



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πρότυπη υλοποίηση και αξιολόγηση κωδικοποίησης εικονοροών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΗ ΣΤ. ΣΙΦΝΑΙΟΥ

*Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Υπολογιστών του Εθνικού
Μετσόβιου Πολυτεχνείου*

Αθήνα, Νοέμβριος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πρότυπη υλοποίηση και αξιολόγηση κωδικοποίησης εικονορμών

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΗ ΣΤ. ΣΙΦΝΑΙΟΥ

*Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού & Μηχανικού Υπολογιστών του
Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*

Συμβουλευτική Επιτροπή : Γεώργιος Στασινόπουλος

Κιαμάλ Πεκμεστζή

Παναγιώτης Τσανάκας

Εγκρίθηκε από την επιταμελή εξεταστική επιτροπή την 26 Νοεμβρίου 2009.

.....
Γ. Στασινόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Μ. Θεολόγου
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Κ. Πεκμεστζή
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Β. Λούμπος
Καθηγητής ΕΜΠ.

.....
Δ. Ρεΐσης
Αν. Καθηγητής Παν. Αθηνών

.....
Π. Τσανάκας
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Δ. Σοφάντης
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2009

.....

ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΤ. ΣΙΦΝΑΙΟΣ

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © **ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΤ. ΣΙΦΝΑΙΟΣ, 2009**.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερώνεται στη γυναίκα μου, Σταυρούλα
στην κόρη μου, Λυδία
και στους γονείς μου, Στέλιο και Μαρία

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Φτάνοντας στο τέλος της παρούσας εργασίας αισθάνομαι ιδιαίτερη ικανοποίηση που κατάφερα να τελειώσω τη διδακτορική μου διατριβή ύστερα από αρκετά χρόνια και με ενδιάμεσο χρόνο παύσης. Σε αυτό το εγχείρημα με στήριξαν και πίστεψαν σε εμένα οι επιβλέποντές μου καθηγητές κ. Γεώργιος Στασινόπουλος, Καθηγητής του ΕΜΠ, και ο κ. Κιαμάλ Πεκμεστζί, Καθηγητής του ΕΜΠ. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω θερμά για την υπομονή τους και επιμονή τους για την ολοκλήρωση της διατριβής, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Στα χρόνια που πέρασαν, συνεργάστηκα με συνάδελφους μηχανικούς, στα εργαστήρια του πολυτεχνείου Μικροϋπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων Υπολογιστών, οι οποίοι ήταν πολύτιμοι συνεργάτες. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Μελέτη Χρήστο, Παύλο Μπουγά, Νικόλαο Μοσχόπουλο, Γρηγόρη Δουμένη, Αποστόλη Νικολαΐδη, Φώτη Ανδριτσόπουλο, Σεραφείμ Παπαστέφανο, Βίκτωρα Μετεβίτση, με τους οποίους εργαστήκαμε μαζί σε ερευνητικά προγράμματα και πλήθος δημοσιεύσεων.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Στέλιο και Μαρία και τη σύζυγό μου Σταυρούλα που μοιράστηκαν μαζί μου τις δύσκολες στιγμές αυτής της προσπάθειας, και με στήριξαν συνεχώς. Τέλος θα ήθελα να αναφερθώ στη κόρη μου Λυδία, που η ύπαρξη της και μόνο, μου έδινε κουράγιο και δύναμη να ολοκληρώσω τη διδακτορική μου διατριβή.

Ιωάννης Στ. Σιφναΐος
Αθήνα, Νοέμβριος 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο έρευνας της διατριβής είναι η πρότυπη υλοποίηση και αξιολόγηση κωδικοποίησης εικονοροών σύμφωνα με το πρότυπο MPEG4 - H.264. Το πρότυπο αυτό καλείται να αντικαταστήσει το MPEG2 προσφέροντας καλύτερη συμπίεση και καλύτερη ποιότητα. Σε ολοένα και περισσότερες εφαρμογές καλείται να υλοποιηθεί, από συστήματα τηλεόραση μέχρι σε συσκευές χειρός. Έχοντας ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, ανακύπτει η ανάγκη για σχεδιασμό υλοποιήσεων με διαφορετικές ανάγκες. Ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχεδίαση των επιμέρους κυκλωμάτων έχοντας ως στόχο μικρότερα, αποδοτικότερα και ταχύτερα κυκλώματα.

Στο πρώτο μέρος της διατριβής γίνεται μια εισαγωγή στο πρότυπο. Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και όροι καθώς και η λειτουργία της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία των επιμέρους τμημάτων ενός κωδικοποιητή.

Στο δεύτερο μέρος της διατριβής παρουσιάζεται το λογισμικό και η υλοποίηση σε υλικό του κωδικοποιητή H.264 που σχεδιάστηκε. Στο λογισμικό ενσωματώθηκαν όλες οι τεχνικές από την διεθνή βιβλιογραφία καθώς και οι προτεινόμενες τεχνικές, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για άμεση σύγκριση αυτών. Επίσης υλοποιήθηκε σε υλικό ένας κωδικοποιητής H.264 με μέγεθος 266K πύλες, εκ των οποίων το 45% καταλαμβάνεται από το κύκλωμα INTRA. Το υψηλό αυτό ποσοστό σε σχέση με τη μικρή συμπίεση που επιτυγχάνεται με τη χρήση του, οδήγησε σε περαιτέρω μελέτη αυτού.

Η ανάλυση της λειτουργίας και οι τεχνικές υλοποίησης του INTRA κυκλώματος παρουσιάζονται στη συνέχεια. Νέες μετρικές αποκλίσεις εισάγονται με βάση τον πίνακα μετασχηματισμού των AC συντελεστών και με μειωμένο αριθμό συντελεστών. Η υλοποίηση των μετρικών αποκλίσεων έδειξε ότι το μεγάλο μέγεθος του κύκλωμα του INTRA οφείλεται στις μετρικές αποκλίσεις οδηγώντας στην προσπάθεια μείωσης του μεγέθους αυτών.

Η προτεινόμενη μετρική DCT-8 στο τμήμα 11x16 έδωσε ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα συγκρινόμενη με την προτεινόμενη από τη διεθνή βιβλιογραφία μετρική SATD, μειώνοντας το μέγεθος κατά 45%. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μετρικής στο τμήμα 14x4 δεν έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τη μετρική SATD.

Μια νέα μέθοδος για το τμήμα 14x4 αναπτύχθηκε, στην οποία γίνεται πρόβλεψη του αριθμού των bits χωρίς τη χρήση μετρικών αποκλίσεων. Το απαιτούμενο κύκλωμα είναι 15% μικρότερο σε σχέση με το SATD δίνοντας ίδια ποιότητα, χωρίς χρήση τεχνικής RDO, που αφήνει περιθώρια βελτίωσης.

ABSTRACT

The object of research of thesis they are the techniques of implementation of coders according to the recommendation MPEG4 - H.264. This recommendation is called to replace the MPEG2 offering better compression and better quality. In continuously more applications it is called to be materialized, from systems television up to handle devices. Having a big breadth of applications, emerges the need for planning of implementation with different needs. Research interest has the design of H.264 building blocks aiming at as smaller, more efficient and more rapid circuits.

In the first part of thesis becomes a introduction to the recommendation. Also it presents the basic terms of the operation of coding and decoding. Afterwards is described the operation of the H.264 blocks.

In the second part of thesis is presented a software and hardware solution of a H.264 coder that was designed and developed. In the software were implemented the all techniques from the international bibliography as well as the proposed techniques, giving thus the possibility for direct comparison of these. Also, the hardware coder H.264 with size of 266K gates has implemented. The 45% of these gates are occupied by INTRA block. To this high percentage concerning the small compression that can we achieve using intra, led to further study of this.

The analysis of operation and the techniques of implementation of INTRA block are presented afterwards. New quality metric are imported base on the table of AC transformation and with decreased number of coefficients. The implementation of quality metric showed that the big circuit of INTRA is owed in the quality metric block leading to the effort to reduce the size of these.

The proposed quality metric dct-8 in I16x16 gives light better results compared with proposed from the international bibliography quality metric SATD, decreasing the size at 40%. Instead of this the proposed metrics in I4x4 does not give better results than the quality metric SATD.

A new method for I4x4 was developed, in what becomes forecast of number of the bits without using quality metric. The required circuit is 15% smaller than the SATD giving same quality, without use of technical RDO, that leaves margins of improvement.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ H.264	17
1.1	ΟΡΟΛΟΓΙΑ.....	17
1.2	H.264 CODEC	18
1.2.1	Ανάλυση του <i>Forward Path</i> στον Κωδικοποιητή.....	19
1.2.2	Ανάλυση του <i>Reconstruction Path</i> στον Κωδικοποιητή.....	20
1.2.3	Αποκωδικοποιητής.....	20
1.2.4	Εισαγωγή στο <i>Inter Prediction</i>	20
1.2.5	Εισαγωγή στο <i>Intra Prediction</i>	21
2	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ H.264	23
2.1	PREDICTION MACHINE	24
2.2	TQ/- INVTQ.....	24
2.3	VLC	25
2.4	NAL FORMER	25
2.5	ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ	26
2.6	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	27
3	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ H.264	29
3.1	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	29
3.2	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΥΛΙΚΟ	31
3.3	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ INTRA	34
3.3.1	Μηχανή <i>16x16</i>	35
3.3.2	Μηχανή <i>14x4</i>	39
3.4	ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ.....	43
3.4.1	Περιγραφή μετρικών αποκλίσεων.....	43
3.4.2	Υλοποίηση σε υλικό κυκλώματος <i>SAD</i>	44
3.4.3	Υλοποίηση σε υλικό κυκλώματος <i>SATD</i>	47
3.4.4	Μετρική <i>SAD-DCT</i>	51
3.4.5	Μετρικές βασισμένες στις <i>SATD</i> και <i>SAD-DCT</i>	53
4	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ 16X16	55
4.1	RATE-DISTORTION OPTIMIZATION	55
4.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ BITS ΑΝΑ MACROBLOCK.....	56
4.2.1	Περιγραφή <i>Header</i> του <i>16X16</i>	58
4.2.2	Περιγραφή <i>Header</i> του <i>14X4</i>	58
4.3	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ INTRA 16X16	58
4.3.1	Τιμή μετρικής έναντι αριθμών παραγόμενων.....	59
4.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΓΙΑ 16X16	71
4.4.1	Ανάλυση μετρικής <i>SAD-DCT</i>	72
4.4.2	Απόδοση μετρικών αποκλίσεων.....	73
4.4.3	Σύγκριση μετρικών αποκλίσεων.....	89
5	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ 14X4	97
5.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ.....	97

5.2	ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΓΙΑ I4x4.....	110
5.3	ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ I4x4.....	126
5.3.1	Απόδοση νέας μεθόδου I4x4.....	127
5.3.2	Υλοποίηση νέας μεθόδου I4x4.....	134
6	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	137

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1-1:	Η.264 ΣΥΜΒΑΤΟΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ –ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗΣ.....	19
ΣΧΗΜΑ 1-2:	MACROBLOCK PARTITIONS	21
ΣΧΗΜΑ 2-1:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ SNR VS BITRATE	23
ΣΧΗΜΑ 3-1:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ	31
ΣΧΗΜΑ 3-2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ INTER ΜΗΧΑΝΗΣ.....	34
ΣΧΗΜΑ 3-3:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ INTRA MACHINE	35
ΣΧΗΜΑ 3-4:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PREDICTION 16x16 / 8x8.....	35
ΣΧΗΜΑ 3-5:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ I16x16 ΜΗΧΑΝΩΝ	38
ΣΧΗΜΑ 3-6:	ΣΕΙΡΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ SUB-MB 4x4	39
ΣΧΗΜΑ 3-7:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ PREDICTION 4x4.....	41
ΣΧΗΜΑ 3-8:	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ I4x4	42
ΣΧΗΜΑ 3-9	ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ SAD.....	46
ΣΧΗΜΑ 3-10	ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ SAD 8 ΚΥΚΛΩΝ.	46
ΣΧΗΜΑ 3-11	ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ SATD.	49
ΣΧΗΜΑ 3-12	ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	50
ΣΧΗΜΑ 3-13	ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ SAD-DCT.	52
ΣΧΗΜΑ 4-1	NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS.....	61
ΣΧΗΜΑ 4-2	NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	61
ΣΧΗΜΑ 4-3	NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	62
ΣΧΗΜΑ 4-4	NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_DCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	63
ΣΧΗΜΑ 4-5	MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	64
ΣΧΗΜΑ 4-6	MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	65
ΣΧΗΜΑ 4-7	MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	66
ΣΧΗΜΑ 4-8	MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_DCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	67
ΣΧΗΜΑ 4-9	TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS.....	68
ΣΧΗΜΑ 4-10	TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	69
ΣΧΗΜΑ 4-11	TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	70
ΣΧΗΜΑ 4-12	TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_DCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS	71
ΣΧΗΜΑ 4-13	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΣ/ΜΟΥ ΣΕ ZIG-ZAG.....	72
ΣΧΗΜΑ 4-14	SNR/BITRATE NEWS_CIF BEST MODE I16x16	74
ΣΧΗΜΑ 4-15	SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD I16x16.....	75
ΣΧΗΜΑ 4-16	SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD I16x16	76
ΣΧΗΜΑ 4-17	SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD-DCT_8 I16x16.....	77
ΣΧΗΜΑ 4-18	SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD-8 I16x16.....	78
ΣΧΗΜΑ 4-19	SNR/BITRATE MOBILE_CIF BEST MODE I16x16.....	79
ΣΧΗΜΑ 4-20	SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD I16x16.....	80

ΣXHMA 4-21 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD I16x16	81
ΣXHMA 4-22 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD-DCT_8 I16x16.....	82
ΣXHMA 4-23 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD-8 I16x16	83
ΣXHMA 4-24 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF BEST MODE I16x16.....	84
ΣXHMA 4-25 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD I16x16.....	85
ΣXHMA 4-26 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD I16x16.....	86
ΣXHMA 4-27 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT_8 I16x16.....	87
ΣXHMA 4-28 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD-8 I16x16	88
ΣXHMA 4-29 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD	91
ΣXHMA 4-30 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT-8(LUMA & CHROMA)	92
ΣXHMA 4-31 FLOWER_CIF SATD / SAD-DCT-8	93
ΣXHMA 4-32 BUS_CIF SATD / SAD-DCT-8	94
ΣXHMA 4-33 COASTGUARD_CIF SATD / SAD-DCT-8	95
ΣXHMA 4-34 FOREMAN_CIF SATD / SAD-DCT-8	96
ΣXHMA 5-1 NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB.....	98
ΣXHMA 5-2 NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	99
ΣXHMA 5-3 NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	100
ΣXHMA 5-4 NEWS_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD-DCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	101
ΣXHMA 5-5 MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	102
ΣXHMA 5-6 MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	103
ΣXHMA 5-7 MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	104
ΣXHMA 5-8 MOBILE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD-DCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB.....	105
ΣXHMA 5-9 TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SAD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB.....	106
ΣXHMA 5-10 TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	107
ΣXHMA 5-11 TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATD_8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	108
ΣXHMA 5-12 TEMPETE_CIF ΜΕΤΡΙΚΗ SATDDCT8 -ΑΡΙΘΜΟΥ LUMA BITS SUBMB	109
ΣXHMA 5-13 SNR/BITRATE NEWS_CIF BEST MODE I4x4	111
ΣXHMA 5-14 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD I4x4.....	112
ΣXHMA 5-15 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD I4x4	113
ΣXHMA 5-16 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD-DCT_8 I4x4	114
ΣXHMA 5-17 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD-8 I4x4.....	115
ΣXHMA 5-18 SNR/BITRATE MOBILE_CIF BEST MODE I4x4.....	116
ΣXHMA 5-19 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD I4x4.....	117
ΣXHMA 5-20 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD I4x4	118
ΣXHMA 5-21 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD-DCT_8 I4x4.....	119
ΣXHMA 5-22 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD-8 I4x4	120
ΣXHMA 5-23 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF BEST MODE I4x4.....	121
ΣXHMA 5-24 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD I4x4.....	122
ΣXHMA 5-25 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD I4x4	123
ΣXHMA 5-26 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT_8 I4x4.....	124
ΣXHMA 5-27 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD-8 I4x4	125
ΣXHMA 5-28 FLOWER I4x4 SATD / NEW METHOD.....	128
ΣXHMA 5-29 BUS I4x4 SATD / NEW METHOD	129
ΣXHMA 5-30 COASTGUARD I4x4 SATD / NEW METHOD	130
ΣXHMA 5-31 FOREMAN I4x4 SATD / NEW METHOD	131
ΣXHMA 5-32 MOBILE I4x4 SATD / NEW METHOD	132

ΣΧΗΜΑ 5-33 NEWS I4x4 SATD / NEW METHOD.....	133
ΣΧΗΜΑ 5-34 TEMPETE I4x4 SATD / NEW METHOD	134
ΣΧΗΜΑ 5-35 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	135

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΤΗ	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ΤΙΜΕΣ SNR & BITRATE	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 ΤΙΜΕΣ SNR & BITRATE	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 ΚΥΚΛΟΙ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΓΙΑ I16X16 ΚΑΙ I8X8.....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5 ΚΥΚΛΟΙ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ I16X16.....	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-6 ΚΥΚΛΟΙ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ I16X16 / ΜΕΓΕΘΟΣ	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-7 ΚΥΚΛΟΙ ΡΟΛΟΓΙΟΥ ΓΙΑ LUMA I6X16 ΚΑΙ CHROMA 8X8.....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-8 ΜΕΓΕΘΗ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΣ I4X4.....	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ I4X4	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-10 ΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ FIJ ΤΟΥ SATD.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-11 ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 SNR/BITRATE NEWS_CIF BEST MODE I16X16	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD I16X16	75
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD I16X16	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD-DCT_8 I16X16.....	77
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-5 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD-8 I16X16	78
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-6 SNR/BITRATE MOBILE_CIF BEST MODE I16X16.....	79
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-7 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD I16X16	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-8 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD I16X16.....	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-9 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD-DCT_8 I16X16.....	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-10 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD-8 I16X16	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-11 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF BEST MODE I16X16.....	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-12 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD I16X16.....	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-13 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD I16X16	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-14 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT_8 I16X16.....	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-15 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD-8 I16X16	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-16 ΜΕΣΟΣ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟΣ ΟΡΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ BITRATE.....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-17 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗ/ΜΕΓΕΘΟΣ.....	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-18 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD (LUMA & CHROMA)	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-19 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT-8(LUMA & CHROMA)	91
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-20 FLOWER_CIF SATD / SAD-DCT-8.....	93
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-21 BUS_CIF SATD / SAD-DCT-8.....	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-22 COASTGUARD_CIF SATD / SAD-DCT-8	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-23 FOREMAN_CIF SATD / SAD-DCT-8.....	96
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ BITS ΑΝΑ SUBMB	110
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 SNR/BITRATE NEWS_CIF BEST MODE I4X4	111
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD I4X4	112
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD I4X4	113
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5 SNR/BITRATE NEWS_CIF SAD-DCT_8 I4X4.....	114

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6 SNR/BITRATE NEWS_CIF SATD-8 I4x4	115
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7 SNR/BITRATE MOBILE_CIF BEST MODE I4x4.....	116
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD I4x4	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-9 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD I4x4.....	118
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-10 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SAD-DCT_8 I4x4.....	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-11 SNR/BITRATE MOBILE_CIF SATD-8 I4x4	120
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-12 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF BEST MODE I4x4.....	121
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-13 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD I4x4.....	122
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-14 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD I4x4	123
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-15 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SAD-DCT_8 I4x4.....	124
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-16 SNR/BITRATE TEMPETE_CIF SATD-8 I4x4	125
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-17 ΜΕΣΟΣ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟΣ ΟΡΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ BITRATE ΓΙΑ I4x4	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-18 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗ/ΜΕΓΕΘΟΣ.....	126
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-19 FLOWER I4x4 SATD / NEW METHOD.....	128
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-20 BUS I4x4 SATD / NEW METHOD.....	129
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-21 COASTGUARD I4x4 SATD / NEW METHOD.....	130
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-22 FOREMAN I4x4 SATD / NEW METHOD	131
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-23 MOBILE I4x4 SATD / NEW METHOD.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-24 NEWS I4x4 SATD / NEW METHOD.....	133
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-25 TEMPETE I4x4 SATD / NEW METHOD.....	134

1 Εισαγωγή στον H.264

1.1 Ορολογία

Bitstream είναι μια αλληλουχία από μηδενικά και άσσους.

Frame (για progressive ή interlaced video) ονομάζεται μία εικόνα μέσα στο video. Η κωδικοποίηση ενός video γίνεται κωδικοποιώντας κάθε frame χωριστά.

Για την κωδικοποίηση ενός frame είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν προηγούμενες χρονικά εικόνες. Το σύνολο αυτών των εικόνων ονομάζεται “reference pictures”.

Ένα frame χωρίζεται σε μικρότερα κομμάτια εικόνας με μέγεθος 16X16 pixels το καθένα. Το μικρό αυτό κομμάτι εικόνας ονομάζεται **macroblock** (MB) και αποτελεί τη μικρότερη μονάδα με την οποία λειτουργεί ο κωδικοποιητής. Σε κάθε MB αντιστοιχούν 16X16 μονόχρωμα δείγματα (luma samples) και δύο 8X8 έγχρωμα δείγματα (chroma samples Cb-Cr) αφού ο κωδικοποιητής λειτουργεί σε video format 4:2:0.

Sub-Macroblock ονομάζεται μέρος του Macroblock.

Slice ονομάζεται μία ομάδα από MBs.

Intra Prediction ονομάζεται η μονάδα υπολογισμού, του κωδικοποιητή, η οποία λειτουργεί με βάση τις χωρικές ομοιότητες του video.

Inter Prediction ονομάζεται η μονάδα υπολογισμού, του κωδικοποιητή, η οποία λειτουργεί με βάση τις χρονικές ομοιότητες του video.

Macroblock Prediction ονομάζεται το macroblock, που παράγεται είτε από τη μηχανή Intra είτε από την Inter. Οι τιμές των δειγμάτων του macroblock υπολογίζονται μονοσήμαντα από συναρτήσεις, οριζόμενες από το πρότυπο H.264.

Intra mode ονομάζεται η συνάρτηση υπολογισμού ενός macroblock prediction κατά Intra. Στο πρότυπο περιγράφονται 4 modes για macroblock 16x16 (luma samples), 9 modes για sub-Macroblock 4x4 (luma samples), 9 modes για sub-Macroblock 8x8 (luma samples) και 4 modes για sub-Macroblock 8x8 (chroma samples).

PSNR Ο μέγιστος σηματοθορυβικός λόγος (PSNR) μετριέται σε λογαριθμική κλίμακα και εξαρτάται από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (MSE) μεταξύ της αρχικής και της

επεξεργασμένης εικόνας ή πλαισίου video, σε σχέση με το τετράγωνο της πιο υψηλής-πιθανής τιμής σήματος στην εικόνα $(2^n-1)^2$ όπου n είναι ο αριθμός bits ανά δείγμα εικόνας.

$$\text{PSNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{\text{MSE}}$$

Ο PSNR μπορεί να υπολογιστεί εύκολα και γρήγορα και είναι επομένως ένα πολύ δημοφιλές μέτρο ποιότητας, που χρησιμοποιείται ευρέως για να συγκρίνει την ποιότητα των συμπίεσμένων και αποσυμπιεσμένων εικόνων video.

Η χρήση PSNR έχει διάφορους περιορισμούς. Ο PSNR απαιτεί μια αναλλοίωτη αρχική εικόνα για τη σύγκριση αλλά αυτό μπορεί να μην είναι διαθέσιμο και μπορεί να μην είναι εύκολο να ελεγχθεί ότι μια ‘αρχική’ εικόνα έχει την τέλεια πιστότητα. Ο PSNR δεν συσχετίζει καλά με τα υποκειμενικά μέτρα ποιότητας video, όπως αυτά που καθορίζονται στην ITU-R 500. Για μια δεδομένη εικόνα ή μια ακολουθία εικόνας, υψηλό PSNR δείχνει συνήθως υψηλή ποιότητα και χαμηλό PSNR δείχνει συνήθως χαμηλή ποιότητα. Εντούτοις, μια συγκεκριμένη τιμή PSNR δεν ισοδυναμεί απαραίτητα με μια ‘απολύτως’ υποκειμενική ποιότητα.

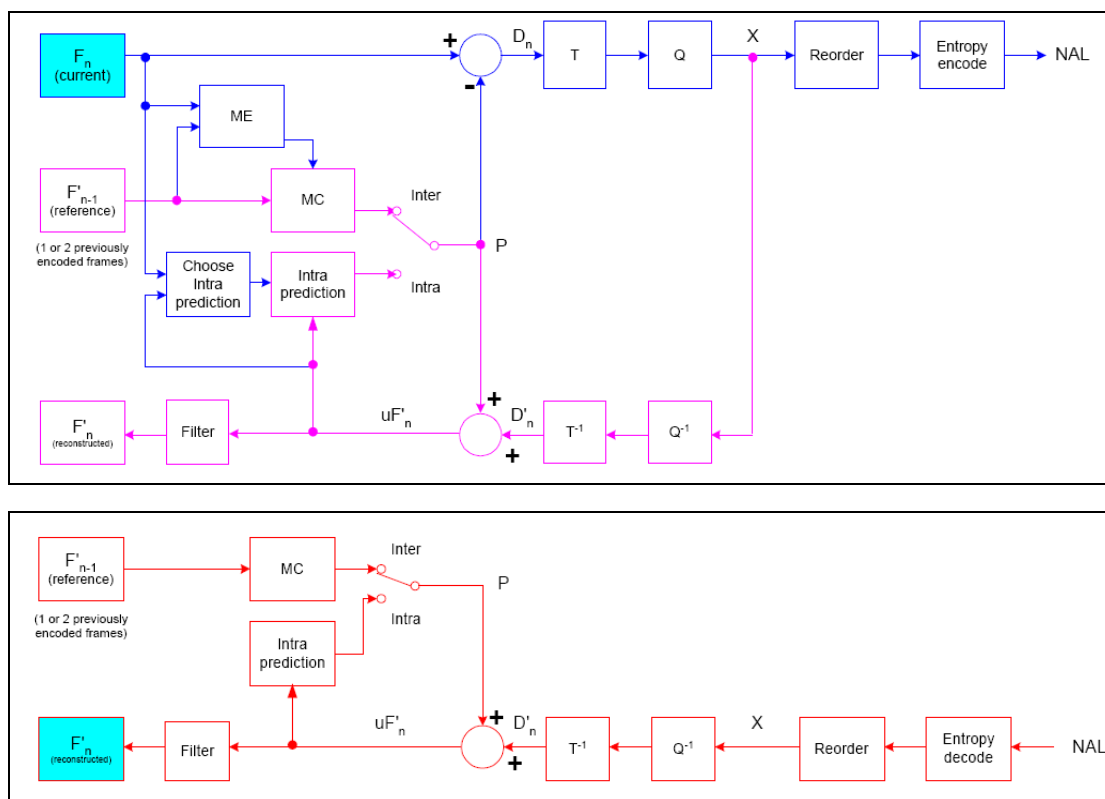
Μετρική απόκλιση ονομάζεται μια συνάρτηση υπολογισμού των διαφορών δύο πινάκων. Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζεται σε μέγεθος πινάκων 16X16, 8X8, 4X4. Οι πίνακες αυτοί αναπαριστούν, στο πεδίο της συμπίεσης εικόνας, μέρος της αρχικής εικόνας και μέρος της προβλεπόμενης εικόνας. Ευρέως διαδεδομένες μετρικές αποκλίσεις είναι οι **SAD**, **SATD**, **SSE**.

Rate-distortion optimization (RDO) είναι μέθοδος αύξησης της απόδοσης κωδικοποιητή. Απόδοση κωδικοποιητή ορίζεται ως το ποσό της παραμόρφωσης (χαμένη πληροφορία) του video σε σχέση με τον όγκο πληροφορίας που απαιτείται για την κωδικοποίησή του video.

1.2 H.264 CODEC

Όπως είναι συνηθισμένο στα πρόσφατα πρότυπα έτσι και στην περίπτωση του H.264 το πρότυπο δεν περιγράφει ακριβώς ένα σύστημα κωδικοποιητή- αποκωδικοποιητή, αλλά τη σύνταξη του κωδικοποιημένου video (encoded video bitstream) και τον τρόπο αποκωδικοποίησής του.

Ένα απλοποιημένο δομικό διάγραμμα ενός H.264 αποκωδικοποιητή – κωδικοποιητή φαίνεται στο Σχήμα 1-1.



Σχήμα 1-1: H.264 συμβατός κωδικοποιητής –αποκωδικοποιητής

Με εξαίρεση τη μονάδα του φίλτρου, όλες οι υπόλοιπες (Prediction – transform – quantisation – entropy encoding) υπάρχουν και στους προηγούμενους Codec (MPEG1-2-4, H261 H263). Στις μονάδες όμως αυτές έχουν γίνει ουσιαστικές λειτουργικές αλλαγές.

Στον κωδικοποιητή μπορούμε να διακρίνουμε δύο ροές δεδομένων. Μία από αριστερά προς τα δεξιά (forward path) και μία από δεξιά προς τα αριστερά (reconstruction path). Το reconstruction path μπορεί να διακριθεί και στον αποκωδικοποιητή.

1.2.1 Ανάλυση του Forward Path στον Κωδικοποιητή

Ένα frame (F_n) στην είσοδο του κωδικοποιητή χωρίζεται σε MBs. Το κάθε MB κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας Intra ή Inter prediction. Κάθε μία από τις δύο τμήματα (INTRA, INTER) παράγει ένα MB που ονομάζεται prediction MB (P). Το prediction MB, χρησιμοποιώντας δεδομένα από προηγούμενα κωδικοποιημένα MB, πρέπει να είναι όσο το δυνατό όμοιο με το προς κωδικοποίηση MB (τρέχον MB).

Στο τμήμα INTRA, το P παράγεται χρησιμοποιώντας δεδομένα από MBs τα οποία έχουν ήδη κωδικοποιηθεί και ανήκουν στο τρέχον frame.

Στο τμήμα INTER, το P παράγεται χρησιμοποιώντας δεδομένα από MBs που ανήκουν σε προηγούμενα χρονικά frames.

Στη συνέχεια παράγεται η διαφορά του τρέχοντος MB και του P ή Dn. Αυτό μετασχηματίζεται και κβαντίζεται χρησιμοποιώντας τις T – Q μονάδες. Η έξοδος X είναι ένα καινούργιο MB που περιέχει κβαντισμένους συντελεστές μετασχηματισμού. Το X είναι είσοδος σε δύο μονάδες “re-order” και “entropy encoder” για περαιτέρω συμπίεση. Γενικά το MB X περιέχει λίγους μη-μηδενικούς συντελεστές και αρκετούς μηδενικούς. Ο re-order είναι υπεύθυνος να αναδιατάξει τους συντελεστές ώστε οι μη μηδενικοί συντελεστές να ομαδοποιηθούν και να περάσουν στον entropy encoder όσο το δυνατόν πιο κοντά χρονικά. Ο entropy encoder μετατρέπει τις δυαδικές αλληλουχίες σε συμπιεσμένη μορφή χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως variable-length coding, arithmetic coding. Τέλος η έξοδος του entropy encoder μαζί με πληροφορίες που πρέπει να έχει ο αποκωδικοποιητής για την αποκωδικοποίηση του τρέχοντος MB μπαίνουν σε συγκεκριμένη σειρά, σύμφωνα με το πρότυπο, παράγοντας μία δυαδική αλληλουχία (bitstream) η οποία μεταδίδεται ή αποθηκεύεται.

1.2.2 Ανάλυση του Reconstruction Path στον Κωδικοποιητή

Το reconstruction path έχει ως είσοδο το αποτέλεσμα X το οποίο περνάει από τις μονάδες αντίστροφου κβαντισμού και μετασχηματισμού. Μετά τον ανάστροφο μετασχηματισμό έχουμε το Dn’ MB. Το αποτέλεσμα της πρόσθεσης του Dn’ και του P είναι το (uFn’ – unfiltered reconstructed frame) ανακτημένο MB. Το uFn’ χρησιμοποιείται από την Intra μηχανή και μπαίνει στην είσοδο ενός φίλτρου. Η έξοδος αυτού Fn’ αποτελεί το φιλτραρισμένο ανακτημένο MB που χρησιμοποιείται από την Inter μηχανή.

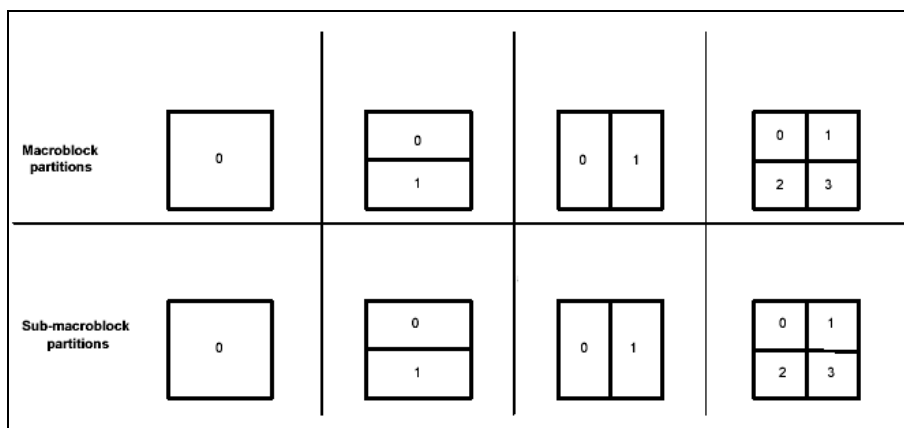
1.2.3 Αποκωδικοποιητής.

Σε έναν αποκωδικοποιητή, η είσοδος του είναι ένα bitstream το οποίο αποκωδικοποιείται αρχικά από δύο μονάδες “entropy encoder” και “reorder”. Το αποτέλεσμα (κβαντισμένοι συντελεστές μετασχηματισμού) μπαίνουν στο reconstruction Path όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Το αποτέλεσμα Fn’ αποτελεί την αποκωδικοποιημένη εικόνα.

1.2.4 Εισαγωγή στο Inter Prediction

Το inter prediction δημιουργεί ένα P-MB από ένα ή και περισσότερα προηγούμενα κωδικοποιημένα frames χρησιμοποιώντας την τεχνική “block based motion compensation”. Σύμφωνα με αυτή, προσπαθεί για ένα κομμάτι εικόνας (block), να βρει όμοιό του, σε προηγούμενες κωδικοποιημένες εικόνες. Όταν ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται συγκλίνει σε ένα block τότε χρησιμοποιεί αυτό σαν P-MB. Επίσης στην έξοδο του δίνει, σύμφωνα με μία μετρική, ένα νούμερο που περιγράφει την ομοιότητα του τρέχοντος MB και του P-MB. Τέλος υπολογίζει ένα διάνυσμα κίνησης (motion vector) που δείχνει τη σχετική θέση του P-MB σε σχέση με το τρέχον MB. Για παράδειγμα αν το τρέχον MB βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία του frame και το P-MB είναι 10 pixel πιο μέσα από τη δεξιά άκρη του frame και 14 pixel πιο κάτω από την πάνω άκρη του frame τότε ο motion vector έχει τιμή (10,14).

Το μέγεθος του block περιγράφεται στο πρότυπο και είναι από 16X16 έως 4X4. Κάθε MB μπορεί να διαιρεθεί σε sub-blocks με τέσσερις τρόπους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-2, σε ένα 16X16, σε δύο 16X8 και σε τέσσερα 8X8. Επιπρόσθετα το sub-block 8X8 μπορεί να διαιρεθεί με τέσσερις τρόπους, ένα 8X8, δύο 8X4 και τέσσερα 4X4.



Σχήμα 1-2: Macroblock partitions

Κάθε ένα είδος διαχωρισμού (partition type) περιγράφεται από έναν κωδικό και πρέπει να έχει ένα δικό του motion vector. Χρησιμοποιώντας μεγάλα blocks, η ποιότητα της ομοιότητας δεν είναι καλή, αλλά απαιτείται λιγότερη πληροφορία ελέγχου. Αντιστρόφως, χρησιμοποιώντας μικρά blocks η ποιότητα της ομοιότητας είναι πολύ καλή, αλλά απαιτείται μεγαλύτερη πληροφορία ελέγχου. Συνήθως μεγάλα blocks χρησιμοποιούνται για περιοχές της εικόνας που έχουν ομοιογένεια και μικρά σε περιοχές με έντονες εναλλαγές.

Η επιλογή του είδους διαχωρισμού γίνεται με βάση τα luma samples και η ίδια επιλογή εφαρμόζεται και στα chroma samples. Επίσης οι motion vectors που υπολογίζονται με βάση τα luma samples, χρησιμοποιούνται στα chroma samples.

Οι motion vectors έχουν ακρίβεια 1 pixel, $\frac{1}{2}$ pixel και $\frac{1}{4}$ pixel. Για την ακρίβεια του ενός pixel χρησιμοποιούνται τα samples pixels των εικόνων αναφοράς. Για τις μικρότερες ακρίβειες τα samples δεν υπάρχουν πραγματικά αλλά υπολογίζονται με interpolation των γειτονικών pixels. Το interpolation περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο του H.264. [1]

1.2.5 Εισαγωγή στο Intra Prediction

Η intra prediction μηχανή δημιουργεί το P-MB με βάση προηγούμενα κωδικοποιημένα MB του ίδιου frame που συνορεύουν με τη θέση του MB το οποίο θέλουμε να κωδικοποιήσουμε. Για κάθε P-MB χρησιμοποιείται μια ή και περισσότερες συναρτήσεις υπολογισμού που έχουν σαν είσοδο τιμές από τα γειτονικά samples και έξοδο την τιμή των samples (16X16=256 για luma samples και 8X8=64 samples για κάθε χρώμα) του P-MB. Για τα luma samples υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί μία συνάρτηση υπολογισμού για ολόκληρο το MB και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές συναρτήσεις για κάθε ένα από τα 16 (4X4

sub-MB) ή 4 (8x8 sub-MB) κομμάτια του macroblock. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν 4 διαφορετικές συναρτήσεις και στη δεύτερη και τρίτη 9.

Η επιλογή της συνάρτησης υπολογισμού γίνεται με βάση το κόστος όπως προκύπτει από την τεχνική RDO.

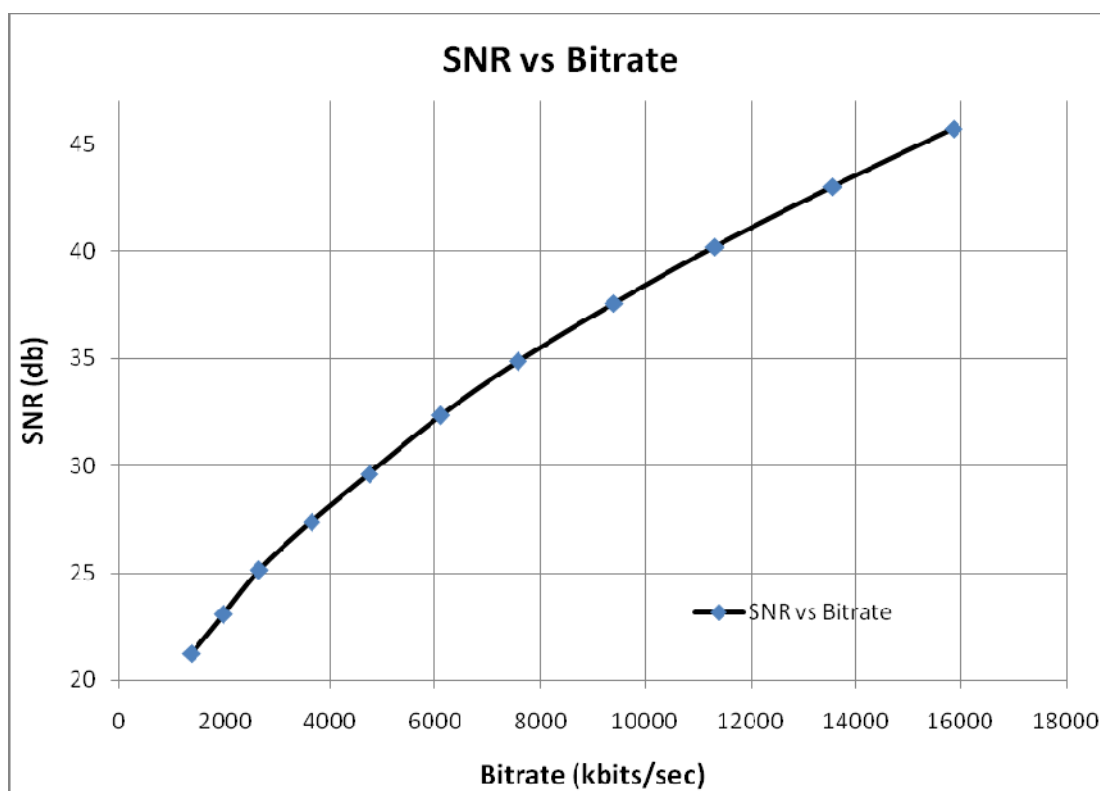
Για τα chroma samples χρησιμοποιείται μόνο 1 συνάρτηση υπολογισμού από τις 4 που ορίζονται στο πρότυπο για ολόκληρο το 8x8 MB. Επίσης η επιλογή της συνάρτησης στο ένα chroma (Cb) χρησιμοποιείται και στο άλλο (Cr).

Η έξοδος του Intra Prediction αποτελείται από το P-MB, την επιλογή των συναρτήσεων υπολογισμού και το κόστος του Intra prediction.

Η περιγραφή των intra modes και ο τρόπος υπολογισμού των intra prediction macroblock περιγράφονται αναλυτικά στο πρότυπο του H.264 [1].

2 Περιγραφή του αλγορίθμου συμπίεσης H.264

Σκοπός του αλγορίθμου είναι η κωδικοποίηση μιας αλληλουχίας frames (video) σε ένα bitstream. Το μέγεθος του bitstream πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο σε σχέση με την αλλοίωση του αρχικού video. Σαν μέτρο της αλλοίωσης του αρχικού video χρησιμοποιείται το μέγεθος PSNR. Η απόδοση ενός κωδικοποιητή συνήθως απεικονίζεται με ένα διάγραμμα SNR σε σχέση με το bitrate. Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 2-1) φαίνεται η απόδοση ενός κωδικοποιητή. Οπτικά η καμπύλη απόδοσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο πάνω αριστερά.



Σχήμα 2-1: Διάγραμμα SNR vs Bitrate

Η κωδικοποίηση του video γίνεται frame by frame παράγοντας για κάθε ένα frame ένα bitstream που ονομάζεται “NAL UNIT”. Κάθε frame αντίστοιχα κωδικοποιείται χωρίζοντάς το σε τμήματα (macroblocks) μεγέθους 16x16 pixels. Για κάθε MB παράγεται ένα bitstream που περιέχει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο κωδικοποίησής του.

Βλέποντας τον αλγόριθμο από πλευράς υλοποίησης διακρίνουμε τα παρακάτω βασικά τμήματα υλοποίησης.

Τμήμα παραγωγής Prediction MB. (Prediction machine)

Τμήμα μετασχηματισμού - κβαντοποίησης (ευθύς και αντίστροφος) (TQ- invTQ)

Τμήμα συμπίεσης συντελεστών μετασχηματισμού (VLC ή CABAC)

Τμήμα παραγωγής bitstream (NAL former)

2.1 Prediction machine

Το τμήμα αυτό του αλγορίθμου έχει ως είσοδο το current MB, καθώς και πληροφορίες από τον τρόπο συμπίεσης των προηγούμενων MBs (χωρικά και χρονικά). Σκοπό έχει την επιλογή ενός MB (prediction MB) που είναι όσο το δυνατόν όμοιο με το αρχικό MB (current MB) που θέλουμε να κωδικοποιήσουμε. Οι επιλογές που υπάρχουν περιγράφονται από το πρότυπο. Ο κωδικοποιητής είναι υπεύθυνος της επιλογής ώστε η ποιότητα της αποκωδικοποιημένης εικόνας συναρτήσει του bitrate να είναι η καλύτερη δυνατή. Για τη βέλτιστη επιλογή του prediction MB ένας κωδικοποιητής ιδανικά πρέπει να ψάξει όλες τις δυνατές επιλογές. Αυτό σημαίνει, για κάθε μία να υπολογίσει την απώλεια ποιότητας και τα απαιτούμενα bits. Πρακτικά αυτό είναι αδύνατο και μη εφαρμόσιμο λόγω της μεγάλης υπολογιστικής ισχύς που απαιτείται. Για παράδειγμα σε έναν κωδικοποιητή όπου είναι ενεργοποιημένη μόνο η μηχανή INTRA υπάρχουν 184 δυνατές περιπτώσεις για το LUMA μέρος του MB. Για πρακτικές υλοποιήσεις έχουν μελετηθεί διάφοροι αλγόριθμοι και τεχνικές, οι οποίες μειώνουν την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ με μείωση της απόδοσης του κωδικοποιητή. Μία ευρέως διαδεδομένη από αυτές τεχνική είναι η Rate-distortion optimization.

2.2 TQ/- invTQ

Το τμήμα μετασχηματισμού (ευθύ και αντίστροφος) έχει ως εισόδους το prediction MB, το current MB και την τιμή του παράγοντα ποιότητα Q. Έξοδοι του τμήματος είναι οι τιμές των συντελεστών μετασχηματισμού καθώς και η παραγωγή του αποκωδικοποιημένου MB. Η διαφορά στο αποκωδικοποιημένο MB και στο current MB δεν οφείλεται στο μετασχηματισμό αλλά στην κβαντοποίηση που γίνεται μετά τον ευθύ μετασχηματισμό. Το μέτρο της κβαντοποίησης ορίζεται από τον παράγοντα Q που δύναται να αλλάζει ανά MB. Το MB που θα υποστεί μετασχηματισμό είναι η διαφορά D_n -MB του current MB και του prediction MB και οι συντελεστές μετασχηματισμού αφορούν το D_n -MB. Όπως είναι φανερό όσο όμοιο είναι το current MB με το prediction MB, το D_n -MB έχει μικρές τιμές. Η αποδοτικότερη περίπτωση είναι αυτή όπου το D_n έχει μικρές τιμές ώστε η αλλοίωση από την κβαντοποίηση να είναι ελάχιστη. Ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιείται είναι ένας 4X4 τροποποιημένος μετασχηματισμός συνημίτονου με πράξεις ακεραίων.

2.3 VLC

Το τμήμα του VLC έχει σαν είσοδους τους συντελεστές μετασχηματισμού του Dn-MB και σαν έξοδο μια δυαδική αλληλουχία. Η δυαδική αλληλουχία (bitstream) παράγεται με τρόπο μονοσήμαντο περιγραφόμενο από το πρότυπο. Το μέγεθος της παραγόμενης δυαδικής αλληλουχίας εξαρτάται μόνο από τους συντελεστές μετασχηματισμού με 4 διάφορους τρόπους.

Απόλυτη τιμή συντελεστών

Αριθμός μη μηδενικών συντελεστών

Θέση των μη μηδενικών συντελεστών

Τιμές των συντελεστών των γειτονικών sub-MB

Οι συντελεστές μετασχηματισμού εξαρτώνται από τον παράγοντα ποιότητας που χρησιμοποιείται στη κβαντοποίηση και φυσικά από τις τιμές του πίνακα των διαφορών που μετασχηματίζεται. Ο παράγοντας ποιότητας είναι σταθερός και επιλεγμένος για κάθε τρόπο συμπίεσης και δεν περιλαμβάνεται στη διαδικασία πρόβλεψης του παραγόμενου bitstream.

2.4 Nal former

Το τμήμα του Nal former είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του bitstream. Σαν εισόδους το τμήμα αυτό έχει τα παρακάτω :

Το παραγόμενο bitstream του vlc

Τον τρόπο συμπίεσης κάθε MB από το τμήμα prediction

Την θέση του MB μέσα στο Frame

Το παραγόμενο bitstream είναι η συμπιεσμένη μορφή του video. Η αναδημιουργία του video γίνεται με ένα αποκωδικοποιητή H.264. Το συμπιεσμένο bitstream είναι οργανωμένο σε αυτόνομα αναγνωρίσιμα τμήματα που ονομάζονται NAL Unit (Network Abstraction Layer). Τα NAL unit έχουν διάφορους τύπους, ανάλογα με τους οποίους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στη μια κατηγορία περιλαμβάνονται τα NAL Unit που δεν περιέχουν πληροφορία εικόνας, αλλά πληροφορίες σχετικά με το γενικό τρόπο συμπίεσης και τα χαρακτηριστικά του video. Για παράδειγμα η ανάλυση του video, το frame rate καθώς και αν χρησιμοποιείται το deblocking filter. Τα NAL unit που περιέχουν πληροφορία για ένα frame έχουν την εξής μορφή:

Frame Header	Macroblock 1 Header	Macroblock1 data	Macroblock N Header	Macroblock N data
--------------	---------------------	------------------	-------	---------------------	-------------------

Η οργάνωση και η δομή των NAL units περιγράφεται στο πρότυπο [1].

Ένας αποκωδικοποιητής video πρέπει να ξέρει με κάποιο τρόπο τον τρόπο συμπίεσης κάθε macroblock. Αυτό γίνεται βάζοντας στο macroblock header πεδίο, μεταξύ άλλων και την πληροφορία αυτή.

Στην περίπτωση κωδικοποίησης κατά Intra16x16 απαιτείται ένα μόνο πεδίο (mb_type). Η τιμή αυτή εξαρτάται από το mode επιλογής του macroblock και εμμέσως από το Q (παράγοντας ποιότητας).

Στη περίπτωση κωδικοποίησης κατά Intra4x4 απαιτείται το παρακάτω πεδία.

- Mb_type
- Intra_4x4_pred_mode (16 φορές)
- Coded_block_pattern

Η τιμή του mb_type είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από την επιλογή των modes των 16 sub-MB.

Η τιμή Intra_4x4_pred_mode εξαρτάται άμεσα από το mode των sub-modes, όχι μόνο από το κάθε ένα ξεχωριστά αλλά συνδυασμένα με την επιλογή των γειτονικών sub-modes.

Η τιμή του Coded_block_pattern εξαρτάται από την επιλογή των modes και εμμέσως από το Q.

