

Βέλτιστη κατανομή πόρων του συστήματος σε ασύρματα
DS-CDMA δίκτυα οπτικών αισθητήρων

Η ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

υποβάλλεται στην
ορισθείσα από την Γενική Συνέλευση Ειδικής Σύθεσης
του Τμήματος Πληροφορικής Εξεταστική Επιτροπή

από την

Αικατερίνη Πανδρεμμένου

ως μέρος των Υποχρεώσεων για τη λήψη του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ
ΜΕ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗ
ΣΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Δεκέμβριος 2010

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Λυσίμαχο-Παύλο Κόντη, αρωγό σε αυτή μου την προσπάθεια, για τη συνεχή και άψογη καθοδήγησή του καθ'όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Επιπλέον, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Παρσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για τις πολύτιμες συμβουλές και την υποστήριξή του σε θέματα βελτιστοποίησης. Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους συναδέλφους στο γραφείο για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας, ενώ τέλος, ευχαριστώ τους δικούς μου ανθρώπους, αυτούς που στάθηκαν δίπλα μου με κατανόηση και υπομονή και με στήριξαν όλο αυτό το διάστημα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Ασύρματες Τεχνολογίες	1
1.2	Αντικείμενο της Διατριβής	2
1.3	Διάρθρωση της Διατριβής	5
2	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	6
2.1	Αρχιτεκτονικές Δικτύων και Cross-Layer Σχεδιασμός	6
2.2	Από κοινού κωδικοποίηση Πηγής και Καναλιού	10
2.3	CDMA	12
2.3.1	DS-SS	13
2.4	Κωδικοποίηση Πηγής	18
2.4.1	H.264/AVC	19
2.4.2	VLC και NAL	22
2.5	Κωδικοποίηση Καναλιού	24
2.5.1	Τεχνικές αντιμετώπισης σφαλμάτων	24
2.5.2	Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων	25
2.5.3	Κώδικες Ομάδας	25
2.5.4	Συνελικτικοί Κώδικες	26
2.5.5	Αποδεκατισμένοι Συνελικτικοί Κώδικες Συμβατοί με κάποιο Ρυθμό	28
2.6	Υπολογισμός Αναμενόμενης Παραμόρφωσης του βίντεο	32
3	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	36
3.1	Ελαχιστοποίηση της Μέσης Παραμόρφωσης	37
3.2	Ελαχιστοποίηση της Μέγιστης Παραμόρφωσης	37
3.3	Διακριτή Περίπτωση των Παραμέτρων Μετάδοσης	38
3.4	Βελτιστοποίηση των Αλγορίθμων και Υπολογιστική Πολυπλοκότητα	39
3.5	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	40
3.6	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	42
3.7	Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού	47
3.7.1	Αλγόριθμος Particle Swarm Optimization	48
3.8	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	56

3.9	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	58
4	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΥΣΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΤΟΥ NASH	62
4.1	Βασικές Έννοιες της Θεωρίας Παιγνίων	63
4.2	Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash	64
4.3	Διακριτή Περίπτωση των Παραμέτρων Μετάδοσης	70
4.4	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	71
4.5	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	76
4.6	Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού	77
4.7	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	78
4.8	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	89
5	ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΥΣΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΑΙ-SMORODINSKY	91
5.1	Η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky	91
5.2	Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού	95
5.3	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	97
5.4	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων	110
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	112
6.1	Επίλογος	112
6.2	Μελλοντική Εργασία	113

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1.1	Σχηματικό διάγραμμα δικτύου οπτικών αισθητήρων.	4
2.1	Το μοντέλο αναφοράς OSI.	8
2.2	Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP σε σχέση με το μοντέλο αναφοράς OSI. . .	9
2.3	Ένα Cross-Layer δίκτυο για JSCC θεώρηση.	11
2.4	DS-CDMA σήμα.	14
2.5	Παραλήπτης DS-CDMA σήματος.	14
2.6	Το πλάτος και η περίοδος του σήματος.	15
2.7	Εισερχόμενο σήμα και BPSK έξοδος.	16
2.8	Η δομή του κωδικοποιητή AVC.	20
2.9	Τα λειτουργικά τμήματα του κωδικοποιητή AVC.	21
2.10	Η μορφή μιας μονάδας NAL.	22
2.11	Συνελικτικός κωδικοποιητής.	27
2.12	Δύο συνελικτικοί (2,1,3) κωδικοποιητές.	29
2.13	Πίνακας αποδεκατισμού με τιμές για τα c_d , ανάλογα με το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και την απόσταση του κώδικα, για τους RCPC κώδικες, όταν έχουμε 4 καταχωρητές μνήμης και η περίοδος του κώδικα είναι 8. . . .	31
2.14	Με δεδομένο BER υπολογίζουμε την παραμόρφωση.	33
3.1	Σύγκριση των PSNR των 100 κόμβων, γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για το MAD κριτήριο, με bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 20MHz. . .	46
3.2	Σύγκριση των PSNR των 100 κόμβων, γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για το MMD κριτήριο, με bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 20MHz. . .	46
3.3	Τοπολογία δακτυλίου.	49
3.4	Ένα σμήνος ύστερα από διάφορες επαναλήψεις του αλγορίθμου PSO.	55
4.1	Κυρτά και μη-κυρτά σύνολα.	66
4.2	(α)Εφικτό σύνολο και (β)εφικτό σύνολο στο οποίο επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση.	66
4.3	Αποτελεσματικές και μη-Αποτελεσματικές κατά Παρέτο κατανομές.	68
4.4	Ανεξαρτησία των μη Σχετικών Εναλλακτικών.	69
4.5	Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 90 κόμβους γρήγορης κίνησης και 10 κόμβους αργής κίνησης.	82

4.6	Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 70 κόμβους γρήγορης κίνησης και 30 κόμβους αργής κίνησης.	82
4.7	Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 50 κόμβους γρήγορης κίνησης και 50 κόμβους αργής κίνησης.	83
4.8	Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 30 κόμβους γρήγορης κίνησης και 70 κόμβους αργής κίνησης.	83
4.9	Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 10 κόμβους γρήγορης κίνησης και 90 κόμβους αργής κίνησης.	84
5.1	Ατομική Μονοτονία της λύσης KSBS.	94
5.2	Ατομική Μονοτονία της λύσης KSBS με την $F(\mathbf{U}, d)$ να αποτελεί αποτελεσματικό κατά Παρέτο σημείο του συνόλου \mathbf{U}'	94
5.3	Γραφική αναπαράσταση της λύσης KSBS.	96
5.4	Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 90 κόμβους γρήγορης κίνησης και 10 κόμβους αργής κίνησης.	103
5.5	Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 70 κόμβους γρήγορης κίνησης και 30 κόμβους αργής κίνησης.	103
5.6	Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 50 κόμβους γρήγορης κίνησης και 50 κόμβους αργής κίνησης.	104
5.7	Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 30 κόμβους γρήγορης κίνησης και 70 κόμβους αργής κίνησης.	104
5.8	Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 10 κόμβους γρήγορης κίνησης και 90 κόμβους αργής κίνησης.	105

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

3.1	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.	43
3.2	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.	43
3.3	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.	43
3.4	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.	44
3.5	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.	44
3.6	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.	44
3.7	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.	45
3.8	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.	45
3.9	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.	59
3.10	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.	59
3.11	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.	59

3.12	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.	60
3.13	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.	60
3.14	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.	60
3.15	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.	61
3.16	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.	61
4.1	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.	74
4.2	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.	74
4.3	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.	75
4.4	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.	75
4.5	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(28,28)$	85
4.6	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(24,24)$	85
4.7	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$	85
4.8	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(26,26)$	86

4.9	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(23,23)$.	86
4.10	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.	86
4.11	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(25,25)$.	87
4.12	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(23,23)$.	87
4.13	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.	87
4.14	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(22,22)$.	88
4.15	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.	88
4.16	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(18,18)$.	88
5.1	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(28,28)$.	106
5.2	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(24,24)$.	106
5.3	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.	106
5.4	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(26,26)$.	107

5.5	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(23,23)$	107
5.6	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$	107
5.7	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(25,25)$	108
5.8	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(23,23)$	108
5.9	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$	108
5.10	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(22,22)$	109
5.11	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$	109
5.12	Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(18,18)$	109

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αικατερίνη Πανδρεμμένου του Χρήστου και της Ευδοξίας. Msc, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Δεκέμβριος, 2010. Βέλτιστη κατανομή πόρων του συστήματος σε ασύρματα DS-CDMA δίκτυα οπτικών αισθητήρων. Επιβλέπων: Λυσίμαχος-Παύλος Κόντης.

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν ενεργό ερευνητικό πεδίο τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, τα δίκτυα οπτικών αισθητήρων τα οποία αποτελούν ένα είδος ασύρματων δικτύων αισθητήρων, απαρτίζονται από συσκευές καμερών που βρίσκονται διαμοιρασμένες σε κάποιο χώρο ώστε να καταγράφουν και να επεξεργάζονται εικόνες μιας σκηνής τραβηγμένες από διάφορες οπτικές γωνίες.

Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων στο οποίο η πρόσβαση γίνεται με τη μέθοδο DS-CDMA. Στο δίκτυο αυτό οι κόμβοι διαθέτουν κάμερες οι οποίες καταγράφουν σκηνές διαφόρων επιπέδων κίνησης. Οι σκηνές που περιλαμβάνουν χαμηλή κίνηση χρειάζονται λιγότερα bits για την κωδικοποίησή τους, ενώ παράλληλα έχουν στη διάθεση τους περισσότερα bits για την κωδικοποίηση του καναλιού. Ισχυρότερη κωδικοποίηση του καναλιού σημαίνει πως οι κόμβοι είναι σε θέση να αποστέλλουν δεδομένα με χαμηλότερη ισχύ, εξοικονομώντας μπαταρία και μειώνοντας τις παρεμβολές στους άλλους κόμβους. Για το λόγο αυτό, καθίσταται αναγκαία η βέλτιστη κατανομή του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, του ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού, και των ισχύων μετάδοσης, ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου.

Στη διατριβή αυτή βασιστήκαμε σε ένα σχεδιασμό ως προς πολλά επίπεδα (cross-layer) ώστε να μπορούν τα διάφορα επίπεδα του δικτύου να ανταλλάσουν πληροφορίες μεταξύ τους, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση στο δίκτυο, ενώ για να κατανεύσουμε τους διαθέσιμους πόρους θεωρήσαμε τέσσερα εναλλακτικά κριτήρια, όλα υπό τον περιορισμό κάποιου αρχικά ορισμένου μέγιστου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Τα δύο πρώτα κριτήρια, Ελαχιστοποίησης της Μέσης Παραμόρφωσης (MAD) και Ελαχιστοποίησης της Μέγιστης Παραμόρφωσης (MMD), βασίζονται στην ελαχιστοποίηση της μέσης και της μέγιστης παραμόρφωσης του δικτύου αντίστοιχα, ενώ τα άλλα δύο, Λύση Διαπραγμάτευσης του Nash (NBS) και Λύση Διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky (KSBS), βασίζονται στη λογική της διαπραγμάτευσης, από τη θεωρία παιγνίων. Σε όλα τα κριτήρια θεωρήσαμε συνεχείς τιμές για τις ισχύς, διατηρώντας διακριτές τιμές για τους ρυθμούς κωδικοποίησης πηγής και καναλιού. Τα προβλήματα βελτιστοποίησης μιστών ακεραίων που προέκυψαν, επιλύθηκαν με την εφαρμογή του αλγορίθμου Particle Swarm Op-

timization. Στο κριτήριο NBS προτείναμε νέους ορισμούς για τη συνάρτηση ωφέλειας και το σημείο διαφωνίας, ενώ το κριτήριο KSBS εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην παρούσα διατριβή για να επιλύσει το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των πόρων του συστήματος. Με δεδομένη την περιγραφική φύση της αξιωματικής διαπραγμάτευσης για το κριτήριο KSBS, προσεγγίσαμε τη λύση στο πρόβλημα αυτό γεωμετρικά.

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων διαπιστώσαμε ότι το κάθε κριτήριο, για τις ίδιες παραμέτρους, αποδίδει διαφορετικές τιμές για τα PSNR των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης, και επομένως ανάλογα με τις απαιτήσεις τις εκάστοτε εφαρμογής επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το πιο κατάλληλο από αυτά.

EXTENDED ABSTRACT IN ENGLISH

Pandremmenou, Aikaterini, C. Msc, Computer Science Department, University of Ioannina, Greece. December, 2010. Optimal resource allocation for wireless DS-CDMA visual sensor networks. Thesis Supervisor: Lisimachos P. Kondi.

Sensor networks have been a very active research topic during the last few years. Specifically, visual sensor networks which may be a type of wireless sensor networks, consist of spatially distributed smart camera devices capable of processing and fusing images of a scene from a variety of viewpoints into some form more useful than the individual images.

In this thesis, we consider a wireless DS-CDMA visual sensor network which is comprised of typically low-weight distributed sensor nodes that may be imaging scenes with varying levels of motion. Nodes that image low-motion scenes will require a lower source coding rate, so they will be able to transmit at lower power. This will both increase battery life and reduce interference to other nodes. For this reason, the optimal source coding rate, channel coding rate and transmission power allocation amongst the nodes of the network is necessary.

We used a cross-layer optimization technique that operates across the physical layer, the data link layer, and the application layer of the system. At the application layer, the source coding rate for video compression is determined. At the data link layer, the channel coding rate is selected. And at the physical layer, the transmission power is determined. A centralized control unit at the network layer determines how network resources should be allocated amongst the nodes.

Furthermore, we considered four optimization criteria in order to tackle the problem of optimal resource allocation. The constraint for all criteria is that the chip rate be the same for all nodes. The first criterion, Minimize Average Distortion (MAD), minimizes the average video distortion of the nodes and the second one, Minimize Maximum Distortion (MMD), minimizes the maximum distortion among the nodes. The other two criteria, Nash Bargaining Solution (NBS) and Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution (KSBS) respectively, are based on bargaining, from game theory.

In all criteria, the transmission powers are allowed to take continuous values, whereas the source and channel coding rates can assume only discrete values. Thus, the resulting optimization problems lie in the field of mixed-integer optimization tasks and are solved using Particle Swarm Optimization. For the NBS criterion, the utility function and the

disagreement point are defined differently than in previous work. Moreover, axiomatic bargaining is descriptive in its nature and it does not offer practical aid on how to reach the outcomes implied by the axioms in practice. Thus, for the KSBS we approached the solution to our optimization problem geometrically.

Our experimental results confirmed that minimizing the average distortion among all nodes favors the low-motion nodes, which always have a higher PSNR than the high-motion nodes. On the other hand, minimizing the maximum distortion among the nodes leads to equal distortions (and PSNR) between low-motion and high-motion nodes. The NBS can be seen as a compromise between MAD and MMD, since low-motion nodes always get a significantly higher PSNR than with MMD and the high-motion nodes also get a higher PSNR than with MAD. Finally, the KSBS offers high PSNR values not only to low-motion nodes, but also to high-motion nodes, especially when low-motion nodes outnumber high-motion nodes. Thus, according to each application-specific requirements, we can choose to use the most appropriate criterion of them.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

-
- 1.1 Ασύρματες Τεχνολογίες
 - 1.2 Αντικείμενο της Διατριβής
 - 1.3 Διάρθρωση της Διατριβής
-

1.1 Ασύρματες Τεχνολογίες

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι ασύρματες επικοινωνίες και τα ασύρματα δίκτυα γνώρισαν τεράστια εμπορική επιτυχία εξαιτίας πολλών καινούργιων ασύρματων τεχνολογιών και βιομηχανικών προτύπων. Σήμερα, τα κινητά τηλέφωνα και οι δορυφόροι συγκαταλέγονται στις κυριότερες εφαρμογές των ασύρματων δικτύων.

Οι ασύρματες τεχνολογίες παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε σχέση με τις αντίστοιχες ενσύρματες. Η βασική τους διαφορά είναι ότι στις ασύρματες επικοινωνίες, δεν χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης κάποιος τύπος καλωδίου. Επιπλέον, κάποια χαρακτηριστικά της ασύρματης μετάδοσης όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και η σκίαση (shadowing), επιδρούν αρνητικά στο κανάλι καθιστώντας προβληματική την ασύρματη μετάδοση πληροφοριών υψηλών ταχυτήτων. Κατά τη μετάδοση δεδομένων μέσω ασύρματων καναλιών, προκύπτουν λάθη τα οποία οφείλονται κυρίως στη διάλειψη πολλαπλών διαδρομών (multi-path fading) και στις παρεμβολές (interferences) από τα άλλα κανάλια.

Οι έως τώρα ασύρματες τεχνολογίες, δεν παρέχουν αρκετή υποστήριξη για εφαρμογές πολυμέσων καθώς οι περισσότερες έχουν σχεδιαστεί με βάση μία επιπεδοποιημένη αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων (layered protocol architecture) που αποτελεί τη βάση για τη σχεδίαση του δικτύου. Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα διαδικτύου βασίστηκαν στην υπόθεση ότι όλες οι απώλειες πακέτων προκύπτουν από τη συμφόρηση στο δίκτυο, κάτι που προφανώς δεν ισχύει για τα ασύρματα δίκτυα.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν επίσης απασχολήσει την επιστήμη των υπολογιστών και τις τηλεπικοινωνίες. Η ανάπτυξή τους προέκυψε από την ανάγκη για εποπτεία

του πεδίου των μαχών σε διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές των δικτύων αυτών αρχικά αφορούσαν στη μετάδοση βαθμωτών πληροφοριών (σήματα μιας διάστασης) όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η δόνηση, η πίεση και άλλα. Πιο συγκεκριμένα, μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο κάποιου πυρηνικού αντιδραστήρα, για την ανίχνευση φωτιάς, την πρόβλεψη σεισμών και σε μία πληθώρα άλλων εφαρμογών.

Τα δίκτυα οπτικών αισθητήρων με τα οποία ασχολούμαστε στην παρούσα διατριβή και τα οποία αποτελούν ένα είδος ασύρματων δικτύων αισθητήρων, αποτελούνται από συσκευές “έξυπνων” καμερών που βρίσκονται διαμοιρασμένες σε κάποιο χώρο. Οι κάμερες αυτές είναι ικανές όχι μόνο να καταγράφουν εικόνες αλλά και να επεξεργάζονται εικόνες μιας σκληρής τραβηγμένες από διάφορες οπτικές γωνίες και να τις συνθέτουν σε κάποια πιο χρήσιμη μορφή. Για το λόγο λοιπόν ότι τέτοια δίκτυα αισθητήρων μπορούν να λαμβάνουν και να επεξεργάζονται οπτικά δεδομένα είναι περισσότερο χρήσιμα σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη μετάδοση εικόνων ή βίντεο. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εποπτεία κάποιου χώρου, στην αυτόματη παρακολούθηση ανθρώπων και αντικειμένων και γενικότερα στην επίβλεψη του περιβάλλοντος.

1.2 Αντικείμενο της Διατριβής

Στην παρούσα εργασία θεωρούμε ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων στο οποίο η πρόσβαση γίνεται με τη μέθοδο της *Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κωδίκων με Άμεση Ακολουθία*, (*Direct-Sequence Code Division Multiple Access, DS-CDMA*). Στο δίκτυο αυτό υποθέτουμε ότι οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με μία κάμερα ώστε να επιτηρούν μία μεγάλη περιοχή. Κάποιοι από αυτούς καταγράφουν σχετικά στάσιμα πεδία, ενώ κάποιοι άλλοι καταγράφουν σκληρές με υψηλό επίπεδο κίνησης ώστε να δημιουργήσουμε ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο στο οποίο είθισται να υπάρχουν σκληρές διαφόρων επιπέδων κίνησης.

Οι βιντεοακολουθίες με χαμηλή κίνηση μπορούν να κωδικοποιηθούν με λιγότερα δυαδικά ψηφία (bits) διατηρώντας παράλληλα καλή ποιότητα στην εικόνα τους, ενώ συγχρόνως μπορούν να χρησιμοποιήσουν περισσότερα bits για την κωδικοποίηση του καναλιού. Ακόμη, οι κόμβοι που λαμβάνουν βίντεο χαμηλής κίνησης είναι σε θέση να μεταδίδουν τα δεδομένα τους με χαμηλότερη ισχύ. Χαμηλότερη ισχύς μετάδοσης δεδομένων σημαίνει εξοικονόμηση ενέργειας (π.χ μπαταρίας), λιγότερες παρεμβολές στις μεταδόσεις των άλλων κόμβων και μεγαλύτερη χωρητικότητα στο δίκτυο. Επομένως, εύκολα μπορεί κανείς να αντιληφθεί τη σπουδαιότητα της βέλτιστης κατανομής ισχύος στους αισθητήρες του δικτύου.

Γενικά, σε ένα DS-CDMA σύστημα ισχύει πως η μετάδοση δεδομένων από κάποιο κόμβο δημιουργεί παρεμβολές στις μεταδόσεις των άλλων κόμβων. Αυτό σημαίνει πως με το να αυξήσει κάποιος κόμβος την ισχύ μετάδοσης των δεδομένων του βελτιώνει την ποιότητα του βίντεο που μεταδίδει, αλλά ταυτόχρονα υποβαθμίζει την ποιότητα των βίντεο που μεταδίδουν οι άλλοι κόμβοι. Για το λόγο αυτό καθίσταται αναγκαία η από κοινού βελτιστοποίηση του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, του ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού και των ισχύων μετάδοσης όλων των κόμβων του συστήματος. Οι τρεις αυτές παράμετροι αποτελούν τις παραμέτρους μετάδοσης του συστήματος και τις αποκαλούμε επίσης πόρους ή πηγές

(resources) του συστήματος.

Πολλά δίκτυα αισθητήρων προσπαθούν να αυξήσουν την απόδοσή τους σε ενέργεια και να επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής του δικτύου [18, 20, 21]. Έτσι, εστιάζουν στη μετάδοση της εικόνας [9] προσπαθώντας να πετύχουν ισορροπία ανάμεσα στη σπατάλη ενέργειας και την ποιότητα του μεταδιδόμενου βίντεο. Τα δίκτυα αυτά είναι περισσότερο περίπλοκα από τα τυπικά δίκτυα αισθητήρων αφενός εξαιτίας του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (bit rate) που απαιτείται για τη μετάδοση του βίντεο και και αφετέρου εξαιτίας των περιορισμών στις καθυστερήσεις.

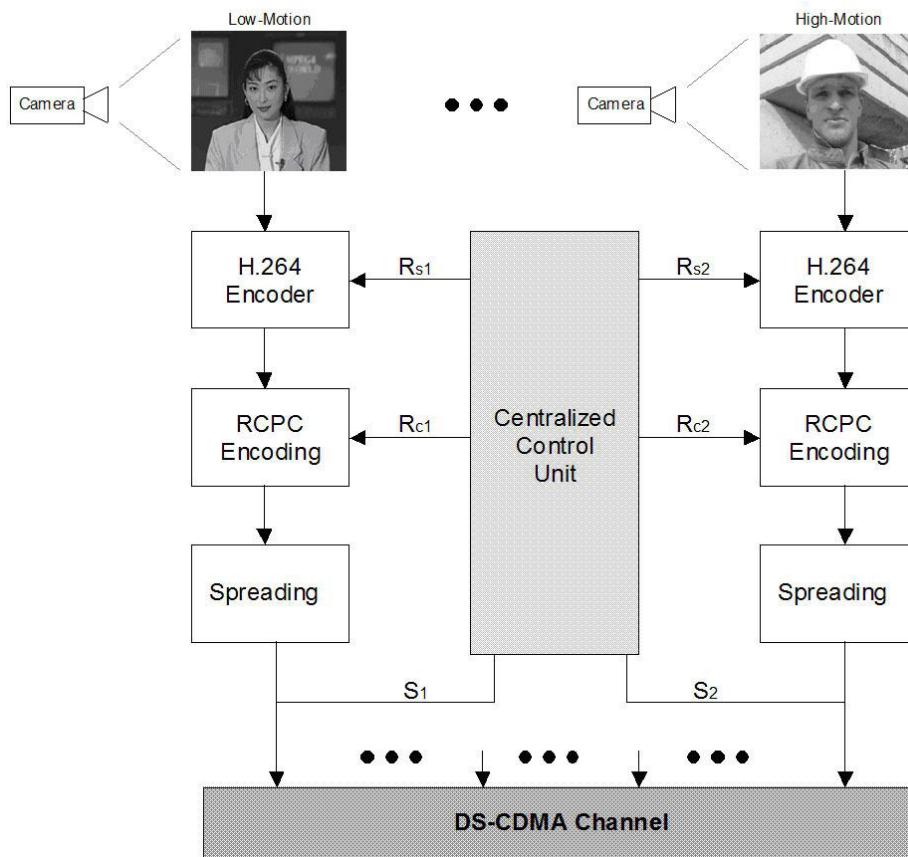
Στις ασύρματες μεταδόσεις, η επίτευξη ενός χαμηλού ρυθμού μετάδοσης σφαλμάτων (Bit Error Rate, BER) είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της καλής ποιότητας της εικόνας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λόγω της ασύρματης μετάδοσης δεδομένων προκύπτουν λάθη τα οποία οδηγούν σε καταστροφική υποβάθμιση της ποιότητας του λαμβανόμενου βίντεο. Η απόδοση ενός ασύρματου καναλιού μπορεί παρόλα αυτά να βελτιωθεί ρυθμίζοντας δυναμικά και κατάλληλα τις παραμέτρους μετάδοσης του δικτύου. Αυτές οι διαφοροποιήσεις της ασύρματης μετάδοσης από την ενσύρματη καθιστούν αναγκαία την “παραβίαση” της παραδοσιακής επιπεδοποιημένης αρχιτεκτονικής δικτύων.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε μια τεχνική βελτιστοποίησης ανάμεσα στο φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων και το επίπεδο εφαρμογών μιας αρχιτεκτονικής δικτύου (όπως το *Μοντέλο Αναφοράς Διασύνδεσης Ανοικτών Συστημάτων*, (*Open Systems Interconnection, OSI*)). Επίσης, θεωρήσαμε από κοινού κωδικοποίηση της πηγής και του καναλιού.

Συγκεκριμένα, δεχτήκαμε ότι ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής για τη μετάδοση του βίντεο καθορίζεται στο επίπεδο εφαρμογών, ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού επιλέγεται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων και η ισχύς μετάδοσης ορίζεται στο φυσικό επίπεδο. Στο επίπεδο δικτύου, θεωρήσαμε πως βρίσκεται μια κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία αποφασίζει για τον τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής, ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού και η ισχύς μετάδοσης των δεδομένων του συστήματος, σε όλους τους κόμβους ενός DS-CDMA δικτύου οπτικών αισθητήρων. Είναι προφανές ότι οι κόμβοι σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορούν να κωδικοποιούν τα δεδομένα τους με διαφορετικό ρυθμό, ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφουν. Για παράδειγμα, χαμηλά επίπεδα κίνησης σημαίνει αυτόματα κωδικοποίηση με λιγότερα bits και άρα χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, χωρίς όμως υποβάθμιση της ποιότητας του βίντεο.

Σε ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων, οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν απευθείας και όχι διαμέσου ενδιάμεσων κόμβων, με την κεντρική μονάδα ελέγχου. Ο ρόλος της κεντρικής μονάδας ελέγχου είναι να εκτελεί αποκωδικοποίηση καναλιού και πηγής για να λάβει το βίντεο από κάθε κόμβο και επιπλέον να επικοινωνεί με τους κόμβους στέλνοντάς τους πληροφορίες προκειμένου να ζητήσει αλλαγές στις παραμέτρους μετάδοσης. Ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων φαίνεται στο Σχήμα 1.1.

Με δεδομένες όλες τις προαναφερθείσες παραδοχές, στη διατριβή αυτή ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πόρων του συστήματος ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, ώστε να πετύχουμε την καλύτερη δυνατή ποιότητα του



Σχήμα 1.1: Σχηματικό διάγραμμα δικτύου οπτικών αισθητήρων.

βίντεο συνολικά σε ολόκληρο το δίκτυο. Για το σκοπό αυτό εντρυφήσαμε σε μια σειρά από κριτήρια για τα οποία ισχύει ο περιορισμός κάποιου αρχικά ορισμένου μέγιστου bit rate.

- Αρχικά, εστίασαμε στο κριτήριο *Ελαχιστοποίησης της Μέσης Παραμόρφωσης*, (*Minimize Average Distortion, MAD*), ώστε να πετύχουμε την ελαχιστοποίηση της συνολικής παραμόρφωσης του βίντεο από όλους τους κόμβους του δικτύου.
- Στη συνέχεια, εξετάσαμε το κριτήριο *Ελαχιστοποίησης της Μέγιστης Παραμόρφωσης*, *Minimize Maximum Distortion (MMD)* ώστε να εξασφαλίσουμε δικαιοσύνη ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, χαμηλής και γρήγορης κίνησης, ελαχιστοποιώντας τη μέγιστη παραμόρφωση από όλους αυτούς.
- Κατόπιν, ασχοληθήκαμε με έναν εναλλακτικό τρόπο διάθεσης των πόρων του δικτύου στους κόμβους, βασισμένο στη *Λύση Διαπραγμάτευσης του Nash*, (*Nash Bargaining Solution, NBS*), από τη θεωρία παιγνίων [6]. Το κριτήριο αυτό κατανέμει τους πόρους του συστήματος με βάση το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των κόμβων

του δικτύου, με τη βοήθεια της κεντρικής μονάδας ελέγχου. Ένας όρος διαπραγματεύσεως που προτείναμε εμείς στη συγκεκριμένη εργασία είναι ότι σε περίπτωση που η συμφωνία μεταξύ των κόμβων ναυαγήσει, οι κόμβοι δεν θα δεχτούν ποιότητα βίντεο χαμηλότερη από κάποιο αρχικά ορισμένο όριο.

- Ένα τελευταίο κριτήριο που μας απασχόλησε στην παρούσα διατριβή προκειμένου να κατανεύσουμε δίκαια τις παραμέτρους μετάδοσης του δικτύου και το οποίο βασίζεται επίσης στη λογική της διαπραγματεύσεως μεταξύ των κόμβων είναι η *Λύση Διαπραγματεύσεως των Kalai-Smorodinsky*, (*Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution, KSBS*).
- Στις αρχικές εκδόσεις του, το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των πόρων του συστήματος ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου αποτελούσε ένα διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης, καθώς και οι τρεις παράμετροι μετάδοσης επιτρεπόταν να παίρνουν τιμές από ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών. Στη διατριβή αυτή, το συγκεκριμένο πρόβλημα ξεπεράστηκε καθώς πετύχαμε συνεχείς τιμές για τις ισχύς μέσα από κάποιο προκαθορισμένο εύρος τιμών, ενώ εξακολουθήσαμε να έχουμε διακριτές τιμές για το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής και το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού. Την πρόταση αυτή την εφαρμόσαμε σε όλα τα κριτήρια με τα οποία ασχοληθήκαμε.
- Στην προσπάθειά μας να επιλύσουμε το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης μικτών ακεραίων (*mixed-integer*) χρησιμοποιήσαμε έναν έξυπνο αλγόριθμο βελτιστοποίησης, τον *Αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων*, (*Particle Swarm Optimization, PSO*).

1.3 Διάρθρωση της Διατριβής

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο κεφάλαιο 2 παραθέτονται κάποιες έννοιες από το χώρο των δικτύων και επεξηγείται ο τρόπος κωδικοποίησης της πηγής και του καναλιού. Επίσης, γίνεται αναφορά στον τρόπο υπολογισμού της αναμενόμενης παραμόρφωσης του βίντεο. Στο κεφάλαιο 3 ασχολούμαστε αναλυτικά με τα κριτήρια MAD και MMD. Εξετάζουμε τόσο τη διακριτή περίπτωση των παραμέτρων μετάδοσης όσο και την περίπτωση όπου οι ισχύς παίρνουν συνεχείς τιμές, ενώ οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού εξακολουθούν να παίρνουν διακριτές τιμές, και παρουσιάζουμε τα πειραματικά αποτελέσματα και των δύο περιπτώσεων και για τα δύο κριτήρια. Επιπλέον αξιολογούμε τα αποτελέσματα αυτά και τέλος μελετάμε την υπολογιστική πολυπλοκότητα των κριτηρίων που προαναφέρθηκαν. Το κριτήριο του Nash εξηγείται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 4 και προτείνεται ένας νέος ορισμός για τη συνάρτηση ωφέλειας και ένας νέος όρος διαπραγματεύσεως. Στο κεφάλαιο 5 μελετάται το έτερο κριτήριο από τη θεωρία παιγνίων, αυτό που πρότειναν οι Kalai και Smorodinsky, και μελετάται η γεωμετρική του προσέγγιση. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 καταγράφουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη και τη σύγκριση όλων των κριτηρίων με τα οποία ασχοληθήκαμε και επισημαίνουμε κάποιες αδυναμίες, οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1 Αρχιτεκτονικές Δικτύων και Cross-Layer Σχεδιασμός

2.2 Από κοινού κωδικοποίηση Πηγής και Καναλιού

2.3 CDMA

2.4 Κωδικοποίηση Πηγής

2.5 Κωδικοποίηση Καναλιού

2.6 Υπολογισμός Αναμενόμενης Παραμόρφωσης του βίντεο

Αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η παράθεση κάποιων βασικών εννοιών και διαδικασιών, χρήσιμων για την περαιτέρω κατανόηση της διατριβής. Αρχικά, γίνεται αναφορά σε κάποιες θεμελιώδεις έννοιες των δικτύων. Στη συνέχεια, γίνεται λόγος για την ανάγκη αποδοτικής κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης των δεδομένων μετάδοσης και επεξηγείται σε γενικές γραμμές τόσο η διαδικασία κωδικοποίησης της πηγής, όσο και η διαδικασία κωδικοποίησης του καναλιού. Παράλληλα, αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού της παραμόρφωσης που προστίθεται στα δεδομένα μετάδοσης ύστερα από αυτές τις διαδικασίες.

2.1 Αρχιτεκτονικές Δικτύων και Cross-Layer Σχεδιασμός

Δίκτυο με την ευρεία έννοια, είναι ένα σύνολο υπολογιστών και συσκευών διασυνδεδεμένων με τηλεπικοινωνιακά κανάλια που διευκολύνουν τις επικοινωνίες ανάμεσα στους χρήστες και τους επιτρέπουν να ανταλλάσσουν δεδομένα [1]. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να θεωρήσουμε ένα δίκτυο ως ένα σύνολο από υπηρεσίες παράδοσης πληροφοριών οι οποίες είναι τοποθετημένες η μία πάνω από την άλλη. Με άλλα λόγια, οι λειτουργίες του δικτύου είναι οργανωμένες σε μία αρχιτεκτονική επιπέδων. Σε μία τέτοια αρχιτεκτονική, κάθε επίπεδο

εκτελεί μία συγκεκριμένη εργασία και οι υπηρεσίες του κάθε επιπέδου υλοποιούνται επάνω από τις υπηρεσίες που παρέχονται από το αμέσως κατώτερο επίπεδο. Αυτό αποτελεί την επιπεδοποιημένη θεώρηση ενός δικτύου [29].

Από το διαχωρισμό των λειτουργιών του δικτύου σε επίπεδα προκύπτουν δύο σημαντικά οφέλη. Τα διαφορετικά επίπεδα μπορούν να σχεδιαστούν, σε κάποιο βαθμό ανεξάρτητα, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά το σχεδιασμό των δικτύων και δίνει στους σχεδιαστές την ευελιξία να τροποποιούν κάποιο επίπεδο χωρίς να διαταράσσουν ολόκληρο το σύστημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η *συμβατότητα* που προέρχεται από την ανεξαρτησία των επιπέδων. Για παράδειγμα, οι ίδιες εφαρμογές μπορούν να εκτελεστούν σε πολύ διαφορετικά δίκτυα. Επίσης, στην περίπτωση διασύνδεσης διαφορετικών δικτύων, ένας υπολογιστής σε ένα δίκτυο μπορεί να προσπελάσει υπολογιστές σε όλα τα άλλα δίκτυα, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες υλοποιήσεις των διαφορετικών δικτύων. Επειδή η συνδετικότητα αποτελεί πρωταρχικό στόχο των δικτύων επικοινωνιών, η συμβατότητα είναι ένα πολύτιμο χαρακτηριστικό.

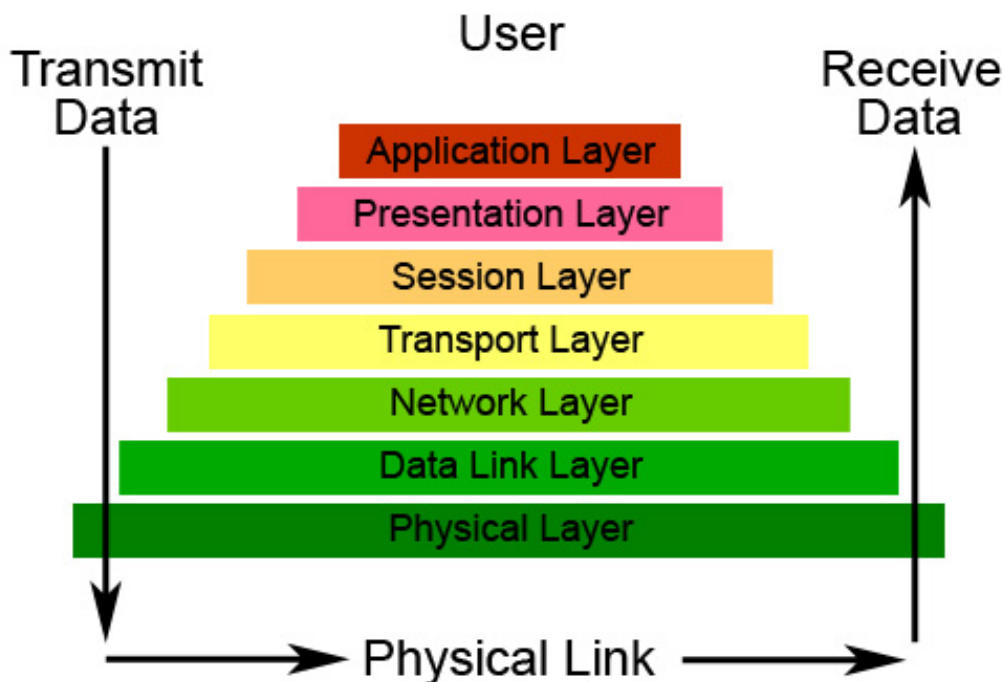
Τα δίκτυα χρησιμοποιούν διάφορες αρχιτεκτονικές. Γενικά οι ομοιότητες μεταξύ των διαφόρων αρχιτεκτονικών είναι περισσότερες από τις διαφορές. Δύο σημαντικές αρχιτεκτονικές δικτύων είναι το μοντέλο αναφοράς OSI και το *Πρόγραμμα Ελέγχου Μεταφοράς/Πρωτόκολλο Διαδικτύου*, (*Transmission Control Program/Internet Protocol, TCP/IP*). Το μοντέλο OSI αποτελείται από 7 επίπεδα. Το φυσικό επίπεδο (physical layer), το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer), το επίπεδο δικτύου (network layer), το επίπεδο μεταφοράς (transport layer), το επίπεδο συνόδου (session layer), το επίπεδο παρουσίασης (presentation layer) και το επίπεδο εφαρμογών (application layer). Οι λειτουργίες που επιτελεί το κάθε επίπεδο του συγκεκριμένου μοντέλου αναφοράς συνοψίζονται παρακάτω:

- Το *φυσικό επίπεδο* ασχολείται με τη μετάδοση ανεπεξέργαστων bits μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Μια ζεύξη επικοινωνίας είναι πάντοτε αναξιόπιστη όσον αφορά στη σωστή μετάδοση των δεδομένων. Η ζεύξη μπορεί να είναι είτε σημείου προς σημείο από έναν πομπό σε έναν δέκτη, ή διαμοιραζόμενη ανάμεσα σε έναν αριθμό από πομπούς και δέκτες.
- Το *επίπεδο ζεύξης δεδομένων* υλοποιεί μια υπηρεσία παράδοσης πακέτων μεταξύ των κόμβων οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στην ίδια φυσική ζεύξη. Στον πομπό, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στέλνει τα πακέτα με τη μορφή πλαισίων έτσι ώστε ο δέκτης να είναι σε θέση να ανακτήσει τα πακέτα από τη ροή των bits. Το επίπεδο αυτό μπορεί επίσης να αναλάβει την επαναμετάδοση των εσφαλμένων πακέτων.
- Το *επίπεδο δικτύου* καθοδηγεί τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό τους, κατά μήκος μιας διαδρομής που ενδέχεται να περιλαμβάνει έναν αριθμό από ζεύξεις. Μια τυπική μέθοδος είναι η επαναμετάδοση με αποθήκευση και προώθηση.
- Το *επίπεδο μεταφοράς* επιβλέπει τη διατεμαχική μετάδοση των πακέτων και μπορεί να αναλάβει την επαναμετάδοση των εσφαλμένων πακέτων. Επίσης ελέγχει το ρυθμό μεταφοράς πακέτων ώστε να αποτρέπεται η συμφόρηση τμημάτων του δικτύου.

- Το επίπεδο συνόδου χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του επιπέδου μεταφοράς για να εγκαθιδρύσει και να προβλέψει συνδέσεις μεταξύ τερματικών συστημάτων.
- Το επίπεδο παρουσίασης ασχολείται με τη συμπίεση δεδομένων, την ασφάλεια και υλοποιεί μετατροπές στη μορφή παρουσίασης της πληροφορίας ώστε οι κόμβοι που χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους παρουσίασης της πληροφορίας να μπορούν να επικοινωνούν αποδοτικά και με ασφάλεια.
- Το επίπεδο εφαρμογών υλοποιεί ευρέως χρησιμοποιούμενες υπηρεσίες επικοινωνιών, όπως η μεταφορά αρχείων, οι υπηρεσίες καταλόγου και τα εικονικά τερματικά.

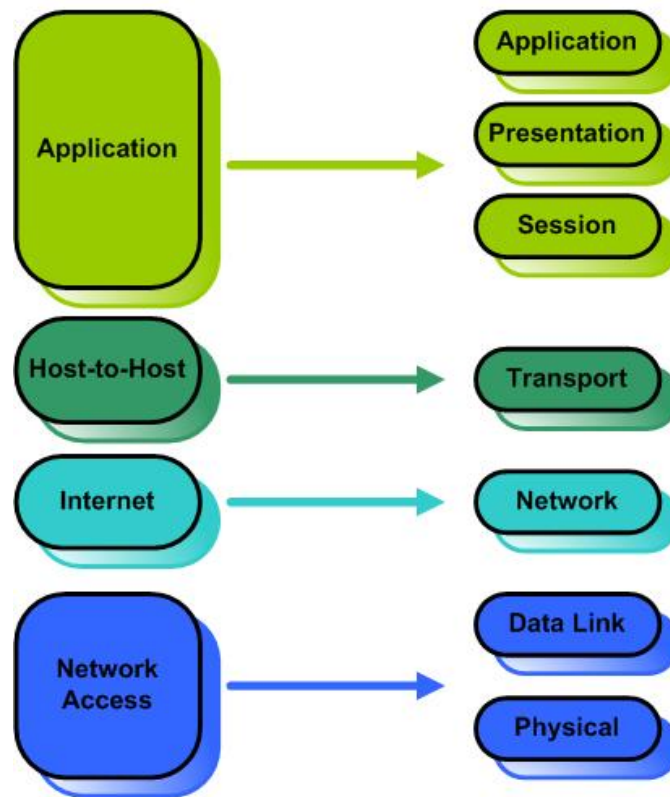
Στο Σχήμα 2.1 αναπαρίσταται το μοντέλο αναφοράς OSI, ενώ στο Σχήμα 2.2 αναπαρίσταται το μοντέλο αναφοράς TCP/IP σε αντιδιαστολή με το μοντέλο αναφοράς OSI.

The Seven Layers of OSI



Σχήμα 2.1: Το μοντέλο αναφοράς OSI.

The TCP/IP and OSI Models



Σχήμα 2.2: Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP σε σχέση με το μοντέλο αναφοράς OSI.

Αν και η οργάνωση των λειτουργιών του δικτύου σε αρχιτεκτονικές επιπέδων έχει αποδειχτεί εξαιρετικά επιτυχής στα ενσύρματα δίκτυα, παρόλα αυτά, με τη γρήγορη ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων τίθεται το ερώτημα εάν οι αρχιτεκτονικές αυτές εξακολουθούν να είναι βέλτιστες και στα ασύρματα δίκτυα, όπου οι απαιτήσεις για την ποιότητα των υπηρεσιών, (Quality of Service, QoS) είναι αρκετά αυξημένες. Με τον όρο QoS αναφερόμαστε στις καθυστερήσεις των μηνυμάτων, στο χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο μπορούν να παραδωθούν τα μηνύματα, στους ρυθμούς μετάδοσης σφαλμάτων, στις απώλειες στα πακέτα, στο κόστος μετάδοσης, στην ισχύ μετάδοσης και τα λοιπά.

Ένας Σχεδιασμός ως προς πολλά επίπεδα, (Cross-Layer σχεδιασμός) είναι ιδιαίτερα σημαντικός για κάθε δίκτυο που χρησιμοποιεί ασύρματες τεχνολογίες, καθώς η κατάσταση του υλικού μέσου (physical medium) μπορεί να ποικίλλει σημαντικά με το χρόνο. Για να βελτιστοποιήσουμε πλήρως τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τόσο τις προκλήσεις από το υλικό μέσο όσο και τις απαιτήσεις για την ποιότητα των υπηρεσιών από τις εφαρμογές. Ίσως η ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα του δικτύου να βελτιώνει περαιτέρω την απόδοσή του. Αυτή ακριβώς είναι και η φιλοσοφία ενός cross-layer σχεδιασμού. Επιτρέπει στα επίπεδα να αλληλεπιδρούν το ένα με

το άλλο και να ανταλλάσουν πληροφορίες, ακόμα και αν τα επίπεδα που αλληλεπιδρούν δεν είναι γειτονικά.

