases}$$

όπου είναι η παράμετρος μάθησης και γ είναι ο συντελεστής εξομάλυνσης (smoothing factor). Εάν έχει επιλεγεί η ενέργεια a_k , τότε $a^*(t) = a(t)$, διαφορετικά $a^*(t) = a^*(t-1)$.

6. Βήμα 3: Για κάθε t , υπάρχει μια πιθανότητα μετάβασης $p_k(t)$ του παίκτη k , για κάθε παίκτη που προσεγγίζει το 1. Αν είναι μεγαλύτερη από 0.99 τότε σταμάτα, διαφορετικά, επέστρεψε στο Βήμα 1.

7. Εάν το $a' = a^*$, τότε τερμάτισε, διαφορετικά πήγαινε στην γραμμή 2, θέσε $a' = a^*$ σε περίπτωση που το a^* είναι μια καλύτερη στρατηγική για ανάθεση του καναλιού.

Για τον παραπάνω αλγόριθμο έχει αποδειχτεί ότι συγκλίνει στο καλύτερο σημείο ισορροπίας του παιχνιδιού με πολύ υψηλή πιθανότητα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, παρουσιάσαμε τεχνικές της θεωρίας των παιγνίων, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν με αποδοτικό τρόπο στην ανάθεση και διαχείριση πόρων στην περίπτωση των δικτύων 5G.

Πρόκειται για τεχνικές αρκετά ενδιαφέρουσες με ακόμη πιο ενδιαφέροντα πειραματικά αποτελέσματα, οι οποίες μπορούν να επεκταθούν σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό, έτσι ώστε να υποστηρίξουν ακόμη περισσότερο την υποδομή των δικτύων 5G.

Σαν μελλοντική εργασία προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση θα μπορούσε για παράδειγμα να αποτελέσει και η εξέταση άλλων αλγορίθμων, ιδίως ευρετικής αναζήτησης, που θα μπορούσαν να λάβουν υπόψη διάφορους παράγοντες και να οδηγήσουν στην επίλυση προβλημάτων. Χαρακτηριστικά παράδειγμα θα μπορούσαν να αποτελέσουν οι αλγόριθμοι A^* ή Best First Search. Με άλλα λόγια, αυτό το οποίο προτείνεται είναι να ξεφύγουμε από τα στενά όρια της θεωρίας παιγνίων και να εξεταστούν εναλλακτικοί σε συγγενικοί κλάδοι που θα μπορούσαν να δώσουν λύση στο ζητούμενο.

Δεν θα πρέπει όμως να παραβλέψουμε το γεγονός ότι και οι ήδη υπάρχουσες στρατηγικές, θα μπορούσαν να ελεγχθούν περαιτέρω με ακόμη περισσότερες παραμέτρους, και επιπλέον να δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες με μεγαλύτερο πλήθος χρηστών για να ελεγχθεί η αξιοπιστία τους. Ο έλεγχος και η δοκιμή σε μεγάλο όγκο χρηστών είναι πλέον ένα εφικτό σενάριο στην εποχή μας,

καθώς όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές και προηγουμένως έχει αρχίσει να εδραιώνεται η χρήση των δικτύων 5G.

Επιπλέον, ο κλάδος της θεωρίας παιγνίων θα μπορούσε να λειτουργήσει συνδυαστικά και με την τεχνητή νοημοσύνη, σε μια εποχή που ο τεράστιος όγκος δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί για να κατασκευάζονται μοντέλα, που θα συνεισφέρουν στην παροχή υψηλού επιπέδου παρεχόμενων υπηρεσιών και να οδηγήσουν στην εμφάνιση της επόμενης γενιάς δικτύων, που είναι αρκετά υποσχόμενα και ελπιδοφόρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

- [1]. Noohani, Z., Magsi, K., A Review Of 5G Technology: Architecture, Security and wide Applications
- [2]. Khan, M. S. A. (2019). Scope of BlockChain Technology in Energy Sector.
- [3]. Brilliantova, V., & Thurner, T. W. (2019). Blockchain and the future of energy. *Technology in Society*, 57, 38-45.
- [4]. Dr. Harrison J. Son and Chris Yoo, E2E Network Slicing - Key 5G technology: What is it? Why do we need it? How do we implement it? <https://bit.ly/2ylxqyC>
- [5]. E2E Architecture Overview, available on: <https://bit.ly/2SRd0u6>
- [6]. 3GPP, "Study on management and orchestration of network slicing for next generation network", release-15, v. 15.1.0. In TR 28.801, Jan 2018
- [7]. 3GPP, "System architecture for the 5g system; stage 2", release-15, v. 15.1.0. In TS 23.501, Mar 2018.
- [8]. 3GPP, "Procedures for the 5g system; stage 2", release-15, v. 15.1.0. In TS 23.502, Mar 2018.
- [9]. Bianchi, G., Biton, E., Blefari-Melazzi, N., Borges, I., Chiaraviglio, L., de la Cruz Ramos, P., & Niculescu, D. (2016). Superfluidity: a flexible functional architecture for 5G networks. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 27(9), 1178-1186.
- [10]. He, Qi & Ju, Yunxia & Wang, Jianguo & Zhao, Gang & Qin, Haiyong & Zhao, Kai & Zhou, Yilan & Li, Min & Dong, Qi. (2018). Network Slicing to Enable Resilience and

High Availability in 5G Mobile Telecommunications. MATEC Web of Conferences. 246. 03028. 10.1051/matecconf/201824603028.