2.5 Απόδοση κωδικοποιητή

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, η απόδοση ενός κωδικοποιητή μετράται με το SNR σε σχέση με το bitrate. Η απόδοση αυτού εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα «εργαλεία» που περιγράφονται στο πρότυπο, τα οποία χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα δύο κωδικοποιητές που διαφέρουν μόνο στο τμήμα του entropy encoding έχουν διαφορετική απόδοση. Επίσης ένας κωδικοποιητής που χρησιμοποιεί τα mode 4x4 του intra είναι γενικά καλύτερος από έναν που δεν τα χρησιμοποιεί. Το πρότυπο περιγράφει αρκετά εργαλεία συμπίεσης που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας κωδικοποιητής. Η χρησιμοποίηση των εργαλείων αυτών σε μια υλοποίηση λογισμικού απαιτεί υπολογιστική ισχύ, ενώ σε μία υλοποίηση υλικού απαιτεί περισσότερη επιφάνεια πυριτίου. Γενική αρχή είναι ότι τα εργαλεία που πετυχαίνουν καλύτερη απόδοση απαιτούν περισσότερη υπολογιστική ισχύ και πολύπλοκα κυκλώματα σε υλικό.

Με δεδομένη την επιλογή των εργαλείων που χρησιμοποιεί ένας κωδικοποιητής, σημαντικός παράγοντας για την απόδοσή του είναι ο τρόπος αξιοποίησης αυτών. Η χρήση για παράδειγμα των intra 4x4 μπορεί να υποστηρίζεται από έναν κωδικοποιητή αλλά η βέλτιστη επιλογή των mode 4x4 απαιτεί ξεχωριστό κύκλωμα το οποίο μπορεί να κάνει την διαφορά στην απόδοση. Στο πρότυπο του H.264, όπως και σε κάθε πρότυπο video codec δεν

περιγράφεται ο τρόπος αξιοποίησης των εργαλείων. Αυτό το θέμα είναι του σχεδιαστή του κωδικοποιητή και αντικείμενο έρευνας και μελέτης.

Η απόλυτα βέλτιστη υλοποίηση ενός κωδικοποιητή είναι η παραγωγή του bitstream για κάθε δυνατό συνδυασμό των εργαλείων ανά macroblock και η επιλογή του συνδυασμού που δίνει το καλύτερο SNR/bitrate. Φυσικά όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί είναι πάρα πολλοί και η υπολογιστική ισχύ που απαιτείται τεράστια με αποτέλεσμα μια τέτοια υλοποίηση να είναι πρακτικά αδύνατη.

Ένας σημαντικός παράγοντας υλοποίησης είναι ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία ενός macroblock, και κατά επέκταση ο αριθμός των frames που κωδικοποιούνται σε 1 sec. (frame per second fps). Ο παράγοντας αυτός είναι η τρίτη παράμετρος (SNR, bitrate, fps) που περιγράφει την απόδοση ενός κωδικοποιητή. Σε μία υλοποίηση πραγματικού χρόνου ο κωδικοποιητής έχει στη διάθεσή του συγκεκριμένο χρόνο να επεξεργαστεί κάθε macroblock και να επιλέξει το βέλτιστο τρόπο συμπίεσης.

Τέλος ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία ενός macroblock, σε πραγματική εφαρμογή, μετασχηματίζεται σε εμβασμό υλικού στην περίπτωση υλοποίησης σε υλικό. Αν έχουμε ένα κύκλωμα που μπορεί να πετύχει για παράδειγμα 60 fps, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο φορές το κύκλωμα αυτό για να κωδικοποιήσουμε 2 video που έχουν ρυθμό στα 30 fps. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου το κύκλωμα θα είχε απόδοση μικρότερη των 60 fps, θα υπήρχε η ανάγκη χρησιμοποίησης ενός δεύτερου κυκλώματος που θα διπλασίαζε την απαίτηση σε υλικό.

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι μια απλή υλοποίηση του προτύπου είναι πρακτικά μη εφαρμόσιμη και αποδεκτή. Πολλές εργασίες και ερευνητική δουλειά [2]..[8] έχουν γίνει με αντικείμενο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του κωδικοποιητή. Αρκετές από αυτές ασχολούνται με τη σχεδίαση αλγορίθμων που μειώνουν την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ για τους υπολογισμούς των εργαλείων του προτύπου. (για παράδειγμα μετασχηματισμό, entropy encoding, παραγωγή prediction MB κατά Intra και Inter).

Επίσης εργασίες έχουν γίνει για την ανάπτυξη τεχνικών μείωσης του αριθμού των επιλογών των prediction modes. Σημαντική δουλειά έχει γίνει πάνω στην υλοποίηση αυτών των τεχνικών που σε αρκετές περιπτώσεις δεν είναι εφικτές για υλοποίηση σε υλικό.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με υλοποιήσεις σε υλικό. Αντικείμενο της μελέτης είναι η εύρεση τεχνικών και αλγορίθμων κατάλληλων για υλικό που οδηγούν στην αύξηση της απόδοσης ενός κωδικοποιητή ή μείωση σε απαίτηση σε υλικό κρατώντας την απόδοση στα ίδια επίπεδα.

2.6 Δομή της διατριβής

Η παρούσα διατριβή διαρθρώνεται σε 5 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές έννοιες για το πρότυπο του H.264 για να είναι κατανοητή η ορολογία που

χρησιμοποιείται στα επόμενα κεφάλαια. Επίσης περιγράφεται με αφαιρετικό τρόπο το πρότυπο για να αποκτήσει ο αναγνώστης μια πρώτη επαφή με το αντικείμενο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται ο αλγόριθμος του H.264 από τη σκοπιά του κωδικοποιητή. Σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται περισσότερες πληροφορίες για κάθε δομική μονάδα ενός κωδικοποιητή παρουσιάζοντας τις ιδιαιτερότητές τους. Επίσης μέσω της περιγραφής γίνεται αντιληπτό το ερευνητικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει η υλοποίηση ενός κωδικοποιητή και ανακλύπτουν τα ερευνητικά πεδία.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν για την ερευνητική δουλειά καθώς και τα αποτελέσματα της υλοποίησης σε υλικό. Λογισμική υλοποίηση του κωδικοποιητή αναπτύχθηκε δίνοντας την δυνατότητα για πειραματισμούς και εξαγωγή αποτελεσμάτων. Η διάρθρωση του λογισμικού επιλέχθηκε με βάση τη μοντελοποίηση της υλοποίησης σε υλικό. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας υλοποίησης σε υλικό δίνοντας τα σχετικά μεγέθη υλικού των τμημάτων του κωδικοποιητή. Κρίθηκε απαραίτητη αυτή η υλοποίηση για έρευνα στα τμήματα με τη μεγαλύτερη απαίτηση σε υλικό. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση στο τμήμα INTRA και στις μετρικές αποκλίσεις. Περιγράφεται το κύκλωμα υλοποίησης του τμήματος 16×16 και 4×4 και δίνονται τα αποτελέσματα της υλοποίησης και της απόδοσης τους. Τέλος δίνεται η περιγραφή της προτεινόμενης μετρικής και τα αποτελέσματα της υλοποίησής της.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στη μελέτη του τμήματος 16×16 . Στην αρχή περιγράφεται η τεχνική “Rate-distortion optimization” και πως αυτή εφαρμόζεται στον κωδικοποιητή AVC. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της δυαδικής αλληλουχίας που παράγεται για την περιγραφή ενός macroblock. Ακολουθεί η περιγραφή του προβλήματος της χρήσης της μετρικής σαν τεχνική επιλογής του καλύτερου τρόπου συμπίεσης. Τέλος, γίνεται ανάλυση της απόδοσης των μετρικών αποκλίσεων, όπου προκύπτει ότι η προτεινόμενη μετρική δίνει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα SNR με μείωση του μεγέθους πάνω από 40%.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναλύει το τμήμα 4×4 . Γίνεται σύγκριση των μετρικών αποκλίσεων που εφαρμόστηκαν στο τμήμα 16×16 και αναλύονται τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια περιγράφεται μια νέα μέθοδος επιλογής που δεν βασίζεται στις μετρικές αποκλίσεις αλλά στην πρόβλεψη του αριθμού των bits. Η νέα μέθοδος δίνει παραπλήσια αποτελέσματα με τη μετρική SATD με μείωση του μεγέθους κατά 15%.

3 Υλοποίηση H.264

Στα πλαίσια της έρευνας πάνω στο πρότυπο του H.264 αναπτύχθηκε λογισμικό και υλικό κωδικοποίησης H.264. Οι υλοποιήσεις αυτές είναι δυνατά εργαλεία για την έρευνα και μελέτη του προτύπου του H.264.

3.1 Υλοποίηση σε λογισμικό

Το λογισμικό είναι ένας baseline κωδικοποιητής 100% συμβατός με το πρότυπο H.264. Το λογισμικό αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ στο περιβάλλον ανάπτυξης “Visual Studio 2005” της Microsoft και είναι συμβατό με λειτουργικό σύστημα Windows. Το λογισμικό είναι της μορφής DLL (dynamic link library) και συνοδεύεται από command line εφαρμογή. Η δεύτερη είναι υπεύθυνη για τη σωστή κλήση του DLL. Έχει σαν είσοδο ένα αρχείο παραμέτρων συμπίεσης και στην έξοδό του δημιουργείται το συμπιεσμένο αρχείο H.264 συμβατό με το Annex B του προτύπου. Η ανάπτυξη του λογισμικού έγινε με γνώμονα τη μοντελοποίηση της υλοποίησης σε υλικό και όχι την ταχύτητα εκτέλεσης.

Οι παράμετροι της συμπίεσης είναι οι ακόλουθοι :

- InputFile Όνομα αρχείου εισόδου
- FramesToBeEncoded Αριθμός frames για συμπίεση
- FrameRate FPS video
- SourceWidth Οριζόντια ανάλυση video
- SourceHeight Κατακόρυφη ανάλυση video
- IDRPeriod Περίοδος εμφάνισης I frame
- Q factor Παράγοντας ποιότητας
- Enable Intra Mode Ενεργοποίηση I4x4, 16x16 modes
- Enable Fast4x4 Απενεργοποίηση 3 από το 9 Mode I4x4
- Disable Plane 16x16 Απενεργοποίηση I16x16 Plane mode
- Metric Select Επιλογή μετρικής (SAD,SATD, phd, best mode)
- Chroma Best Mode Επιλογή mode χρώματος Best or metric select
- Enable Motion Estimation Ενεργοποίηση μηχανής Inter

- Enable MB partition Ενεργοποίηση MB partition
- Enable Half Quarter pel Ενεργοποίηση ακρίβειας $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ pixel στη μηχανή Inter
- Enable M.E force stop Ενεργοποίηση μηχανισμού τερματισμού μηχανής Inter
- M.E search cycles Κύκλοι λειτουργίας μηχανής Inter
- Enable Deblocking Filter Ενεργοποίηση deblocking filter
- Deblocking Filter Alpha A παράμετρος deblocking filter
- Deblocking Filter Beta B παράμετρος deblocking filter

Η εφαρμογή “command line” διαβάζει το αρχείο παραμέτρων, ελέγχει το αρχείο ασυμπίεστου video (μορφής YUV) και κάνει κλήση της συνάρτησης συμπίεσης που βρίσκεται στο αρχείο DLL. Τα χαρακτηριστικά συμπίεσης που υποστηρίζει το λογισμικό περιγράφονται στη συνέχεια.

Το λογισμικό υποστηρίζει τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά ενός baseline encoder που περιγράφονται στο πρότυπο. Η μέγιστη ανάλυση video που υποστηρίζει είναι 2048X2048. Έχει υλοποιηθεί η μηχανή Intra Prediction που υποστηρίζει όλα τα mode του I16x16, του I4x4 καθώς και του χρώματος 8x8. Η μηχανή επιλογής του καλύτερου mode είναι βασισμένη στο “Low complexity mode” του reference encoder JM. Η μετρική που χρησιμοποιείται είναι SAD, SATD, best και προτεινόμενη μετρική. Επίσης ειδικά για τα modes I4x4 υπάρχει μια διαφορετική μηχανή επιλογής που βασίζεται στην προτεινόμενη λύση. Σαν είσοδο η μηχανή έχει το current MB, τα γειτονικά samples του MB, τον παράγοντα ποιότητας καθώς και τα mode που είναι ενεργοποιημένα.. Σαν έξοδο η μηχανή δίνει το βέλτιστο prediction MB (είτε I4x4 είτε I16x16) καθώς και το κόστος επιλογής.

Η μηχανή Inter prediction είναι υλοποιημένη με ένα reference frame. Στην παρούσα υλοποίηση υποστηρίζεται ακρίβεια full, $\frac{1}{2}$ και $\frac{1}{4}$ pixel με υπολογισμό όλων των δυνατών συνδυασμών. Επίσης υποστηρίζεται MB partition μέχρι μέγεθος 8x8. Η μετρική που χρησιμοποιείται είναι η SAD σε όλα τα στάδια και ο αλγόριθμος επιλογής είναι βασισμένος επίσης στο “Low complexity mode” του reference encoder JM. Η μηχανή έχει σαν είσοδο το current MB, τον παράγοντα ποιότητας, το reference frame και δίνει το βέλτιστο prediction MB, τους motion vectors και το κόστος επιλογής.

Στο λογισμικό έχει υλοποιηθεί το τμήμα του μετασχηματισμού και της κβαντοποίησης καθώς και η αντίστροφη διαδικασία. Η υλοποίηση είναι σύμφωνη με το πρότυπο και στην έξοδο της παράγει τους μετασχηματισμένους συντελεστές καθώς και το reconstructed MB.

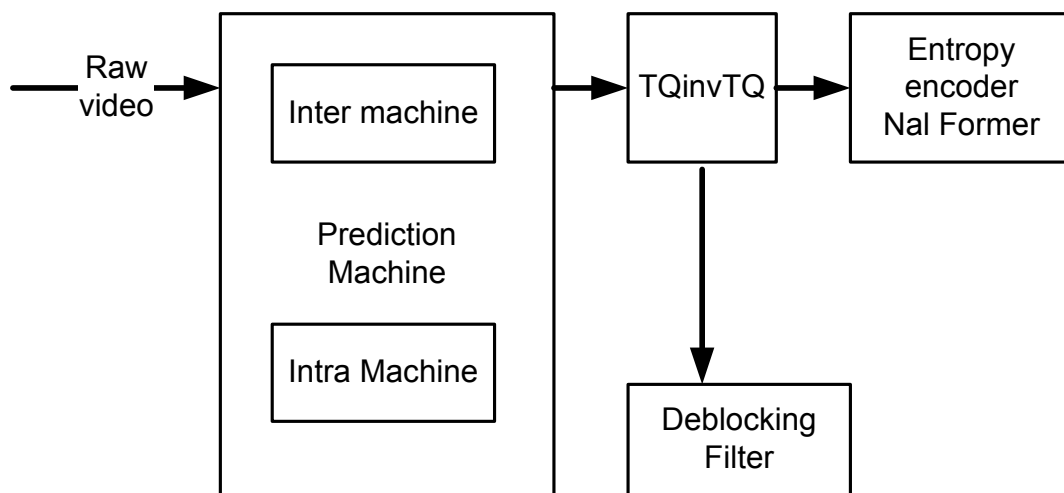
Το deblocking filter καθώς και ο entropy encoder τύπου CAVLC έχουν υλοποιηθεί πλήρως. Η υλοποίηση αυτών καθώς και του μετασχηματισμού δεν έχουν κανένα ερευνητικό ενδιαφέρον αφού περιγράφονται πλήρως στο πρότυπο και από λειτουργικής άποψης πρέπει να είναι σύμφωνα με αυτό. Τέλος ο σχηματισμός του NAL αρχείου έχει υλοποιηθεί ώστε να παράγεται συμπίεσμένο αρχείο για επικύρωση της ορθής λειτουργίας.

Η χρήση του λογισμικού επιτρέπει την παραγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την απόδοση του κωδικοποιητή (biterate vs snr) καθώς και τον πειραματισμό στις παραμέτρους κωδικοποίησης.

3.2 Υλοποίηση σε υλικό

Το υλικό έχει περιγραφεί σε γλώσσα περιγραφής υλικού VHDL. Η περιγραφή των κυκλωμάτων είναι τύπου RTL (Register Transfer Level) η οποία επιτρέπει την υλοποίηση σε οποιαδήποτε τεχνολογία (ASIC, FPGA).

Το απλοποιημένο διάγραμμα των τμημάτων του κωδικοποιητή φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 3-1) και αποτελείται κυρίως από 4 τμήματα. Το τμήμα παραγωγής του prediction macroblock, το τμήματα μετασχηματισμού, το τμήμα entropy κωδικοποίησης και προαιρετικά το τμήμα του deblocking filter. Το μέγεθος του κωδικοποιητή, που υλοποιήθηκε (με μετρικές SATD στα INTRA και SAD στο Inter), είναι 266.493 πύλες χωρίς να υπολογίζονται τα τμήματα των εσωτερικών μνημών (Αριθμός μνημών 40,180 kbits). Για την υλοποίηση των αριθμητικών κυκλωμάτων έχουν εφαρμοστεί τεχνικές που προέκυψαν από σχετική έρευνα, κυρίως στα κυκλώματα πολλαπλασιασμού.



Σχήμα 3-1: Διάγραμμα τμημάτων κωδικοποιητή

Ο κωδικοποιητής είναι πλήρως λειτουργικός χωρίς να του λείπουν τμήματα. Η παραμετροποίηση του, καθώς και η αποστολή του συμπιεσμένου video γίνεται μέσω γενικού interface με επεξεργαστή. Διαθέτει δύο κανάλια DMA για επικοινωνία με το ασυμπιεστο video, καθώς και με περιοχή μνήμης για προσωρινή αποθήκευση δεδομένων. Αναλυτικά το μέγεθος κάθε τμήματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Το μεγαλύτερο τμήμα είναι αυτό του prediction machine και ειδικότερα του τμήματος intra. Τα τμήματα του κωδικοποιητή έχουν εκείνη την παραλληλία που τους επιτρέπει να λειτουργούν συγχρονισμένα, έχοντας την ίδια απόδοση ώστε να μην καθυστερεί το ένα τμήμα το άλλο. Ο κωδικοποιητής έχει 3 στάδια pipeline. Κάθε τμήμα είναι και ένα pipeline εκτός του filter που είναι στο ίδιο pipeline με τον

entropy encoder. Κάθε ένα pipeline στάδιο χρειάζεται περίπου 1600 κύκλους ρολογιού για να επεξεργαστεί ένα macroblock.

Το Inter τμήμα στους κύκλους αυτούς ψάχνει τη θέση του macroblock που ταιριάζει καλύτερα σε μια περιοχή 48X48 pixels. Η μετρική που χρησιμοποιείται είναι SAD και στη full pixel, καθώς και στη 1/2 και 1/4 pixel ακρίβεια. Στη σχεδίαση και υλοποίηση του τμήματος αυτού έχουν ενσωματωθεί τρόποι και υποδείξεις από τη διεθνή βιβλιογραφία. Τα βασικά κυκλώματα του τμήματος αυτού είναι η μηχανή SAD, μικρού μεγέθους, τα κυκλώματα interpolation για το Quarter pixel, τα 6-tap filter για την παραγωγή των Half pixel.

Το intra τμήμα θα αναλυθεί εκτενώς στη συνέχεια.

Το τμήμα Entropy Encoder είναι ενσωματωμένο με τη μορφοποίηση του NAL. Στην υλοποίηση έχει εφαρμοστεί ο CAVLC. Για κάθε macroblock σχηματίζεται η επικεφαλίδα (header), η οποία περιέχει κωδικοποιημένα τον τρόπο συμπίεσης αυτού. Στη συνέχεια ακολουθούν οι κωδικοποιημένοι συντελεστές μετασχηματισμού όπως παράγονται από τον CAVLC. Το μέγεθος του κυκλώματος δεν είναι μεγάλο, διότι περιέχει βασικά μόνο «state machine» και μικρές μνήμες ROM.

Τέλος το deblocking filter είναι υπεύθυνο για την υλοποίηση της παραγράφου 8.7 του προτύπου. Σύμφωνα με αυτή σε κάθε ακμή των sub-macroblocks 4x4 εφαρμόζεται φίλτρο 6-tap. Το βασικό κύκλωμα του τμήματος είναι τα φίλτρα, που είναι υλοποιημένα 4 παράλληλα για αύξηση της ταχύτητας.

Τμήμα	Υπό- τμήμα	Αριθμός πυλών	Ποσοστό
Prediction Machine		191.903	72
	Inter machine	71.018	27
	Intra machine	120.885	45
TQinvTQ		41.129	15
Entropy Encoder/ former	Nal	11.839	5
Deblocking Filter		21.622	8
ΣΥΝΟΛΟ		266.493	100

Πίνακας 3-1 Μέγεθος τμημάτων κωδικοποιητή

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3-1) γίνεται φανερό ότι το τμήμα ενός κωδικοποιητή εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του prediction machine και ειδικότερα από τη μηχανή INTRA. Πρέπει να τονιστεί ότι η μηχανή INTRA είναι πλέον απαραίτητη σε ένα κωδικοποιητή και χωρίς αυτή δεν μπορεί να λειτουργήσει και να παράγει συμβατό κωδικοποιημένο bitstream με το πρότυπο. Η μηχανή INTER δεν είναι απαραίτητη θεωρητικά για τη λειτουργία ενός κωδικοποιητή. Υπάρχουν εφαρμογές με προδιαγραφές που δεν

χρειάζονται τη μηχανή INTER. Η απόδοση ενός κωδικοποιητή με χρήση μόνο της INTRA μηχανής είναι στα ίδια επίπεδα με αυτή ενός MPEG-2 κωδικοποιητή.

Η μηχανή INTER αυξάνει θεαματικά την απόδοση του κωδικοποιητή σε σχέση με το μέγεθος κυκλώματος που απαιτεί. Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 3-2) και από τους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 3-2 & Πίνακας 3-3) φαίνεται η απόδοση ενός κωδικοποιητή με και χωρίς τη μηχανή INTER. Για το διάγραμμα χρησιμοποιήθηκε το video αναφοράς “news_cif.yuv” με τον κωδικοποιητή αναφοράς JM-15. Το συγκεκριμένο video είναι ημι-στατικό για να τονιστεί η λειτουργία της μηχανής, η οποία αξιοποιεί τις χρονικές ομοιότητες του video.

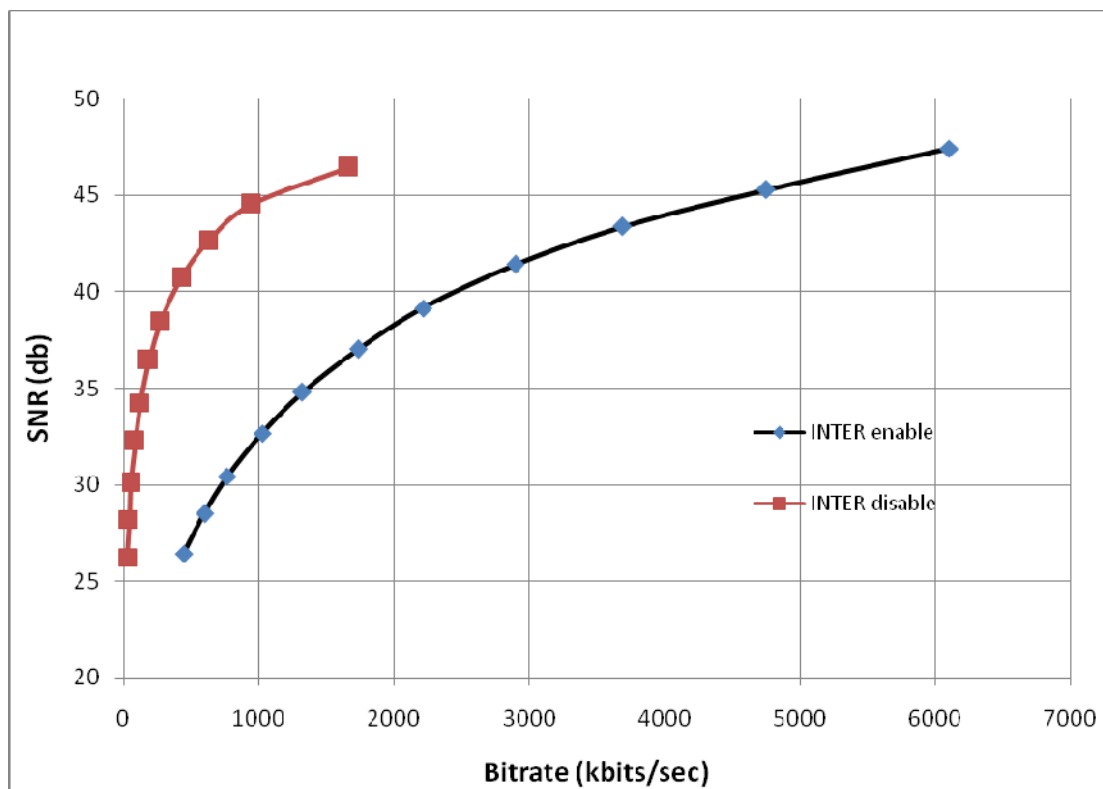
Sequence: News_cif.yuv Inter disable		
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	47.4	6105
19	45.28	4753
22	43.36	3690
25	41.39	2895
28	39.15	2214
31	37.02	1734
34	34.77	1322
37	32.67	1026
40	30.43	769
43	28.51	601
46	26.42	446

Πίνακας 3-2 Τιμές SNR & Bitrate

Sequence: News_cif.yuv Inter enable		
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	46.42	1664
19	44.51	947
22	42.6	626
25	40.69	426
28	38.5	278
31	36.43	189
34	34.24	124
37	32.24	85
40	30.08	56

43	28.21	41
46	26.24	29

Πίνακας 3-3 Τιμές SNR & Bitrate



Σχήμα 3-2 Διάγραμμα απόδοσης INTER μηχανής

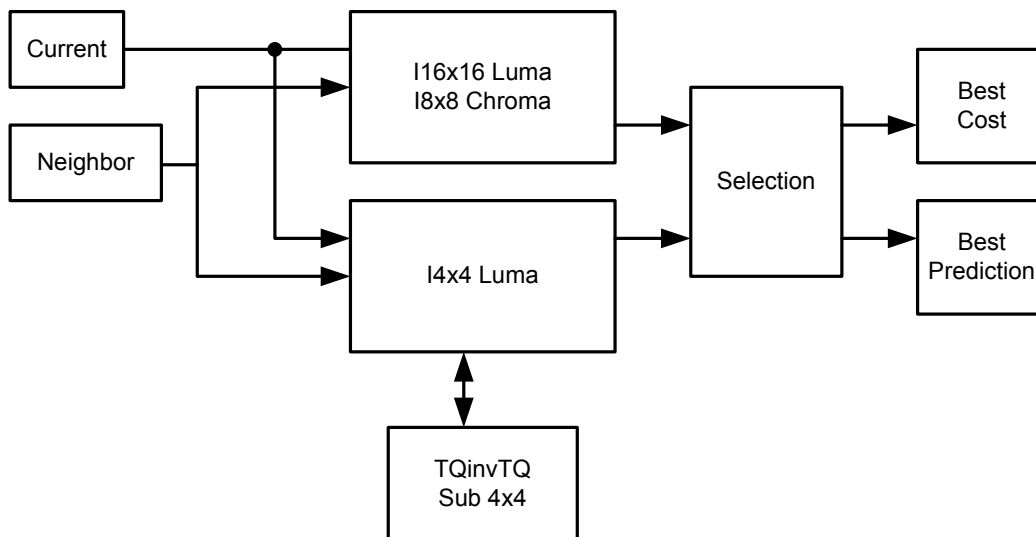
Από την απόδοση της μηχανής INTER γίνεται φανερό ότι η χρήση της μονό απαραίτητη είναι. Για το λόγο όμως ότι η μηχανή INTRA είναι με βάση το πρότυπο απαραίτητη και το μέγεθός της είναι περίπου το 45% του συνόλου του μεγέθους ενός κωδικοποιητή, είναι αντικείμενο μελέτης. Η μελέτη αυτή αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του μεγέθους της μηχανής, ενώ ταυτόχρονα πρέπει η απόδοση αυτής να μην αλλοιωθεί.

3.3 Υλοποίηση μηχανής INTRA

Η μηχανή INTRA αποτελείται από δύο βασικά τμήματα. Το τμήμα της παραγωγής του LUMA 16x16 και Chroma 8x8, και το τμήμα παραγωγής του LUMA 4x4 (Σχήμα 3-3). Η είσοδος της μηχανής είναι το προς κωδικοποίηση macroblock (current) καθώς και οι γειτονικές τιμές των δειγμάτων από τα προηγούμενα κωδικοποιημένα macroblocks. Η έξοδος της μηχανής είναι το κόστος της επιλογής του Intra mode, καθώς και το ίδιο intra mode και το prediction macroblock.

Τα δύο βασικά τμήματα δουλεύουν ανεξάρτητα και παράλληλα χωρίς να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το κάθε τμήμα παράγει το δικό του αποτέλεσμα και στη συνέχεια επιλέγεται το

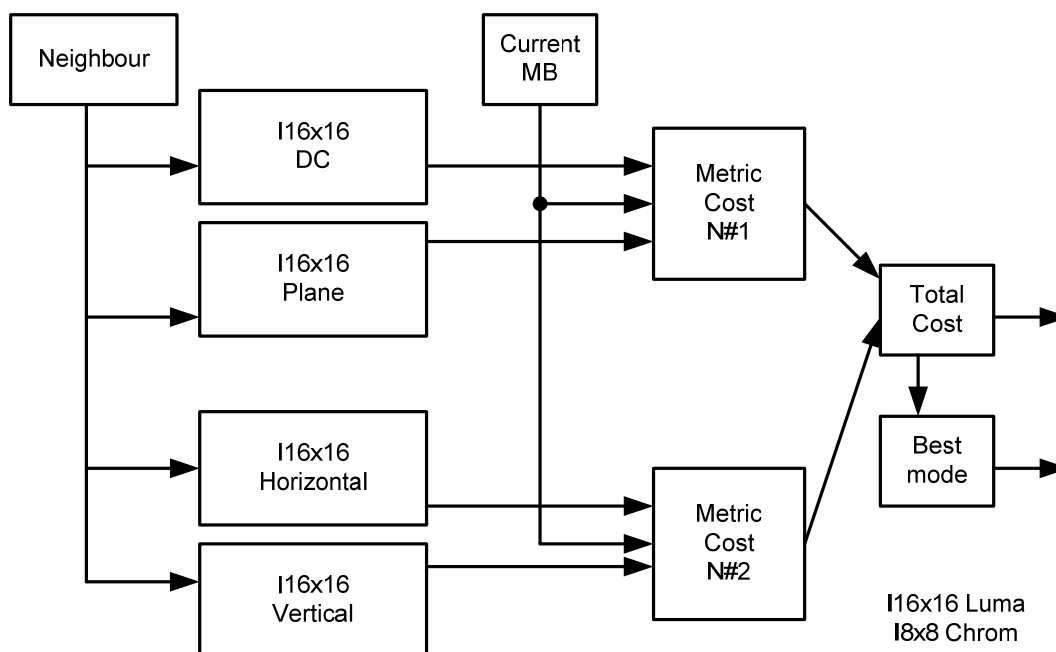
καλύτερο αποτέλεσμα σαν γενικό αποτέλεσμα. Στη υλοποίηση που επιλέχθηκε οι γειτονικές τιμές φυλάσσονται σε flip-flops ενώ οι τιμές του current MB σε μνήμη.



Σχήμα 3-3: Διάγραμμα τμημάτων μονάδας Intra machine

3.3.1 Μηχανή 116x16

Το τμήμα 116x16-18x8 αποτελείται από δύο τμήματα. (Σχήμα 3-4) Το πρώτο τμήμα είναι υπεύθυνο για την παραγωγή των prediction macroblocks (DC, Plane, Vertical και Horizontal) με βάση τις γειτονικές τιμές, ενώ το δεύτερο τμήμα είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του αντίστοιχου κόστους. Ανάλυση των μηχανών κόστους θα γίνει σε επόμενη παράγραφο.



Σχήμα 3-4: Διάγραμμα τμημάτων μονάδας παραγωγής prediction 16x16 / 8x8

Η παραγωγή των prediction macroblocks είναι αριθμητικά κυκλώματα, η λειτουργία των οποίων περιγράφεται αναλυτικά και μονοσήμαντα στο πρότυπο του H.264. Το μέγεθος του τμήματος αυτού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παραλληλία που θα χρησιμοποιηθεί. Ο υπολογισμός του prediction πρέπει να είναι συγχρονισμένος με τα current δεδομένα για τον αποδοτικό υπολογισμό του κόστους. Τα current δεδομένα είναι αποθηκευμένα στη μνήμη και σε κάθε κύκλο είναι διαθέσιμα από 1 έως και 8 samples (εύρος data bus 8..64 bits) ανάλογα με τον τύπο της μνήμης. Η μελέτη της αρχιτεκτονικής όλου του κωδικοποιητή έγινε, λαμβάνοντας υπόψη τις αλληλεξαρτήσεις που υπάρχουν μεταξύ των τμημάτων, επιλέχθηκε σαν βέλτιστη λύση ο υπολογισμός σε κάθε κύκλο ρολογιού δύο τιμών του prediction macroblock.

Στο τμήμα υπολογισμού του prediction είναι ενσωματωμένο και το κύκλωμα παραγωγής των διευθύνσεων της μνήμης current, ώστε να εξασφαλισθεί ο συγχρονισμός των δεδομένων. Λόγω της ομοιότητας των modes του Luma και του Chroma τα κυκλώματα υπολογισμού είναι κοινά. Ο έλεγχος των κυκλωμάτων γίνεται από ένα κεντρικό κύκλωμα καταστάσεων. Το κύκλωμα αυτό έχει σαν είσοδο ένα σήμα εκκίνησης και παράγει σήματα ελέγχου για τα αριθμητικά κυκλώματα καθώς και ένα σήμα τερματισμού.

Τα κυκλώματα υπολογισμού των prediction macroblock μπορούν να δουλεύουν σειριακά ή παράλληλα. Ο αριθμός των κυκλωμάτων που υπολογίζουν το κόστος των modes εξαρτάται από τον αριθμό των κυκλωμάτων που δουλεύουν παράλληλα. Δεδομένου του μεγάλου μεγέθους του κυκλώματος υπολογισμού του κόστους, η επιλογή της παράλληλης λειτουργίας δεν είναι η αποδοτικότερη. Επίσης η σειριακή λειτουργία μπορεί να είναι αρκετά αργή δεδομένου ότι τα ίδια κυκλώματα χρησιμοποιούνται και το για chroma.

Για τον υπολογισμό ενός prediction mode luma απαιτούνται $16 \times 16 / 2 = 128$ κύκλοι ρολογιού. Επίσης για ένα chroma mode απαιτούνται $8 \times 8 / 2 = 32$ κύκλοι ρολογιού (Πίνακας 3-4). Έτσι σε μια σειριακή υλοποίηση με ένα κύκλωμα υπολογισμού κόστους απαιτούνται $512 + 128 + 128 = 768$ κύκλοι ρολογιού για την επιλογή μόνο του καλύτερου intra mode (Luma + chroma). Ο αριθμός αυτός είναι ο ελάχιστος δυνατός χωρίς να υπολογίζονται τυχόν idle κύκλοι που απαιτούνται από τα κυκλώματα.

Luma Mode	Κύκλοι ρολογιού	Chroma Mode (Cb)	Κύκλοι ρολογιού	Chroma Mode (Cr)	Κύκλοι ρολογιού
DC	128	DC	32	DC	32
Horizontal	128	Horizontal	32	Horizontal	32
Vertical	128	Vertical	32	Vertical	32
Plane	128	Plane	32	Plane	32
Σύνολο	512	Σύνολο	128	Σύνολο	128

Πίνακας 3-4 Κύκλοι ρολογιού για I16X16 και I8X8

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας απαιτούνται ακόμα $128+32+32=192$ κύκλοι ρολογιού για την αποθήκευση σε μνήμη του καλύτερου prediction mode.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα έχουμε στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-5) τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των τριών δυνατών υλοποιήσεων.

Υλοποίηση	Κύκλοι ρολογιού
Σειριακή	960
2 Μηχανές Παράλληλα	576
4 Μηχανές Παράλληλα	384

Πίνακας 3-5 Κύκλοι ρολογιού για υλοποιήσεις I16X16

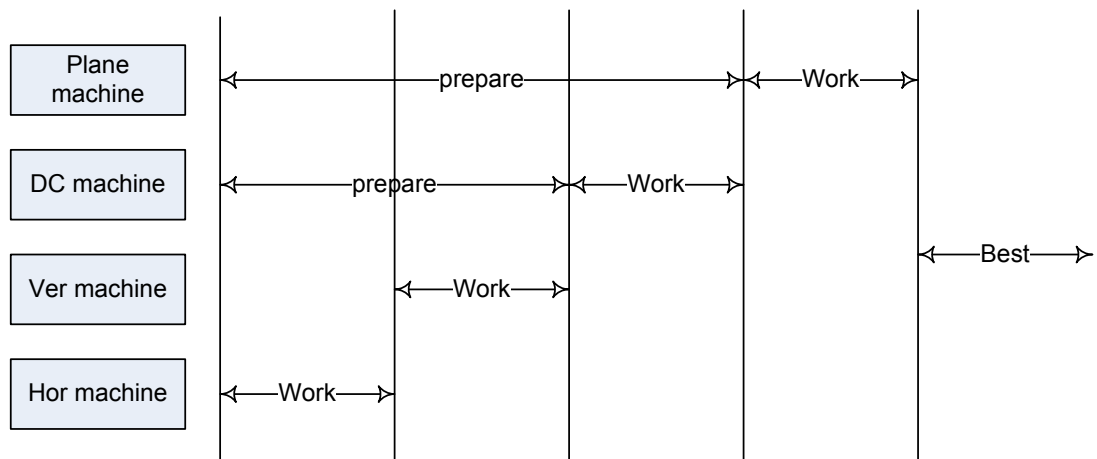
Από πλευράς μεγέθους των τριών υλοποιήσεων έχουμε τα εξής αποτελέσματα. Η κάθε μηχανή υπολογισμού κόστους (με βάση το SATD) είναι περίπου 8250 πύλες.(Πίνακας 3-6). Οι μηχανές υπολογισμού των prediction mode είναι 22600 πύλες και τα κυκλώματα των γειτονικών τιμών μαζί με τα κυκλώματα ανανέωσης των τιμών τους είναι 13640 πύλες.

Υλοποίηση	Κύκλοι ρολογιού	Αριθμός πυλών
Σειριακή	960	$13640+22600+8250=44490$
2 Μηχανές Παράλληλα	576	$13640+22600+2*8250=52740$
4 Μηχανές Παράλληλα	384	$13640+22600+4*8250=60990$

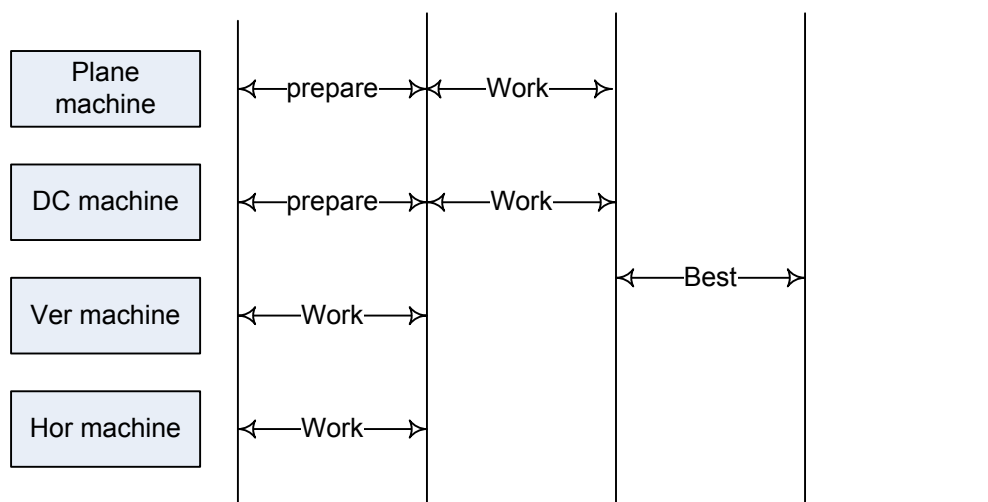
Πίνακας 3-6 Κύκλοι ρολογιού για υλοποιήσεις I16X16 / Μέγεθος

Η επιλογή της καλύτερης υλοποίησης εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή και ποιος παράγοντας είναι πιο κρίσιμος. Ο παράγοντας ταχύτητας ή ο παράγοντας μεγέθους του κυκλώματος. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η σχετική απόδοση των διάφορων τμημάτων του κωδικοποιητή ώστε να υπάρχει ισορροπημένη υλοποίηση. Σε αντίθετη περίπτωση κάποια κυκλώματα δεν θα αξιοποιούνται στο 100%. Ύστερα από μελέτη των σχετικών αποδόσεων των κυκλωμάτων φαίνεται αποδοτικότερη υλοποίηση η λύση με δύο μηχανές κόστους και τα κυκλώματα παραγωγής των prediction mode να δουλεύουν ανά δύο.

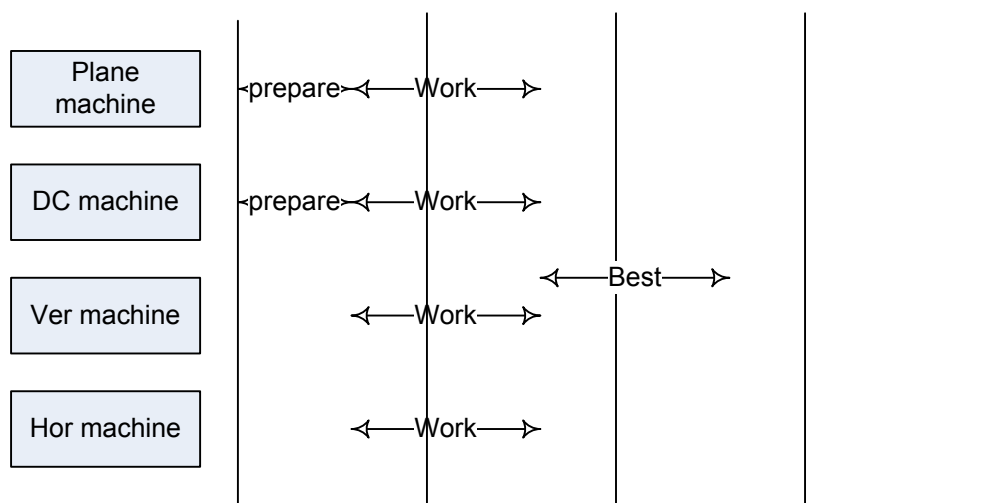
Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι τα κυκλώματα παραγωγής των DC και Plane mode δεν μπορούν να υπολογίζουν άμεσα τις τιμές, αλλά χρειάζονται κάποιους idle κύκλους προετοιμασίας για να υπολογίσουν ενδιάμεσες τιμές. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3-5) φαίνεται το διάγραμμα λειτουργίας των τριών υλοποιήσεων. Οι κύκλοι προετοιμασίας των ενδιάμεσων τιμών είναι 34 για το DC και 56 για το Plane. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα αυτά βλέπουμε ότι στη σειριακή και μέσης παραλληλίας υλοποίηση δεν υπάρχει αύξηση των απαιτούμενων κύκλων ρολογιού ενώ στη παράλληλη υλοποίηση έχουμε αύξηση 56 κύκλων.



Σειριακή Υλοποίηση



Υλοποίηση με 2 μηχανές Παράλληλα



Παράλληλη υλοποίηση

Σχήμα 3-5: Διάγραμμα λειτουργίας H6x16 μηχανών

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι η λειτουργία του Luma και του Chroma σε ένα πραγματικό κύκλωμα γίνονται σε διαφορετικούς χρόνους επειδή η επιλογή του καλύτερου mode συμπίεσης βασίζεται μόνο στο Luma. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-7) δίνονται οι απαιτούμενοι κύκλοι για κάθε luma και chroma χωριστά.

Υλοποίηση	Κύκλοι ρολογιού Luma
Σειριακή	640
2 Μηχανές Παράλληλα	384
4 Μηχανές Παράλληλα	256

Υλοποίηση	Κύκλοι ρολογιού Chroma
Σειριακή	320
2 Μηχανές Παράλληλα	192
4 Μηχανές Παράλληλα	128

Πίνακας 3-7 Κύκλοι ρολογιού για Luma 16x16 και Chroma 8x8

3.3.2 Μηχανή I4x4

Η μηχανή I4x4 έχει σκοπό τον υπολογισμό των καλύτερων prediction mode I4x4. Η μηχανή ασχολείται μόνο με το Luma και δεν εφαρμόζεται σύμφωνα με το πρότυπο στο Chroma. Η μηχανή έχει σαν είσοδο τις γειτονικές τιμές και το current, όπως και η μηχανή I16x16. Για τον υπολογισμό του καλύτερου prediction mode του MB, η μηχανή δουλεύει σε επίπεδο sub-MB διαστάσεων 4x4. Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και mode I8x8 που η σχεδίαση της μηχανής είναι όμοια με αυτή της I4x4, που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Κάθε macroblock αποτελείται από 16 sub-MB 4x4, για το κάθε ένα η μηχανή δουλεύει ξεχωριστά και διαδοχικά. Η σειρά εξεργασίας των sub-MB ορίζεται από το πρότυπο και πρέπει να ακολουθείται. Σε αντίθετη περίπτωση το αποτέλεσμα δεν είναι συμβατό με το πρότυπο διότι δίνει διαφορετικά αποτελέσματα. Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3-6) φαίνεται η σειρά επεξεργασίας

1	2	5	6
3	4	7	8
9	10	13	14
11	12	15	16

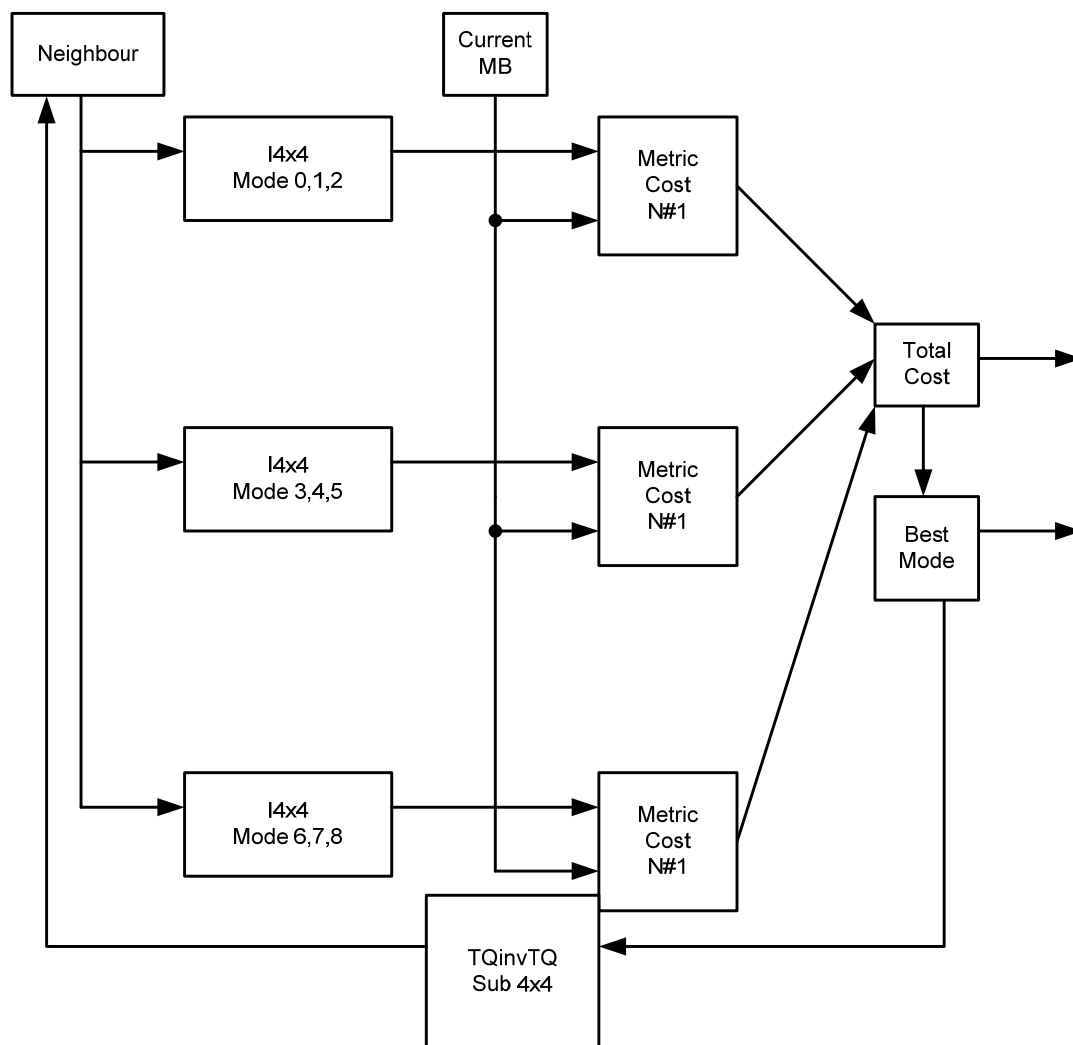
Σχήμα 3-6: Σειρά επεξεργασίας sub-MB 4x4

Για κάθε sub-Mb η μηχανή υπολογίζει τα 9 prediction modes που περιγράφονται στο πρότυπο. Για κάθε ένα υπολογίζεται το κόστος επιλογής και επιλέγεται αυτό με το καλύτερο κόστος. Στη συνέχεια, με δεδομένο το prediction sub-MB, εκτελείται μετασχηματισμός και κβαντοποίηση ευθύς και αντίστροφος ώστε να παραχθούν οι τιμές των γειτονικών δειγμάτων που χρειάζονται για το επόμενο sub-Mb. Παράλληλα αποθηκεύεται σε μνήμη το sub-MB. Η διαδικασία αυτή εκτελείται 16 φορές για κάθε ένα sub-MB.

Τα εννέα prediction mode είναι τα εξής (παράγραφος 8.3.1.1 του [1]).

1. Vertical
2. Horizontal
3. DC
4. Diagonal Down Left
5. Diagonal Down Right
6. Vertical Right
7. Horizontal Down
8. Vertical Left
9. Horizontal Up

Η μηχανή I4x4 (Σχήμα 3-7) αποτελείται από τις μηχανές παραγωγής των 9 prediction modes, τις μηχανές υπολογισμού κόστους και τη μηχανή μετασχηματισμού και κβαντοποίησης. Τα παραπάνω κυκλώματα ελέγχονται από ένα σχετικά πολύπλοκο κύκλωμα καταστάσεων. Οι μηχανές υπολογισμού του κόστους θα περιγραφούν σε επόμενο κεφάλαιο. Η μηχανή μετασχηματισμού κβαντοποίησης περιγράφεται στο κεφάλαιο 8.5 του [1].