2.2 Από κοινού κωδικοποίηση Πηγής και Καναλιού

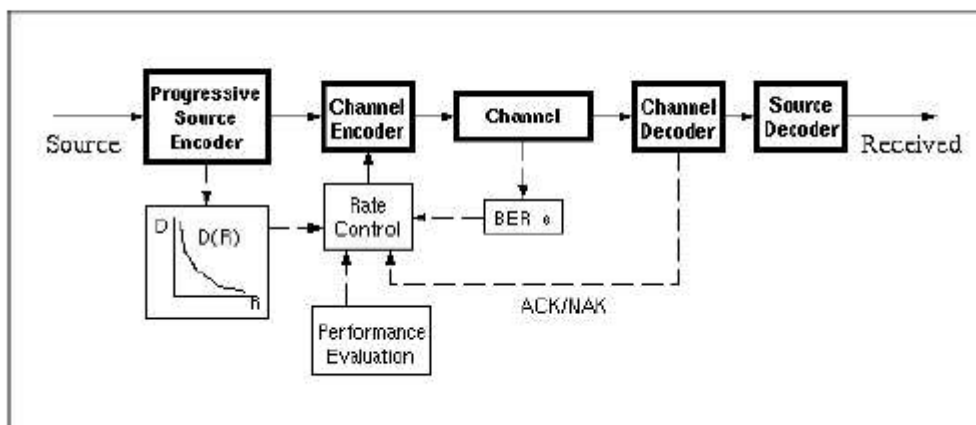
Παραδοσιακά, η κωδικοποίηση πηγής και η κωδικοποίηση καναλιού αποτελούσαν δύο ανεξάρτητα, ξεχωριστά προβλήματα. Η κωδικοποίηση της πηγής έχει σκοπό να αφαιρέσει τον πλεονασμό της πληροφορίας χρησιμοποιώντας μια αποδοτική αναπαράσταση του σήματος της πηγής, ενώ η κωδικοποίηση του καναλιού προσθέτει πλεονάζουσα πληροφορία για να πετύχει ελεύθερη μετάδοση των λαθών σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Σύμφωνα με την αρχή διαχωρισμού του Shannon, η κωδικοποίηση πηγής και καναλιού μπορούν να γίνουν χωριστά και διαδοχικά χωρίς απώλεια του βελτίστου (loss of optimality), υπό τον όρο ότι η κωδικοποίηση της πηγής παράγει ένα bit rate το οποίο μπορεί να χωρέσει στο κανάλι. Αυτή η αρχή του διαχωρισμού είναι αξιοσημείωτη καθώς διαχωρίζει ένα σύνθετο πρόβλημα σε δύο απλούστερα. Ο σχεδιασμός ενός επικοινωνιακού συστήματος διαιρείται σε δύο ξεχωριστά και ανεξάρτητα υποσυστήματα. Το ένα για την κωδικοποίηση της πηγής και το άλλο για την κωδικοποίηση του καναλιού.

Παρόλα αυτά, η αρχή διαχωρισμού του Shannon βασίζεται σε αρκετές υποθέσεις που καταρρέουν στην πράξη. Για παράδειγμα, υποθέτει ότι οι κώδικες της πηγής και του καναλιού μπορούν να είναι απεριόριστου μήκους, το οποίο δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην πραγματικότητα καθώς καταλήγει σε πολύ μεγάλες καθυστερήσεις και τεράστια υπολογιστική πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η αρχή αυτή υποθέτει ότι και ο κωδικοποιητής της πηγής και ο κωδικοποιητής του καναλιού είναι βέλτιστοι, δηλαδή ότι ο κωδικοποιητής της πηγής έχει σχεδιαστεί υποθέτοντας ότι ο κώδικας του καναλιού είναι σε θέση να διορθώσει όλα τα λάθη στο κανάλι και ότι οι κώδικες του καναλιού έχουν σχεδιαστεί υποθέτοντας ότι όλα τα bits που παράγονται από την κωδικοποίηση της πηγής είναι εξίσου σημαντικά. Προφανώς, η υπόθεση αυτή αγνοεί τις ατέλειες που παρατηρούνται σε πραγματικά επικοινωνιακά συστήματα. Ακόμη, η αρχή διαχωρισμού της κωδικοποίησης της πηγής και του καναλιού μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε επικοινωνιακά συστήματα σημείο-προς-σημείο (point-to-point), εφόσον γνωρίζουμε την παραμόρφωση της πηγής και του καναλιού τη στιγμή σχεδιασμού του κώδικα. Επομένως, κάτι τέτοιο δεν ταιριάζει στα σύγχρονα επικοινωνιακά συστήματα με χρονικά μεταβαλλόμενα κανάλια μετάδοσης στα οποία βρίσκονται συνδεδεμένοι πολλοί χρήστες.

Έρα είναι φυσικό να θεωρήσουμε *Από Κοινού Κωδικοποίηση Πηγής και Καναλιού* (Joint Source-Channel coding, JSCC). Μία αρκετά σοφή λύση είναι να διατηρήσουμε την κωδικοποίηση της πηγής και του καναλιού χωριστά, αλλά να βελτιστοποιήσουμε από κοινού τις παραμέτρους τους. Η από κοινού κωδικοποίηση της πηγής και του καναλιού αποτελεί ενεργό πεδίο έρευνας και εμπεριέχει στοιχεία από την επεξεργασία σήματος, τις επικοινωνίες και τη θεωρία πληροφοριών.

Στην παρούσα εργασία όπου θεωρήσαμε από κοινού κωδικοποίηση πηγής και καναλιού, ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ των κωδικοποιητών πηγής και καναλιού και επιπλέον

και οι δύο χρησιμοποιούν πληροφορίες από το φυσικό επίπεδο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, προκειμένου να καθοριστούν οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού, ο “ρυθμιστής ρυθμών” (rate-controller) ανατροφοδοτείται και από τον κωδικοποιητή της πηγής και από τον αποκωδικοποιητή του καναλιού και κατανέμει βέλτιστα το ρυθμό κωδικοποίησης ανάμεσα στην πηγή και στο κανάλι, λαμβάνοντας υπόψη προκαθορισμένες απαιτήσεις απόδοσης, όπως για παράδειγμα μία απαίτηση από κάποιον χρήστη ή από το δίκτυο για QoS. Επομένως, είναι καλύτερο για τα χαμηλότερα επίπεδα της στοίβας να επικοινωνούν με το επίπεδο εφαρμογών για να κατανείμουν τους πόρους του συστήματος και για στρατηγικές προστασίας, και αντιστρόφως οι αλγόριθμοι συμπίεσης του βίντεο που χρησιμοποιούνται στο επίπεδο εφαρμογών να επικοινωνούν με τα κατώτερα στρώματα για την προστασία τους από λάθη έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουν την ποιότητα του βίντεο από άκρο σε άκρο (end-to-end).



Σχήμα 2.3: Ένα Cross-Layer δίκτυο για JSCC θεώρηση.

Ο βέλτιστος ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής είναι μείζονος σημασίας καθώς ο σκοπός είναι να καταστεί εφικτή η μετάδοση του βίντεο χωρίς να έχουμε παράλληλα σπουδαία υποβάθμιση στην ποιότητά του. Επιπλέον, για μεταδόσεις σε κανάλια επιρρεπή σε λάθη επιβάλλεται να χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού ώστε να προσφέρει ένα ικανοποιητικό επίπεδο προστασίας στα δεδομένα που μεταδίδονται. Ακόμη, το φυσικό επίπεδο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα ασύρματα δίκτυα καθώς επηρεάζει την επίδοση όλων των επιπέδων. Είναι το επίπεδο όπου τα δεδομένα κινούνται φυσικά κατά μήκος του δικτύου επικοινωνίας. Καθώς οι σύνδεσμοι των ασύρματων δικτύων είναι χρονικά μεταβαλλόμενοι και επιρρεπείς σε λάθη, είναι σημαντικό για τους cross-layer αλγόριθμους να επιτρέπουν στο φυσικό επίπεδο να προσαρμόζει τις παραμέτρους του έτσι ώστε να διατηρεί μια καλή απόδοση από άκρο σε άκρο.

Στη δική μας δουλειά, ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής για τη συμπίεση του βίντεο

καθορίζεται στο επίπεδο εφαρμογών. Ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού επιλέγεται στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων, ενώ στο φυσικό επίπεδο καθορίζονται οι ισχύς μετάδοσης των δεδομένων. Στο επίπεδο δικτύου θεωρήσαμε πως βρίσκεται μια κεντρική μονάδα ελέγχου η οποία αποφασίζει για τον τρόπο με τον οποίο θα κατανεμηθούν ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής, ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού και οι ισχύς μετάδοσης των δεδομένων του συστήματος σε όλους τους κόμβους ενός DS-CDMA δικτύου οπτικών αισθητήρων. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπουμε στον κωδικοποιητή να εκμεταλλεύεται καλύτερα τις αλλαγές στις συνθήκες του καναλιού ή στις παραλλαγές των περιεχομένων της πηγής. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε ένα πιο προσαρμοστικό και εύρωστο σύστημα που αποδίδει καλύτερα όταν υπάρχουν περιορισμοί στις καθυστερήσεις ή όταν υπάρχουν χρονικά μεταβαλλόμενα κανάλια.

2.3 CDMA

Μία από τις βασικές έννοιες στην επικοινωνία των δεδομένων είναι η ιδέα να μπορούν πολλοί αποστολείς να αποστέλλουν δεδομένα ταυτόχρονα σε ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας. Αυτό επιτρέπει σε αρκετούς χρήστες να μοιράζονται ένα εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) χρησιμοποιώντας διαφορετικές συχνότητες ο καθένας. Αυτή είναι η έννοια της *Πολυπλεξίας (Multiplexing)*.

Μία από τις μεθόδους πολυπλεξίας είναι η *Πολυπλεξία με Διαίρεση Κωδίκων, (Code Division Multiplexing, CDM)*, ενώ τα δίκτυα στα οποία επιτρέπεται η πρόσβαση με τη μέθοδο αυτή, όπως αυτό με το οποίο ασχολούμαστε στην παρούσα διατριβή, ονομάζονται δίκτυα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Κωδίκων, (Code Division Multiple Access, CDMA). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια τεχνολογία *εξάπλωσης φάσματος (spread-spectrum)* και ένα ειδικό σχήμα κωδικοποίησης όπου σε κάθε αποστολέα ανατίθεται ένας κώδικας, για να επιτρέψει σε πολλούς χρήστες να πολυπλέκονται στο ίδιο φυσικό κανάλι. Στην τεχνολογία spread-spectrum όταν παράγεται ένα σήμα με συγκεκριμένο bandwidth, το σήμα αυτό εξαπλώνεται επίτηδες στο χώρο των συχνοτήτων καταλήγοντας τελικά να έχει μεγαλύτερο bandwidth από αυτό που είχε αρχικά.

Σύμφωνα λοιπόν με τη μέθοδο CDMA, σε κάθε σήμα ανατίθεται ένας κώδικας και οι κώδικες που ανατίθενται σε διαφορετικά σήματα είναι συνήθως ορθογώνιοι ή ψευδοτυχαίοι έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές ανάμεσα σε δύο σήματα. Αλλά ακόμη και στην περίπτωση που οι κώδικες αυτοί είναι ορθογώνιοι μεταξύ τους, οι μεταδόσεις από τον έναν κόμβο στον άλλο προκαλούν παρεμβολές που οφείλονται τόσο σε ασύγχρονες μεταδόσεις, όσο και στη διάλειψη πολλαπλών διαδρομών. *Διάλειψη* είναι το φαινόμενο εκείνο που μειώνει την ισχύ του σήματος, με αποτέλεσμα ο ασύρματος δέκτης να μην μπορεί να ανακτήσει τα δεδομένα λόγω πολύ χαμηλής ισχύος. Όσο για τις ασύγχρονες μεταδόσεις, αυτές χρησιμοποιούν bits έναρξης και λήξης για να δηλώσουν το αρχικό bit μιας ακολουθίας που πρόκειται να μεταδοθεί.

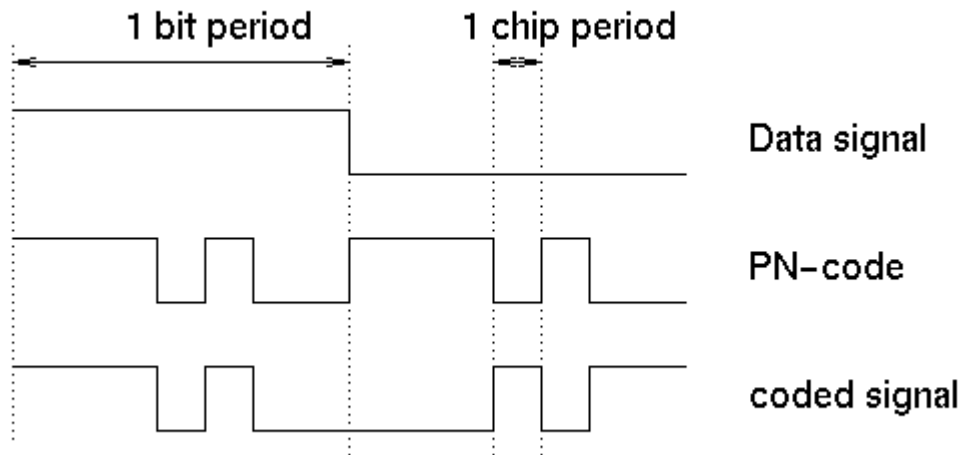
Επίσης, κάθε σήμα μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλο το εύρος ζώνης συχνοτήτων του δικτύου κάθε χρονική στιγμή, αλλά με το κόστος του σύνθετου σχεδιασμού του συστήμα-

τος. Τα σήματα αυτά προκύπτουν με πολλαπλασιασμό των ροών των bits των χρηστών με διακριτές ψευδοτυχαίες ακολουθίες οι οποίες λαμβάνουν τις τιμές +1 και -1 και μεταβάλλονται γρήγορα. Για να ανακτηθεί η ροή των bits ενός συγκεκριμένου χρήστη, ο δέκτης πολλαπλασιάζει το λαμβανόμενο σήμα με την ψευδοτυχαία ακολουθία που χαρακτηρίζει αυτόν το χρήστη. Όταν τα σήματα των άλλων χρηστών πολλαπλασιάζονται με αυτή τη συγκεκριμένη ακολουθία φαίνονται στο δέκτη ως ένας γρήγορα μεταβαλλόμενος θόρυβος ο οποίος μπορεί να φιλτραριστεί.

Καθώς όλοι οι κόμβοι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα, οι παρεμβολές στο κανάλι παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χωρητικότητας του συστήματος και της ποιότητας των υπηρεσιών του. Η ισχύς μετάδοσης για κάθε κόμβο θα πρέπει να ελαχιστοποιείται ώστε να περιορίζονται οι παρεμβολές από τους άλλους κόμβους του συστήματος. Αυτό είναι βασικό για τα δίκτυα αισθητήρων καθώς οι κόμβοι λειτουργούν με μπαταρία και επομένως έχουν περιορισμένη ενέργεια. Αφετέρου όμως, η ισχύς σε κάθε κόμβο θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να διατηρείται η ποιότητα του βίντεο που μεταδίδει. Οι κόμβοι που συμπίεζαν το βίντεο με χαμηλότερο bitrate διατηρούν περισσότερα bits για την κωδικοποίηση του καναλιού και είναι σε θέση να μεταδίδουν τα δεδομένα με χαμηλότερη ισχύ, προκαλώντας έτσι λιγότερες παρεμβολές στους άλλους κόμβους.

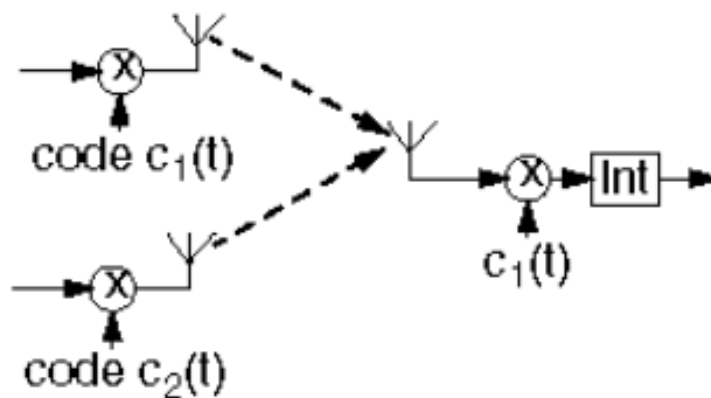
2.3.1 DS-CDMA

Η μέθοδος Πολλαπλής Πρόσβασης Διαίρεσης Κωδίκων με Άμεση Ακολουθία είναι μία μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης που βασίζεται στην τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος με Άμεση Ακολουθία (*Direct-Sequence Spread Spectrum, DSSS*). Στη συγκεκριμένη μέθοδο, το “ρυάκι” της πληροφορίας που πρόκειται να μεταδοθεί διαιρείται σε μικρά κομμάτια, καθένα από τα οποία κατανέμεται κατά μήκος ενός καναλιού συχνοτήτων του φάσματος. Στο σημείο μετάδοσης, ένα σήμα δεδομένων συνδυάζεται με μία ακολουθία από bits (*chip code*) που έχει μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και εξαπλώνει το εύρος ζώνης συχνοτήτων σύμφωνα με κάποιο ποσοστό εξάπλωσης (*spreading ratio*). Ο πλεονάζων chip code καθιστά το σήμα ανθεκτικότερο στις παρεμβολές και επιτρέπει στα αρχικά δεδομένα να ανακτώνται σε περίπτωση που έχουν καταστραφεί κάποια bits κατά τη μετάδοση. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται πώς παράγεται ένα σήμα DS-CDMA.



Σχήμα 2.4: DS-CDMA σήμα.

Ένας DS-CDMA παραλήπτης μπορεί να ανακτήσει το επιθυμητό σήμα πολλαπλασιάζοντας το λαμβανόμενο σήμα με τον ίδιο κώδικα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Στο Σχήμα 2.5, ο παραλήπτης βλέπει το σήμα από το χρήστη 1, ενώ το σήμα από το χρήστη 2 έχει εξασθενήσει αρκετά από το μετασχηματισμό που υπέστη μέχρι να φτάσει στον παραλήπτη [3].



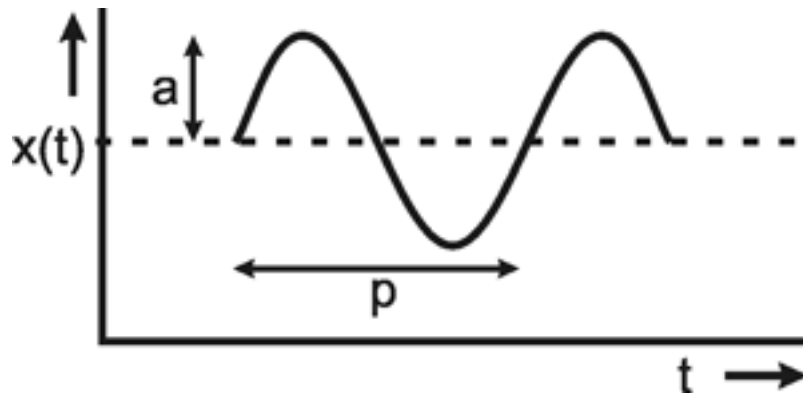
Σχήμα 2.5: Παραλήπτης DS-CDMA σήματος.

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς και παραπάνω, σε ένα DS-CDMA κανάλι όλοι οι κόμβοι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Προκειμένου να εκπέψουν ένα μόνο bit, ο κόμβος στην πραγματικότητα εκπέμπει L “chips”, (bits). Επομένως, σε κάθε κόμβο k ανατίθεται ένας μοναδικός κώδικας εξάπλωσης \mathbf{s}_k , που είναι ένα διάνυσμα μήκους L . Για να εκπέμψει λοιπόν το i -στο bit μιας ακολουθίας από bit, ο κόμβος k στην πραγματικότητα εκπέμπει $b_k(i)\mathbf{s}_k$ που είναι ένα διάνυσμα από L chips και το $b_k(i)$ είναι είτε 1 είτε -1 ανάλογα με την τιμή του bit που μεταδίδεται.

Εάν υποθέσουμε πως υπάρχουν K κόμβοι σε ένα κανάλι Δυαδικής Μετατόπισης Φάσης, (*Binary Phase Shift Keying, BPSK*), μονής διαδρομής (single-path), το λαμβανόμενο σήμα μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

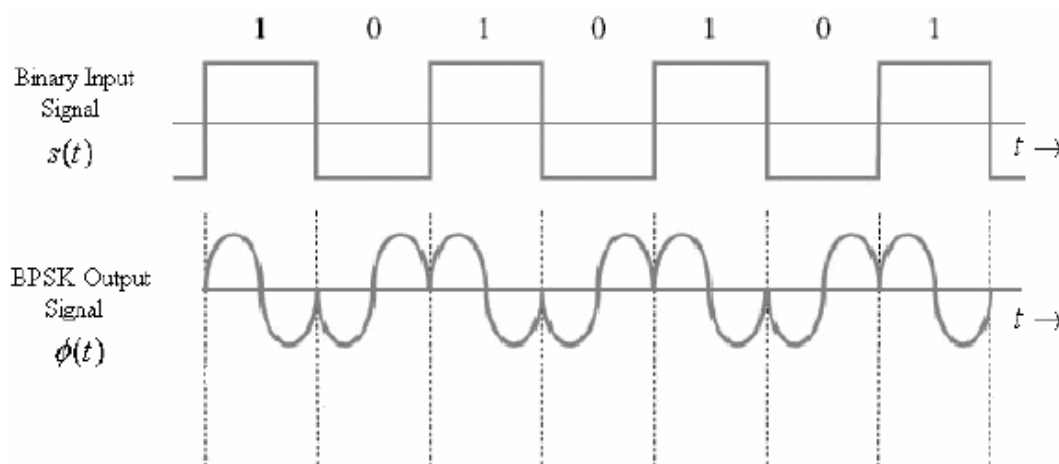
$$\mathbf{r}(i) = A_1 b_1(i) \mathbf{s}_1 + \sum_{k=2}^K A_k b_k(i) \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k \quad (2.1)$$

όπου τα $A_k, b_k(i), \mathbf{s}_k, \mathbf{n}_k$, είναι το πλάτος, η συμβολοσειρά, ο κώδικας εξάπλωσης και ο θόρυβος του κόμβου k αντίστοιχα. Τα $\mathbf{r}(i), \mathbf{s}_k(i)$ και \mathbf{n}_k είναι διανύσματα μήκους L . Στο Σχήμα 2.6 με a απεικονίζεται το πλάτος του σήματος και με p η περίοδος του σήματος.



Σχήμα 2.6: Το πλάτος και η περίοδος του σήματος.

Όταν μιλάμε για BPSK κανάλι, αναφερόμαστε σε κανάλι το οποίο μεταφέρει δεδομένα αλλάζοντας τη φάση του σήματος (carrier wave) ανάμεσα σε 2 τιμές που απέχουν 180° . Τα περιεχόμενα του σήματος περιέχονται μέσα στις διάφορες φάσεις. Κάθε φάση μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα bit, μπορεί όμως και να αντιπροσωπεύει μια ακολουθία από bits. Στο Σχήμα 2.7 που ακολουθεί, στο πάνω μέρος φαίνεται το δυαδικό σήμα εισόδου, ενώ στο κάτω μέρος φαίνεται η έξοδος του σήματος ύστερα από BPSK.



Σχήμα 2.7: Εισερχόμενο σήμα και BPSK έξοδος.

Στα DS-CDMA συστήματα οι παρεμβολές είναι συνήθως περιορισμένες. Επομένως είναι λογικό να αγνοήσουμε το θερμικό θόρυβο (thermal noise), το θόρυβο δηλαδή που προκύπτει από τη θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων μέσα σε κάποιο ηλεκτρικό αγωγό σε ισορροπία, ανεξάρτητα από την τάση που εφαρμόζεται, και το θόρυβο από το περιβάλλον (background noise), δηλαδή τις άσχετες, επαναλαμβανόμενες ή λανθασμένες πληροφορίες. Έτσι,

$$\sum_{k=2}^K A_k b_k(i) \mathbf{s}_k + \mathbf{n}_k \approx \sum_{k=2}^K A_k b_k(i) \mathbf{s}_k. \quad (2.2)$$

Η υπόθεση ότι οι παρεμβολές μπορούν να προσεγγιστούν με μία Λευκή Γκαουσιανή τυχαία διαδικασία (White Gaussian random process) με μηδενικό μέσο, έχει νόημα όπως φαίνεται στο [12]. Επιπλέον, καθώς ο κόμβος k έχει κάποιο επίπεδο ισχύος σε Watts που δίνεται από τον τύπο

$$S_k = E_k R_k$$

ο λόγος της ενέργειας-ανά-bit προς τις παρεμβολές πολλαπλής πρόσβασης, Multiple Access Interference (MAI), γίνεται

$$\frac{E_k}{I_0} = \frac{\frac{S_k}{R_k}}{\sum_{j \neq k}^K \frac{S_j}{W_t}}; \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.3)$$

όπου E_k είναι η ενέργεια-ανά-bit, ενώ $I_0/2$ είναι η διπλής κατεύθυνσης ισχύς του θορύβου ή αλλιώς η διπλής κατεύθυνσης ισχύς της φασματικής πυκνότητας του θορύβου εξαιτίας του MAI και μετριέται σε Watts/Hertz. Ο όρος *ισχύς φασματικής πυκνότητας*, (*Power Spectral Density, PSD*), περιγράφει πώς κατανέμεται η ισχύς κάποιου σήματος σε σχέση με τη συχνότητα. S_k είναι η ισχύς του κόμβου που μας “ενδιαφέρει” και μετριέται σε Watts, R_k είναι ο ρυθμός μετάδοσης των bits και μετριέται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bits/sec), S_j είναι η ισχύς του κόμβου j που παρεμβάλλεται και μετριέται σε Watts, ενώ W_t είναι το συνολικό εύρος ζώνης των συχνοτήτων και μετριέται σε Hertz [8]. Το R_k είναι το συνολικό bit rate που χρησιμοποιείται για την κωδικοποίηση της πηγής και του καναλιού. Υποθέτοντας K κόμβους, το R_k μπορεί να εκφραστεί ως

$$R_k = \frac{R_{s,k}}{R_{c,k}} ; k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.4)$$

όπου $R_{s,k}$ είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής του κόμβου k και $R_{c,k}$ είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού του κόμβου k . Καθώς το $R_{s,k}$ μετριέται σε bits-ανά-δευτερόλεπτο και το $R_{c,k}$ είναι ένας αδιάστατος αριθμός, το R_k θα μετριέται κι αυτό σε bits-ανά-δευτερόλεπτο [16].

Στη συνέχεια ορίζουμε τα διανύσματα

$$\begin{aligned} R_s &= [R_{s,1}, R_{s,2}, \dots, R_{s,K}]^\top \\ R_c &= [R_{c,1}, R_{c,2}, \dots, R_{c,K}]^\top \\ S &= [S_1, S_2, \dots, S_K]^\top. \end{aligned}$$

Όσον αφορά στην εξίσωση (2.3), αρχικά υποθέτει ότι οι κώδικες εξάπλωσης που χρησιμοποιούνται είναι τυχαίοι και δεν έχουν καμία ιδιαίτερη ιδιότητα (όπως η ορθογωνιότητα) που θα μπορούσε να περιορίζει τις παρεμβολές από τους άλλους κόμβους. Επιπλέον, η εξίσωση αυτή δεν υποθέτει τη χρήση κάποιου φίλτρου για την καταστολή των παρεμβολών. Επομένως, ο κόμβος “ενδιαφέροντος” βλέπει όλη την ισχύ που στέλνεται από τους άλλους κόμβους ως παρεμβολές (ο παρονομαστής της εξίσωσης (2.3)). Ο κώδικας εξάπλωσης μήκους L και ο ρυθμός μετάδοσης των chips R_{chip} δεν εμφανίζονται στην εξίσωση (2.3). Το R_{chip} καθορίζεται από το εύρος ζώνης της μετάδοσης, W_t , και εξαρτάται από τον τύπο *διαμόρφωσης του παλμού* (*pulse shaping*) που χρησιμοποιείται. Με τον όρο *pulse shaping* εννοούμε τη διαδικασία αλλαγής της κυματομορφής των μεταδιδόμενων παλμών. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιείται η διαμόρφωση παλμού του Nyquist (Nyquist pulse shaping), το απαιτούμενο εύρος ζώνης (μετρημένο σε Hz) είναι

$$W_t = \frac{1}{2T_c}, \quad (2.5)$$

όπου T_c είναι η περίοδος των chips (chip period) και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec). Ο ρυθμός μετάδοσης των chips (chip rate), δηλαδή ο αριθμός των παλμών ανά δευτερόλεπτο,

σχετίζεται με την περίοδο των chips μέσω της εξίσωσης

$$R_{chip} = \frac{1}{T_c}. \quad (2.6)$$

Ο ρυθμός μετάδοσης των chips μετριέται σε chips-ανά-δευτερόλεπτο. Άν όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα εξάπλωσης μήκους L , τότε ο ρυθμός μετάδοσης των bits για κάθε χρήστη είναι

$$R_k = R = \frac{R_{chip}}{L}. \quad (2.7)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (2.5), (2.6) και (2.7), παίρνουμε

$$L = \frac{2W_t}{R}. \quad (2.8)$$

Επομένως, αυξάνοντας το R_k στην εξίσωση (2.3), εμμέσως μειώνουμε το μήκος L του κώδικα εξάπλωσης. Μικρότερο μήκος του κώδικα εξάπλωσης σημαίνει λιγότερα μεταδιδόμενα chips-ανά-bit, κάτι που επίσης σημαίνει λιγότερη μεταδιδόμενη ενέργεια-ανά-bit. Σαφώς, το L στην εξίσωση (2.8) δεν είναι απαραίτητα ακέραιος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εξίσωση (2.3) είναι μία προσέγγιση και δεν υποθέτει συγκεκριμένους κώδικες εξάπλωσης. Προηγουμένως παρουσιάσαμε την εξίσωση (2.8) για να δείξουμε πώς το εύρος ζώνης και το bit rate της μετάδοσης εμμέσως καθορίζουν το μήκος του κώδικα εξάπλωσης. Στην εξίσωση (2.3) δεν εμφανίζεται το μήκος του κώδικα εξάπλωσης (L) και επιπλέον, ο τύπος διαμόρφωσης του παλμού που χρησιμοποιείται δεν παίζει κανένα ρόλο.

Εάν ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος από το περιβάλλον δεν είναι αμελητέοι, τότε ο λόγος της ενέργειας-ανά-bit προς τις παρεμβολές πολλαπλής πρόσβασης και το θόρυβο, δίνεται από την εξίσωση

$$\frac{E_k}{I_0 + N_0} = \frac{\frac{S_k}{R_k}}{\sum_{j \neq k}^K \frac{S_j}{W_t} + N_0}; \quad k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.9)$$

όπου $N_0/2$ είναι η ισχύς της φασματικής πυκνότητας ενός προσθετικού λευκού γκαουσιανού θορύβου, (Additive White Gaussian Noise, AWGN). Στην πράξη, χρησιμοποιήσαμε το λόγο

$$\frac{E_k}{I_0} \quad \text{αντί για το λόγο} \quad \frac{E_k}{I_0 + N_0}.$$

2.4 Κωδικοποίηση Πηγής

Καθοριστικό ρόλο στην αποστολή και τη λήψη οπτικής και ακουστικής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο διαμέσου κάποιου τηλεπικοινωνιακού καναλιού παίζει η αποδοτική κω-

δικοποίηση των δεδομένων μετάδοσης. Το εύρος του καναλιού μπορεί να ποικίλλει και εξαρτάται από την εφαρμογή και τα μέσα μετάδοσης. Στόχος της κωδικοποίησης του βίντεο είναι η μείωση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων και η προσαρμογή του στις δυνατότητες του καναλιού και τα μέσα μετάδοσης [28].

Καθώς το ασυμπίεστο βίντεο καταναλώνει ένα τεράστιο ποσό του διαθέσιμου εύρους ζώνης του καναλιού, χρειάζεται να συμπίεστεί πρώτου μεταδοθεί. Όμως, στις περιπτώσεις που επιθυμούμε πολύ υψηλό ποσοστό συμπίεσης, η συμπίεση δεν είναι εφικτή χωρίς απώλεια της πληροφορίας. Η απώλεια πληροφορίας προσθέτει παραμόρφωση στο αποκωδικοποιημένο βίντεο, κάτι που εμφανίζεται ως υποβάθμιση της οπτικής ποιότητας του βίντεο που προβάλλεται. Επομένως, ένας από τους πρωταρχικούς στόχους ενός αλγορίθμου συμπίεσης για κάποιο δεδομένο bit rate, είναι να προσθέτει στο αποκωδικοποιημένο βίντεο όσο λιγότερη παραμόρφωση γίνεται και να χάνει αυτές τις πληροφορίες που καθιστούν όσο το δυνατόν πιο ανεπαίσθητη την υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας.

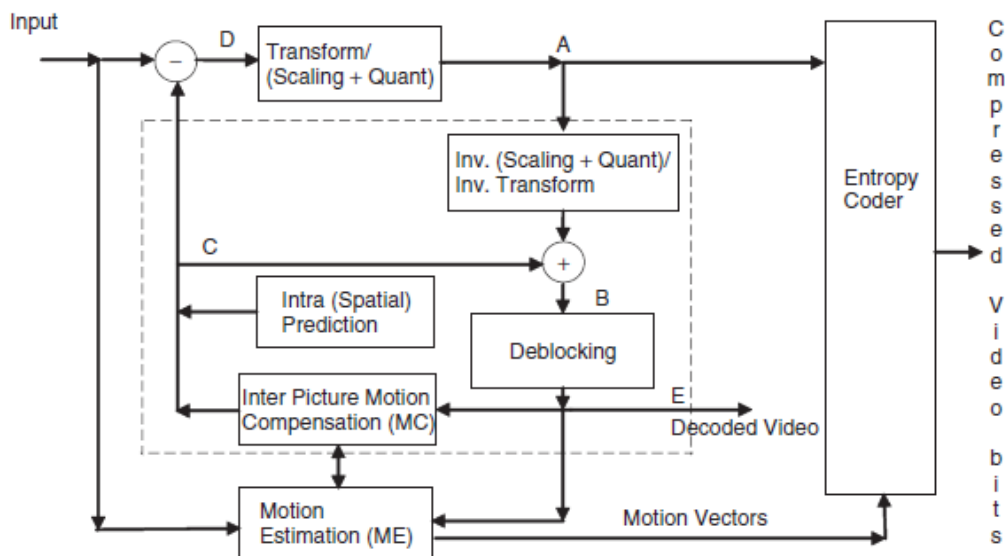
Στο δίκτυο οπτικών αισθητήρων που θεωρούμε στην παρούσα διατριβή, οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με κάμερες για να επιτηρούν διάφορους χώρους. Επιπλέον, υποθέτουμε πως ο κάθε κόμβος διαθέτει την απαραίτητη ισχύ για να συμπίεσει το βίντεο που λαμβάνει χρησιμοποιώντας το πρότυπο κωδικοποίησης H.264/AVC.

2.4.1 H.264/AVC

Ο όρος H.264 είναι ισοδύναμος με τον όρο *Προχωρημένη Κωδικοποίηση Βίντεο*, (*Advanced Video Coding, AVC*) και με τον όρο *MPEG-4 - Μέρος 10, Ομάδα Ειδικών Κινούμενων Εικόνων*, (*Moving Picture Experts Group, MPEG*). Ο σκοπός του προτύπου H.264/AVC είναι να παρέχει καλή ποιότητα βίντεο με μειωμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα (για παράδειγμα μισό ή λιγότερο από το bit rate του MPEG-2, H.263, ή MPEG-4 Μέρος 2), χωρίς να αυξηθεί η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του σε βαθμό που να είναι αδύνατο ή υπερβολικά ακριβό να υλοποιηθεί. Επιπλέον, το H.264 αποσκοπεί στο να μπορεί να προσαρμόζεται σε μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών σε διάφορα δίκτυα και συστήματα, συμπεριλαμβανομένου χαμηλών και υψηλών bit rate, βίντεο χαμηλής και υψηλής ανάλυσης, αναμεταδόσεις, αποθηκεύσεις DVD και άλλα.

Αλλά ας δούμε κάποια πράγματα για το πως γίνεται η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση του βίντεο με το H.264. Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται η βασική δομή κωδικοποίησης του κωδικοποιητή του προτύπου αυτού.

Το ψηφιακό βίντεο είναι ένα τρισδιάστατο σήμα (2 χωρικές διαστάσεις και ο χρόνος). Επομένως, η πρόβλεψη για την τιμή κάποιου συγκεκριμένου εικονοστοιχείου (pixel) μπορεί να γίνει με βάση τα γειτονικά εικονοστοιχεία στην ίδια εικόνα -χωρική πρόβλεψη, ή με βάση τα εικονοστοιχεία στις προηγούμενες εικόνες (εικόνες του παρελθόντος) ή στις επόμενες (εικόνες του μέλλοντος) -χρονική πρόβλεψη. Από τη στιγμή που βρεθεί η προβλεπόμενη τιμή (στο σημείο D), υπολογίζεται η τιμή της διαφοράς ανάμεσα στην πραγματική τιμή και την προβλεπόμενη τιμή. Η διαφορά αυτή ονομάζεται *σφάλμα της πρόβλεψης*, (*prediction error*). Στη συνέχεια εφαρμόζουμε *Διακριτό Συνημιτονοειδή Μετασχηματισμό*, (*Discrete Cosine Transform, DCT*) στο σήμα της διαφοράς και χβαντίζουμε τους συντελεστές του



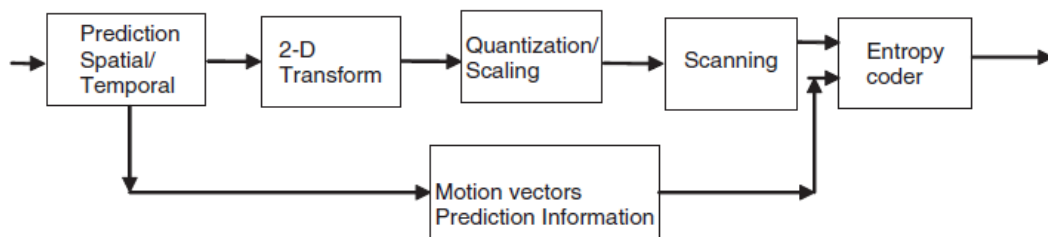
Σχήμα 2.8: Η δομή του κωδικοποιητή AVC.

μετασχηματισμού. Σε μερικούς τρόπους κωδικοποίησης, οι συντελεστές χβαντίζονται με βάση κάποιον πίνακα κλιμάκωσης (scaling matrix), έτσι ώστε οι συντελεστές υψηλότερης συχνότητας να χβαντιστούν περισσότερο από τους συντελεστές χαμηλότερης συχνότητας. Έπειτα, οι χβαντισμένοι συντελεστές σαρώνονται σαν ένα μονοδιάστατο σήμα και διέρχονται από κάποιον από τους δύο πιθανούς μη-απωλεστικούς (lossless) αλγορίθμους κωδικοποίησης της εντροπίας: τον *Κωδικοποιητή Μεταβλητού Μήκους με βάση το Περιεχόμενο*, (*Context Adaptive Variable Length Coder, CAVLC*) ή το *Δυαδικό Αριθμητικό Κωδικοποιητή με βάση το Περιεχόμενο*, (*Context Adaptive Binary Arithmetic Coder, CABAC*).

Στο Σχήμα 2.8 απεικονίζεται η εκτίμηση κίνησης, (*Motion Estimation, ME*) και η αντιστάθμιση κίνησης, (*Motion Compensation, MC*) που είναι χρονικές προβλέψεις, και η ενδοπρόβλεψη (*Intra Prediction*) που είναι χωρική πρόβλεψη. Η περιοχή που βρίσκεται μέσα στη διακεκομμένη γραμμή είναι ο αποκωδικοποιητής που βρίσκεται στο εσωτερικό του κωδικοποιητή και το σήμα στο σημείο E είναι η έξοδος του αποκωδικοποιητή. Όπως είναι προφανές, ο κωδικοποιητής περιλαμβάνει στο εσωτερικό του αποκωδικοποιητή για να μπορεί να κάνει την πρόβλεψη.

Η εκτίμηση της κίνησης γίνεται μεταξύ των τρεχόντων μπλοκ και των αποκωδικοποιημένων μπλοκ των εικόνων που συμπίεστηκαν αμέσως πριν. Με την εκτίμηση κίνησης, βρίσκουμε τα διανύσματα κίνησης τα οποία αφού προστεθούν στις αποκωδικοποιημένες “προηγούμενες” εικόνες μας δίνουν μια πρόβλεψη για τις “επόμενες” εικόνες. Για να βρούμε στη συνέχεια το σφάλμα της πρόβλεψης, αφαιρούμε από τις ασυμπίεστες “επόμε-

νες” εικόνες, τις εικόνες που περιέχουν την πρόβλεψη. Κατόπιν, αφού κωδικοποιηθεί και αποκωδικοποιηθεί το σφάλμα της πρόβλεψης, προστίθεται στην πρόβλεψη για τις “επόμενες” εικόνες και με τον τρόπο αυτό παίρνουμε τις αναδημιουργημένες “επόμενες” εικόνες. Οι τιμές που περιέχουν το σφάλμα της πρόβλεψης βρίσκονται στο σημείο D στο Σχήμα 2.8. Σε πιο αφαιρετικό επίπεδο, τα λειτουργικά τμήματα του κωδικοποιητή φαίνονται στο Σχήμα 2.9, ενώ παρακάτω δίνονται πολύ συγκεκριμένα τα βήματα για τον τρόπο λειτουργίας του κωδικοποιητή.



Σχήμα 2.9: Τα λειτουργικά τμήματα του κωδικοποιητή AVC.

Έστω ότι θέλουμε να κωδικοποιήσουμε μια συγκεκριμένη βιντεοακολουθία. Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του κωδικοποιητή θα περιγράψουμε μόνο πως γίνεται η κωδικοποίηση των δύο πρώτων καρέ του βίντεο. Έστω “frame0” το πρώτο καρέ του βίντεο και “frame1”, το αμέσως επόμενο καρέ.

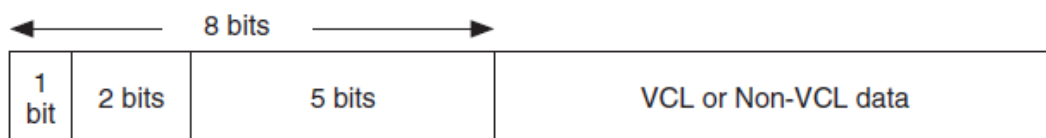
1. Κωδικοποιούμε το frame0 ενδοπλαισιακά (intra mode), καθώς είναι το πρώτο καρέ του βίντεο και παίρνουμε έτσι το αναδημιουργημένο frame0 (DCT, κβάντιση, κωδικοποίηση, αποκωδικοποίηση, αντίστροφη κβάντιση, αντίστροφο DCT).
2. Εκτελούμε εκτίμηση κίνησης ανάμεσα στο αναδημιουργημένο frame0 και το αρχικό frame1. Συγκεκριμένα, χωρίζουμε το αρχικό frame1 σε μακροπλόκ και βρίσκουμε τα διανύσματα κίνησης ανάμεσα στο αναδημιουργημένο frame0 και το αρχικό frame1. Παίρνουμε ένα διάνυσμα κίνησης για κάθε μακροπλόκ.
3. Εκτελούμε αντιστάθμιση κίνησης. Στο αναδημιουργημένο frame0 προσθέτουμε τα διανύσματα κίνησης και παίρνουμε μια πρόβλεψη για το frame1.
4. Από το αυθεντικό frame1 αφαιρούμε την πρόβλεψη για το frame1 και παίρνουμε το σφάλμα της πρόβλεψης.
5. Κωδικοποιούμε και αποκωδικοποιούμε το σφάλμα της πρόβλεψης διαπλαισιακά (inter mode) και παίρνουμε έτσι το αναδημιουργημένο σφάλμα της πρόβλεψης.
6. Προσθέτουμε το αναδημιουργημένο σφάλμα της πρόβλεψης στην πρόβλεψη για το frame1 και παίρνουμε το αναδημιουργημένο frame1.

Επομένως, αντί να στείλουμε στον αποκωδικοποιητή τα frame0 και frame1, στέλνουμε το κωδικοποιημένο frame0, τα διανύσματα κίνησης και το κωδικοποιημένο σφάλμα της πρόβλεψης. Ο αποκωδικοποιητής, με τα διανύσματα κίνησης και το αναδημιουργημένο frame0 παίρνει μια πρόβλεψη για το frame1 και εφόσον έχει και το αναδημιουργημένο σφάλμα της πρόβλεψης, προσθέτει την πρόβλεψη για το frame1 με το αναδημιουργημένο σφάλμα της πρόβλεψης και παίρνει το αναδημιουργημένο frame1. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομούνται bits κατά τη μετάδοση.

2.4.2 VLC και NAL

Προκειμένου να μπορούμε να προσαρμόζουμε τις κωδικοποιημένες ακολουθίες εύκολα σε διάφορες εφαρμογές, όπως εκπομπές ραδιοτηλεοπτικών μεταδόσεων μέσω καλωδιακών, δορυφορικών και επίγειων δικτύων, μεταδόσεις βίντεο μέσω του διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο (streaming), τηλεφωνία μέσω βίντεο ή διασκέψεις σε ασύρματα κανάλια ή σε κανάλια Ψηφιακού Δικτύου Ενσωματωμένων Υπηρεσιών, (*Integrated Services Digital Network, ISDN*), διαιρούμε τη σύνταξη του βίντεο σε δύο επίπεδα. Δηλαδή, ο H.264/AVC διαχωρίζεται στο *Επίπεδο Κωδικοποίησης του Βίντεο*, (*Video Coding Layer, VCL*) και στο *Επίπεδο Μη-Κωδικοποίησης του Βίντεο*, (*Non-Video Coding Layer, NVCL*).

Το επίπεδο VCL αποτελείται από bits που σχετίζονται με το συμπιεσμένο βίντεο. Περιέχει τα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τις τιμές των δειγμάτων στις εικόνες των βίντεο. Το επίπεδο NVCL περιέχει επιπρόσθετες σχετικές πληροφορίες, όπως σύνολα παραμέτρων ακολουθίας και εικόνας, στοιχεία πλήρωσης (filler data), *Συμπληρωματικές Πληροφορίες Ενίσχυσης*, (*Supplemental Enhancement Information, SEI*), παραμέτρους οθόνης και άλλα, που θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη χρηστικότητα του αποκωδικοποιημένου σήματος βίντεο. Οι πληροφορίες αυτές δεν είναι απαραίτητες για την αποκωδικοποίηση των τιμών των δειγμάτων στις εικόνες των βίντεο. Τα bits των επιπέδων VCL και NVCL οργανώνονται σε *Μονάδες του Επιπέδου Αφαιρετικού Δικτύου*, (*Network Abstraction Layer Units, NALU*), καθεμία από τις οποίες είναι ένα πακέτο που περιέχει έναν ακέραιο αριθμό από bytes. Η μορφή μιας μονάδας επιπέδου αφαιρετικού δικτύου φαίνεται στο Σχήμα 2.10.