[11] Bhuiyan, B., AN OVERVIEW OF GAME THEORY AND SOME APPLICATIONS

[12]. Aumann, R, and S. Hart (eds.). (1992). Handbook of Game Theory. Amsterdam: North- Holland.

[13]. Aumann, R. (1991). Game Theory. In Eatwell John, Milgate Murray, and Newman Peter (eds.). The New Palgrave: A Dictionary of Economics, London: Palgrave Macmillan.

[14]. Bicchieri, Cristina. (2007). Game Theory: Some Personal Reflections. In V.F. Hendricks and P.G. Hansen (eds.), Game Theory: 5 Questions, Copenhagen: Automatic Press

[15]. Bicchieri, Cristina, and Sillari, Giacomo. (2005). Game Theory and Decision Theory. In Borchert, Donald (ed.). The Encyclopedia of Philosophy, 2nd ed., Detroit: Macmillan.

[16]. Crider, Lucrecia. (2012). Introducing Game Theory and its Applications. Delhi: Orange Apple Publication.

[17]. Prisner, Erich. (2014). Game Theory Through Examples. Washington, DC: The Mathematical Association of America.

[18]. Geckil, Ilhan, and Anderson, Patrick. (2010). Applied Game Theory and Strategic Behavior. London: CRC Press.

[19]. Nicola De Nitti (2014). An Introduction to Game Theory and Its Applications. Retrieved on 17.08.2017 from: [http://www.matematicamente.it/21 gennaio/](http://www.matematicamente.it/21_gennaio/)

[20]. Rapoport, Anatol (ed.). (1974). Game Theory as a Theory of Conflict Resolution.

USA: D. Reidel Publishing Company.

[21]. Samuelson, P A. and Nordhaus, W.D. (2010). Economics. New York: McGraw Hill.

[22]. Sandler, T, and Arce M, Daniel. (2003). Terrorism and Game Theory. vol. 34, issue 3, International Simulation and Gaming Association (ISAGA).

[23]. Straffin, Philip. (1993). Game Theory and Strategy.

Washington,

[24] Gupta, A., Kumar R., A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies

[25]. A. Osseiran et al., "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 5, pp. 26#35, May 2014.

[26]. C.-X. Wang et al., "Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 122#130, Feb. 2014.

[27]. Καραγιάννης Ι, Οικονομική Θεωρία και Αλγόριθμοι

[28]. <https://blogs.cisco.com/sp/5gwebplayers>

[29]. https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2410-2017-PDF-E.pdf

[30]. Dai, H., Zhang, H., Wang, W., A game-theoretic learning approach to QoE-driven resource allocation scheme in 5G-enabled IoT

[31]. Bilen, T., Canberk, B., Overcoming 5G ultra-density with game theory: Alpha-beta pruning aided conflict detection

[32]. W. Yu, H. Xu, H. Zhang, D. Griffith, N. Golmie, Ultra-dense networks: survey of

state of the art and future directions, in: 2016 25th International Conference on Computer Communication and Networks, ICCCN, 2016, pp. 1–10

[33]. X. Ge, S. Tu, G. Mao, C. Wang, T. Han, 5G ultra-dense cellular networks, *IEEE Wirel. Commun.* 23 (2016) 72–79

[34]. Mudassir, A., Hassan, S., Pervaiz, H., Akhtar, S., Kamel, H., Tafazolli, R., Game theoretic efficient radio resource allocation in 5G resilient networks: A data driven approach

[35]. M. A.M. Albreem, A. A. El-Saleh, M. Isa, W. Salah, M. Jusoh, M. M. Azizan, A. Ali, in 2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA). Green Internet of things (IoT): an overview, (2017), pp. 1–6

[36]. W. Tan, M. Matthaiou, S. Jin, X. Li, Spectral efficiency of dft-based processing hybrid architectures in massive mimo. *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 6(5), 586–589 (2017)

[37]. A. Musaddiq, Y. B. Zikria, O. Hahm, H. Yu, A. K. Bashir, S. W. Kim, A survey on resource management in IoT operating systems. *IEEE Access.* 6, 8459–8482 (2018)

[38]. Antoniou, J., Using Game Theory to Address Data Mobile Offloading in 5G