Σχήμα 3-7: Διάγραμμα τμημάτων μονάδας παραγωγής prediction 4x4

Τα κυκλώματα υπολογισμού των prediction modes παράγουν σε κάθε κύκλο δύο τιμές, που σημαίνει ότι σε 8 κύκλους ρολογιού έχει υπολογιστεί ένα prediction mode. Κανένα από το 9 modes δεν χρειάζεται επιπλέον κύκλους για την παραγωγή ενδιάμεσων τιμών. Μετά από το σήμα εκκίνησης σε κάθε κύκλο παράγονται 2 τιμές για 8 διαδοχικούς κύκλους.

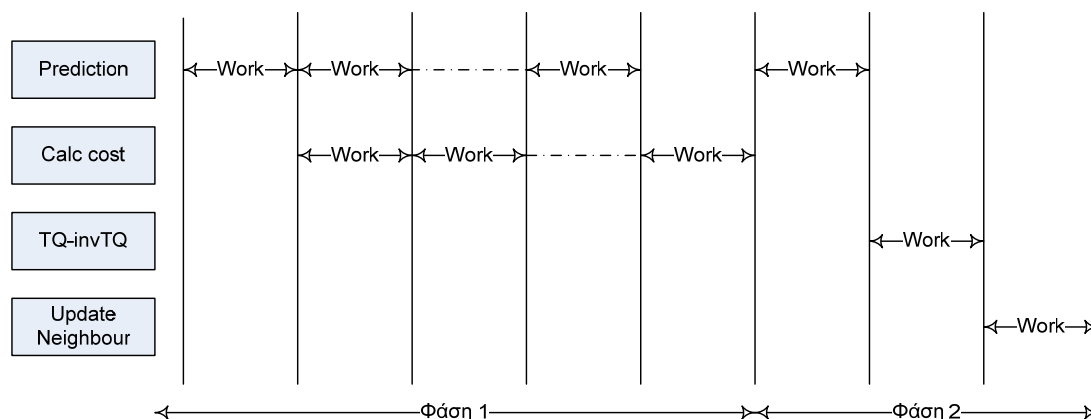
Όπως και στο κύκλωμα του 16x16 η σχεδίαση της μηχανής μπορεί να είναι σειριακή, μερικώς παράλληλη έως εντελώς παράλληλη. Πάντα όμως ο αριθμός των prediction modes που υπολογίζονται ταυτόχρονα πρέπει να ισούται με τον αριθμό των κυκλωμάτων υπολογισμού του κόστους. Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-8) φαίνονται τα μεγέθη των επιμέρους τμημάτων της μηχανής 14x4

Υπό-τμήμα	Αριθμός πυλών
Υπολογισμός Prediction mode	3500
Υπολογισμός Κόστος (SATD)	8250

Κύκλωμα γειτονικών τιμών	11700
Μετασχηματισμός/Κβαντοποίηση	28000

Πίνακας 3-8 Μεγέθη τμημάτων μηχανής I4X4

Η λειτουργία της μηχανής χωρίζεται σε 2 φάσεις. (Σχήμα 3-8) Στη πρώτη φάση έχουμε τον υπολογισμό των prediction modes και του αντίστοιχου κόστους, ενώ στη δεύτερη φάση την επιλογή του καλύτερου Mode με το μετασχηματισμό και την κβαντοποίηση καθώς και την ενημέρωση των γειτονικών τιμών.



Σχήμα 3-8: Διάγραμμα λειτουργίας I4x4

Οι κύκλοι που απαιτούνται για τη δεύτερη φάση είναι σταθεροί ως προς τις επιλογές υλοποίησης. Επίσης λόγω του μονοσήμαντου των πράξεων που απαιτούνται, δεν μπορούμε να παραλληλίσουμε αυτές τις μηχανές. Σε υλοποίηση που επιλέχθηκε η δεύτερη φάση απαιτεί 31 κύκλους.

Ο αριθμός των κύκλων ρολογιού που απαιτεί η πρώτη φάση εξαρτάται από τον αριθμό των κυκλωμάτων υπολογισμού του κόστους. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ανάλυση των διάφορων υλοποιήσεων, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κύκλωμα υπολογισμού κόστους χρειάζεται 11 κύκλους με δυνατότητα pipeline λειτουργία.

Ο υπολογισμός των κύκλων για κάθε subMB είναι ίσος με

$CEILING[9/(\text{αριθμός κυκλωμάτων κόστους});1] \times 8 + 11 + 31$, όπου ceiling συνάρτηση στρογγύλευσης προς τα πάνω.

Αριθμός κυκλωμάτων κόστους	Αριθμός κύκλων για κάθε subMB	Αριθμός κύκλων για macroblock	Αριθμός πυλών κυκλώματος
1	114	1824	51450
2	82	1312	59700
3	66	1056	67950

4	66	1056	76200
5	58	928	84450
6	58	928	92700
7	58	928	100950
8	58	928	109200
9	50	800	117450

Πίνακας 3-9 Ανάλυση απόδοσης κυκλώματος I4X4

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3-9) φαίνεται ότι οι αποδεκτές υλοποιήσεις είναι αυτές με 1,2,3,5,9 κυκλώματα κόστους. Η επιλογή της υλοποίησης εξαρτάται από την επιθυμητή ταχύτητα και το μέγιστο αποδεκτό μέγεθος του κυκλώματος.

Αν λάβουμε υπόψη ότι τα κυκλώματα του I16x16 και I4x4 λειτουργούν παράλληλα και πρέπει να έχουν παραπλήσια απόδοση, η επιλογή ενός και δύο κυκλωμάτων κόστους είναι απαγορευτική από πλευράς ταχύτητας. Επίσης από πλευράς μεγέθους η χρήση 9 κυκλωμάτων κόστους είναι μη αποδοτική. Η προτεινόμενη υλοποίηση είναι αυτή των 3 κυκλωμάτων για υλοποιήσεις με απαίτηση ελαχιστοποίησης μεγέθους και 5 κυκλωμάτων για απαίτηση γρήγορης υλοποίησης.

Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται ότι το μέγεθος της μηχανής INTRA εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος του κυκλώματος υπολογισμού του κόστους, λόγω του αρκετά μεγάλου μεγέθους, στις περισσότερες περιπτώσεις και λόγω της αναγκαιότητας για την ύπαρξη παράλληλων μηχανών. Επίσης η απόδοση και η καλή λειτουργία της μηχανής INTRA εξαρτάται άμεσα και μόνο από το κύκλωμα κόστους.

3.4 Μετρικές αποκλίσεις

Οι μετρικές αποκλίσεις χρησιμοποιούνται στους κωδικοποιητές video ως μέτρο ομοιότητας δύο τμημάτων εικόνας. Το μέγεθος των τμημάτων είναι συνήθως 4x4, 8x8, 16x16 pixels. Το μέγεθος της υλοποίησης σε υλικό καθώς και ο χρόνος υπολογισμού είναι κρίσιμα μεγέθη. Η απόδοση ενός κωδικοποιητή εξαρτάται 100% από τα προηγούμενα μεγέθη. Οι μετρικές αποκλίσεις στηρίζονται στις τιμές των prediction macroblock, οπότε η υλοποίησή τους εξαρτάται από τον ρυθμό παραγωγής αυτών.

3.4.1 Περιγραφή μετρικών αποκλίσεων

Η μετρική απόκλιση SAD δίνει το άθροισμα των απόλυτων τιμών των διαφορών μεταξύ δύο MB. Το δύο MBs είναι το current MB και το prediction MB. Ο αριθμός που προκύπτει είναι ένας θετικός αριθμός, μέτρο της ομοιότητας των δύο MBs. Η μετρική SAD είναι η απλούστερη μορφή μετρικής.

$$SAD = \sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^m | \text{Current}(x, y) - \text{Pred}(x, y) |$$

Από τον ορισμό της συνάρτησης είναι φανερό ότι ο τρόπος υπολογισμού εξαρτάται από τον τρόπο που οι τιμές current και pred είναι διαθέσιμες. Η μετρική SAD εφαρμόζεται σε μέγεθος εικόνας 16x16, 8x8, 4x4. Το πλήθος των τιμών που πρέπει να αθροιστούν είναι 256,64,16 αντίστοιχα. Οι τιμές των current και pred έχουν ακρίβεια 8bits σύμφωνα με το πρότυπο.

Η μετρική απόκλιση SATD δίνει το άθροισμα των απολύτων τιμών των μετασχηματισμένων διαφορών μεταξύ δύο MB. Ο μετασχηματισμός που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο Hadamard. Ο υπολογισμός της μετρικής περιλαμβάνει το μετασχηματισμό (συνήθως εφαρμόζεται σε sub-MB 4x4) του πίνακα των διαφορών καθώς και το άθροισμα των απολύτων τιμών του μετασχηματισμένου πίνακα.

$$SATD = \sum_{x=0}^m \sum_{y=0}^m | H * [\text{Current}(x, y) - \text{Pred}(x, y)] * H^T | \quad , \quad \text{όπου } H \text{ ο πίνακας}$$

μετασχηματισμού.

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

Ο τρόπος υπολογισμού της συνάρτησης SATD είναι όμοιος με αυτόν της SAD με τη σημαντική διαφορά ότι υπάρχει ένα επιπλέον στάδιο, αυτό του υπολογισμού μετασχηματισμού. Δεδομένου ότι όλες οι τιμές του μετασχηματισμένου πίνακα εξαρτώνται από όλες τις τιμές των current και pred, ο υπολογισμός του αθροίσματος δεν μπορεί να ξεκινήσει άμεσα με την διαθεσιμότητα των τιμών του current και pred.

3.4.2 Υλοποίηση σε υλικό κυκλώματος SAD

Ας θεωρήσουμε Current_subMB ότι είναι ένας πίνακας 4x4 που αντιπροσωπεύει ένα από το

$$16 \text{ κομμάτια του Macroblock } Current_subMB = \begin{vmatrix} c_{00} & c_{01} & c_{02} & c_{03} \\ c_{10} & c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{20} & c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{30} & c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix}$$

Και κατά τον ίδιο τρόπο το pred_subMB είναι πίνακας 4x4 από το prediction macroblock

$$\text{Pred_subMB} = \begin{vmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & p_{03} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{30} & p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{vmatrix}$$

Αν $d_{ij} = \text{abs}(p_{ij}-c_{ij})$, τότε ο πίνακας 4x4 AbsD_subMB είναι ο πίνακας των απόλυτων τιμών των διαφορών.

$$\text{AbsD_subMB} = \begin{vmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{vmatrix}$$

Η τιμή SAD των πινάκων $\text{Current_subMB} - \text{pred_subMB}$ είναι ίση με $SAD = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 d_{ij}$.

Η πιο απλή υλοποίηση υπολογισμού της τιμή SAD είναι η σειριακή. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα υλοποίησης. Με δεδομένο ότι το c_{ij} και το p_{ij} έχουν ακρίβεια 8 bits απαιτούνται τα παρακάτω κυκλώματα

2 8-bits αφαιρέτες

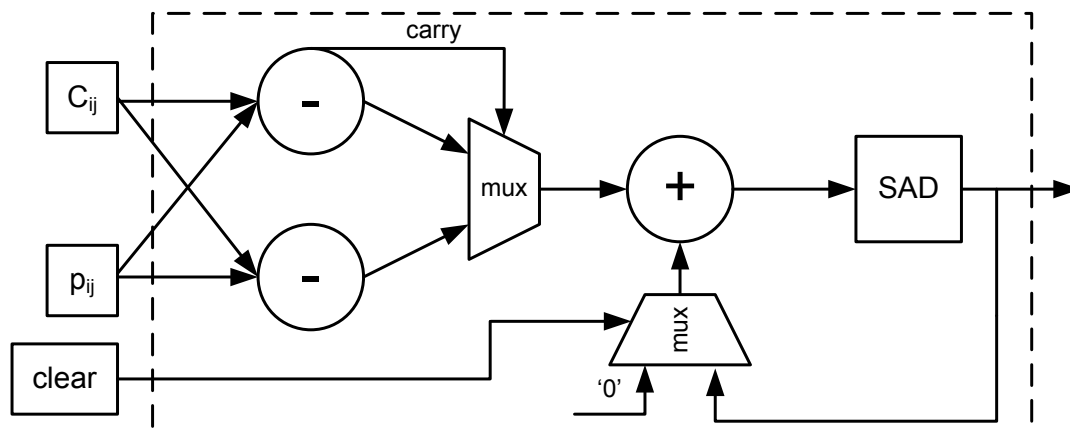
1 8-bit πολυπλέκτης

1 12-bit πολυπλέκτης

1 12-bit καταχωρητής

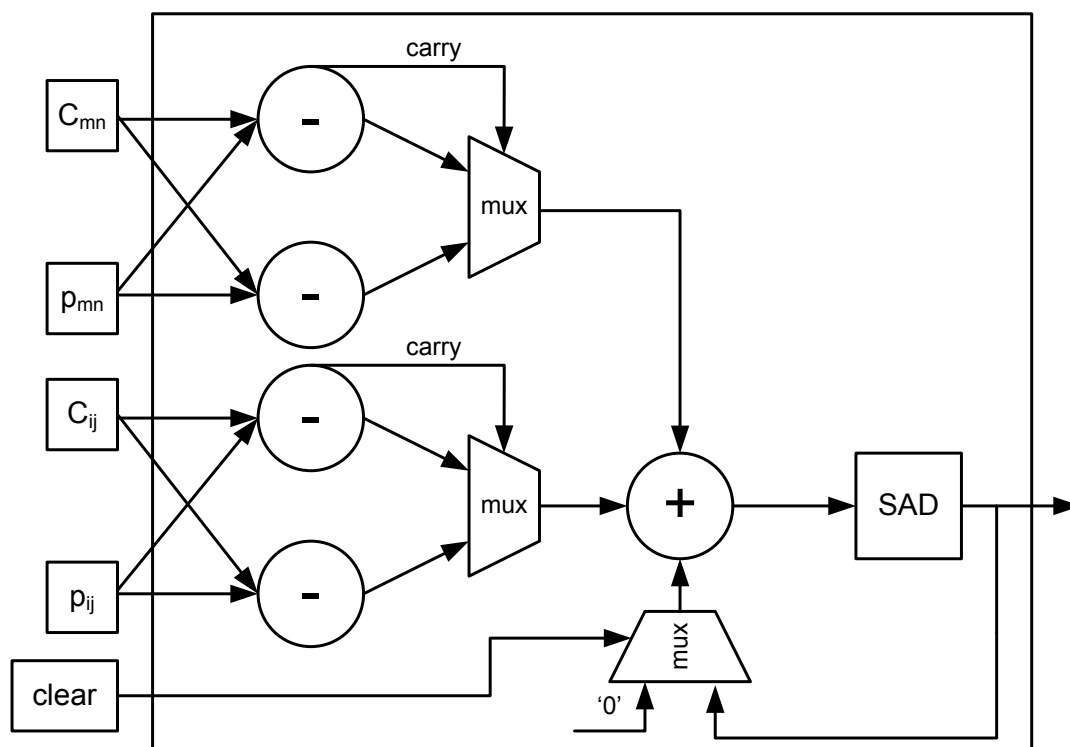
1 12-bit αθροιστής

Το κύκλωμα αυτό σε ένα κύκλο υπολογίζει την απόλυτη τιμή της διαφοράς των c_{ij} και p_{ij} και την προσθέτει στο προηγούμενη τιμή του SAD όταν δεν είναι ενεργοποιημένο το clear. Σε αντίθετη περίπτωση το SAD παίρνει την τιμή της απόλυτης τιμής της διαφοράς. Η είσοδος clear πρέπει να ενεργοποιείται όταν ξεκινάμε καινούργιο υπολογισμό τιμής SAD. Η υλοποίηση αυτή σε ένα σύγχρονο FPGA (Virtex 5) μπορεί να φτάσει συχνότητα ρολογιού πάνω από 300 MHz. Το κύκλωμα χρειάζεται 16 κύκλους για τον υπολογισμό της τιμής SAD ενός πίνακα 4x4, που σημαίνει ένα ρυθμό υπολογισμού SAD_{4x4} **18,75M SAD/sec**. Στο Σχήμα 3-9 φαίνεται το διάγραμμα σειριακής υλοποίησης του κυκλώματος SAD.



Σχήμα 3-9 Σειριακή υλοποίηση κυκλώματος SAD

Μια υλοποίηση που ταιριάζει με ρυθμό παραγωγής 2 τιμών σε ένα κύκλο είναι η παρακάτω (Σχήμα 3-10), στην οποία σε 8 κύκλους υπολογίζεται η τιμή SAD.



Σχήμα 3-10 Κύκλωμα υπολογισμού SAD 8 κύκλων.

Το κυκλώματα που απαιτούνται είναι τα εξής.

- 4 8-bits αφαιρέτες
- 1 8-bit πολυπλέκτης
- 2 12-bit πολυπλέκτης
- 1 12-bit καταχωρητής

2 12-bit αθροιστής

Το μέγεθος της υλοποίησης αυτής δεν είναι διπλάσιο από το αντίστοιχο της σειριακής υλοποίησης, αλλά έχει διπλάσιο ρυθμό παραγωγής τιμών SAD.

3.4.3 Υλοποίηση σε υλικό κυκλώματος SATD

Αν θεωρήσουμε ότι έχουμε το πίνακα των τιμών current $Current_subMB$ και τον πίνακα των τιμών ενός prediction mode $pred_subMB$, όμοια με το προηγούμενο κεφάλαιο τότε ορίζεται ο

$$\text{πίνακας διαφορών } D_subMB = \begin{vmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{vmatrix}, \text{ όπου } d_{ij}=c_{ij}-p_{ij}. \text{ Σε μια υλοποίηση}$$

υλικού οι τιμές current και pred πρέπει να παράγονται συγχρονισμένα. Σε αυτή την περίπτωση ο υπολογισμός του πίνακα των διαφορών γίνεται άμεσα. Το πλήθος των κυκλωμάτων αφαίρεσης που απαιτούνται είναι ίσο με το πλήθος των τιμών που παράγονται σε ένα κύκλο.

Ο μετασχηματισμός υλοποιείται από το πολλαπλασιασμό των πινάκων $T=H*D_subMB*H^T$.

$$T = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$T = \begin{vmatrix} d_{00}+d_{10}+d_{20}+d_{30} & d_{01}+d_{11}+d_{21}+d_{31} & d_{02}+d_{12}+d_{22}+d_{32} & d_{03}+d_{13}+d_{23}+d_{33} \\ d_{00}+d_{10}-d_{20}-d_{30} & d_{01}+d_{11}-d_{21}-d_{31} & d_{02}+d_{12}-d_{22}-d_{32} & d_{03}+d_{13}-d_{23}-d_{33} \\ d_{00}-d_{10}-d_{20}+d_{30} & d_{01}-d_{11}-d_{21}+d_{31} & d_{02}-d_{12}-d_{22}+d_{32} & d_{03}-d_{13}-d_{23}+d_{33} \\ d_{00}-d_{10}+d_{20}-d_{30} & d_{01}-d_{11}+d_{21}-d_{31} & d_{02}-d_{12}+d_{22}-d_{32} & d_{03}-d_{13}+d_{23}-d_{33} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

$$\text{Με τελικό αποτέλεσμα τον πίνακα } T = \begin{vmatrix} T_{00} & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{20} & T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{30} & T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{vmatrix}, \text{ όπου } T_{ij} \text{ είναι}$$

$$T_{00}=d_{00}+d_{10}+d_{20}+d_{30}+d_{01}+d_{11}+d_{21}+d_{31}+d_{02}+d_{12}+d_{22}+d_{32}+d_{03}+d_{13}+d_{23}+d_{33}$$

$$T_{01}=d_{00}+d_{10}+d_{20}+d_{30}+d_{01}+d_{11}+d_{21}+d_{31}-d_{02}-d_{12}-d_{22}-d_{32}-d_{03}-d_{13}-d_{23}-d_{33}$$

$$T_{02}=d_{00}+d_{10}+d_{20}+d_{30}-d_{01}-d_{11}-d_{21}-d_{31}-d_{02}-d_{12}-d_{22}-d_{32}+d_{03}+d_{13}+d_{23}+d_{33}$$

$$T_{03}=d_{00}+d_{10}+d_{20}+d_{30}-d_{01}-d_{11}-d_{21}-d_{31}+d_{02}+d_{12}+d_{22}+d_{32}-d_{03}-d_{13}-d_{23}-d_{33}$$

$$T_{10}=d_{00}+d_{10}-d_{20}-d_{30}+d_{01}+d_{11}-d_{21}-d_{31}+d_{02}+d_{12}-d_{22}-d_{32}+d_{03}+d_{13}-d_{23}-d_{33}$$

$$T_{11} = d_{00} + d_{10} - d_{20} - d_{30} + d_{01} + d_{11} - d_{21} - d_{31} - d_{02} - d_{12} + d_{22} + d_{32} - d_{03} - d_{13} + d_{23} + d_{33}$$

$$T_{12} = d_{00} + d_{10} - d_{20} - d_{30} - d_{01} - d_{11} + d_{21} + d_{31} - d_{02} - d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{03} + d_{13} - d_{23} - d_{33}$$

$$T_{13} = d_{00} + d_{10} - d_{20} - d_{30} - d_{01} - d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{02} + d_{12} - d_{22} - d_{32} - d_{03} - d_{13} + d_{23} + d_{33}$$

$$T_{20} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} + d_{01} - d_{11} - d_{21} + d_{31} + d_{02} - d_{12} - d_{22} + d_{32} + d_{03} - d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

$$T_{21} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} + d_{01} - d_{11} - d_{21} + d_{31} - d_{02} + d_{12} + d_{22} - d_{32} - d_{03} + d_{13} + d_{23} - d_{33}$$

$$T_{22} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} - d_{01} + d_{11} + d_{21} - d_{31} - d_{02} + d_{12} + d_{22} - d_{32} + d_{03} - d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

$$T_{23} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} - d_{01} + d_{11} + d_{21} - d_{31} + d_{02} - d_{12} - d_{22} + d_{32} - d_{03} + d_{13} + d_{23} - d_{33}$$

$$T_{30} = d_{00} - d_{10} + d_{20} - d_{30} + d_{01} - d_{11} + d_{21} - d_{31} + d_{02} - d_{12} + d_{22} - d_{32} + d_{03} - d_{13} + d_{23} - d_{33}$$

$$T_{31} = d_{00} - d_{10} + d_{20} - d_{30} + d_{01} - d_{11} + d_{21} - d_{31} - d_{02} + d_{12} - d_{22} + d_{32} - d_{03} + d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

$$T_{32} = d_{00} - d_{10} + d_{20} - d_{30} - d_{01} + d_{11} - d_{21} + d_{31} - d_{02} + d_{12} - d_{22} + d_{32} + d_{03} - d_{13} + d_{23} - d_{33}$$

$$T_{33} = d_{00} - d_{10} + d_{20} - d_{30} - d_{01} + d_{11} - d_{21} + d_{31} + d_{02} - d_{12} + d_{22} - d_{32} - d_{03} + d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

Η αλληλουχία παραγωγής των d_{ij} μπορεί να έχει οποιαδήποτε σειρά. Υπάρχουν μερικά prediction modes, όπως το plane, όπου η παραγωγή των τιμών γίνεται με μικρότερο κύκλωμα και η παραγωγή των τιμών έχει την προφανή σειρά. Αυτό γίνεται γιατί υπάρχουν ενδιάμεσα αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται διαδοχικά.

Η σειρά παραγωγής σε μια σειριακή υλοποίηση είναι η $d_{00} d_{01} d_{02} d_{03} d_{10} d_{11} d_{12} d_{13} d_{20} d_{21} d_{22} d_{23} d_{30} d_{31} d_{32} d_{33}$. Φυσικά σε παράλληλες υλοποιήσεις η σειρά είναι η ίδια αλλά σε κάθε κύκλο υπολογίζονται 2 ή 4 ή 8 ή 16 τιμές. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια δύο τιμές σε κάθε κύκλο είναι συνήθως η βέλτιστη υλοποίηση.

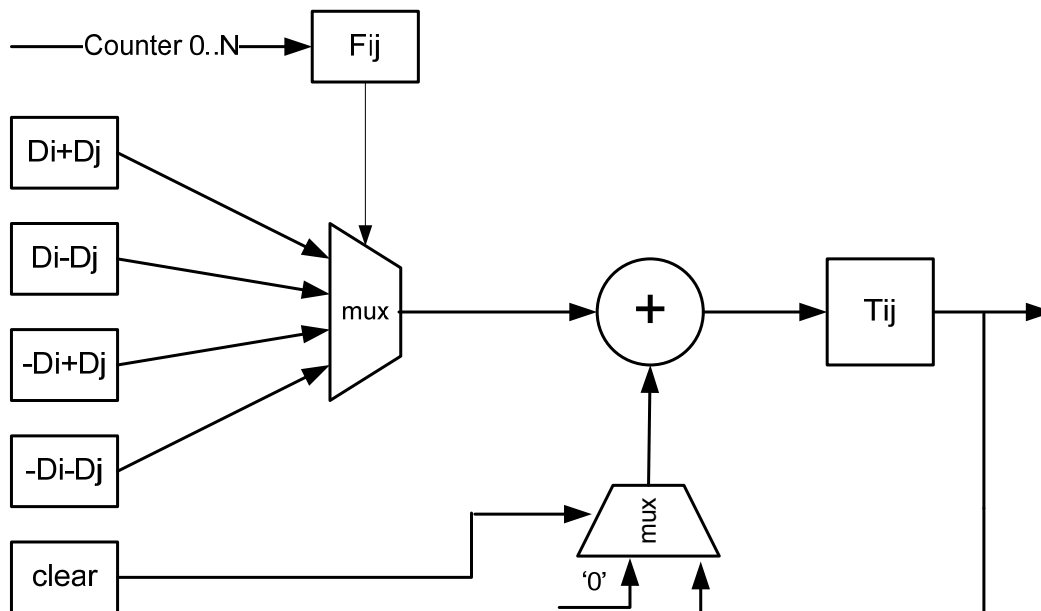
Στην περίπτωση όπου έχουμε 2 τιμές ανά κύκλο για τον υπολογισμό του πίνακα T απαιτούνται 8 κύκλοι. Επειδή για τον υπολογισμό της τιμής SATD αθροίζονται οι απόλυτες τιμές T_{ij} απαιτείται ο υπολογισμός κάθε τιμής T_{ij} να γίνει ξεχωριστά και έπειτα να ακολουθήσει το κύκλωμα των αθροίσεων.

Το βασικό κύκλωμα που προτείνεται για τον υπολογισμό των T_{ij} φαίνεται στο Σχήμα 3-11. Η τιμή κάθε T_{ij} είναι το άθροισμα των 16 τιμών d_{ij} ή $-d_{ij}$. Στην περίπτωση όπου έχουμε 2 τιμές (έστω d_i, d_j) σε κάθε κύκλο ο αθροιστής μπορεί να δίνει μία από τις τέσσερις παρακάτω τιμές.

- $d_i + d_j$
- $d_i - d_j$
- $-d_i + d_j$
- $-d_i - d_j$

Η επιλογή της τιμής άθροισης εξαρτάται από τη θέση T_{ij} και τη θέση των d_i, d_j . Η τιμή αυτή αθροίζεται στο συσσωρευτή όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-11, ενώ υπάρχει η δυνατότητα της

αποθήκευσης μόνο της τιμής, μέσω του σήματος clear για τη δυνατότητα λειτουργίας pipeline.



Σχήμα 3-11 Βασικό κύκλωμα υπολογισμού Μετασχηματισμού SATD.

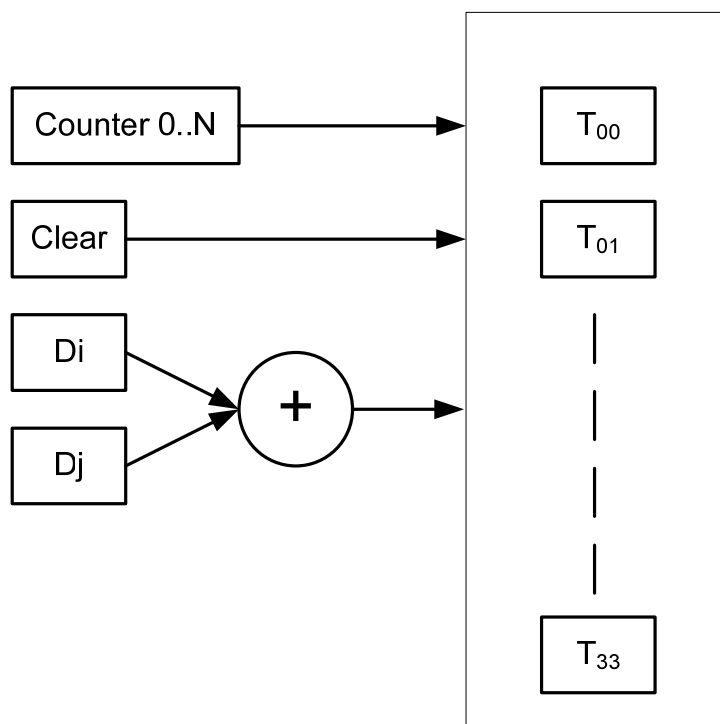
Η έξοδος του συνδυαστικού κυκλώματος F_{ij} ελέγχει τον πολυπλέκτη, καθορίζοντας την τιμή που θα αθροιστεί. Το κύκλωμα F_{ij} έχει σαν είσοδο μόνο την τιμή του μετρητή, που δείχνει ένα ζεύγος τιμών από τα 8 ζεύγη που βρίσκονται στην είσοδο του κυκλώματος.

Το παραπάνω κύκλωμα χρησιμοποιείται 16 φορές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-12, όπου όλα έχουν ίδιες εισόδους και κάθε ένα δίνει στην έξοδο του την αντίστοιχη τιμή T_{ij} . Το κάθε κύκλωμα έχει διαφορετικό συνδυαστικό κύκλωμα F_{ij} . Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-10), φαίνονται οι λογικές συναρτήσεις θεωρώντας το μετρητή τριών ψηφίων ($cnt2 - cnt1 - cnt0$)

Συνδυαστικό κύκλωμα	Λογική Συνάρτηση
F_{00}	“11”
F_{01}	Not (Cnt0) & Not (Cnt0)
F_{02}	(Cnt0) & Not (Cnt0)
F_{03}	“10”
F_{10}	Not (Cnt2) & Not (Cnt2)
F_{11}	(Cnt0) xor (Cnt2) & (Cnt0) xor (Cnt2)
F_{12}	(Cnt0) xor (Cnt2) & (Cnt0) xnor (Cnt2)
F_{13}	Not (Cnt2) & (Cnt2)

F ₂₀	“11” when Cnt2..1=“00” or when Cnt2..1=“11” else “00”
F ₂₁	not(cnt0 xor cnt1 xor cnt2) & not(cnt0 xor cnt1 xor cnt2)
F ₂₂	not (cnt0 xor cnt1 xor cnt2) & (cnt0 xor cnt1 xor cnt2)
F ₂₃	“10” when Cnt2..1=“00” or when Cnt2..1=“11” else “01”
F ₃₀	Not (cnt1) & Not (cnt1)
F ₃₁	“11” when Cnt1..0=“00” or when Cnt1..0=“11” else “00”
F ₃₂	“10” when Cnt1..0=“00” or when Cnt1..0=“11” else “01”
F ₃₃	Not cnt1 & cnt1

Πίνακας 3-10 Λογικές συναρτήσεις F_{ij} του SATD



Σχήμα 3-12 Κύκλωμα υπολογισμού μετασχηματισμού

Όπως φαίνεται από την ανάλυση των λογικών συναρτήσεων F_{ij} είναι απλές συναρτήσεις δίχως να απαιτούν μεγάλο κύκλωμα υλοποίησης. Οι εισοδοι D_i είναι 9-bit αριθμοί, το άθροισμα δύο D_i είναι 10-bit αριθμός και ο συσσωρευτής είναι στα 13bits.

Με δεδομένες τις τιμές T_{ij} ο υπολογισμός του SATD γίνεται με ένα δένδρο αθροιστών. Η υλοποίηση του δένδρου μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις ανάγκες μεγέθους ή ταχύτητας. Το πλήθος των τιμών που πρέπει να αθροιστούν είναι 16 12bits αριθμοί. Οι τιμές των T_{ij} είναι 13bits αλλά μετά τον υπολογισμό της απόλυτης τιμής είναι στα 12 bits. Το μέγεθος του κυκλώματος SATD, όπως περιγράφηκε παραπάνω, είναι περίπου 8250 πύλες.

3.4.4 Μετρική SAD-DCT

Μια προτεινόμενη μετρική είναι η SAD-DCT όμοια σε λειτουργία και τρόπο υπολογισμού με την SATD χρησιμοποιώντας όμως διαφορετικό πίνακα μετασχηματισμού. Ο προτεινόμενος πίνακας είναι ο ίδιος με το πίνακα μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται στο τμήμα TQ και περιγράφεται στο πρότυπο. Η πράξη μετασχηματισμού περιγράφεται στην επόμενη εξίσωση.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 2 & -1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & d_{03} \\ d_{10} & d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{20} & d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{30} & d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & -1 & -1 & 2 \\ 1 & -2 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Όπου T_{ij} είναι ίσο με τις τιμές που περιγράφονται στη συνέχεια.

$$T_{00} = d_{00} + d_{10} + d_{20} + d_{30} + d_{01} + d_{11} + d_{21} + d_{31} + d_{02} + d_{12} + d_{22} + d_{32} + d_{03} + d_{13} + d_{23} + d_{33}$$

$$T_{01} = 2d_{00} + 2d_{10} + 2d_{20} + 2d_{30} + d_{01} + d_{11} + d_{21} + d_{31} - d_{02} - d_{12} - d_{22} - d_{32} - 2d_{03} - 2d_{13} - 2d_{23} - 2d_{33}$$

$$T_{02} = d_{00} + d_{10} + d_{20} + d_{30} - d_{01} - d_{11} - d_{21} - d_{31} - d_{02} - d_{12} - d_{22} - d_{32} + d_{03} + d_{13} + d_{23} + d_{33}$$

$$T_{03} = d_{00} + d_{10} + d_{20} + d_{30} - 2d_{01} - 2d_{11} - 2d_{21} - 2d_{31} + 2d_{02} + 2d_{12} + 2d_{22} + 2d_{32} - d_{03} - d_{13} - d_{23} - d_{33}$$

$$T_{10} = 2d_{00} + d_{10} - d_{20} - 2d_{30} + 2d_{01} + d_{11} - d_{21} - 2d_{31} + 2d_{02} + d_{12} - d_{22} - 2d_{32} + 2d_{03} + d_{13} - d_{23} - 2d_{33}$$

$$T_{11} = 4d_{00} + 2d_{10} - 2d_{20} - 4d_{30} + 2d_{01} + d_{11} - d_{21} - 2d_{31} - 2d_{02} - d_{12} + d_{22} + 2d_{32} - 4d_{03} - 2d_{13} + 2d_{23} + 4d_{33}$$

$$T_{12} = 2d_{00} + d_{10} - d_{20} - 2d_{30} - 2d_{01} - d_{11} + d_{21} + 2d_{31} - 2d_{02} - d_{12} + d_{22} + 2d_{32} + 2d_{03} + d_{13} - d_{23} - 2d_{33}$$

$$T_{13} = 2d_{00} + d_{10} - d_{20} - 2d_{30} - 4d_{01} - 2d_{11} + 2d_{21} + 4d_{31} + 4d_{02} + 2d_{12} - 2d_{22} - 4d_{32} - 2d_{03} - d_{13} + d_{23} + 2d_{33}$$

$$T_{20} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} + d_{01} - d_{11} - d_{21} + d_{31} + d_{02} - d_{12} - d_{22} + d_{32} + d_{03} - d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

$$T_{21} = 2d_{00} - 2d_{10} - 2d_{20} + 2d_{30} + d_{01} - d_{11} - d_{21} + d_{31} - d_{02} + d_{12} + d_{22} - d_{32} - 2d_{03} + 2d_{13} + 2d_{23} - 2d_{33}$$

$$T_{22} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} - d_{01} + d_{11} + d_{21} - d_{31} - d_{02} + d_{12} + d_{22} - d_{32} + d_{03} - d_{13} - d_{23} + d_{33}$$

$$T_{23} = d_{00} - d_{10} - d_{20} + d_{30} - 2d_{01} + 2d_{11} + 2d_{21} - 2d_{31} + d_{02} - d_{12} - d_{22} + d_{32} - 2d_{03} + 2d_{13} + 2d_{23} - 2d_{33}$$

$$T_{30} = d_{00} - 2d_{10} + 2d_{20} - d_{30} + d_{01} - 2d_{11} + 2d_{21} - d_{31} + d_{02} - 2d_{12} + 2d_{22} - d_{32} + d_{03} - 2d_{13} + 2d_{23} - d_{33}$$

$$T_{31} = 2d_{00} - 4d_{10} + 4d_{20} - 2d_{30} + d_{01} - 2d_{11} + 2d_{21} - d_{31} - d_{02} + 2d_{12} - 2d_{22} + d_{32} - 2d_{03} + 4d_{13} - 4d_{23} + 2d_{33}$$

$$T_{32} = d_{00} - 2d_{10} + 2d_{20} - d_{30} - d_{01} + 2d_{11} - 2d_{21} + d_{31} - d_{02} + 2d_{12} - 2d_{22} + d_{32} + d_{03} - 2d_{13} + 2d_{23} - d_{33}$$

$$T_{33} = d_{00} - 2d_{10} + 2d_{20} - d_{30} - 2d_{01} + 4d_{11} - 4d_{21} + 2d_{31} + 2d_{02} - 4d_{12} + 4d_{22} - 2d_{32} - d_{03} + 2d_{13} - 2d_{23} + d_{33}$$

Για την παραγωγή των λογικών συναρτήσεων F_{ij} ξανααδίνονται οι παραπάνω ισότητες με τα αθροίσματα να έχουν τη σειρά εμφάνισης των τιμών.

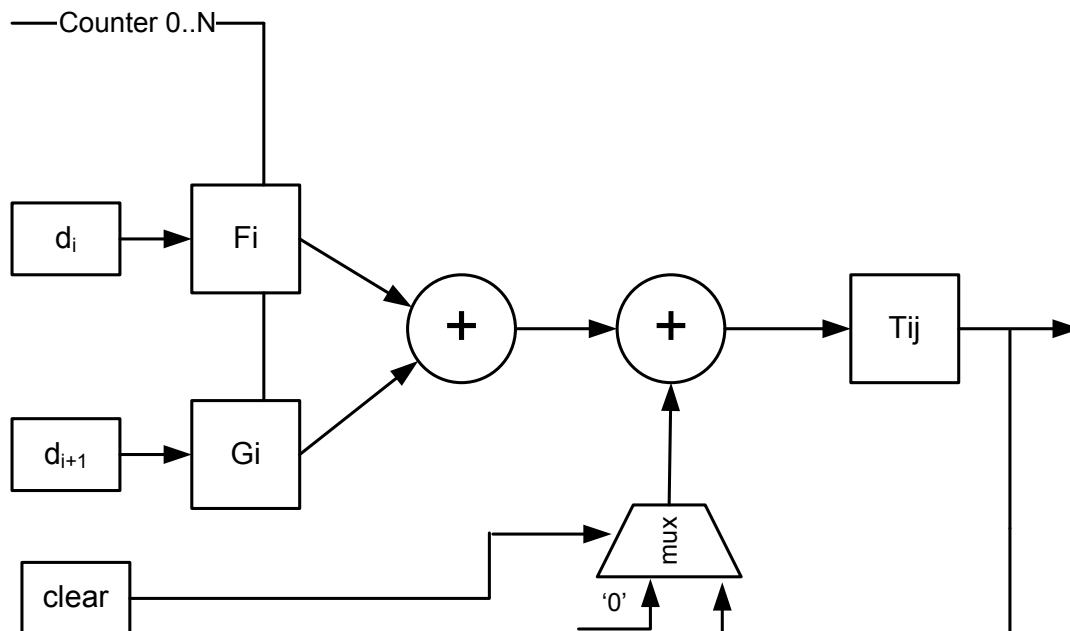
$$T_{00} = d_{00} + d_{01} + d_{02} + d_{03} + d_{10} + d_{11} + d_{12} + d_{13} + d_{20} + d_{21} + d_{22} + d_{23} + d_{30} + d_{31} + d_{32} + d_{33}$$

$$T_{01} = 2d_{00} + d_{01} - d_{02} - 2d_{03} + 2d_{10} + d_{11} - d_{12} - 2d_{13} + 2d_{20} + d_{21} - d_{22} - 2d_{23} + 2d_{30} + d_{31} - d_{32} - 2d_{33}$$

$$T_{02} = d_{00} - d_{01} - d_{02} + d_{03} + d_{10} - d_{11} - d_{12} + d_{13} + d_{20} - d_{21} - d_{22} + d_{23} + d_{30} - d_{31} - d_{32} + d_{33}$$

$$\begin{aligned}
 T_{03} &= d_{00}-2d_{01}+2d_{02} -d_{03} +d_{10} -2d_{11}+2d_{12} -d_{13} +d_{20}-2d_{21}+2d_{22} -d_{23} +d_{30}-2d_{31}+2d_{32} -d_{33} \\
 T_{10} &= 2d_{00}+2d_{01}+2d_{02}+2d_{03} +d_{10}+d_{11} +d_{12} +d_{13} -d_{20} -d_{21} -d_{22} -d_{23} -2d_{30}-2d_{31} -2d_{32} -2d_{33} \\
 T_{11} &= 4d_{00}+2d_{01} -2d_{02} -4d_{03} +2d_{10} +d_{11} -d_{12} -2d_{13} -2d_{20} -d_{21} +d_{22} +2d_{23} -4d_{30} -2d_{31} +2d_{32} +4d_{33} \\
 T_{12} &= 2d_{00}-2d_{01} -2d_{02} +2d_{03} +d_{10} -d_{11} -d_{12} +d_{13} -d_{20} +d_{21} +d_{22} -d_{23} -2d_{30} +2d_{31} +2d_{32} -2d_{33} \\
 T_{13} &= 2d_{00}-4d_{01} +4d_{02} -2d_{03} +d_{10} -2d_{11}+2d_{12} -d_{13} -d_{20} +2d_{21} -2d_{22} +d_{23} -2d_{30} +4d_{31} -4d_{32} +2d_{33} \\
 T_{20} &= d_{00} +d_{01} +d_{02} +d_{03} -d_{10} -d_{11} -d_{12} -d_{13} -d_{20} -d_{21} -d_{22} -d_{23} +d_{30} +d_{31} +d_{32} +d_{33} \\
 T_{21} &= 2d_{00} +d_{01} -d_{02} -2d_{03} -2d_{10} -d_{11} +d_{12} +2d_{13} -2d_{20} -d_{21} +d_{22} +2d_{23} +2d_{30} +d_{31} -d_{32} -2d_{33} \\
 T_{22} &= d_{00} -d_{01} -d_{02} +d_{03} -d_{10} +d_{11} +d_{12} -d_{13} -d_{20} +d_{21} +d_{22} -d_{23} +d_{30} -d_{31} -d_{32} +d_{33} \\
 T_{23} &= d_{00}-2d_{01} +d_{02} -2d_{03} -d_{10}+2d_{11} -d_{12} +2d_{13} -d_{20} +2d_{21} -d_{22} +2d_{23} +d_{30} -2d_{31} +d_{32} -2d_{33} \\
 T_{30} &= d_{00} +d_{01} +d_{02} +d_{03} -2d_{10}-2d_{11} -2d_{12} -2d_{13} +2d_{20} +2d_{21} +2d_{22} +2d_{23} -d_{30} -d_{31} -d_{32} -d_{33} \\
 T_{31} &= 2d_{00} +d_{01} -d_{02} -2d_{03} -4d_{10}-2d_{11} +2d_{12} +4d_{13} +4d_{20} +2d_{21} -2d_{22} -4d_{23} -2d_{30} -d_{31} +d_{32} +2d_{33} \\
 T_{32} &= d_{00} -d_{01} -d_{02} +d_{03} -2d_{10}+2d_{11} +2d_{12} -2d_{13} +2d_{20} -2d_{21} -2d_{22} +2d_{23} -d_{30} +d_{31} +d_{32} -d_{33} \\
 T_{33} &= d_{00}-2d_{01} +2d_{02} -d_{03} -2d_{10}+4d_{11} -4d_{12} +2d_{13} +2d_{20} -4d_{21} +4d_{22} -2d_{23} -d_{30} +2d_{31} -2d_{32} +d_{33}
 \end{aligned}$$

Παρατηρώντας τις παραπάνω ισότητες βλέπουμε ότι ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών του ζεύγους d_i, d_{i+1} είναι αρκετά μεγάλος, προτείνεται μια τροποποιημένη υλοποίηση του βασικού κυκλώματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-13.



Σχήμα 3-13 Βασικό κύκλωμα υπολογισμού Μετασχηματισμού SAD-DCT.

Το βασικό κύκλωμα έχει σαν είσοδο το ζεύγος d_i, d_{i+1} . Για κάθε τιμή υπάρχει ένα συνδυαστικό κύκλωμα (F_i, G_i) που παράγει τη σωστή τιμή που πρέπει να αθροιστεί. Αυτή

εξαρτάται μόνο από την τιμή του μετρητή. Τα συνδυαστικά κυκλώματα περιέχουν ένα πίνακα αναφοράς και ένα κύκλο παραγωγής αντίθετης τιμής. Η έξοδος του συνδυαστικού κυκλώματος σε σχέση με την είσοδο d_i μπορεί να είναι d_i , $2*d_i$, $4*d_i$, $-d_i$, $2*d_i$, $4*d_i$.

Το μέγεθος του κυκλώματος SAD-DCT είναι λίγο μεγαλύτερο από αυτό του SATD λόγω των πολυπλοκότερων τιμών άθροισης στους συσσωρευτές.

3.4.5 Μετρικές βασισμένες στις SATD και SAD-DCT

Έχοντας σαν βάση τις μετρικές SATD και SAD-DCT μπορούμε να περιγράψουμε και άλλες μετρικές με πολύ καλά αποτελέσματα σε σχέση με το μέγεθος που απαιτούν. Το μέγεθος των παραπάνω μετρικών ορίζεται από το πλήθος των τιμών T_{ij} . Μειώνοντας αυτό το πλήθος μειώνεται επίσης ο αριθμός των βασικών κυκλωμάτων και το μέγεθος του τελικού αθροιστή. Επίσης μείωση του τελευταίου συνεπάγεται και μείωση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3-11) δίνονται τα αποτελέσματα του μεγέθους των μετρικών σε σχέση με τον αριθμό των T_{ij} που υλοποιούν και τον πίνακα μετασχηματισμού που περιέχουν. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αξιολογηθεί το μέγεθος της κάθε μετρικής ανάλογα με την απόδοσή της.

Αριθμός T_{ij}	SATD(αριθμός πυλών)	SAD-DCT(αριθμός πυλών)
16	8431	9350
12	6508	6942
8	4441	4777
4	2328	2429

Πίνακας 3-11 Μεγέθη μετρικών αποκλίσεων

4 Τεχνικές Υλοποίησης Μηχανής I16x16

Ο αλγόριθμος επιλογής του καλύτερου prediction mode ίσως είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός κωδικοποιητή. Η βέλτιστη χρήση των κυκλωμάτων παραγωγής των prediction macroblock γίνεται με τη σωστή επιλογή του prediction mode. Η πιο διαδεδομένη τεχνική είναι η Rate-distortion optimization που περιγράφεται παρακάτω.

4.1 Rate–distortion optimization

Rate–distortion optimization (also RDO or RD) ονομάζεται η μέθοδος αύξησης της ποιότητας του κωδικοποιημένου video. Το όνομα αναφέρεται στη βελτίωση του ποσού της αλλοίωσης (distortion) σχετικά με το αρχικό video σε σχέση με τον όγκο των δεδομένων που απαιτούνται για την κωδικοποίηση αυτού. Βασικά η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται από τους κωδικοποιητές video, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε πεδίο συμπίεσης (ήχο, εικόνας). Πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος αυτή επιδρά θετικά τόσο στη μείωση του όγκου του παραγόμενου συμπίεσμένου video όσο στην ποιότητα αυτού.

Η κλασική μέθοδος απόφασης καλύτερου mode για έναν κωδικοποιητή είναι η επιλογή εκείνου που δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα από πλευράς ποιότητας. Όμως αυτό έχει το μειονέκτημα ότι η επιλογή αυτή μπορεί να απαιτεί περισσότερα δεδομένα, ενώ προσφέρει ελάχιστα καλύτερη ποιότητα. Ένα παράδειγμα αυτού του προβλήματος είναι η χρήση του $\frac{1}{4}$ pixel ακρίβειας του motion estimation. Προσθέτοντας περισσότερη ακρίβεια στο διάλυσμα κίνησης ενός macroblock μπορούμε να αυξήσουμε την ποιότητα αλλά σε μερικές περιπτώσεις η αύξηση αυτή δεν αξίζει τα περισσότερα δεδομένα που απαιτούνται για την κωδικοποίηση του διαλύματος κίνησης.

Η τεχνική RDO προσπαθεί να λύσει το προαναφερόμενο πρόβλημα υπολογίζοντας το κόστος για κάθε επιλογή, λαμβάνοντας υπόψη την απόκλιση από την αρχική είσοδο και το παραγόμενο μέγεθος σε bits. Η επιλογή με το μικρότερο κόστος θεωρητικά είναι η καλύτερη δυνατή. Το κόστος κάθε επιλογής ισούται με

$Cost = SSE + \lambda * total_bits$, όπου SSE το άθροισμα των τετραγωνικών λαθών,

λ ο αριθμός Lagrangian και

total_bits ο αριθμός των παραγόμενων bits

Από την διεθνή βιβλιογραφία ο αριθμός Lagrangian ισούται με $\lambda = 0,85 * 2^{\frac{q-12}{3}}$

Στη περίπτωση που αλλάζει η μετρική ομοιότητας αλλάζει και η τιμή λ . Οι μετρικές που χρησιμοποιούνται είναι αυτές που περιγράφηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια (SAD,SATD,SSE).