Ό' bit NAL Ref. ID NAL Unit Type

Σχήμα 2.10: Η μορφή μιας μονάδας NAL.

Το πρώτο byte κάθε NALU είναι ένα byte επικεφαλίδας και τα υπόλοιπα είναι τα δεδομένα. Το πρώτο bit της επικεφαλίδας είναι ένα bit “0”. Τα επόμενα δύο bits δείχνουν εάν το περιεχόμενο της NALU είναι ένα σύνολο παραμέτρων ακολουθίας ή ένα σύνολο παραμέτρων εικόνας ή μία “φέτα” (slice), από μια εικόνα αναφοράς. Τα επόμενα πέντε bits φανερώνουν τον τύπο της NALU που αντιστοιχεί στον τύπο των δεδομένων που μεταφέρονται σε εκείνη τη NALU. Υπάρχουν τριάντα δύο αποδεκτοί τύποι NALU οι οποίοι κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες. Σε μονάδες VCL NAL και σε μονάδες μη-VCL NAL. Στους τύπους NALU ένα έως πέντε ανήκουν οι μονάδες VCL NAL και περιέχουν δεδομένα που ανήκουν στο VCL. Στους υπόλοιπους τύπους NALU (έξι και πάνω) ανήκουν οι μονάδες μη-VCL NAL και μεταφέρουν πληροφορίες όπως οι συμπληρωματικές πληροφορίες ενίσχυσης (SEI), τα σύνολα παραμέτρων ακολουθίας και εικόνας και άλλα. Για παράδειγμα, ο τύπος NALU 7 μεταφέρει το σύνολο των παραμέτρων της ακολουθίας, ενώ ο τύπος NALU 8 μεταφέρει το σύνολο των παραμέτρων της εικόνας.

Πιο συνοπτικά, το VCL σχηματίζει το κυρίως τμήμα του H.264/AVC και εκτελεί τις απαιτούμενες εργασίες για τη συμπίεση του βίντεο έτσι ώστε να αναπαραστήσει αποτελεσματικά το περιεχόμενο των δεδομένων του. Η NAL κάνει το H.264/AVC να είναι φιλικό με το δίκτυο. Ορίζει τη διεπαφή ανάμεσα στο VCL και τη μεγάλη ποικιλία των συστημάτων και των μέσων μεταφοράς [26]. Όλα τα δεδομένα ενσωματώνονται σε μονάδες NAL οι οποίες περιέχουν έναν ακέραιο αριθμό από bytes. Η δομή της μονάδας NAL μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα που βασίζονται σε πακέτα (packet-based), και σε συστήματα που βασίζονται σε ακολουθίες (bitstream-based). Η διαφορά στο σχηματισμό των δύο συστημάτων έγκειται σε έναν μοναδικό αρχικό κώδικα προθέματος για τον επανασυγχρονισμό της προηγούμενης μονάδας NAL που απαιτείται σε bitstream-based συστήματα [31].

Όταν χρησιμοποιούνται διάφορες κάμερες για να επιτηρούν κάποια περιοχή, κάποιες από αυτές καταγράφουν σκηνές χαμηλής κίνησης, ενώ κάποιες άλλες καταγράφουν σκηνές με γρήγορη κίνηση. Τα βίντεο με λιγότερη κίνηση μπορούν να κωδικοποιηθούν με λιγότερα bits διατηρώντας παράλληλα καλή ποιότητα εικόνας. Επιπλέον, η κεντρική μονάδα ελέγχου μπορεί να ζητήσει από κάποιους κόμβους να μεταδώσουν το βίντεό τους με χειρότερη ποιότητα εικόνας και άρα με χαμηλότερο bit rate εάν θεωρήσουν πως οι συγκεκριμένες σκηνές είναι λιγότερο σημαντικές.

Στη συγκεκριμένη εργασία, απαιτούμε από κάθε κόμβο να στέλνει τα δεδομένα του με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης. Επομένως, εάν κάποιος κόμβος χρειάζεται λιγότερα bits για την κωδικοποίηση της πηγής, έχει περισσότερα διαθέσιμα bits για την κωδικοποίηση του καναλιού. Χρησιμοποιώντας ισχυρότερη κωδικοποίηση καναλιού πετυχαίνουμε τη διόρθωση περισσότερων λαθών σε ένα πακέτο του επιπέδου ζεύξης δεδομένων. Κατ'επέκταση, ο συγκεκριμένος κόμβος, μπορεί να “ανεχτεί” υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης σφαλμάτων και άρα μπορεί να σπαταλήσει λιγότερη ισχύ για να αποστείλει τα δεδομένα του, μιας και η κωδικοποίηση της πηγής θα γίνει με λιγότερα bits. Το γεγονός αυτό έχει το διπλό πλεονέκτημα ότι ο συγκεκριμένος κόμβος και εξοικονομεί ενέργεια, αλλά και μειώνει τις παρεμβολές από τους άλλους κόμβους.

2.5 Κωδικοποίηση Καναλιού

Ανέκαθεν, ο σκοπός της συμπίεσης ήταν να αναπαραστήσουμε τα δεδομένα του βίντεο με όσα λιγότερα bits γίνεται, με κάποια δεδομένη ποιότητα. Το ιδανικό θα ήταν να μπορούσαμε να αποθηκεύσουμε ή να στείλουμε το βίντεο μέσω κάποιου “αλάνθαστου” καναλιού. Παρόλα αυτά, εάν το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι η αποτελεσματικότητα της συμπίεσης, η ακολουθία που προκύπτει μετά τη συμπίεση είναι πολύ ευαίσθητη σε λάθη. Ο λόγος για τον οποίο ισχύει κάτι τέτοιο είναι η εκτεταμένη χρήση κωδικών μεταβλητού μήκους (VLC) στη συμπίεση. Ακόμη και ένα μόνο λάθος bit μπορεί να αποσυγχρονίσει τον κωδικοποιητή και τον αποκωδικοποιητή και να προκαλέσει απώλεια όλης της υπόλοιπης ακολουθίας. Επομένως, εάν το βίντεο πρόκειται να μεταδοθεί μέσω κάποιου απωλεστικού καναλιού είναι αναγκαίο να κάνουμε κάποιες θεωρήσεις.

2.5.1 Τεχνικές αντιμετώπισης σφαλμάτων

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες από τεχνικές που βοηθούν στην παροχή αξιόπιστων επικοινωνιών βίντεο: η ανθεκτικότητα στα σφάλματα, η κωδικοποίηση του καναλιού και η απόκρυψη των σφαλμάτων. Αυτές οι τεχνικές λειτουργούν συμπληρωματικά η μία με την άλλη. Προκειμένου να παρέχουμε αξιόπιστες επικοινωνίες βίντεο, είναι αναγκαίο να συνεκτιμήσουμε τόσο την αποδοτικότητα της συμπίεσης όσο και την ανθεκτικότητα σε λάθη στο κανάλι.

Η ανθεκτικότητα σφάλματος διατηρεί εσχευμένα κάποια πλεονάζουσα πληροφορία στην ακολουθία των bits του βίντεο προκειμένου να το καταστήσει περισσότερο ανθεκτικό στις απώλειες του καναλιού. Επομένως, με τη χρήση ανοχής λάθους, οι απώλειες στο κανάλι δεν έχουν καταστροφική επίδραση και οι επικοινωνίες βίντεο δεν διακόπτονται, αν και η ποιότητα του βίντεο μπορεί να υποβαθμιστεί. Μερικές τεχνικές ανθεκτικότητας λάθους είναι οι σηματοδότες επανασυγχρονισμού, η αναστρέψιμη κωδικοποίηση μεταβλητού μήκους, ανεξάρτητα κομμάτια αποκωδικοποίησης και η είσοδος ενδομπλόκ (intra block) ή ενδοπλαισίων (intra frame).

Η ανθεκτικότητα λάθους από μόνη της δεν είναι συνήθως αρκετή για να ανταπεξέλθει στους υψηλούς ρυθμούς λαθών των ασύρματων καναλιών. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κωδικοποίηση καναλιού, επίσης γνωστή ως *Εμπρόσθια Διόρθωση Σφάλματος*, (*Forward Error Correction, FEC*). Η κωδικοποίηση καναλιού προσθέτει επιπλέον bits στην ακολουθία των bits του βίντεο έτσι ώστε να μπορέσει να εντοπίσει λάθη και/ή να τα διορθώσει. Άρα, ενώ η κωδικοποίηση της πηγής αποσκοπεί στη μείωση της πλεονάζουσας πληροφορίας στο σήμα του βίντεο, η κωδικοποίηση του καναλιού προσθέτει κάποια πλεονάζουσα πληροφορία. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι από κώδικες καναλιού: οι κώδικες ομάδας (block codes) και οι συνελικτικοί κώδικες (convolutional codes). Επιπλέον, υπάρχουν και κώδικες καναλιού οι οποίοι μπορούν να ανταπεξέλθουν στην ύπαρξη σφαλμάτων (RCPK κώδικες που θα χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία) και κώδικες που μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απώλειες πακέτων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις των ασύρματων μεταδόσεων βίντεο, η ανθεκτικότητα

του σφάλματος και η κωδικοποίηση του καναλιού δεν μπορούν να προσφέρουν επικοινωνίες απαλλαγμένες από απώλειες. Το πιο πιθανό είναι να χαθούν κάποια δεδομένα και να μην είναι διαθέσιμα στον παραλήπτη. Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται απόκρυψη σφάλματος στον αποκωδικοποιητή προκειμένου να εκτιμήσει τις χαμένες πληροφορίες και να προσπαθήσει να αποκρύψει τις απώλειες από το θεατή. Μερικές από τις τεχνικές απόκρυψης σφάλματος είναι η χρονική παρεμβολή αντιστάθμισης κίνησης, η χωρική παρεμβολή και η ανάκτηση των τρόπων κωδικοποίησης και τα διανύσματα κίνησης.

2.5.2 Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων

Στην κωδικοποίηση καναλιού, οι σχεδιαστές δικτύων έχουν αναπτύξει δύο βασικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων. Ο ένας τρόπος είναι να περιλαμβάνονται αρκετές πλεονάζουσες πληροφορίες σε κάθε αποστέλλομενη ομάδα δεδομένων έτσι ώστε ο παραλήπτης να μπορεί να συμπεράνει ποια μπορεί να ήταν τα δεδομένα που μεταδόθηκαν, ενώ ο άλλος τρόπος είναι να περιλαμβάνεται αρκετός πλεονασμός ώστε να μπορεί ο παραλήπτης να συμπεράνει ότι συνέβει ένα σφάλμα - αλλά όχι ποιο σφάλμα - έτσι ώστε να ζητά αναμετάδοση των δεδομένων. Η πρώτη στρατηγική χρησιμοποιεί *κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων (error-correcting codes)*, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιεί *κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων (error-detecting codes)*.

Η κάθε μία από αυτές τις στρατηγικές έχει τη δική της εφαρμογή. Σε κανάλια που είναι εξαιρετικά αξιόπιστα, όπως οι οπτικές ίνες, είναι οικονομικότερη η χρήση ενός κωδικού ανίχνευσης σφαλμάτων και η αναμετάδοση των λίγων ομάδων που εντοπίζονται ότι είναι εσφαλμένες. Σε κανάλια όμως όπως οι ασύρματες γραμμές, στα οποία παρουσιάζονται πολλά σφάλματα, είναι καλύτερο να προστίθεται αρκετός πλεονασμός σε κάθε ομάδα έτσι ώστε ο παραλήπτης να μπορεί να υπολογίσει ποια ήταν η αρχική ομάδα, αντί να απαιτεί μια αναμετάδοση η οποία μπορεί να είναι επίσης εσφαλμένη [27].

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην κωδικοποίηση του καναλιού για τη διόρθωση σφαλμάτων χρησιμοποιούνται δύο βασικές κατηγορίες κωδικών. Οι κώδικες ομάδας και οι συνελικτικοί κώδικες. Οι κώδικες ομάδας δουλεύουν σε ομάδες συγκεκριμένου μεγέθους (πακέτα) από bits ή σύμβολα προκαθορισμένου μεγέθους, ενώ οι συνελικτικοί κώδικες δουλεύουν σε ακολουθίες από bits ή από σύμβολα αυθαίρετου μήκους. Για να είναι καλός ένας κώδικας θα πρέπει οι κωδικές λέξεις του να βρίσκονται σε απόσταση όσο το δυνατόν μεγαλύτερη η μία από την άλλη και επιπλέον θα πρέπει η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίησή του να γίνονται αποτελεσματικά.

2.5.3 Κώδικες Ομάδας

Οι κώδικες ομάδας ομαδοποιούν τα bits της πηγής σε ομάδες των M bits, τις οποίες κωδικοποιούν σε ομάδες των $N+M$ bits. Ο αποκωδικοποιητής αποκωδικοποιεί μία ομάδα κάθε φορά, ανεξάρτητα τη μία από την άλλη. Από μία άποψη, αυτός ο τρόπος λειτουργίας είναι παρόμοιος με την αναγνώριση μεμονωμένων λέξεων κατά την ανάγνωση ενός κακογραμμένου χειρόγραφου.

Συγκεκριμένα, ένας κώδικας ομάδας μετατρέπει ένα μήνυμα m , που αποτελείται από μία ακολουθία συμβόλων ενός αλφαβήτου Σ , σε μία ακολουθία ορισμένου μήκους c από n κωδικοποιημένα σύμβολα, που ονομάζεται *κωδική λέξη (code word)*. Σε ένα γραμμικό κώδικα ομάδας (linear block code), κάθε μήνυμα εισόδου έχει συγκεκριμένο μήκος από $k < n$ σύμβολα εισόδου. Η πλεονάζουσα πληροφορία που προστέθηκε σε ένα μήνυμα μετασχηματίζοντάς το σε μία μεγαλύτερη κωδική λέξη επιτρέπει στον παραλήπτη να εντοπίζει και να διορθώνει λάθη σε μία μεταδιδόμενη κωδική λέξη και χρησιμοποιώντας έναν κατάλληλο αλγόριθμο αποκωδικοποίησης να ανακτήσει το αρχικό μήνυμα. Η πλεονάζουσα πληροφορία για έναν γραμμικό κώδικα ομάδας περιγράφεται με το λόγο k/n . Η αποδοτικότητα της διόρθωσης λαθών για έναν κώδικα ομάδας περιγράφεται από την απόσταση Hamming d , ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι κωδικών λέξεων και ονομάζεται απόσταση του κώδικα. Η απόσταση Hamming ανάμεσα σε δύο ακολουθίες ίσου μήκους είναι ο αριθμός των θέσεων στις οποίες τα αντίστοιχα σύμβολα είναι διαφορετικά.

2.5.4 Συνελικτικοί Κώδικες

Οι συνελικτικοί κώδικες εισάγουν μια εξάρτηση μεταξύ των διαδοχικών bits τα οποία μεταδίδονται και ο αποκωδικοποιητής αξιοποιεί την εξάρτηση αυτή για τη διόρθωση των σφαλμάτων. Ουσιαστικά, οι κώδικες αυτοί χρησιμοποιούν κάποια μνήμη από προηγούμενα bits για να αποκωδικοποιήσουν τα επόμενα μηνύματα. Η προσέγγιση αυτή μοιάζει περισσότερο με τον τρόπο με τον οποίο αναγνωρίζουμε στην πραγματικότητα τη γραφή με το χέρι.

Οι συνελικτικοί κώδικες ορίζονται συνήθως από τρεις παραμέτρους: (n, k, m) .

n - είναι ο αριθμός των bits εξόδου

k - είναι ο αριθμός των bits εισόδου

m - είναι ο αριθμός των καταχωρητών μνήμης

Η ποσότητα k/n ονομάζεται ρυθμός του κώδικα (code rate) και εκφράζει την αποτελεσματικότητά του. Συνήθως, οι παράμετροι k και n κυμαίνονται από 1 έως 8, το m από 2 έως 10 και ο ρυθμός του κώδικα από $1/8$ έως $7/8$.

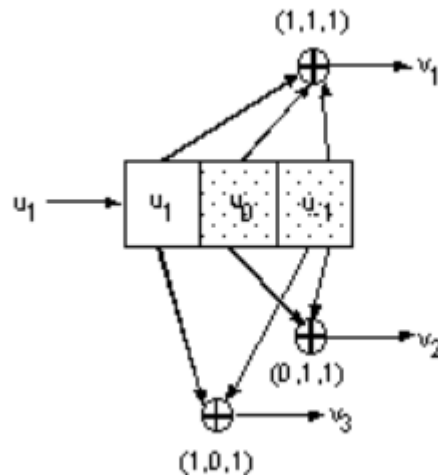
Συχνά οι κατασκευαστές chip συνελικτικών κωδίκων ορίζουν τον κώδικα με τις παραμέτρους (n, k, L) . Η ποσότητα L ονομάζεται *περιορισμός στο μήκος του κώδικα (constraint length)* και ορίζεται από τον τύπο

$$\text{Περιορισμός Μήκους, } L = k(m - 1)$$

Το L αντιπροσωπεύει τον αριθμό των bits στη μνήμη του κωδικοποιητή που επηρεάζουν την παραγωγή των n bits εξόδου.

Η δομή του συνελικτικού κώδικα είναι εύκολο να σχεδιαστεί από τις παραμέτρους του. Αρχικά, σχεδιάζουμε m κουτάκια που αντιστοιχούν στους m καταχωρητές μνήμης. Στη

συνέχεια, σχεδιάζουμε n , modulo-2 αθροιστές που αντιπροσωπεύουν τα n bits εξόδου. Κατόπιν, συνδέουμε τους καταχωρητές μνήμης με τους αθροιστές χρησιμοποιώντας μια πολυωνυμική γεννήτρια όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11: Συνελικτικός κωδικοποιητής.

Αυτός είναι ένας κώδικας με ρυθμό $1/3$. Κάθε bit εισόδου κωδικοποιείται σε 3 bits εξόδου. Ο περιορισμός μήκους του κώδικα είναι 2. Τα 3 bits εξόδου παράγονται από τους 3 modulo-2 αθροιστές προσθέτοντας ορισμένα bits στους καταχωρητές μνήμης. Η επιλογή για το ποια bits θα προστεθούν ώστε να παράγουμε το εκάστοτε bit εξόδου ονομάζεται *πολυώνυμο γεννήτρια* (g - *generator polynomial*), για το συγκεκριμένο bit εξόδου. Για παράδειγμα, το πρώτο bit εξόδου έχει πολυώνυμο γεννήτρια $(1, 1, 1)$. Το δεύτερο $(0, 1, 1)$ και το τρίτο $(1, 0, 1)$. Τα bits εξόδου είναι το άθροισμα αυτών των bits. Συγκεκριμένα,

$$\begin{aligned} v_1 &= \text{mod}2(u_1 + u_0 + u_{-1}) = (1 + 1 + 1) = 1 \\ v_2 &= \text{mod}2(u_0 + u_{-1}) = (1 + 1) = 0 \\ v_3 &= \text{mod}2(u_1 + u_{-1}) = (1 + 1) = 0 \end{aligned}$$

Τα πολυώνυμα παρέχουν στον κώδικα μοναδική προστασία από λάθη. Ένας κώδικας με 1 bit εισόδου, 3 bits εξόδου και 4 καταχωρητές μνήμης μπορεί να έχει τελείως διαφορετικές ιδιότητες από κάποιον άλλο. Αυτό εξαρτάται από τα πολυώνυμα που επιλέγονται.

Για την αποκωδικοποίηση των συνελικτικών κωδίκων υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι οι οποίοι ομαδοποιούνται κυρίως σε δύο κατηγορίες. Στην ακολουθιακή αποκωδικοποίηση

(ο αλγόριθμος Fano είναι ο πιο διαδεδομένος) και στην αποκωδικοποίηση μέγιστης πιθανοφάνειας (αποκωδικοποίηση Viterbi). Η ακολουθιακή αποκωδικοποίηση χρησιμοποιείται κυρίως ως ένας προσεγγιστικός αλγόριθμος αποκωδικοποίησης για συνελικτικούς κώδικες μεγάλου μήκους. Αυτή η προσέγγιση δεν είναι τόσο ακριβής όσο είναι ο αλγόριθμος Viterbi αλλά εξοικονομεί σημαντικά ποσά μνήμης του υπολογιστή. Αντιθέτως, η αποκωδικοποίηση Viterbi χρησιμοποιείται όταν έχουμε λίγα σύμβολα.

Οι βασικές αρχές που διέπουν την αποκωδικοποίηση Viterbi είναι οι εξής:

- Λάθη συμβαίνουν σπάνια και η πιθανότητα λάθους είναι πολύ μικρή.
- Η πιθανότητα να συμβούν δύο λάθη στη σειρά είναι πολύ μικρότερη από το να συμβεί ένα μεμονωμένο λάθος· δηλαδή τα λάθη κατανέμονται τυχαία.

Ο αποκωδικοποιητής Viterbi εξετάζει μία ολόκληρη ληφθείσα ακολουθία δεδομένου μήκους. Υπολογίζει μία μετρική για κάθε μονοπάτι (σε ένα διάγραμμα trellis για παράδειγμα) και παίρνει μία απόφαση με βάση αυτή τη μετρική. Εξετάζονται όλα τα μονοπάτια, εκτός εάν δύο μονοπάτια συγκλίνουν σε έναν κόμβο. Το μονοπάτι με τη μεγαλύτερη μετρική το κρατάμε, ενώ πετάμε το μονοπάτι με τη μικρότερη μετρική. Η πιο κοινή μετρική που χρησιμοποιείται και στους συνελικτικούς κώδικες όπως και στους κώδικες ομάδας είναι η απόσταση Hamming. Η μετρική αυτή είναι αθροιστική έτσι ώστε να επιλέγεται το μονοπάτι με τη μεγαλύτερη τιμή στη μετρική αυτή.

2.5.5 Αποδεκατισμένοι Συνελικτικοί Κώδικες Συμβατοί με κάποιο Ρυθμό

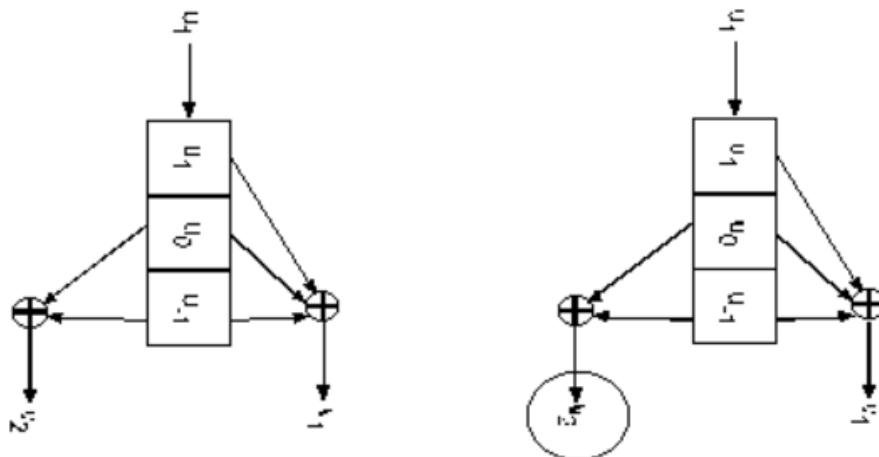
Στην παρούσα διατριβή, για την κωδικοποίηση του καναλιού χρησιμοποιήσαμε Αποδεκατισμένους Συνελικτικούς Κώδικες Συμβατούς με κάποιο Ρυθμό, (*Rate Compatible Punctured Convolutional Codes, RCPC*) [13]. Οι αποδεκατισμένοι συνελικτικοί κώδικες αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για να απλοποιήσουν την αποκωδικοποίηση Viterbi για κάποιο ρυθμό k/n , με 2 μονοπάτια να καταλήγουν σε κάθε κόμβο, αντί για 2^k μονοπάτια. Αποδεκατισμός (*puncturing*) είναι η διαδικασία διαγραφής bits από την ακολουθία εξόδου με κάποιο προκαθορισμένο τρόπο έτσι ώστε να μεταδίδονται λιγότερα bits από ό,τι στον αρχικό κώδικα.

Με τον καιρό, η ιδέα του αποδεκατισμού επεκτάθηκε και πήρε την έννοια του αποδεκατισμού με κάποιο ρυθμό (*rate-compatible*). Κατά τον αποδεκατισμό με κάποιο ρυθμό, ένας κώδικας με χαμηλό ρυθμο, $1/n$, αποδεκατίζεται περιοδικά με περίοδο P ώστε να προκύψει μία οικογένεια κωδίκων με ρυθμό

$$\frac{P}{P+1}, \quad \text{όπου το } 1 \text{ μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ } 1 \text{ και } (n-1)P.$$

Σύμφωνα με τον όρο αυτό, ένας κώδικας με μεγαλύτερο ρυθμό, θα πρέπει να αποτελεί υποσύνολο ενός κώδικα με χαμηλότερο ρυθμό, ή αλλιώς ένας κώδικας χαμηλής προστασίας από λάθη να μπορεί να ενσωματωθεί σε έναν κώδικα με μεγαλύτερη προστασία.

Συγκεκριμένα, στην ειδική περίπτωση που έχουμε 1 bit εισόδου, δηλαδή $k = 1$, οι ρυθμοί των κωδίκων $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$, $1/6$, $1/7$ ονομάζονται *μητρικοί κώδικες*, (*mother codes*). Στην περίπτωση αυτή, μπορούμε να συνδυάσουμε αυτούς τους κώδικες εισόδου του ενός bit για να παράγουμε αποδεκατισμένους κώδικες (punctured codes) που μας δίνουν ρυθμούς κωδίκων διαφορετικούς από $1/n$, (n ο αριθμός των bits εξόδου). Χρησιμοποιώντας δύο κώδικες με ρυθμό $1/2$ μαζί όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.12 και στέλνοντας μόνο τα 3 από τα 4 bits εξόδου, μπορούμε να μετατρέψουμε αυτή την υλοποίηση με ρυθμό $1/2$ σε έναν κώδικα με ρυθμό $2/3$. Δηλαδή, 2 bits εισέρχονται και 3 bits εξέρχονται. Αυτή είναι και η ιδέα του αποδεκατισμού που αναφέραμε προηγουμένως.



Σχήμα 2.12: Δύο συνελικτικοί (2,1,3) κωδικοποιητές.

Αυτή η τεχνική μας επιτρέπει να παράγουμε κώδικες πολλών διαφορετικών ρυθμών με εύκολη υλοποίηση από πλευράς υλικού (hardware). Αν και μπορούμε να δημιουργήσουμε και απευθείας έναν κώδικα με ρυθμό $2/3$, το πλεονέκτημα με έναν τέτοιο αποδεκατισμένο κώδικα είναι ότι οι ρυθμοί μπορούν να αλλάξουν δυναμικά (μέσω λογισμικού), με βάση τις συνθήκες του καναλιού. Αντίθετα, μία εκ των προτέρων υλοποίηση για κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό κώδικα, δεν προσφέρει αυτή τη δυνατότητα [2]. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα των RCPC κωδίκων με ίδιο μητρικό ρυθμό είναι ότι μπορούν να αποκωδικοποιηθούν από τον ίδιο αποκωδικοποιητή Viterbi.

Η χρήση RCPC κωδίκων μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε τα Viterbi άνω όρια για την πιθανότητα μετάδοσης σφάλματος, P_b , που δίνονται από τον τύπο

$$P_b \leq \frac{1}{P} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} c_d P_d \quad (2.10)$$

όπου το P είναι η περίοδος του κώδικα, d_{free} είναι η ελεύθερη απόσταση του κώδικα (η ελάχιστη απόσταση Hamming μεταξύ διαφορετικών κωδικοποιημένων ακολουθιών), c_d είναι το βάρος για κάποια λάθος πληροφορία (information error) και P_d είναι η πιθανότητα να έχει επιλεγεί λάθος μονοπάτι σε κάποια απόσταση d . Στην παρούσα εργασία θεωρούμε $M = 4$, δηλαδή 4 καταχωρητές μνήμης, $P = 8$, ενώ τις τιμές για τα d_{free} και c_d τις παίρνουμε από το Σχήμα 2.13 που περιλαμβάνεται στο [13].

RCPC CODE: M=4 P=8

	8/9 8/9	8/10 4/5	8/12 2/3	8/14 4/7	8/16 1/2	8/18 4/9	8/20 4/10	8/22 4/11	8/24 1/3	8/26 4/13	8/28 2/7	8/30 4/15	8/32 1/4
	1111 0111 1000 1000 0000 0000	1111 1111 1000 1000 0000 0000	1111 1111 1010 1010 0000 0000	1111 1111 1110 1110 0000 0000	1111 1111 1111 1111 0000 0000	1111 1111 1111 1111 1000 1000	1111 1111 1111 1111 1100 1100	1111 1111 1111 1111 1110 1110	1111 1111 1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111 1111 1111	1111 1111 1111 1111 1111 1111
2	1									1000 1000	1010 1010	1110 1110	1111 1111
3	242	42											
4	4199	274	4										
5	63521	2688	0	2									
6	885318	21692	496	62									
7	11678199	154684	0	144	32	2							
8		1103894	10884	350	96	36	2						
9			0	2006	160	60	34	10					
10				5394	576	82	28	8					
11					1800	354	66	36	8	2			
12					4000	856	226	72	48	4			
13							354	114	72	56	20	2	
14								228	48	40	20	16	
15									104	38	36	38	32
16									256	104	24	0	16
17											56	18	0
18											184	74	32
19													48
20													96

Σχήμα 2.13: Πίνακας αποδεκατισμού με τιμές για τα c_d , ανάλογα με το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και την απόσταση του κώδικα, για τους RCPC κώδικες, όταν έχουμε 4 καταχωρητές μνήμης και η περίοδος του κώδικα είναι 8.

Ένα AWGN κανάλι με BPSK έχει P_d που δίνεται από

$$P_d = Q\left(\sqrt{\frac{2dR_c E_k}{I_0}}\right) \quad (2.11)$$

όπου,

$$Q\left(\sqrt{\frac{2dR_c E_k}{I_0}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{\frac{2dR_c E_k}{I_0}}}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.12)$$

Αντικαθιστώντας την (2.12) στην (2.11), προκύπτει τελικά ότι

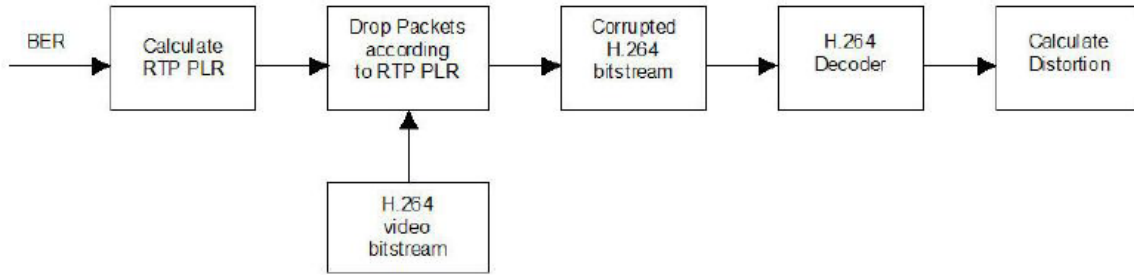
$$Q\left(\sqrt{\frac{2dR_c E_k}{I_0}}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{dR_c E_k}{I_0}}\right) \quad (2.13)$$

όπου R_c είναι ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού, και E_k/I_0 είναι ο λόγος της ενέργειας-ανά-bit προς τις παρεμβολές πολλαπλής πρόσβασης για κάποιο κόμβο k , και μετριέται σε Watts/Hertz. Αν ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος του περιβάλλοντος είναι αρκετά σημαντικοί, τότε το

$$\frac{E_k}{I_0}, \quad \text{αντικαθίσταται από το,} \quad \frac{E_k}{I_0 + N_0}.$$

2.6 Υπολογισμός Αναμενόμενης Παραμόρφωσης του βίντεο

Είναι προφανές, πως η αναμενόμενη παραμόρφωση του βίντεο για κάποιο κόμβο εξαρτάται από τον αντίστοιχο ρυθμό μετάδοσης λαθών. Στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιήσαμε *Γενικά Χαρακτηριστικά Ρυθμού-Παραμόρφωσης*, (*Universal Rate-Distortion Characteristics, URDCs*) [16]. Αυτά τα χαρακτηριστικά εκφράζουν την αναμενόμενη παραμόρφωση σαν συνάρτηση των πιθανοτήτων μετάδοσης λαθών, P_b , μετά την αποκωδικοποίηση του καναλιού. Παρόλα αυτά, καθώς το βίντεο κωδικοποιήθηκε με τον κωδικοποιητή H.264, σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίζει λάθη σε πακέτα και όχι λάθη σε bit. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται τα πακέτα (packet loss rate, PLR). Στο Σχήμα 2.14, παρουσιάζεται η διαδικασία μέσω της οποίας λαμβάνουμε την παραμόρφωση του βίντεο για κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης λαθών και για κωδικοποιητή που βασίζεται σε πακέτα.



Σχήμα 2.14: Με δεδομένο BER υπολογίζουμε την παραμόρφωση.

Αρχικά, υπολογίζουμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο *Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου*, (*Real-time Transport Protocol, RTP*), για κάποιο δεδομένο BER. Το πρωτόκολλο RTP ορίζει ένα συγκεκριμένο πρότυπο για πακέτα και χρησιμοποιείται για να μεταφέρει ηχητικά και οπτικά δεδομένα μέσω του διαδικτύου σε πραγματικό χρόνο [25]. Στη συνέχεια, αφαιρούμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τη συμβολοσειρά του H.264 σύμφωνα με το RTP PLR. Εισάγουμε τη συμβολοσειρά που προκύπτει στον αποκωδικοποιητή H.264 και υπολογίζουμε την παραμόρφωση που έχει υποστεί ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα τριακόσιες φορές και τέλος παίρνουμε το μέσο όρο των τριακοσίων παραμορφώσεων.

Ένα bit λαμβάνεται σωστά με πιθανότητα $(1 - BER)$. Το μέγεθος του πακέτου στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων είναι LL_{size} και μετريέται σε bits. Η πιθανότητα να μη συμβεί κανένα λάθος στα bits κάποιου πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων είναι $(1 - BER)^{LL_{size}}$ και επομένως

$$PLR_{LL} = 1 - (1 - BER)^{LL_{size}} \quad (2.14)$$

όπου PLR_{LL} είναι ο ρυθμός απώλειας πακέτων για ένα πακέτο του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, μεγέθους LL_{size} . Ομοίως, υπολογίζουμε τον RTP ρυθμό απώλειας πακέτου ως εξής

$$PLR_{RTP} = 1 - (1 - PLR_{LL})^{RTP_{size}} \quad (2.15)$$

όπου PLR_{RTP} είναι ο ρυθμός απώλειας πακέτων για ένα RTP πακέτο μεγέθους RTP_{size} , μετρημένο σε πακέτα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων. Υποθέτουμε πως γνωρίζουμε πότε ένα πακέτο περιέχει κάποιο λάθος και με το χέρι πετάμε τα πακέτα που περιέχουν λάθη στην ακολουθία που κωδικοποιήθηκε με το H.264, σύμφωνα με το PLR_{RTP} που υπολογίστηκε

για κάποιο συγκεκριμένο BER. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την παραμόρφωση για αυτή την αλλοιωμένη (corrupted) βιντεοακολουθία. Έτσι δημιουργείται μια σχέση μεταξύ του BER και της παραμόρφωσης μιας βιντεοακολουθίας που βασίζεται σε πακέτα, με λάθη στα πακέτα. Το BER που μας ενδιαφέρει για τα URDCs είναι το BER μετά την αποκωδικοποίηση του καναλιού. Άρα, στην περίπτωση μας $P_b = BER$.

Εφόσον τα λάθη στο κανάλι είναι τυχαία, η παραμόρφωση του βίντεο $D_{s+c,k}$ του κόμβου k , η οποία οφείλεται τόσο στην απωλεστική συμπίεση όσο και στα λάθη του καναλιού είναι μια τυχαία μεταβλητή. Επομένως, δεν αρκεί να υπολογίσουμε την παραμόρφωση του βίντεο για μία μόνο πραγματοποίηση του καναλιού. Για το λόγο αυτό, εκτελούμε το πείραμα τριακόσιες φορές και παίρνουμε το μέσο όρο των παραμορφώσεων ή αλλιώς τη μέση παραμόρφωση $E[D_{s+c,k}]$.

Όπως στο [17] και στο [7], υποθέτουμε το ακόλουθο μοντέλο για τα URDC για κάθε χρήστη k ,

$$E[D_{s+c,k}] = \alpha \left[\log_{10} \left(\frac{1}{P_b} \right) \right]^{-\beta} \quad (2.16)$$

όπου τα α και β είναι τέτοια ώστε το τετραγωνικό σφάλμα της προσέγγισης να ελαχιστοποιείται. Επομένως, αντί να υπολογίσουμε τα URDCs βασιζόμενοι στα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε δυνατό P_b , υπολογίζουμε πειραματικά τη μέση παραμόρφωση για ορισμένους ρυθμούς απώλειας πακέτων που σχετίζονται με συγκεκριμένους ρυθμούς σφαλμάτων. Έτσι, χρησιμοποιούμε το μοντέλο που δίνεται στην εξίσωση (2.16) για να προσεγγίσουμε την παραμόρφωση για άλλους ρυθμούς μετάδοσης σφαλμάτων. Οι παράμετροι α και β εξαρτώνται από τη βιντεοακολουθία (από το εάν δηλαδή περιλαμβάνει αργή ή γρήγορη κίνηση) και από το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής.

Η μέση παραμόρφωση $E[D_{s+c,k}]$ για κάποιον κόμβο k είναι συνάρτηση των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού, $R_{s,k}$ και $R_{c,k}$ αντίστοιχα, για κάποιον κόμβο k , και των ισχύων μετάδοσης όλων των κόμβων S_k , $k = 1, 2, \dots, K$. Αυτό προκύπτει ως εξής: Από την εξίσωση (2.3) υποθέτοντας πως όλοι οι χρήστες εκπέμπουν με το ίδιο συνολικό bit rate (και άρα και με το ίδιο chip rate), το E_k/I_0 για τον κόμβο k εξαρτάται από τις ισχύς μετάδοσης όλων των κόμβων. Από τις εξισώσεις (2.10) και (2.11) προκύπτει ότι η πιθανότητα μετάδοσης σφάλματος σε κάποιο bit, P_b , για τον κόμβο k , εξαρτάται από το λόγο E_k/I_0 και από το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού $R_{c,k}$. Από την εξίσωση (2.16) προκύπτει ότι η μέση τιμή της παραμόρφωσης $E[D_{s+c,k}]$ εξαρτάται από το P_b , το $R_{s,k}$ και από την κωδικοποιημένη βιντεοακολουθία. Συνοψίζοντας, μπορούμε να γράψουμε τη μέση παραμόρφωση ως

$$E[D_{s+c,k}](R_{s,k}, R_{c,k}, S) = \alpha(k) \left[\log_{10} \frac{1}{\frac{1}{P} \sum_{d=d_{free}(k)}^{d_{free}(k)+5} \left(c_d(k) \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{d R_c \left(\frac{S_k}{R_k} \right)} \right)} \right)} \right]^{-\beta(k)} \quad (2.17)$$

όπου για την παρούσα διατριβή $P = 8$, $k = 1, 2, \dots, 100$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

-
- 3.1 Ελαχιστοποίηση της Μέσης Παραμόρφωσης
 - 3.2 Ελαχιστοποίηση της Μέγιστης Παραμόρφωσης
 - 3.3 Διακριτές Τιμές των Παραμέτρων Μετάδοσης
 - 3.4 Βελτιστοποίηση των Αλγορίθμων και Υπολογιστική Πολυπλοκότητα
 - 3.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων
 - 3.6 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων
 - 3.7 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού
 - 3.8 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων
 - 3.9 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων
-

Η κεντρική μονάδα ελέγχου που βρίσκεται στο επίπεδο δικτύου, διαχειρίζεται τις διαθέσιμες πηγές του συστήματος και αποφασίζει για τον τρόπο με τον οποίο θα τις καταναίμει ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Επιπλέον, μπορεί να ζητήσει αλλαγές για κάποιες από τις παραμέτρους μετάδοσης. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτήσει από ορισμένους κόμβους να αποστέλλουν το βίντεό τους με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων εάν παρόλα αυτά είναι σε θέση να παράγουν καλή ποιότητα βίντεο, ή ακόμη να ζητήσει από τους κόμβους να μεταδίδουν το βίντεο με χαμηλότερη ποιότητα, εάν οι σκηνές οι οποίες καταγράφουν αξιολογηθούν ως λιγότερο σημαντικές.

Γενικότερα, οι διάφοροι κόμβοι ενός δικτύου αισθητήρων μπορούν να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις για τη συμπίεση ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που περιλαμβάνει το βίντεο που καταγράφουν. Με τα επόμενα δύο κριτήρια που προτείνουμε, μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε από κοινού τις παραμέτρους μετάδοσης όλων των κόμβων. Δύο από τα κριτήρια που χρησιμοποιήσαμε για τη βέλτιστη κατανομή του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, του ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού και των ισχύων μετάδοσης ανάμεσα σε όλους τους χρήστες του συστήματος και τα οποία βασίζονται στην ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης του δικτύου είναι η Ελαχιστοποίηση της Μέσης Παραμόρφωσης και η Ελαχιστοποίηση της Μέγιστης Παραμόρφωσης. Ο περιορισμός που ισχύει και για τα δύο κριτήρια είναι πως ο ρυθμός μετάδοσης των chips, R_{chip} , θα πρέπει να είναι ο ίδιος για όλους τους κόμβους. Επιπλέον, υποθέτοντας πως και το μήκος εξάπλωσης του κώδικα L είναι το ίδιο για όλους τους κόμβους, από την εξίσωση (2.7) προκύπτει πως όλοι οι κόμβοι θα πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με το ίδιο bit rate, R_k . Επιπλέον, από την εξίσωση (2.4) προκύπτει ότι οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού μοιράζονται τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

3.1 Ελαχιστοποίηση της Μέσης Παραμόρφωσης

Το κριτήριο αυτό βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της μέσης παραμόρφωσης του δικτύου και μπορεί να οριστεί επίσημα ως εξής [5]:

Δεδομένου ενός συνολικού προκαθορισμένου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, R_{budget} , ορίστε τα διανύσματα του βέλτιστου ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, R_s , του βέλτιστου ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού, R_c και των ισχύων μετάδοσης των κόμβων S , έτσι ώστε η συνολική παραμόρφωση από άκρο σε άκρο $D_{ave}(R_s, R_c, S)$ από όλους τους κόμβους να ελαχιστοποιείται:

$$\{R_s, R_c, S\} = \arg \min_{R_s, R_c, S} D_{ave}(R_s, R_c, S), \text{ δεδομένου ότι } R_1 = R_2 = \dots = R_K = R_{budget}, \quad (3.1)$$

με $R_k = \frac{R_{s,k}}{R_{c,k}}$. Το $D_{ave}(R_s, R_c, S)$ εκφράζεται ως:

$$D_{ave}(R_s, R_c, S) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E[D_{s+c,k}](R_{s,k}, R_{c,k}, S). \quad (3.2)$$

3.2 Ελαχιστοποίηση της Μέγιστης Παραμόρφωσης

Το κριτήριο αυτό βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της μέγιστης παραμόρφωσης του συστήματος και μπορεί να οριστεί επίσημα ως εξής [5]:

Δεδομένου ενός συνολικού προκαθορισμένου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, R_{budget} , ορίστε τα διανύσματα του βέλτιστου ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, R_s , του βέλτιστου ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού, R_c και των ισχύων μετάδοσης S , έτσι ώστε η μέγιστη παραμόρφωση του δικτύου από άκρο σε άκρο $D_{ave}(R_s, R_c, S)$ από όλους τους κόμβους να ελαχιστοποιείται:

$$\{R_s, R_c, S\} = \arg \min_{R_s, R_c, S} D_{max}(R_s, R_c, S), \text{ δεδομένου ότι } R_1 = R_2 = \dots = R_K = R_{budget}, \quad (3.3)$$

με $R_k = \frac{R_{s,k}}{R_{c,k}}$. Το $D_{max}(R_s, R_c, S)$ εκφράζεται ως:

$$D_{max}(R_s, R_c, S) = \max_k E[D_{s+c,k}](R_{s,k}, R_{c,k}, S). \quad (3.4)$$

Το κριτήριο αυτό δεν αξιολογεί τα βίντεο από τους διάφορους αισθητήρες ως περισσότερο ή λιγότερο σημαντικά, αλλά θεωρεί πως όλα είναι εξίσου σημαντικά. Επιπλέον, επιτρέπει στους αισθητήρες που καταγράφουν βίντεο με χαμηλή κίνηση να συμπιέζουν τα δεδομένα τους με λιγότερα bits. Επομένως, θα λέγαμε πως το κριτήριο αυτό είναι αρκετά “δίκαιο” ως προς όλους τους κόμβους, καθώς ελαχιστοποιεί τη χειρότερη παραμόρφωση ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου.

3.3 Διακριτή Περίπτωση των Παραμέτρων Μετάδοσης

Στην παρούσα διατριβή, για τα δύο παραπάνω κριτήρια κάναμε μία σειρά από παραδοχές. Αρχικά, κατατάξαμε τους κόμβους σε δύο κλάσεις ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης το οποίο καταγράφουν, για να περιγράψουμε ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο όπου υπάρχουν σκηνές με ποικίλλα επίπεδα κίνησης. Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε κόμβους που καταγράφουν χαμηλά επίπεδα κίνησης, τους οποίους τους ονομάσαμε “κόμβους χαμηλής κίνησης”, και κόμβους που περιγράφουν υψηλά επίπεδα κίνησης, τους οποίους τους ονομάσαμε “κόμβους γρήγορης κίνησης”. Καθώς έχουμε λοιπόν δύο κλάσεις κίνησης για τους κόμβους (motion classes) έχουμε και δύο σύνολα από καμπύλες URDCs, ένα για κάθε κλάση. Επομένως, αντί να καθορίσουμε τις παραμέτρους μετάδοσης καθενός από τους κόμβους μπορούμε να καθορίσουμε τις παραμέτρους μετάδοσης για κάθε κλάση κόμβων.