Ο υπολογισμός των παραγόμενων bits είναι πολύ δύσκολος σε ένα κωδικοποιητή H.264 λόγω του entropy encoder. Για ακριβή αποτελέσματα απαιτείται ο υπολογισμός όλων των σταδίων του κωδικοποιητή. Λόγω όμως της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου πρακτικά δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η τεχνική σε κωδικοποιητές πραγματικού χρόνου. Σε μια υλοποίηση σε υλικό, όπου υπάρχει η απαίτηση για κωδικοποίηση σε υψηλό fps με μια δεδομένη συχνότητα λειτουργίας, η πλήρη λειτουργία του RDO είναι απαγορευτική. Πρακτικά η εφαρμογή του RDO στηρίζεται μόνο στα αποτελέσματα των μετρικών και στη σωστή πρόβλεψη του αριθμού των bits που απαιτούνται για τον macroblock header. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται «Low complicity». Το κόστος της κάθε επιλογής είναι ίσο με

$$cost = Metric_value + \lambda * bits_in_header$$

Όπου metric_value είναι ίσο με τη τιμή της μετρικής (SAD, SSE, SATD)

λ Lagrangian τιμή εξαρτώμενη από τον παράγοντα ποιότητας και τον τύπο της μετρικής

bits_in_header ο αριθμός των bits που απαιτούνται στο macroblock header, όπως περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Στη μηχανή INTRA γίνεται επιλογή μεταξύ των 4 mode I16x16. Στην περίπτωση αυτή ο δεύτερος όρος δεν λαμβάνεται υπόψη διότι κάθε ένα από τα I16x16 mode απαιτούν τον ίδιο αριθμό bits στο macroblock header. Στην περίπτωση τώρα του I4x4 ο δεύτερος όρος είναι σημαντικός διότι τα 9 mode δεν απαιτούν τον ίδιο αριθμό. Στη μέθοδο low complicity η τιμή της μετρικής αντιπροσωπεύει την αλλοίωση της ποιότητας και τον αριθμό των bits που απαιτούνται για την κωδικοποίηση των μετασχηματισμένων συντελεστών.

4.2 Ανάλυση παραγόμενων bits ανά Macroblock

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.4 κάθε ένα macroblock κωδικοποιείται ξεχωριστά και η δομή των bits που αντιπροσωπεύουν αυτό είναι αυστηρά οριζόμενη από το πρότυπο. Η δομή αυτή αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα ονομάζεται «header» και το δεύτερο τμήμα ονομάζεται «residual». Στο header υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την επιλογή του prediction mode, του παράγοντα ποιότητας και την ύπαρξη μη μηδενικών συντελεστών μετασχηματισμού στα sub-Macroblock 8x8. Στο residual τμήμα υπάρχουν πληροφορίες για τους συντελεστές μετασχηματισμού, όπως αυτοί κωδικοποιούνται από τον entropy encoder.

Το περιεχόμενο του residual τμήματος εξαρτάται μόνο από τους συντελεστές μετασχηματισμού και είναι ανεξάρτητο από τον τύπο του prediction macroblock, εκτός από μια εξαίρεση τα 4 mode του Luma I16x16. Το πλήθος των παραγόμενων bits κατά συνέπεια είναι σχεδόν ανεξάρτητο από την ίδια την επιλογή του τύπου και εξαρτάται μόνο από τις τιμές των συντελεστών.

Οι συντελεστές μετασχηματισμού αντιπροσωπεύουν τον πίνακα των διαφορών μεταξύ του prediction macroblock που έχει επιλεγεί και του αρχικού macroblock. Όσο το prediction macroblock είναι όμοιο με το αρχικό τόσο οι συντελεστές είναι μηδενικοί και κατά επέκταση το πλήθος των παραγόμενων bits είναι μικρότερο. Για αυτό το λόγω χρησιμοποιούνται οι μετρικές αποκλίσεις σαν μέτρο ομοιότητας και κριτήριο της επιλογής του prediction macroblock όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί η σχέση του παράγοντα ποιότητας με το πλήθος των bits. Οι συντελεστές μετασχηματισμού δεν οδηγούνται απευθείας στον entropy encoder αλλά υφίστανται κβαντοποίησης, μέτρο της οποίας είναι ο παράγοντας ποιότητας (συνήθως αναφέρεται σαν Q και έχει τιμές από 0 έως 51. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε συμπίεση χωρίς χάσιμο πληροφορίας ενώ η τιμή 51 αντιστοιχεί στη μέγιστη αλλοίωση της ποιότητας). Όσο καλύτερης ποιότητας video απαιτούμε, μεγαλύτερες είναι οι τιμές των συντελεστών μετασχηματισμού μετά την κβαντοποίηση, που συνεπάγεται μεγαλύτερος αριθμός παραγόμενων bits. Φυσικά η επιλογή των διαθέσιμων prediction mode είναι ανεξάρτητη της επιλογής του Q, αφού αναζητούμε τον ελάχιστο αριθμό bits για μια δεδομένη ποιότητα.

Το περιεχόμενο του header εξαρτάται δραστικά από όλα τα πεδία που περιέχει. Στον header περιέχονται τα παρακάτω πεδία (εμφανίζονται μόνο αυτά που εμπλέκουν το INTRA)

Για ένα macroblock που είναι συμπίεσμένο κατά Intra, οι πληροφορίες που χρειάζονται για την αποκωδικοποίησή του είναι οι παρακάτω:

1. Ο τύπος του Intra mode. Αν είναι I16X16 ή I4X4
2. Ο τύπος του prediction mode του macroblock στην περίπτωση του I16X16 (DC,plane, horizontal, vertical)
3. Ο τύπος κάθε sub-macroblock στην περίπτωση του I4X4 (16 τιμές που δίνει ένα από τα 9 διαφορετικά mode)
4. Ο τύπος του prediction macroblock για το chroma (DC,plane, horizontal, vertical), που είναι κοινός και για τα δύο χρώματα
5. Πληροφορία για το αν υπάρχουν μη μηδενικοί συντελεστές μετασχηματισμού για κάθε ένα από τα sub-macroblock, όπως αυτά ορίζονται από το πρότυπο στην παράγραφο 7.4. του [1]

4.2.1 Περιγραφή Header του I16X16

Στην περίπτωση της επιλογής prediction mode I16X16, τότε οι πληροφορίες 1,2,5 που περιγράφονται παραπάνω αναπαριστούνται με έναν αριθμό mb_type. Στην ουσία όλος ο header εκφυλίζεται στο mb_type. Ο τελευταίος περιγράφεται στην παράγραφο 7.4.5 του [1], και έχει τιμή από 1 έως 24.

Η εφαρμογή του RDO στην επιλογή ενός εκ των τεσσάρων mode είναι πρακτικά μηδενική, διότι ο αριθμός των bits του header είναι ανεξάρτητος της επιλογής και εξαρτάται μόνο κατά τον ίδιο τρόπο από τους μη μηδενικούς συντελεστές μετασχηματισμού. Η εφαρμογή έχει δείξει ότι η επιλογή του I16X16 σε έναν κωδικοποιητή είναι σωστή μόνο στην περίπτωση όπου έχουμε μηδενικούς συντελεστές μετασχηματισμού, δηλαδή πολύ καλό prediction. Σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των bit του header είναι ο ίδιος για όλα τα τέσσερα mode. Η διαφορά του αριθμού αυτού είναι στις περισσότερες περιπτώσεις 2 bits. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το σφάλμα της μη χρήσης του RDO είναι πρακτικά μηδέν διότι όταν χρησιμοποιούμε το I16X16 ο αριθμός των bits ανά macroblock είναι πολύ μεγαλύτερος των 40 bits.

Στην περίπτωση αυτή η επιλογή του καλύτερου mode γίνεται πρακτικά με βάση μόνο τη μετρική απόκλιση. Το ίδιο ισχύει φυσικά και για την επιλογή του mode του χρώματος.

4.2.2 Περιγραφή Header του I4X4

Στη περίπτωση της επιλογής I4x4 τα πράγματα γίνονται αρκετά πιο πολύπλοκα. Ο αριθμός των bits του header εξαρτάται από τις 16 επιλογές των prediction mode. Ο αριθμός των bits για την κωδικοποίηση του Mode είναι 1 ή 4. Από το [1] ορίζεται 1 από τα 9 mode, για κάθε 16 sub-macroblock, ως mode με τις περισσότερες πιθανότητες να επιλεγθεί. Το ένα αυτό mode κωδικοποιείται με 1 bit, ενώ τα υπόλοιπα 8 με 4 bits. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός και μόνο της κωδικοποίησης των prediction mode μπορεί να είναι από 16 έως και 64 bits. Η διαφορά των 3 bits στην επιλογή των mode μπορεί να φαίνεται μικρή αλλά στη πραγματικότητα δεν είναι. Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι ο αριθμός των bits για την κωδικοποίηση ένας sub-macroblock, σε μεγάλο ποσοστό είναι κοντά στο μηδέν. Η τεχνική RDO δίνει πραγματική αύξηση στην απόδοση ενός κωδικοποιητή.

4.3 Βελτιστοποίηση μηχανής INTRA I16x16

Η υλοποίηση σε υλικό της μηχανής I16x16 αποτελείται από το τμήμα υπολογισμού και το τμήμα των μετρικών αποκλίσεων. Η επιλογή του καλύτερου mode γίνεται με βάση μόνο το αποτέλεσμα της μετρικής, σαν μέτρο ομοιότητας μεταξύ του prediction και του current. Αυτή είναι ανεξάρτητη από τα bits του macroblock header διότι όπως αναλύθηκε είναι περίπου τα ίδια για κάθε περίπτωση.

Η βελτιστοποίηση της υλοποίησης της μηχανής αναφέρεται στη μείωση του απαιτούμενου κυκλώματος κρατώντας την απόδοση της σταθερή. Η απόδοσή της αναφέρεται στο bitrate και στον αριθμό των κύκλων λειτουργίας.

Οι δύο κυρίαρχες μετρικές που χρησιμοποιούνται είναι η SAD και η SATD. Η μεν πρώτη είναι η πιο απλή και μικρή σε υλοποίηση, δίνοντας όμως τα χειρότερα αποτελέσματα, ενώ η δεύτερη είναι η πιο πολύπλοκη που χρησιμοποιείται, έχοντας τα καλύτερα αποτελέσματα.

Η έρευνα για τη βελτιστοποίηση της μηχανής βασίστηκε στα αποτελέσματα της υλοποίησης της μηχανής για διάφορες μετρικές αποκλίσεις (Κεφάλαιο 3.4.5). Η απόδοση των διαφορετικών υλοποιήσεων υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό που αναπτύχθηκε. Για τον ακριβέστερο υπολογισμό των αποτελεσμάτων, όσο αφορά τη μηχανή I16x16, το λογισμικό προσαρμόστηκε με τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Συμπίεση μόνο με χρήση των 4 mode I16x16
- Παραμετρική χρήση της μετρικής απόκλισης
- Επιλογή του χρώματος με βάση μετρικής απόκλισης ή την καλύτερη δυνατή.

Με την προσαρμογή αυτή ο υπολογισμός του bitrate, SNR εξαρτάται μόνο από τη μετρική απόκλιση που εφαρμόζεται, δίνοντας έτσι ακρίβεια στην επίπτωση που έχει η κάθε μετρική στην απόδοση του κωδικοποιητή.

Για τη βελτιστοποίηση της μηχανής αναλύθηκαν υλοποιήσεις με διαφορετικές μετρικές και μελετήθηκαν τα αποτελέσματα του παραγόμενου bitrate και SNR. Για κάθε υλοποίηση υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα σε διαφορετικά video αναφοράς (test sequences) που είναι ευρέως διαδεδομένα στην επιστημονική κοινότητα.

4.3.1 Τιμή μετρικής έναντι αριθμών παραγόμενων

Η τιμή της μετρικής απόκλισης χρησιμοποιείται σαν μέτρο ομοιότητας. Μικρότερη τιμή σημαίνει πιο όμοια macroblock. Αυτό οδηγεί σε λιγότερα bits, που περιγράφουν το macroblock, αλλά δυστυχώς η σχέση αυτή δεν είναι γραμμική. Στη μη γραμμικότητα της σχέσης οφείλεται η αστοχία της σωστής επιλογής του καλύτερου mode. Στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα της σχέσης της τιμής της μετρικής σε σχέση με τον αριθμό των bits για διαφορετικές αποκλίσεις, test videos και παράγοντες ποιότητας.

Στα διαγράμματα ο οριζόντιος άξονας είναι η τιμή της μετρικής μόνο για το Luma και για τύπο I16x16. Στον κατακόρυφο άξονα είναι ο αριθμός των παραγόμενων bits ανά macroblock και μόνο αυτά που αντιστοιχούν στο residual τμήμα (όχι ο macroblock header) του Luma (όχι τα bits για τα δύο χρώματα). Από τα διαγράμματα αυτά μπορούμε να εξάγουμε ακριβή αποτελέσματα της σχέσης του τύπου της μετρικής και των παραγόμενων bits, που περιγράφονται στη συνέχεια.

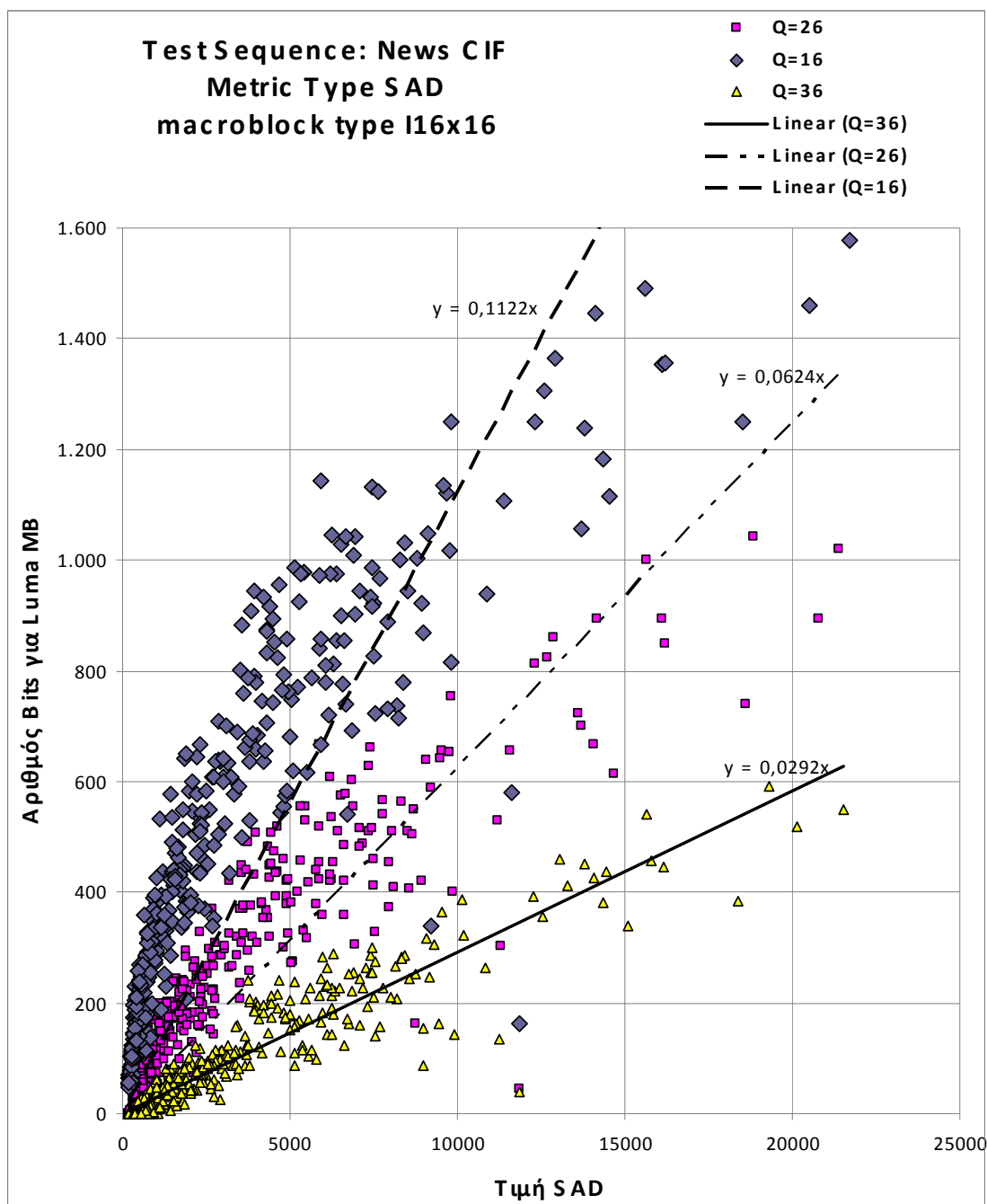
Για την ίδια τιμή της μετρικής έχουμε περισσότερα bits ανά macroblock όσο ο παράγοντας ποιότητας μικραίνει (υψηλή συμπίεση). Αυτό είναι ανεξάρτητο του τύπου τις μετρικής.

Για την ίδια τιμή της μετρικής και για τον ίδιο τύπο μετρικής ο αριθμός των bits ανά macroblock δεν είναι γραμμικός αλλά έχει μεγάλη απόκλιση. Σε αυτή την απόκλιση οφείλεται και η μη βέλτιστη επιλογή του Mode I16x16.

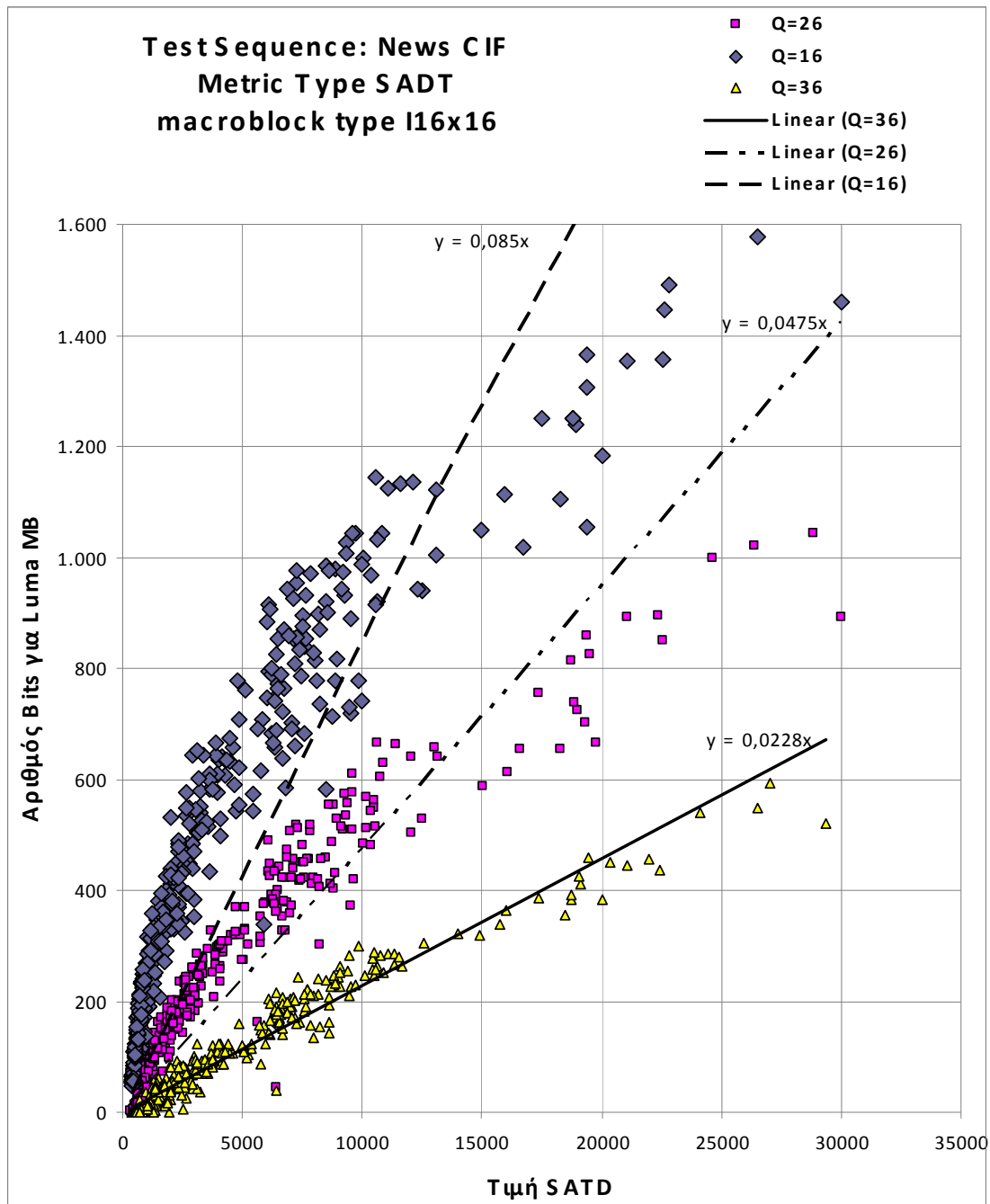
Η μεγάλη απόκλιση των τιμών συμβαίνει για μεγάλες τιμές της μετρικής, για τις οποίες έχουμε κατά κανόνα μεγάλο αριθμό bits.

Η απόκλιση είναι πολύ μεγάλη για μετρική SAD ενώ για τις υπόλοιπες είναι εμφανώς πιο μικρή. Οι μεταξύ τους αποκλίσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

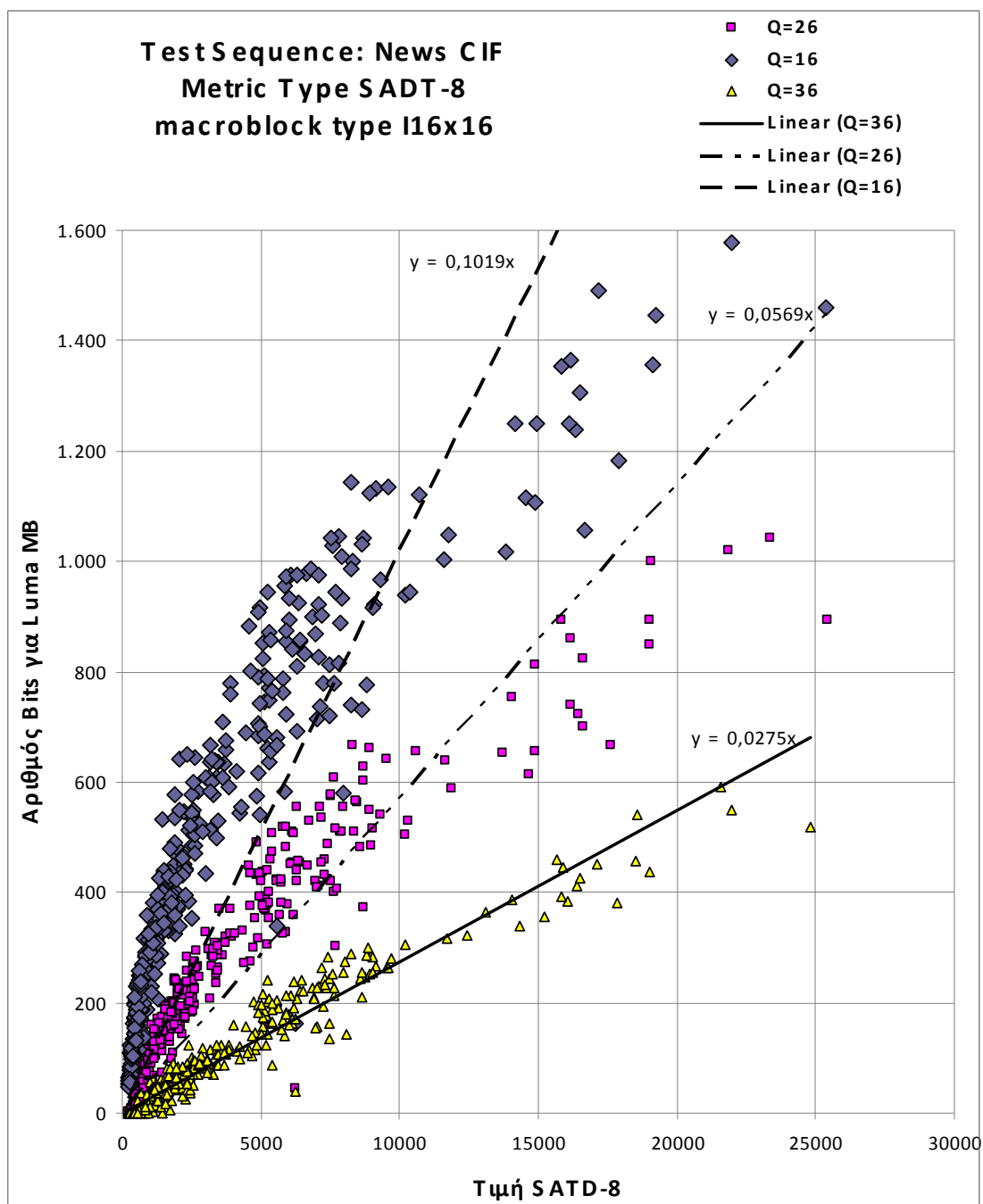
Τέλος τα παραπάνω συμπεράσματα είναι ανεξάρτητα του test sequence.



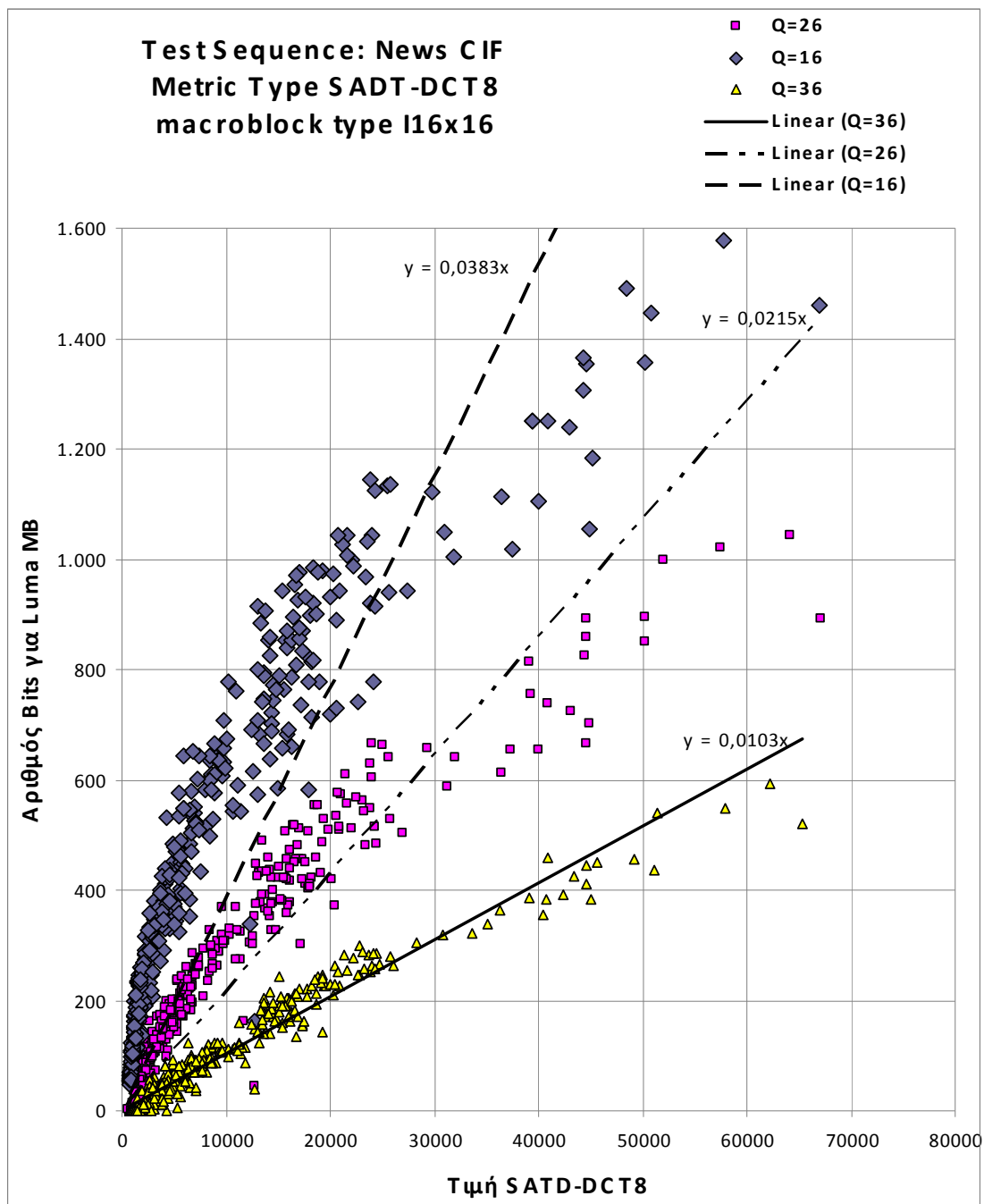
Σχήμα 4-1 News_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits



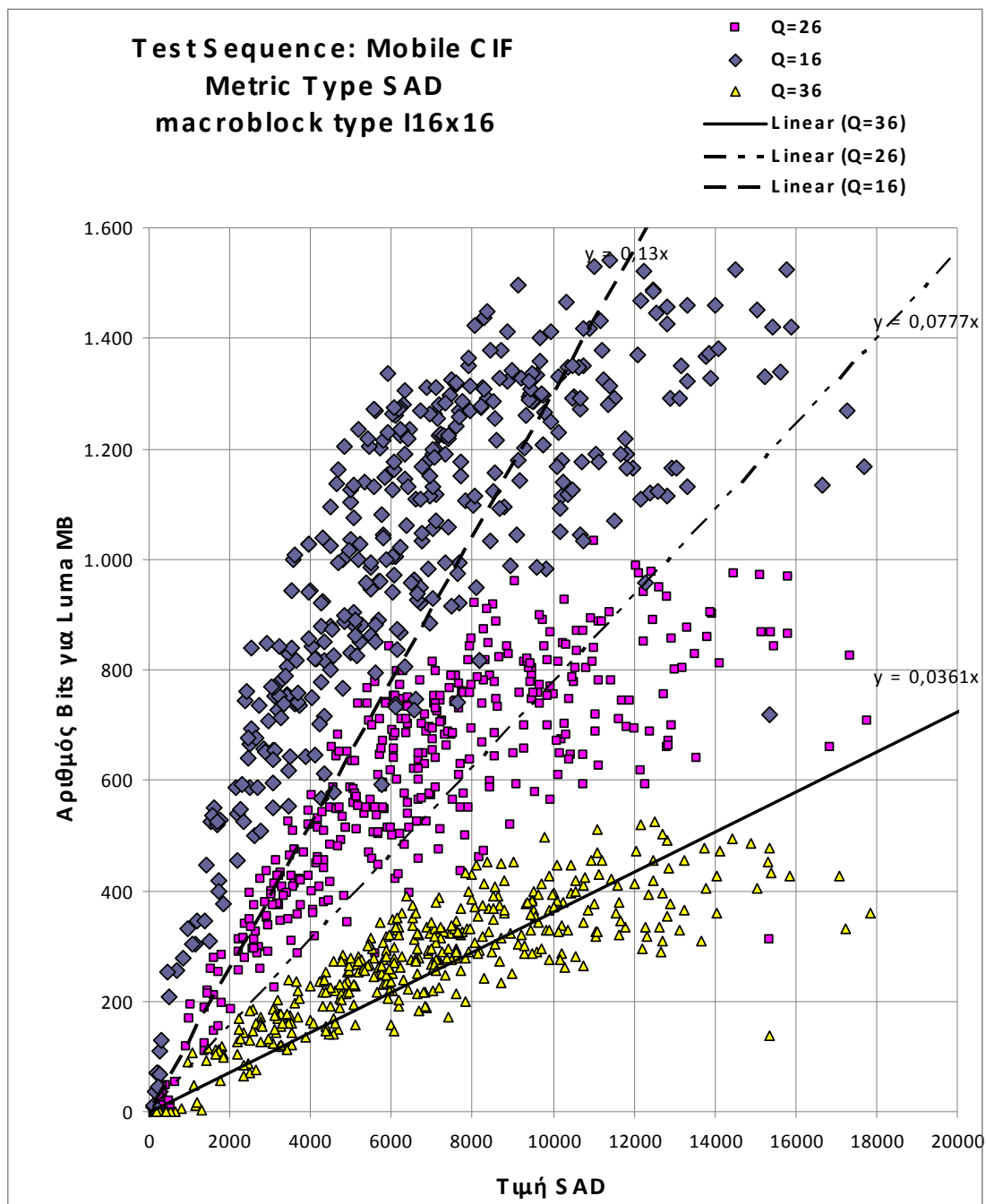
Σχήμα 4-2 News_cif Μετρική SADT -Αριθμού Luma Bits



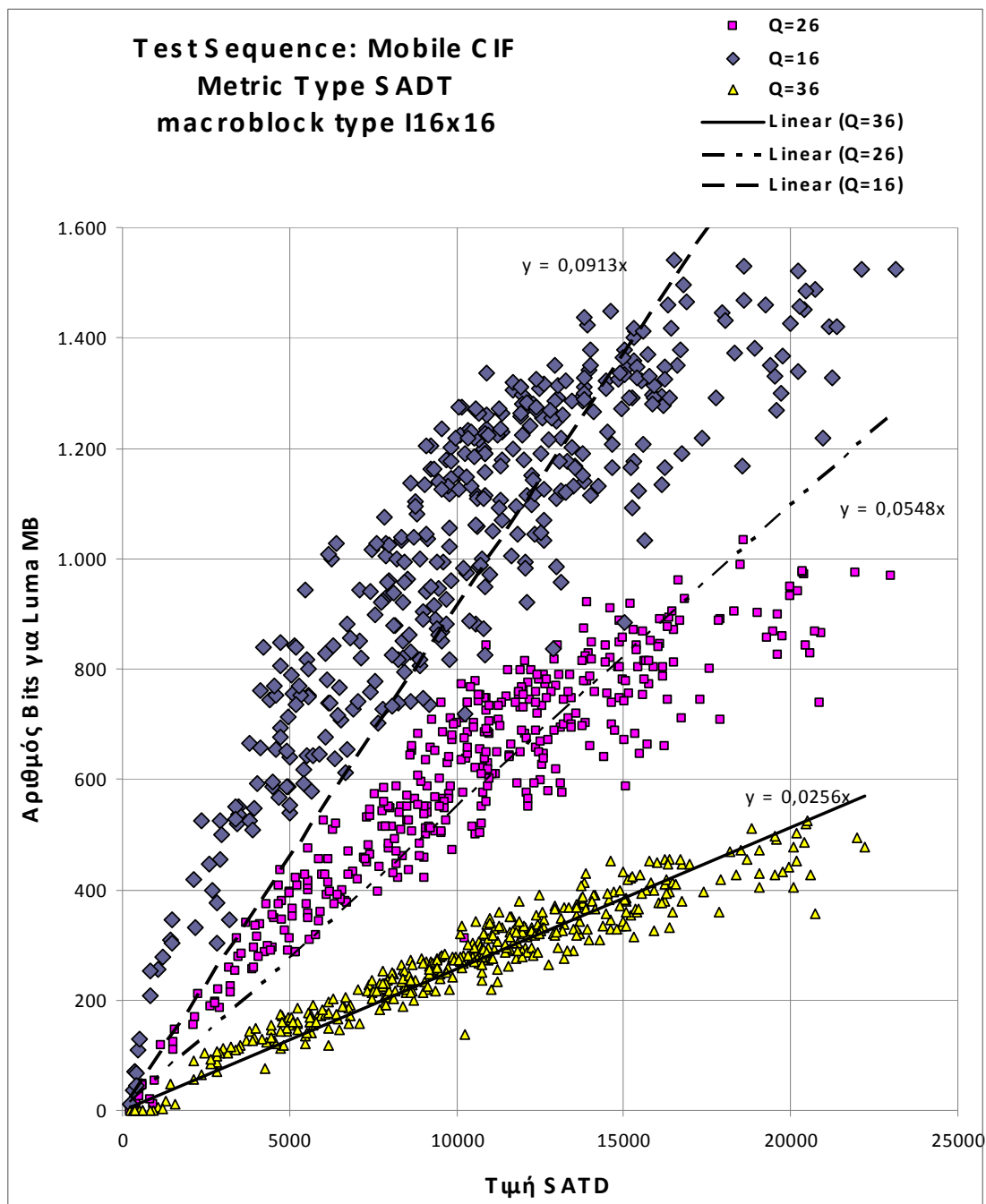
Σχήμα 4-3 News_cif Μετρική SATD_8 -Αριθμού Luma Bits



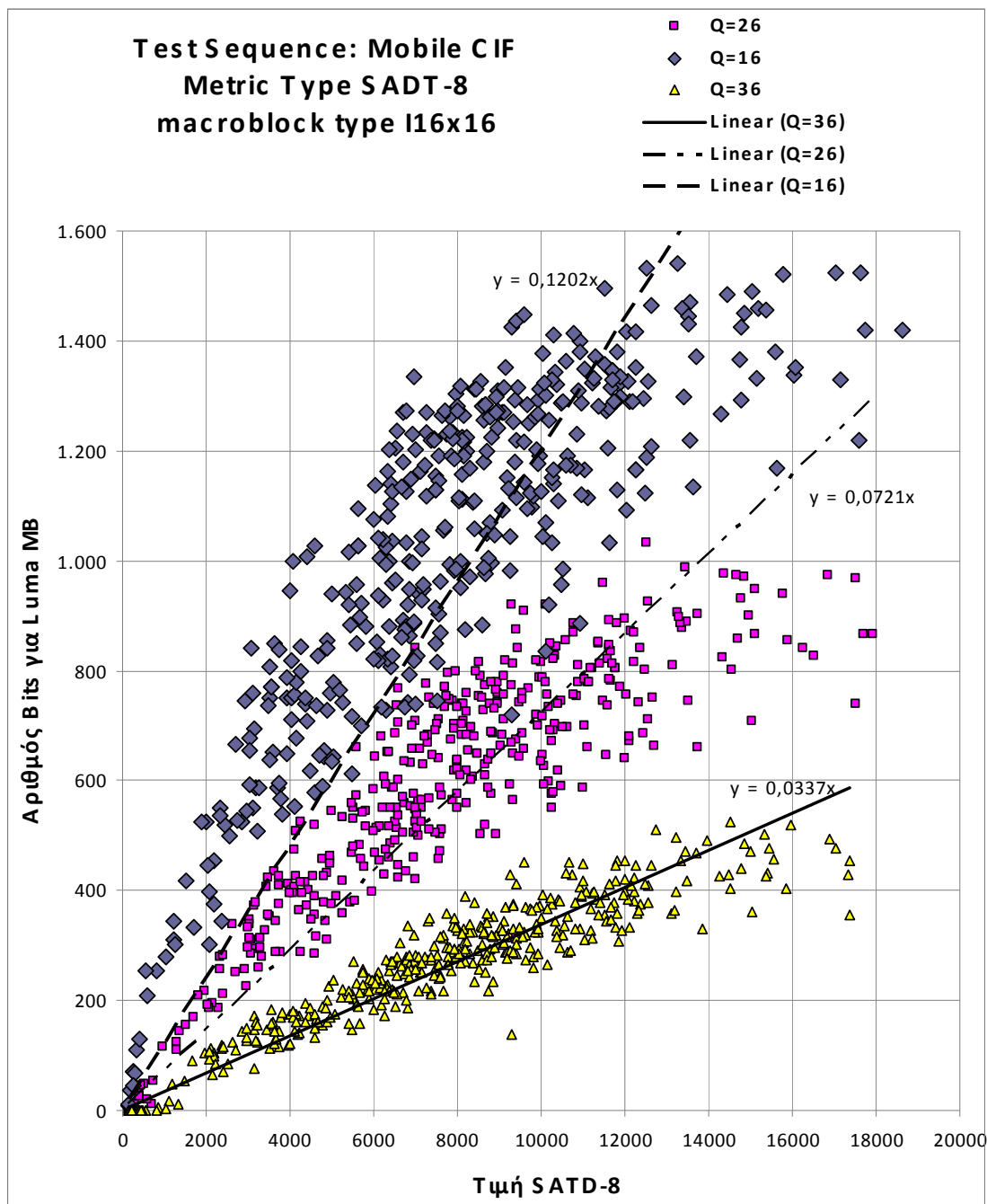
Σχήμα 4-4 News_cif Μετρική SATD_DCT8 -Αριθμού Luma Bits



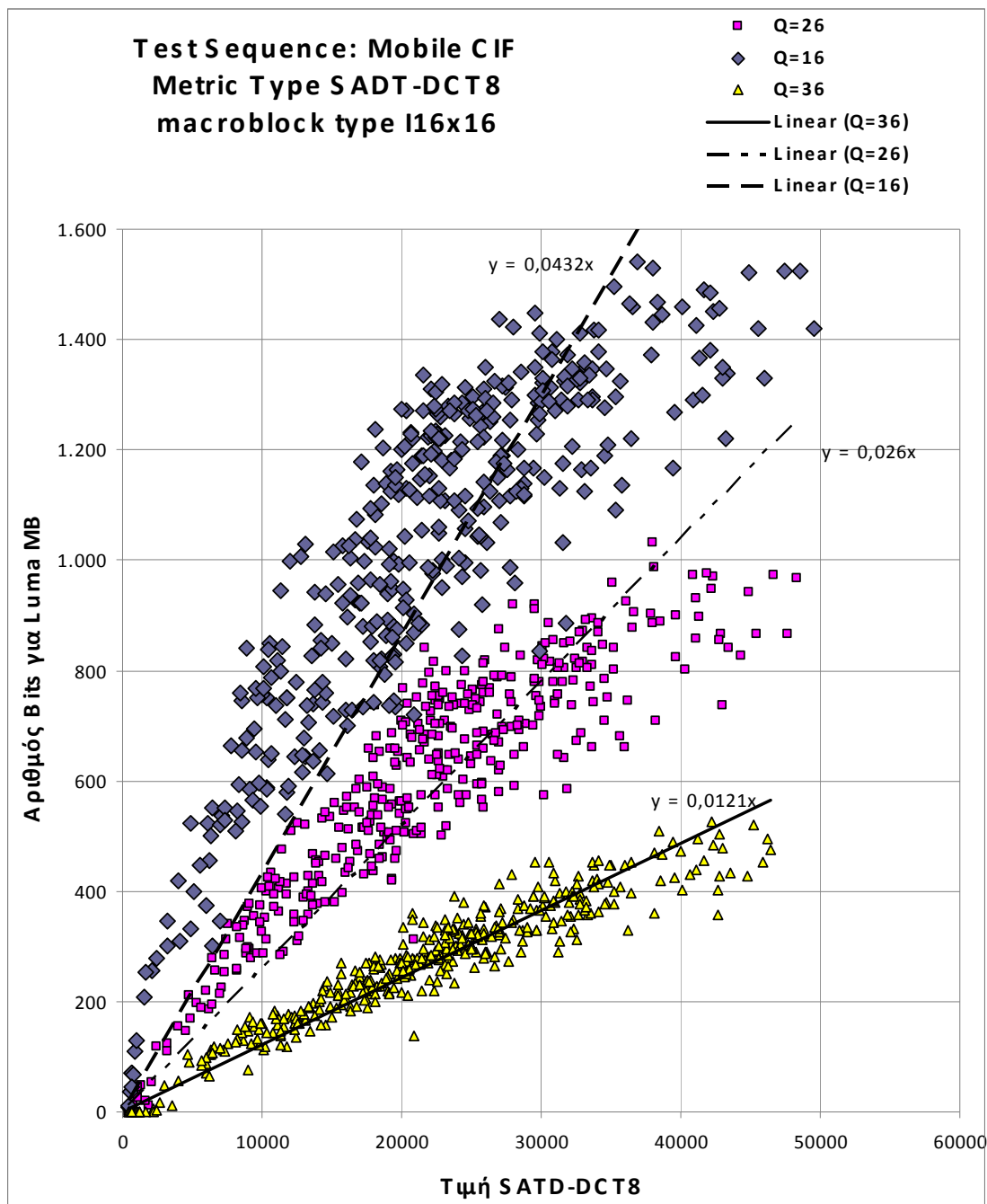
Σχήμα 4-5 Mobile_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits



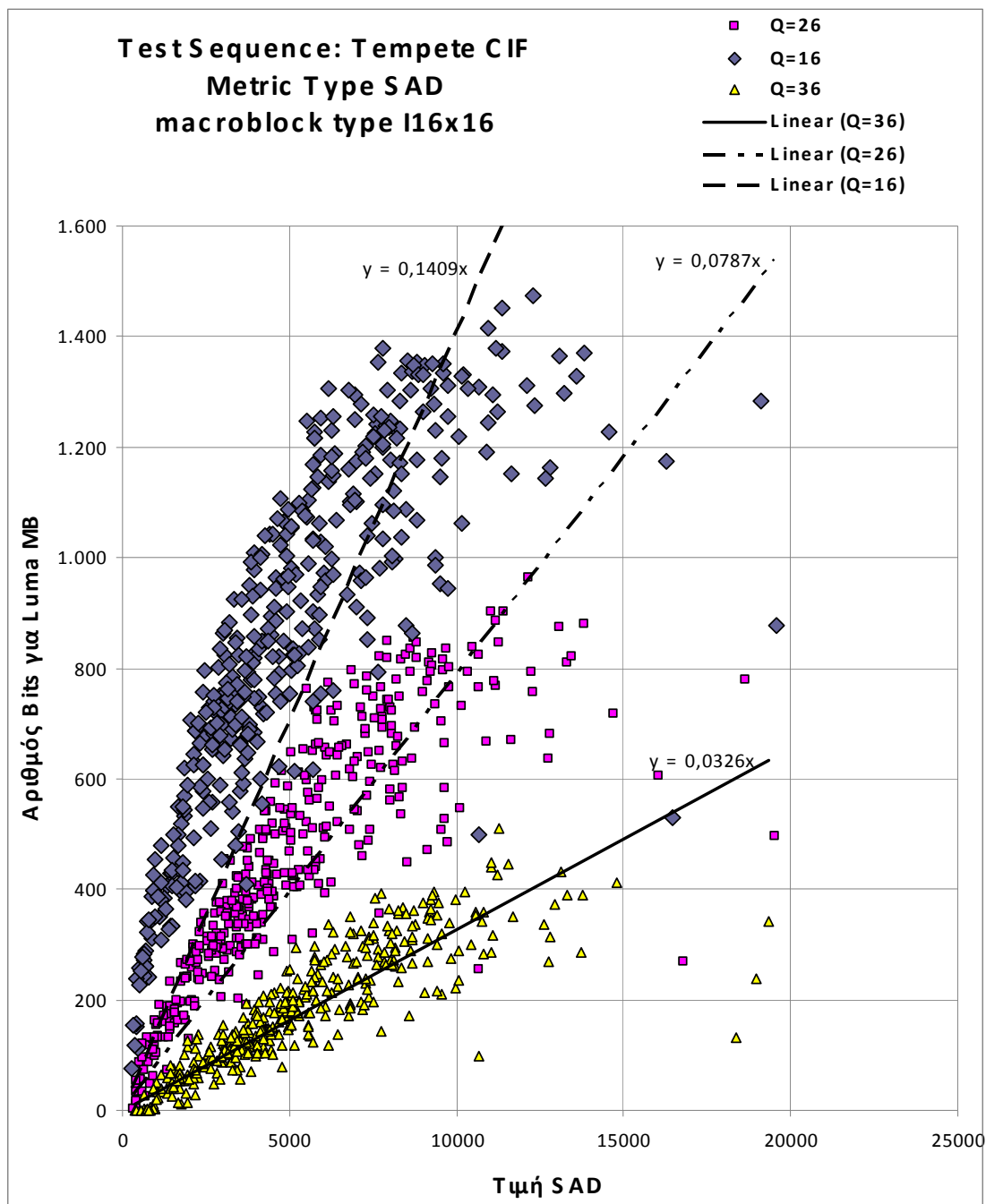
Σχήμα 4-6 Mobile_cif Μετρική SADT -Αριθμού Luma Bits



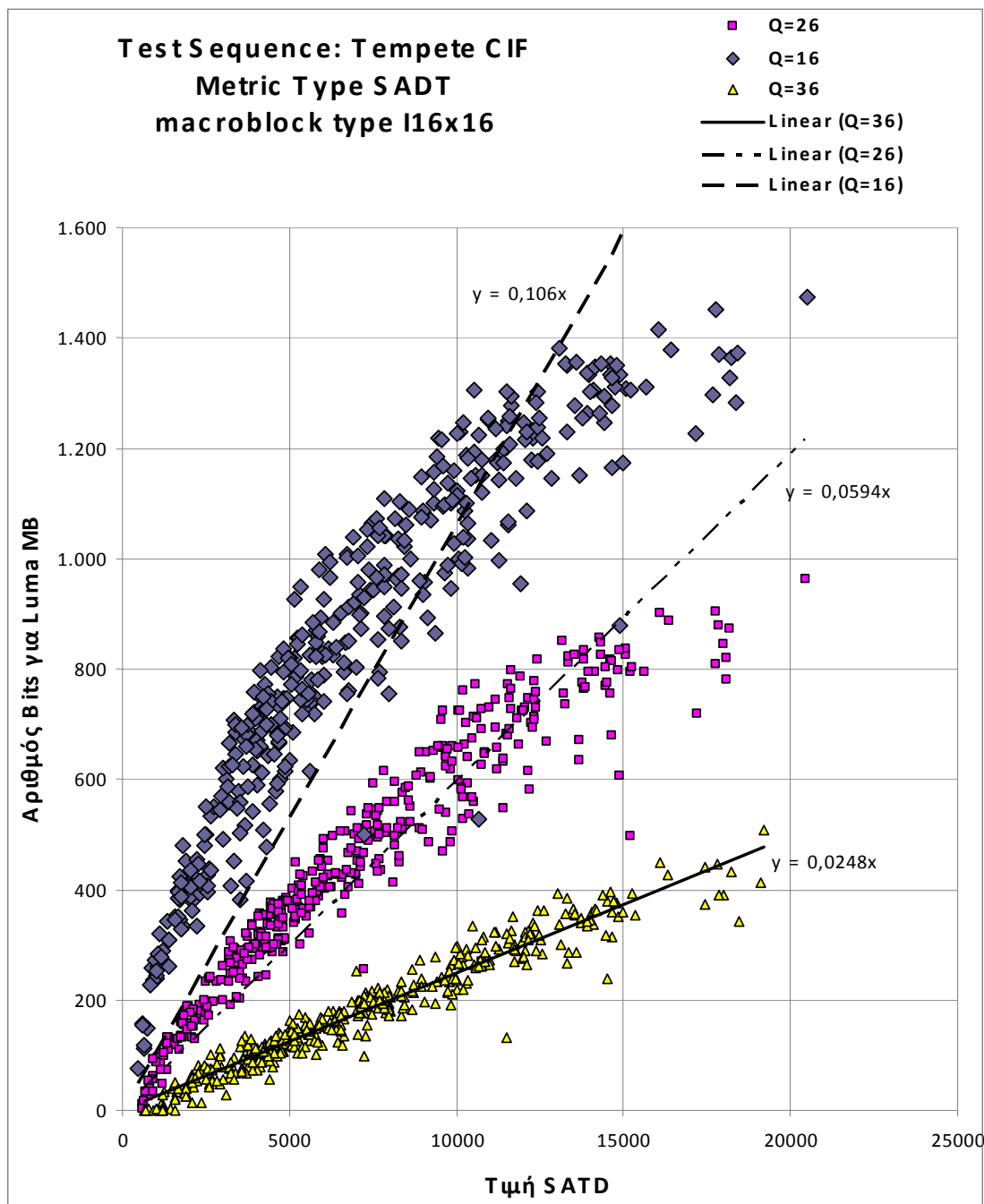
Σχήμα 4-7 Mobile_cif Μετρική SATD_8 -Αριθμού Luma Bits



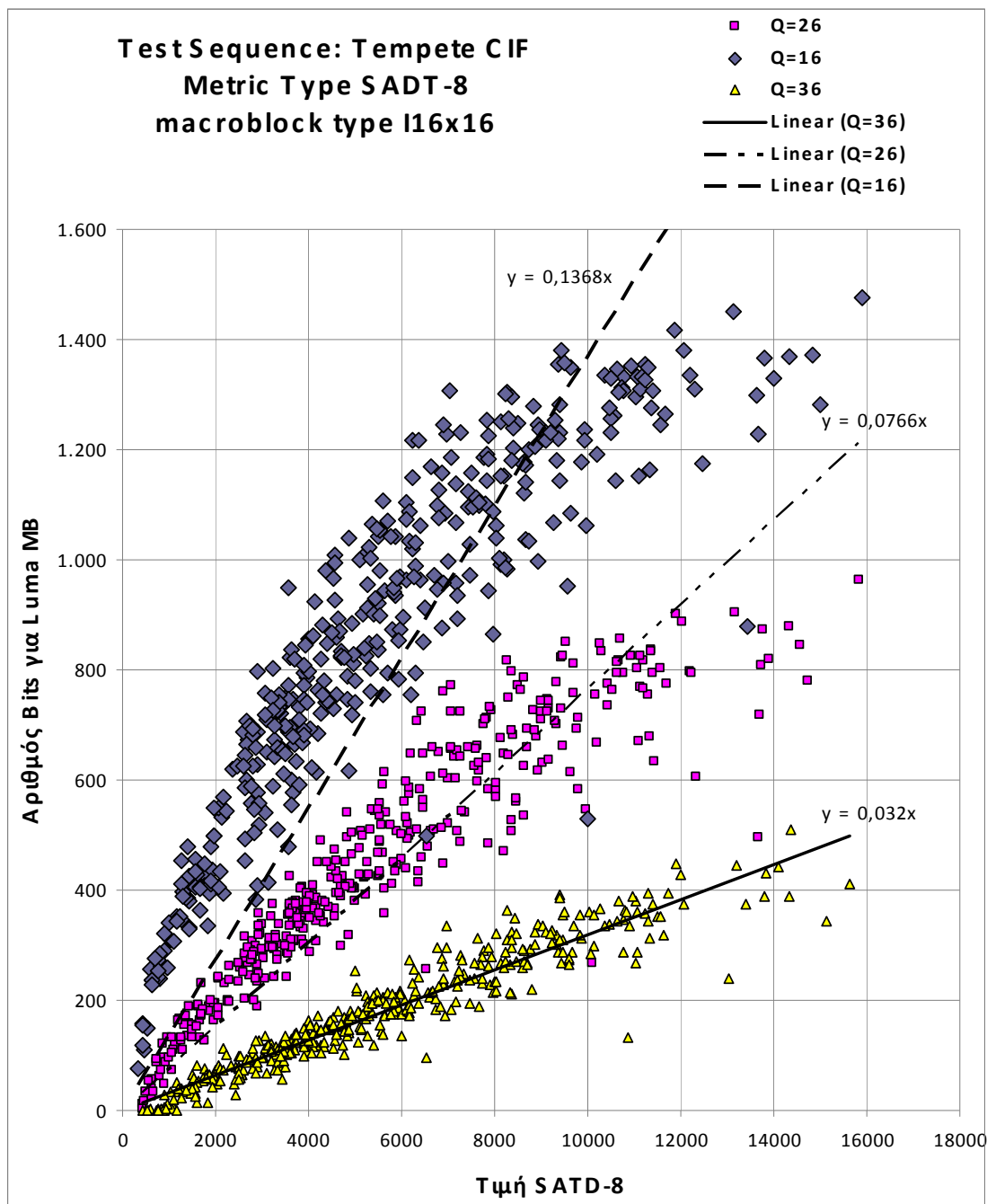
Σχήμα 4-8 Mobile_cif Μετρική SATD_DCT8 -Αριθμού Luma Bits



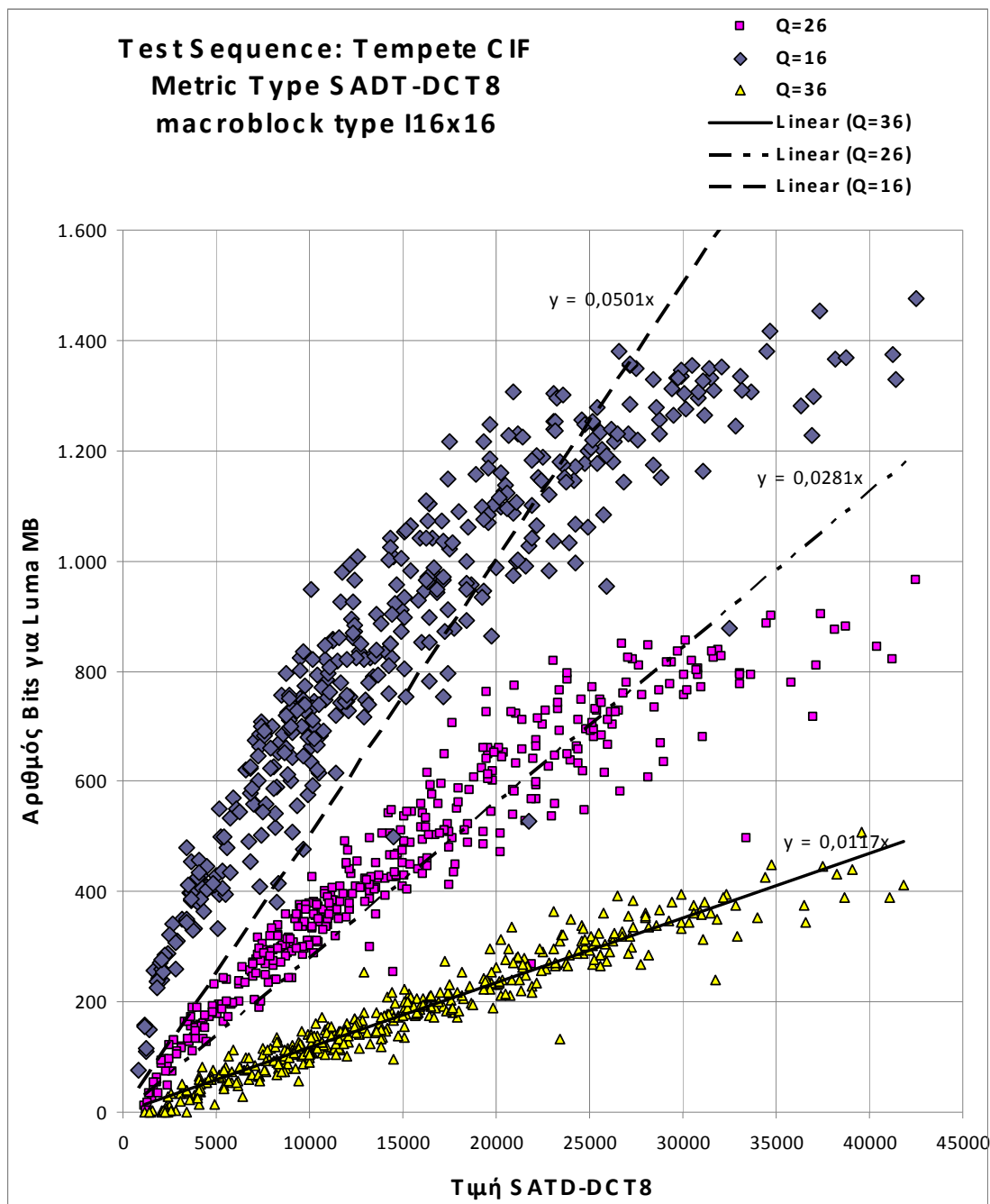
Σχήμα 4-9 Tempete_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits



Σχήμα 4-10 Tempete_cif Μετρική SATD -Αριθμού Luma Bits



Σχήμα 4-11 Tempete_cif Μετρική SATD_8 -Αριθμού Luma Bits



Σχήμα 4-12 Tempete_cif Μετρική SATD_DCT8 -Αριθμού Luma Bits

4.4 Σύγκριση μετρικών αποκλίσεων για I16x16

Η επιλογή της κατάλληλης μετρικής εξαρτάται από την απόδοση που θέλουμε να έχει ο κωδικοποιητής και από το μέγεθος του κυκλώματος που έχουμε στη διάθεσή μας. Εκτός από τις δύο βασικές μετρικές (SAD, SATD) μελετήθηκαν και άλλες προτεινόμενες μετρικές.

Η πρώτη κατηγορία προτεινόμενων μετρικών είναι αυτές που είναι όμοιες με την SATD με τη διαφορά ότι δεν χρησιμοποιούμε στην άθροιση και τους 16 μετασχηματισμένους συντελεστές. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σχέση απόδοσης/ μεγέθους για τις μετρικές αυτές.

Το κύκλωμα του SATD είναι αρκετά μεγάλο, το οποίο οφείλεται κατά κύριο λόγο στους 16 συσσωρευτές που έχει. Η ιδέα είναι να μην χρησιμοποιήσουμε και τους 16 συντελεστές και να βρούμε την επίπτωση που έχει η μείωση αυτή στην απόδοσή τους.

Η δεύτερη κατηγορία προτεινόμενων μετρικών είναι αυτές που είναι παραπλήσιες με την SATD (SAD-DCT) με τη βασική διαφορά ότι χρησιμοποιούμε διαφορετικό πίνακα μετασχηματισμού (Κεφάλαιο 3.4.4). Φυσικά υποπεριπτώσεις είναι αυτές με χρήση λιγότερων συντελεστών μετασχηματισμού.

4.4.1 Ανάλυση μετρικής SAD-DCT

Ο πίνακας μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται στη μετρική SAD-DCT είναι ο ίδιος με αυτόν στο μετασχηματισμό του τμήματος του κωδικοποιητή TQ. Ο βασικός σκοπός της μετρικής είναι η σωστή πρόβλεψη του αριθμού των παραγόμενων bits. Επειδή αυτά παράγονται με βάση των μετασχηματισμό του TQ κρίθηκε σκόπιμη η χρήση αυτού του πίνακα και στη μετρική. Φυσικά ο μετασχηματισμός αυτός είναι πιο πολύπλοκος και απαιτεί μεγαλύτερο κύκλωμα από αυτό του Hadamard.

Στο τμήμα του entropy encoder, οι 16 συντελεστές ταξινομούνται με ένα ειδικό βάρος. Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι 16 συντελεστές έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα να είναι μη μηδενικοί και να έχουν μεγάλη τιμή. Για παράδειγμα ο συντελεστής μετασχηματισμού T_{00} έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να έχει μεγαλύτερη τιμή από τον συντελεστή T_{33} . Η σειρά αυτή (zig-zag) ορίζεται στο πρότυπο και φαίνεται στο Σχήμα 4-13.

0	1	5	6
2	4	7	12
3	8	11	13
9	10	14	15

Σχήμα 4-13 Συντελεστές μετασ/μού σε zig-zag.

Η επιλογή των συντελεστών μετασχηματισμού που θα χρησιμοποιηθούν στη μετρική βασίζεται στη σειρά zig-zag. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι μια μετρική που χρησιμοποιεί 8 συντελεστές είναι αποδοτικότερη αν αυτοί είναι οι 8 πρώτοι της σειράς zig-zag. Το μέγεθος της μετρικής είναι ανεξάρτητο της επιλογής της σειράς και εξαρτάται μόνο από το πλήθος των συντελεστών.

4.4.2 Απόδοση μετρικών αποκλίσεων

Για τη μέτρηση της απόδοσης των μετρικών αποκλίσεων χρησιμοποιήθηκαν 3 test sequences. Κάθε ένα από αυτά συμπίεστηκε μόνο με χρήση I16x16 το Luma και το χρώμα κατά INTRA. Για τη συμπίεση των video χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό. Για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων η επιλογή του Mode του χρώματος είναι σε όλες τις περιπτώσεις η καλύτερη δυνατή, ώστε η διαφορά στο bitrate να οφείλεται μόνο στην επιλογή του mode I16x16.

Στη σύγκριση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι μετρικές :

- SAD
- SATD
- SATD-8 (8 πρώτοι συντελεστές σειράς zig-zag)
- SAD-DCT-8 (8 πρώτοι συντελεστές σειράς zig-zag)

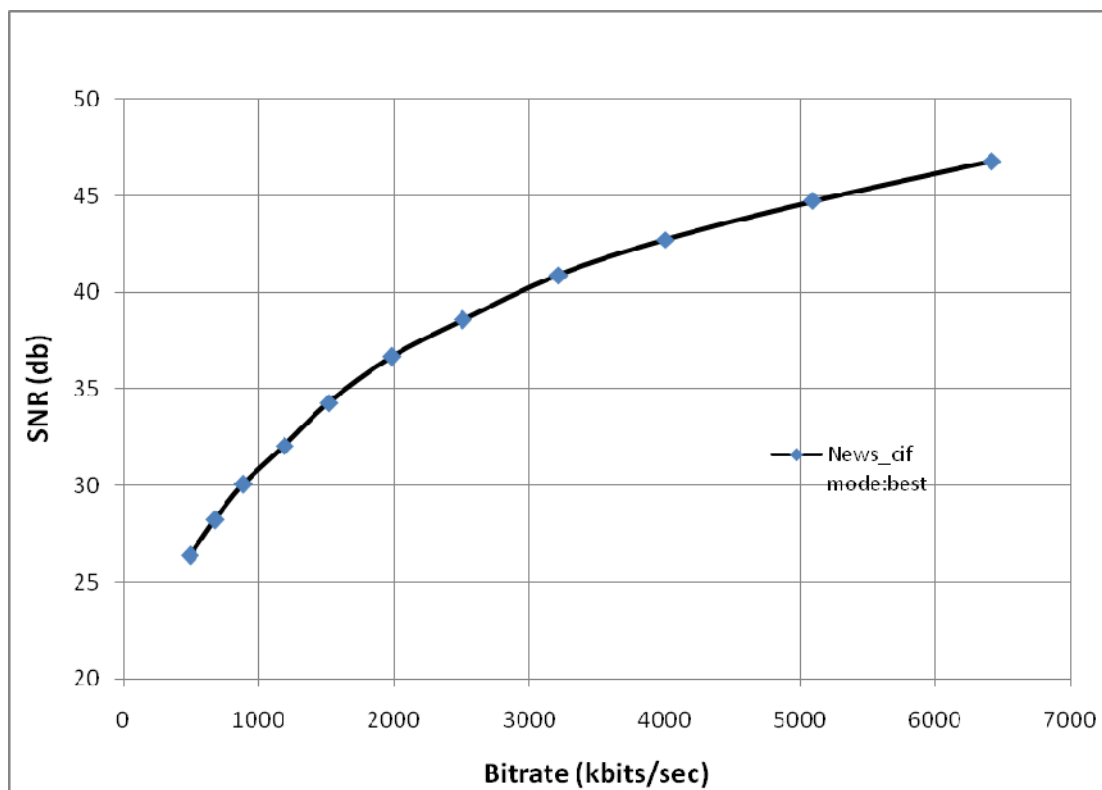
Επίσης κάθε ένα από τα τρία test sequence κωδικοποιήθηκε με την καλύτερη δυνατή επιλογή για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η καλύτερη δυνατή επιλογή (μια από τις τέσσερις) προκύπτει αν κάθε macroblock κωδικοποιηθεί και με τους τέσσερις τρόπους και η επιλογή γίνει στο τελικό στάδιο της κωδικοποίησης, όπου ξέρουμε ακριβώς τον αριθμό των bits. (best mode).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί, για αποφυγή επαναλήψεων, ότι τα SNR για τα επόμενα διαγράμματα είναι όμοια για διαφορετικού τύπου μετρικές, με αποτέλεσμα η σύγκριση να γίνεται μόνο με βάση το παραγόμενο bitrate.

Sequence: News_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	46,8	6423
19	44,72	5096
22	42,73	4010
25	40,9	3216
28	38,58	2505
31	36,68	1979
34	34,29	1518
37	32,06	1188
40	30,06	882
43	28,23	672
46	26,38	492

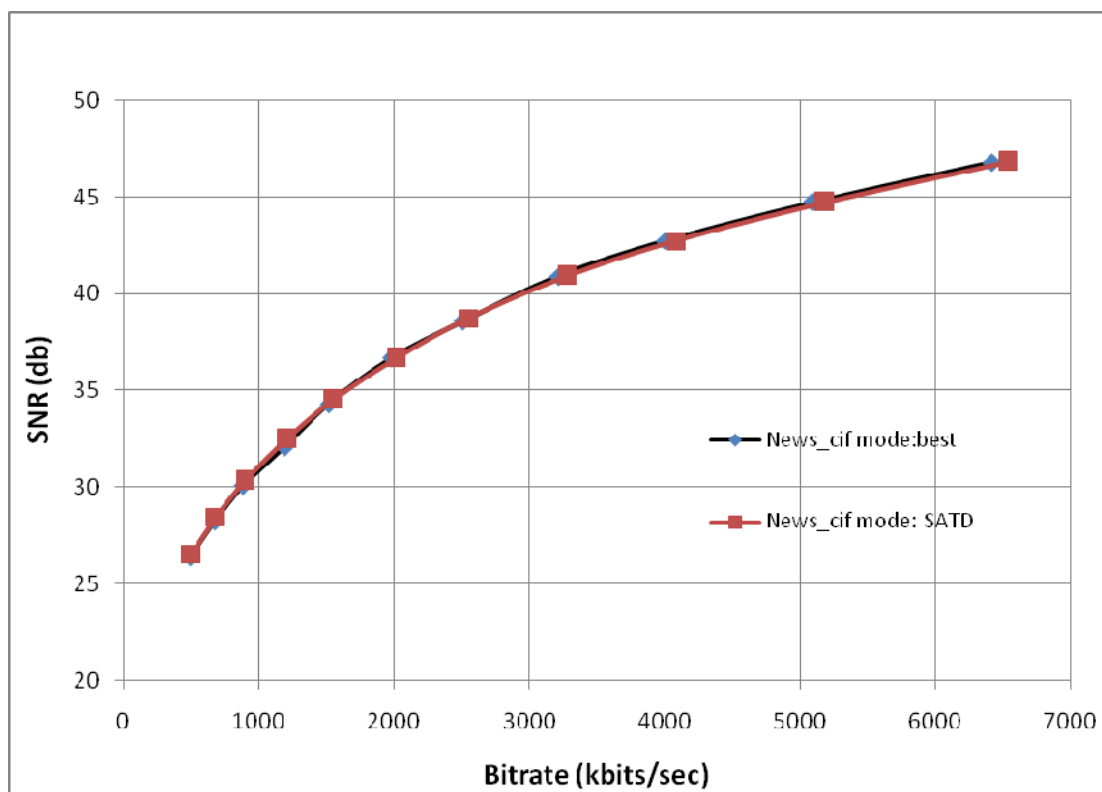
Πίνακας 4-1 SNR/bitrate News_cif Best Mode I16x16



Σχήμα 4-14 SNR/bitrate News_cif Best Mode I16x16

Sequence: News_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,81	6536	1,75
19	44,73	5186	1,76
22	42,74	4084	1,85
25	40,91	3276	1,85
28	38,73	2554	1,95
31	36,68	2017	1,89
34	34,53	1556	2,46
37	32,5	1213	2,06
40	30,32	900	2,04
43	28,46	686	2,12
46	26,56	503	2,19

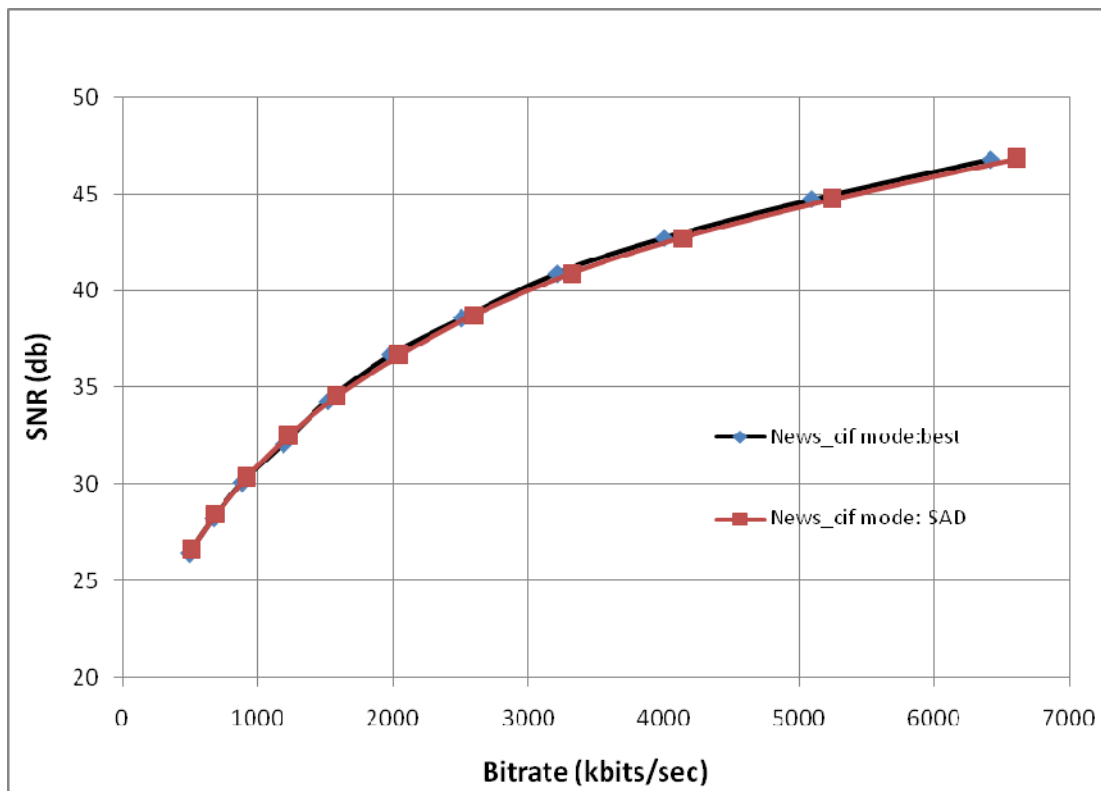
Πίνακας 4-2 SNR/bitrate News_cif SATD I16x16



Σχήμα 4-15 SNR/bitrate News_cif SATD I16x16

Sequence: News_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,81	6608	2,87
19	44,74	5247	2,96
22	42,73	4138	3,19
25	40,9	3323	3,31
28	38,73	2595	3,60
31	36,67	2050	3,58
34	34,52	1579	4,00
37	32,5	1231	3,59
40	30,33	916	3,89
43	28,46	696	3,63
46	26,57	510	3,63

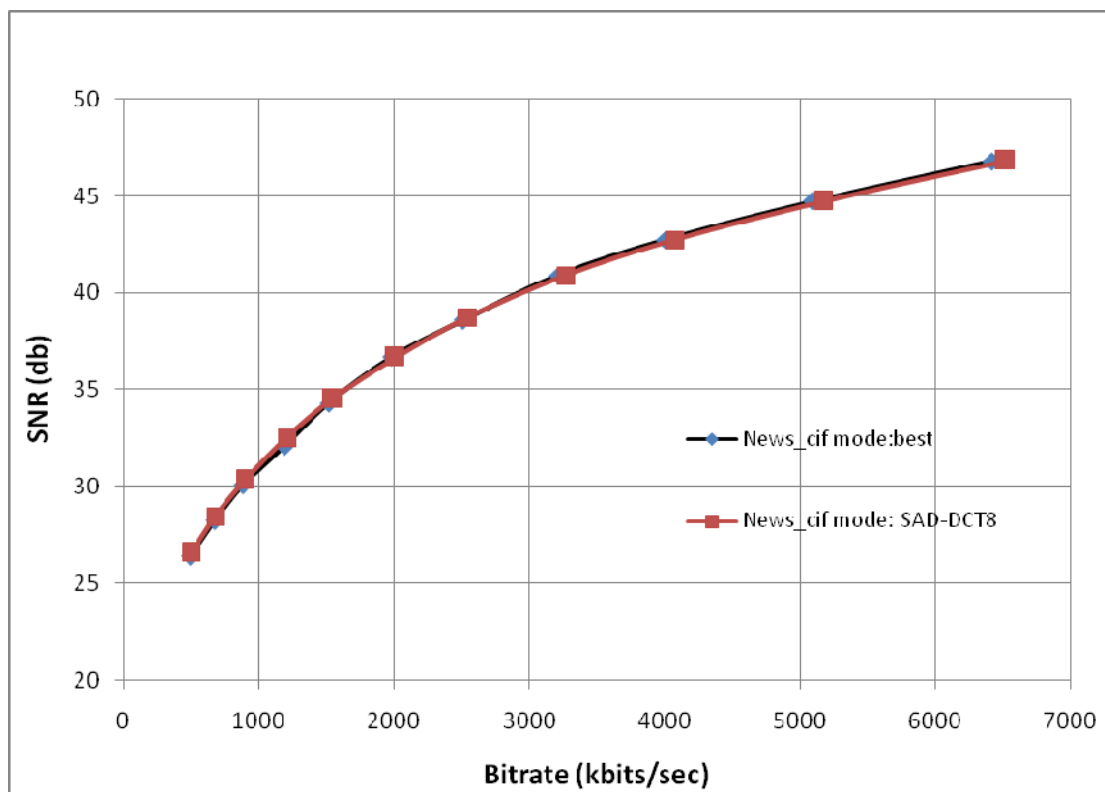
Πίνακας 4-3 SNR/bitrate News_cif SAD I16x16



Σχήμα 4-16 SNR/bitrate News_cif SAD I16x16

Sequence: News_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,81	6525	1,58
19	44,74	5176	1,57
22	42,74	4076	1,64
25	40,9	3270	1,67
28	38,74	2549	1,75
31	36,68	2012	1,65
34	34,53	1549	2,01
37	32,5	1208	1,69
40	30,33	916	1,81
43	28,46	696	1,70
46	26,57	510	1,85

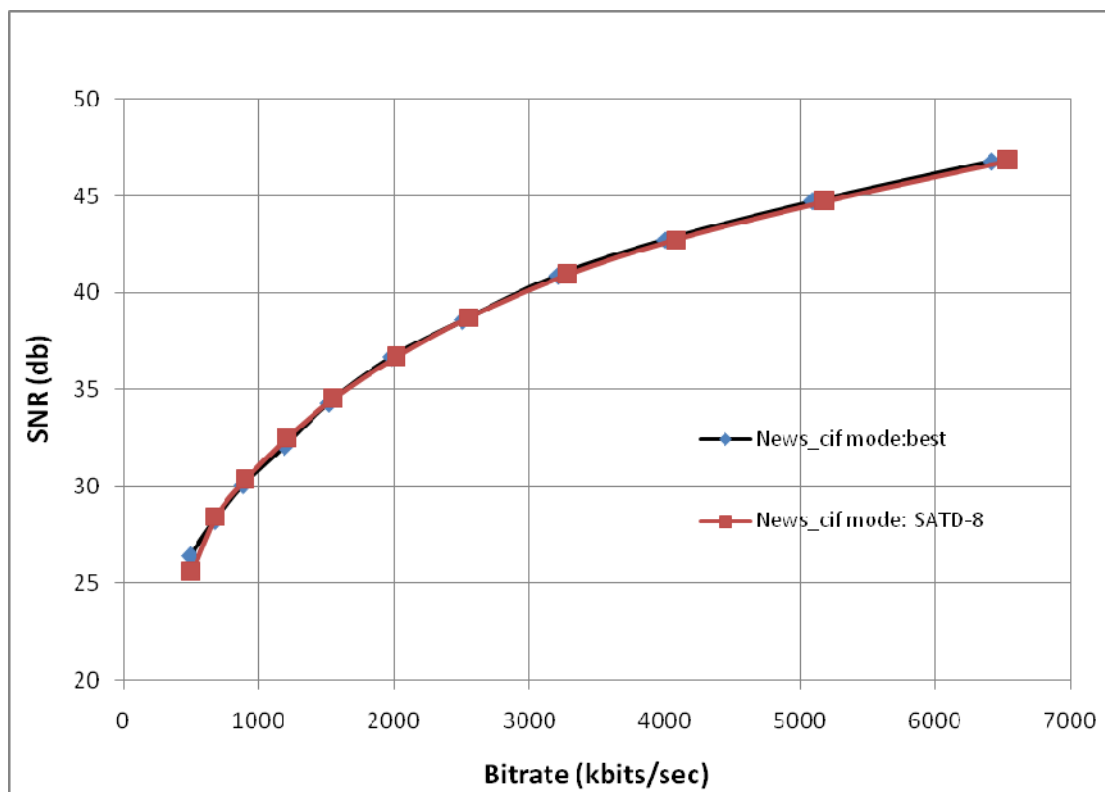
Πίνακας 4-4 SNR/bitrate News_cif SAD-DCT_8 I16x16



Σχήμα 4-17 SNR/bitrate News_cif SAD-DCT_8 I16x16

Sequence: News_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,81	6540	1,81
19	44,74	5190	1,83
22	42,74	4087	1,90
25	40,91	3278	1,90
28	38,73	2555	2,01
31	36,68	2017	1,93
34	34,53	1556	2,50
37	32,5	1213	2,11
40	30,32	900	2,07
43	28,46	686	2,15
46	25,56	503	2,22

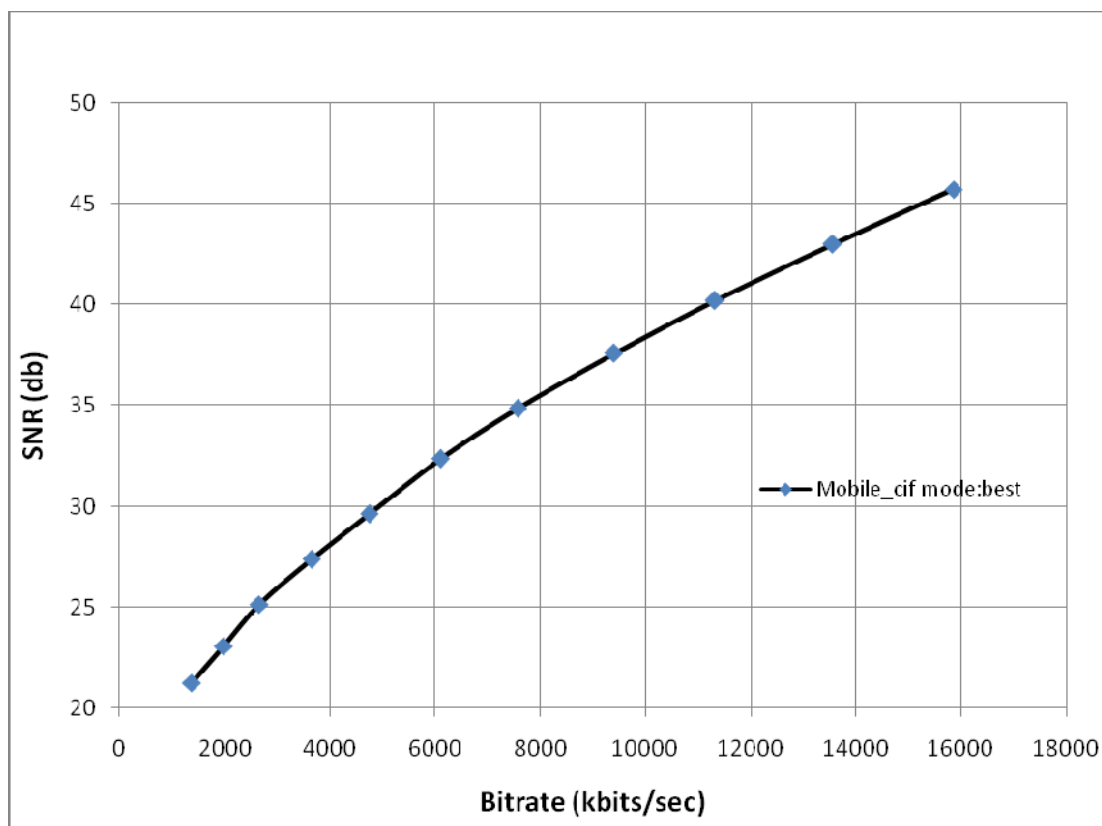
Πίνακας 4-5 SNR/bitrate News_cif SATD-8 I16x16



Σχήμα 4-18 SNR/bitrate News_cif SATD-8 I16x16

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	45,71	15859
19	43,01	13558
22	40,21	11316
25	37,58	9408
28	34,86	7570
31	32,34	6102
34	29,62	4748
37	27,37	3649
40	25,14	2654
43	23,08	1974
46	21,25	1371

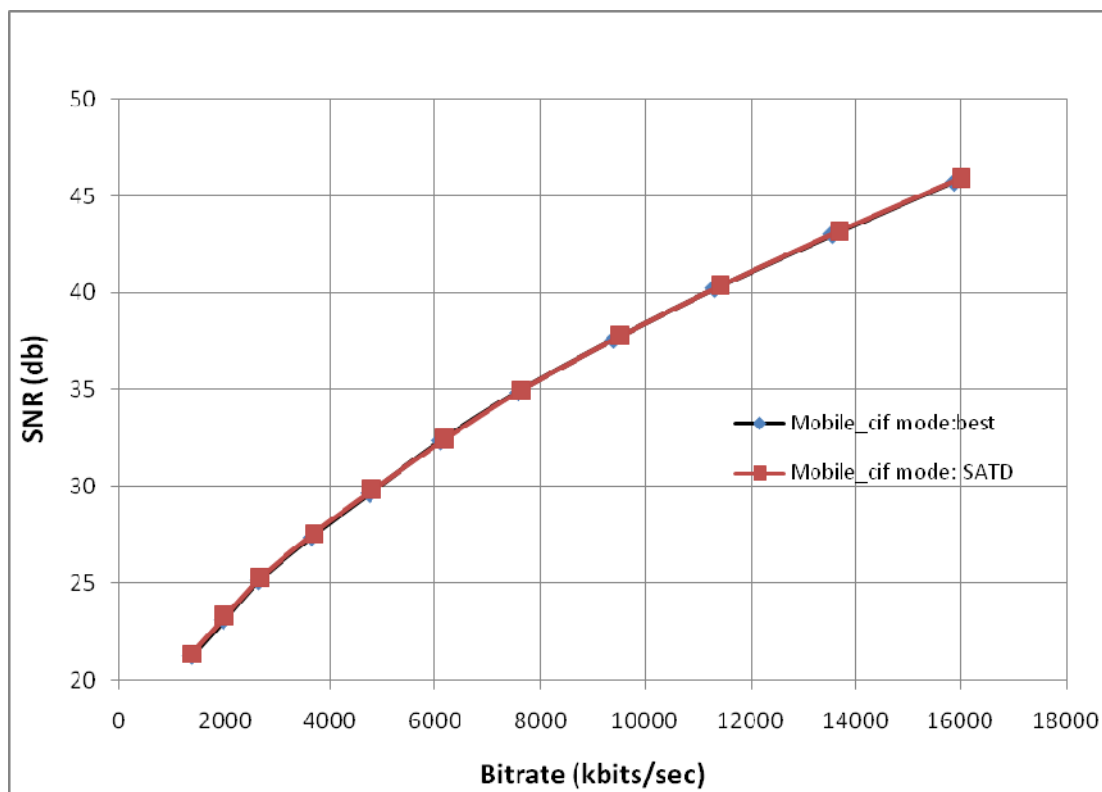
Πίνακας 4-6 SNR/bitrate Mobile_cif Best Mode I16x16



Σχήμα 4-19 SNR/bitrate Mobile_cif Best Mode I16x16

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,89	16000	0,89
19	43,16	13684	0,92
22	40,35	11423	0,95
25	37,75	9501	1,00
28	35	7647	1,02
31	32,41	6166	1,05
34	29,83	4799	1,08
37	27,57	3689	1,11
40	25,27	2685	1,18
43	23,29	1998	1,25
46	21,35	1390	1,38

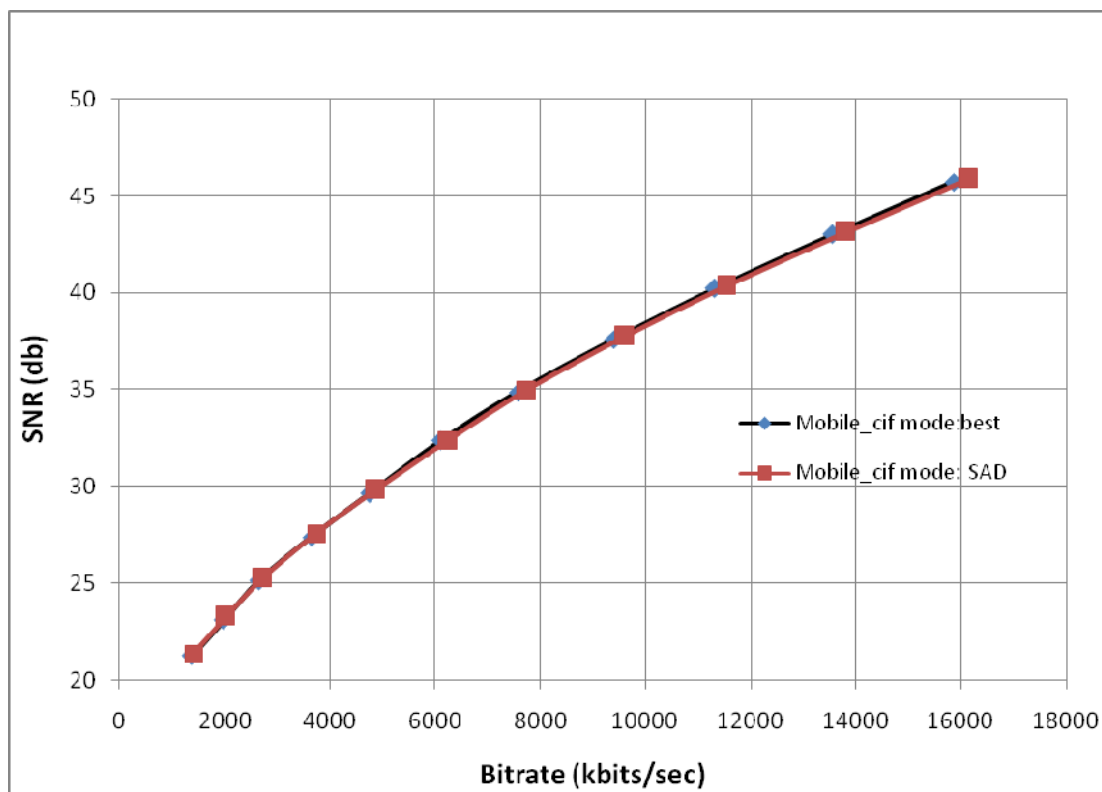
Πίνακας 4-7 SNR/bitrate Mobile_cif SATD I16x16



Σχήμα 4-20 SNR/bitrate Mobile_cif SATD I16x16

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,88	16135	1,74
19	43,15	13809	1,85
22	40,35	11537	1,96
25	37,75	9606	2,11
28	34,99	7739	2,23
31	32,4	6247	2,38
34	29,82	4867	2,51
37	27,56	3744	2,61
40	25,27	2727	2,75
43	23,28	2028	2,76
46	21,35	1408	2,71

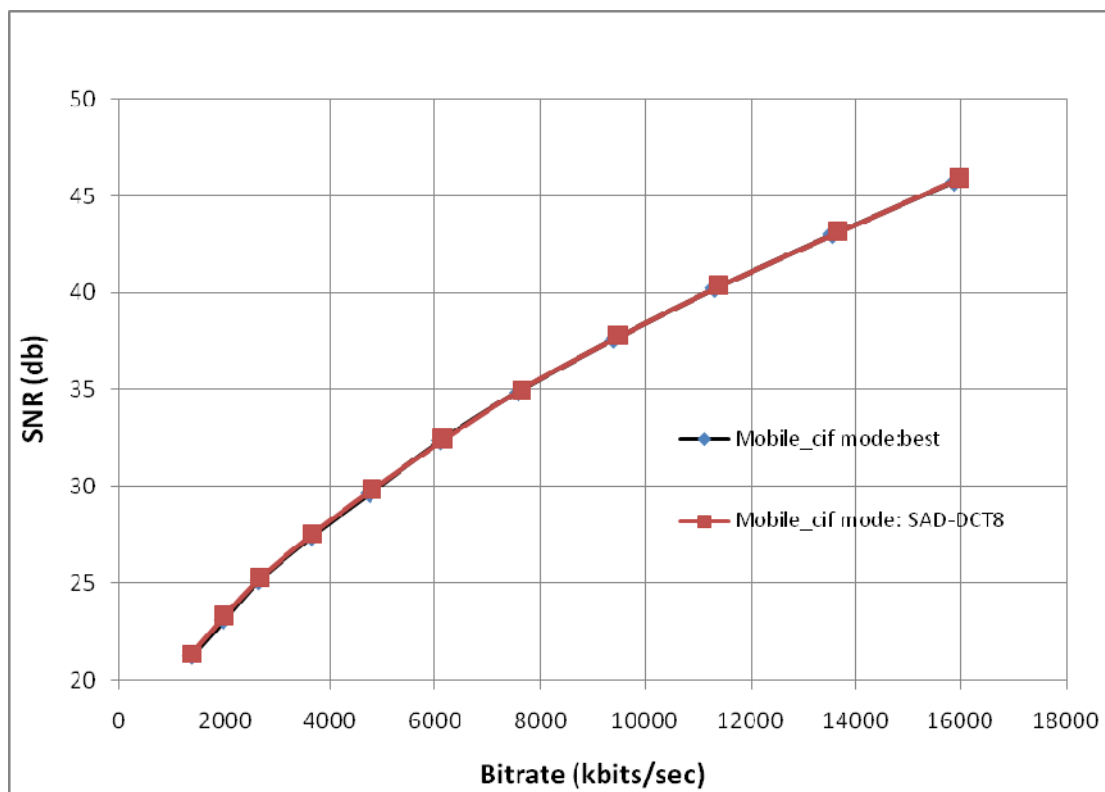
Πίνακας 4-8 SNR/bitrate Mobile_cif SAD I16x16



Σχήμα 4-21 SNR/bitrate Mobile_cif SAD I16x16

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,89	15989	0,82
19	43,15	13674	0,85
22	40,36	11414	0,87
25	37,75	9494	0,91
28	35	7641	0,93
31	32,41	6160	0,95
34	29,83	4794	0,98
37	27,57	3685	1,00
40	25,27	2682	1,07
43	23,29	1995	1,11
46	21,36	1388	1,26

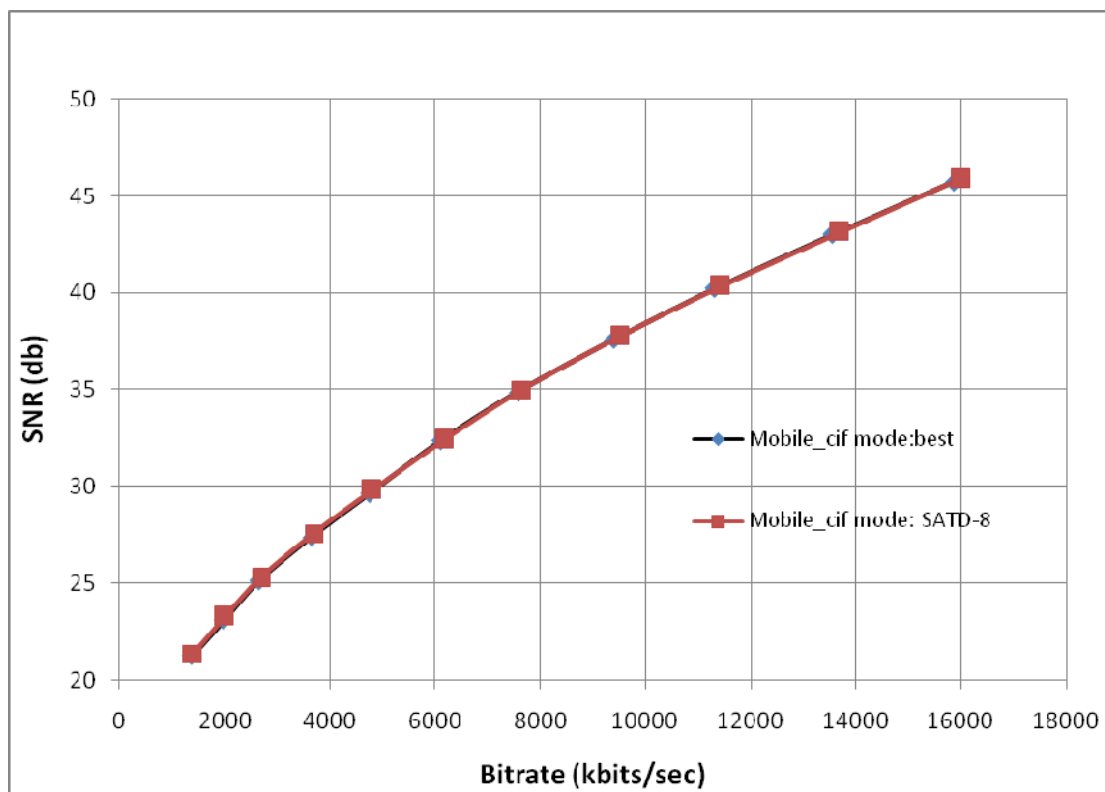
Πίνακας 4-9 SNR/bitrate Mobile_cif SAD-DCT_8 I16x16



Σχήμα 4-22 SNR/bitrate Mobile_cif SAD-DCT_8 I16x16

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,89	16009	0,95
19	43,15	13692	0,99
22	40,35	11431	1,02
25	37,75	9509	1,07
28	35	7653	1,10
31	32,41	6172	1,14
34	29,83	4804	1,18
37	27,56	3693	1,21
40	25,27	2688	1,28
43	23,28	2000	1,34
46	21,35	1391	1,48

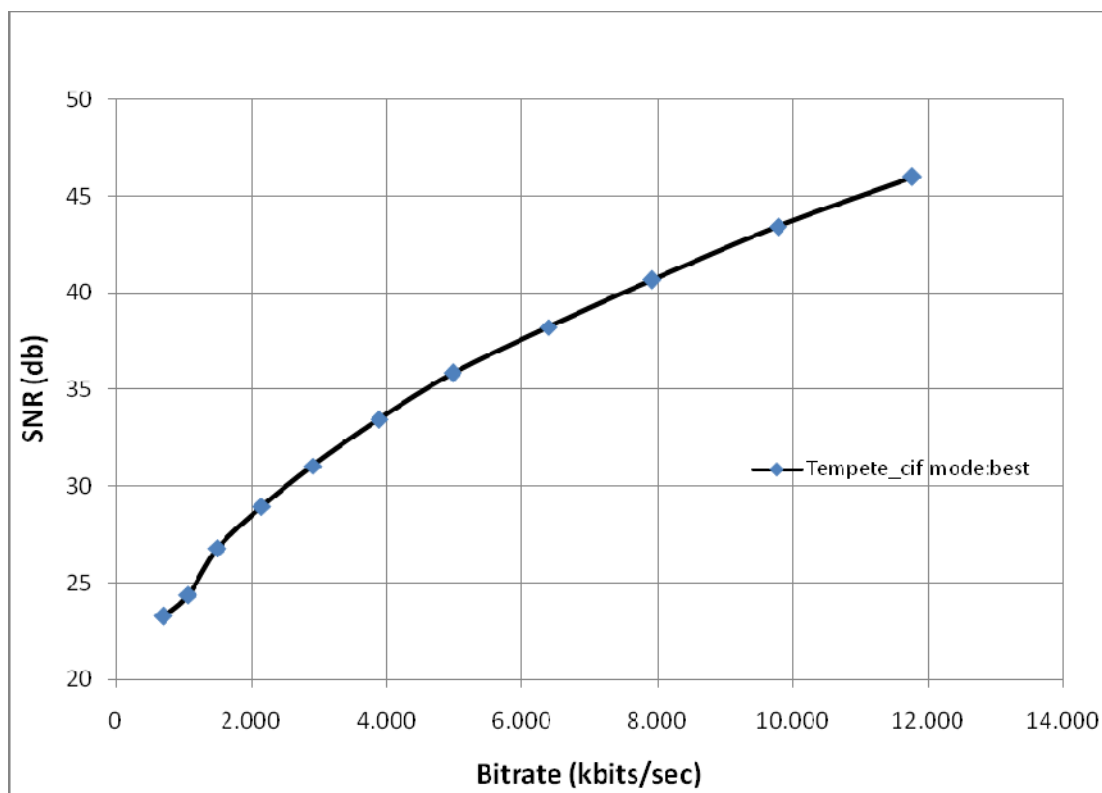
Πίνακας 4-10 SNR/bitrate Mobile_cif SATD-8 I16x16



Σχήμα 4-23 SNR/bitrate Mobile_cif SATD-8 I16x16

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	45,99	11.774
19	43,44	9.785
22	40,67	7.917
25	38,23	6.390
28	35,83	4.972
31	33,45	3.881
34	31,05	2.907
37	28,95	2.153
40	26,81	1.499
43	25	1.058
46	23,27	699