Στη συνέχεια, θεωρήσαμε ότι και τα δύο προβλήματα που περιγράφουν τα παραπάνω κριτήρια είναι διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης. Ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής, μπορεί να πάρει διακριτές τιμές από ένα σύνολο \mathbf{R}_s , ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού μπορεί επίσης να πάρει διακριτές τιμές από ένα σύνολο \mathbf{R}_c και τέλος οι ισχύς επιτρέπεται να παίρνουν μόνο διακριτές τιμές από ένα σύνολο \mathbf{S} . Δηλαδή, $R_{s,k} \in \mathbf{R}_s$, $R_{c,k} \in \mathbf{R}_c$, $S_k \in \mathbf{S}$, για κάποιο κόμβο k [16].

Επιπλέον, με δεδομένο τον περιορισμό που ισχύει και για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέσης παραμόρφωσης αλλά και για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέγιστης παραμόρφωσης, ότι δηλαδή όλοι οι κόμβοι θα πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης, από την εξίσωση (2.4) προκύπτει ότι οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής

και καναλιού μοιράζονται τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Δηλαδή, όλα τα ζεύγη $(R_{s,k}, R_{c,k})$ για κάποιον κόμβο k , μπορούν να πάρουν τιμές από ένα πεπερασμένο, διακριτό σύνολο τιμών \mathbf{R}_{s+c} , το οποίο φυσικά θα πρέπει να έχει την ίδια πληθικότητα με τα σύνολα \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c .

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κατατάξαμε τους K κόμβους του δικτύου σε δύο κλάσεις ανάλογα με το επίπεδο κίνησης που καταγράφουν, με αποτέλεσμα να έχουμε κόμβους υψηλής κίνησης (high-motion nodes, K_{high}) και κόμβους χαμηλής κίνησης (low-motion nodes, K_{low}). Επομένως, και για τα δύο παραπάνω κριτήρια βελτιστοποίησης, ο σκοπός είναι να ορίσουμε τα διανύσματα:

$$\begin{aligned} S &= [S_{high}, S_{low}]^\top \\ R_{s+c,high} &= [R_{s,high}, R_{c,high}]^\top \\ R_{s+c,low} &= [R_{s,low}, R_{c,low}]^\top. \end{aligned}$$

3.4 Βελτιστοποίηση των Αλγορίθμων και Υπολογιστική Πολυπλοκότητα

Στην ενότητα αυτή αναλύουμε το διακριτό αλγόριθμο βελτιστοποίησης για τα παραπάνω κριτήρια και εξετάζουμε την υπολογιστική του πολυπλοκότητα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για όλα τα αποδεκτά ζεύγη ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού $(R_{s,k}, R_{c,k})$ για κάποιον κόμβο k , θα πρέπει να ικανοποιείται η εξίσωση (2.4). Αυτό σημαίνει, ότι η πληθικότητα του συνόλου \mathbf{R}_s θα πρέπει να ισούται με την πληθικότητα του συνόλου \mathbf{R}_c , δηλαδή $|\mathbf{R}_s| = |\mathbf{R}_c| = C$. Επιπλέον, και ο αριθμός των αποδεκτών ζευγών $(R_{s,k}, R_{c,k})$ θα πρέπει να ισούται με C . Για κάθε κλάση κόμβων θα πρέπει να επιλέγεται ένα ζεύγος ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού και η ισχύς μετάδοσης των δεδομένων της. Ο αριθμός των πιθανών επιλογών για κάθε κλάση κόμβων είναι $C \cdot |S|$, όπου $|S|$ είναι η πληθικότητα του συνόλου \mathbf{S} , δηλαδή του συνόλου των ισχύων. Εάν λοιπόν στο δίκτυο υπάρχουν N κλάσεις κόμβων τότε οι πιθανοί συνδυασμοί ρυθμών κωδικοποίησης πηγής-καναλιού και ισχύων για κάθε κλάση ισούται με $(C \cdot |S|)^N$.

Ένας τρόπος επίλυσης των προβλημάτων των εξισώσεων (3.1) και (3.3) θα μπορούσε να αποτελέσει η εξαντλητική αναζήτηση (exhaustive search), με το να δοκιμάζουμε όλους τους $(C \cdot |S|)^N$ συνδυασμούς και να επιλέγουμε το συνδυασμό εκείνο που ελαχιστοποιεί την αντίστοιχη έκφραση. Αυτή η υπολογιστική πολυπλοκότητα μπορεί να μειωθεί, αρκεί να παρατηρήσει κανείς το εξής: Η μέση παραμόρφωση του βίντεο $E[D_{s+c,k}](R_{s,k}, R_{c,k}, S)$ για κάποιον κόμβο k δεν επηρεάζεται από τις επιλογές των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού των άλλων κόμβων, παρά μόνο επηρεάζεται από τις ισχύς με τις οποίες αποστέλλουν τα δεδομένα τους οι άλλοι κόμβοι. Επομένως, προκύπτει ότι υπάρχουν $|S|^N$ δυνατοί συνδυασμοί κατανομής των ισχύων για όλες τις κλάσεις των κόμβων. Για κάθε κατανομή ισχύος, η κάθε κλάση κόμβων θα πρέπει να επιλέγει το καλύτερο ζεύγος $(R_{s,k}, R_{c,k})$, δηλαδή το ζεύγος εκείνο που ελαχιστοποιεί την αναμενόμενη παραμόρφωση. Καθώς υπάρχουν C

τέτοια ζεύγη, χρειάζονται $C - 1$ συγκρίσεις. Καθώς όμως υπάρχουν N κλάσεις κόμβων, ο συνολικός αριθμός των συγκρίσεων ανέρχεται σε $N(C - 1)|S|^N$. Επομένως, για κάθε κατανομή ισχύος S από τις $|S|^N$, βρήκαμε τους συνδυασμούς των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού που θα μπορούσαν να ελαχιστοποιήσουν την αναμενόμενη παραμόρφωση για κάθε κλάση κόμβων.

Έτσι, για να επιλύσουμε το πρόβλημα της εξίσωσης (3.1) χρειάζεται να βρούμε τη μικρότερη τιμή από τις $|S|^N$. Για το σκοπό αυτό χρειάζεται να κάνουμε $|S|^N - 1$ συγκρίσεις. Επομένως, συνολικά χρειαζόμαστε $N(C - 1)|S|^N + |S|^N - 1$ συγκρίσεις για να επιλύσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Όσον αφορά στην επίλυση του προβλήματος (3.3) για κάθε έναν από τους $|S|^N$ συνδυασμούς ισχύων, χρειάζεται να συγκρίνουμε τις παραμορφώσεις για κάθε κατηγορία κόμβων και να βρούμε τη μέγιστη παραμόρφωση από όλες τις κατηγορίες. Για το λόγο αυτό, χρειάζονται $N - 1$ συγκρίσεις. Στη συνέχεια, για κάθε κλάση κόμβων θα πρέπει να βρούμε τη μικρότερη από τις παραμορφώσεις ανάμεσα σε $|S|^N$ συδυασμούς. Άρα, συνολικά χρειαζόμαστε $N(C - 1)|S|^N + (N - 1) + |S|^N - 1$ συγκρίσεις για να επιλύσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα.

3.5 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Καθώς θεωρήσαμε δύο κλάσεις κίνησης, χρησιμοποιήσαμε δύο σύνολα από URDCs καμπύλες. Προκειμένου, να βρούμε την τιμή των μεταβλητών α και β στην εξίσωση (2.16) χρησιμοποιήσαμε δεδομένα τα οποία πήραμε ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία.

Αρχικά, για κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης σφαλμάτων, $10^{-7}, 10^{-6}, 10^{-5}$, υπολογίσαμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου. Στη συνέχεια, αφαιρέσαμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τη βιντεοακολουθία του H.264 που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματά μας (εξηγούμε παρακάτω), σύμφωνα με το RTP PLR. Αποκωδικοποιήσαμε τη συγκεκριμένα βιντεοακολουθία και υπολογίσαμε την παραμόρφωση που υπέστη ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλάβαμε το πείραμα 300 φορές και τέλος κρατήσαμε το μέσο όρο από τις 300 παραμορφώσεις της συγκεκριμένης βιντεοακολουθίας.

Η βιντεοακολουθία που χρησιμοποιήσαμε για να παραστήσουμε την κλάση των κόμβων χαμηλής κίνησης είναι η “Akiyo”, ενώ για να παραστήσουμε την κλάση των κόμβων γρήγορης κίνησης, χρησιμοποιήσαμε τη βιντεοακολουθία “Foreman”. Και στα δύο βίντεο, τα χαρακτηριστικά αποκτήθηκαν, με ρυθμό μετάδοσης καρτέ (frame rate) ίσο με 15 καρτέ/δευτερόλεπτο (frames/sec).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, χρησιμοποιήσαμε BPSK διαμόρφωση και κώδικες RCPC με μητρικό κώδικα 1/4 για την κωδικοποίηση του καναλιού [13]. Το μέγεθος του πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων το ορίσαμε ίσο με 400. Εξετάσαμε δύο διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Συγκεκριμένα i) 96000 bits/s και ii) 144000 bits/s. Επίσης δοκιμάσαμε δύο διαφορετικές τιμές για το εύρος ζώνης συχνοτήτων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε i) 20MHz και ii) 15MHz. Όπως μπορούμε να δούμε από τη σχέση (2.8),

αυξάνοντας τον προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και διατηρώντας παράλληλα σταθερό το εύρος ζώνης, το μήκος του κώδικα εξάπλωσης L , ο αριθμός των chips-ανά-bit και η μεταδιδόμενη ενέργεια-ανά-bit μειώνονται. Άρα, αυξάνοντας τον προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αυξάνεται και ο ρυθμός μετάδοσης σφαλμάτων. Τα σύνολα των αποδεκτών ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού για τα δύο διαφορετικά bit rate που θεωρήσαμε, είναι τα εξής:

$$R = 96000 \text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(32 \text{kbps}, 1/3), (48 \text{kbps}, 1/2), (64 \text{kbps}, 2/3)\} \quad (3.5)$$

$$R = 144000 \text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(48 \text{kbps}, 1/3), (72 \text{kbps}, 1/2), (96 \text{kbps}, 2/3)\} \quad (3.6)$$

Η ισχύς (μετρημένη σε Watts) μπορεί να πάρει κάποια από τις 3 διακριτές τιμές του συνόλου $\mathbf{S} \in \{5, 10, 15\}$. Επομένως, $C = 3$ και $|S| = 3$.

Στους πίνακες (3.1) έως (3.8) παρουσιάζουμε πώς μπορούν να κατανεμηθούν οι πόροι τους συστήματος για διάφορες κατανομές των κόμβων γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για δύο διαφορετικά bit rate και δύο διαφορετικά bandwidth. Τα $R_{s,high}, R_{c,high}, S_{high}$ αντιστοιχούν στο ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, στο ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και στην ισχύ μετάδοσης των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ τα $R_{s,low}, R_{c,low}, S_{low}$ αντιστοιχούν στις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης. Κάτω από τη στήλη “High” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ κάτω από τη στήλη “Low” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων χαμηλής κίνησης. Με τον όρο MAD, αναφερόμαστε στο κριτήριο Ελαχιστοποίησης της Μέσης Παραμόρφωσης, ενώ με τον όρο MMD αναφερόμαστε στο κριτήριο Ελαχιστοποίησης της Μέγιστης Παραμόρφωσης. Σε όλες τις κατανομές κόμβων, ο συνολικός αριθμός των κόμβων παραμένει σταθερός και ισούται με 100. Επιπλέον, οι δύο τελευταίες στήλες κάθε πίνακα, $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$, αντιπροσωπεύουν το PSNR των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα.

Ο όρος PSNR προέρχεται από την αγγλική ορολογία *Peak Signal-to-Noise Ratio* και είναι ο λόγος της μέγιστης δυνατής ισχύος του σήματος προς το θόρυβο. Μετριέται σε ντεσιμπέλ (decibel, dB) και εκφράζει την ποιότητα της ανακατασκευασμένης εικόνας ή του ανακατασκευασμένου βίντεο ύστερα από απωλεστική συμπίεση. Στην περίπτωση αυτή, το σήμα είναι τα αρχικά δεδομένα, ενώ ο θόρυβος είναι το σφάλμα που εισάγεται εξαιτίας της συμπίεσης και εξαιτίας του θορύβου του καναλιού. Για τον υπολογισμό του PSNR απαραίτητη προϋπόθεση είναι να γνωρίζουμε τη μέση παραμόρφωση. Το PSNR λοιπόν δίνεται από τον τύπο

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{E[D_{s+c}]} \right) \quad (3.7)$$

όπου PSNR είναι ο λόγος του μέγιστου σήματος προς το θόρυβο, ενώ $E[D_{s+c}]$ είναι η μέση παραμόρφωση που προκύπτει από την κωδικοποίηση της πηγής και το θόρυβο του καναλιού.

3.6 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα (3.1) για το κριτήριο MAD, οι κόμβοι γρήγορης κίνησης στέλνουν τα δεδομένα τους με διπλάσια ισχύ από ό,τι οι κόμβοι χαμηλής κίνησης και παρόλα αυτά το PSNR τους για όλες τις κατανομές κόμβων τις οποίες δοκιμάσαμε, είναι χαμηλότερο από το PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης. Βέβαια, όσο οι κόμβοι γρήγορης κίνησης μειώνονται ενώ αντίστοιχα αυξάνονται οι κόμβοι χαμηλής κίνησης, τα PSNR και των δύο κατηγοριών κόμβων αυξάνονται.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν μελετώντας τον πίνακα (3.2) για το κριτήριο MMD είναι πως και στην περίπτωση αυτή, οι κόμβοι χαμηλής κίνησης στέλνουν τα δεδομένα τους με την ελάχιστη ισχύ που μπορούν να στείλουν για όλες τις κατανομές κόμβων. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι κόμβοι που καταγράφουν σκηνές χαμηλής κίνησης είναι περισσότερο ανθεκτικοί σε λάθη. Ακόμη, τα PSNR και των δύο κατηγοριών κόμβων, αυξάνονται καθώς μειώνονται οι κόμβοι γρήγορης κίνησης και αυξάνονται οι κόμβοι χαμηλής κίνησης. Στην περίπτωση αυτή όμως, για δύο κατανομές κόμβων, 30 – 70 και 10 – 90, τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης ξεπερνούν τα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης, καθώς στέλνουν τα δεδομένα τους με τριπλάσια ισχύ σε σχέση με την ισχύ με την οποία στέλνουν τα δεδομένα τους οι κόμβοι χαμηλής κίνησης.

Συγκρίνοντας τον πίνακα (3.3) με τον πίνακα (3.1) και τον πίνακα (3.4) με τον πίνακα (3.2), παρατηρούμε πως για το ίδιο bit rate αλλά για μικρότερο bandwidth τα PSNR και των κόμβων γρήγορης κίνησης αλλά και των κόμβων αργής κίνησης μειώνονται.

Επιπλέον, ο πίνακας (3.5) σε σχέση με τον πίνακα (3.1) για το MAD κριτήριο, και ο πίνακας (3.6) σε σχέση με τον πίνακα (3.2) για το MMD κριτήριο, έχουν μεγαλύτερο bit rate, αλλά και οι δύο έχουν το ίδιο bandwidth. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή παρατηρούμε πως στους πίνακες που έχουν μεγαλύτερο bit rate, τα $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ έχουν μικρότερες τιμές από τις αντίστοιχες των πινάκων με τα μικρότερα bandwidth.

Παρατηρώντας τους πίνακες (3.7) και (3.8) συγκριτικά με τους (3.1) και (3.2) για τα αντίστοιχα κριτήρια, διαπιστώνουμε πως όταν αυξάνουμε το bit rate και συγχρόνως ελαττώνουμε το bandwidth, οι τιμές των PSNR των δύο κατηγοριών κόμβων πάλι μειώνονται, αλλά ακόμη περισσότερο από το να επεμβαίναμε μόνο σε μία από τις δύο παραμέτρους είτε αυξάνοντας δηλαδή μόνο το bit rate είτε μειώνοντας μόνο το bandwidth.

Γενικά, σε αρκετές περιπτώσεις των κριτηρίων MAD και MMD, οι κόμβοι γρήγορης κίνησης συμπιέζουν τα δεδομένα τους με περισσότερα bits συγκριτικά με τους κόμβους χαμηλής κίνησης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η μείωση που επιφέρει στη συνολική παραμόρφωση η κωδικοποίηση με περισσότερα bits είναι πιο σημαντική από το αποτέλεσμα που επιφέρει η κωδικοποίηση του καναλιού με περισσότερα bits. Παρόλα αυτά, οι παραμορφώσεις για τους κόμβους χαμηλής κίνησης παραμένουν σχετικά χαμηλές ακόμα και αν μειωθεί ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής. Επομένως, μπορούν να στέλνουν τα δεδομένα τους κωδικοποιώντας τα με λιγότερα bits σε ορισμένες περιπτώσεις.

Στο Σχήμα 3.1 βλέπουμε πως κυμαίνεται το PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης σε σχέση με το PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης για το κριτήριο MAD, όταν το bit rate είναι 144000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz. Στο Σχήμα 3.2 βλέπουμε πώς κυμαίνεται

Πίνακας 3.1: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/2)	10	10	(32kbps,1/3)	5	28.2781	31.1560
70	(48kbps,1/2)	10	30	(32kbps,1/3)	5	29.2507	32.1579
50	(64kbps,2/3)	10	50	(32kbps,1/3)	5	30.7095	33.1958
30	(64kbps,2/3)	10	70	(32kbps,1/3)	5	32.2454	34.2934
10	(64kbps,2/3)	10	90	(64kbps,2/3)	5	33.8199	36.5165

Πίνακας 3.2: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/2)	10	10	(32kbps,1/3)	5	28.2781	31.1560
70	(48kbps,1/2)	10	30	(32kbps,1/3)	5	29.2507	32.1579
50	(64kbps,2/3)	10	50	(32kbps,1/3)	5	30.7095	33.1958
30	(64kbps,2/3)	15	70	(32kbps,1/3)	5	34.0890	32.6711
10	(64kbps,2/3)	15	90	(64kbps,2/3)	5	36.4133	35.3246

Πίνακας 3.3: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(32kbps,1/3)	15	10	(32kbps,1/3)	10	26.4265	31.0076
70	(32kbps,1/3)	15	30	(32kbps,1/3)	10	26.7517	31.6704
50	(48kbps,1/2)	10	50	(32kbps,1/3)	5	27.8323	30.6789
30	(48kbps,1/2)	10	70	(32kbps,1/3)	5	29.1193	32.0059
10	(64kbps,2/3)	10	90	(32kbps,1/3)	5	31.0146	33.3918

Πίνακας 3.4: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(32kbps,1/3)	10	10	(32kbps,1/3)	5	26.5066	28.0295
70	(32kbps,1/3)	10	30	(32kbps,1/3)	5	27.0047	29.3669
50	(48kbps,1/2)	10	50	(32kbps,1/3)	5	27.8323	30.6789
30	(64kbps,2/3)	15	70	(32kbps,1/3)	5	31.3547	30.0235
10	(64kbps,2/3)	15	90	(32kbps,1/3)	5	34.1431	32.6883

Πίνακας 3.5: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/3)	15	10	(48kbps,1/3)	10	25.7260	29.1296
70	(48kbps,1/3)	15	30	(48kbps,1/3)	10	26.3647	30.1374
50	(48kbps,1/3)	15	50	(48kbps,1/3)	10	27.0275	31.1501
30	(48kbps,1/3)	15	70	(48kbps,1/3)	10	27.7200	32.1778
10	(72kbps,1/2)	10	90	(48kbps,1/3)	5	30.7235	32.7006

Πίνακας 3.6: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.

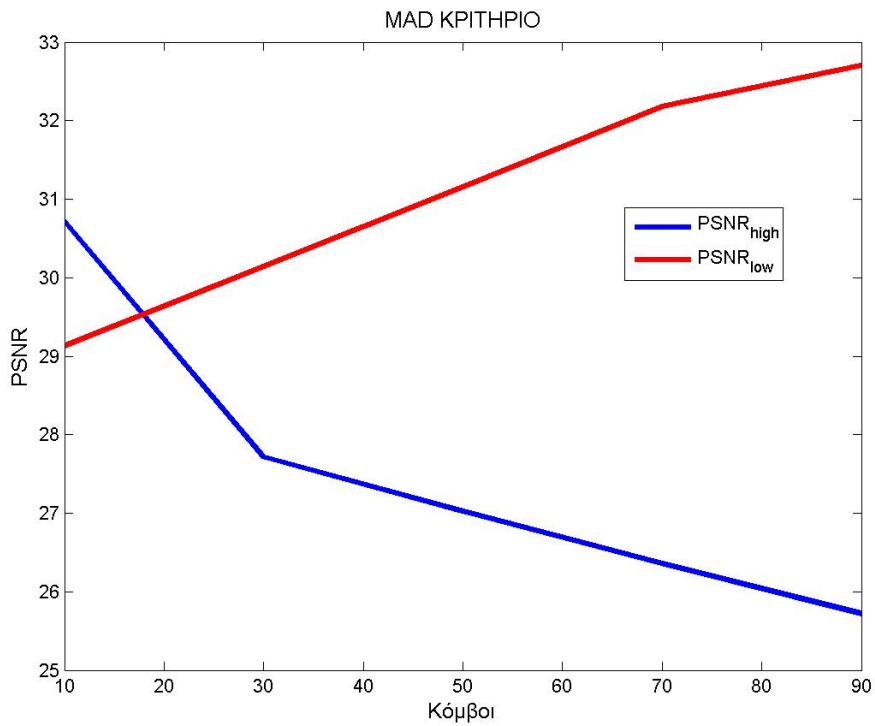
High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/3)	15	10	(48kbps,1/3)	10	25.7260	29.1296
70	(48kbps,1/3)	10	30	(48kbps,1/3)	5	26.8593	26.5671
50	(48kbps,1/3)	10	50	(48kbps,1/3)	5	27.8985	28.6245
30	(48kbps,2/3)	10	70	(48kbps,1/3)	5	29.0256	30.6425
10	(96kbps,2/3)	15	90	(48kbps,1/3)	5	34.6542	31.6614

Πίνακας 3.7: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.

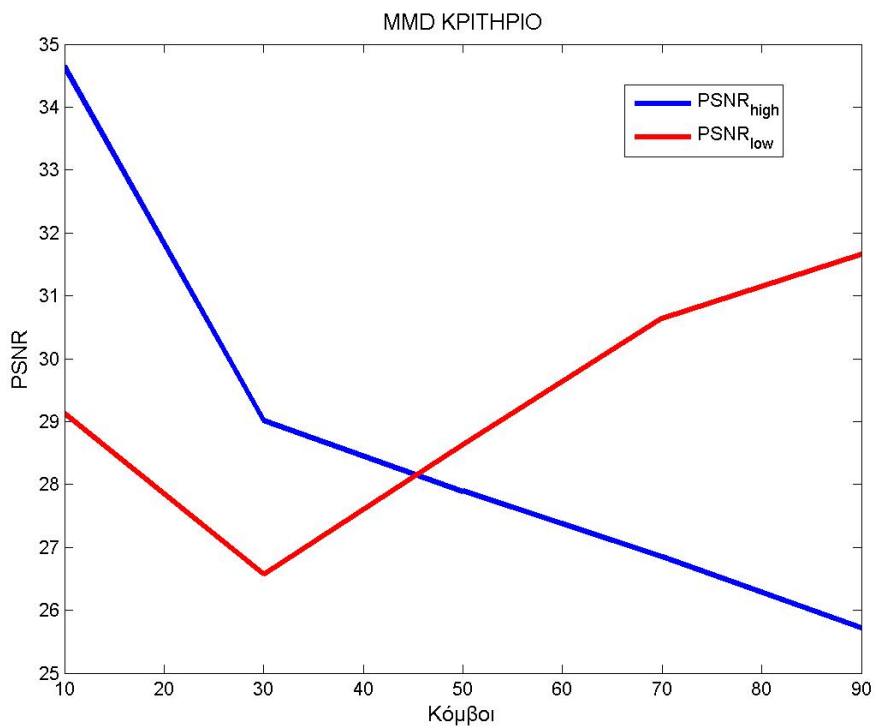
High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15	10	$(48kbps, 1/3)$	10	22.8768	24.0370
70	$(48kbps, 1/3)$	15	30	$(48kbps, 1/3)$	10	23.6482	25.5335
50	$(48kbps, 1/3)$	15	50	$(48kbps, 1/3)$	10	24.4334	26.9510
30	$(48kbps, 1/3)$	15	70	$(48kbps, 1/3)$	10	25.2395	28.3203
10	$(48kbps, 1/3)$	15	90	$(48kbps, 1/3)$	10	26.0746	29.6671

Πίνακας 3.8: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15	10	$(48kbps, 1/3)$	10	22.8768	24.0370
70	$(48kbps, 1/3)$	15	30	$(48kbps, 1/3)$	10	23.6482	25.5335
50	$(48kbps, 1/3)$	15	50	$(48kbps, 1/3)$	10	24.4334	26.9510
30	$(48kbps, 1/3)$	10	70	$(48kbps, 1/3)$	5	26.7260	26.2500
10	$(48kbps, 1/3)$	10	90	$(48kbps, 1/3)$	5	28.1160	28.9950



Σχήμα 3.1: Σύγκριση των PSNR των 100 κόμβων, γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για το MAD κριτήριο, με bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 20MHz.



Σχήμα 3.2: Σύγκριση των PSNR των 100 κόμβων, γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για το MMD κριτήριο, με bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 20MHz.

το PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης σε σχέση με το PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης για το κριτήριο MMD, όταν το bit rate είναι 144000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz.

Τέλος, όπως παρατηρούμε τόσο από τους πίνακες όσο και από τα Σχήματα 3.1 και 3.2, το κριτήριο MAD ευνοεί πάντα τους κόμβους χαμηλής κίνησης αναθέτοντάς τους μεγαλύτερο PSNR συγκριτικά με τους κόμβους γρήγορης κίνησης, ενώ αντίθετα το MMD κριτήριο είναι κάπως πιο δίκαιο σε σχέση με το MAD καθώς για κάποιες κατανομές κόμβων οι κόμβοι γρήγορης κίνησης έχουν μεγαλύτερο PSNR από τους κόμβους χαμηλής κίνησης. Αυτό συμβαίνει όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι λιγότεροι από τους κόμβους χαμηλής κίνησης και συγχρόνως στέλνουν τα δεδομένα τους με πολύ μεγαλύτερη ισχύ συγκριτικά με την άλλη κατηγορία κόμβων.

3.7 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού

Μία από τις επεκτάσεις που υλοποιήσαμε στην παρούσα διατριβή είναι η μετατροπή του διακριτού προβλήματος βελτιστοποίησης της Ελαχιστοποίησης της Μεσης Παραμόρφωσης και του επίσης διακριτού προβλήματος βελτιστοποίησης της Ελαχιστοποίησης της Μέσης Παραμόρφωσης σε προβλήματα βελτιστοποίησης μικτών ακεραίων. Συγκεκριμένα, αφού κάναμε τις ίδιες υποθέσεις με τη διακριτή περίπτωση σχετικά με τις δύο κατηγορίες κίνησης κόμβων και τα δύο σύνολα από καμπύλες URDCs, αναθεωρήσαμε τις αρχικές μας υποθέσεις περί τριών διακριτών συνόλων. Στη διακριτή περίπτωση είχαμε υποθέσει πως ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής μπορούσε να παίρνει τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{R}_s , ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού μπορούσε να παίρνει τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{R}_c και οι ισχύς μπορούσαν να παίρνουν επίσης διακριτές τιμές από ένα σύνολο \mathbf{S} .

Σύμφωνα με τη δική μας επέκταση, αυτή η αρχική εκδοχή του προβλήματος ξεπεράστηκε. Στην παρούσα δουλειά, οι ισχύς μπορούν πλέον να παίρνουν τιμές από ένα συνεχές σύνολο τιμών προκαθορισμένου εύρους: δηλαδή $\mathbf{S} = [s_{min}, s_{max}] \subset \mathbb{R}$, ενώ ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής και ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού εξακολουθούν να παίρνουν διακριτές τιμές από τα σύνολα \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c αντίστοιχα.

Όπως και στη διακριτή περίπτωση, έτσι κι εδώ, ισχύει ο περιορισμός για το ίδιο bit rate με το οποίο μπορούν να αποστέλλουν τα δεδομένα τους οι κόμβοι, με αποτέλεσμα οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού να μοιράζονται το ίδιο bit rate. Άρα, τα $(R_{s,k}, R_{c,k})$, για κάποιον κόμβο k , μπορούν να πάρουν τιμές από ένα πεπερασμένο διακριτό σύνολο τιμών $R_{s+c,k}$. Παρομοίως με τη διακριτή περίπτωση, εννοείται πως η πληθικότητα του συνόλου \mathbf{R}_{s+c} θα πρέπει να ισούται με την πληθικότητα των συνόλων \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c .

Άρα, για τις δύο κατηγορίες κόμβων που υποθέσαμε, K_{high} και K_{low} , χρειάζεται να ορίσουμε τα διανύσματα

$$\begin{aligned}
S &= [S_{high}, S_{low}]^T \\
R_{s+c,high} &= [R_{s,high}, R_{c,high}]^T \\
R_{s+c,low} &= [R_{s,low}, R_{c,low}]^T.
\end{aligned}$$

όπου τα $S_{high}, R_{s,high}, R_{c,high}$ είναι η ισχύς μετάδοσης, ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής και ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ αντίστοιχα τα $S_{low}, R_{s,low}, R_{c,low}$ αντιπροσωπεύουν τις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης.

Επομένως, τα προβλήματα Ελαχιστοποίησης της Μέσης Παραμόρφωσης και Ελαχιστοποίησης της Μέγιστης Παραμόρφωσης, ανήκουν πλέον στην κατηγορία των προβλημάτων βελτιστοποίησης μιχτών ακεραίων.

3.7.1 Αλγόριθμος Particle Swarm Optimization

Προκειμένου να επιλύσουμε τα παραπάνω προβλήματα βελτιστοποίησης μιχτών ακεραίων που αφορούν στην ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης, χρησιμοποιήσαμε έναν έξυπνο αλγόριθμο βελτιστοποίησης, τον *Αλγόριθμο Βελτιστοποίησης με Σμήνος Σωματιδίων*. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ντετερμινιστικές προγραμματιστικές προσεγγίσεις μιχτών ακεραίων για την αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Παρόλα αυτά όμως, οι μέθοδοι αυτές στην πλειοψηφία τους προϋποθέτουν την ύπαρξη παραγώγων και είναι ευαίσθητες στις αρχικές συνθήκες που παρέχει ο χρήστης.

Μία καλή λύση λοιπόν στο πρόβλημα αυτό είναι η χρήση του αλγορίθμου PSO. Η στοχαστική φύση του σε συνδυασμό με την ικανότητά του να δουλεύει αποδοτικά σε εξαιρετικά σύνθετα περιβάλλοντα με αβεβαιότητες, απαλλάσσει το χρήστη από το βάρος της κατάλληλης αρχικοποίησης του αλγορίθμου. Η δυναμική του διέπεται από βασικούς νόμους της φύσης που συναντώνται σε σμήνη, για παράδειγμα στα πουλιά ή στα ψάρια, τα οποία παρουσιάζουν μία συντονισμένη και συλλογική συμπεριφορά.

Ο αλγόριθμος PSO χρησιμοποιεί έναν πληθυσμό που ονομάζεται *σμήνος (swarm)*, από σημεία αναζήτησης, που ονομάζονται *σωματίδια (particles)*, για να εξερευνήσει μια περιοχή αναζήτησης. Κάθε σωματίδιο μετακινείται στην περιοχή αναζήτησης με μεταβαλλόμενη ταχύτητα, καταγράφοντας την καλύτερη θέση που επισκέπτεται κάθε φορά. Σε προβλήματα ελαχιστοποίησης, στις θέσεις αυτές η συνάρτηση έχει τη μικρότερη τιμή. Η ταχύτητα προσαρμόζεται ανάλογα με το ίδιο το σωματίδιο, αλλά και ανάλογα με το υπόλοιπο σμήνος. Πιο συγκεκριμένα, κάθε σωματίδιο θεωρεί πως έχει μια “γειτονιά” από άλλα σωματίδια. Το σωματίδιο ενημερώνεται για την καλύτερη θέση που καταλαμβάνει κάθε σωματίδιο της γειτονιάς και σύμφωνα με τις πληροφορίες αυτές προσαρμόζει την ταχύτητά του.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που καλείται να επιλύσει ο αλγόριθμος PSO μπορεί να διατυπωθεί επίσημα ως εξής:

$$\min_{x \in V \subset \mathbb{R}^n} f(x).$$

Τότε, ένα σμήνος για να επιλύσει το πρόβλημα αυτό αποτελείται από N σωματίδια,

$$\mathbf{S} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\},$$

καθένα από τα οποία είναι ένα n -διάστατο διάνυσμα,

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})^\top \in \mathbf{X}, \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Η ταχύτητα του i -στού σωματιδίου είναι,

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})^\top,$$

καθώς επίσης η καλύτερη θέση του είναι,

$$p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN})^\top \in X,$$

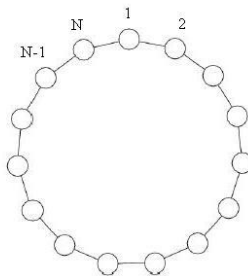
τα οποία είναι επίσης n -διάστατα διανύσματα. Εάν το t δηλώνει την τρέχουσα επανάληψη του αλγορίθμου, τότε η καλύτερη θέση ορίζεται ως:

$$p_i(t) = \arg \min_{s \in \{0, \dots, t\}} f(x_i(s)).$$

Οι γειτονιές των σωματιδίων ορίζονται συνήθως με βάση τη θέση των σωματιδίων. Η πιο κοινή τοπολογία γειτονιάς είναι η τοπολογία “δακτυλίου”, όπου η γειτονιά ενός σωματιδίου αποτελείται από σωματίδια με γειτονικούς δείκτες (indices). Επομένως, μια γειτονιά ακτίνας m του σωματιδίου x_i είναι το σύνολο των δεικτών:

$$NB_i = \{i - m, i - m + 1, \dots, i, \dots, i + m - 1, i + m\},$$

όπου ο δείκτης 1 ακολουθεί αμέσως μετά το δείκτη N . Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται μια τοπολογία δακτυλίου.



Σχήμα 3.3: Τοπολογία δακτυλίου.

Η καλύτερη θέση στη γειτονιά του σωματιδίου x_i , είναι εκείνη με τη μικρότερη τιμή της συνάρτησης και ορίζεται ως p_{g_i} . Επομένως,

$$p_{g_i} = \arg \min_{s \in NB_i} f(p_s).$$

Εάν η πληθικότητα της γειτονιάς κάθε σωματιδίου είναι ίση με το μέγεθος του σμήνους, N , τότε ολόκληρο το σμήνος θεωρείται ως γειτονιά για κάθε σωματίδιο. Αυτό το μοντέλο ονομάζεται *gbest PSO*. Αφετέρου, εάν χρησιμοποιούνται αυστηρά μικρότερες γειτονιές, για παράδειγμα, $m < N/2$, τότε το μοντέλο αυτό ονομάζεται *lbest PSO*.

Η διαφορά ανάμεσα στα δύο μοντέλα έγκειται στο ρυθμό με τον οποίο ρέουν οι πληροφορίες ανάμεσα στα σωματίδια. Στο μοντέλο *gbest PSO*, όταν κάποιο σωματίδιο βρει μια καινούργια καλύτερη θέση, στην επόμενη επανάληψη ενημερώνει αμέσως όλα τα σωματίδια. Αυτό συμβάλλει στη γρήγορη σύγκλιση όλων των σωματιδίων ως προς τις καλύτερες θέσεις των πρώτων επαναλήψεων. Παρόλα αυτά, το γεγονός αυτό συνοδεύεται από γρήγορη απώλεια της απόκλισης στο σμήνος, το οποίο μπορεί να εμπεριέχει τον κίνδυνο της πρόωρης σύγκλισης σε μη-βέλτιστες λύσεις (τοπικά ελάχιστα). Από την άλλη μεριά, στο μοντέλο *lbest PSO*, όταν κάποιο σωματίδιο βρει μια καινούργια καλύτερη θέση, ενημερώνει μόνο τα σωματίδια που ανήκουν στη γειτονιά του. Επομένως, οι πληροφορίες ρέουν με πιο αργό ρυθμό στο σμήνος, παρέχοντας επομένως στα υπόλοιπα σωματίδια τη δυνατότητα να ανακαλύψουν μία ενδεχομένως καλύτερη λύση. Προφανώς, το μοντέλο *lbest PSO* συγκλίνει πιο αργά από το μοντέλο *gbest PSO*, αλλά είναι περισσότερο αποτελεσματικό.

Η ταχύτητα και η θέση του σωματιδίου x_i μεταβάλλονται σύμφωνα με τις εξισώσεις [24, 10]

$$v_i(t+1) = \chi \left[v_i(t) + c_1 R_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 R_2 (p_{g_i}(t) - x_i(t)) \right] \quad (3.8)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (3.9)$$

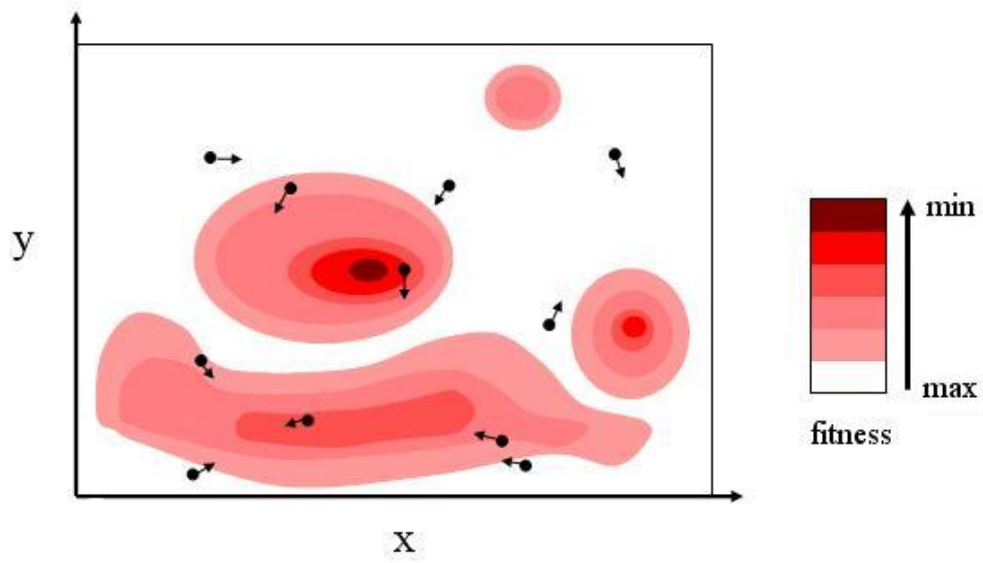
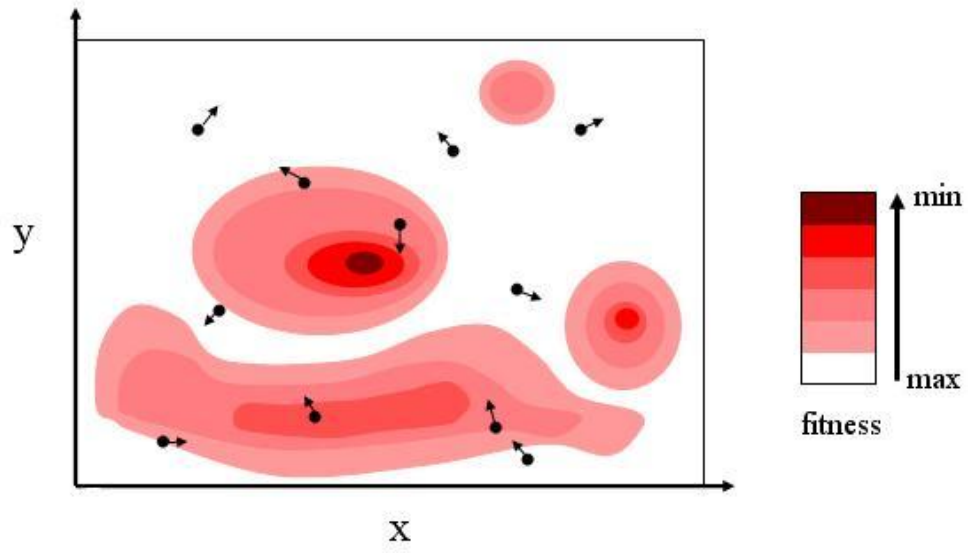
όπου το χ ονομάζεται *συντελεστής συστολής (constriction coefficient)*. Τα c_1 και c_2 είναι θετικές παράμετροι επιτάχυνσης και ονομάζονται *γνωστική (cognitive)* και *κοινωνική (social)* παράμετρος αντίστοιχα. Τα R_1 και R_2 είναι διανύσματα με στοιχεία ομοιόμορφα κατανομημένα σε ένα εύρος τιμών $[0, 1]$. Όλοι οι χειρισμοί των διανυσμάτων στις εξισώσεις (3.8) και (3.9) εκτελούνται στοιχείο προς στοιχείο. Η καλύτερη θέση κάθε σωματιδίου αλλάζει μόλις το σωματίδιο βρει κάποια άλλη, καλύτερη θέση: δηλαδή μια θέση όπου η συνάρτηση έχει μικρότερη τιμή. Για παράδειγμα,

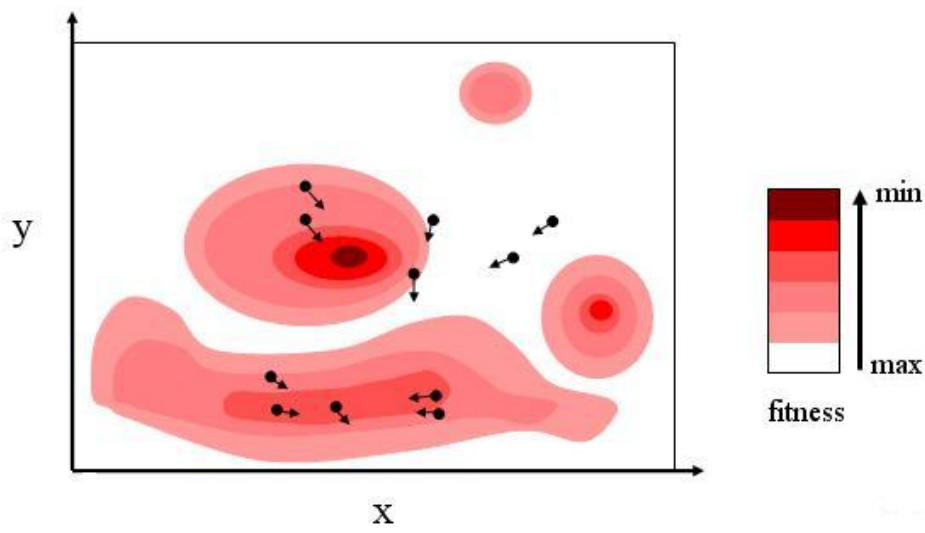
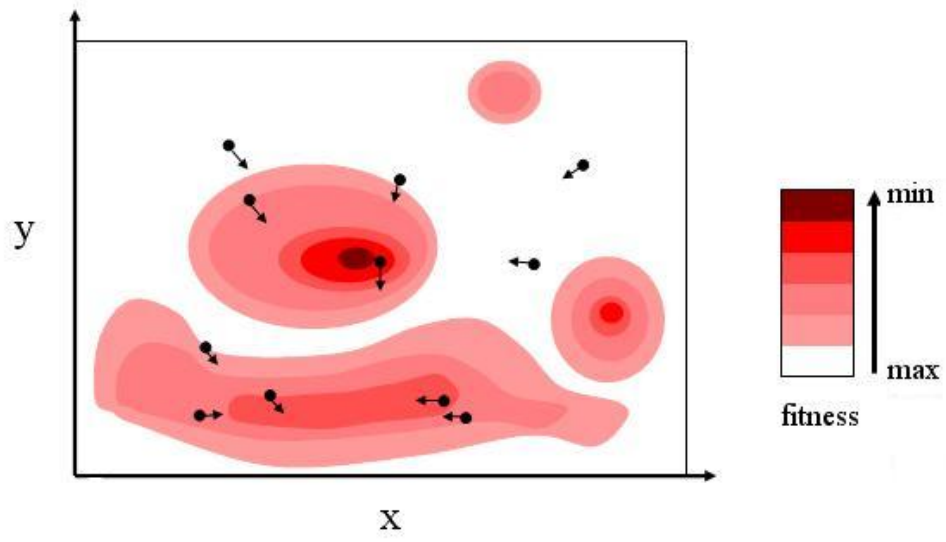
$$p_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t+1), & \text{αν } f(x_i(t+1)) \leq f(p_i(t+1)), \\ p_i(t), & \text{διαφορετικά.} \end{cases}$$

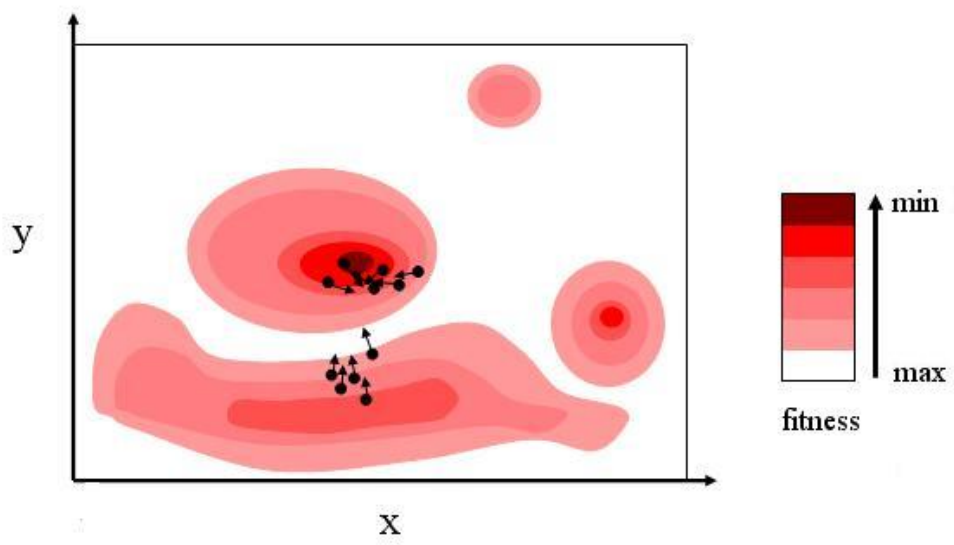
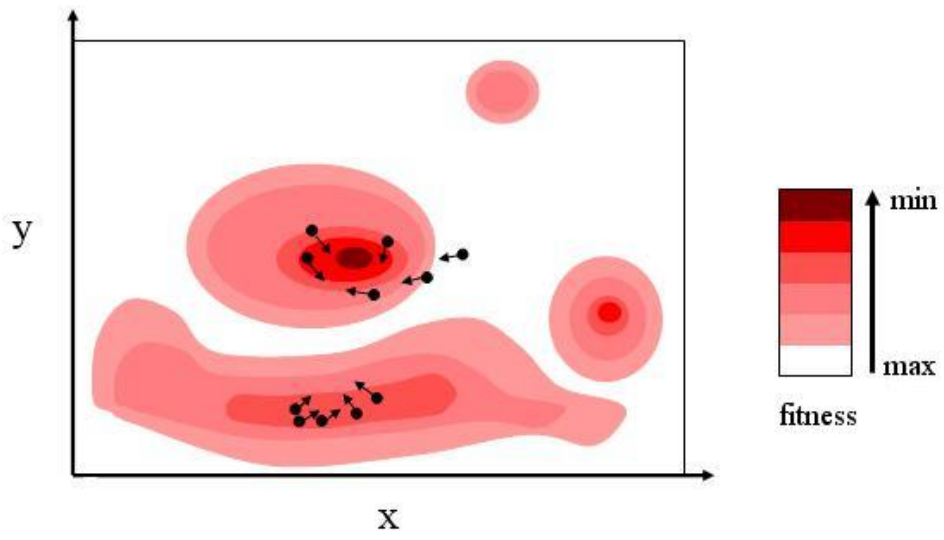
Οι Clerc και Kennedy [10] μελέτησαν τη σταθερότητα του αλγορίθμου PSO προτείνοντας τιμές για τις παραμέτρους που προωθούν τη σύγκλιση του αλγορίθμου προς τις πιο βέλτιστες λύσεις της περιοχής αναζήτησης. Η αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου PSO αλλά και η

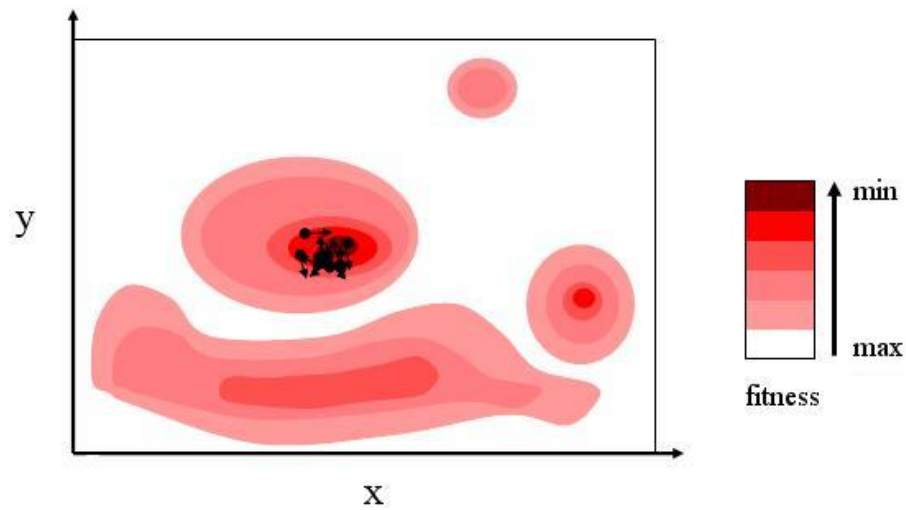
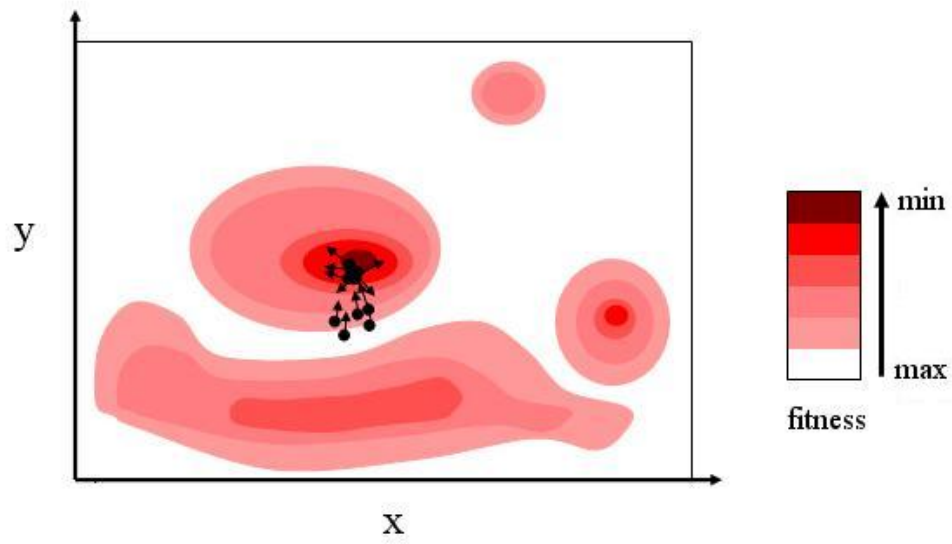
ελάχιστη προσπάθεια που απαιτείται για την υλοποίησή του, κατέστησαν τον αλγόριθμο αυτό έναν από τους πιο δημοφιλείς ευφυείς αλγορίθμους βελτιστοποίησης. Μέχρι και σήμερα, ο αλγόριθμος PSO εφαρμόζεται ευρέως στην επιστήμη και την τεχνολογία, με εντυπωσιακά αποτελέσματα [24].