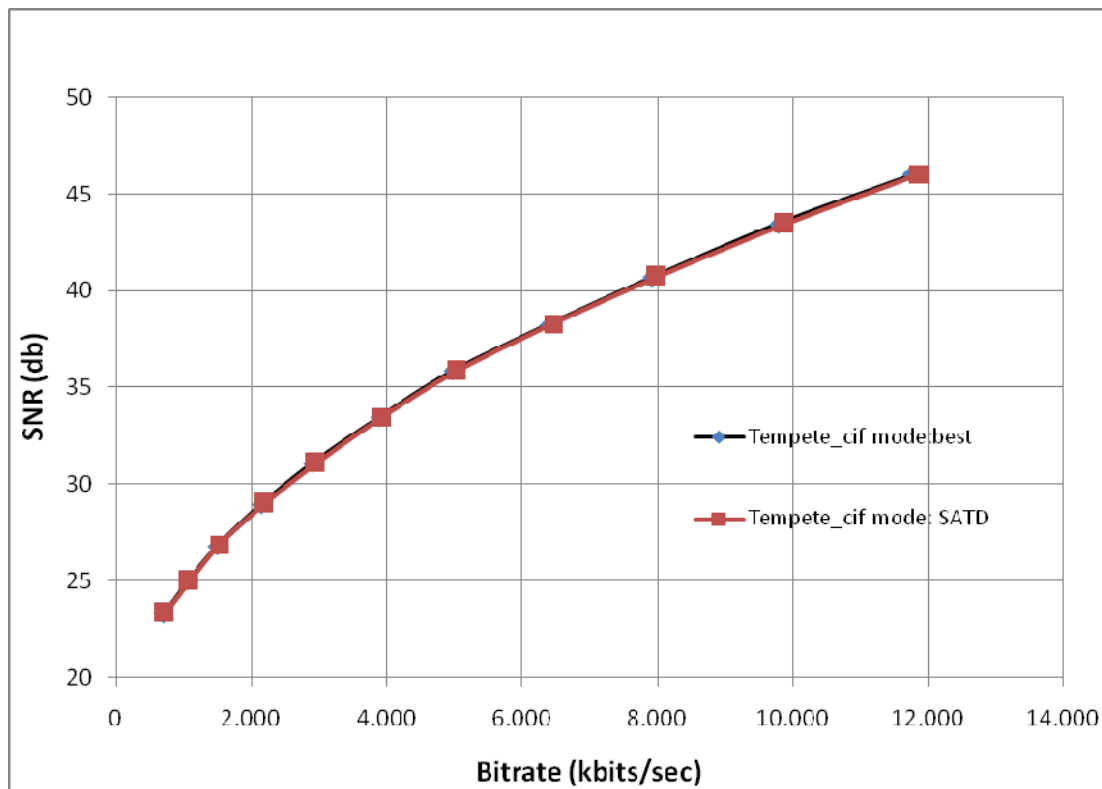
Πίνακας 4-11 SNR/bitrate Tempete_cif Best Mode I16x16



Σχήμα 4-24 SNR/bitrate Tempete_cif Best Mode I16x16

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.885	0,94
19	43,47	9.881	0,98
22	40,72	7.996	1,00
25	38,29	6.459	1,07
28	35,85	5.029	1,14
31	33,47	3.930	1,25
34	31,08	2.947	1,36
37	28,98	2.186	1,51
40	26,87	1.526	1,80
43	25	1.079	2,03
46	23,36	716	2,40

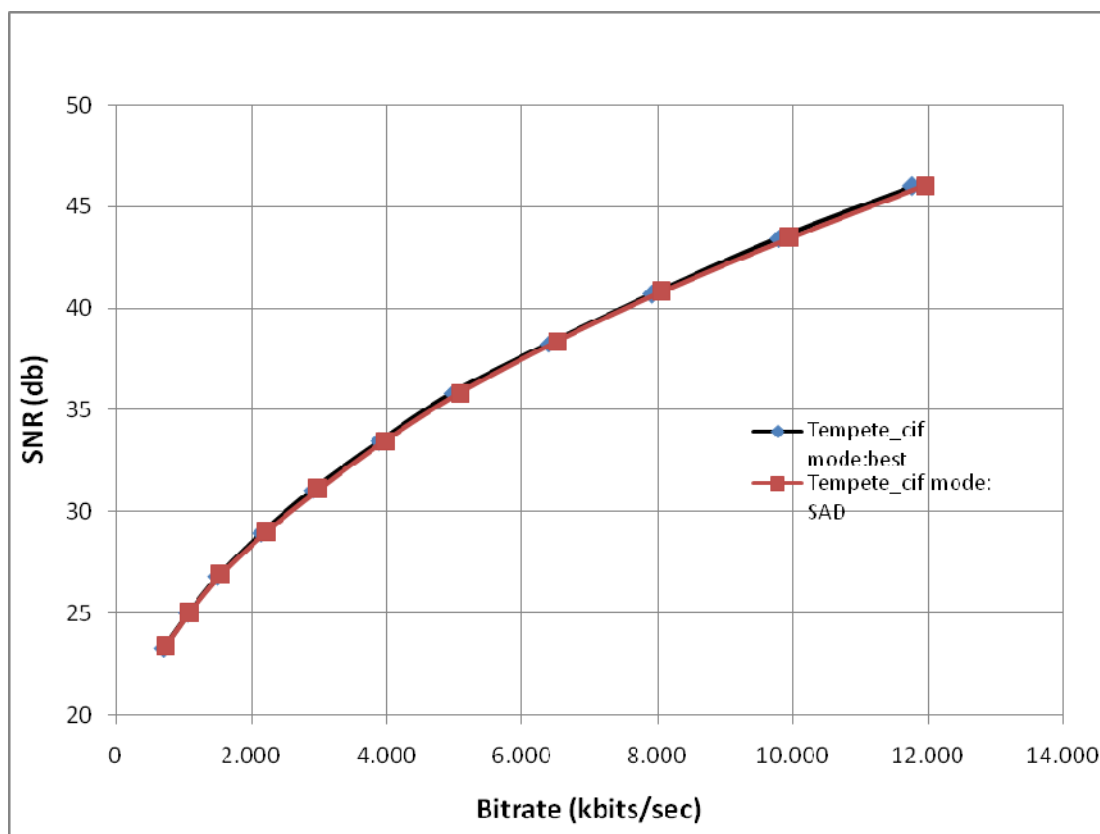
Πίνακας 4-12 SNR/bitrate Tempete_cif SATD I16x16



Σχήμα 4-25 SNR/bitrate Tempete_cif SATD I16x16

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.964	1,62
19	43,47	9.953	1,72
22	40,81	8.061	1,82
25	38,37	6.516	1,97
28	35,84	5.078	2,14
31	33,47	3.972	2,33
34	31,08	2.981	2,53
37	28,99	2.213	2,77
40	26,87	1.545	3,09
43	25,01	1.092	3,22
46	23,36	724	3,56

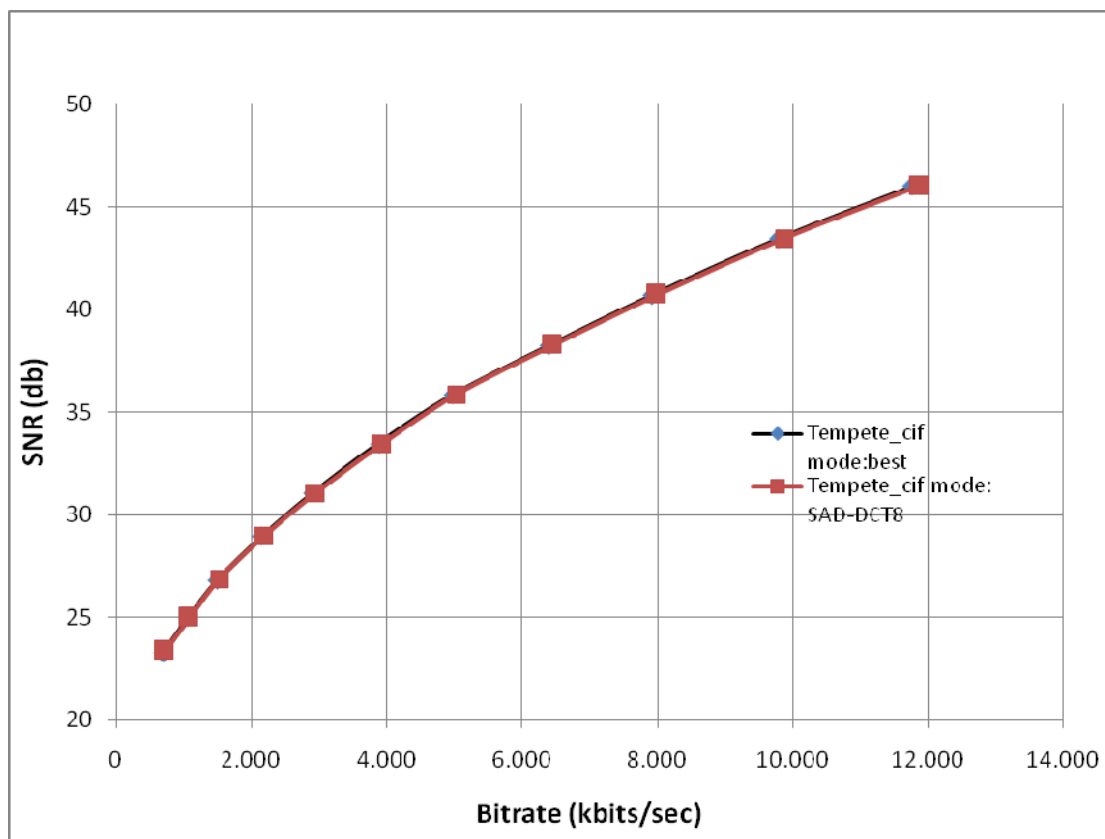
Πίνακας 4-13 SNR/bitrate Tempete_cif SAD I16x16



Σχήμα 4-26 SNR/bitrate Tempete_cif SAD I16x16

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.879	0,90
19	43,47	9.876	0,93
22	40,72	7.992	0,95
25	38,29	6.455	1,02
28	35,85	5.026	1,08
31	33,47	3.927	1,17
34	31,08	2.944	1,28
37	28,98	2.184	1,42
40	26,87	1.523	1,65
43	25	1.078	1,85
46	23,36	714	2,18

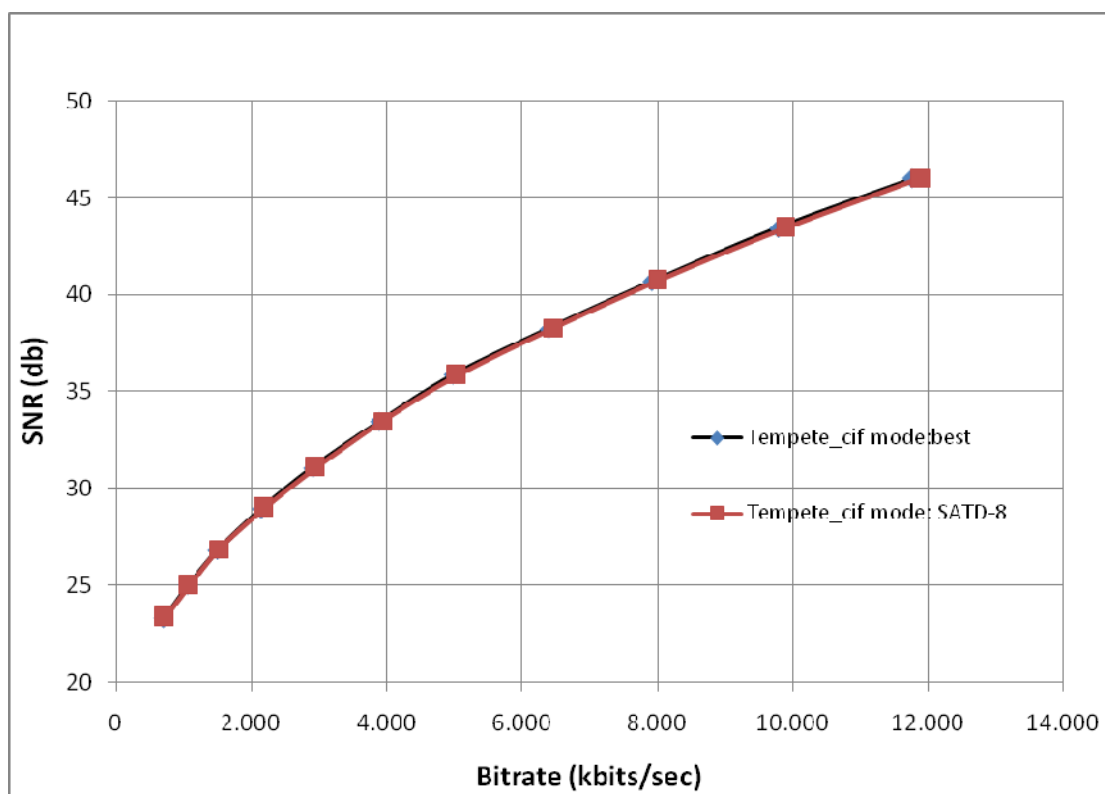
Πίνακας 4-14 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT_8 I16x16



Σχήμα 4-27 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT_8 I16x16

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.895	1,03
19	43,47	9.890	1,08
22	40,72	8.004	1,11
25	38,29	6.466	1,20
28	35,85	5.035	1,27
31	33,47	3.935	1,38
34	31,08	2.951	1,52
37	28,98	2.189	1,68
40	26,87	1.528	1,96
43	25	1.081	2,19
46	23,36	717	2,57

Πίνακας 4-15 SNR/bitrate Tempete_cif SATD-8 I16x16



Σχήμα 4-28 SNR/bitrate Tempete_cif SATD-8 I16x16

4.4.3 Σύγκριση μετρικών αποκλίσεων

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ο Πίνακας 4-16 με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα. Η μετρική SAD έδωσε το χειρότερο αποτέλεσμα με αύξηση του bitrate 2,75% και το καλύτερο αποτέλεσμα η προτεινόμενη μετρική SAD-DCT8 με αύξηση 1,34%.

	Mobile	News	Tempete	Μέσος όρος % αύξησης Bitrate
SATD	1.07	1.99	1.41	1.49
SAD-DCT8	0.98	1.72	1.31	1.34
SATD-8	1.16	2.04	1.54	1.58
SAD	2.33	3.48	2.43	2.75

Πίνακας 4-16 Μέσος όρος ποσοστιαίας αύξησης bitrate

Από πειραματικά αποτελέσματα σε αρκετά test sequences προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα για τις μετρικές αποκλίσεις με διαφορετικό αριθμό μετασχηματισμένων συντελεστών.

	Μέσος όρος % Αύξησης bitrate	Αριθμός πυλών μετρικής	% μέγεθος σε σχέση με την SATD
SAD-DCT16	1,32	9350	110,9
SAD-DCT12	1,33	6942	82,3
SAD-DCT8	1,34	4777	56,6
SATD-16	1.49	8431	100
SATD-12	1,50	6508	77,19
SATD-8	1,58	4441	52,67
SAD-DCT4	1,7	2429	28,8
SATD-4	2,01	2328	27,61
SAD	2.75	--	--

Πίνακας 4-17 Σύγκριση μετρικών Απόδοση/Μέγεθος

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4-17) φαίνεται ότι οι προτεινόμενες μετρικές βασισμένες στον πίνακα μετασχηματισμού DCT δίνουν καλύτερα αποτελέσματα bitrate έχοντας παράλληλα μικρότερο μέγεθος υλοποίησης. Χαρακτηριστικό αποτέλεσμα είναι η προτεινόμενη μετρική τύπου SAD-DCT8 όπου δίνει καλύτερο αποτέλεσμα από την ευρέως διαδεδομένη SATD σχεδόν με τη μισή απαίτηση σε κύκλωμα.

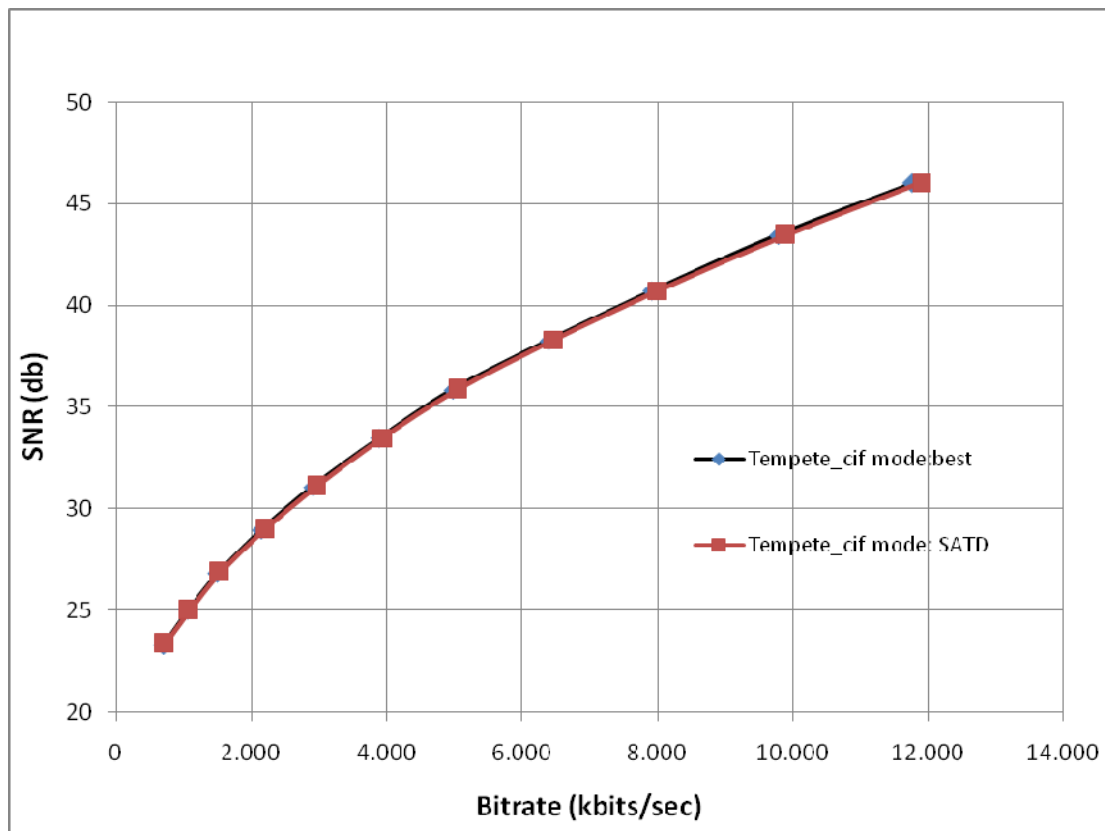
Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι οι μετρικές αποκλίσεις με δώδεκα και πάνω συντελεστές μετασχηματισμού δεν είναι καλή επιλογή λόγω του μεγάλου μεγέθους και της ελάχιστης μείωσης του bitrate.

Αν λάβουμε υπόψη ότι η μετρική που χρησιμοποιείται στο I16x16 χρησιμοποιείται και στο Chroma I8x8 τότε η αύξηση του bitrate είναι μεγαλύτερη από την ιδανική περίπτωση που περιγράφηκε παραπάνω. Για παράδειγμα στο test sequence tempete_cif για τη μετρική SATD έχουμε μια αύξηση 1,69% από 1,41%, ενώ για τη μετρική SAD-DCT8 έχουμε μια αύξηση 1,57% από 1,31%. Φυσικά και σε αυτή την περίπτωση η μετρική SAD-DCT8 είναι καλύτερη από τη μετρική SATD και το κέρδος μεγαλώνει αφού έχουμε καλύτερη συμπεριφορά όχι μόνο στο Luma αλλά και στο Chroma. Στο επόμενο διαγράμματα γίνεται σύγκριση της μετρικής SATD και με την SAD-DCT8 για Luma και Chroma.

Η μετρική SATD έδωσε μια μέση αύξηση σε bitrate 1.69%, ενώ η μετρική SAD-DCT8 1.57%.

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.906	1,12
19	43,47	9.900	1,18
22	40,72	8.013	1,21
25	38,29	6.474	1,31
28	35,85	5.044	1,45
31	33,47	3.942	1,56
34	31,08	2.957	1,71
37	28,98	2.193	1,85
40	26,87	1.530	2,09
43	25	1.083	2,37
46	23,36	718	2,73

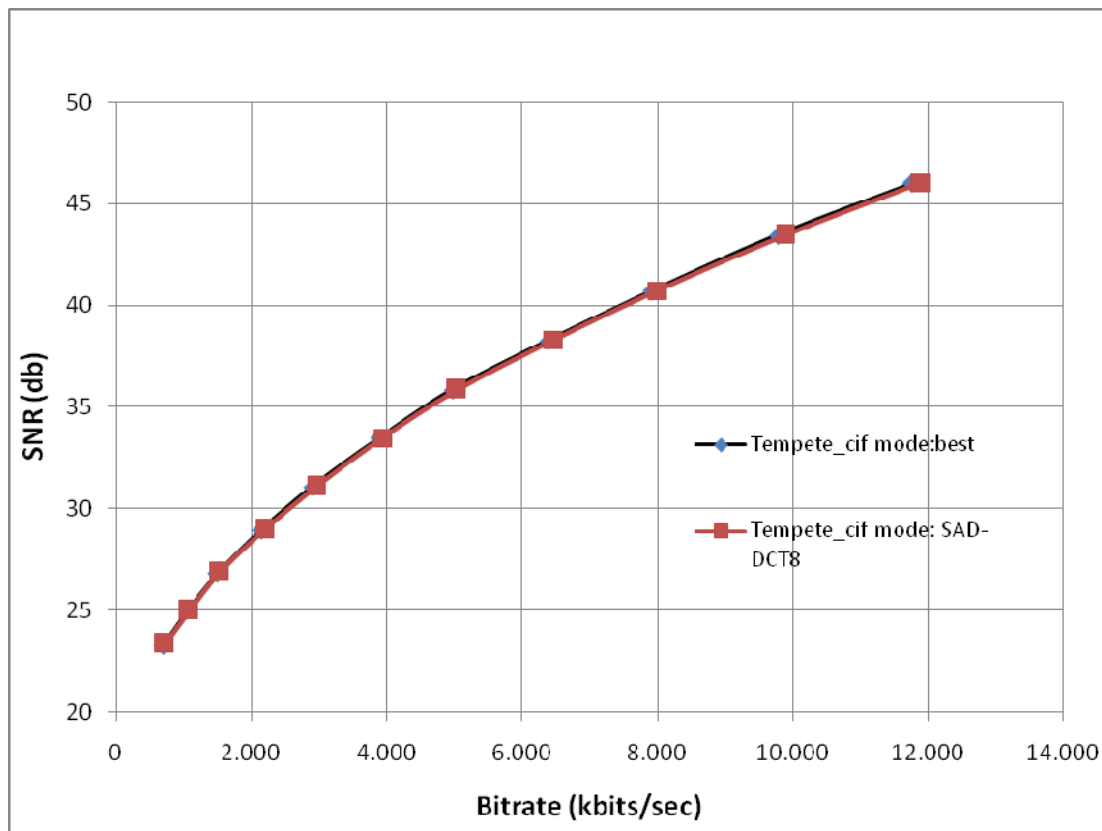
Πίνακας 4-18 SNR/bitrate Tempete_cif SATD (luma & chroma)



Σχήμα 4-29 SNR/bitrate Tempete_cif SATD

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD-DCT8	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,02	11.902	1,08
19	43,47	9.896	1,12
22	40,72	8.008	1,14
25	38,29	6.470	1,24
28	35,85	5.040	1,36
31	33,47	3.939	1,47
34	31,08	2.954	1,58
37	28,98	2.191	1,73
40	26,87	1.528	1,92
43	25	1.081	2,13
46	23,36	717	2,50

Πίνακας 4-19 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT-8(luma & chroma)



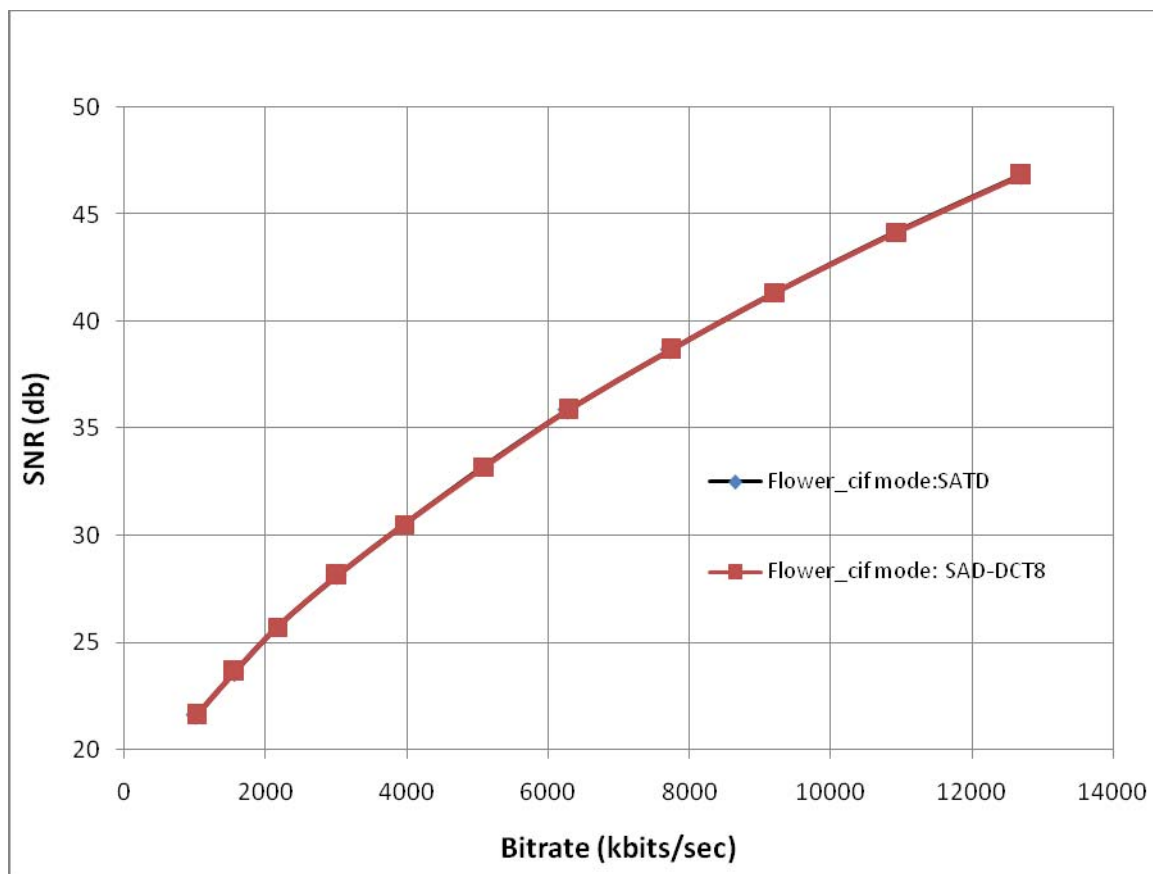
Σχήμα 4-30 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT-8(luma & chroma)

Στα επόμενα διαγράμματα γίνεται η σύγκριση των δύο μετρικών SATD – SAD_DCT8 με άλλα τέσσερα test sequence όπου βλέπουμε ότι οι δύο μετρικές δίνουν ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα.

Sequence: Flower_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD-DCT8	Metric: SATD
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	Bitrate (kbits/sec)
16	46,82	12701	12696
19	44,17	10943	10937
22	41,35	9222	9217
25	38,7	7738	7734
28	35,86	6285	6281
31	33,2	5097	5093
34	30,52	3964	3960
37	28,14	3011	3008
40	25,73	2166	2163

43	23,63	1556	1555
46	21,62	1018	1017

Πίνακας 4-20 Flower_cif SATD / SAD-DCT-8

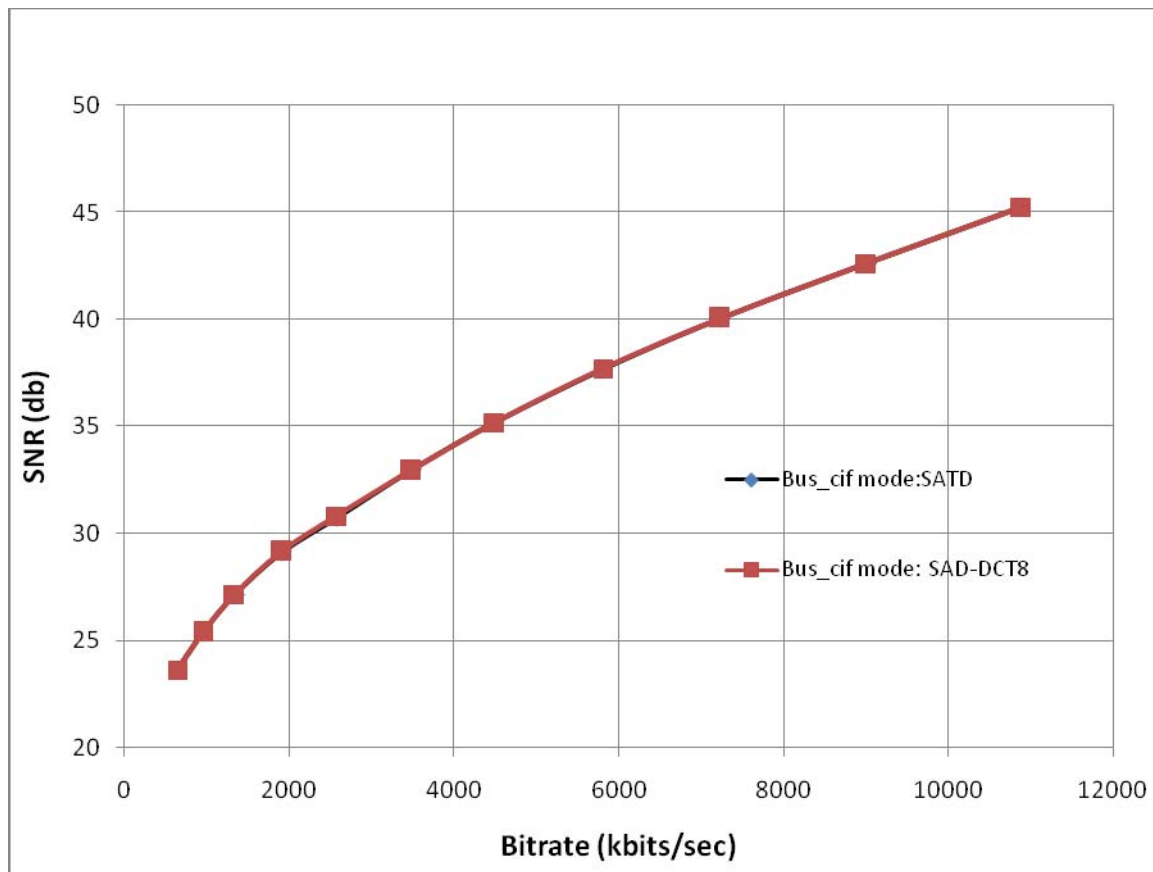


Σχήμα 4-31 Flower_cif SATD / SAD-DCT-8

Sequence: Bus_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD-DCT8	Metric: SATD
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	Bitrate (kbits/sec)
16	45,24	10887	10893
19	42,62	9010	9016
22	40,07	7232	7238
25	37,7	5810	5815
28	35,18	4493	4497
31	32,98	3484	3488
34	30,79	2576	2580
37	29,15	1906	1908
40	27,15	1339	1341

43	25,38	952	953
46	23,61	640	642

Πίνακας 4-21 Bus_cif SATD / SAD-DCT-8

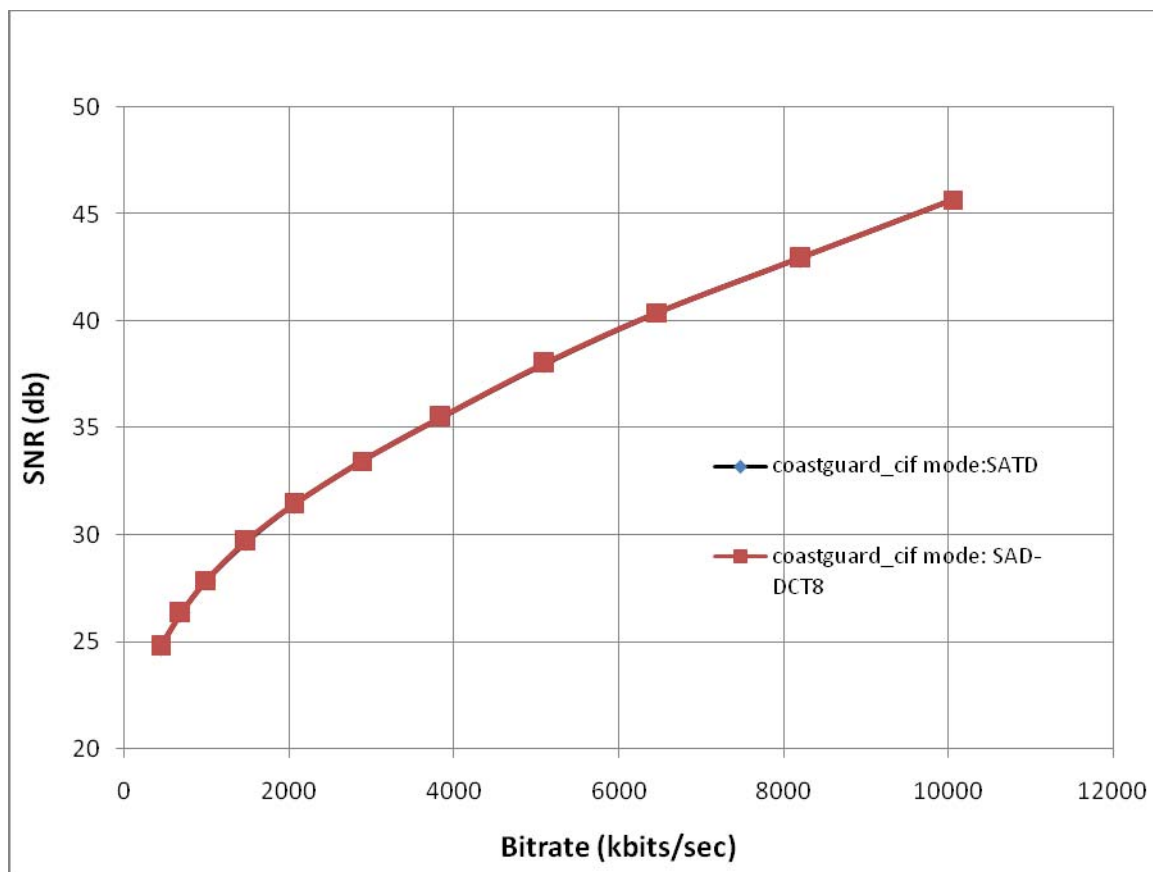


Σχήμα 4-32 Bus_cif SATD / SAD-DCT-8

Sequence: Coastguard_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD-DCT8	Metric: SATD
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	Bitrate (kbits/sec)
16	45,68	10058	10058
19	42,96	8213	8214
22	40,4	6474	6474
25	38,04	5097	5098
28	35,52	3840	3840
31	33,44	2882	2883
34	31,45	2056	2058
37	29,7	1471	1473

40	27,87	992	994
43	26,33	682	683
46	24,78	441	442

Πίνακας 4-22 Coastguard_cif SATD / SAD-DCT-8

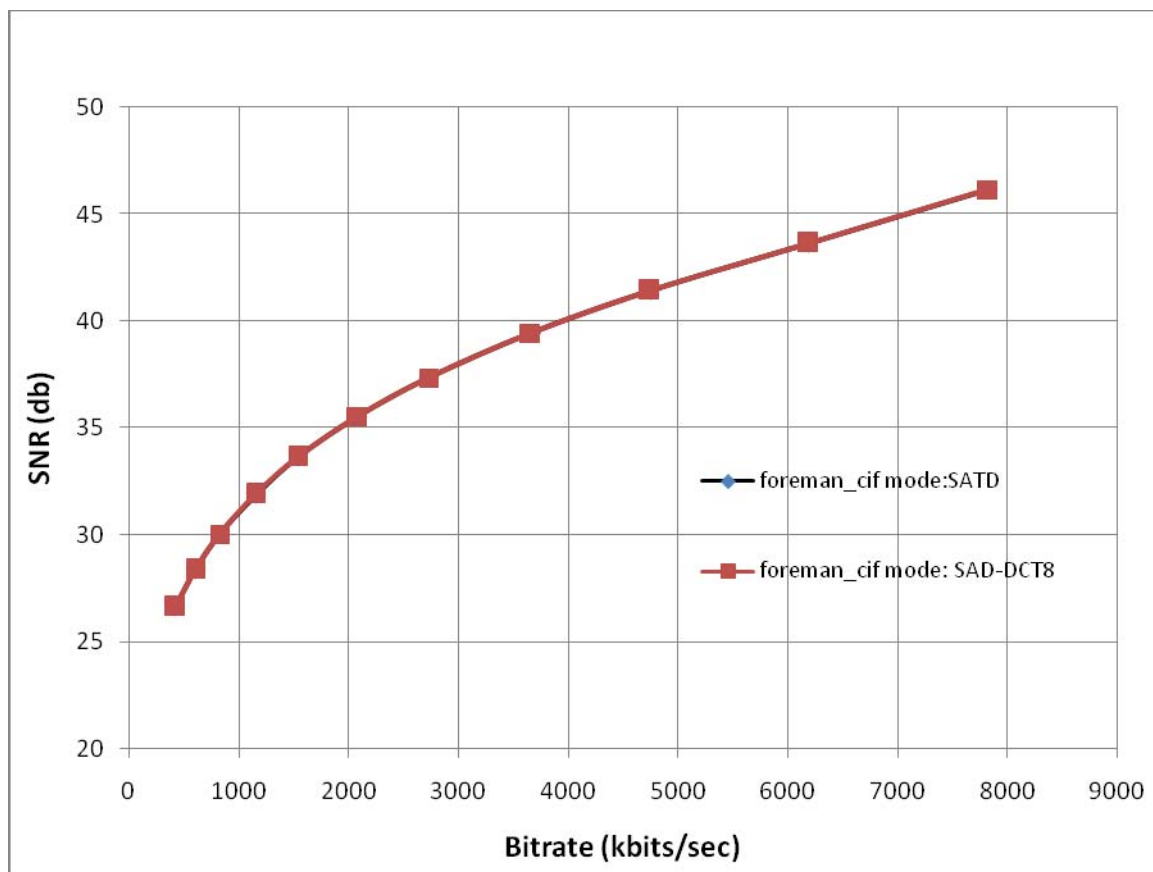


Σχήμα 4-33 Coastguard_cif SATD / SAD-DCT-8

Sequence: foreman_cif.yuv	Intra16x16 only	Metric: SAD-DCT8	Metric: SATD
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	Bitrate (kbits/sec)
16	46,16	7823	7828
19	43,66	6191	6195
22	41,43	4747	4751
25	39,45	3661	3664
28	37,35	2732	2735
31	35,55	2084	2086
34	33,65	1541	1543
37	31,92	1158	1160

40	30,02	831	832
43	28,39	609	610
46	26,66	428	429

Πίνακας 4-23 Foreman_cif SATD / SAD-DCT-8



Σχήμα 4-34 Foreman_cif SATD / SAD-DCT-8

5 Τεχνικές υλοποίησης μηχανής I4x4

Η μηχανή Intra I4x4 κωδικοποιεί μόνο το Luma και χρησιμοποιεί εννέα διαφορετικά modes. Για κάθε ένα από τα 16 subMB του macroblock η διαδικασία της επιλογής γίνεται ξεχωριστά και με συγκεκριμένη σειρά. Το πρότυπο [1] ορίζει τη σειρά αυτή και δεν μπορεί να εφαρμοστεί άλλη διότι τα αποτελέσματα ενός subMB χρησιμοποιούνται για τα επόμενα.

Η διαδικασία της επιλογής στη I4x4 έχει δύο σημαντικές διαφορές με αυτήν της I16x16. Η μία είναι ο αριθμός των επιλογών, που στην περίπτωση του I4x4 η όλη διαδικασία είναι πιο πολύπλοκη. Η δεύτερη διαφορά είναι ότι στο κόστος της κάθε επιλογής, εκτός από το αποτέλεσμα της μετρικής, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και ο αριθμός των bits που εισάγονται στο macroblock header, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4.2.2.

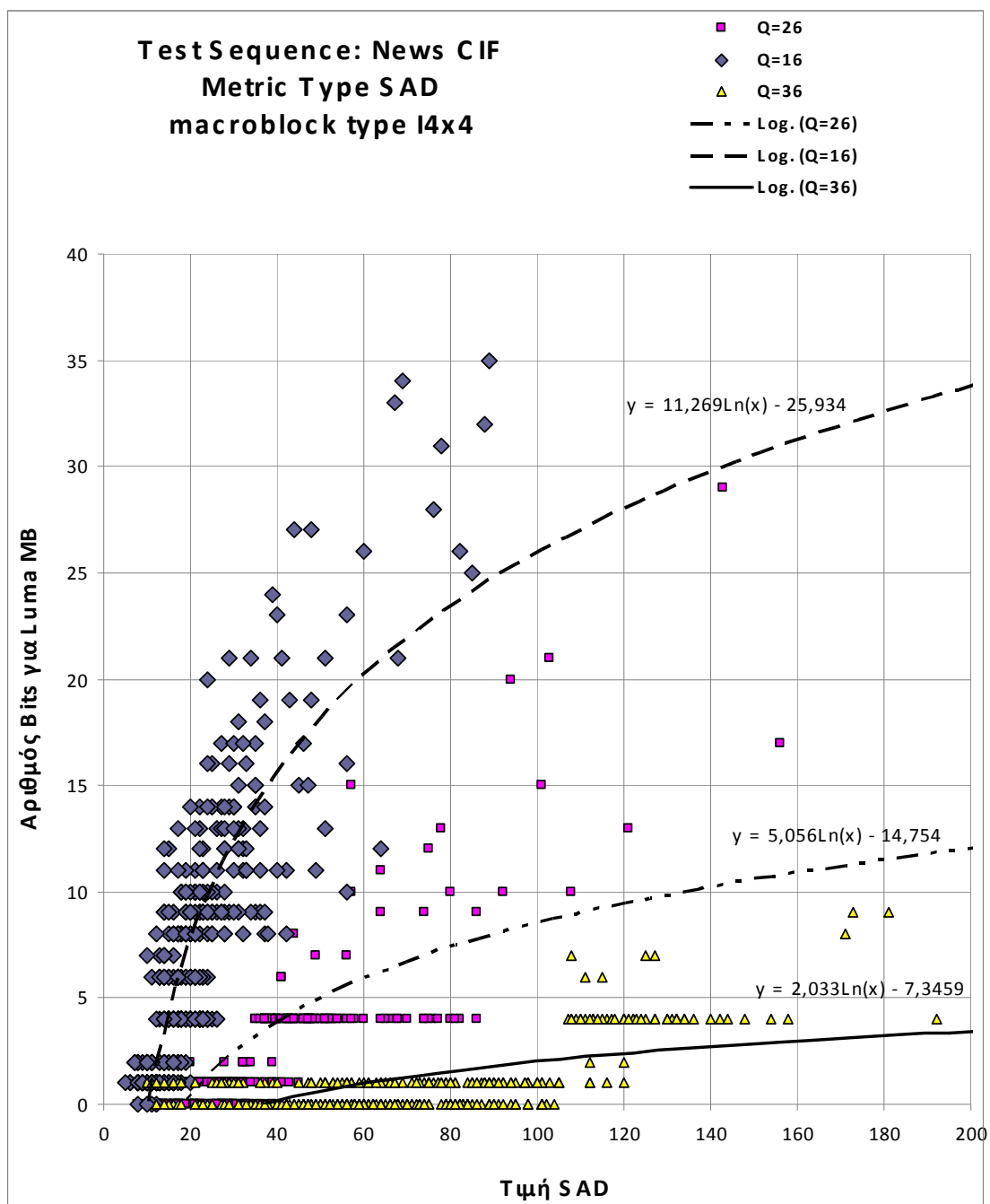
Η βελτιστοποίηση της μηχανής αυτής έχει ερευνητικό ενδιαφέρον σε ότι αφορά στα κυκλώματα παραγωγής του κόστους για κάθε mode. Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.3.2 αυτά τα κυκλώματα απαιτούν αρκετό μέγεθος και είναι υπεύθυνα για την απόδοση του κωδικοποιητή.

Σε αυτό το κεφάλαιο αξιολογούνται οι μετρικές αποκλίσεις, όμοιες με αυτές στη μηχανή I16x16, καθώς και το προτεινόμενο κύκλωμα επιλογής για τη μηχανή I4x4.

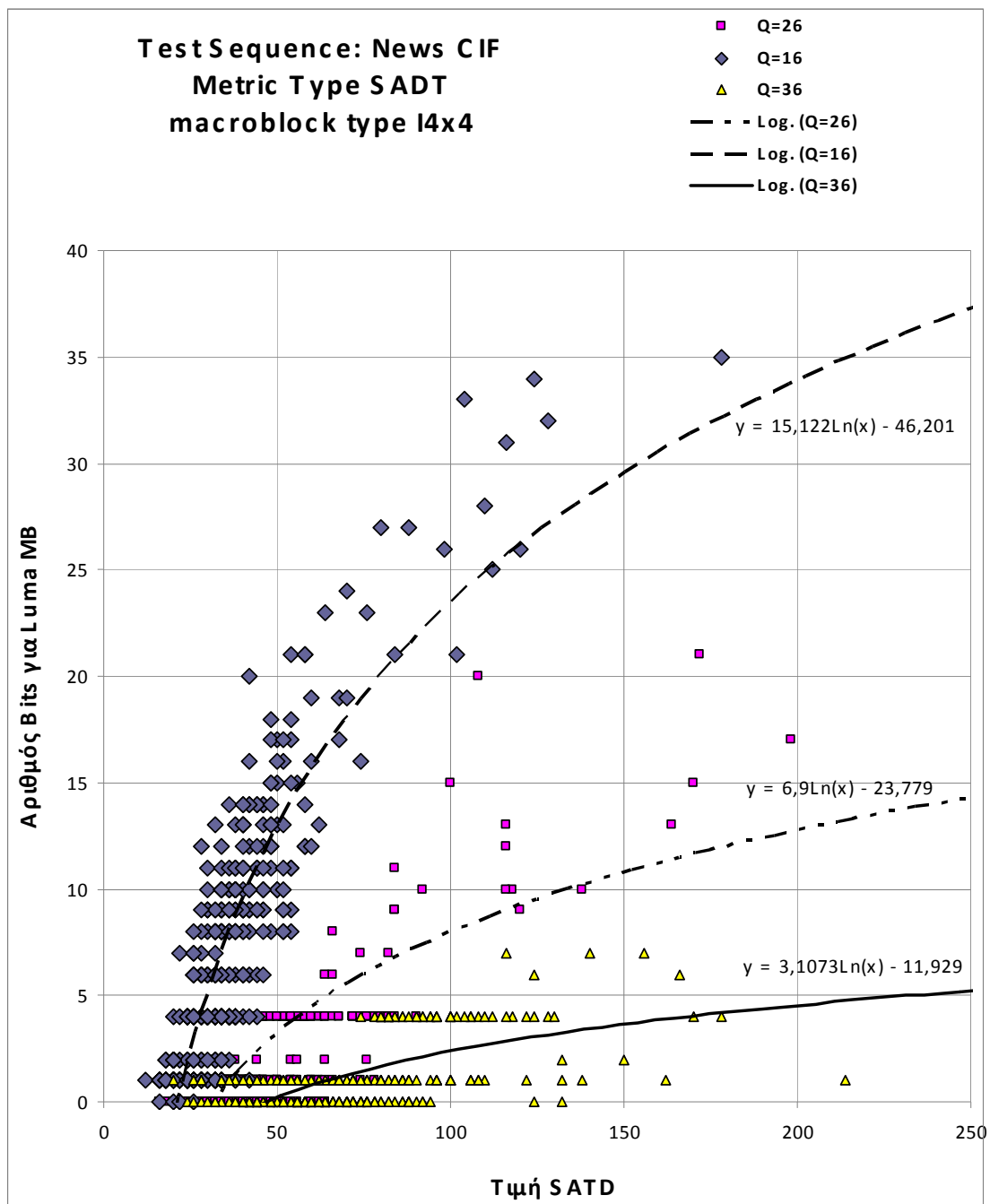
5.1 Ανάλυση κυκλώματος επιλογής

Για την επιλογή του καλύτερου mode I4x4 υπολογίζεται το κόστος για κάθε mode. Το κόστος αυτό αντιπροσωπεύει τον αριθμό των bits που χρειάζονται για την κωδικοποίηση ενός sub-MB και εμμέσως από την απόκλιση από την αρχική εικόνα. Το κόστος αυτό είναι το άθροισμα των bits (1 ή 4) που βρίσκονται στον macroblock header επί την τιμή lagradian συν την τιμή της μετρικής απόκλισης.

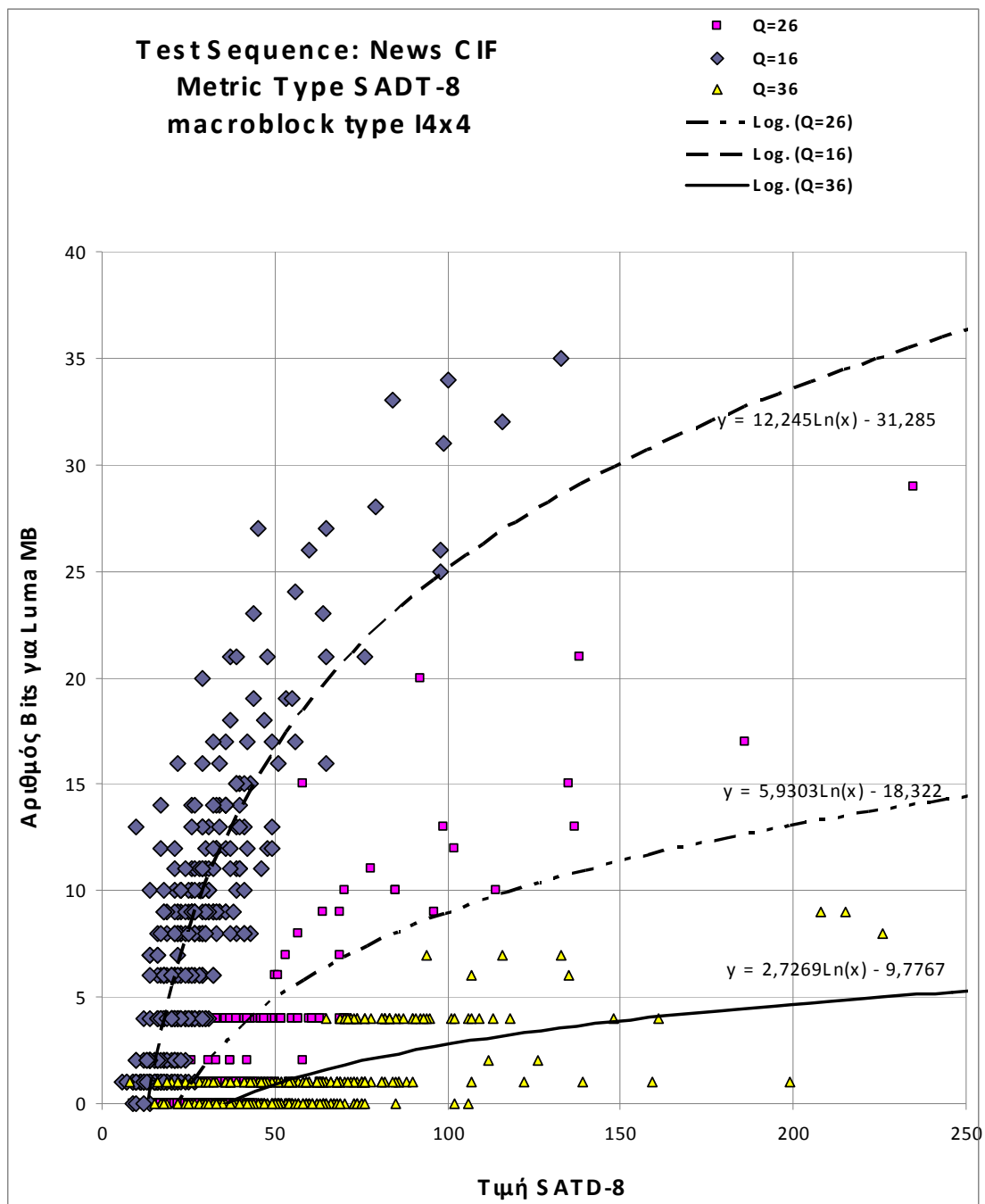
Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 5-1 έως Σχήμα 5-12) φαίνεται η σχέση της τιμής της μετρικής με τον αριθμό των bits στο residual τμήμα. Υπάρχουν διαγράμματα για τις τέσσερις βασικές μετρικές (SAD – SATD – SATD8- SAD-DCT8) για τρία test sequences. Η επιλογή των test sequences έγινε με βάση την πολυπλοκότητα που παρουσιάζουν. Το news_cif είναι το πιο απλό, το mobile_cif είναι το πιο πολύπλοκο και το tempete_cif έχει μέση πολυπλοκότητα.



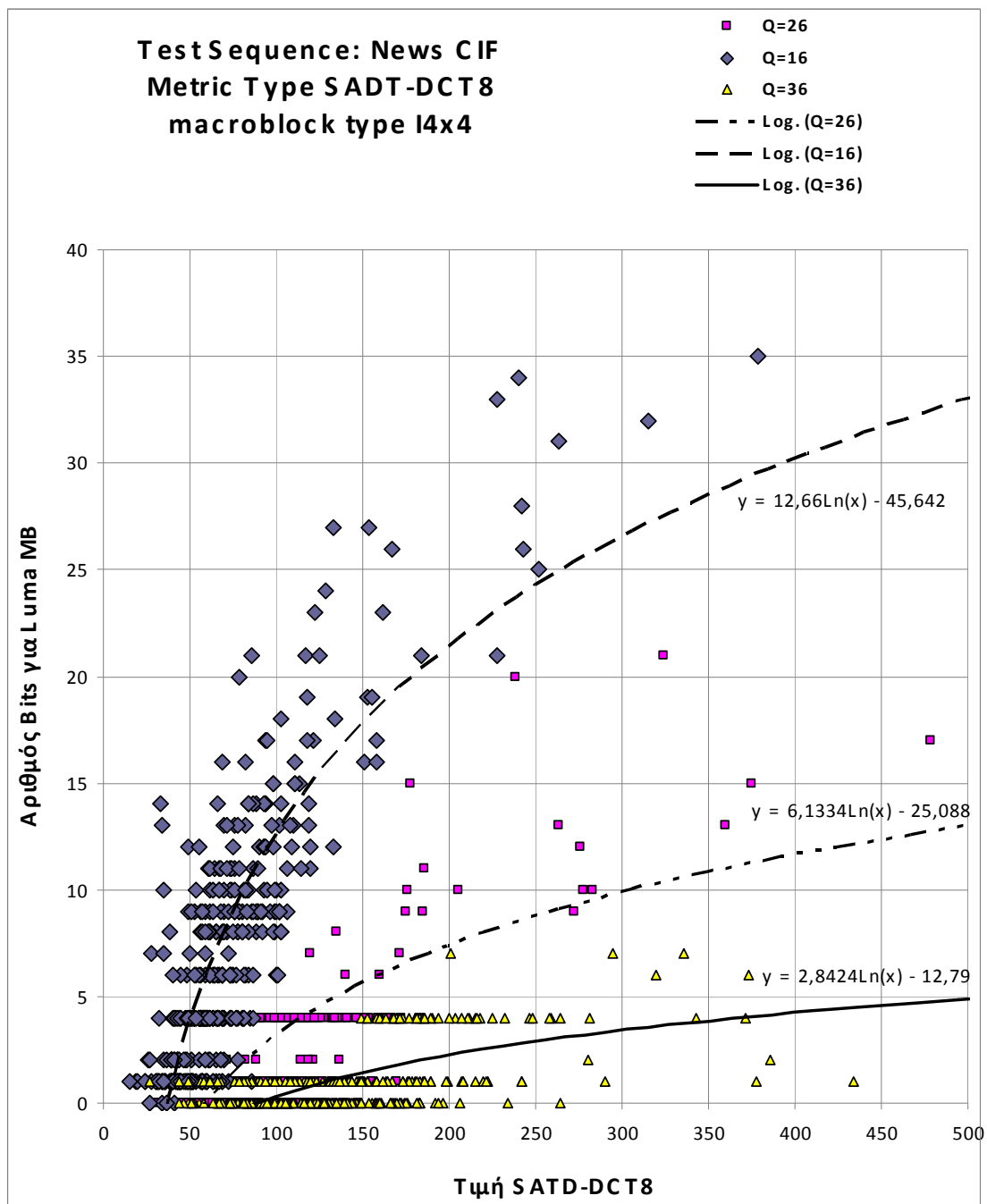
Σχήμα 5-1 News_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits subMB



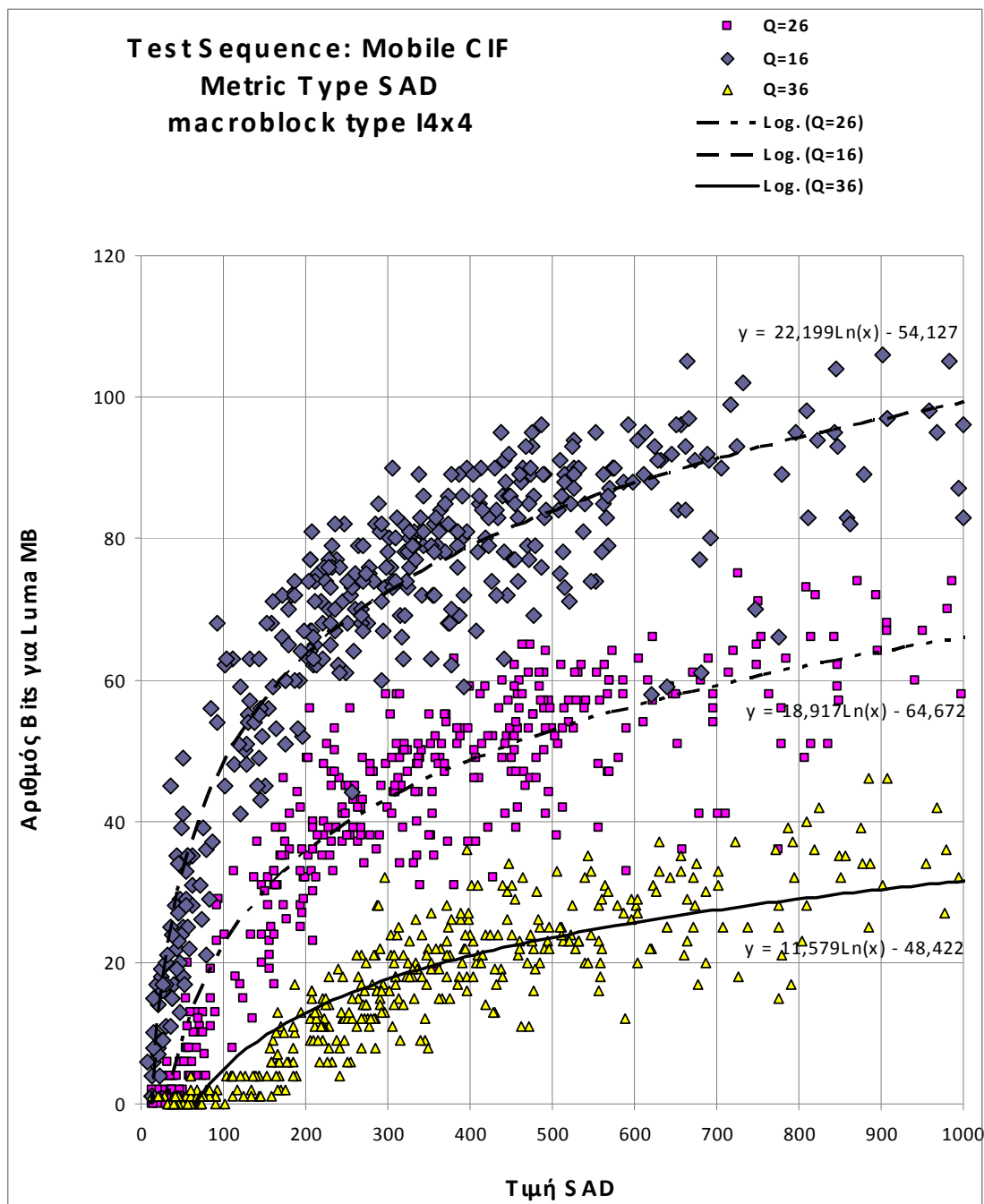
Σχήμα 5-2 News_cif Μετρική SATD -Αριθμού Luma Bits subMB



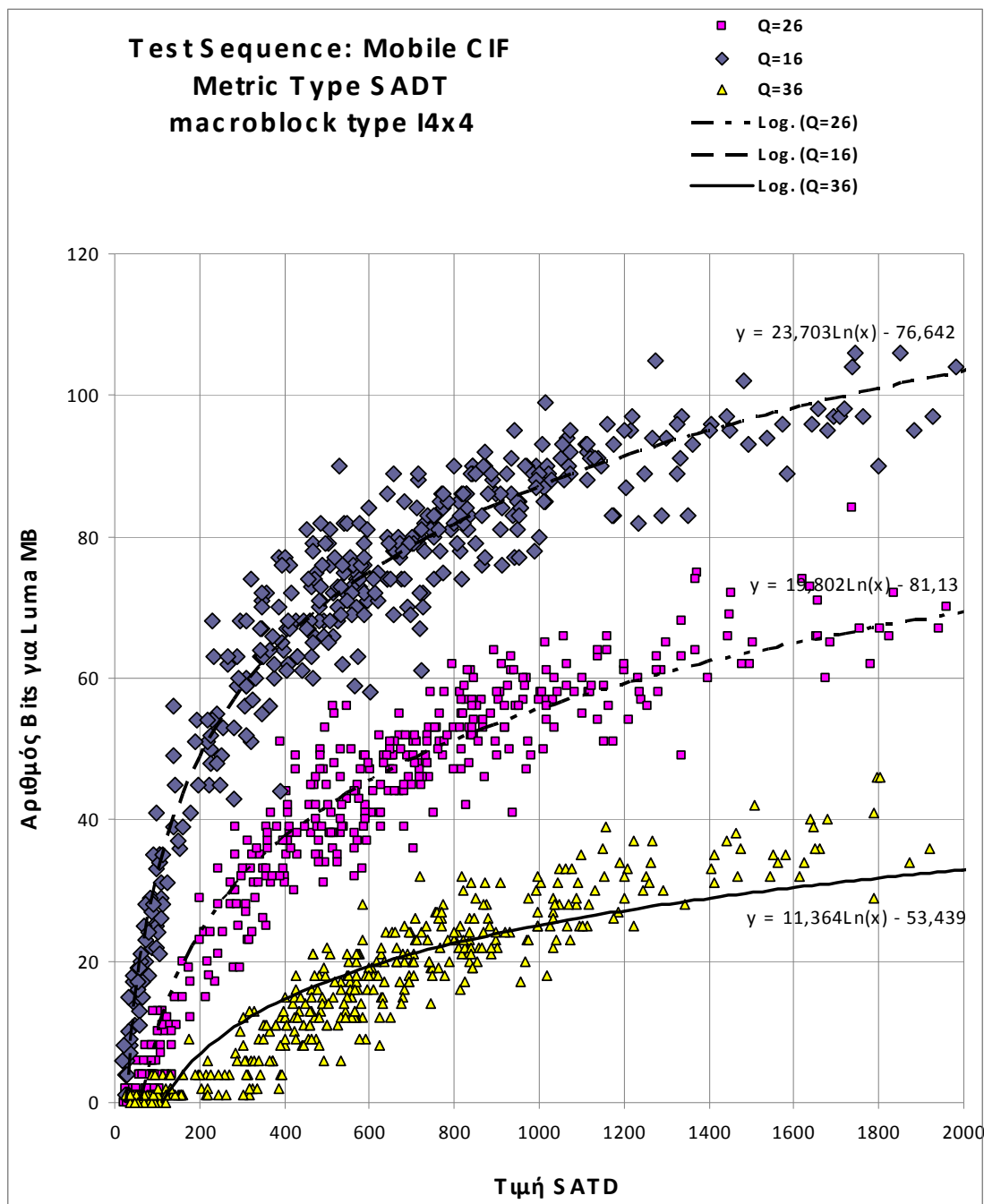
Σχήμα 5-3 News_cif Μετρική SADT_8 -Αριθμού Luma Bits subMB



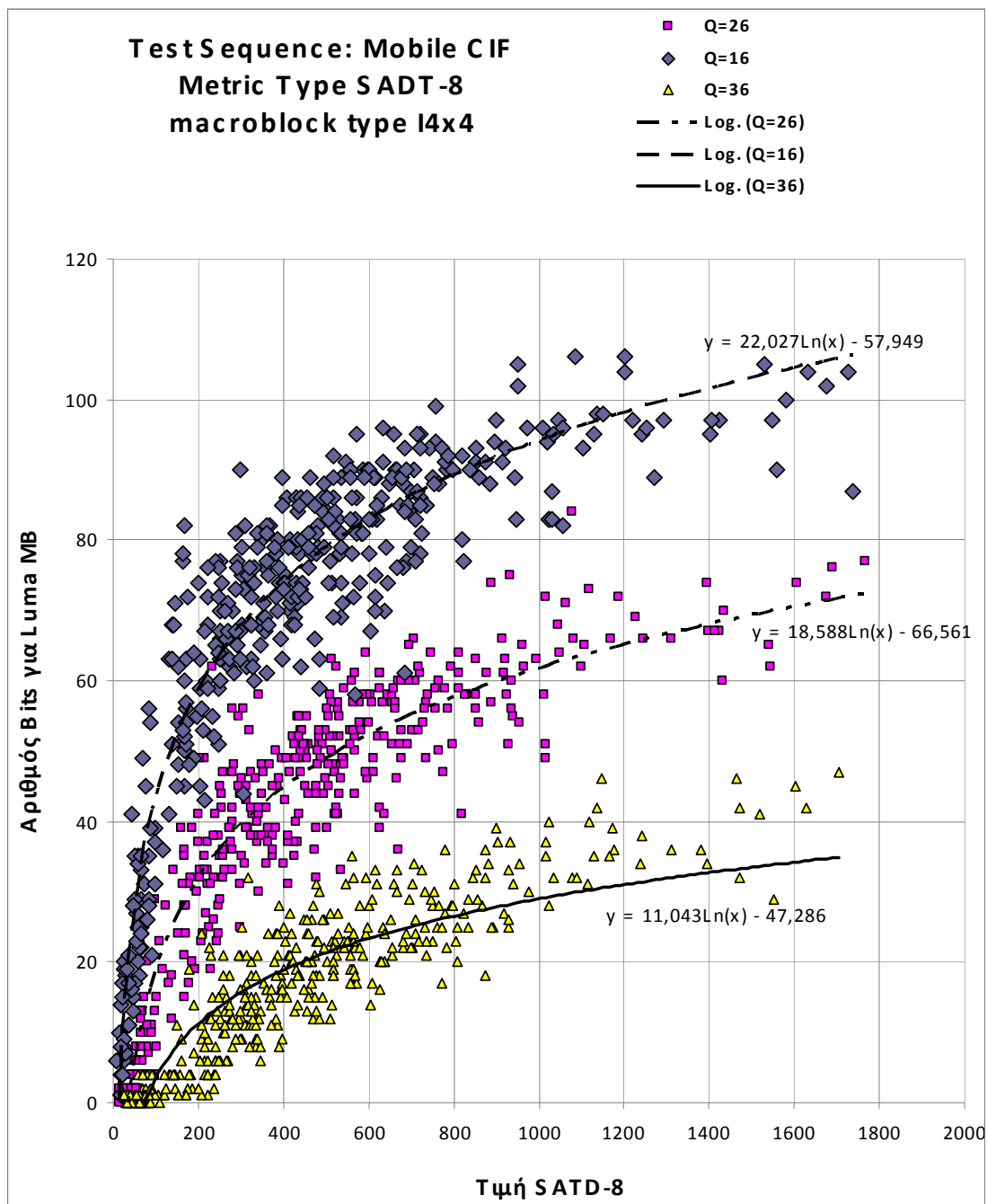
Σχήμα 5-4 News_cif Μετρική SATD-DCT8 -Αριθμού Luma Bits subMB



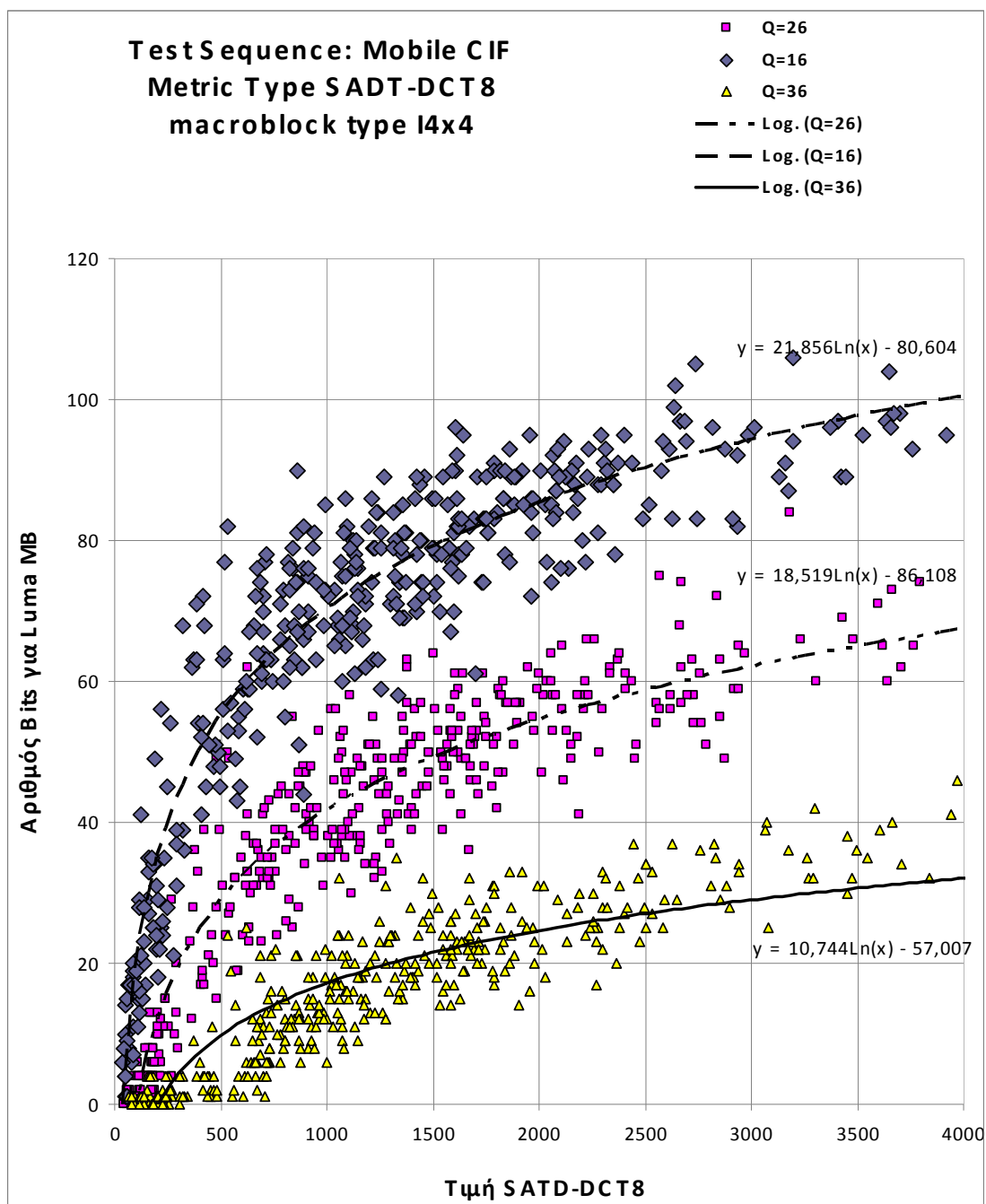
Σχήμα 5-5 Mobile_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits subMB



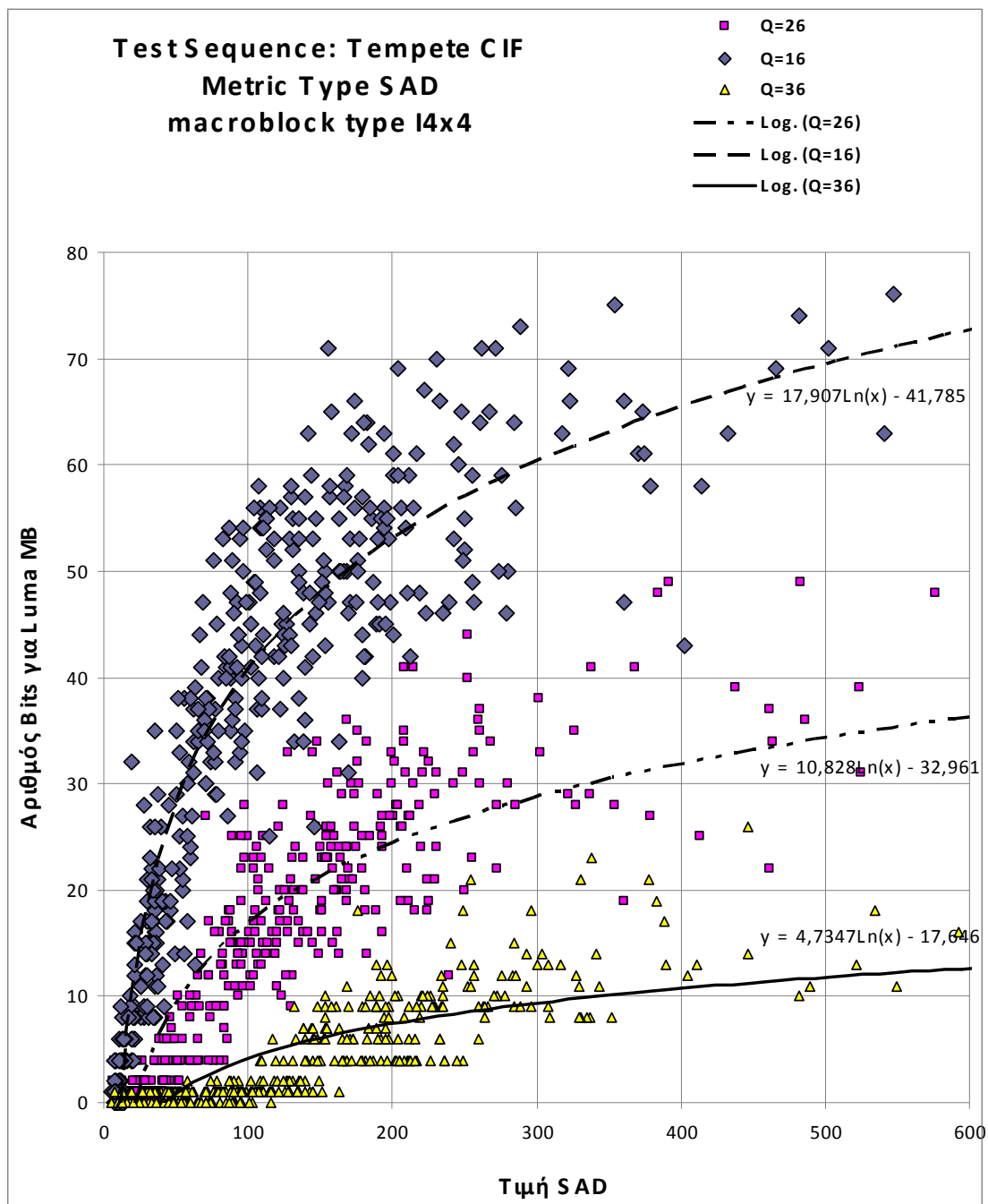
Σχήμα 5-6 Mobile_cif Μετρική SADT -Αριθμού Luma Bits subMB



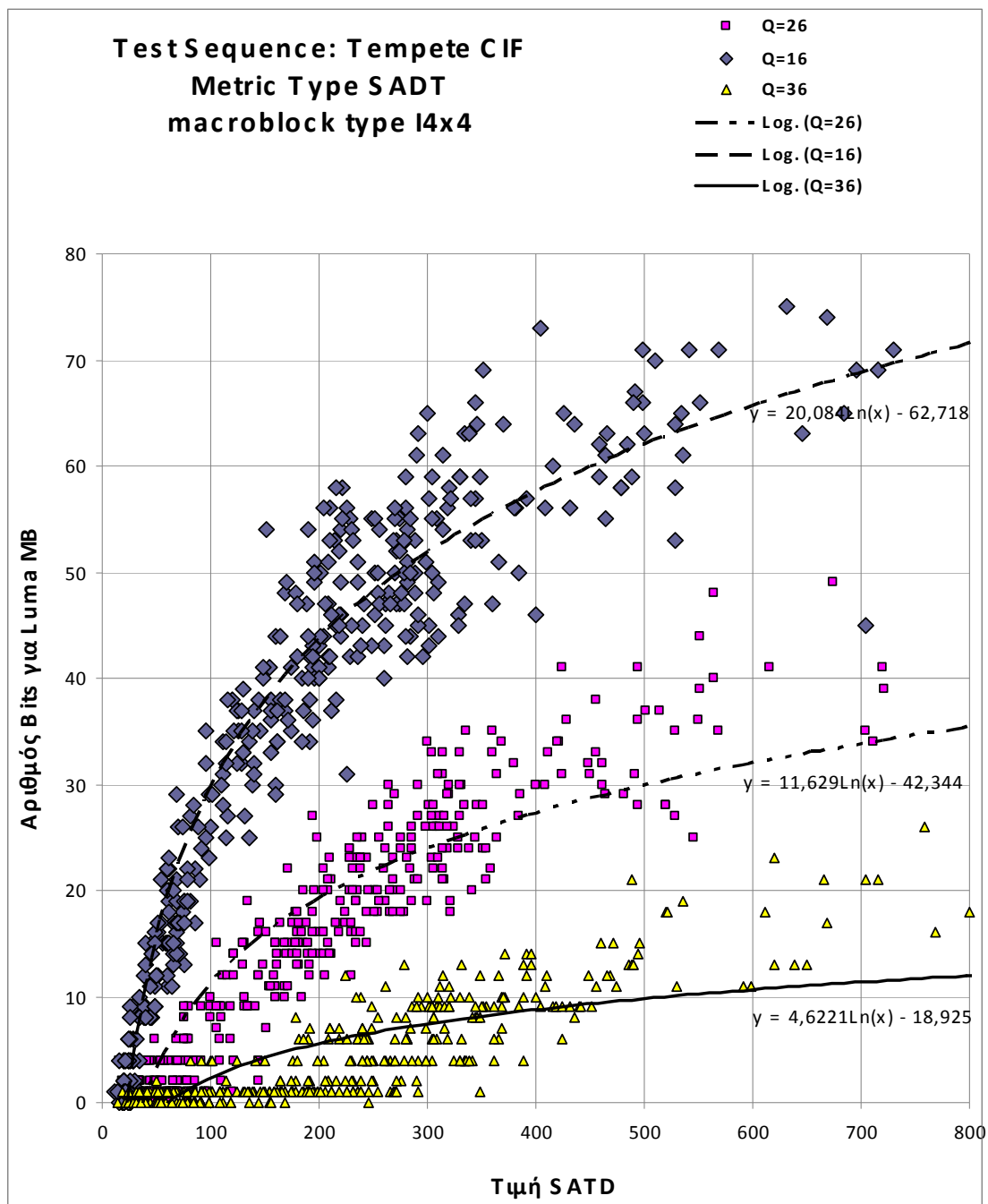
Σχήμα 5-7 Mobile_cif Μετρική SATD8 -Αριθμού Luma Bits subMB



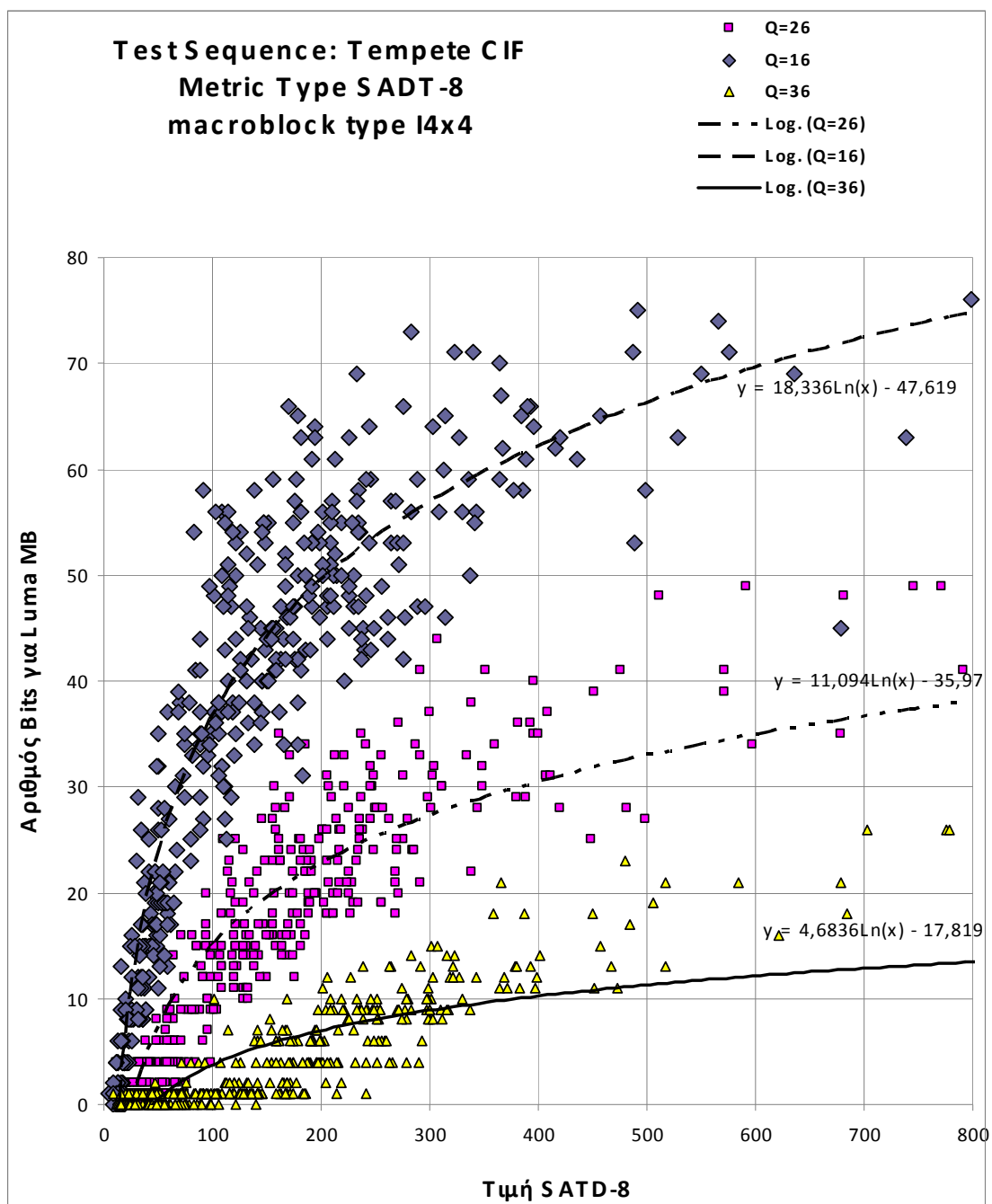
Σχήμα 5-8 Mobile_cif Μετρική SADT-DCT8 -Αριθμού Luma Bits subMB



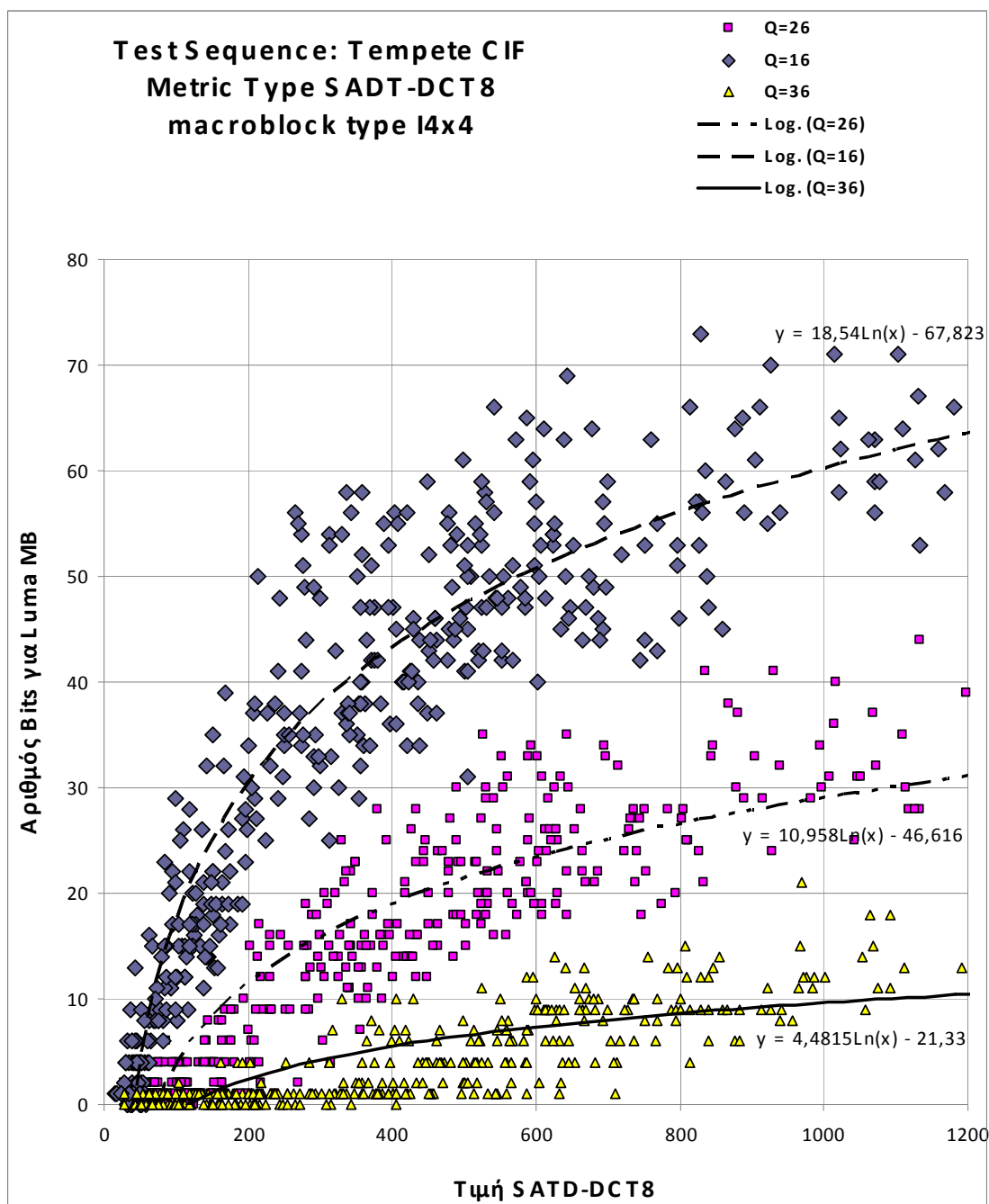
Σχήμα 5-9 Tempete_cif Μετρική SAD -Αριθμού Luma Bits subMB



Σχήμα 5-10 Tempete_cif Μετρική SATD -Αριθμού Luma Bits subMB



Σχήμα 5-11 Tempete_cif Μετρική SADT_8 -Αριθμού Luma Bits subMB



Σχήμα 5-12 Tempete_cif Μετρική SATDDCT8 -Αριθμού Luma Bits subMB

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ο αριθμός των bits που απαιτούνται για κάθε subMB. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-1 Μέγιστος αριθμός bits Πίνακας 5-1) βλέπουμε ότι ο μέγιστος αριθμός των bits για κάθε subMB, φυσικά εξαρτάται από τον παράγοντα ποιότητας και από την πολυπλοκότητα του subMB. Ο αριθμός των bits/subMB είναι συγκρίσιμος με τον αριθμό των bits στο Macroblock header (1 ή 4) στις περισσότερες των περιπτώσεων και ειδικά όταν έχουμε μεγάλη συμπίεση, που σημαίνει ότι πρέπει να τον λάβουμε υπόψη στην επιλογή του mode. Για παράδειγμα αν χάνουμε 3bits για τα 8 από τα 16

subMB τότε σε ένα video 720x576@25 έχουμε αύξηση του bitrate 950kbits/sec που είναι αρκετά μεγάλη.

Το πρόβλημα στην επιλογή του mode είναι ότι η τιμή της μετρικής δεν μπορεί να μας δώσει ακριβώς σε πόσα bits αντιστοιχεί διότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις τιμές. Επίσης η σχέση μετρικής/bits δεν είναι σταθερή κατά μέσο όρο για όλα τα sequence. Για παράδειγμα για τιμή SATD=400 και Q=26 η μέση τιμή του αριθμού των bits είναι για το news_cif <18 για το tempete_cif~28 και για το mobile_cif~38.

Για την επιλογή του mode δεν μας ενδιαφέρει η απόλυτη τιμή των bits αλλά η σχετική τιμή μεταξύ των modes. Αυτό βέβαια απλοποιεί το πρόβλημα αλλά εξακολουθεί να υπάρχει λόγω της μεγάλης απόκλισης. Για παράδειγμα για τιμή SATD=320 και Q=26 στο sequence tempete έχουμε αριθμό bits από 18 έως 38. Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από την τιμή 4 και η επιλογή του mode δεν έχει καμία ακρίβεια.

	Q=16	Q=26	Q=36
News	35	20	27
Mobile	110	80	50
Tempete	75	50	25

Πίνακας 5-1 Μέγιστος αριθμός bits ανά subMB

Όπως αναφέρθηκε το κόστος κάθε επιλογής εξαρτάται από την τιμή Lagrangian. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τον παράγοντα ποιότητας και από τον τύπο της μετρικής. Η τιμή της μεταβλητής υπολογίζεται από πειραματικές μετρήσεις και από την ακρίβεια αυτής εξαρτάται άμεσα η απόδοση του κωδικοποιητή.

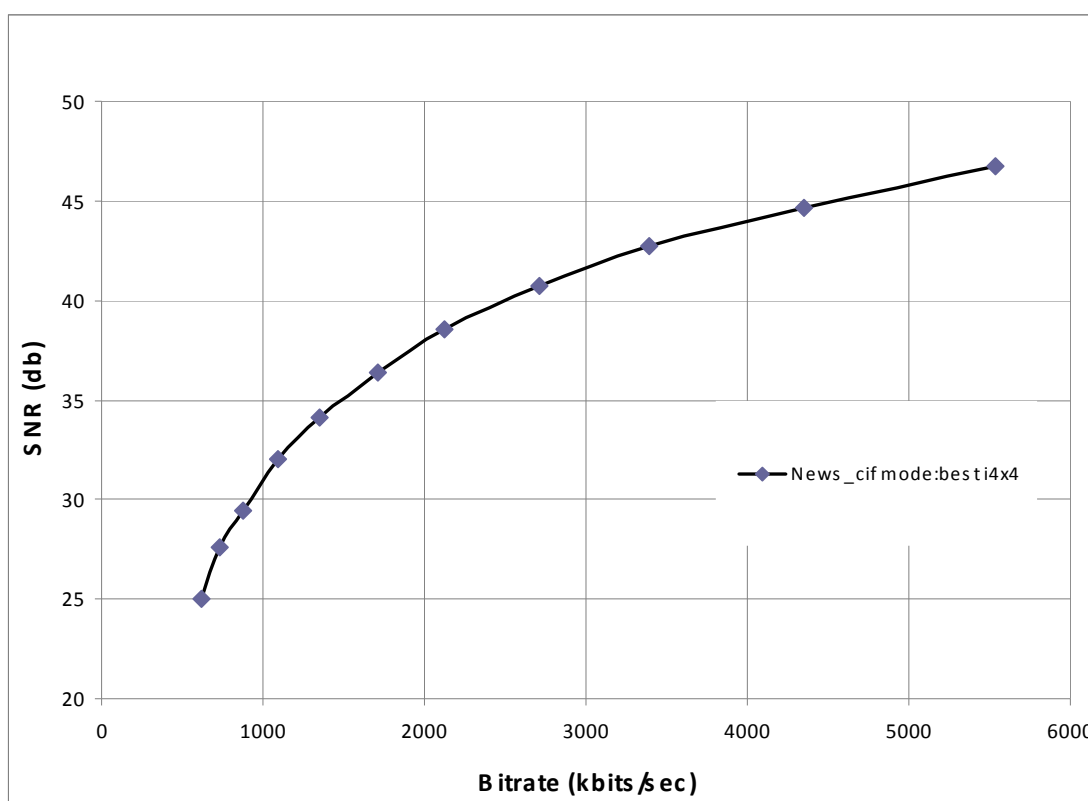
5.2 Απόδοση μετρικών για I4x4

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 5-13 έως Σχήμα 5-27) εμφανίζονται οι αποδόσεις των διάφορων μετρικών, συγκρινόμενες με την καλύτερη δυνατή επιλογή. Η καλύτερη δυνατή επιλογή που μπορούμε να έχουμε στο Low Complexity mode είναι αυτή που με ακρίβεια υπολογίζουμε τον αριθμό των bits για κάθε mode.

Sequence: News_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	46,77	5540
19	44,65	4350
22	42,76	3391
25	40,7	2716

28	38,53	2127
31	36,37	1711
34	34,09	1349
37	32,04	1092
40	29,47	872
43	27,59	727
46	25,04	617

Πίνακας 5-2 SNR/bitrate News_cif Best Mode I4x4

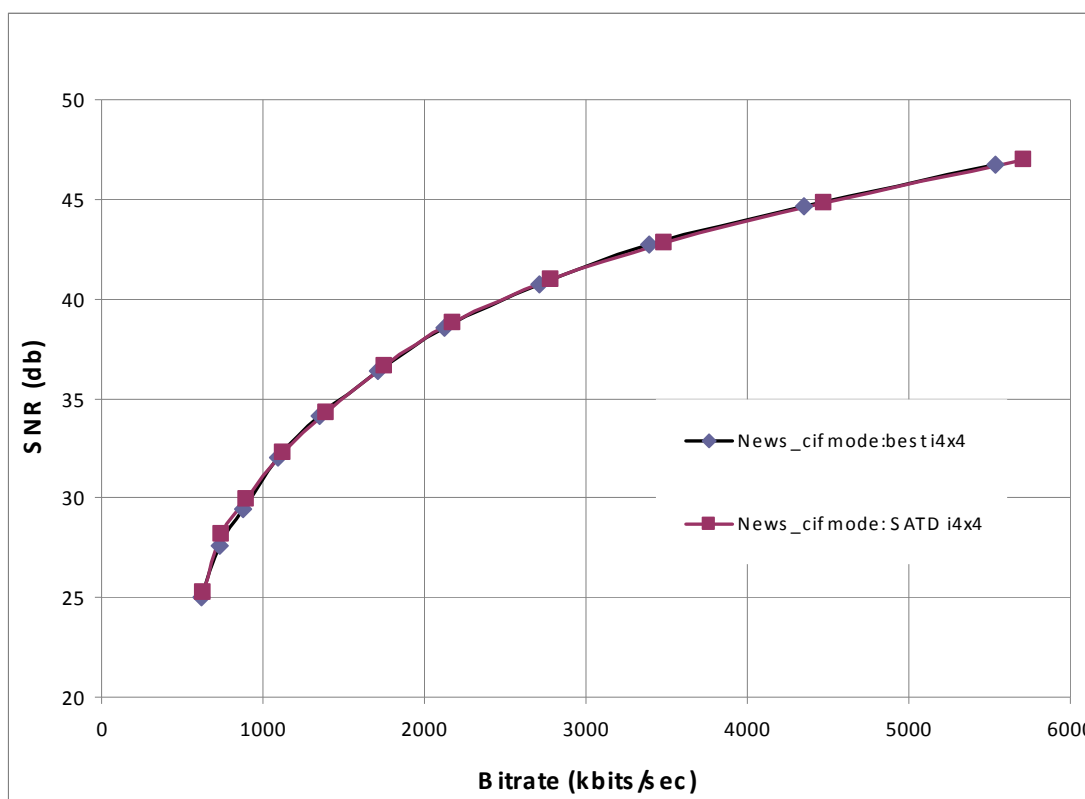


Σχήμα 5-13 SNR/bitrate News_cif Best Mode I4x4

Sequence: News_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,95	5713	3,12
19	44,82	4474	2,85

22	42,82	3485	2,77
25	40,95	2786	2,58
28	38,77	2177	2,35
31	36,62	1753	2,45
34	34,31	1387	2,82
37	32,3	1123	2,84
40	29,93	892	2,29
43	28,17	745	2,48
46	25,29	634	2,76

Πίνακας 5-3 SNR/bitrate News_cif SATD I4x4

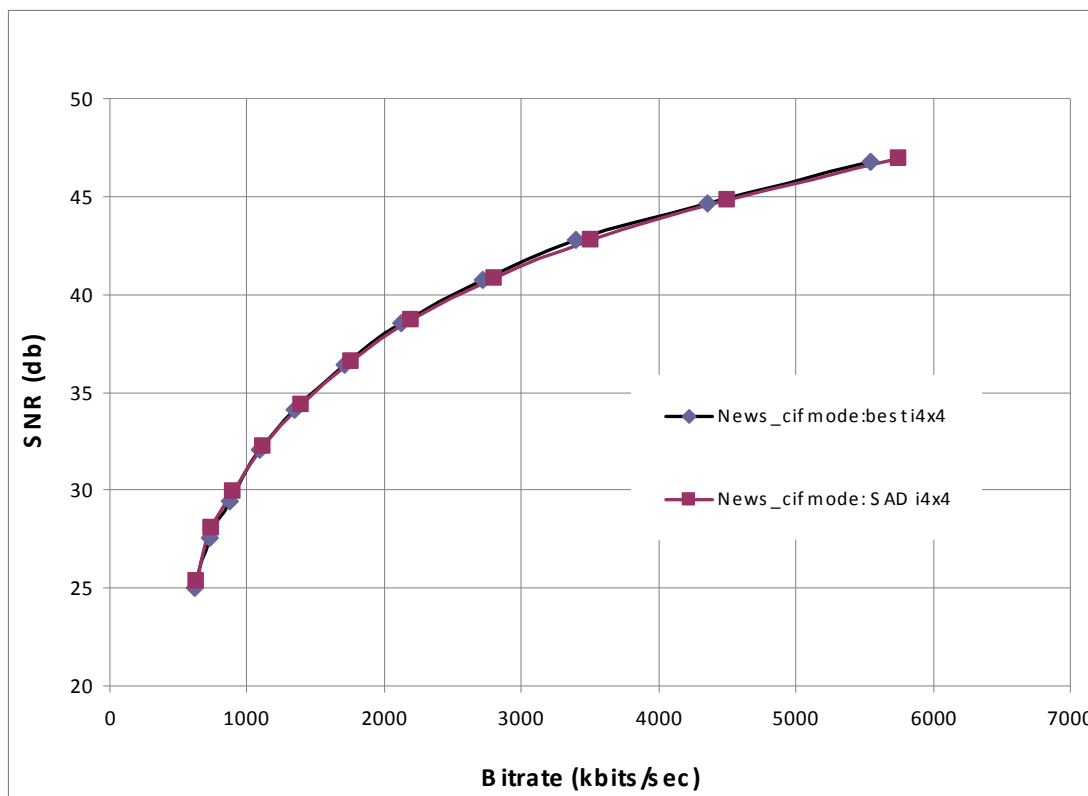


Σχήμα 5-14 SNR/bitrate News_cif SATD I4x4

Sequence: News_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,92	5747	3,74

19	44,78	4496	3,36
22	42,77	3510	3,51
25	40,86	2805	3,28
28	38,72	2197	3,29
31	36,59	1760	2,86
34	34,4	1392	3,19
37	32,25	1121	2,66
40	29,94	893	2,41
43	28,04	742	2,06
46	25,37	627	1,62