Στο Σχήμα 3.4 που ακολουθεί απεικονίζεται ένα σμήνος ύστερα από διάφορες επαναλήψεις του αλγορίθμου PSO.









Σχήμα 3.4: Ένα σμήνος ύστερα από διάφορες επαναλήψεις του αλγορίθμου PSO.

3.8 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Για τη συνεχή περίπτωση, προβήκαμε στις ίδιες θεωρήσεις που είχαμε προβεί και στη διακριτή περίπτωση. Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε κι εδώ κόμβους αργής και γρήγορης κίνησης και χρησιμοποιήσαμε τις βιντεοακολουθίες “Akiyo” και “Foreman”, για να παραστήσουμε την κάθε μία κλάση από αυτές, αντίστοιχα. Συνολικά σε όλο το δίκτυο θεωρήσαμε 100 κόμβους. Επιπλέον, χρησιμοποιήσαμε δύο σύνολα από URDCs, ενώ για να εκτιμήσουμε την τιμή των μεταβλητών α και β ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράψαμε και στη διακριτή περίπτωση.

Συγκεκριμένα, για κάποιο συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης σφαλμάτων, υπολογίσαμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου. Στη συνέχεια, αφαιρέσαμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τις βιντεοακολουθίες “Akiyo” και “Foreman”, σύμφωνα με το RTP PLR. Αποκωδικοποιήσαμε τα δύο αυτά βίντεο και υπολογίσαμε τις παραμορφώσεις που υπέστησαν ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλάβαμε κάθε ένα από τα δύο πείραμα 300 φορές και τέλος κρατήσαμε το μέσο όρο από τις 300 παραμορφώσεις για την εκάστοτε ακολουθία.

Επιπλέον, όπως και στη διακριτή περίπτωση, θεωρήσαμε BPSK διαμόρφωση και κώδικες RCPC με μητρικό κώδικα 1/4 [13]. Το μέγεθος του πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων το θέσαμε ίσο με 400 ενώ εκτελέσαμε πειράματα με bit rate = 96000bits/s και bit rate = 144000bits/s, για bandwidth 20MHz και 15MHz. Με βάση τις δύο θεωρήσεις που κάναμε για τα bit rate στα πειράματά μας, τα σύνολα των αποδεκτών ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού είναι τα εξής

$$R = 96000bits/s \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(32kbps, 1/3), (48kbps, 1/2), (64kbps, 2/3)\} \quad (3.10)$$

$$R = 144000bits/s \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(48kbps, 1/3), (72kbps, 1/2), (96kbps, 2/3)\} \quad (3.11)$$

Για την ισχύ υποθέτουμε πως μπορεί να πάρει τιμές μέσα από το συνεχές σύνολο τιμών $\mathbf{S} = [5.0, 15.0]$ (μετρημένη σε Watts).

Οι επιπλέον υποθέσεις που κάναμε στην περίπτωση αυτή, αφορούν στις αρχικοποιήσεις των τιμών του PSO. Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε ένα σμήνος 20 σωματιδίων και χρησιμοποιήσαμε τοπολογία δακτυλίου ακτίνας 1. Κάθε σωματίδιο υποθέσαμε πως αποτελείται από 4 αγνώστους, δηλαδή από δύο συνεχείς τιμές για την ισχύ (από τις δύο κλάσεις κόμβων), και από δύο διακριτές τιμές για το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής και το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού. Στην υλοποίησή μας, οι διακριτές παράμετροι μπορούσαν να παίρνουν συνεχείς τιμές για τη θέση και την ταχύτητα, αν και στρογγυλοποιούνταν στον πλησιέστερο ακέραιο για την εκτίμηση του σωματιδίου. Για τις παραμέτρους χ , c_1 και c_2 χρησιμοποιήσαμε τις προεπιλεγμένες (default) τιμές του αλγορίθμου PSO. Δηλαδή, θέσαμε $\chi = 0.729$, $c_1 = c_2 = 2.05$. Ακόμη, καθώς ο αλγόριθμος PSO είναι ένας στοχαστικός αλγόριθμος, εκτιμήσαμε την απόδοσή του στο μέσο όρο μιας σειράς πειραμάτων που διεξάγαμε. Για κάθε κατανομή κόμβων διεξάγαμε 30 ανεξάρτητα πειράματα και για κάθε ένα από αυτά ο PSO έκανε 500 επαναλήψεις. Για κάθε πείραμα καταγράψαμε την καλύτερη λύση που βρήκαμε.

Στους πίνακες (3.9) έως (3.16) παρουσιάζουμε πώς μπορούν να κατανεμηθούν οι πόροι του συστήματος για διάφορες κατανομές κόμβων χαμηλής και γρήγορης κίνησης, για δύο διαφορετικές τιμές στο bit rate και για δύο διαφορετικές τιμές στο bandwidth. Η στήλη “High” περιγράφει το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ η στήλη “Low” περιγράφει το πλήθος των κόμβων χαμηλής κίνησης. Το $(R_{s,high}, R_{c,high})$ περιγράφει το ζεύγος του ρυθμού κωδικοποίησης πηγής και καναλιού για τους κόμβους γρήγορης κίνησης, και αντίστοιχα το $(R_{s,low}, R_{c,low})$ περιγράφει τις ίδιες παραμέτρους για τους κόμβους χαμηλής κίνησης. Με S_{high} και S_{low} περιγράφουμε τις ισχύς, ενώ με $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ ορίζουμε το PSNR των δύο κατηγοριών κίνησης κόμβων, γρήγορη και αργή αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις των bit rate και bandwidth, και σε όλες τις κατανομές κόμβων, ορίσαμε το συνολικό τους αριθμό να ισούται με 100.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στη διακριτή περίπτωση, με τον όρο MAD αναφερόμαστε στο κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέσης παραμόρφωσης, ενώ με τον όρο MMD αναφερόμαστε στο κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέγιστης παραμόρφωσης.

3.9 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Αρχικά, ένα πρώτο συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε ύστερα από μία σειρά πειραμάτων που διεξάγαμε είναι πως δεν υπάρχει μοναδική λύση στο πρόβλημα βελτιστοποίησης το οποίο έχουμε να επιλύσουμε. Στην πραγματικότητα, καθένα από τα 30 προβλήματα που επιλύει ο αλγόριθμος PSO για κάθε κατανομή κόμβων, επιστρέφει μία διαφορετική λύση που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση, τόσο για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέσης παραμόρφωσης, όσο και για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέγιστης παραμόρφωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο λόγος E_k/N_0 της συνάρτησης (2.9) μένει ανεπηρέαστος αν όλες οι ισχύς πολλαπλασιαστούν με την ίδια σταθερά. Επομένως, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να βρούμε το βέλτιστο λόγο S_{high}/S_{low} που ελαχιστοποιεί την τιμή της συνάρτησης. Αντίθετα, οι βέλτιστοι ρυθμοί κωδικοποίησης της πηγής και του καναλιού είναι μοναδικοί.

Μελετώντας τους πίνακες για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέσης παραμόρφωσης παρατηρούμε πως σε όλες τις περιπτώσεις και για όλες τις κατανομές κόμβων, τα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης είναι μεγαλύτερα από τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης. Επιπλέον, καθώς το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης μειώνεται και αντίστοιχα αυτό των κόμβων χαμηλής κίνησης αυξάνεται, παρατηρούμε αύξηση των PSNR και των δύο κατηγοριών κόμβων.

Για το κριτήριο ελαχιστοποίησης της μέγιστης παραμόρφωσης, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι για όλες τις περιπτώσεις των bit rate και των bandwidth που εξετάσαμε, τα PSNR και των δύο κατηγοριών κίνησης των κόμβων είναι ακριβώς το ίδιο. Αυτό οφείλεται στην υλοποίηση του αλγορίθμου του χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίησης της συνάρτησης.

Επιπλέον, κάποια κοινά συμπεράσματα με τη διακριτή περίπτωση για το κριτήριο MAD είναι πως για το ίδιο bit rate, αλλά για μικρότερο bandwidth, τα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης αλλά και τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης μειώνονται. Επίσης, το ίδιο συμβαίνει και όταν έχουμε το ίδιο bandwidth αλλά αυξάνουμε το bit rate. Στην περίπτωση δε, που αυξάνουμε το bit rate αλλά μειώνουμε συγχρόνως και το bandwidth, η μείωση στα PSNR των K_{high} και K_{low} είναι ακόμα μεγαλύτερη. Παρομοίως με τη διακριτή περίπτωση, τόσο στο κριτήριο MAD όσο και στο κριτήριο MMD, στις περισσότερες περιπτώσεις και στις περισσότερες κατανομές κόμβων, τα βίντεο γρήγορης κίνησης συμπιέζονται με περισσότερα bits σε σχέση με τα βίντεο αργής κίνησης. Παρόλα αυτά, τα βίντεο αργής κίνησης εξακολουθούν να διατηρούν καλή ποιότητα στην εικόνα τους.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και στη διακριτή περίπτωση, το MAD κριτήριο θα μπορούσαμε να πούμε πως ευνοεί πάντα τους κόμβους χαμηλής κίνησης αναθέτοντάς τους σε όλες τις περιπτώσεις και σε όλες τις κατανομές κόμβων μεγαλύτερο PSNR από τα αντίστοιχα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης. Αντίθετα, το κριτήριο MMD στη συνεχή περίπτωση είναι εξίσου δίκαιο και προς τις δύο κατηγορίες κόμβων κάτι που αποδεικνύεται από το γεγονός ότι αποδίδει και στους K_{high} και στους K_{low} ακριβώς την ίδια τιμή για τα PSNR τους.

Πίνακας 3.9: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	$S_{high}(W)$	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	$S_{low}(W)$	$PSNR_{high}(dB)$	$PSNR_{low}(dB)$
90	(48 kbps,1/2)	9.8451	10	(32 kbps,1/3)	5.0000	28.2705	31.2943
70	(48 kbps,1/2)	15.0000	30	(32 kbps,1/3)	7.6069	29.2296	32.2581
50	(64 kbps,2/3)	15.0000	50	(32 kbps,1/3)	7.0428	30.9419	32.8537
30	(64 kbps,2/3)	8.6240	70	(64 kbps,2/3)	5.0000	31.3844	35.1131
10	(64 kbps,2/3)	10.7080	90	(64 kbps,2/3)	5.9845	32.9787	36.7642

Πίνακας 3.10: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	$S_{high}(W)$	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	$S_{low}(W)$	$PSNR_{high}(dB)$	$PSNR_{low}(dB)$
90	(48 kbps,1/2)	15.0000	10	(32 kbps,1/3)	5.7234	28.3919	28.3919
70	(64 kbps,2/3)	13.4344	30	(32 kbps,1/3)	5.0000	29.7737	29.7737
50	(64 kbps,2/3)	13.0847	50	(32 kbps,1/3)	5.0000	31.6114	31.6114
30	(64 kbps,2/3)	12.6814	70	(32 kbps,1/3)	5.0000	33.4049	33.4049
10	(64 kbps,2/3)	13.3488	90	(64 kbps,2/3)	5.0000	35.7218	35.7218

Πίνακας 3.11: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(32kbps,1/3)	15.0000	10	(32kbps,1/3)	10.1943	26.4203	31.1773
70	(32kbps,1/3)	11.2833	30	(32kbps,1/3)	7.4632	26.7595	31.6151
50	(48kbps,1/2)	9.8262	50	(32kbps,1/3)	5.0000	27.7762	30.7930
30	(48kbps,1/2)	9.8485	70	(32kbps,1/3)	5.0000	29.0488	32.0672
10	(64kbps,2/3)	10.5000	90	(32kbps,1/3)	5.0000	31.4521	33.3203

Πίνακας 3.12: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(32kbps, 1/3)$	6.7090	26.5321	26.5321
70	$(32kbps, 1/3)$	12.3831	30	$(32kbps, 1/3)$	5.0213	27.1521	27.1521
50	$(48kbps, 1/2)$	13.1570	50	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	28.5991	28.5991
30	$(64kbps, 2/3)$	13.2312	70	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	30.7191	30.7191
10	$(64kbps, 2/3)$	12.7296	90	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	32.5542	32.5542

Πίνακας 3.13: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	10.1822	25.7146	29.3730
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	9.9501	26.3744	30.0843
50	$(48kbps, 1/3)$	7.7429	50	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	27.1339	30.9033
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	9.3816	28.0306	31.8707
10	$(72kbps, 1/2)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	7.7859	30.3384	32.7780

Πίνακας 3.14: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	9.2654	10	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	25.8461	25.8461
70	$(48kbps, 1/3)$	9.8197	30	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	26.8316	26.8316
50	$(48kbps, 1/3)$	10.5707	50	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	28.0450	28.0450
30	$(48kbps, 1/3)$	11.6677	70	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	29.6328	29.6328
10	$(72kbps, 1/2)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	6.3505	32.3213	32.3213

Πίνακας 3.15: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MAD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	11.2265	22.7828	26.2144
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	11.0044	23.4145	26.8932
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	10.7484	24.1375	27.6703
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	10.4476	24.9842	28.5810
10	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	10.0856	26.0090	29.6841

Πίνακας 3.16: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος για το κριτήριο MMD για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	11.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	6.9700	22.9148	22.9148
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	9.0465	23.8711	23.8711
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	8.4876	25.0406	25.0406
30	$(48kbps, 1/3)$	9.6410	70	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	26.5537	26.5537
10	$(48kbps, 1/3)$	12.3251	90	$(48kbps, 1/3)$	5.6041	28.7266	28.7266

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΥΣΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΤΟΥ NASH

-
- 4.1 Βασικές Έννοιες της Θεωρίας Παιγνίων
 - 4.2 Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash
 - 4.3 Διακριτή Περίπτωση των Παραμέτρων Μετάδοσης
 - 4.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων
 - 4.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων
 - 4.6 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού
 - 4.7 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων
 - 4.8 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων
-

Η Θεωρία Παιγνίων ασχολείται με αποφάσεις, υπό αβέβαιες συνθήκες συνθήκες, όπου εμπλέκονται δύο ή και περισσότεροι νοήμονες “αντίπαλοι”, και όπου ο καθένας τους φιλοδοξεί να βελτιστοποιήσει τη δική του απόφαση εις βάρος των άλλων ή σε συνεργασία με άλλους, διαμορφώνοντας ίσως συνασπισμούς. Επομένως, οι καλές αποφάσεις βασίζονται συχνά στις προβλέψεις για τις αποφάσεις των άλλων και πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ότι και οι άλλοι μπορεί να σκέπτονται με τον ίδιο τρόπο. Εφόσον συμμετέχουν τουλάχιστον δύο παίχτες με τουλάχιστον δύο στρατηγικές ο καθένας με αντίθετα συμφέροντα, το αποτέλεσμα για κάθε παίκτη καθορίζεται από τις συνδυασμένες επιλογές όλων των παικτών. Ονομάζουμε λοιπόν *παίγνιο* την κατάσταση σύγκρουσης ή ανταγωνισμού ή και συνεργασίας μεταξύ των αντιπάλων ή μεταξύ των ομάδων των αντιπάλων.

4.1 Βασικές Έννοιες της Θεωρίας Παιγνίων

Στην ενότητα αυτή, θα περιγράψουμε κάποιες βασικές έννοιες από τη θεωρία παιγνίων και ξεκινάμε δίνοντας αρχικά τον ορισμό της θεωρίας παιγνίων. *Θεωρία παιγνίων*, είναι μια γενική θεωρία που επιχειρεί να μελετήσει τις συνέπειες στο όλο σύστημα της εγωιστικής συμπεριφοράς οντοτήτων που ανταγωνίζονται για την αξιοποίηση διαμοιραζόμενων αγαθών του συστήματος. Περιλαμβάνει πολλά είδη παιχνιδιών όπως:

- Παιχνίδια σε Κανονική Μορφή (ή Στρατηγικά Παιχνίδια)
- Παιχνίδια σε Εκτενή Μορφή
- Παιχνίδια με πλήρη ή ελλιπή γνώση
- Στοχαστικά Παιχνίδια
- Εξελικτικά Παιχνίδια

τα οποία τα κατατάσσουμε σε δύο κατηγορίες. Σε παιχνίδια *μηδενικού αθροίσματος* και σε παιχνίδια *θετικού αθροίσματος*.

- Στα παιχνίδια μηδενικού αθροίσματος, αυτό που κερδίζει κάποιος παίκτης είναι αυτό ακριβώς που χάνει ο αντίπαλός του. Ένα από τα πλέον διαδεδομένα παιχνίδια αυτής της κατηγορίας είναι το πόκερ.
- Στα παιχνίδια θετικού αθροίσματος, ο κάθε παίκτης έχει κέρδος από τη συνεργασία του με τους υπόλοιπους. Για παράδειγμα, μια εμπορική ανταλλαγή με όρους αμοιβαιότητας θα μπορούσε να αποτελέσει με την ευρεία έννοια παιχνίδι αυτής της κατηγορίας.

Το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με το οποίο ασχολούμαστε στην παρούσα εργασία, εντάσσεται στην κατηγορία των παιχνιδιών στρατηγικής. Σε ένα παιχνίδι στρατηγικής συμμετέχουν τουλάχιστον δύο παίκτες και ο κάθε παίκτης διαθέτει ένα σύνολο δυνατών επιλογών που ονομάζονται *στρατηγικές*. Το αποτέλεσμα του παιχνιδιού εξαρτάται από τις επιλογές όλων των παικτών και δεν υπάρχει ο παράγοντας τύχη.

Πιο συγκεκριμένα, ένα στρατηγικό παιχνίδι περιγράφεται από μια διατεταγμένη τριάδα $(N, (\Sigma_i)_{i \in N}, (U_i)_{i \in N})$, όπου

- N είναι ένα πεπερασμένο σύνολο παικτών
- Σ_i είναι το σύνολο των αποδεκτών δράσεων του παίκτη $i \in N$ και
- $U_i : \times_{i \in N} \Sigma_i \mapsto \mathbb{R}$ είναι η συνάρτηση ωφέλειας (utility function) του παίκτη $i \in N$.

Οι παίχτες μπορούν να υιοθετήσουν διάφορες στρατηγικές όπως είναι η αμιγής στρατηγική, η μεικτή στρατηγική ή ένα προφίλ στρατηγικών. Η αμιγής στρατηγική είναι η ντετερμινιστική επιλογή δράσης κάποιου παίκτη. Ο παίκτης αποφασίζει δηλαδή μόνος του για τις επιλογές του. Η περιοχή που προκύπτει παίρνοντας το convex hull των σημείων που προέκυψαν από τις αμιγείς στρατηγικές των κόμβων ονομάζεται *περιοχή συνεργασίας* (*cooperative payoff region*). Η μεικτή στρατηγική έχει να κάνει με οποιαδήποτε κατανομή πιθανότητας στο σύνολο δράσεων του παίκτη, βάσει της οποίας αποφασίζει ανεξάρτητα τη δική του δράση. Δηλαδή σε κάθε δράση ανατίθεται μια πιθανότητα από τις οποίες ο παίκτης καλείται να επιλέξει. Τέλος, ένα *προφίλ στρατηγικών* είναι ένα διάνυσμα στρατηγικών για όλους τους παίχτες.

Η παραδοσιακή θεωρία παιγνίων χρησιμοποιεί την έννοια της ισορροπίας του Nash, παίρνοντας το όνομά της από τον John Nash ο οποίος την πρότεινε. Κατά την *ισορροπία Nash* (*Nash equilibrium*), κάθε άνθρωπος παίρνει την απόφαση που είναι καλύτερη γι' αυτόν, αναλογιζόμενος τόσο τις δικές του επιδιώξεις όσο και τις αποφάσεις των άλλων. Εμμέσως, η ισορροπία υποθέτει ότι ο κάθε άνθρωπος διαθέτει ένα τέλειο υπόδειγμα πρόβλεψης της συμπεριφοράς του άλλου. Στην πράξη, εμφανίζονται συνασπισμοί παικτών.

Σε ένα παιχνίδι στρατηγικής με δύο παίχτες, το σημείο του Nash είναι ένα ζευγάρι στρατηγικών (μία στρατηγική για κάθε παίκτη), όπου η μία είναι η καλύτερη απάντηση στην άλλη και αντίστροφα. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nash, οποιοδήποτε πεπερασμένο στρατηγικό παιχνίδι έχει τουλάχιστον ένα μεικτό προφίλ στρατηγικών που είναι ισορροπία Nash. Πιο συγκεκριμένα, για το παιχνίδι στρατηγικής που αναφέραμε προηγουμένως μπορούμε να προσθέσουμε τα εξής: Σε ένα στρατηγικό παιχνίδι $\langle N, (\Sigma_i)_{i \in N}, (U_i)_{i \in N} \rangle$, ένα προφίλ στρατηγικών είναι ισορροπία Nash αν και μόνο αν κανείς παίκτης δε μπορεί να αλλάξει μονομερώς τη στρατηγική του προς όφελός του. Δηλαδή, κάθε παίκτης υιοθετεί μια βέλτιστη απόκριση ενάντια στις στρατηγικές των άλλων παικτών.

4.2 Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash

Στην παρούσα ενότητα θα δούμε που βρίσκει εφαρμογή το παιχνίδι στρατηγικής που περιγράψαμε προηγουμένως στο πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των πόρων του συστήματος και θα εξετάσουμε μια περίπτωση ισορροπίας Nash. Θα περιγράψουμε κι άλλες έννοιες από τη θεωρία παιγνίων και θα δούμε ορισμένες εναλλακτικές μεθόδους επίλυσης του παραπάνω προβλήματος.

Το πρόβλημα με το οποίο ερχόμαστε αντιμέτωποι στην παρούσα διατριβή είναι να μπορέσουμε να κατανείμουμε βέλτιστα το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και την ισχύ του συστήματος ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, υπό τον περιορισμό ότι όλοι οι κόμβοι θα πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με το ίδιο bit rate, R_k . Στην ενότητα αυτή, θα προσπαθήσουμε να επιλύσουμε το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιώντας τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash, (Nash Bargaining Solution, NBS). Η λύση αυτή προκύπτει ακολουθώντας ορισμένα αξιώματα και μεγιστοποιώντας ένα γινόμενο, όπως θα περιγράψουμε εκτενώς στη συνέχεια.

Αν θεωρήσουμε $E[D_{s+c,k}]$ την αναμενόμενη παραμόρφωση του βίντεο που λαμβάνει κάποιος κόμβος k , τότε ορίζουμε τη συνάρτηση ωφέλειας U_k παρόμοια με το PSNR. Δηλαδή,

$$U_k = 10 \log_{10} \frac{c}{E[D_{s+c,k}]} \quad (4.1)$$

όπου c είναι μία θετική σταθερά. Μια συνάρτηση ωφέλειας, συνήθως, είναι ένας αρκετά κατάλληλος τρόπος να περιγράψουμε προτιμήσεις αλλά δεν μπορεί να δοθεί καμία διαισθητική ερμηνεία που να την περιγράφει. Στην περίπτωση μας, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συνάρτησης ωφέλειας για κάποια κλάση κόμβων, τόσο το καλύτερο.

Ορίζουμε \mathbf{U} το εφικτό σύνολο (*feasible set*), το οποίο στο παρόν πρόβλημα είναι το σύνολο όλων των πιθανών διανυσμάτων (U_1, U_2, \dots, U_K) . Κάθε διάνυσμα του συνόλου \mathbf{U} αντιστοιχεί σε κάποιο κόμβο και αντιπροσωπεύει κάποιο διαφορετικό συνδυασμό των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής, των ρυθμών κωδικοποίησης καναλιού και των ισχύων μετάδοσης όλων των \mathbf{K} κόμβων του συστήματος. Ο περιορισμός ο οποίος πρέπει να ικανοποιείται για κάποιο εφικτό σύνολο είναι πως το εφικτό σύνολο θα πρέπει να είναι ένα κυρτό (*convex*), κλειστό (*closed*) και άνω φραγμένο (*bounded above*) σύνολο, στο οποίο να επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση (*free disposal*) [6].

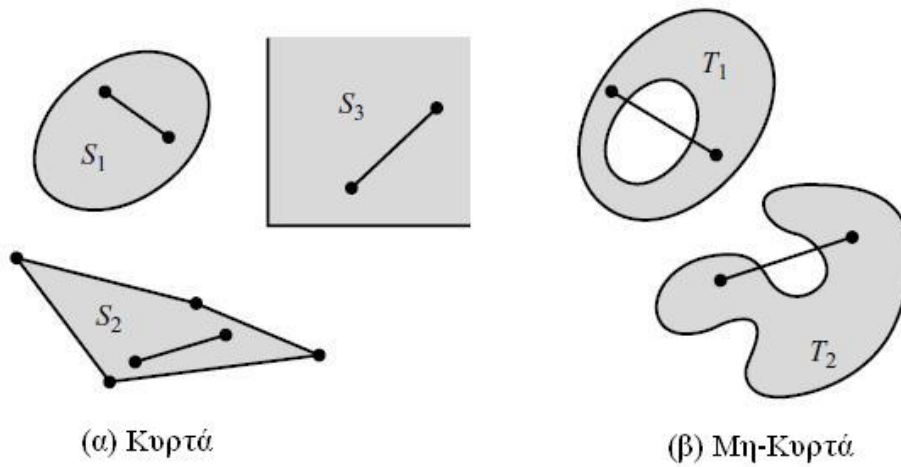
Ένα σύνολο είναι κυρτό εάν για κάθε ζεύγος σημείων μέσα στο αντικείμενο, κάθε σημείο που βρίσκεται πάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που τα ενώνει, βρίσκεται επίσης μέσα στο αντικείμενο. Οι περιοχές συνεργασίας είναι πάντα κυρτά σύνολα [6]. Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται ορισμένα παραδείγματα κυρτών και μη-κυρτών συνόλων. Εάν τα σημεία x και y βρίσκονται μέσα σε ένα κυρτό σύνολο, τότε το ίδιο ισχύει και για κάθε κυρτό συνδυασμό $ax + by$ των x και y . Στην πραγματικότητα, ένα κυρτό σύνολο περιέχει όλους τους κυρτούς συνδυασμούς για κάθε αριθμό σημείων που περιέχει.

Ένα σύνολο είναι κλειστό εάν περιλαμβάνει όλα τα οριακά σημεία, δηλαδή όλα τα σημεία στο σύνορο. Τέλος, άνω φραγμένο είναι ένα σύνολο, εάν είναι πεπερασμένου μεγέθους. Συγκεκριμένα, εάν υπάρχει κάποιο z τέτοιο ώστε $x \leq z$ για κάθε x που ανήκει μέσα στο σύνολο.

Στη θεωρία παιγνίων, όταν επιτρέπεται η συνεργασία, οι παίχτες μπορούν να κάνουν οποιαδήποτε συμφωνία επιλέξουν. Η δυνατότητα να απορρίπτουν κάποιο ποσό ωφέλειας με τη θέλησή τους ονομάζεται *ελεύθερη διάθεση* (*free disposal*) και είναι συνήθως μια αβλαβής ενέργεια. Εάν το x είναι κάποιο προφίλ εξόφλησης στο οποίο οι παίχτες μπορούν να συμφωνήσουν και $y \leq x$, τότε οι παίχτες μπορούν να πετύχουν το y με το να συμφωνήσουν όλοι τους να αποβάλλουν ένα κατάλληλο ποσό ωφέλειας, εφόσον το x έχει επιτευχθεί.

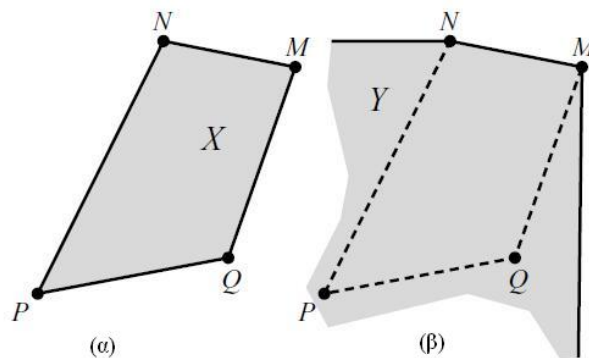
Βέβαια, τίθεται το ερώτημα για ποιο λόγο κάποιος λογικός παίκτης (στην περίπτωση μας κόμβος), να θέλει να αποβάλλει κάποιο ποσό ωφέλειας. Αυτό αποδίδεται κυρίως σε πιθανές στρατηγικές που ενδεχομένως να έχει ο παίκτης κάθε φορά. Ο κύριος λόγος όμως για τον οποίο επιτρέπουμε ελεύθερη διάθεση είναι ότι δε θα πρέπει να αποκλείουμε προφίλ εξόφλησης από τα εφικτά σύνολα των παικτών εκτός κι αν είναι πραγματικά αδύνατο να επιτευχθούν.

Όταν επιτρέπεται ελεύθερη διάθεση, η περιοχή συνεργασίας X πρέπει να αντικαταστα-



Σχήμα 4.1: Κυρτά και μη-κυρτά σύνολα.

θεί από μία απλούστερη περιοχή Y . Η γεωμετρική ερμηνεία είναι πως κάποιο σημείο y που ανήκει στο Y βρίσκεται νοτιοδυτικά από κάποιο σημείο x που ανήκει στο X . Εάν συγκεντρώσουμε όλα αυτά τα y για όλα τα x στο σύνολο X , παίρνουμε το σύνολο Y που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: (α)Εφικτό σύνολο και (β)εφικτό σύνολο στο οποίο επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση.

Σε ένα DS-CDMA δίκτυο οπτικών αισθητήρων, εάν κάποιος κόμβος αυξήσει την ισχύ με την οποία μεταδίδει τα δεδομένα του θα βελτιώσει αφενός την ποιότητα των δικών του δεδομένων, αλλά αφετέρου είναι σίγουρο πως θα προκαλέσει παρεμβολές στους άλλους

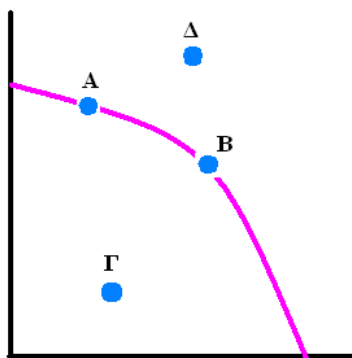
κόμβους, επιφέροντας υποβάθμιση στην ποιότητα του βίντεο των άλλων κόμβων. Επομένως, είναι αναγκαίο οι κόμβοι να διαπραγματεύονται, με τη βοήθεια της κεντρικής μονάδας ελέγχου, τον τρόπο διαμοιρασμού των πόρων του συστήματος, έτσι ώστε να καταλήγουν σε κάποιο αμοιβαία αποδεκτό στοιχείο του συνόλου \mathbf{U} .

Μία προϋπόθεση που θα πρέπει να ισχύει για τους κόμβους προκειμένου να συμμετέχουν στη διαδικασία της διαπραγμάτευσης είναι πως από την ενέργειά τους αυτή δε θα πρέπει να μειωθεί η ποσότητα ωφέλειας που αντιστοιχεί σε καθέναν από αυτούς (συγκεκριμένα που αντιστοιχεί σε κάθε κλάση κόμβων). Η ποσότητα ωφέλειας του κάθε κόμβου θα πρέπει να παραμείνει τουλάχιστον όση ήταν πριν από τη διαπραγμάτευση, έτσι ώστε να μην υποστούν απώλειες συμμετέχοντας στο παιχνίδι. *Σημείο διαφωνίας (disagreement point)* $d = (d_1, d_2, \dots, d_K)$ ονομάζουμε το διάνυσμα των ποσοτήτων ωφέλειας που λαμβάνει κάθε κόμβος σε περίπτωση αποτυχίας της διαπραγμάτευσης. Στη συγκεκριμένη εργασία θεωρήσαμε δύο διαφορετικούς τρόπους για να ορίσουμε το σημείο διαφωνίας των κόμβων, τους οποίους θα εξετάσουμε στη συνέχεια.

Σύνολο διαπραγμάτευσης (bargaining set) ονομάζουμε το σύνολο εκείνο που αποτελείται από όλα τα αποτελεσματικά κατά Παρέτο (*Pareto-efficient*) προφίλ εξόφλησης (*payoff profiles*), τα οποία είναι στοιχεία του συνόλου \mathbf{U} και τα οποία αναθέτουν σε όλους τους κόμβους τουλάχιστον εκείνο το ποσό ωφέλειας που θα έπαιρναν στο σημείο διαφωνίας, όταν δηλαδή δε θα γινόταν η διαπραγμάτευση.

Μια διαδικασία είναι αποτελεσματική κατά Παρέτο όταν είναι αδύνατη η αύξηση στην τιμή της συνάρτησης ωφέλειας κάποιου κόμβου χωρίς ταυτόχρονα να μειώνεται η τιμή της συνάρτησης ωφέλειας κάποιου άλλου κόμβου. Συγκεκριμένα, στη λύση διαπραγμάτευσης του Nash, μία συμφωνία είναι αποτελεσματική κατά Παρέτο όταν δεν υπάρχει κάποια άλλη εφικτή συμφωνία την οποία να προτιμούν ταυτόχρονα όλοι οι κόμβοι. Επομένως, μια κατανομή ωφέλειας $U = (U_1, U_2, \dots, U_K)$ δεν είναι αποτελεσματική κατά Παρέτο όταν υπάρχει κάποια άλλη κατανομή κατά την οποία όλοι οι κόμβοι ταυτόχρονα λαμβάνουν μεγαλύτερο ποσό ωφέλειας.

Στο Σχήμα 4.3 απεικονίζονται ορισμένες αποτελεσματικές και μη-αποτελεσματικές κατά Παρέτο κατανομές. Τα σημεία A και B αντιπροσωπεύουν αποτελεσματικές κατά Παρέτο κατανομές. Το σημείο Γ είναι μία μη-αποτελεσματική κατά Παρέτο κατανομή, ενώ το σημείο Δ που βρίσκεται έξω από την καμπύλη αποτελεί έναν μη-εφικτό συνδυασμό.



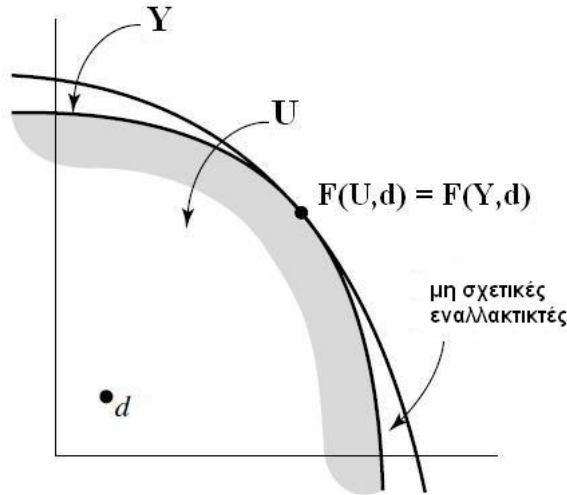
Σχήμα 4.3: Αποτελεσματικές και μη-Αποτελεσματικές κατά Παρέτο κατανομές.

Η λύση διαπραγμάτευσης του Nash $F(\mathbf{U}, d)$ ανήκει στο σύνολο διαπραγμάτευσης και ικανοποιεί τα παρακάτω αξιώματα [6, 15]

1. $F(\mathbf{U}, d) \geq d$
2. $y > F(\mathbf{U}, d) \Rightarrow y \notin \mathbf{U}$
3. Δοθέντος κάποιου αυστηρά αυξανόμενου συσχετισμένου μετασχηματισμού (affine transformation) $\tau(\cdot)$, $F(\tau(\mathbf{U}), \tau(d)) = \tau(F(\mathbf{U}, d))$
4. Αν $d \in \mathbf{Y} \subseteq \mathbf{U}$, τότε $F(\mathbf{U}, d) \in \mathbf{Y} \Rightarrow F(\mathbf{Y}, d) = F(\mathbf{U}, d)$

Το δύο πρώτα αξιώματα ορίζουν πως η λύση του Nash ανήκει στο σύνολο διαπραγμάτευσης. Το τρίτο αξίωμα ορίζει ότι εάν η συνάρτηση ωφέλειας ή το σημείο διαφωνίας κλιμακωθούν με κάποιο συσχετισμένο μετασχηματισμό αυτό δε θα επηρεάσει τη λύση διαπραγμάτευσης. Για παράδειγμα, εάν η συνάρτηση ωφέλειας \mathbf{U} μετά το συσχετισμένο μετασχηματισμό ορίζεται ως $A\mathbf{U} + B$, με $A > 0$, η λύση διαπραγμάτευσης του Nash παραμένει αμετάβλητη και επομένως η τιμή της σταθεράς c στην εξίσωση (4.1) δεν επηρεάζει την τιμή της συνάρτησης ωφέλειας. Το τέταρτο κριτήριο αναφέρεται στην *Ανεξαρτησία των μη Σχετικών Εναλλακτικών (Independence of Irrelevant Alternatives)*. Σύμφωνα με το αξίωμα αυτό, εάν η λύση διαπραγμάτευσης του μεγαλύτερου συνόλου ανήκει σε κάποιο μικρότερο σύνολο, τότε η λύση αυτή δεν επηρεάζεται εάν επεκτείνουμε το μικρότερο σύνολο. Για να γίνει αυτό κατανοητό παραθέτουμε το Σχήμα 4.4.

Εφόσον τα σημεία του συνόλου \mathbf{U} που δεν ανήκουν στο σύνολο \mathbf{Y} δεν επιλέχθηκαν προηγουμένως ως λύσεις, το γεγονός ότι δεν είναι διαθέσιμα στο μικρότερο σύνολο \mathbf{Y} , δεν παίζει κανένα ρόλο. Πάλι δεν θα επιλέγονταν ως λύση για το σύνολο \mathbf{Y} κάποια από τις μη σχετικές εναλλακτικές του συνόλου \mathbf{U} .



Σχήμα 4.4: Ανεξαρτησία των μη Σχετικών Εναλλακτικών.

Για να βρούμε λοιπόν τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash στο πρόβλημα το οποίο εξετάζουμε, αρκεί να καθορίσουμε το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και την ισχύ με την οποία αποστέλλει δεδομένα η κάθε κλάση κόμβων. Ουσιαστικά, χρειάζεται να καθορίσουμε το διάνυσμα $U = (U_1, U_2, \dots, U_K)$ έτσι ώστε να μεγιστοποιήσουμε το γινόμενο του Nash (Nash product) [6] που δίνεται από την εξίσωση 4.2. Η συνάρτηση ωφέλειας U_k σχετίζεται αντίστροφα με τη μέση παραμόρφωση $E[D_{s+c,k}]$. Η μέση παραμόρφωση εξαρτάται από τους ρυθμούς κωδικοποίησης πηγής και καναλιού και τις ισχύς μετάδοσης κάθε κλάσης κόμβων. Άρα, με το να καθορίσουμε αυτές τις παραμέτρους καθορίζουμε συγχρόνως και τη συνάρτηση ωφέλειας κάθε κλάσης κόμβων.

$$F(\mathbf{U}, d) = \arg \max_{\mathbf{U}} (U_1 - d_1)^{\alpha_1} (U_2 - d_2)^{\alpha_2} \dots (U_K - d_K)^{\alpha_K} \quad (4.2)$$

υπό την προϋπόθεση ότι $\mathbf{U} \geq d$. Το α_k είναι η ισχύς διαπραγμάτευσης (*bargaining power*) του κόμβου k ή καλύτερα η ισχύς διαπραγμάτευσης της k -στης κλάσης κόμβων. Στην πραγματικότητα το α είναι το διάνυσμα $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_K)$.

Οι ισχύς διαπραγμάτευσης δε φανερώνουν τη διαπραγματευτική ικανότητα κάποιου κόμβου ή κάποιας κλάσης κόμβων, αλλά δείχνουν πόσο ευνοημένος ή αδικημένος είναι κάποιος στο παιχνίδι της διαπραγμάτευσης. Συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερη είναι η διαπραγματευτική ισχύς, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλεονέκτημα που κατέχει η συγκεκριμένη κλάση στο παιχνίδι και αντίστοιχα όσο μικρότερη είναι η διαπραγματευτική ισχύς τόσο λιγότερο ενεργός είναι ο ρόλος της. Επιπλέον, όταν σε όλους τους κόμβους ανατίθενται ίσες ισχύς διαπραγμάτευσης, τότε όλοι οι κόμβοι παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο στο παιχνίδι. Στο παρόν πρόβλημα, δεν υπάρχει κάποιος λόγος ώστε να υποθέσουμε ότι ορισμένοι κόμβοι έχουν μεγαλύτερο πλεονέκτημα από κάποιους άλλους και για το λόγο αυτό σε κάθε κλάση κόμβων θέτουμε ίσες δυνάμεις διαπραγμάτευσης, $\alpha_k = 1/K$, για κάθε κόμβο k .

Ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφουν οι K κόμβοι του δικτύου, τους

κατηγοριοποιήσαμε σε κόμβους γρήγορης κίνησης, K_{high} , και σε κόμβους αργής κίνησης, K_{low} . Επομένως, η λύση διαπραγμάτευσης του Nash είναι το διάνυσμα $U = (U_{high}, U_{low})$ και το σημείο διαφωνίας είναι το διάνυσμα $d = (d_{high}, d_{low})$. Επιπλέον, οι ισχύς διαπραγμάτευσης είναι $\alpha = (K_{high}/K, K_{low}/K)$.

Άρα, αρκεί να μεγιστοποιήσουμε το γινόμενο

$$F(\mathbf{U}, d) = \arg \max_U (U_{high} - d_{high})^{\frac{K_{high}}{K}} (U_{low} - d_{low})^{\frac{K_{low}}{K}}. \quad (4.3)$$

Προφανώς, η εξίσωση (4.3) μπορεί να γενικευτεί για οποιοδήποτε αριθμό κλάσεων.

Αυτό που απομένει πλέον για να υπολογίσουμε το παραπάνω γινόμενο είναι να προσδιορίσουμε το διάνυσμα d . Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε δύο εναλλακτικούς τρόπους για να ορίσουμε το διάνυσμα αυτό.

- Αρχικά, θέσαμε στο d το διάνυσμα που προέκυψε από την ισορροπία του Nash ως αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των κόμβων.
- Στη συνέχεια, παρατηρώντας τα αποτελέσματα της προηγούμενης θεώρησης αλλάξαμε την αρχική μας παραδοχή για το d και προτείναμε να μπορεί ο σχεδιαστής του συστήματος να ορίζει εξ'αρχής τα ελάχιστα ποσά ωφέλειας που θα πάρει ο κάθε κόμβος από τη στιγμή που ο κόμβος αποφασίσει να διαπραγματευτεί, χωρίς να υπάρξει συνεργασία.

4.3 Διακριτή Περίπτωση των Παραμέτρων Μετάδοσης

Όπως και με τα κριτήρια ελαχιστοποίησης της μέσης και της μέγιστης παραμόρφωσης, έτσι και με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash χρειάστηκε να κάνουμε κάποιες παραδοχές. Αρχικά, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, κατατάξαμε και στην περίπτωση αυτή τους κόμβους, σε κόμβους γρήγορης και αργής κίνησης κίνησης, K_{high} και K_{low} , αντίστοιχα, και χρησιμοποιήσαμε δύο σύνολα από καμπύλες URDC. Υποθέσαμε και εδώ πως το μοντέλο που ακολουθούν είναι αυτό που περιγράφεται στην εξίσωση (2.16), για κάθε κόμβο k , με τα α και β τέτοια ώστε το τετραγωνικό σφάλμα της προσέγγισης να ελαχιστοποιείται. Επιπλέον, όπως έχουμε ξαναφέρει τα α και β εξαρτώνται από το επίπεδο της κίνησης της βιντεοακολουθίας και από την κωδικοποίηση της πηγής. Ακόμη, αντί να καθορίσουμε τις παραμέτρους μετάδοσης για κάθε έναν από τους κόμβους του δικτύου, μπορούμε να καθορίσουμε τις παραμέτρους μετάδοσης για κάθε κλάση κόμβων.

Για το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής υποθέσαμε πως μπορεί να πάρει διακριτές τιμές από το σύνολο \mathbf{R}_s , για το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού ότι μπορεί να πάρει επίσης διακριτές τιμές από το σύνολο \mathbf{R}_c και για τις ισχύς μετάδοσης ότι παίρνουν τιμές από το διακριτό σύνολο τιμών \mathbf{S} . Θεωρήσαμε δηλαδή αρχικά, πως το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πηγών του συστήματος ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash είναι ένα διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό ότι όλοι οι κόμβοι θα πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με τον ίδιο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης, από την εξίσωση (2.4), προκύπτει ότι ο λόγος του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής προς το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού είναι σταθερός. Δηλαδή, όλα τα ζεύγη $(R_{s,k}, R_{c,k})$ για κάποιον κόμβο k , μοιράζονται το ίδιο bit rate κι έτσι μπορούν να πάρουν τιμές από ένα πεπερασμένο, διακριτό σύνολο τιμών \mathbf{R}_{s+c} , το οποίο φυσικά θα πρέπει να έχει την ίδια πληθικότητα με τα σύνολα \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c .

Επομένως, αρκεί να ορίσουμε τα διανύσματα:

$$\begin{aligned} S &= [S_{high}, S_{low}]^T \\ R_{s+c,high} &= [R_{s,high}, R_{c,high}]^T \\ R_{s+c,low} &= [R_{s,low}, R_{c,low}]^T. \end{aligned}$$

4.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Προκειμένου να εκτιμήσουμε την αποδοτικότητα της διαπραγματευτικής λύσης του Nash από τη θεωρία παιγνίων για την κατανομή των διαθέσιμων πηγών του συστήματος μεταξύ των κόμβων του δικτύου, εκτελέσαμε μια σειρά πειραμάτων σε πραγματικές βιντεοακολουθίες. Καθώς υποθέσαμε δύο κλάσεις κόμβων, χρησιμοποιήσαμε τη συμβολοσειρά “Foreman” για να αναπαραστήσουμε τις σκληρές που καταγράφονται από τους κόμβους γρήγορης κίνησης, ενώ η βιντεοακολουθία “Akiyo” χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τις σκληρές που καταγράφονται από τους κόμβους χαμηλής κίνησης. Και στα δύο βίντεο, τα χαρακτηριστικά αποκτήθηκαν με ρυθμό μετάδοσης καρέ 15 καρέ/δευτερόλεπτο.

Για να υπολογίσουμε τα α και β της εξίσωσης (2.16), χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα που αποκτήθηκαν με την εξής διαδικασία. Για τους ρυθμούς μετάδοσης σφαλμάτων 10^{-7} , 10^{-6} και 10^{-5} , υπολογίσαμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου. Στη συνέχεια, αφαιρέσαμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τις βιντεοακολουθίες “Foreman” και “Akiyo”, σύμφωνα με το RTP PLR. Αποκωδικοποιήσαμε τις δύο βιντεοακολουθίες και υπολογίσαμε την παραμόρφωση που υπέστη η καθεμία από αυτές ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλάβαμε το πείραμα για κάθε βίντεο 300 φορές και τέλος κρατήσαμε το μέσο όρο από τις 300 παραμορφώσεις τόσο για το “Foreman” όσο και για την “Akiyo”.

Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι η επιλογή της τιμής του c στον ορισμό της συνάρτησης ωφέλειας στην εξίσωση (4.1) δεν επηρεάζει καθόλου το αποτέλεσμα της τιμής της U_k για κάποιον κόμβο k , όπως προκύπτει από το δεύτερο αξίωμα της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash, παρόλα αυτά θέσαμε $c = 255^2$, ώστε η συνάρτηση ωφέλειας να ορίζεται όπως ακριβώς ορίζεται το PSNR.

Χρησιμοποιήσαμε BPSK διαμόρφωση, ενώ για την κωδικοποίηση του καναλιού χρησιμοποιήσαμε RCPC κώδικες με μητρικό κώδικα 1/4 [13]. Το μέγεθος του πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων το ορίσαμε ίσο με 400. Στα πειράματά μας χρησιμοποιήσαμε

δύο διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και δύο διαφορετικές τιμές για το εύρος ζώνης συχνοτήτων. Συγκεκριμένα εξετάσαμε τις τιμές 96000bits/s και 144000bits/s για το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, και τις τιμές 20MHz και 15MHz για το bandwidth. Επομένως, τα σύνολα των αποδεκτών ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού για τα δύο διαφορετικά bit rate που θεωρήσαμε, είναι

$$R = 96000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(32\text{kbps}, 1/3), (48\text{kbps}, 1/2), (64\text{kbps}, 2/3)\} \quad (4.4)$$

$$R = 144000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(48\text{kbps}, 1/3), (72\text{kbps}, 1/2), (96\text{kbps}, 2/3)\} \quad (4.5)$$

Η ισχύς παίρνει τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{S} . Συγκεκριμένα, $\mathbf{S} \in \{5, 10, 15\}$ (σε Watts).

Ένα ακόμη στοιχείο που αναφέραμε προηγουμένως είναι πως το εφικτό σύνολο θα πρέπει να είναι κυρτό, κλειστό, άνω φραγμένο και να επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση [6]. Επιπλέον, στην παρούσα διατριβή, επιτρέπουμε στους κόμβους να χρησιμοποιούν μεικτές στρατηγικές στις διαπραγματεύσεις τους. Δηλαδή, επιτρέπουμε στους κόμβους να λαμβάνουν κάποιο ποσό ωφέλειας, με βάση κάποια πιθανότητα. Επομένως, ανάλογα με την πιθανότητα που θα ανατεθεί σε κάθε κλάση κόμβων (στη συγκεκριμένη εργασία έχουμε κατατάξει τους κόμβους σε δύο κλάσεις), μπορούμε να πετύχουμε όλα τα σημεία που περιέχονται στο εφικτό σύνολο που προέκυψε αρχικά για όλους τους συνδυασμούς των παραμέτρων μετάδοσης. Ακόμη, για τις περιοχές συνεργασίας, δηλαδή για τις περιοχές που προκύπτουν βρίσκοντας το convex hull των σημείων των αμιγών στρατηγικών, ισχύει πως είναι πάντα κυρτά σύνολα [6] και επομένως ισχύουν όλες οι προαναφερθείσες προϋποθέσεις για τα εφικτά σύνολα.

Όσο για το σημείο διαφωνίας στη διακριτή περίπτωση, θέσαμε στο d το διάνυσμα που προέκυψε από την ισορροπία του Nash ως αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των κόμβων. Στο παρόν πρόβλημα, εάν δε γίνει η διαπραγμάτευση και ο κόμβος “ενδιαφέροντος” επιθυμεί να μεγιστοποιήσει την ποιότητα του βίντεο που μεταδίδει ανεξάρτητα με το τι κάνουν οι υπόλοιποι κόμβοι, θα χρειαστεί να στείλει τα δεδομένα του με μέγιστη ισχύ, καθώς με τον τρόπο αυτό θα μεγιστοποιήσει το λόγο E_k/I_0 της εξίσωσης (2.3), ανεξάρτητα από τις ισχύς με τις οποίες μεταδίδουν τα δεδομένα τους οι άλλοι κόμβοι. Σαφώς, αυτό εφαρμόζεται σε όλους τους κόμβους του δικτύου οι οποίοι καταγράφουν βίντεο. Επομένως, ορίσαμε το d ως το διάνυσμα που αποτελείται από τα ποσά ωφέλειας του κάθε κόμβου όταν όλοι οι κόμβοι εκπέμπουν με μέγιστη ισχύ. Αυτό το διάνυσμα αντιστοιχεί στην ισορροπία του Nash, καθώς η στρατηγική κάθε κλάσης κόμβων είναι η καλύτερη απάντηση στη στρατηγική της άλλης κλάσης κόμβων. Εάν κάποιος κόμβος επιθυμεί να μεγιστοποιήσει την ποιότητα του βίντεο που εκπέμπει ανεξάρτητα από το τι κάνουν οι άλλοι κόμβοι, θα πρέπει να στείλει τα δεδομένα του με μέγιστη ισχύ.

Στους πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 παρουσιάζουμε πώς μπορούν να κατανεμηθούν βέλτιστα οι πόροι του συστήματος για διάφορες κατανομές των κόμβων γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για δύο διαφορετικά bit rate και δύο διαφορετικά bandwidth, χρησιμοποιώντας τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash, και θέτοντας ως σημείο διαφωνίας το διάνυσμα που αντιστοιχεί στην ισορροπία του Nash ως το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των κόμβων.

Τα $R_{s,high}$, $R_{c,high}$, S_{high} αντιστοιχούν στο ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, στο ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και στην ισχύ μετάδοσης των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ τα $R_{s,low}$, $R_{c,low}$, S_{low} αντιστοιχούν στις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης. Κάτω από τη στήλη “High” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ κάτω από τη στήλη “Low” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων χαμηλής κίνησης. Σε όλες τις κατανομές, ο συνολικός αριθμός των κόμβων παραμένει σταθερός και ισούται με 100. Επιπλέον, οι δύο τελευταίες στήλες κάθε πίνακα, $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$, αντιπροσωπεύουν το PSNR των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα.

Πίνακας 4.1: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/2)$	5	10	$(64kbps, 2/3)$	5	27.8006	37.6852
70	$(48kbps, 1/2)$	5	30	$(64kbps, 2/3)$	5	27.8006	37.6852
50	$(48kbps, 1/2)$	5	50	$(64kbps, 2/3)$	5	27.8006	37.6852
30	$(48kbps, 1/2)$	5	70	$(64kbps, 2/3)$	5	27.8006	37.6852
10	$(48kbps, 1/2)$	5	90	$(64kbps, 2/3)$	5	27.8006	37.6852

Πίνακας 4.2: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	5	10	$(32kbps, 1/3)$	5	26.2683	34.1238
70	$(32kbps, 1/3)$	5	30	$(32kbps, 1/3)$	5	26.2683	34.1238
50	$(32kbps, 1/3)$	5	50	$(32kbps, 1/3)$	5	26.2683	34.1238
30	$(32kbps, 1/3)$	5	70	$(32kbps, 1/3)$	5	26.2683	34.1238
10	$(32kbps, 1/3)$	5	90	$(32kbps, 1/3)$	5	26.2683	34.1238

Πίνακας 4.3: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	5	10	$(48kbps, 1/3)$	5	25.4142	33.7718
70	$(48kbps, 1/3)$	5	30	$(48kbps, 1/3)$	5	25.4142	33.7718
50	$(48kbps, 1/3)$	5	50	$(48kbps, 1/3)$	5	25.4142	33.7718
30	$(48kbps, 1/3)$	5	70	$(48kbps, 1/3)$	5	25.4142	33.7718
10	$(48kbps, 1/3)$	5	90	$(48kbps, 1/3)$	5	25.4142	33.7718

Πίνακας 4.4: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	5	10	$(48kbps, 1/3)$	5	22.4944	30.3392
70	$(48kbps, 1/3)$	5	30	$(48kbps, 1/3)$	5	22.4944	30.3392
50	$(48kbps, 1/3)$	5	50	$(48kbps, 1/3)$	5	22.4944	30.3392
30	$(48kbps, 1/3)$	5	70	$(48kbps, 1/3)$	5	22.4944	30.3392
10	$(48kbps, 1/3)$	5	90	$(48kbps, 1/3)$	5	22.4944	30.3392

4.5 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Από τους πίνακες 4.1, 4.2, 4.3 και 4.4 παρατηρούμε ότι για οποιαδήποτε κατανομή κόμβων οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού, οι ισχύς μετάδοσης και τα PSNR των κόμβων γρήγορης και χαμηλής κίνησης αντίστοιχα, για συγκεκριμένο bit rate και συγκεκριμένο bandwidth είναι τα ίδια. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι καθένας από τους παράγοντες του γινομένου της εξίσωσης (4.3) και επομένως το αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται σε οποιαδήποτε δύναμη κι αν υψώσουμε καθέναν από τους παράγοντες του γινομένου αυτού (κάθε παράγοντας του γινομένου ισούται με 0 όταν έχουμε μεγιστοποίηση του γινομένου του Nash).

Επιπλέον, διαπιστώνουμε κι εδώ πως για ίδιο bit rate και μικρότερο bandwidth μειώνεται το PSNR και των δύο κλάσεων κόμβων. Το ίδιο ισχύει και όταν αυξάνουμε το bit rate διατηρώντας σταθερό το bandwidth. Τέλος, αυξάνοντας το bit rate και συγχρόνως μειώνοντας το bandwidth, τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης και των κόμβων χαμηλής κίνησης μειώνονται ακόμα περισσότερο.

Συγκρίνοντας τον πίνακα 4.1 με τους πίνακες 3.1 και 3.2 διαπιστώνουμε ότι η λύση διαπραγμάτευσης του Nash αναθέτει μεγαλύτερο PSNR στους κόμβους χαμηλής κίνησης συγκριτικά με τα κριτήρια ελαχιστοποίησης της μέσης και της μέγιστης παραμόρφωσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το σημείο διαφωνίας των κόμβων αργής κίνησης d_{low} , δηλαδή το μέγιστο ποσό ωφέλειας των κόμβων αργής κίνησης όταν όλοι οι κόμβοι εκπέμπουν με μέγιστη ισχύ και δε γίνεται διαπραγμάτευση είναι ήδη υψηλότερο από το ποσό ωφέλειας των κόμβων χαμηλής κίνησης στα κριτήρια MAD και MMD αντίστοιχα. Παρόλα αυτά όμως, για την NBS παρατηρούμε ότι αναθέτει και στις δύο κατηγορίες κόμβων ισχύ μετάδοσης ίση με 5. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι από το λόγο E_k/I_0 της εξίσωσης (2.3), προκύπτει ότι όταν οι κόμβοι στέλνουν τα δεδομένα τους με την ίδια ισχύ, οι ισχύς (σε αριθμητή και παρονομαστή) απλοποιούνται με αποτέλεσμα να παίρνουμε πάντα τον ίδιο αριθμό και άρα το μέγιστο γινόμενο του Nash να επιτυγχάνεται όταν $S_{high} = S_{low} = 5$.

Γενικότερα, όσο περισσότεροι αριθμητικά είναι οι κόμβοι γρήγορης κίνησης τόσο ευνοϊκότερη είναι η NBS καθώς το $PSNR_{low}$ είναι κατά πολύ μεγαλύτερο των $PSNR_{low}$ των άλλων κριτηρίων, ενώ το $PSNR_{high}$ είναι ελαφρώς χαμηλότερο συγκριτικά με τα $PSNR_{high}$ των άλλων δύο κριτηρίων για τις διάφορες κατανομές κόμβων. Ακόμη, η NBS είναι προτιμότερη από τα άλλα δύο κριτήρια καθώς αναθέτει χαμηλότερη ισχύ μετάδοσης στους κόμβους του δικτύου.

Στα ίδια ακριβώς συμπεράσματα καταλήγουμε συγκρίνοντας τον πίνακα 4.2 με τους πίνακες 3.3 και 3.4, τον πίνακα 4.3 με τους πίνακες 3.5 και 3.6 και τον πίνακα 4.4 με τους πίνακες 3.7 και 3.8, όπου έχουμε αντίστοιχα bit rate και bandwidth κάθε φορά.

Συνοψίζοντας, διαπιστώσαμε πως στη διακριτή περίπτωση των παραμέτρων μετάδοσης, η λύση διαπραγμάτευσης του Nash είναι το προτιμότερο κριτήριο μεταξύ των τριών καθώς αναθέτει καλύτερο PSNR στους κόμβους χαμηλής κίνησης για όλες τις κατανομές κόμβων με μικρή υποβάθμιση στο PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης, συγκριτικά με τα άλλα κριτήρια, κυρίως όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι περισσότεροι αριθμητικά από τους κόμβους αργής κίνησης.

4.6 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού

Παρομοίως με τα κριτήρια ελαχιστοποίησης της μέσης και της μέγιστης παραμόρφωσης, στη λύση διαπραγμάτευσης του Nash εφαρμόσαμε μια επέκταση στο σύνολο τιμών των ισχύων με τις οποίες μπορούν οι κόμβοι να μεταδίδουν τα δεδομένα τους. Συγκεκριμένα, στην αρχική εκδοχή του προβλήματος της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πόρων του συστήματος ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, υποθέσαμε πως ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής μπορούσε να πάρει τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{R}_s , ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού επιτρεπόταν να παίρνει επίσης διακριτές τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{R}_c και τέλος οι ισχύς μετάδοσης επιτρεπόταν να πάρουν τιμές από το διακριτό σύνολο \mathbf{S} . Είχαμε λοιπόν να επιλύσουμε ένα διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Στη συγκεκριμένη εργασία, πετύχαμε να μετατρέψουμε το παραπάνω διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης σε πρόβλημα βελτιστοποίησης μικτών ακεραίων. Σύμφωνα με τη δική μας θεώρηση, οι ισχύς μετάδοσης μπορούν να παίρνουν συνεχείς τιμές από κάποιο συνεχές σύνολο τιμών, προκαθορισμένου εύρους: $\mathbf{S} = [s_{min}, s_{max}] \subset \mathbb{R}$. Για τους ρυθμούς κωδικοποίησης πηγής και καναλιού ισχύουν οι αρχικές υποθέσεις για τα δύο διακριτά σύνολα \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c αντίστοιχα, από τα οποία μπορούν να παίρνουν τιμές. Για να επιλύσουμε αυτό το πρόβλημα βελτιστοποίησης μικτών-ακεραίων που προέκυψε, χρησιμοποιήσαμε κι εδώ τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων.

Και στην περίπτωση αυτή υποθέσαμε δύο κατηγορίες κόμβων ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφουν: κόμβους γρήγορης κίνησης, K_{high} , και κόμβους αργής κίνησης, K_{low} . Ακόμη, ισχύει κι εδώ ο περιορισμός ότι οι κόμβοι πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με το ίδιο, μέγιστο bit rate, με αποτέλεσμα οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού να μοιράζονται τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Επομένως, προκύπτει ότι τα ζεύγη $(R_{s,k}, R_{c,k})$ για κάποιον κόμβο k , μπορούν να πάρουν τιμές από ένα πεπερασμένο διακριτό σύνολο τιμών $\mathbf{R}_{s+c,k}$. Εννοείται πως κι εδώ η πληθικότητα του συνόλου \mathbf{R}_{s+c} θα πρέπει να ισούται με την πληθικότητα των συνόλων \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c .

Και στην παρούσα λύση διαπραγμάτευσης προκύπτει λοιπόν ότι θα πρέπει να ορίσουμε τα εξής διανύσματα:

$$\begin{aligned} S &= [S_{high}, S_{low}]^T \\ R_{s+c,high} &= [R_{s,high}, R_{c,high}]^T \\ R_{s+c,low} &= [R_{s,low}, R_{c,low}]^T. \end{aligned}$$

όπου τα $S_{high}, R_{s,high}, R_{c,high}$ είναι η ισχύς μετάδοσης, ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής και ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ αντίστοιχα τα $S_{low}, R_{s,low}, R_{c,low}$ αντιπροσωπεύουν τις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης.

4.7 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Εφόσον θεωρήσαμε κόμβους γρήγορης και αργής κίνησης, χρησιμοποιήσαμε τις βιντεοακολουθίες “Foreman” και “Akiyo” για να παραστήσουμε την κάθε μία κλάση από αυτές. Και στα δύο βίντεο, τα χαρακτηριστικά αποκτήθηκαν με ρυθμό μετάδοσης καρέ 15 καρέ/δευτερόλεπτο. Επομένως, χρησιμοποιήσαμε δύο σύνολα από καμπύλες URDC για τις οποίες θεωρήσαμε το μοντέλο που περιγράφεται από την εξίσωση (2.16). Για να εκτιμήσουμε την τιμή των μεταβλητών α και β ακολουθήσαμε μια σειρά ενεργειών.

Συγκεκριμένα, για τους ρυθμούς μετάδοσης σφαλμάτων 10^{-7} , 10^{-6} και 10^{-5} , υπολογίσαμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου. Στη συνέχεια, αφαιρέσαμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τις δύο παραπάνω βιντεοακολουθίες, σύμφωνα με το RTP PLR. Τις αποκωδικοποιήσαμε και υπολογίσαμε την παραμόρφωση που υπέστει η καθεμία από αυτές ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλάβαμε το πείραμα για κάθε βίντεο 300 φορές και τέλος κρατήσαμε το μέσο όρο από τις 300 παραμορφώσεις, τόσο για το “Foreman” όσο και για την “Akiyo”.

Σε όλες τις περιπτώσεις, θεωρήσαμε ότι στο δίκτυο υπάρχουν συνολικά 100 κόμβοι, ενώ στον ορισμό της συνάρτησης ωφέλειας στην εξίσωση (4.1) θέσαμε $c = 255^2$, ώστε το ποσό ωφέλειας κάποιου κόμβου να αντιστοιχεί στο PSNR του κόμβου αυτού.

Χρησιμοποιήσαμε BPSK διαμόρφωση και κώδικες RCPC με μητρικό κώδικα 1/4 [13]. Το μέγεθος του πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων ορίστηκε στο 400, ενώ εκτελέσαμε μια σειρά πειραμάτων για bit rate = 96000bits/s και bit rate = 144000bits/s, με bandwidth 20MHz και 15MHz. Επομένως, τα σύνολα των αποδεκτών ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού είναι τα εξής

$$R = 96000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(32\text{kbps}, 1/3), (48\text{kbps}, 1/2), (64\text{kbps}, 2/3)\} \quad (4.6)$$

$$R = 144000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(48\text{kbps}, 1/3), (72\text{kbps}, 1/2), (96\text{kbps}, 2/3)\} \quad (4.7)$$

Για την ισχύ υποθέσαμε πως μπορεί να πάρει τιμές από το συνεχές σύνολο τιμών $\mathbf{S} = [5.0, 15.0]$ (σε Watts). Όσο για τον αλγόριθμο Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων κάναμε ακριβώς τις ίδιες θεωρήσεις, που είχαμε κάνει και στα κριτήρια ελαχιστοποίησης της μέσης και της μέγιστης παραμόρφωσης.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα σμήνος 20 σωματιδίων και μια τοπολογία δακτυλίου ακτίνας 1. Κάθε σωματίδιο υποθέσαμε πως αποτελείται από 4 αγνώστους, δηλαδή από δύο συνεχείς τιμές για την ισχύ και από δύο διακριτές τιμές, μία για το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής και μία για το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού. Στην υλοποίησή μας, οι διακριτές παράμετροι μπορούσαν να παίρνουν συνεχείς τιμές για τη θέση και την ταχύτητα, αν και στρογγυλοποιούνταν στον πλησιέστερο ακέραιο για την εκτίμηση του σωματιδίου. Για τις παραμέτρους χ , c_1 και c_2 χρησιμοποιήσαμε τις προεπιλεγμένες τιμές του αλγορίθμου PSO. Δηλαδή, θέσαμε $\chi = 0.729$ και $c_1 = c_2 = 2.05$. Ακόμη, λόγω της στοχαστικής φύσης του αλγορίθμου PSO εκτιμήσαμε την απόδοσή του στο μέσο όρο μιας σειράς πειραμάτων που διεξάγαμε. Για κάθε κατανομή κόμβων εκτελέσαμε 30 ανεξάρτητα

πειράματα, ενώ για κάθε ένα από αυτά ο PSO έκανε 500 επαναλήψεις. Για κάθε πείραμα καταγράψαμε την καλύτερη λύση που βρήκαμε.

Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή όπου οι ισχύς μετάδοσης παίρνουν συνεχείς τιμές, το εφικτό σύνολο θα πρέπει κι εδώ να είναι κυρτό, κλειστό, άνω φραγμένο και να επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση [6]. Προκειμένου λοιπόν να πετύχουμε την κυρτότητα του εφικτού συνόλου στη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για τις διάφορες κατανομές κόμβων, επιτρέπαμε στους κόμβους να χρησιμοποιούν μεικτές στρατηγικές στις διαπραγματεύσεις τους. Δηλαδή, ανάλογα με την πιθανότητα που αναθέταμε σε κάθε κλάση κόμβων, μπορούσαμε να πετύχουμε όλα τα σημεία που περιέχονταν στο εφικτό σύνολο που είχε προκύψει αρχικά, από τις αμιγείς στρατηγικές των κόμβων, για όλους τους συνδυασμούς των παραμέτρων μετάδοσης. Ακόμη, από τη βιβλιογραφία [6] ισχύει πως οι περιοχές συνεργασίας είναι πάντα κυρτά σύνολα και επομένως πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις για τα εφικτά σύνολα.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash όταν και οι τρεις παράμετροι μετάδοσης έπαιρναν διακριτές τιμές και το σημείο διαφωνίας είχε οριστεί ως το διάνυσμα που προέκυψε από την ισορροπία του Nash, ως το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των κόμβων, διαπιστώσαμε πως ευνοούνταν πάντα οι κόμβοι χαμηλής κίνησης, ενώ οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είχανε μείωση στα PSNR τους σε όλες τις κατανομές κόμβων και για όλα τα bit rate και bandwidth τα οποία δοκιμάσαμε.

Είναι σαφές πως τα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης είναι εκ των πραγμάτων υψηλότερα λόγω της φύσης του βίντεο που καταγράφουν (χαμηλή κίνηση), σε σχέση με τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης. Έτσι προφανώς, μία βελτίωση στην ήδη καλή ποιότητα εικόνας είναι λιγότερο αισθητή από μία βελτίωση, σε κάποια μέτρια ποιοτικά εικόνα. Για το λόγο αυτό, η βελτίωση των χαμηλών τιμών των PSNR που αντιστοιχούν στους κόμβους γρήγορης κίνησης είναι περισσότερο ουσιαστικής συγκριτικά με τη βελτίωση στα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης.

Στη συγκεκριμένη διατριβή και για την περίπτωση όπου οι ισχύς μετάδοσης μπορούν να πάρουν συνεχείς τιμές, προτείναμε έναν εναλλακτικό τρόπο ορισμού του σημείου διαφωνίας προκειμένου να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα ιδιαίτερα στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης. Συγκεκριμένα, προτείναμε να μπορεί ο σχεδιαστής του συστήματος να ορίζει εξ'αρχής τα ελάχιστα ποσά ωφέλειας που θα πάρει ο κάθε κόμβος από τη στιγμή που αποφασίσει να διαπραγματευτεί, χωρίς να υπάρξει συνεργασία. Παρόμοια λογική ακολουθήθηκε και στο πρόβλημα διαμοιρασμού του bit rate ανάμεσα στους διάφορους χρήστες (κόμβους) του συστήματος στο [22], όπου κι εκεί χρησιμοποιήθηκε η λύση διαπραγμάτευσης του Nash. Ο κάθε χρήστης του δικτύου επιτρεπόταν να λάβει τουλάχιστον ένα ελάχιστο προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, προκειμένου να μπορέσει να αποστείλει τα δεδομένα του.

Πειραματιστήκαμε με διάφορες τιμές για το σημείο διαφωνίας θέτοντας διαφορετικές τιμές ανάλογα με το bit rate και το bandwidth το οποίο εξετάζαμε κάθε φορά. Είναι λογικό πως όσο μεγαλώνει το bit rate με σταθερό το bandwidth ή όσο μειώνεται το bandwidth με σταθερό το bit rate ή όσο αυξάνεται το bit rate και συγχρόνως μειώνεται το bandwidth, ο ρυθμός με τον οποίο μεταδίδονται τα σφάλματα να αυξάνεται και άρα να πρέπει να θέτουμε

χαμηλότερες τιμές για το σημείο διαφωνίας. Στα πειράματά μας, για ίδιο bit rate και ίδιο bandwidth θέσαμε τρεις διαφορετικές τιμές στο σημείο διαφωνίας .

Συγκεκριμένα, για όλες τις κατανομές κόμβων που εξετάσαμε:

Για bit rate = 96000bits/s και bandwidth = 20MHz, θέσαμε στο σημείο διαφωνίας τις τιμές

- $d = (28, 28)$
- $d = (24, 24)$
- $d = (20, 20)$.

Για bit rate = 96000bits/s και bandwidth = 15MHz, θέσαμε

- $d = (26, 26)$
- $d = (23, 23)$
- $d = (20, 20)$.

Για bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 20MHz, ορίσαμε

- $d = (25, 25)$
- $d = (23, 23)$
- $d = (20, 20)$

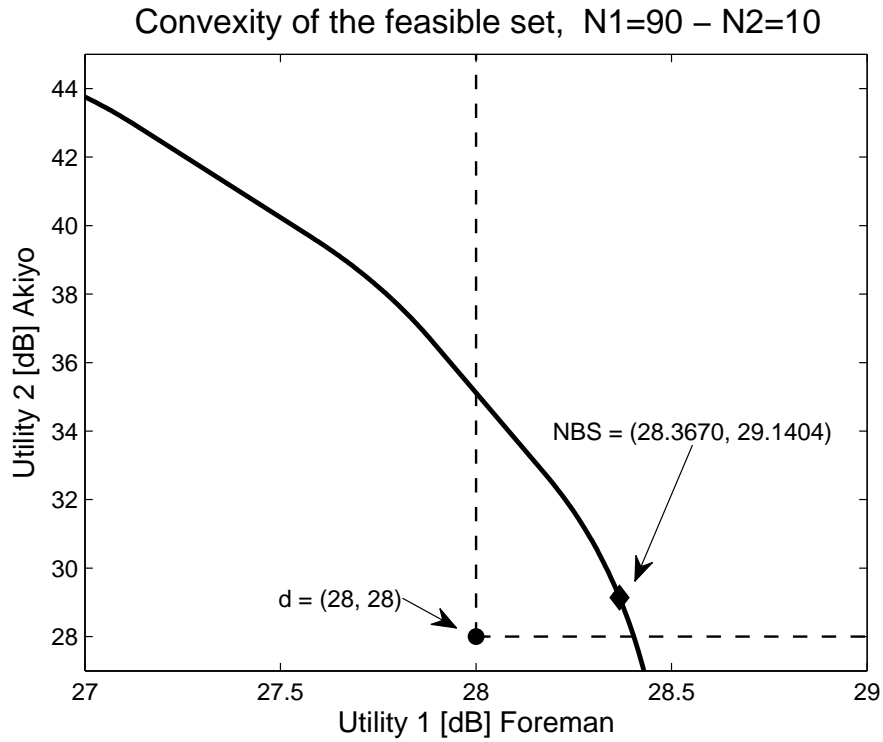
ενώ τέλος για bit rate = 144000bits/s και bandwidth = 15MHz, θέσαμε

- $d = (22, 22)$
- $d = (20, 20)$
- $d = (18, 18)$.

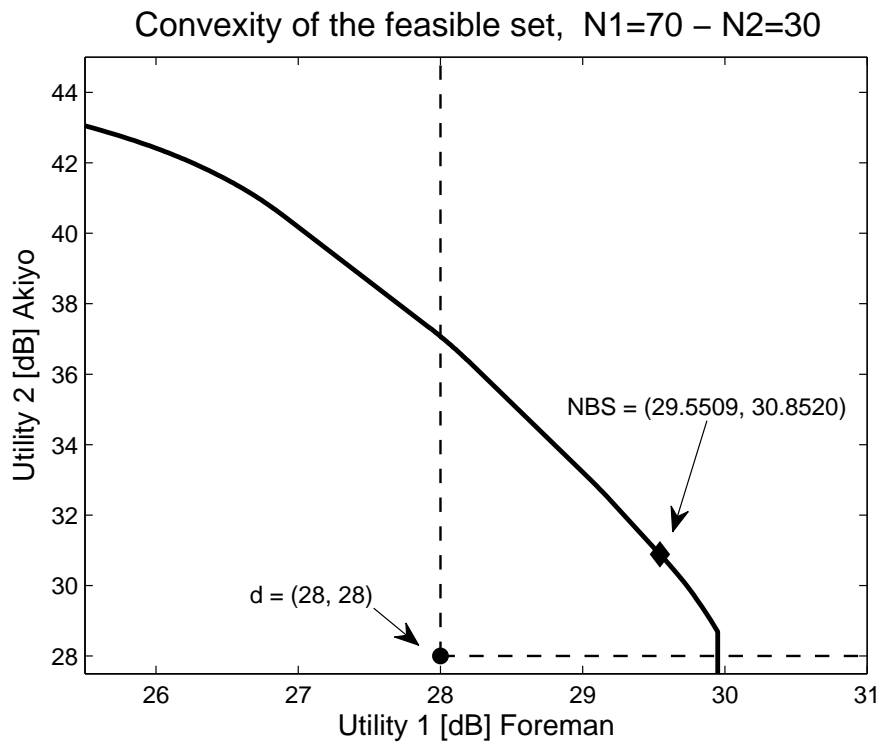
Στα Σχήματα 4.5 έως 4.9, με την έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζεται το εφικτό σύνολο για τις κατανομές κόμβων 90 – 10, 70 – 30, 50 – 50, 30 – 70 και 10 – 90 γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα, με το σημείο διαφωνίας να είναι $d = (28, 28)$, το bit rate 96000bits/s και το bandwidth 20MHz. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί το τμήμα του συνόλου διαπραγμάτευσης στο οποίο θα πρέπει να ανήκει η λύση διαπραγμάτευσης του Nash, ενώ ο ρόμβος απεικονίζει τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash. Η κόκκινη γραμμή στα Σχήματα (4.8) και (4.9) απεικονίζει την ελεύθερη διάθεση (free disposal) του εφικτού συνόλου στις συμφωνίες των κόμβων.

Επιπλέον, στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουμε πως μπορούν να κατανεμηθούν οι πόροι του συστήματος για διάφορες κατανομές κόμβων γρήγορης και χαμηλής κίνησης, για δύο διαφορετικές τιμές στο bit rate και για δύο διαφορετικές τιμές στο bandwidth,

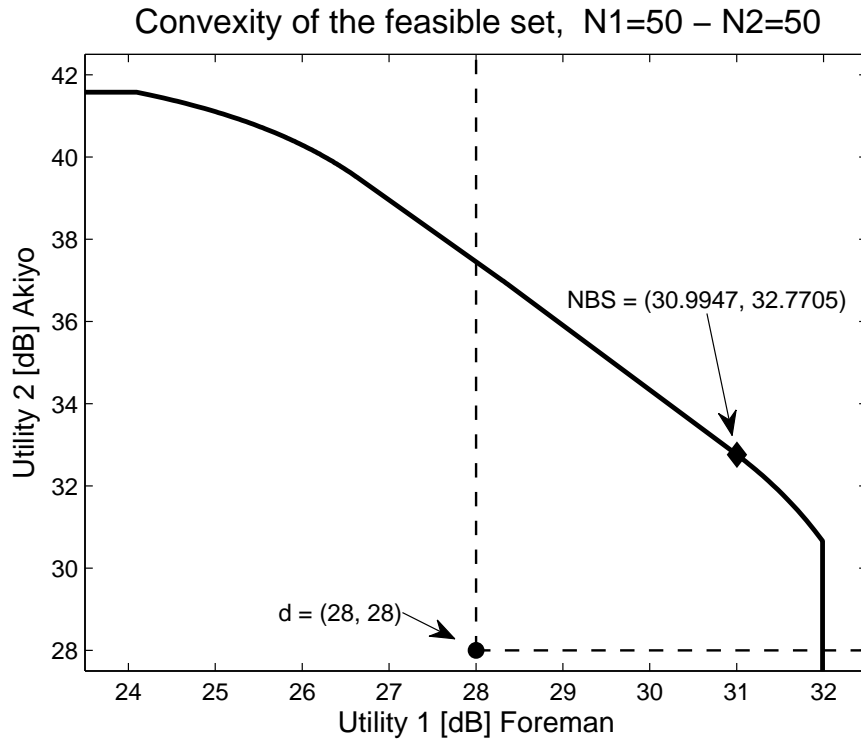
χρησιμοποιώντας τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash. Η στήλη “High” περιγράφει το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ η στήλη “Low” περιγράφει το πλήθος των κόμβων χαμηλής κίνησης. Το $(R_{s,high}, R_{c,high})$ περιγράφει το ζεύγος του ρυθμού κωδικοποίησης πηγής και καναλιού για τους κόμβους γρήγορης κίνησης, και αντίστοιχα το $(R_{s,low}, R_{c,low})$ περιγράφει την ίδια παράμετρο για τους κόμβους χαμηλής κίνησης. Με S_{high} και S_{low} περιγράφουμε τις ισχύς μετάδοσης των δύο κλάσεων των κόμβων, ενώ με $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ ορίζουμε το PSNR των δύο κατηγοριών κίνησης κόμβων, γρήγορη και αργή αντίστοιχα.



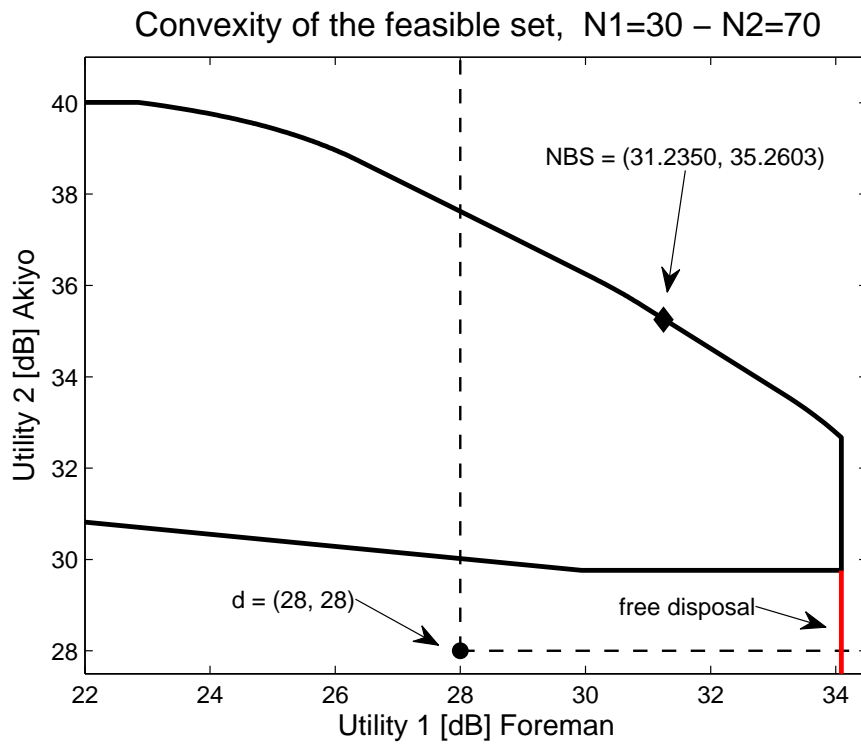
Σχήμα 4.5: Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 90 κόμβους γρήγορης κίνησης και 10 κόμβους αργής κίνησης.



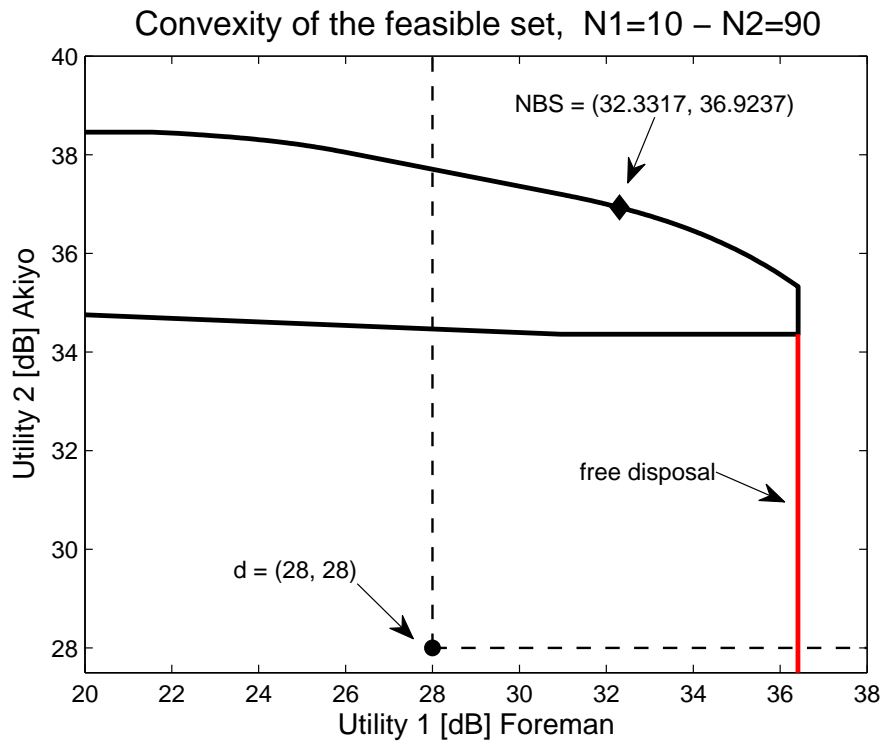
Σχήμα 4.6: Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 70 κόμβους γρήγορης κίνησης και 30 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 4.7: Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 50 κόμβους γρήγορης κίνησης και 50 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 4.8: Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 30 κόμβους γρήγορης κίνησης και 70 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 4.9: Το εφικτό σύνολο για τη λύση του Nash για 10 κόμβους γρήγορης κίνησης και 90 κόμβους αργής κίνησης.

Πίνακας 4.5: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(28,28)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/2)	12.2726	10	(32kbps,1/3)	5.0000	28.3670	29.1404
70	(64kbps,2/3)	15.0000	30	(32kbps,1/3)	6.3195	29.5509	30.8520
50	(64kbps,2/3)	10.8085	50	(32kbps,1/3)	5.0000	30.9947	32.7705
30	(64kbps,2/3)	8.4217	70	(64kbps,2/3)	5.0000	31.2350	35.2603
10	(64kbps,2/3)	8.2654	90	(64kbps,2/3)	5.0000	32.3317	36.9237

Πίνακας 4.6: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(24,24)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/2)	9.3393	10	(32kbps,1/3)	5.0000	28.2441	31.7486
70	(48kbps,1/2)	15.0000	30	(32kbps,1/3)	8.2987	29.0933	32.8519
50	(64kbps,2/3)	9.9360	50	(32kbps,2/3)	5.0000	30.6849	33.2298
30	(64kbps,2/3)	15.0000	70	(64kbps,2/3)	9.8714	30.5470	35.8546
10	(64kbps,2/3)	7.5548	90	(64kbps,2/3)	5.0000	31.5410	37.0900

Πίνακας 4.7: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	(48kbps,1/2)	8.4382	10	(32kbps,1/3)	5.0000	28.1893	32.5733
70	(48kbps,1/2)	15.0000	30	(32kbps,1/3)	9.0825	28.9397	33.4308
50	(48kbps,1/2)	6.1916	50	(64kbps,2/3)	5.0000	28.7242	36.2903
30	(64kbps,2/3)	15.0000	70	(64kbps,2/3)	10.4858	30.1116	36.1721
10	(64kbps,2/3)	15.0000	90	(64kbps,2/3)	10.4964	31.0179	37.1856

Πίνακας 4.8: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγματεύσεως του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(26,26)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(32kbps, 1/3)$	7.8250	26.4961	28.5350
70	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(32kbps, 1/3)$	8.1424	26.9390	30.0920
50	$(48kbps, 1/2)$	10.4270	50	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	27.9623	30.3988
30	$(48kbps, 1/2)$	9.8312	70	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	29.0406	32.0742
10	$(64kbps, 2/3)$	10.1235	90	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	31.1265	33.3741

Πίνακας 4.9: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγματεύσεως του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(23,23)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(32kbps, 1/3)$	11.0234	26.3938	31.8400
70	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(32kbps, 1/3)$	11.0452	26.6483	32.3405
50	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(32kbps, 1/3)$	11.0681	26.9079	32.8437
30	$(48kbps, 1/2)$	8.9291	70	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	28.5738	32.4423
10	$(64kbps, 2/3)$	9.7446	90	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	30.7746	33.4284

Πίνακας 4.10: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγματεύσεως του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	26.3391	32.9753
70	$(32kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(32kbps, 1/3)$	12.7488	26.4826	33.2234
50	$(32kbps, 1/3)$	5.8834	50	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	26.6286	33.4754
30	$(48kbps, 1/2)$	15.0000	70	$(32kbps, 1/3)$	8.9096	28.2680	32.6533
10	$(64kbps, 2/3)$	9.4951	90	$(32kbps, 1/2)$	5.0000	30.5282	33.4642

Πίνακας 4.11: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(25,25)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	8.9112	25.7945	27.4521
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	9.1730	26.5267	29.1834
50	$(48kbps, 1/3)$	8.0004	50	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	27.2406	30.6421
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	9.5433	27.9487	31.9547
10	$(48kbps, 1/3)$	7.7382	90	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	28.6589	33.1804

Πίνακας 4.12: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(23,23)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	10.1563	25.7162	29.3390
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	10.2441	26.3172	30.3900
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	10.3239	26.9183	31.3902
30	$(48kbps, 1/3)$	12.9010	70	$(48kbps, 1/3)$	8.9435	27.5234	32.3573
10	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	10.4701	28.1356	33.3036

Πίνακας 4.13: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	6.6300	10	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	25.6437	30.7092
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	11.3294	26.1074	31.3869
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	11.3475	26.5781	32.0643
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	11.3666	27.0569	32.7438
10	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	11.3869	27.5450	33.4276

Πίνακας 4.14: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(22,22)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	10.2063	22.8610	24.4554
70	$(48kbps, 1/3)$	7.2494	30	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	23.5677	26.0379
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	10.4480	24.2560	27.3953
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	10.5310	24.9370	28.6270
10	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	10.6026	25.6175	29.7816

Πίνακας 4.15: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	11.2000	22.7849	26.1740
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	11.2284	23.3626	27.1570
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	11.2527	23.9396	28.0965
30	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	70	$(48kbps, 1/3)$	11.2747	24.5190	29.0068
10	$(48kbps, 1/3)$	6.6395	90	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	25.1036	29.8982

Πίνακας 4.16: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(18,18)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	11.8641	22.7340	27.1189
70	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	11.8611	23.2162	27.8415
50	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	50	$(48kbps, 1/3)$	11.8584	23.7032	28.5575
30	$(48kbps, 1/3)$	6.3257	70	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	24.1964	29.2701
10	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	90	$(48kbps, 1/3)$	11.8552	24.6969	29.9824

4.8 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Αρχικά, παρατηρώντας τα Σχήματα 4.5 έως 4.9, διαπιστώνουμε πως το εφικτό σύνολο και για τις 5 κατανομές κόμβων, όταν το bit rate είναι 96000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz είναι κυρτό. Το ίδιο ισχύει και για τα εφικτά σύνολα όλων των συνδυασμών των bit rate και bandwidth που εξετάσαμε. Ενδεικτικά παραθέσαμε τα παραπάνω σχήματα.

Συνεχίζοντας, μία πρώτη αποτίμηση των αποτελεσμάτων των πινάκων μας οδήγησε στο συμπέρασμα πως και στη λύση διαπραγμάτευσης του Nash, οι συνεχείς τιμές που προκύπτουν για τις ισχύς με τις οποίες αποστέλλουν τα δεδομένα τους οι κόμβοι δεν είναι μοναδικές, για όλες τις κατανομές κόμβων και για όλους τους συνδυασμούς των bit rate και bandwidth που μελετήσαμε.

Ο αλγόριθμος PSO σε κάθε ένα από τα 30 πειράματα που εκτελεί για την κάθε κατανομή κόμβων, προκειμένου να επιλύσει το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πηγών του συστήματος, επιστρέφει μια διαφορετική λύση που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση. Επιστρέφει δηλαδή διαφορετικές τιμές για τις δύο ισχύς μετάδοσης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ο λόγος E_k/I_0 της συνάρτησης (2.9) παραμένει σταθερός αν όλες οι ισχύς πολλαπλασιαστούν με την ίδια σταθερά, καθώς υποθέσαμε ότι ο θερμικός θόρυβος είναι αμελητέος και ότι ο AWGN προκύπτει μόνο από τις παρεμβολές των κόμβων. Επομένως, αυτό που μας ενδιαφέρει είναι ο βέλτιστος λόγος S_{high}/S_{low} που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση, και όχι οι μεμονωμένες τιμές για τις ισχύς. Οι βέλτιστοι ρυθμοί κωδικοποίησης της πηγής και του καναλιού είναι μοναδικοί.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ στους πίνακες 4.5, 4.6 και 4.7, όπου $d = (28, 28)$, $d = (24, 24)$ και $d = (20, 20)$ αντίστοιχα, διαπιστώνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που θέτουμε στο d τόσο περισσότερο ευνοούνται οι κόμβοι γρήγορης κίνησης, ενώ αντίστοιχα τόσο περισσότερο αδικούνται οι κόμβοι που καταγράφουν χαμηλή κίνηση. Αντιστρόφως, οι μικρές τιμές στο d ευνοούν τους κόμβους χαμηλής κίνησης, ενώ αδικούν τους κόμβους που καταγράφουν γρήγορη κίνηση. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι το $PSNR_{high}$ του πίνακα 4.5 διαφέρει από το $PSNR_{high}$ του πίνακα 4.7 κατά +0.1777, ενώ το $PSNR_{low}$ του πίνακα 4.5 διαφέρει από το $PSNR_{low}$ του πίνακα 4.7 κατά -3.4329. Δηλαδή, για μικρότερο d μειώθηκε το $PSNR_{high}$ και παράλληλα αυξήθηκε το $PSNR_{low}$.

Παράλληλα, συγκρίνοντας τον πίνακα 4.5 της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash, με τον πίνακα 3.9 για το κριτήριο MAD και τον πίνακα 3.10 για το κριτήριο MMD, διαπιστώνουμε ότι η λύση διαπραγμάτευσης του Nash μπορεί να θεωρηθεί ως συμβιβασμός ανάμεσα στα δύο άλλα κριτήρια. Με την NBS, στους κόμβους χαμηλής κίνησης ανατίθεται πάντα υψηλότερο PSNR από το PSNR που ανατίθεται στους κόμβους χαμηλής κίνησης χρησιμοποιώντας το κριτήριο MMD. Ακόμη, με την NBS, οι κόμβοι γρήγορης κίνησης λαμβάνουν μεγαλύτερο PSNR από το PSNR που λαμβάνουν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης στο κριτήριο MAD, εκτός και αν το πλήθος των κόμβων χαμηλής κίνησης είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης. Στην περίπτωση αυτή, το $PSNR_{high}$ της NBS είναι ελαφρώς χαμηλότερο από το $PSNR_{high}$ του κριτηρίου MAD, ενώ το $PSNR_{low}$ της NBS είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το $PSNR_{low}$ του κριτηρίου MAD και σημαντικά μεγαλύτερο

του κριτηρίου MMD.

Αντίθετα, εάν συγκρίνουμε τον πίνακα 4.7 της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash, με τον πίνακα 3.9 για το κριτήριο MAD και τον πίνακα 3.10 για το κριτήριο MMD, διαπιστώνουμε ότι στην περίπτωση αυτή η λύση διαπραγμάτευσης του Nash αποδίδει σε όλες τις κατανομές κόμβων καλύτερο PSNR στους κόμβους χαμηλής κίνησης συγκριτικά με τα άλλα δύο κριτήρια, για τις αντίστοιχες κατανομές κόμβων. Από την άλλη πλευρά όμως, το PSNR που αποδίδεται στους κόμβους γρήγορης κίνησης υστερεί σε σχέση με τα $PSNR_{high}$ των άλλων δύο κριτηρίων στις αντίστοιχες κατανομές.

Συμπεραίνουμε επομένως πως μια υψηλή αρχικοποίηση του d αποτελεί βέλτιστη λύση στο πρόβλημά μας, καθώς μέσω του μέγιστου γινομένου του Nash, (εξίσωση (4.3)) ανατίθεται υψηλότερο PSNR στους κόμβους γρήγορης κίνησης που είναι κι αυτό που μας ενδιαφέρει, καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης είναι εκ φύσεως υψηλότερα λόγω της χαμηλής κίνησης του βίντεο που καταγράφουν, συγκριτικά με τα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης. Έτσι προφανώς, μία βελτίωση στην ήδη καλή ποιότητα εικόνας είναι λιγότερο αισθητή από μία βελτίωση σε κάποια μέτρια ποιοτικά εικόνα και για το λόγο αυτό είναι προτιμότερη η αρχικοποίηση του d σε κάποια υψηλή τιμή, ανάλογα πάντα με το bit rate και το bandwidth που υποθέτουμε.

Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουμε και αν συγκρίνουμε τους πίνακες 4.8 έως 4.16 με τους αντίστοιχους πίνακες για τα κριτήρια MAD και MMD του κεφαλαίου 3, για τα ίδια bit rate και bandwidth, ανάλογα με την τιμή του d που εξετάζουμε σε κάθε περίπτωση.

Ακόμη, συγκρίναμε τον πίνακα 4.7 με τον πίνακα 4.10, και τον πίνακα 4.13 με τον πίνακα 4.15. Το κοινό στοιχείο και στους τέσσερις παραπάνω πίνακες είναι πως σε όλους θέσαμε $d = (20, 20)$. Το κάθε ζεύγος πινάκων έχει το ίδιο bit rate αλλά το bandwidth του δεύτερου πίνακα κάθε ζεύγους είναι μικρότερο από το bandwidth του πρώτου πίνακα. Μελετώντας λοιπόν τους παραπάνω πίνακες διαπιστώσαμε για ακόμη μία φορά πως όσο μικραίνει το bandwidth με σταθερό bit rate, μειώνονται τόσο τα $PSNR_{high}$ όσο και τα $PSNR_{low}$, στις αντίστοιχες κατανομές κόμβων, και ακριβώς το ίδιο συμβαίνει εάν αυξήσουμε το bit rate διατηρώντας παράλληλα σταθερό το bandwidth. Ακόμη μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στα PSNR και των δύο κατηγοριών κίνησης εάν αυξήσουμε το bit rate και ταυτόχρονα μειώσουμε το bandwidth.

Τέλος, εξετάζοντας μεμονωμένα καθέναν από τους παραπάνω πίνακες, διαπιστώσαμε πως καθώς μειώνεται το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης και αυξάνεται το πλήθος των κόμβων χαμηλής κίνησης, αυξάνονται τα PSNR και των δύο κατηγοριών κόμβων και μάλιστα διευρύνεται η διαφορά των PSNR των δύο κατηγοριών κόμβων υπέρ των κόμβων χαμηλής κίνησης. Ακόμη, διαπιστώσαμε πως για μεγάλη αρχικοποίηση του d , η λύση διαπραγμάτευσης του Nash είναι περισσότερο δίκαιη και προς τις δύο κατηγορίες κόμβων καθώς ανατίθενται αρκετά κοντινά $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ και ιδιαίτερα όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι περισσότεροι αριθμητικά από τους κόμβους χαμηλής κίνησης ή τουλάχιστον όταν οι κόμβοι χαμηλής κίνησης δεν είναι πολύ περισσότεροι από τους κόμβους γρήγορης κίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΤΗ ΛΥΣΗ ΔΙΑΠΡΑΓΜΑΤΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΑΙ-SMORODINSKY

5.1 Η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky

5.2 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού

5.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

5.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με μία εναλλακτική λύση διαπραγμάτευσης προκειμένου να καταναείμουμε βέλτιστα τις διαθέσιμες πηγές του συστήματος ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου. Η λύση αυτή προέρχεται επίσης από το χώρο της θεωρίας παιγνίων και είναι η πιο γνωστή παραλλαγή της λύσης διαπραγμάτευσης του Nash. Η λύση αυτή προτάθηκε από τους Kalai και Smorodinsky.

5.1 Η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky

Με τη χρήση της διαπραγματευτικής λύσης των Kalai-Smorodinsky (Kalai-Smorodinsky bargaining solution, KSBS) θα προσπαθήσουμε να καταναείμουμε με βέλτιστο τρόπο το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού, και την ισχύ με την οποία αποστέλλουν τα δεδομένα τους οι κόμβοι. Κατηγοριοποιούμε και στην περίπτωση αυτή τους K κόμβους του δικτύου σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφουν. Επομένως έχουμε κόμβους γρήγορης και αργής κίνησης.

Κάθε κατηγορία κόμβων έχει τη δική της συνάρτηση ωφέλειας, η οποία ορίζεται όπως ακριβώς ορίστηκε στην εξίσωση (4.1), για συγκεκριμένη κατανομή του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, του ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού και της ισχύος. Όπως είναι φανερό από την εξίσωση αυτή, η συνάρτηση ωφέλειας σχετίζεται αντίστροφα με τη μέση παραμόρφωση του βίντεο, η οποία όπως προκύπτει από την εξίσωση (2.17) εξαρτάται από τις τρεις παραμέτρους που περιγράψαμε προηγουμένως. Επιπλέον, κάθε κλάση κόμβων έχει ένα ελάχιστο επιθυμητό ποσό ωφέλειας, που ονομάζεται σημείο διαφωνίας. Όπως ορίστηκε και στο κεφάλαιο 4, σημείο διαφωνίας ονομάζουμε το διάνυσμα των ποσοτήτων ωφέλειας που λαμβάνει ο κάθε κόμβος σε περίπτωση αποτυχίας της διαπραγμάτευσης. Επομένως, υποθέτουμε ότι το αρχικό επιθυμητό ποσό ωφέλειας είναι εξασφαλισμένο για κάθε κλάση κόμβων και ορίζεται εξαρχής από το σχεδιαστή του συστήματος, σύμφωνα με τη δική μας υλοποίηση.

Ακόμη, όπως και στο κεφάλαιο 4, ορίζουμε βέλτιστα κατά Παρέτο σημεία τα σημεία εκείνα για τα οποία είναι αδύνατο να βρούμε κάποια άλλα τα οποία να αναθέτουν μεγαλύτερο ποσό ωφέλειας ταυτόχρονα σε όλους τους κόμβους. Επιπλέον, ορίζουμε το σύνολο διαπραγμάτευσης ως το σύνολο εκείνο που αποτελείται από όλα τα βέλτιστα κατά Παρέτο προφίλ εξόφλησης (ζεύγη) στην περιοχή συνεργασίας \mathbf{U} .

Μια νέα έννοια που εισάγεται στη συγκεκριμένη λύση διαπραγμάτευσης είναι το *ουτοπικό σημείο* (*utopian point*). Ουτοπικό σημείο για κάποιον παίκτη i είναι το σημείο εκείνο στο οποίο ο παίκτης i λαμβάνει το μέγιστο ποσό ωφέλειας που μπορεί να λάβει, δεδομένου ότι οι υπόλοιποι παίκτες λαμβάνουν τουλάχιστον το ποσό ωφέλειας που λαμβάνουν στο σημείο διαφωνίας. Πιο τυπικά, το ουτοπικό σημείο ενός προβλήματος (\mathbf{U}, d) όπου \mathbf{U} είναι το εφικτό σύνολο και d το σημείο διαφωνίας ορίζεται ως εξής [11]:

$$U_{MAX}(\mathbf{U}, d) \equiv \left(\max_{\substack{u \in \mathbf{U} \\ u \geq d}} u_1, \max_{\substack{u \in \mathbf{U} \\ u \geq d}} u_2, \dots, \max_{\substack{u \in \mathbf{U} \\ u \geq d}} u_n \right) \quad (5.1)$$

Η παραδοσιακή θεωρία διαπραγμάτευσης υποθέτει ότι τα εφικτά σύνολα είναι κυρτά σύνολα, όπως είδαμε και στη λύση διαπραγμάτευσης του Nash. Πιο συγκεκριμένα, θεωρεί ότι τα εφικτά σύνολα είναι μη-κενά, κυρτά, κλειστά και άνω φραγμένα σύνολα, στα οποία επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση. Ορίζοντας λοιπόν το εφικτό σύνολο \mathbf{U} ως το σύνολο όλων των πιθανών διανυσμάτων (U_1, U_2, \dots, U_K) και το σημείο διαφωνίας $d = (d_1, d_2, \dots, d_K)$, διατυπώνουμε τα παρακάτω αξιώματα τα οποία με δεδομένες τις παραπάνω υποθέσεις, θα πρέπει να ικανοποιεί η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky, η οποία δίνει μία μοναδική και δίκαιη, βέλτιστη κατά Παρέτο λύση.

Ορίζουμε F μία συνάρτηση $F: (\mathbf{U}, d) \rightarrow \mathbb{R}^n$. $F(\mathbf{U}, d)$ είναι η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky στο \mathbf{U} , για το σημείο διαφωνίας d , αν ικανοποιούνται τα ακόλουθα αξιώματα [6, 23, 14]:

1. $F(\mathbf{U}, d) \geq d$
2. $y > F(\mathbf{U}, d) \Rightarrow y \notin \mathbf{U}$
3. Δοθέντος κάποιου αυστηρά αυξανόμενου συσχετισμένου μετασχηματισμού (affine transformation) $\tau(\cdot)$, $F(\tau(\mathbf{U}), \tau(d)) = \tau(F(\mathbf{U}, d))$
4. Δοθέντος ενός άλλου εφικτού συνόλου \mathbf{U}' , και d' το σημείο διαφωνίας στο σύνολο \mathbf{U}' , αν $\mathbf{U}' \supset \mathbf{U}$, $d = d'$ και $\max_{u \in \mathbf{U}, u \geq d} U_k = \max_{u \in \mathbf{U}', u \geq d} U'_k$ για όλα τα $k \in \{1, \dots, M\} \setminus \{i\}$, τότε $[F(\mathbf{U}', d')]_i \geq [F(\mathbf{U}, d)]_i$.

Το δύο πρώτα αξιώματα ορίζουν πως η λύση των Kalai-Smorodinsky ανήκει στο σύνολο διαπραγμάτευσης. Το τρίτο αξίωμα ορίζει ότι εάν η συνάρτηση ωφέλειας ή το σημείο διαφωνίας κλιμακωθούν με κάποιο συσχετισμένο μετασχηματισμό, αυτό δε θα επηρεάσει τη λύση. Για παράδειγμα, εάν η συνάρτηση ωφέλειας \mathbf{U} μετά το συσχετισμένο μετασχηματισμό ορίζεται ως $A\mathbf{U} + B$, με $A > 0$, η λύση διαπραγμάτευσης KSBS παραμένει αμετάβλητη και επομένως η τιμή της σταθεράς c στην εξίσωση (4.1) δεν επηρεάζει την τιμή της συνάρτησης ωφέλειας. Το τέταρτο κριτήριο αναφέρεται στην *Ατομική Μονοτονία (Individual Monotonicity)* [23]. Σύμφωνα με το αξίωμα αυτό, εάν αυξήσουμε το σύνολο διαπραγμάτευσης προς την κατεύθυνση η οποία ευνοεί το χρήστη i , πάντα ευνοείται ο χρήστης i . Για παράδειγμα, υποθέτουμε τα δύο προβλήματα διαπραγμάτευσης (\mathbf{U}, d) και (\mathbf{U}', d) , όπου $\mathbf{U} \subset \mathbf{U}'$ και τα μέγιστα εφικτά ποσά ωφέλειας όλων των κόμβων είναι τα ίδια και στα δύο προβλήματα, εκτός του κόμβου i . Η ατομική μονοτονία δηλώνει ότι ο κόμβος i κερδίζει μεγαλύτερο ποσό ωφέλειας στο (\mathbf{U}', d) από ότι στο (\mathbf{U}, d) .

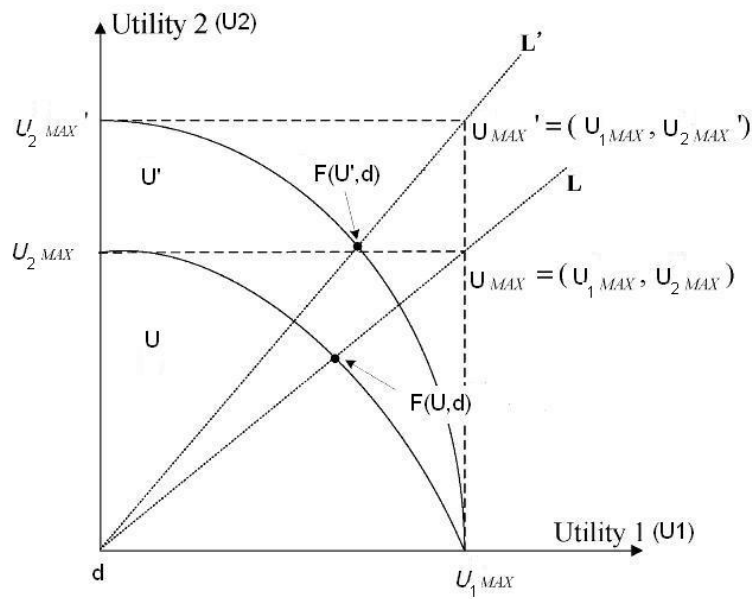
Ένα απλό παράδειγμα του αξιώματος αυτού απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1. Στο παράδειγμα αυτό το μέγιστο εφικτό ποσό ωφέλειας που μπορεί να πάρει ο χρήστης 1 (κόμβος) είναι σταθερό και στα δύο προβλήματα διαπραγμάτευσης ενώ το μέγιστο εφικτό ποσό ωφέλειας που μπορεί να πάρει ο χρήστης 2 αυξάνεται στο σύνολο \mathbf{U}' , δηλαδή $U'_{2MAX} > U_{2MAX}$. Στην περίπτωση αυτή, το KSBS αναθέτει πάντα μεγαλύτερο ποσό ωφέλειας στο χρήστη 2, λόγω του αξιώματος της ατομικής μονοτονίας.

Το συγκεκριμένο αξίωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιλύσει συγκεκριμένες εφαρμογές διαφόρων προβλημάτων. Για παράδειγμα, στη δική μας εφαρμογή ίσως να ήτανε αναγκαίο να βελτιώσουμε περισσότερο την ποιότητα του βίντεο κάποιων συγκεκριμένων κόμβων (κάποιας κλάσης κόμβων) σε περίπτωση που το περιεχόμενο που καταγράφουν αξιολογηθεί ως περισσότερο σημαντικό, αναθέτοντάς τους μεγαλύτερα ποσά των διαθέσιμων πόρων του συστήματος. Στο παράδειγμα αυτό, η λύση KSBS εξασφαλίζει ότι το αξίωμα της ατομικής μονοτονίας εξακολουθεί να δίνει βέλτιστη λύση για όλους τους κόμβους.

Μία εναλλακτική διατύπωση του αξιώματος της ατομικής μονοτονίας είναι η ακόλουθη [6]:

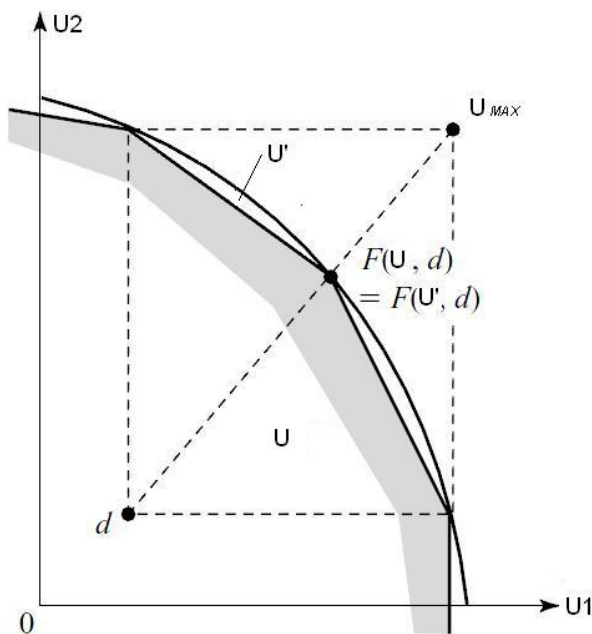
Δοθέντος ενός άλλου εφικτού συνόλου \mathbf{U}' , αν $\mathbf{U}' \supseteq \mathbf{U}$, $d = d'$, $\max_{u \in \mathbf{U}, u \geq d} U_k = \max_{u \in \mathbf{U}', u \geq d} U'_k$ για όλα τα $k \in \{1, \dots, M\}$ και η $F(\mathbf{U}, d)$ είναι ένα αποτελεσματικό κατά Παρέτο σημείο του \mathbf{U}' , τότε

$$F(\mathbf{U}', d') = F(\mathbf{U}, d).$$



Σχήμα 5.1: Ατομική Μονοτονία της λύσης KSBS.

Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται ένα παράδειγμα στο οποίο η λύση $F(\mathbf{U}, d)$ του συνόλου \mathbf{U} αποτελεί επίσης βέλτιστο κατά Παρέτο σημείο του συνόλου \mathbf{U}' .



Σχήμα 5.2: Ατομική Μονοτονία της λύσης KSBS με την $F(\mathbf{U}, d)$ να αποτελεί αποτελεσματικό κατά Παρέτο σημείο του συνόλου \mathbf{U}' .

Όσον αφορά στο εφικτό σύνολο του προβλήματος διαπραγμάτευσης που εξετάζουμε στην παρούσα διατριβή και το οποίο όπως αναφέραμε είναι το σύνολο όλων των πιθανών διανυσμάτων (U_1, U_2, \dots, U_K) που προκύπτουν από τους διάφορους συνδυασμούς των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού και των ισχύων, δεν είναι κυρτό, δεδομένου ότι δεν επιτρέπουμε μεικτές στρατηγικές. Παρόλα αυτά, στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις οι οποίες έχουν υιοθετήσει την αξιωματική προσέγγιση της λύσης διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky, χωρίς να υποθέτουν την κυρτότητα του εφικτού συνόλου [4, 11].

Στην περίπτωση ενός μη-κυρτού εφικτού συνόλου, αρκεί το σύνολο να είναι περιεκτικό (*comprehensive*). Συγκεκριμένα, όταν σε κάποιο εφικτό σύνολο επιτρέπεται η ελεύθερη διάθεση, το σύνολο αυτό είναι συγχρόνως και περιεκτικό. Για παράδειγμα στο Σχήμα 4.2 (β), απεικονίζεται ένα περιεκτικό σύνολο. Αν το x ανήκει στο σύνολο \mathbf{Y} και $y \leq x$, τότε το y ανήκει επίσης στο σύνολο \mathbf{Y} .

Εάν λοιπόν το εφικτό σύνολο είναι περιεκτικό, τότε η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky εξακολουθεί να είναι η μοναδική λύση που ικανοποιεί τα τέσσερα αξιώματα που περιγράφηκαν παραπάνω, αρκεί το τέταρτο αξίωμα της ατομικής μονοτονίας να τροποποιηθεί στο αξίωμα της ισχυρής μονοτονίας (*strong monotonicity*) που δίνεται παρακάτω [11].

Δοθέντος ενός άλλου εφικτού συνόλου \mathbf{U}' και d' το σημείο διαφωνίας στο \mathbf{U}' , αν $\mathbf{U}' \supset \mathbf{U}$ και $d = d'$, τότε

$$F(\mathbf{U}', d') > F(\mathbf{U}, d).$$

Αυτό ήταν το αρχικό αξίωμα που διατυπώθηκε από τους Luce και Raiffa το 1957 [19]. Η διατύπωση αυτή υποδηλώνει ότι μία επέκταση του συνόλου των κοινών αποφάσεων (εφικτό σύνολο) επηρεάζει όλους τους πράκτορες με τον ίδιο τρόπο. Είτε κερδίζουν όλοι τους είτε παραμένουν στο αρχικό αποτέλεσμα.

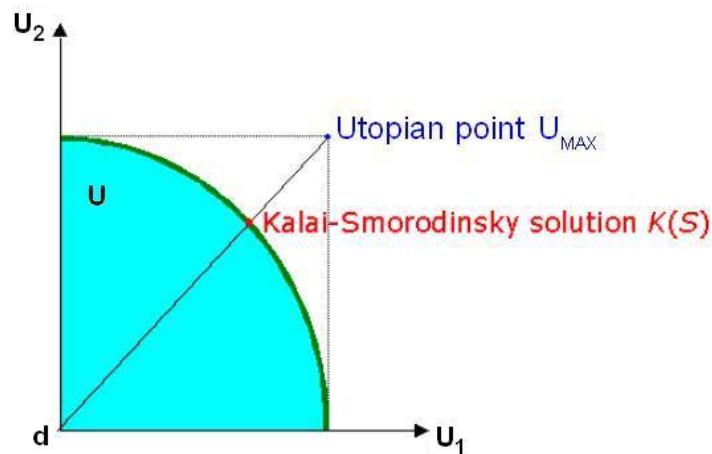
5.2 Συνεχείς Τιμές Ισχύων - Διακριτές Τιμές Ρυθμών Κωδικοποίησης Πηγής και Καναλιού

Η λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην παρούσα διατριβή προκειμένου να επιλύσει το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πόρων του συστήματος σε όλους τους κόμβους του δικτύου με δίκαιο τρόπο, ευνοώντας ιδιαίτερα τους κόμβους εκείνους που θέλουν να αυξήσουν εγωιστικά την ποιότητα του βίντεο που μεταδίδουν. Όπως είδαμε προηγουμένως, το εφικτό σύνολο που αποτελείται από το σύνολο όλων των πιθανών διανυσμάτων τα οποία προκύπτουν από όλους τους συνδυασμούς των ισχύων μετάδοσης και των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού, στην παρούσα διατριβή είναι ένα μη-κυρτό και πεπερασμένο σύνολο.

Αν και στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί αξιωματικές προσεγγίσεις για τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky οι οποίες δεν προϋποθέτουν την κυρτότητα του εφικτού συνόλου, παρόλα αυτά η αξιωματική διαπραγμάτευση είναι περιγραφική από τη φύση της και

δεν προσφέρει πρακτική βοήθεια προκειμένου να πάρουμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν εφαρμόζοντας τα αξιώματα που περιγράψαμε. Για το λόγο αυτό, η λύση διαπραγμάτευσης KSBS στα πειράματά μας, προέκυψε ύστερα από τη γεωμετρική προσέγγιση του προβλήματος με το οποίο ήρθαμε αντιμέτωποι.

Θεωρούμε για παράδειγμα το Σχήμα 5.3. Αν υποθέσουμε ότι το \mathbf{U} είναι το εφικτό σύνολο, αφού βρούμε το ουτοπικό σημείο του εφικτού συνόλου, ενώνουμε με μία ευθεία γραμμή το σημείο διαφωνίας με το ουτοπικό σημείο. Το βέλτιστο κατά Παρέτο σημείο του συνόλου διαπραγμάτευσης στο οποίο η ευθεία γραμμή τέμνει το εφικτό σύνολο, είναι η λύση διαπραγμάτευσης KSBS.



Σχήμα 5.3: Γραφική αναπαράσταση της λύσης KSBS.

Επιπλέον, κάναμε μία σειρά από παραδοχές. Αρχικά, και για την KSBS λύση διαπραγμάτευσης, όπως και για τη λύση NBS, κατατάξαμε τους K κόμβους του δικτύου σε κόμβους γρήγορης και αργής κίνησης, K_{high} και K_{low} αντίστοιχα, ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφει ο καθένας από αυτούς. Έτσι, αντί να καθορίσουμε τις παραμέτρους μετάδοσης για καθέναν από τους κόμβους του δικτύου, καθορίσαμε τις παραμέτρους μετάδοσης για τις δύο προαναφερθείσες κλάσεις κόμβων.

Για τους ρυθμούς κωδικοποίησης της πηγής υποθέσαμε πως μπορούν να πάρουν τιμές από το προκαθορισμένο διακριτό σύνολο \mathbf{R}_s , ενώ για τους ρυθμούς κωδικοποίησης του καναλιού υποθέσαμε επίσης διακριτές τιμές από το πεπερασμένο σύνολο \mathbf{R}_c . Επιπλέον, για τις τιμές των ισχύων με τις οποίες μπορούν οι κόμβοι να αποστέλλουν τα δεδομένα τους υποθέσαμε πως μπορούν να πάρουν συνεχείς τιμές, μέσα από κάποιο σύνολο προκαθορισμένου εύρους $\mathbf{S} = [S_{min}, S_{max}] \subset \mathbb{R}$.

Ακόμη, όπως και στα προηγούμενα κριτήρια που εξετάσαμε, έτσι και στη λύση διαπραγ-

μάτευσης των Kalai-Smorodinsky ισχύει ο περιορισμός ότι οι κόμβοι πρέπει να αποστέλλουν τα δεδομένα τους με το ίδιο μέγιστο bit rate, με αποτέλεσμα οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού να μπορούν να μοιράζονται τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, όπως προκύπτει από την εξίσωση (2.4), για κάποιον κόμβο k . Επομένως, όλα τα ζεύγη $(R_{s,k}, R_{c,k})$ μπορούν να πάρουν τιμές από ένα πεπερασμένο διακριτό σύνολο τιμών $\mathbf{R}_{s+c,k}$. Εννοείται πως και στην περίπτωση αυτή η πληθικότητα του συνόλου \mathbf{R}_{s+c} θα πρέπει να ισούται με την πληθικότητα των συνόλων \mathbf{R}_s και \mathbf{R}_c .

Θα πρέπει λοιπόν να ορίσουμε τα διανύσματα

$$\begin{aligned} S &= [S_{high}, S_{low}]^T \\ R_{s+c,high} &= [R_{s,high}, R_{c,high}]^T \\ R_{s+c,low} &= [R_{s,low}, R_{c,low}]^T \end{aligned}$$

όπου τα $S_{high}, R_{s,high}, R_{c,high}$ είναι η ισχύς μετάδοσης, ο ρυθμός κωδικοποίησης της πηγής και ο ρυθμός κωδικοποίησης του καναλιού των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ αντίστοιχα τα $S_{low}, R_{s,low}, R_{c,low}$ αντιπροσωπεύουν τις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης.

5.3 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Όπως και στα προηγούμενα κριτήρια που μελετήσαμε, οι βιντεοακολουθίες “Foreman” και “Akiyo” χρησιμοποιήθηκαν για να παραστήσουν τις κλάσεις των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα, ενώ τα χαρακτηριστικά και των δύο βίντεο αποκτήθηκαν με ρυθμό μετάδοσης καρέ 15 καρέ/δευτερόλεπτο. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν και στην περίπτωση αυτή δύο σύνολα από καμπύλες URDC για τις οποίες θεωρήσαμε το μοντέλο που περιγράφεται από την εξίσωση (2.16). Οι τιμές για τις μεταβλητές α και β εκτιμήθηκαν ύστερα από την ακόλουθη διαδικασία.

Για τους ρυθμούς μετάδοσης σφαλμάτων $10^{-7}, 10^{-6}$ και 10^{-5} , υπολογίσαμε το ρυθμό με τον οποίο χάνονται πακέτα στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Πραγματικού Χρόνου. Στη συνέχεια, αφαιρέσαμε με τυχαίο τρόπο πακέτα από τις δύο παραπάνω βιντεοακολουθίες, σύμφωνα με το RTP PLR. Τις αποκωδικοποιήσαμε και υπολογίσαμε την παραμόρφωση που υπέστη η καθεμία από αυτές ύστερα από την απώλεια των πακέτων. Επαναλάβαμε το πείραμα για κάθε βίντεο 300 φορές και τέλος κρατήσαμε το μέσο όρο από τις 300 παραμορφώσεις τόσο για το “Foreman” όσο και για την “Akiyo”.

Στο δίκτυο, θεωρήσαμε ότι υπάρχουν συνολικά 100 κόμβοι, ενώ στον ορισμό της συνάρτησης ωφέλειας στην εξίσωση (4.1) θέσαμε $c = 255^2$, ώστε το ποσό ωφέλειας κάποιου κόμβου να αντιστοιχεί στο PSNR του κόμβου αυτού. Χρησιμοποιήσαμε BPSK διαμόρφωση και κώδικες RCPC με μητρικό κώδικα 1/4. Το μέγεθος του πακέτου του επιπέδου ζεύξης δεδομένων ορίστηκε 400, ενώ εκτελέσαμε μια σειρά πειραμάτων για bit rate = 96000bits/s και bit rate = 144000bits/s, με bandwidth 20MHz και 15MHz. Επομένως, τα σύνολα των αποδεκτών ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού που προκύπτουν είναι:

$$R = 96000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(32\text{kbps}, 1/3), (48\text{kbps}, 1/2), (64\text{kbps}, 2/3)\} \quad (5.2)$$

$$R = 144000\text{bits/s} \rightarrow \mathbf{R}_s, \mathbf{R}_c \in \{(48\text{kbps}, 1/3), (72\text{kbps}, 1/2), (96\text{kbps}, 2/3)\} \quad (5.3)$$

Το σύνολο από το οποίο οι ισχύς μπορούν να πάρουν συνεχείς τιμές ορίστηκε το $\mathbf{S} = [5.0, 15.0]$ (σε Watts). Πιο συγκεκριμένα, στη δική μας υλοποίηση, η ισχύς μπορεί να πάρει τιμές μέσα στο διάστημα αυτό με βήμα 0.1, δηλαδή μπορεί να πάρει τις τιμές $\{5.0, 5.1, 5.2, \dots, 14.8, 14.9, 15.0\}$, για πρακτικούς λόγους όπως θα περιγράψουμε στη συνέχεια.

Ακόμη, με δεδομένη την περιγραφική φύση της αξιωματικής διαπραγμάτευσης για τη λύση KSBS, προσπαθήσαμε να βρούμε τη λύση αυτή στο πρόβλημά μας ακολουθώντας γεωμετρική προσέγγιση. Αρχικά, περιορίσαμε τις ισχύς (μία ισχύ για κάθε κλάση κόμβων) να παίρνουν τιμές εντός του συνόλου $[5.0, 15.0]$, με βήμα 0.1. Το βήμα επιλέχθηκε στο 0.1 για καθαρά πρακτικούς λόγους. Θα μπορούσε να μειωθεί και στο 0.01 ώστε να πετύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στη λύση μας, αλλά για λόγους ταχύτητας εκτέλεσης του προγράμματος επιλέξαμε το 0.1. Να σημειωθεί ότι περαιτέρω μείωση του βήματος της ισχύος πέραν του 0.01 ήταν αδύνατη με δεδομένο το υλικό και λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματά μας. Με βάση την παραπάνω παραδοχή για τις ισχύς, και για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού, προσδιορίσαμε το εφικτό σύνολο. Κάθε χρωματιστή γραμμή στα σχήματα που ακολουθούν, αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό συνδυασμό των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού.

Παρομοίως με τη λύση διαπραγμάτευσης του Nash για το σημείο διαφωνίας, προτείναμε να μπορεί ο σχεδιαστής του συστήματος να ορίζει εξ αρχής τα ελάχιστα ποσά ωφέλειας που θα πάρει ο κάθε κόμβος από τη στιγμή που αποφασίσει να διαπραγματευτεί, χωρίς να υπάρξει συνεργασία (σημείο διαφωνίας). Επομένως, προκειμένου να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης, πειραματιστήκαμε με διάφορες τιμές για το σημείο διαφωνίας θέτοντας διαφορετικές τιμές ανάλογα με το bit rate και το bandwidth το οποίο εξετάζαμε κάθε φορά. Προφανώς, όσο μεγαλώνει το bit rate κρατώντας σταθερό το bandwidth ή όσο μειώνεται το bandwidth κρατώντας σταθερό το bit rate ή ακόμη όσο αυξάνεται το bit rate και συγχρόνως μειώνεται το bandwidth, ο ρυθμός μετάδοσης σφαλμάτων αυξάνεται και άρα ωφείλουμε να θέτουμε χαμηλότερες τιμές για το σημείο διαφωνίας.

Στα πειράματά μας, για ίδιο bit rate και ίδιο bandwidth, θέσαμε τρεις διαφορετικές τιμές για το σημείο διαφωνίας, τις ίδιες που είχαμε θέσει και για τη λύση του Nash ώστε να συγκρίνουμε με περισσότερη ακρίβεια τα δύο αυτά κριτήρια μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, για όλες τις κατανομές κόμβων που εξετάσαμε,

για bit rate = 96000bits/s και bandwidth = 20MHz, θέσαμε στο σημείο διαφωνίας τις τιμές

- $d = (28, 28)$

- $d = (24, 24)$
- $d = (20, 20)$.

Για $\text{bit rate} = 96000\text{bits/s}$ και $\text{bandwidth} = 15\text{MHz}$, θέσαμε

- $d = (26, 26)$
- $d = (23, 23)$
- $d = (20, 20)$.

Για $\text{bit rate} = 144000\text{bits/s}$ και $\text{bandwidth} = 20\text{MHz}$, ορίσαμε

- $d = (25, 25)$
- $d = (23, 23)$
- $d = (20, 20)$,

ενώ τέλος για $\text{bit rate} = 144000\text{bits/s}$ και $\text{bandwidth} = 15\text{MHz}$, θέσαμε

- $d = (22, 22)$
- $d = (20, 20)$
- $d = (18, 18)$.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο υπολογίσαμε γεωμετρικά τη λύση KSBS. Αρχικά, βρήκαμε το εφικτό σύνολο. Για κάθε κατανομή κόμβων που μελετήσαμε, θέσαμε τους κατάλληλους άξονες στο σχήμα που προέκυψε, ώστε να εστιάσουμε σε εκείνα τα σημεία του εφικτού συνόλου που μας ενδιαφέρουν περισσότερο (εννοείται πως θέλουμε θετικές τιμές για τα ποσά ωφέλειας, μιας και ο ορισμός του ποσού ωφέλειας είναι ανάλογος του ορισμού του PSNR). Επιπλέον, ανάλογα με την τιμή του σημείου διαφωνίας που θέταμε κάθε φορά, τραβούσαμε από το σημείο διαφωνίας γραμμές παράλληλες προς τους άξονες ώστε να δείξουμε μέσα σε ποια περιοχή μας ενδιαφέρει να αναζητήσουμε τη λύση KSBS.

Στη συνέχεια αναζητούσαμε το ουτοπικό σημείο. Για να το πετύχουμε αυτό αρχικά “κρατούσαμε” μόνο εκείνα τα σημεία του εφικτού συνόλου που ήτανε μεγαλύτερα ή ίσα του σημείου διαφωνίας. Από τα σημεία αυτά, αναζητούσαμε το σημείο με το μεγαλύτερο *Utility 1*, δεδομένου ότι το *Utility 2* ήτανε μεγαλύτερο ή ίσο του σημείου διαφωνίας. Ακόμη, αναζητούσαμε και το σημείο με το μεγαλύτερο *Utility 2*, δεδομένου ότι το *Utility 1* ήτανε μεγαλύτερο ή ίσο του σημείου διαφωνίας. Εφόσον βρήκαμε τα δύο αυτά σημεία, βρήκαμε στη συνέχεια το ουτοπικό σημείο το οποίο είναι το σημείο που έχει *Utility 1* το μέγιστο *Utility 1* και *Utility 2* το μέγιστο *Utility 2*. Κατόπιν, απεικονίζαμε στο σχήμα μας το σημείο διαφωνίας, το σημείο με το μεγαλύτερο *Utility 1*, το σημείο με το μεγαλύτερο

Utility 2 και το ουτοπικό σημείο. Ακόμη, ενώναμε το σημείο διαφωνίας με το ουτοπικό σημείο με μία ευθεία γραμμή.

Έπειτα, κοιτώντας το σχήμα προσεκτικά, παρατηρούσαμε σε ποια από τις καμπύλες ανήκε το βέλτιστο κατά Παρέτο σημείο του εφικτού συνόλου, από το οποίο διερχόταν αυτή η ευθεία γραμμή. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, κάθε καμπύλη από τις εννέα συνολικά (κάθε μία απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα στο σχήμα) αντιστοιχεί σε κάποιο συνδυασμό των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (3 δυνατές τιμές για το ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής και 3 δυνατές τιμές για το ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού, άρα $3 * 3 = 9$ διαφορετικοί συνδυασμοί, άρα και 9 καμπύλες). Λαμβάνοντας υπόψη εκείνα τα σημεία της καμπύλης τα οποία είναι μέσα στην περιοχή που ορίζεται από το σημείο διαφωνίας (για μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσέγγιση), κάναμε προσέγγιση της συνάρτησης που περιγράφει τη συγκεκριμένη καμπύλη. Συνεχίζοντας, βρήκαμε την εξίσωση της ευθείας που διέρχεται από το σημείο διαφωνίας και το ουτοπικό σημείο. Έχοντας επομένως τις δύο αυτές εξισώσεις, μία για την καμπύλη και μία για την ευθεία, και γνωρίζοντας σχηματικά ποια είναι η λύση KSBS, λύναμε το σύστημα των δύο εξισώσεων προκειμένου να βρούμε το σημείο τομής τους, το οποίο αποτελούσε τη λύση Kalai-Smorodinsky που αναζητούσαμε στο πρόβλημά μας.

Παρά το γεγονός όμως ότι βρήκαμε την πραγματική λύση KSBS στο πρόβλημα, η υλοποίησή μας δεν ολοκληρωνόταν στο σημείο αυτό, καθώς είναι ανέφικτο με βήμα στην ισχύ 0.1 να πετύχουμε ακριβώς τη λύση που μας έδινε η λύση του προηγούμενου συστήματος, για το συγκεκριμένο συνδυασμό των ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού που αντιστοιχούσε στη συγκεκριμένη καμπύλη. Για το λόγο αυτό, από τα σημεία του εφικτού συνόλου που “πετυχαίναμε” για τους διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων μετάδοσης, βρήκαμε το πλησιέστερο σημείο στη λύση που είχαμε βρει προηγουμένως, από τη λύση του συστήματος των δύο εξισώσεων, και θεωρούσαμε ότι αυτή είναι η λύση KSBS στο πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής των διαθέσιμων πόρων του συστήματος.

Στα Σχήματα 5.4 έως 5.8 που ακολουθούν απεικονίζεται το εφικτό σύνολο όταν το σημείο διαφωνίας είναι $d = (28, 28)$, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 96000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz, για κάθε μία από τις εξής κατανομές κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα:

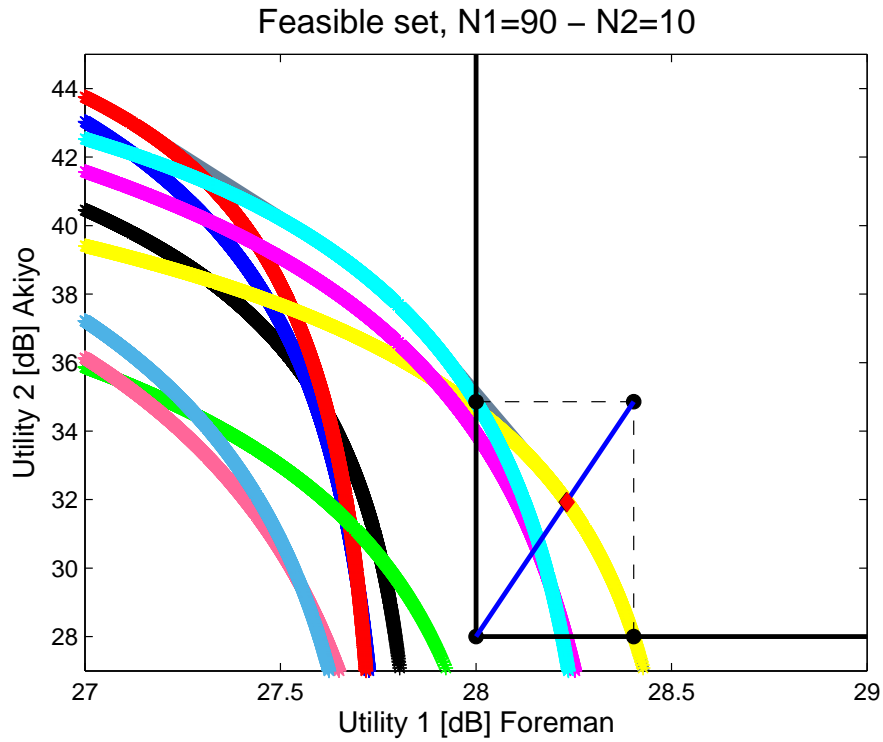
- 90-10
- 70-30
- 50-50
- 30-70
- 10-90

Ας ερμηνεύσουμε όμως τι αναπαριστά καθένα από τα χρώματα των καμπυλών και των ευθειών που απεικονίζονται στα ακόλουθα σχήματα.

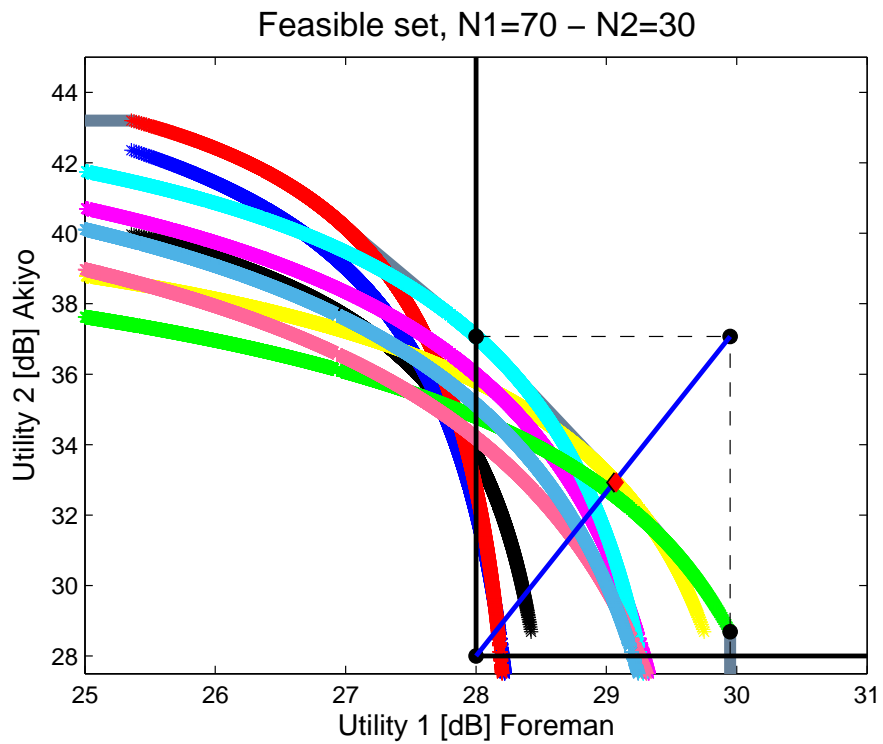
- Με γκρι χρώμα απεικονίζεται το convex hull των σημείων του εφικτού συνόλου.
- Οι δύο έντονες μαύρες γραμμές που ξεκινούν από το σημείο διαφωνίας οριοθετούν την περιοχή στην οποία θα αναζητήσουμε τη λύση KSBS.
- Η μαύρη καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (32kbps, 1/3) για το χρήστη 1 και (32kbps, 1/3) για το χρήστη 2.
- Η μπλε καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (32kbps, 1/3) για το χρήστη 1 και (48kbps, 1/2) για το χρήστη 2.
- Η κόκκινη καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (32kbps, 1/3) για το χρήστη 1 και (64kbps, 2/3) για το χρήστη 2.
- Η κίτρινη καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (48kbps, 1/2) για το χρήστη 1 και (32kbps, 1/3) για το χρήστη 2.
- Η magenta καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (48kbps, 1/2) για το χρήστη 1 και (48kbps, 1/2) για το χρήστη 2.
- Η cyan καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (48kbps, 1/2) για το χρήστη 1 και (64kbps, 2/3) για το χρήστη 2.
- Η πράσινη καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (64kbps, 2/3) για το χρήστη 1 και (32kbps, 1/3) για το χρήστη 2.
- Η θαλασσί καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (64kbps, 2/3) για το χρήστη 1 και (48kbps, 1/2) για το χρήστη 2.
- Η ρόζ καμπύλη των σημείων αντιστοιχεί σε συνδυασμό ρυθμών κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (64kbps, 2/3) για το χρήστη 1 και (64kbps, 2/3) για το χρήστη 2.
- Οι δύο μαύρες διακεκομμένες γραμμές ξεκινούν από το σημείο με το μέγιστο *Utility* 1 και από το σημείο με το μέγιστο *Utility* 2 και κατευθύνονται προς το ουτοπικό σημείο και παράλληλα προς τους άξονες yy' και xx' αντίστοιχα, προκειμένου να έχουμε καλύτερη εποπτεία του σχήματος.
- Η συνεχής μπλε ευθεία γραμμή ενώνει το σημείο διαφωνίας με το ουτοπικό σημείο.
- Στα Σχήματα 5.7 και 5.8 που αναπαριστούν τις κατανομές κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης 30 – 70 και 10 – 90, η καφέ γραμμή υποδηλώνει την ελεύθερη διάθεση, η οποία όπως έχουμε αναφέρει επιτρέπεται στο πρόβλημα το οποίο εξετάζουμε.

- Ο μαύρος ρόμβος, του οποίου φαίνεται ένα μικρό τμήμα στα περισσότερα σχήματα, είναι η λύση KSBS που προκύπτει από την επίλυση του συστήματος των εξισώσεων της ευθείας και της καμπύλης, η οποία όμως όπως αναφέραμε και παραπάνω δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τους συνδυασμούς των παραμέτρων μετάδοσης, με βήμα στην ισχύ 0.1.
- Ο κόκκινος ρόμβος είναι το πλησιέστερο υπαρκτό σημείο του εφικτού συνόλου, που προκύπτει από τους διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων μετάδοσης, στη λύση KSBS που αποτελεί το σημείο τομής των εξισώσεων της καμπύλης και της ευθείας. Δηλαδή, είναι η λύση που εμείς στα πειράματά μας θεωρούμε ότι αποτελεί τη λύση KSBS.

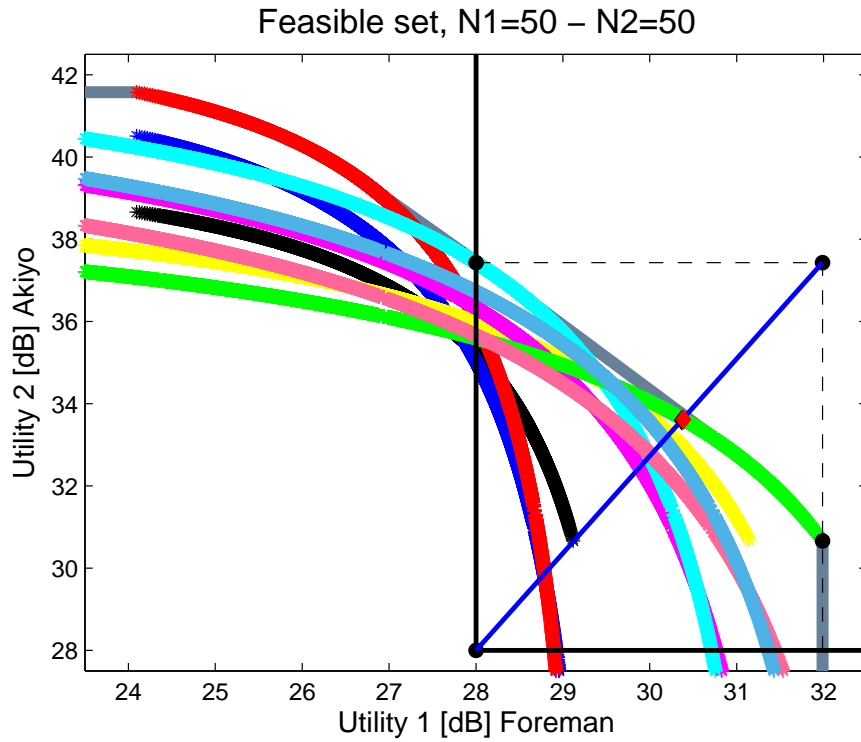
Στους πίνακες που ακολουθούν, τα $R_{s,high}$, $R_{c,high}$, S_{high} αντιστοιχούν στο ρυθμό κωδικοποίησης της πηγής, στο ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού και στην ισχύ των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ τα $R_{s,low}$, $R_{c,low}$, S_{low} αντιστοιχούν στις ίδιες παραμέτρους των κόμβων χαμηλής κίνησης. Κάτω από τη στήλη “High” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων γρήγορης κίνησης, ενώ κάτω από τη στήλη “Low” περιγράφεται ο αριθμός των κόμβων χαμηλής κίνησης. Σε όλες τις κατανομές, ο συνολικός αριθμός των κόμβων παραμένει σταθερός και ισούται με 100. Επιπλέον, οι δύο τελευταίες στήλες κάθε πίνακα, $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$, αντιπροσωπεύουν το PSNR των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης αντίστοιχα.



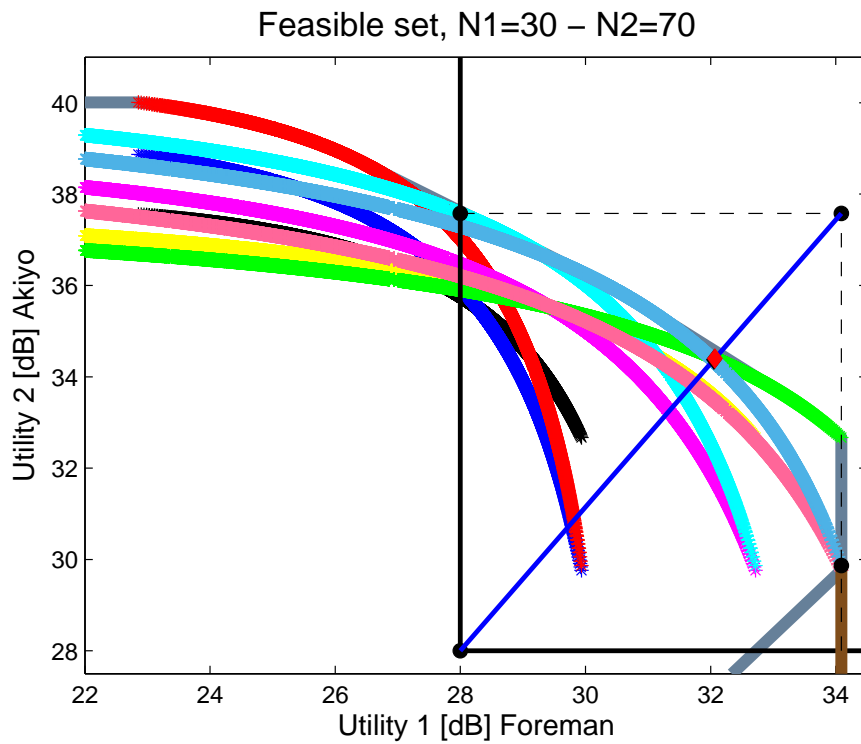
Σχήμα 5.4: Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 90 κόμβους γρήγορης κίνησης και 10 κόμβους αργής κίνησης.



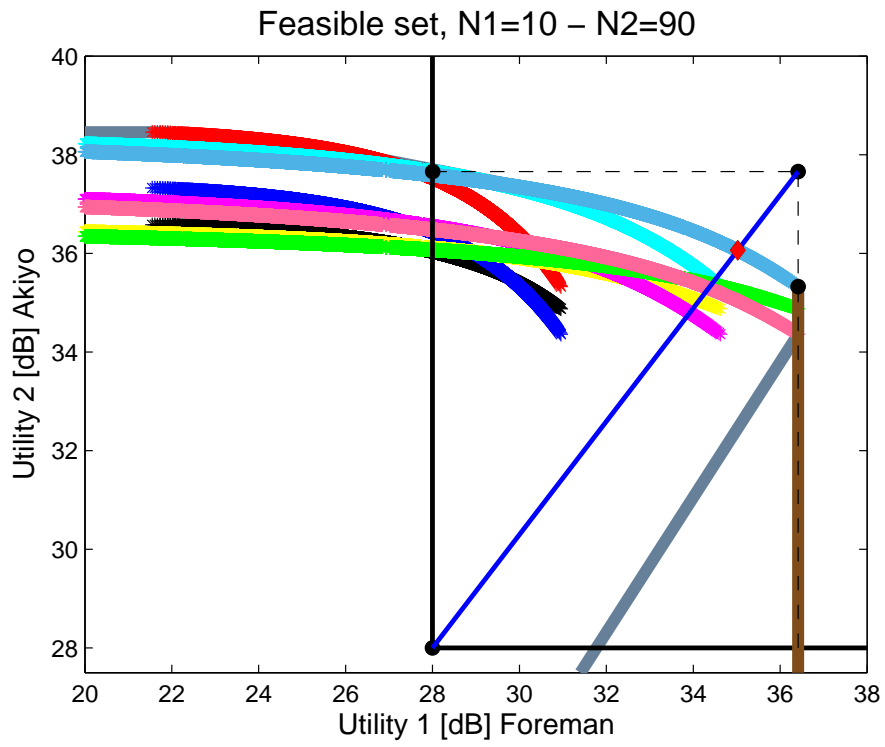
Σχήμα 5.5: Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 70 κόμβους γρήγορης κίνησης και 30 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 5.6: Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 50 κόμβους γρήγορης κίνησης και 50 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 5.7: Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 30 κόμβους γρήγορης κίνησης και 70 κόμβους αργής κίνησης.



Σχήμα 5.8: Το εφικτό σύνολο για τη λύση KSBS για 10 κόμβους γρήγορης κίνησης και 90 κόμβους αργής κίνησης.

Πίνακας 5.1: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(28,28)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/2)$	12.8000	10	$(32kbps, 1/3)$	7.0000	28.2331	31.9265
70	$(48kbps, 1/2)$	13.4000	30	$(32kbps, 1/3)$	7.5000	29.0743	32.9283
50	$(64kbps, 2/3)$	11.8000	50	$(32kbps, 1/3)$	6.4000	30.3871	33.6159
30	$(64kbps, 2/3)$	12.2000	70	$(32kbps, 1/3)$	6.3000	32.0676	34.4021
10	$(64kbps, 2/3)$	14.8000	90	$(64kbps, 2/3)$	6.2000	35.0234	36.0588

Πίνακας 5.2: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(24,24)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/2)$	7.3000	10	$(64kbps, 2/3)$	10.0000	27.4500	40.5107
70	$(48kbps, 1/2)$	14.1000	30	$(64kbps, 2/3)$	12.7000	28.0845	36.7848
50	$(48kbps, 1/2)$	7.4000	50	$(64kbps, 2/3)$	5.2000	29.2374	35.1848
30	$(64kbps, 2/3)$	8.6000	70	$(64kbps, 2/3)$	5.1000	31.2423	35.2534
10	$(64kbps, 2/3)$	14.8000	90	$(64kbps, 2/3)$	6.6000	34.6140	36.2303

Πίνακας 5.3: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	9.1000	10	$(64kbps, 2/3)$	14.8000	27.2696	41.7362
70	$(48kbps, 1/2)$	12.5000	30	$(64kbps, 2/3)$	12.7000	27.7550	37.8132
50	$(48kbps, 1/2)$	14.7000	50	$(64kbps, 2/3)$	11.1000	28.9798	35.7794
30	$(64kbps, 2/3)$	14.2000	70	$(64kbps, 2/3)$	8.8000	30.9565	35.5165
10	$(64kbps, 2/3)$	14.1000	90	$(64kbps, 2/3)$	6.4000	34.4954	36.2768

Πίνακας 5.4: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(26,26)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	12.0000	10	$(32kbps, 1/3)$	10.9000	26.3116	33.4576
70	$(32kbps, 1/3)$	7.4000	30	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	26.7383	31.7640
50	$(48kbps, 1/2)$	13.4000	50	$(32kbps, 1/3)$	7.0000	27.6905	30.9606
30	$(64kbps, 2/3)$	11.2000	70	$(32kbps, 1/3)$	5.1000	29.6223	31.6116
10	$(64kbps, 2/3)$	12.7000	90	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	32.9874	33.0089

Πίνακας 5.5: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(23,23)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	8.2000	10	$(64kbps, 2/3)$	14.5000	25.9135	39.9070
70	$(32kbps, 1/3)$	6.2000	30	$(64kbps, 2/3)$	7.4000	25.9990	35.5819
50	$(32kbps, 1/3)$	9.5000	50	$(32kbps, 1/3)$	7.2000	26.8572	32.9687
30	$(48kbps, 1/2)$	12.6000	70	$(32kbps, 1/3)$	6.7000	28.8293	32.2483
10	$(64kbps, 2/3)$	14.8000	90	$(32kbps, 1/3)$	6.0000	32.7673	33.0604

Πίνακας 5.6: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 96000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(32kbps, 1/3)$	5.0000	10	$(64kbps, 2/3)$	10.1000	25.7999	40.8980
70	$(32kbps, 1/3)$	9.2000	30	$(64kbps, 2/3)$	12.7000	25.7455	36.8362
50	$(32kbps, 1/3)$	10.7000	50	$(32kbps, 1/3)$	9.7000	26.4908	33.7424
30	$(48kbps, 2/3)$	9.0000	70	$(32kbps, 1/3)$	5.2000	28.4134	32.5557
10	$(64kbps, 2/3)$	12.3000	90	$(32kbps, 1/3)$	5.1000	32.5943	33.0991

Πίνακας 5.7: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(25,25)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	15.0000	10	$(48kbps, 1/3)$	13.1000	25.5322	32.3805
70	$(48kbps, 1/3)$	9.9000	30	$(48kbps, 1/3)$	7.1000	26.2177	30.8852
50	$(48kbps, 1/3)$	14.7000	50	$(48kbps, 1/3)$	9.2000	27.2361	30.6535
30	$(48kbps, 1/3)$	9.8000	70	$(48kbps, 1/3)$	5.0000	28.9415	30.7641
10	$(72kbps, 1/2)$	14.8000	90	$(48kbps, 1/3)$	5.9000	32.8588	32.1690

Πίνακας 5.8: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(23,23)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	9.8000	10	$(72kbps, 1/2)$	13.8000	25.0383	36.9024
70	$(48kbps, 1/3)$	14.3000	30	$(48kbps, 1/3)$	12.6000	25.7480	32.7591
50	$(48kbps, 1/3)$	8.4000	50	$(48kbps, 1/3)$	5.8000	26.9072	31.4140
30	$(48kbps, 1/3)$	11.2000	70	$(48kbps, 1/3)$	6.1000	28.6621	31.1418
10	$(72kbps, 1/2)$	14.6000	90	$(48kbps, 1/3)$	5.9000	32.7389	32.2042

Πίνακας 5.9: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 20MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	6.4000	10	$(72kbps, 1/2)$	11.0000	24.7561	38.6069
70	$(48kbps, 1/3)$	6.2000	30	$(48kbps, 1/3)$	6.6000	25.2352	34.2393
50	$(48kbps, 1/3)$	10.2000	50	$(48kbps, 1/3)$	8.0000	26.4414	32.3078
30	$(48kbps, 1/3)$	14.9000	70	$(48kbps, 1/3)$	8.7000	28.3514	31.5199
10	$(72kbps, 1/2)$	13.2000	90	$(48kbps, 1/3)$	5.4000	32.6302	32.2355

Πίνακας 5.10: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(22,22)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	10.9000	10	$(48kbps, 1/3)$	10.1000	22.5784	29.3811
70	$(48kbps, 1/3)$	7.8000	30	$(48kbps, 1/3)$	6.1000	23.2463	27.7072
50	$(48kbps, 1/3)$	14.2000	50	$(48kbps, 1/3)$	9.9000	24.2521	27.4045
30	$(48kbps, 1/3)$	12.2000	70	$(48kbps, 1/3)$	7.1000	25.9805	27.4276
10	$(48kbps, 1/3)$	14.8000	90	$(48kbps, 1/3)$	6.3000	29.1346	28.5243

Πίνακας 5.11: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(20,20)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	10.1000	10	$(48kbps, 1/3)$	14.1000	22.0414	33.8859
70	$(48kbps, 1/3)$	8.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	7.3000	22.7954	29.4370
50	$(48kbps, 1/3)$	6.8000	50	$(48kbps, 1/3)$	5.1000	23.9407	28.0943
30	$(48kbps, 1/3)$	8.4000	70	$(48kbps, 1/3)$	5.1000	25.7575	27.7204
10	$(48kbps, 1/3)$	13.2000	90	$(48kbps, 1/3)$	5.7000	29.0471	28.5694

Πίνακας 5.12: Βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος με τη λύση διαπραγμάτευσης των Kalai-Smorodinsky για διάφορες κατανομές κόμβων υψηλής κίνησης και χαμηλής κίνησης, με bit rate 144000bits/s, bandwidth 15MHz και $d=(18,18)$.

High	$(R_{s,high}, R_{c,high})$	S_{high}	Low	$(R_{s,low}, R_{c,low})$	S_{low}	$PSNR_{high}$	$PSNR_{low}$
90	$(48kbps, 1/3)$	7.4000	10	$(48kbps, 1/3)$	11.9000	21.7991	35.1636
70	$(48kbps, 1/3)$	8.0000	30	$(48kbps, 1/3)$	8.1000	22.4514	30.4556
50	$(48kbps, 1/3)$	8.6000	50	$(48kbps, 1/3)$	6.8000	23.7024	28.5589
30	$(48kbps, 1/3)$	8.4000	70	$(48kbps, 1/3)$	5.3000	25.5488	27.9746
10	$(48kbps, 1/3)$	14.9000	90	$(48kbps, 1/3)$	6.5000	28.9844	28.6011

5.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων

Στα Σχήματα 5.4 έως 5.8 απεικονίζονται τα εφικτά σύνολα, μαζί με τη λύση KSBS, για διάφορες κατανομές κόμβων όταν το σημείο διαφωνίας είναι $d=(28,28)$, το bit rate είναι 96000bits/s και το bandwidth 20MHz.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των $PSNR_{high}$ και $PSNR_{low}$ στους πίνακες 5.1, 5.2 και 5.3, όπου $d=(28,28)$, $d=(24,24)$ και $d=(20,20)$ αντίστοιχα, διαπιστώνουμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που θέτουμε στο d τόσο περισσότερο ευνοούνται οι κόμβοι που καταγράφουν γρήγορη κίνηση, καθώς τα PSNR τους για την ίδια κατανομή κόμβων, για το ίδιο bit rate και το ίδιο bandwidth, έχουν μεγαλύτερες τιμές εάν θέσουμε μεγαλύτερη τιμή στο σημείο διαφωνίας. Αντίθετα, οι κόμβοι χαμηλής κίνησης ευνοούνται για χαμηλότερες τιμές στο σημείο διαφωνίας, καθώς στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε αύξηση στην τιμή των PSNR τους. Καθώς όμως στις εφαρμογές επιτήρησης χώρου τα βίντεο που καταγράφουν γρήγορη κίνηση αξιολογούνται ως περισσότερο σημαντικά είναι περισσότερο χρήσιμο να θέτουμε μεγάλες τιμές στο σημείο διαφωνίας, ώστε να επιτυγχάνουμε αρκετά καλές τιμές στα PSNR των κόμβων της κατηγορίας αυτής, διατηρώντας παράλληλα αρκετά καλά επίπεδα στα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης.

Γενικότερα, στο κριτήριο KSBS, όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι περισσότεροι από τους κόμβους χαμηλής κίνησης, για το ίδιο σημείο διαφωνίας, το ίδιο bit rate και το ίδιο bandwidth, έχουμε καλύτερα PSNR στους κόμβους που καταγράφουν χαμηλή κίνηση. Όταν όμως οι κόμβοι γρήγορης κίνησης αυξηθούν και ξεπεράσουν σε αριθμό τους κόμβους που καταγράφουν χαμηλή κίνηση, τότε παρατηρούμε καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης.

Επιπλέον, εάν συγκρίνουμε τον πίνακα 5.1 με τον πίνακα 4.5 για τα κριτήρια KSBS και NBS αντίστοιχα, διαπιστώνουμε ότι το κριτήριο KSBS υπερτερεί εκεί που υστερεί το κριτήριο NBS και αντίστροφα. Συγκεκριμένα, το KSBS αναθέτει καλύτερο PSNR στους κόμβους χαμηλής κίνησης, όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι περισσότεροι ή ίσοι αριθμητικά με τους κόμβους χαμηλής κίνησης συγκριτικά με το κριτήριο NBS, ενώ όταν οι κόμβοι χαμηλής κίνησης είναι περισσότεροι από τους κόμβους γρήγορης κίνησης, τότε το KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης συγκριτικά πάλι με το ίδιο κριτήριο. Για την τιμή $d=(24,24)$ στο σημείο διαφωνίας αλλά για ίδιο bit rate και ίδιο bandwidth, πίνακας 5.2, καταλήγουμε ακριβώς στα ίδια συμπεράσματα με προηγουμένως. Επιπλέον το ίδιο ισχύει και για τις διάφορες τιμές στα σημεία διαφωνίας, για i) bit rate 96000bits/s και bandwidth 15MHz, ii) bit rate 144000bits/s και bandwidth 20MHz και iii) bit rate 144000bits/s και bandwidth 15MHz. Εξαίρεση παρατηρούμε στους πίνακες 5.3 και 5.11, όπου για την κατανομή κόμβων 50 – 50, το KSBS κριτήριο αποδίδει καλύτερο PSNR στους κόμβους γρήγορης κίνησης.

Συγκρίνοντας στη συνέχεια τον πίνακα 5.1 με τον πίνακα 3.9 για τα κριτήρια KSBS και MAD αντίστοιχα, διαπιστώνουμε κι εδώ ότι το KSBS αναθέτει καλύτερο PSNR στους κόμβους χαμηλής κίνησης, όταν οι κόμβοι γρήγορης κίνησης είναι περισσότεροι ή ίσοι αριθμητικά με τους κόμβους χαμηλής κίνησης συγκριτικά με το κριτήριο MAD. Όταν όμως οι κόμβοι χαμηλής κίνησης είναι περισσότεροι από τους κόμβους γρήγορης κίνησης, τότε

το KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης συγκριτικά πάλι με το ίδιο κριτήριο. Εάν συγκρίνουμε όμως τον ίδιο πίνακα για το κριτήριο MAD με τον πίνακα 5.2 και τον πίνακα 5.3 για το κριτήριο KSBS, διαπιστώνουμε ότι το MAD δίνει καλύτερα αποτελέσματα μόνο για την κατανομή κόμβων 10 – 90, στους κόμβους χαμηλής κίνησης συγκριτικά με το κριτήριο KSBS. Τα ίδια συμπεράσματα ακριβώς ισχύουν για τα δύο κριτήρια για τις διάφορες τιμές στα σημεία διαφωνίας, όταν το bit rate είναι 96000bits/s και το bandwidth 15MHz. Όταν το bit rate είναι 144000bits/s και το bandwidth 20MHz, για το σημείο διαφωνίας $d=(25, 25)$, το KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης συγκριτικά με το κριτήριο MAD, όταν το πλήθος των κόμβων γρήγορης κίνησης είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το πλήθος των κόμβων χαμηλής κίνησης. Για την τιμή $d=(23, 23)$ στο σημείο διαφωνίας, το KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης σε σχέση με το κριτήριο MAD στις κατανομές 70 – 30 και 10 – 90, ενώ όταν το σημείο διαφωνίας πάρει την τιμή $d=(20, 20)$, το KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης σε σχέση με το κριτήριο MAD μόνο στην κατανομή 10 – 90. Τέλος όταν το bit rate είναι 144000bits/s, το bandwidth 15MHz και το σημείο διαφωνίας είναι $d=(22, 22)$, το KSBS αποδίδει καλύτερο PSNR στους κόμβους γρήγορης κίνησης σε σχέση με το κριτήριο MAD στις κατανομές 90 – 10, 70 – 30 και 50 – 50. Όταν όμως το σημείο διαφωνίας πάρει την τιμή $d=(20, 20)$ ή $d=(18, 18)$, το KSBS αποδίδει καλύτερο PSNR στους κόμβους γρήγορης κίνησης σε σχέση με το κριτήριο MAD στις κατανομές 70 – 30 και 50 – 50.

Τέλος, μένει να συγκρίνουμε το κριτήριο KSBS με το κριτήριο MMD. Για τις διάφορες τιμές των σημείων διαφωνίας, όταν το bitrate είναι 96000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz, το κριτήριο KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης, ενώ το MMD αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης, για τις ίδιες κατανομές κόμβων. Το ίδιο ισχύει και όταν το bit rate είναι 96000bits/s και το bandwidth είναι 15MHz. Όταν το bit rate είναι 144000bits/s και το bandwidth είναι 20MHz ή όταν το bit rate είναι 144000bits/s και το bandwidth είναι 15MHz, πάλι το κριτήριο KSBS αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων χαμηλής κίνησης, ενώ το κριτήριο MMD αποδίδει καλύτερες τιμές στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης για τις ίδιες κατανομές κόμβων, εκτός από την κατανομή 10 – 90, όπου στην περίπτωση αυτή το KSBS αποδίδει καλύτερο PSNR στους κόμβους γρήγορης κίνησης, ενώ το MMD στους κόμβους χαμηλής κίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 Επίλογος

6.2 Μελλοντική Εργασία

6.1 Επίλογος

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η εξεύρεση ενός αποτελεσματικού τρόπου για τη βέλτιστη κατανομή του ρυθμού κωδικοποίησης της πηγής, του ρυθμού κωδικοποίησης του καναλιού και των ισχύων μετάδοσης ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η παραμόρφωση και άρα να μεγιστοποιηθεί η ποιότητα του βίντεο σε όλο το δίκτυο συνολικά.

Συγκεκριμένα, θεωρήσαμε ένα δίκτυο οπτικών αισθητήρων στο οποίο η πρόσβαση γίνεται με τη μέθοδο DS-CDMA. Στο δίκτυο αυτό οι κόμβοι διαθέτουν κάμερες οι οποίες καταγράφουν σκηνές διαφόρων επιπέδων κίνησης. Οι σκηνές που περιλαμβάνουν χαμηλή κίνηση χρειάζονται λιγότερα bits για την κωδικοποίησή τους, ενώ παράλληλα έχουν στη διάθεση τους περισσότερα bits για την κωδικοποίηση του καναλιού. Ισχυρότερη κωδικοποίηση του καναλιού σημαίνει πως οι κόμβοι είναι σε θέση να αποστέλλουν δεδομένα με χαμηλότερη ισχύ, εξοικονομώντας μπαταρία και μειώνοντας τις παρεμβολές στους άλλους κόμβους. Επιπλέον χρησιμοποιήσαμε μια τεχνική βελτιστοποίησης ως προς πολλά επίπεδα (cross-layer) ώστε να μπορούν τα διάφορα επίπεδα του δικτύου να ανταλλάσουν πληροφορίες μεταξύ τους προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απόδοση στο δίκτυο.

Για να επιλύσουμε το πρόβλημα της παρούσας διατριβής εστιάσαμε σε τέσσερα εναλλακτικά κριτήρια βελτιστοποίησης. Για καθένα από αυτά ίσχυε ο περιορισμός ότι ο κάθε

κόμβος του δικτύου μπορούσε να αποστέλλει δεδομένα με ένα συνολικό μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Το πρώτο κριτήριο, MAD, ελαχιστοποιεί τη μέση παραμόρφωση του δικτύου, ενώ το δεύτερο, MMD, ελαχιστοποιεί τη μέγιστη παραμόρφωση προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ποιότητα εικόνας στο βίντεο συνολικά. Τα άλλα δύο κριτήρια, NBS και KSBS, βασίζονται στη λογική της διαπραγμάτευσης από τη θεωρία παιγνίων. Τα κριτήρια αυτά υποθέτουν πως οι κόμβοι διαπραγματεύονται, με τη βοήθεια της κεντρικής μονάδας ελέγχου, έτσι ώστε να καθορίσουν από κοινού τις παραμέτρους τους.

Για όλα τα κριτήρια, θεωρήσαμε πως οι ισχύς μπορούσαν να πάρουν συνεχείς τιμές από ένα σύνολο προκαθορισμένου εύρους, ενώ οι ρυθμοί κωδικοποίησης πηγής και καναλιού μπορούσαν να πάρουν μόνο διακριτές τιμές. Τα προβλήματα αυτά που περιελάμβαναν συνεχείς και διακριτές τιμές και εντάχθηκαν στην κατηγορία των προβλημάτων μικτών ακεραίων, επιλύθηκαν με τη χρήση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization.

Για το κριτήριο NBS προτείναμε ένα νέο ορισμό για τη συνάρτηση ωφέλειας και συγχρόνως ορίσαμε διαφορετικά το σημείο διαφωνίας, συγκριτικά με άλλες προηγούμενες δουλειές. Το κριτήριο KSBS εφαρμόστηκε για πρώτη φορά προκειμένου να επιλύσει το πρόβλημα το οποίο εξετάζει η παρούσα εργασία. Καθώς όμως η αξιωματική διαπραγμάτευση είναι περιγραφική και δεν προσφέρει πρακτική βοήθεια προκειμένου να λάβουμε τα αποτελέσματα που υπονοούνται εάν ακολουθήσουμε τα αξιώματα, στο συγκεκριμένο κριτήριο προσεγγίσαμε τη λύση γεωμετρικά.

Μελετώντας τα αποτελέσματα για τα παραπάνω κριτήρια διαπιστώσαμε πως το καθένα από αυτά, για τις ίδιες παραμέτρους (ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, εύρος ζώνης συχνότητων, κατανομή κόμβων), δίνει διαφορετικά αποτελέσματα για τα PSNR των κόμβων γρήγορης και αργής κίνησης. Συγκεκριμένα, το κριτήριο MAD ευνοεί τους κόμβους χαμηλής κίνησης καθώς αναθέτει μεγαλύτερα PSNR σε αυτή την κατηγορία κόμβων, συγκριτικά με τους κόμβους που καταγράφουν πιο έντονη κίνηση. Το κριτήριο MMD οδηγεί σε ίσες παραμορφώσεις (και άρα PSNR) και για τις δύο κατηγορίες κόμβων. Για το κριτήριο NBS μπορούμε να πούμε πως αποτελεί συμβιβασμό ανάμεσα στα προαναφερθέντα κριτήρια, για υψηλές αρχικοποιήσεις του σημείου διαφωνίας, καθώς αφενός αποδίδει στους κόμβους χαμηλής κίνησης καλύτερο PSNR από εκείνο που προσφέρει το κριτήριο MMD και αφετέρου, οι κόμβοι γρήγορης κίνησης λαμβάνουν υψηλότερο PSNR από εκείνο που λαμβάνουν εφαρμόζοντας το κριτήριο MAD. Τέλος, το KSBS κριτήριο προσφέρει υψηλές τιμές στα PSNR τόσο των κόμβων χαμηλής κίνησης όσο και στα PSNR των κόμβων γρήγορης κίνησης, ιδιαίτερα όταν οι κόμβοι χαμηλής κίνησης είναι περισσότεροι αριθμητικά από τους κόμβους που καταγράφουν γρήγορη κίνηση. Επομένως, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής μπορούμε να επιλέξουμε το καταλληλότερο από αυτά.

6.2 Μελλοντική Εργασία

Στην παρούσα διατριβή έγινε μία σημαντική προσπάθεια εξεύρεσης ενός βέλτιστου τρόπου για την κατανομή των διαθέσιμων πόρων του συστήματος ανάμεσα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, με σκοπό να περιοριστεί κατα δυνατόν η παραμόρφωση του συνολικού βίντεο.

Παρόλα αυτά υπάρχουν διάφορα ζητήματα που μένουν να διευθετηθούν προκειμένου να επιτευχθεί ακόμα καλύτερη ποιότητα του βίντεο. Για το λόγο αυτό προτείνουμε μια σειρά θεμάτων προς διερεύνηση.

Μια σκέψη αποτελεί το να μην ομαδοποιούμε τους κόμβους του δικτύου σε δύο μόνο κατηγορίες, δηλαδή σε κόμβους γρήγορης κίνησης και σε κόμβους χαμηλής κίνησης, αλλά κάθε κόμβος στο δίκτυο να αποτελεί μία ξεχωριστή κατηγορία, για τον οποίο θα πρέπει να εκτιμούμε τις δικές του παραμέτρους α και β στο μοντέλο της εξίσωσης (2.16). Η ιδέα αυτή πηγάζει από το γεγονός ότι ο κάθε κόμβος καταγράφει τα δικά του επίπεδα κίνησης και επομένως ίσως να μην είναι απόλυτα αξιόπιστη η κατηγοριοποίηση των κόμβων σε δύο μόνο ομάδες κίνησης.

Επιπλέον, οι παράμετροι α και β στο μοντέλο της εξίσωσης (2.16), θα μπορούσαν να εκτιμώνται σε πραγματικό χρόνο και όχι χρησιμοποιώντας προσομοιωτές, όπως γίνεται στη δική μας υλοποίηση, και η συνολική παραμόρφωση του βίντεο να υπολογίζεται στον κωδικοποιητή ώστε να επιταχύνεται η όλη διαδικασία του υπολογισμού της παραμόρφωσης.

Τέλος, στις εφαρμογές επιτήρησης χώρου, τα βίντεο που καταγράφουν περισσότερη κίνηση αξιολογούνται ως περισσότερο σημαντικά συγκριτικά με τα βίντεο που καταγράφουν πιο στάσιμα πεδία. Για το λόγο αυτό, θα ήταν περισσότερο σημαντικό να βελτιώσουμε την ποιότητα των βίντεο που περιλαμβάνουν γρήγορη κίνηση, χωρίς συγχρόνως να μειωθεί πολύ η ποιότητα των βίντεο που καταγράφουν χαμηλή κίνηση. Στο κριτήριο NBS, θα μπορούσαμε να αναθέσουμε βάρη σε κάθε κόμβο, ανάλογα με το επίπεδο της κίνησης που καταγράφει ο καθένας από αυτούς. Μεγαλύτερα επίπεδα κίνησης, θα σήμαιναν μεγαλύτερες ανατιθέμενες ισχύς διαπραγμάτευσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Computer Network. Available online at http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_network
- [2] Convolutional Codes. Available online at <http://www.complextoreal.com/convo.htm>
- [3] Direct Sequence CDMA. Available online at <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/cdma/dscdma.htm>
- [4] T. C. A. Anant, B. Mukherji, and K. Basu, Bargaining Without Convexity, Generalizing the Kalai-Smorodinsky Solution, *Economics Letter*, **33**, (1989), 115–119.
- [5] E. S. Bentley, L. P. Kondi, J. D. Matyjas, M. J. Medley, and B. W. Suter, Spread Spectrum Visual Sensor Network Resource Management Using an End-to-End Cross-Layer Design, *IEEE Transactions on Multimedia*, (2011), DOI:10.1109/TMM.2010.2086441.
- [6] K. Binmore, *Playing for Real: A Text on Game Theory*. Oxford University Press, 2007.
- [7] M. Bystrom and T. Stockhammer, Modeling of operational distortion-rate characteristics for joint source-channel coding of video, *Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing*, (1999), 359–362.
- [8] Y. S. Chan and J. W. Modestino, A Joint Source Coding-Power Control Approach for Video Transmission Over CDMA Networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **21**, (2003), 1516–1525.
- [9] K. Y. Chow, K. S. Lui, and E. Y. Lam, Balancing Image Quality and Energy Consumption in Visual Sensor Networks, *1st International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, (2006).
- [10] M. Clerc, and J. Kennedy, The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space, *IEEE Trans. Evol. Comput.*, **6**, (2002), 58–73.
- [11] J. P. Conley and S. Wilkie, The Bargaining Problem Without Convexity: Extending the Egalitarian and Kalai-Smorodinsky Solutions, *Economics Letter*, **36**, (1991), 365–369.

- [12] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, J. L. A. Weaver, and C. E. W. III, On the Capacity of a Cellular CDMA System, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **40**, (1991), 303–312.
- [13] J. Hagenauer, Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications, *IEEE Transactions on Communications*, **36**, (1988), 389–400.
- [14] E. Kalai and M. Smorodinsky, Other Solutions to Nash’s Bargaining Problem, *Econometrica*, **43**, (1975), 513–518.
- [15] L. P. Kondi and E. S. Bentley, Game–Theory–Based Cross–Layer Optimization for Wireless DS–CDMA Visual Sensor Networks, *IEEE International Conference on Image Processing*, (2010).
- [16] L. P. Kondi, F. Ishtiaq, and A. K. Katsaggelos, Joint Source-Channel Coding for Motion-Compensated DCT-Based SNR Scalable Video, *IEEE Transactions on Image Processing*, **11**, (2002), 1043–1052.
- [17] L. P. Kondi and A. K. Katsaggelos, Joint Source-Channel Coding for Scalable Video Using Models of Rate-Distortion Functions, *Proc. of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, (2001), 1377–1380.
- [18] H. Kwon, T. H. Kim, S. Choi, and B. G. Lee, A Cross-Layer Strategy for Energy-Efficient Reliable Delivery in Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **5**, (2006), 3689–3699.
- [19] R. D. Luce and H. Raiffa, *Games and Decisions: introduction and critical survey*, Wiley, New York, 1957.
- [20] R. Madan, S. Cui, S. Lall, and N. A. Goldsmith, Cross-Layer Design for Lifetime Maximization in Interference-Limited Wireless Sensor Networks, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **5**, (2006), 3142–3152.
- [21] G. Messier, J. Hartwell, and R. Davies, A Sensor Network Cross-Layer Power Control Algorithm that Incorporates Multiple-Access Interference, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **7**, (2008), 2877–2883.
- [22] H. Park and M. van der Schaar, Bargaining strategies for networked multimedia resource management, *IEEE Transactions on Signal Processing*, **55**, (2007).
- [23] H. Park and M. van der Schaar, Fairness Strategies for Multi-user Multimedia Applications in Competitive Environments using the Kalai-Smorodinsky Bargaining Solution, *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process.*, **2**, (2007), 713–716.
- [24] K. E. Parsopoulos, and M. N. Vrahatis, *Particle Swarm Optimization and Intelligence: Advances and Applications*, Information Science Publishing (IGI Global), 2010.

- [25] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson, *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*, The Internet Society: Network Working Group Std., 2003.
- [26] T. Stockhammer, M. M. Hannuksela, and T. Wiegand, H.264/AVC in Wireless Environments, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **13**, (2003), 657–672.
- [27] A. S. Tanenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 4η Αμερικανική Έκδοση, 2006.
- [28] E. V. Tsiligianni, MT 2010-01: Shape coding and boundary error concealment for video objects. Department of Computer Science, University of Ioannina.
- [29] J. Walrand, *Δίκτυα Επικοινωνιών: Ένα Πρώτο Μάθημα*. Έκδοση Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2003.
- [30] H. Wang, L. P. Kondi, A. Luthra, S. Ci, *4G Wireless Video Communications*. WILEY ed., 2009.
- [31] T. Wiegand and G. Sullivan, The H.264/AVC Video Coding Standard Standards in a nutshell, *IEEE Signal Processing Magazine*, **24**, (2007), 148–153.
- [32] F. Zhai, Y. Eisenberg, T. N. Pappas, R. Berry, and A. K. Katsaggelos, Joint source-channel coding and power allocation for energy efficient wireless video communications, *Proc. 41st Allerton Conf. Communication, Control, and Computing*, (2003).

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

K. C. Pandremmenou, L. P. Kondi, and K. E. Parsopoulos, Optimal Power Allocation and Joint Source-Channel Coding for Wireless DS-CDMA Visual Sensor Networks, in *Proc. SPIE Electronic Imaging Symposium (Visual Information Processing and Communication II)*, San Francisco, CA, January 2011.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ

Η Αικατερίνη Πανδρεμμένου γεννήθηκε στη Λάρισα το 1985. Το 2003 εισήχθη στο Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης. Το 2008 αποφοίτησε και συνέχισε τις σπουδές της στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων από όπου αποφοίτησε το Δεκέμβριο του 2010.