Πίνακας 5-4 SNR/bitrate News_cif SAD I4x4

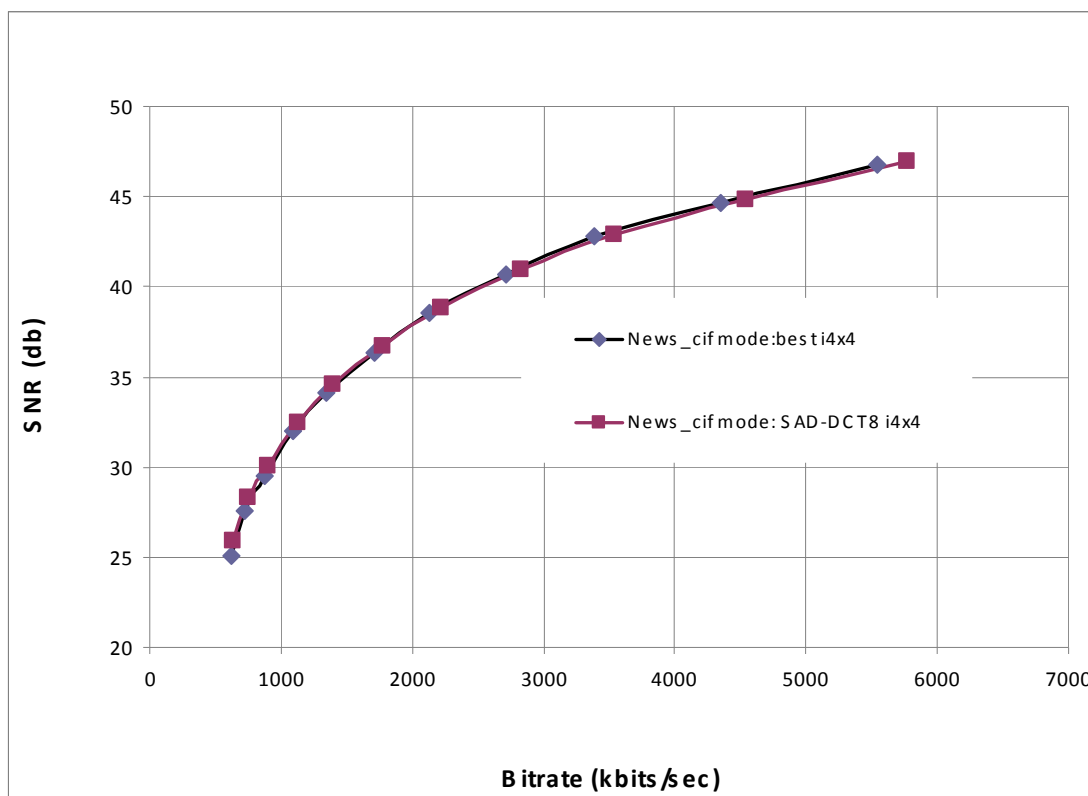


Σχήμα 5-15 SNR/bitrate News_cif SAD I4x4

Sequence: News_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--

16	46,98	5771	4,17
19	44,83	4537	4,30
22	42,88	3540	4,39
25	40,97	2834	4,34
28	38,8	2214	4,09
31	36,72	1770	3,45
34	34,55	1397	3,56
37	32,44	1125	3,02
40	30,1	898	2,98
43	28,35	750	3,16
46	25,88	629	1,94

Πίνακας 5-5 SNR/bitrate News_cif SAD-DCT_8 I4x4

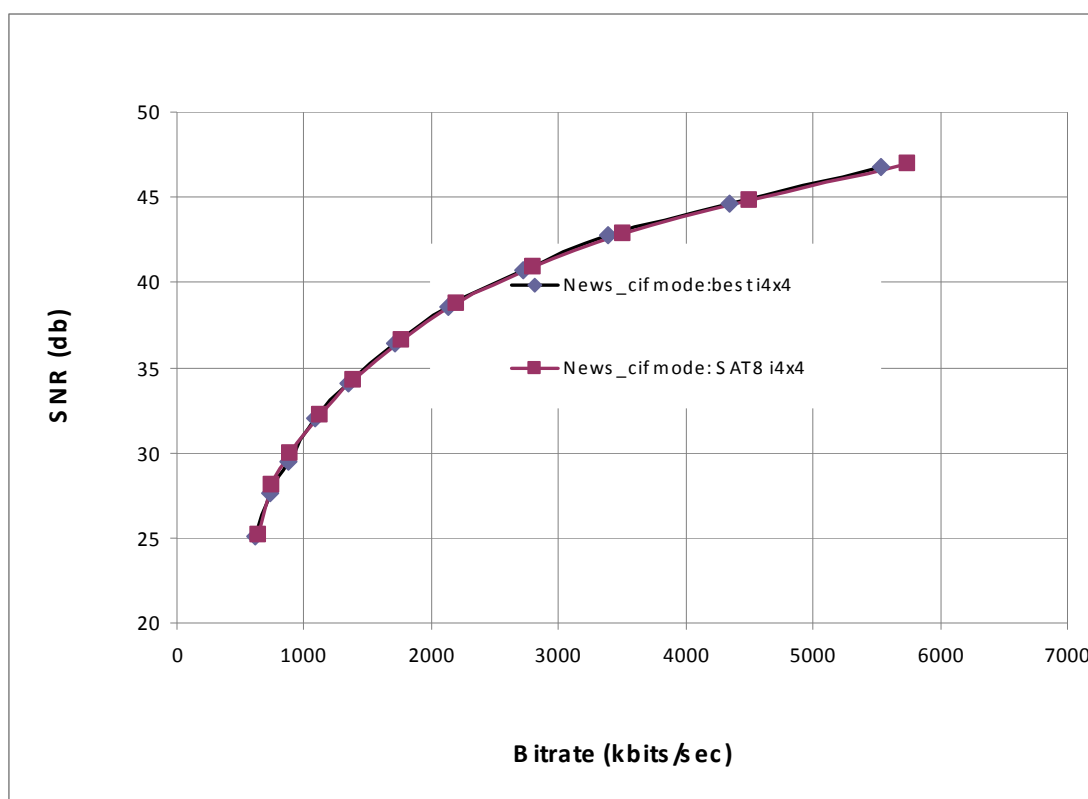


Σχήμα 5-16 SNR/bitrate News_cif SAD-DCT_8 I4x4

Sequence: News_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
------------------------	---------------	------------------------------	-----------------

Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,94	5750	3,79
19	44,8	4498	3,40
22	42,82	3508	3,45
25	40,91	2801	3,13
28	38,73	2193	3,10
31	36,6	1762	2,98
34	34,29	1392	3,19
37	32,23	1126	3,11
40	30	891	2,18
43	28,15	746	2,61
46	25,2	635	2,92

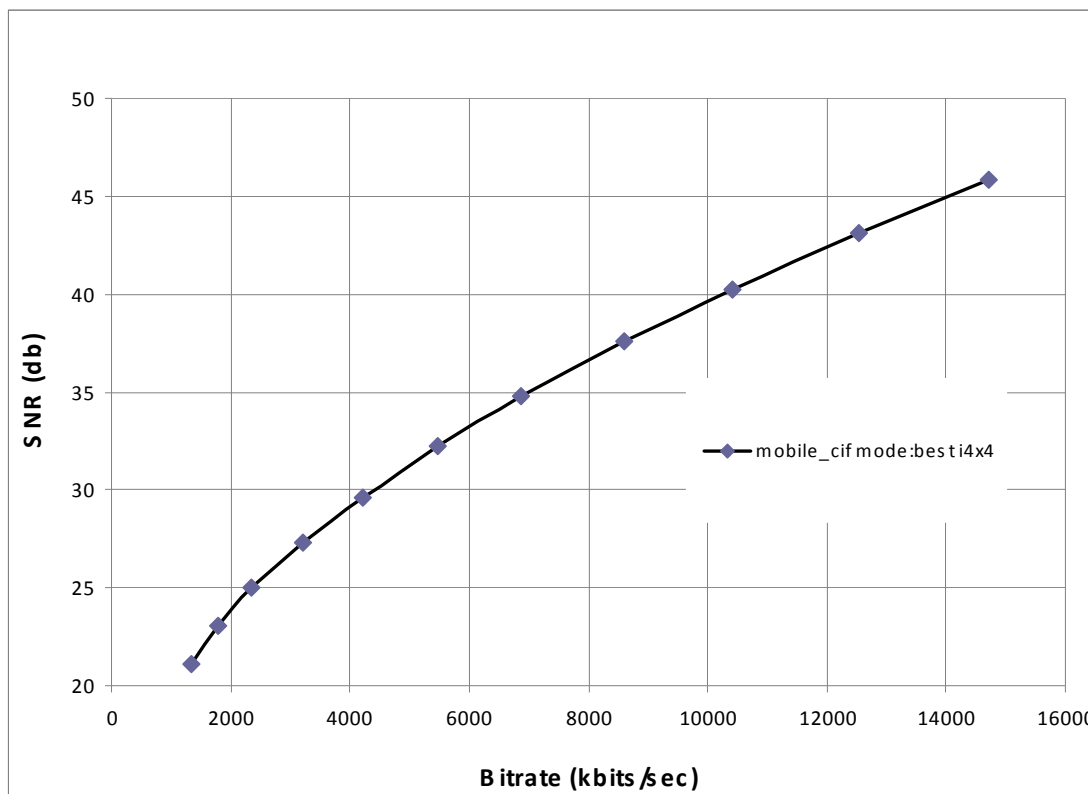
Πίνακας 5-6 SNR/bitrate News_cif SATD-8 I4x4



Σχήμα 5-17 SNR/bitrate News_cif SATD-8 I4x4

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	45,86	14717
19	43,08	12534
22	40,24	10410
25	37,6	8597
28	34,81	6857
31	32,22	5474
34	29,6	4216
37	27,32	3218
40	25,03	2343
43	23,07	1786
46	21,12	1331

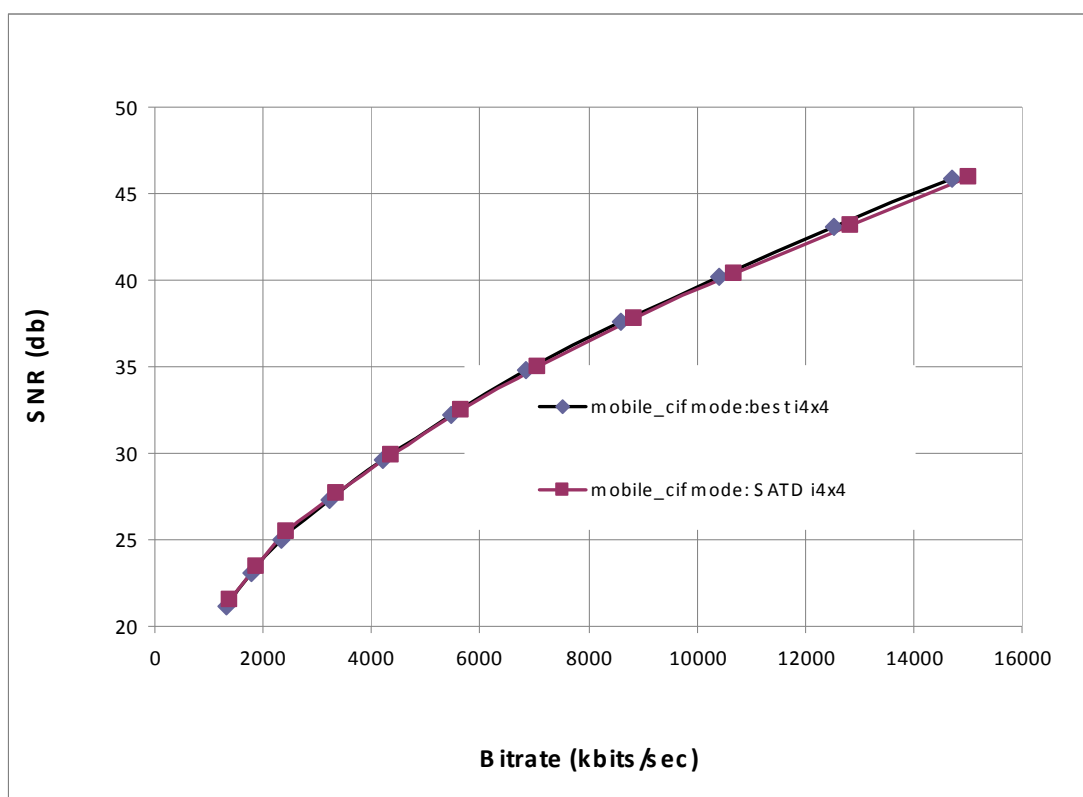
Πίνακας 5-7 SNR/bitrate Mobile_cif Best Mode I4x4



Σχήμα 5-18 SNR/bitrate Mobile_cif Best Mode I4x4

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,93	15030	2,13
19	43,18	12825	2,32
22	40,39	10672	2,52
25	37,79	8831	2,72
28	35,04	7061	2,98
31	32,5	5648	3,18
34	29,93	4363	3,49
37	27,69	3338	3,73
40	25,44	2440	4,14
43	23,5	1861	4,20
46	21,58	1387	4,21

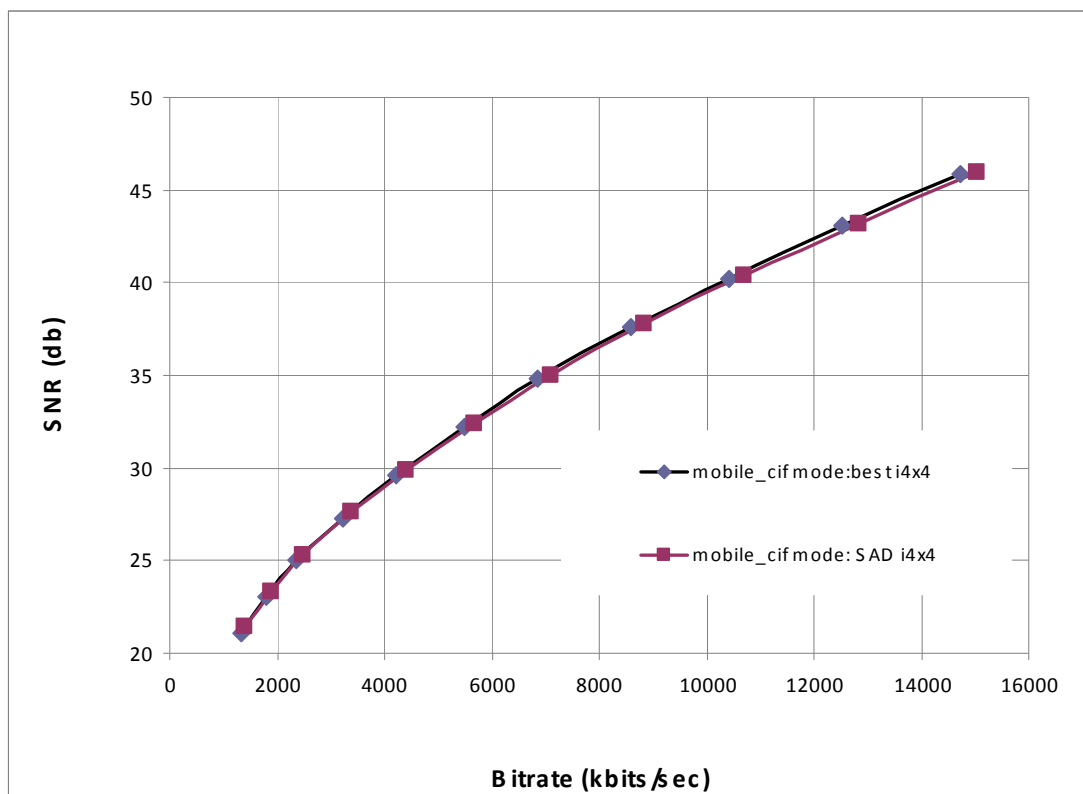
Πίνακας 5-8 SNR/bitrate Mobile_cif SATD I4x4



Σχήμα 5-19 SNR/bitrate Mobile_cif SATD I4x4

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,92	15046	2,24
19	43,17	12840	2,44
22	40,36	10689	2,68
25	37,75	8852	2,97
28	35	7089	3,38
31	32,44	5681	3,78
34	29,86	4398	4,32
37	27,59	3370	4,72
40	25,32	2466	5,25
43	23,36	1881	5,32
46	21,43	1397	4,96

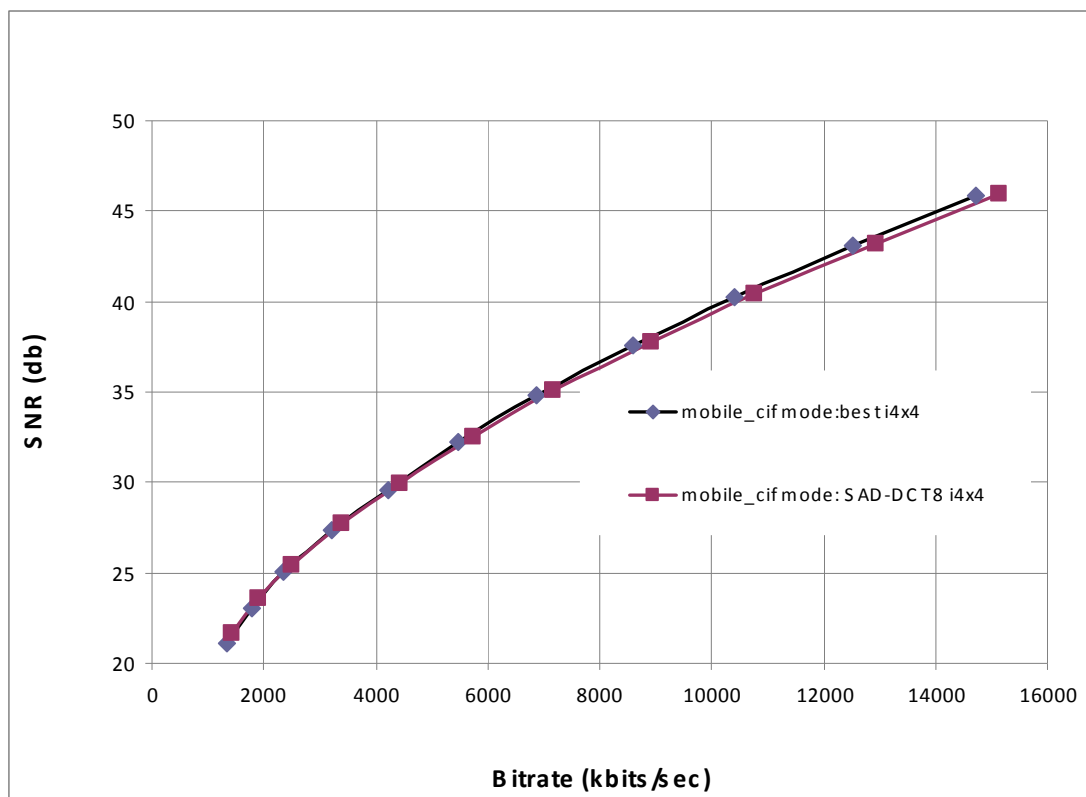
Πίνακας 5-9 SNR/bitrate Mobile_cif SAD I4x4



Σχήμα 5-20 SNR/bitrate Mobile_cif SAD I4x4

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,93	15144	2,90
19	43,18	12937	3,22
22	40,39	10778	3,54
25	37,79	8933	3,91
28	35,05	7154	4,33
31	32,5	5732	4,71
34	29,95	4436	5,22
37	27,71	3402	5,72
40	25,47	2492	6,36
43	23,57	1903	6,55
46	21,7	1417	6,46

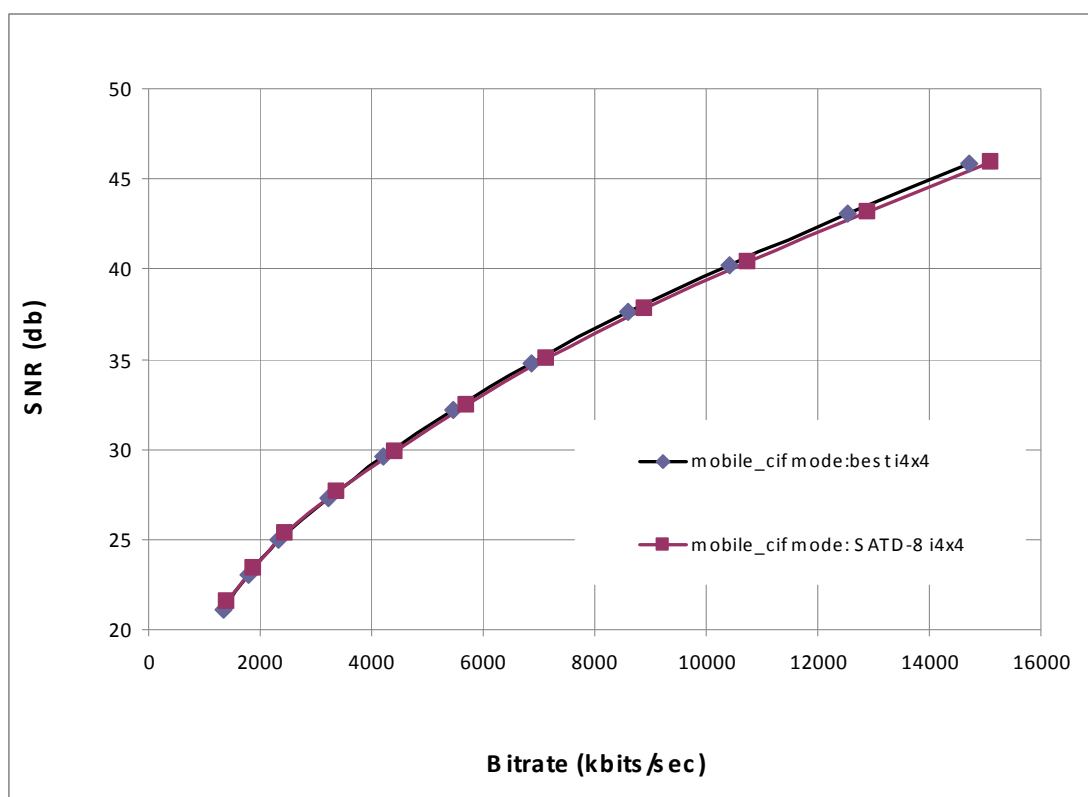
Πίνακας 5-10 SNR/bitrate Mobile_cif SAD-DCT_8 I4x4



Σχήμα 5-21 SNR/bitrate Mobile_cif SAD-DCT_8 I4x4

Sequence: Mobile_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	45,92	15115	2,70
19	43,18	12906	2,97
22	40,38	10747	3,24
25	37,77	8900	3,52
28	35,03	7122	3,86
31	32,48	5700	4,13
34	29,91	4403	4,44
37	27,65	3366	4,60
40	25,4	2456	4,82
43	23,46	1870	4,70
46	21,53	1390	4,43

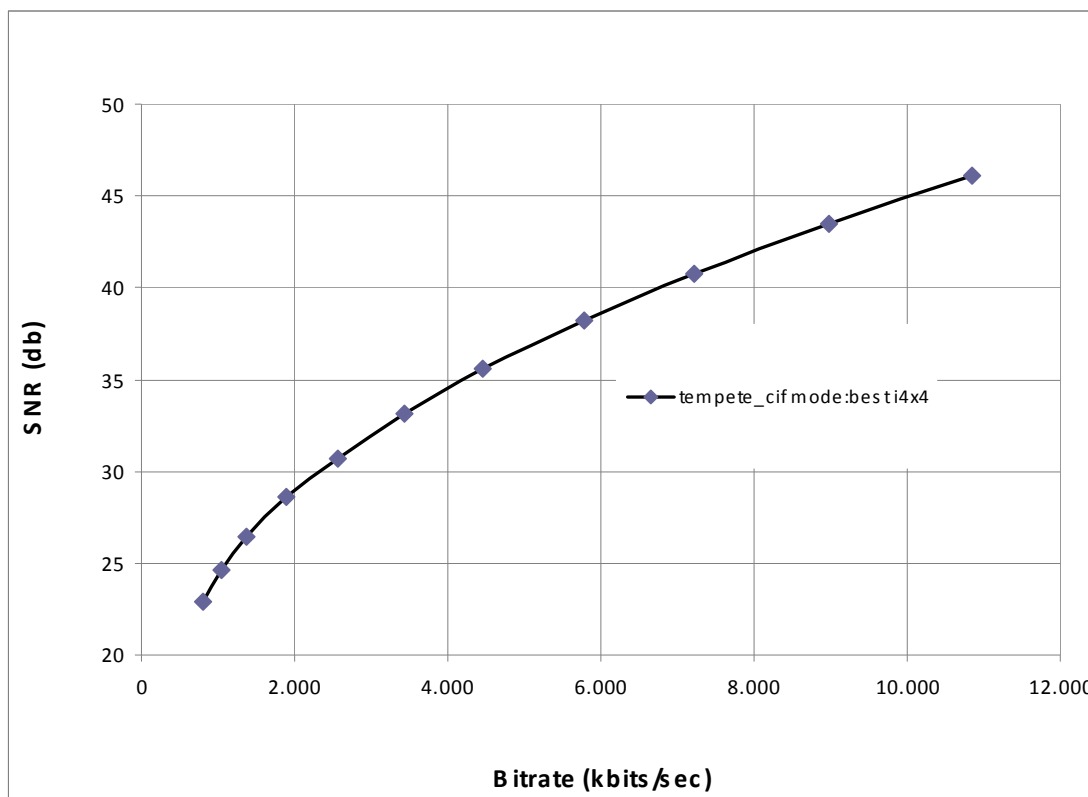
Πίνακας 5-11 SNR/bitrate Mobile_cif SATD-8 I4x4



Σχήμα 5-22 SNR/bitrate Mobile_cif SATD-8 I4x4

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: Best
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)
16	46,11	10.848
19	43,47	8.982
22	40,76	7.218
25	38,26	5.777
28	35,6	4.449
31	33,17	3.441
34	30,71	2.559
37	28,59	1.902
40	26,44	1.367
43	24,65	1.043
46	22,89	808

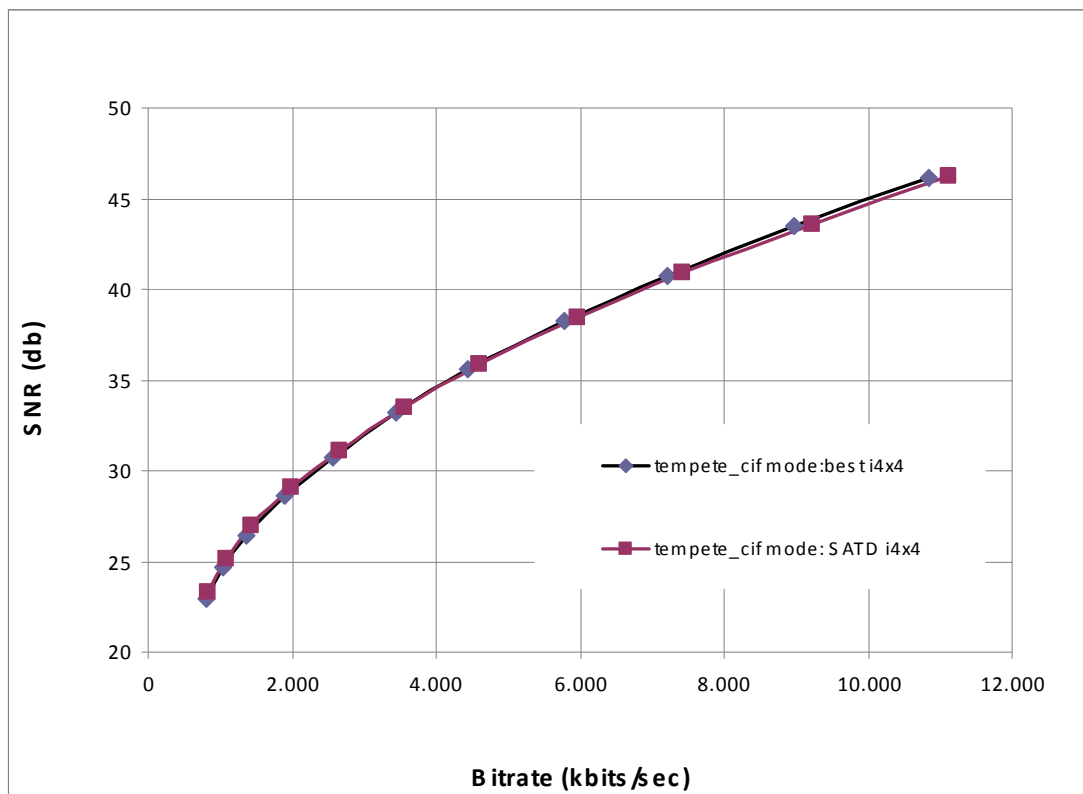
Πίνακας 5-12 SNR/bitrate Tempete_cif Best Mode I4x4



Σχήμα 5-23 SNR/bitrate Tempete_cif Best Mode I4x4

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SATD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,2	11.117	2,48
19	43,6	9.222	2,67
22	40,94	7.423	2,84
25	38,48	5.957	3,12
28	35,88	4.604	3,48
31	33,51	3.570	3,75
34	31,12	2.667	4,22
37	29,05	1.993	4,78
40	26,96	1.440	5,34
43	25,14	1.098	5,27
46	23,31	842	4,21

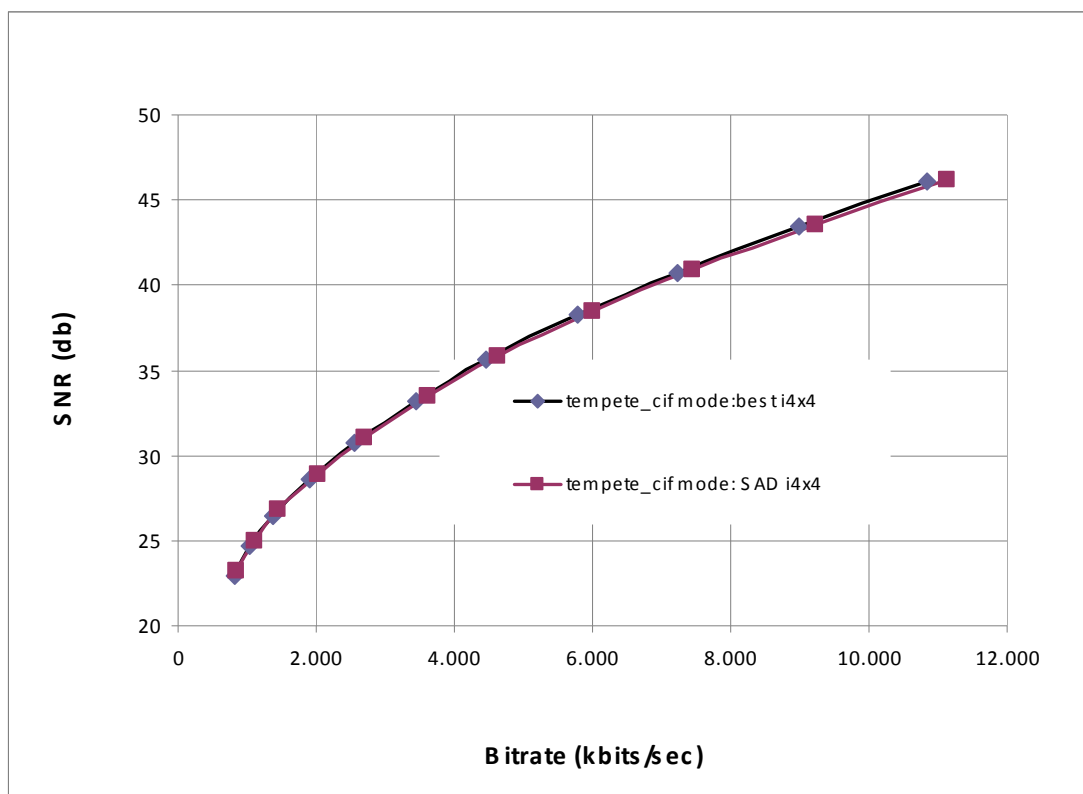
Πίνακας 5-13 SNR/bitrate Tempete_cif SATD I4x4



Σχήμα 5-24 SNR/bitrate Tempete_cif SATD I4x4

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: SAD	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,18	11.137	2,66
19	43,58	9.237	2,84
22	40,91	7.452	3,24
25	38,44	5.988	3,65
28	35,83	4.637	4,23
31	33,45	3.604	4,74
34	31,03	2.698	5,43
37	28,93	2.014	5,89
40	26,82	1.453	6,29
43	24,99	1.102	5,66
46	23,2	837	3,59

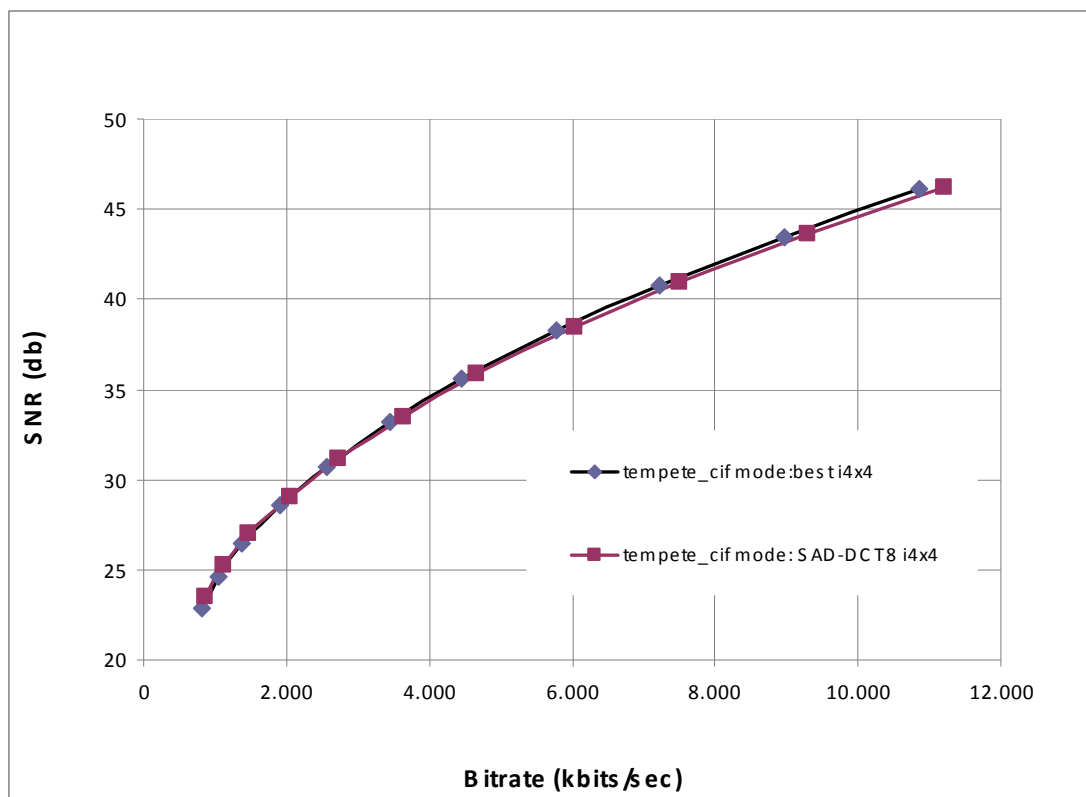
Πίνακας 5-14 SNR/bitrate Tempete_cif SAD I4x4



Σχήμα 5-25 SNR/bitrate Tempete_cif SAD I4x4

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: DCT_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,21	11.202	3,26
19	43,61	9.304	3,58
22	40,94	7.506	3,99
25	38,47	6.036	4,48
28	35,88	4.670	4,97
31	33,51	3.630	5,49
34	31,13	2.718	6,21
37	29,08	2.039	7,20
40	27,01	1.479	8,19
43	25,25	1.127	8,05
46	23,49	859	6,31

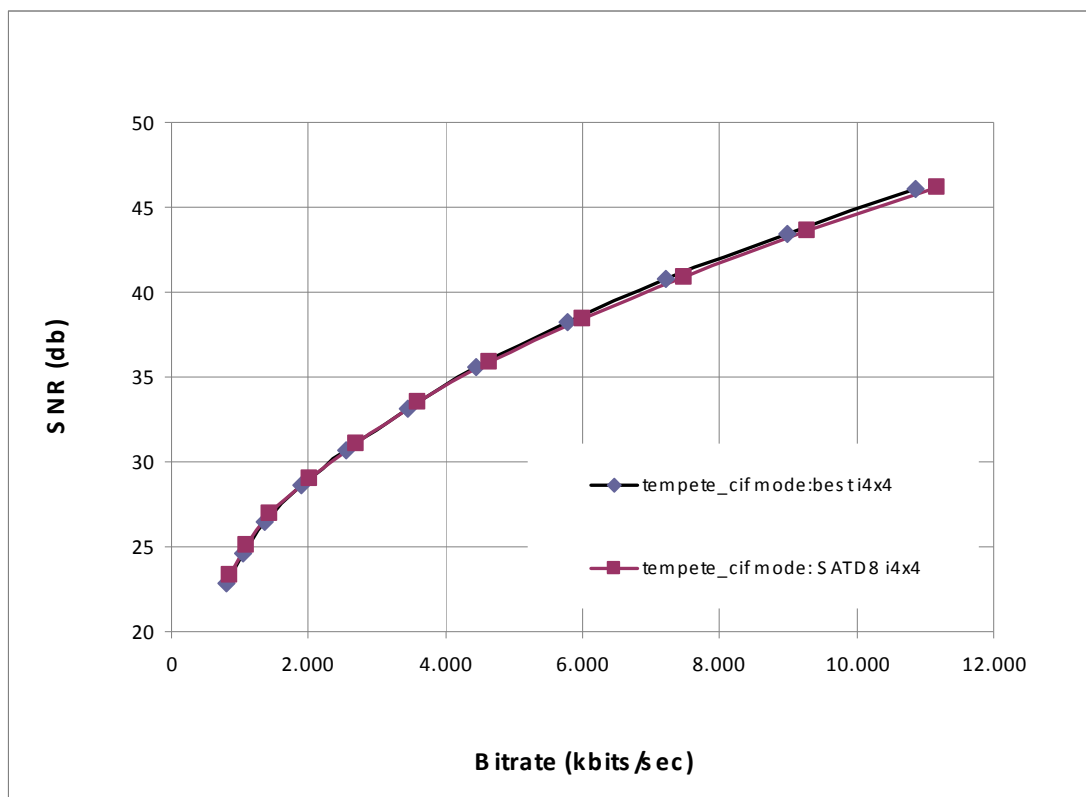
Πίνακας 5-15 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT_8 I4x4



Σχήμα 5-26 SNR/bitrate Tempete_cif SAD-DCT_8 I4x4

Sequence: Tempete_cif.yuv	Intra4x4 only	Metric: HAD_8 samples_zigzag	%Αύξηση Bitrate
Παράγοντας Ποιότητας	SNR (db)	Bitrate (kbits/sec)	--
16	46,2	11.175	3,01
19	43,59	9.275	3,26
22	40,92	7.475	3,56
25	38,46	6.003	3,91
28	35,86	4.643	4,36
31	33,49	3.599	4,59
34	31,09	2.687	5,00
37	29,02	2.005	5,42
40	26,92	1.445	5,71
43	25,1	1.099	5,37
46	23,29	843	4,33

Πίνακας 5-16 SNR/bitrate Tempete_cif SATD-8 I4x4



Σχήμα 5-27 SNR/bitrate Tempete_cif SATD-8 I4x4

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5-17) συνοψίζονται τα αποτελέσματα των αποδόσεων. Από αυτά βλέπουμε ότι η μετρική SATD δίνει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ως προς την αύξηση του bitrate, ενώ το χειρότερο η μετρική SAD-DCT8. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το αποτέλεσμα της μετρικής SAD, που είναι η απλούστερη υλοποίηση. Η αύξηση του bitrate είναι αρκετά ικανοποιητική σε σχέση με το μέγεθος, αλλά αναλυτικότερα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε αρκετές περιπτώσεις η αύξηση του bitrate έχει μεγάλες αποκλίσεις και δεν παρουσιάζει σταθερότητα ως προς το αποτέλεσμα.

Στην αντίθετη περίπτωση του I16x16 η μετρική SAD-DCT8 δεν δίνει καλά αποτελέσματα, ενώ η μετρική SATD-8 δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Η τεχνική μείωσης του αριθμού των συντελεστών που λαμβάνονται υπόψη στην τιμή της μετρικής δεν λειτουργεί ικανοποιητικά διότι οι διαφορές είναι πολύ μικρές και χρειαζόμαστε τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια

	Mobile	News	Tempete	Μέσος όρος % Αύξησης
SATD	3,24	2,66	3,83	3.24
SAD-DCT8	4,81	3,58	5,61	4.66
SATD-8	3,95	3,08	4,41	3.81
SAD	3,82	2,91	4,38	3.7

Πίνακας 5-17 Μέσος ποσοστιαίος όρος αύξησης bitrate για I4x4

	Μέσος όρος % Αύξησης bitrate	Αριθμός πυλών μετρικής	% μέγεθος σε σχέση με την SATD
SAD-DCT8	4.66	4777	56,6
SATD-16	3.24	8431	100
SATD-8	3.81	4441	52,67
SAD	3.7	--	--

Πίνακας 5-18 Σύγκριση μετρικών Απόδοση/Μέγεθος

5.3 Νέα μέθοδος επιλογής I4x4

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν τα κυκλώματα επιλογής που βασίζονται στις μετρικές αποκλίσεις. Τα κυκλώματα αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν πολύπλοκους υπολογισμούς αλλά παράλληλα η χρήση τους σημαίνει μείωση στην απόδοση της κωδικοποίησης.

Μια νέα μέθοδος παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο που δίνει αξιόλογα αποτελέσματα. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην πρόβλεψη του αριθμού των bits που παράγονται από τον entropy encoder χρησιμοποιώντας τους 8 συντελεστές μετασχηματισμού. Το κύκλωμα

αποτελείται από το τμήμα TQ των 8 συντελεστών που περιλαμβάνει το μετασχηματισμό και την κβαντοποίηση, καθώς και το αριθμητικό κύκλωμα πρόβλεψης του αριθμού των bits.

Για την περιγραφή ενός subMB απαιτούνται τα 1 ή 4 bits στο macroblock header καθώς τα bits στο residual τμήμα. Η σχέση του αριθμού των bits στο residual τμήμα με τους μετασχηματισμένους συντελεστές είναι απαλλαγμένη από την εξάρτηση του παράγοντα ποιότητας επειδή ήδη οι τελευταίοι έχουν υποστεί κβαντοποίηση. Αυτό σημαίνει ότι το κύκλωμα πρόβλεψης δεν εξαρτάται από τον παράγοντα ποιότητας.

Το κύκλωμα πρόβλεψης προσπαθεί να προβλέψει τη λειτουργία του entropy encoder και να δώσει τον αριθμό των bits που θα παραχθούν. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τις τιμές των συντελεστών του submacroblock καθώς και από αυτές των γειτονικών. Η λειτουργία περιγράφεται αναλυτικά στο πρότυπο [1]. Για κάθε submacroblock ο entropy encoder στέλνει 3 ομάδες δυαδικής ακολουθίας για

1. Τον αριθμό των μη μηδενικών συντελεστών
2. Για την τιμή κάθε συντελεστή
3. Για τη θέση των μηδενικών συντελεστών

Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το πλήθος των bits για κάθε ένα από τα παραπάνω μπορεί να προβλεφθεί με ένα λογικό περιθώριο λάθους. Χρησιμοποιώντας τους 8 συντελεστές μετασχηματισμού υπολογίζουμε το

Άθροισμα των απολύτων τιμών των συντελεστών (SumCoeff)

Το πλήθος των μη μηδενικών συντελεστών (NoZeroCoeff)

Το πλήθος των μηδενικών διαδοχικών συντελεστών (ZeroGroupCoeff)

Η σχέση που δίνει τον αριθμό των bits είναι η

$$\text{Total_Bits} = 1.15 * \text{SumCoeff} + 4 * \text{ZeroGroupCoeff} + 2 + 1.4 * \text{NoZeroCoeff}$$

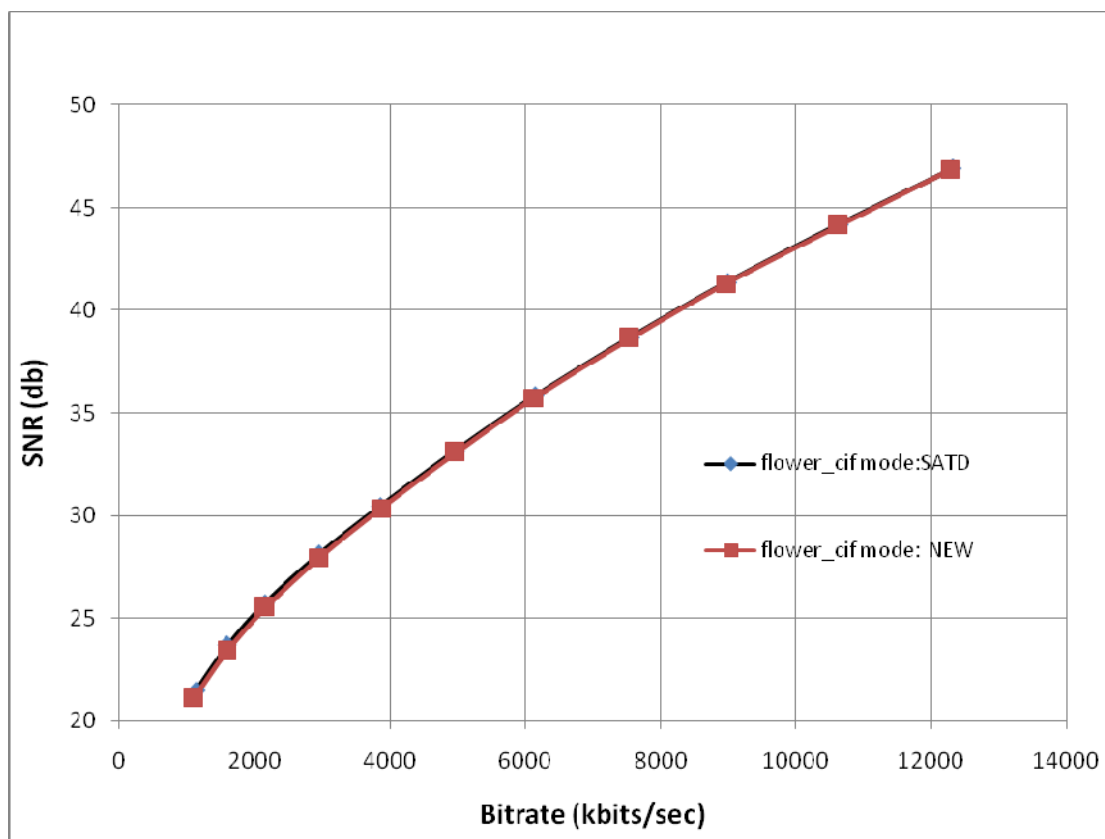
5.3.1 Απόδοση νέας μεθόδου I4x4

Στα επόμενα διαγράμματα γίνεται σύγκριση της νέα μεθόδου με τη μετρική SATD. Για τη νέα μέθοδο δεν χρησιμοποιείται τεχνική RDO αλλά η επιλογή γίνεται μόνο με βάση το mode που δίνει το μικρότερο αριθμό των bits. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι η απόδοση της νέα μεθόδου είναι όμοια με αυτή του SATD. Έχουμε μείωση της ποιότητας κατά 0,61% αλλά με ταυτόχρονη μείωση του bitrate κατά 0,71%. Προφανές είναι ότι η ενσωμάτωση τεχνικής RDO θα δώσει πολύ καλύτερα αποτελέσματα με μια αύξηση του κυκλώματος για τον υπολογισμό του SSE, ένα πολλαπλασιαστή και ένα αθροιστή.

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση

16	46,9	12314	46,88	12303	0,04	0,09
19	44,18	10642	44,14	10633	0,09	0,08
22	41,35	8988	41,3	8978	0,12	0,11
25	38,68	7555	38,63	7545	0,13	0,13
28	35,83	6140	35,75	6136	0,22	0,07
31	33,16	4972	33,07	4972	0,27	0,00
34	30,47	3866	30,34	3871	0,43	-0,13
37	28,09	2949	27,95	2960	0,50	-0,37
40	25,73	2154	25,52	2155	0,82	-0,05
43	23,66	1596	23,37	1583	1,24	0,81
46	21,47	1129	21,14	1106	1,56	2,04

Πίνακας 5-19 Flower i4x4 SATD / new method

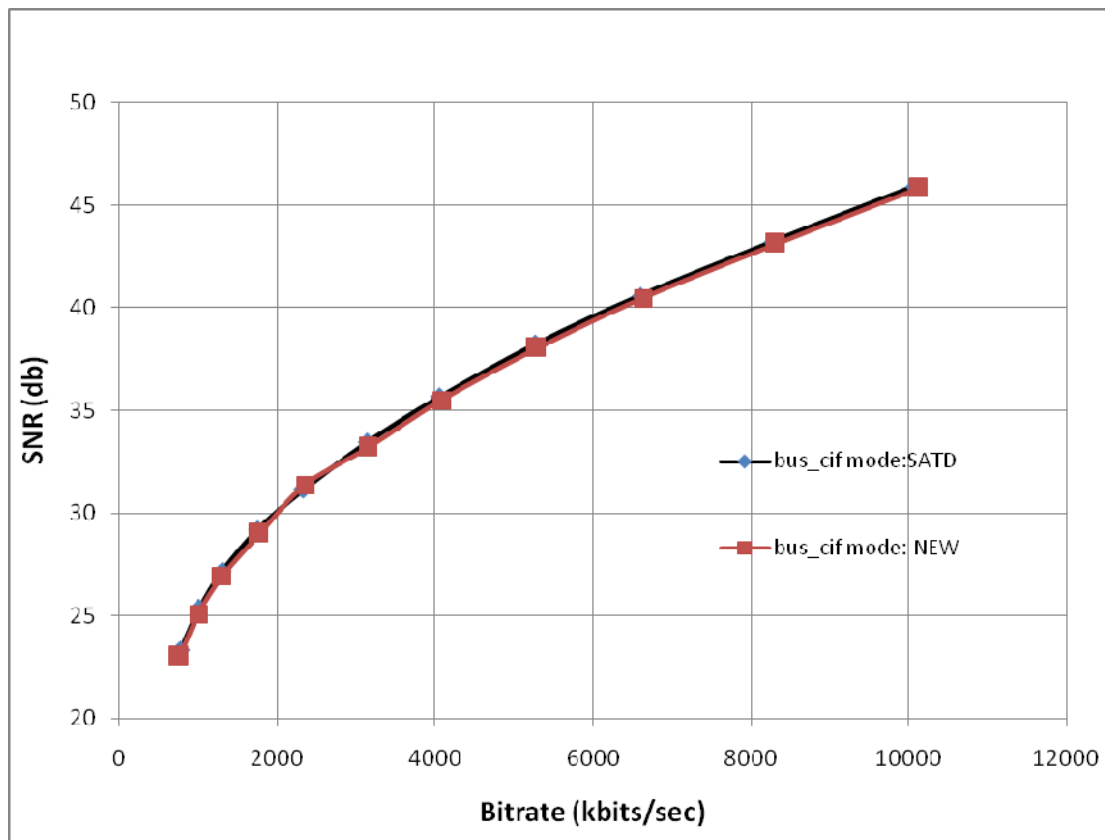


Σχήμα 5-28 Flower i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	45,9	10070	45,83	10118	0,15	-0,48

19	43,22	8287	43,12	8322	0,23	-0,42
22	40,59	6604	40,46	6634	0,32	-0,45
25	38,21	5267	38,03	5291	0,47	-0,46
28	35,65	4050	35,5	4081	0,42	-0,77
31	33,42	3129	33,2	3149	0,66	-0,64
34	31,16	2328	31,37	2351	-0,67	-0,99
37	29,21	1759	28,99	1774	0,76	-0,85
40	27,18	1303	26,93	1305	0,93	-0,15
43	25,36	1008	25,08	998	1,12	0,99
46	23,35	778	23,02	761	1,43	2,19

Πίνακας 5-20 Bus i4x4 SATD / new method

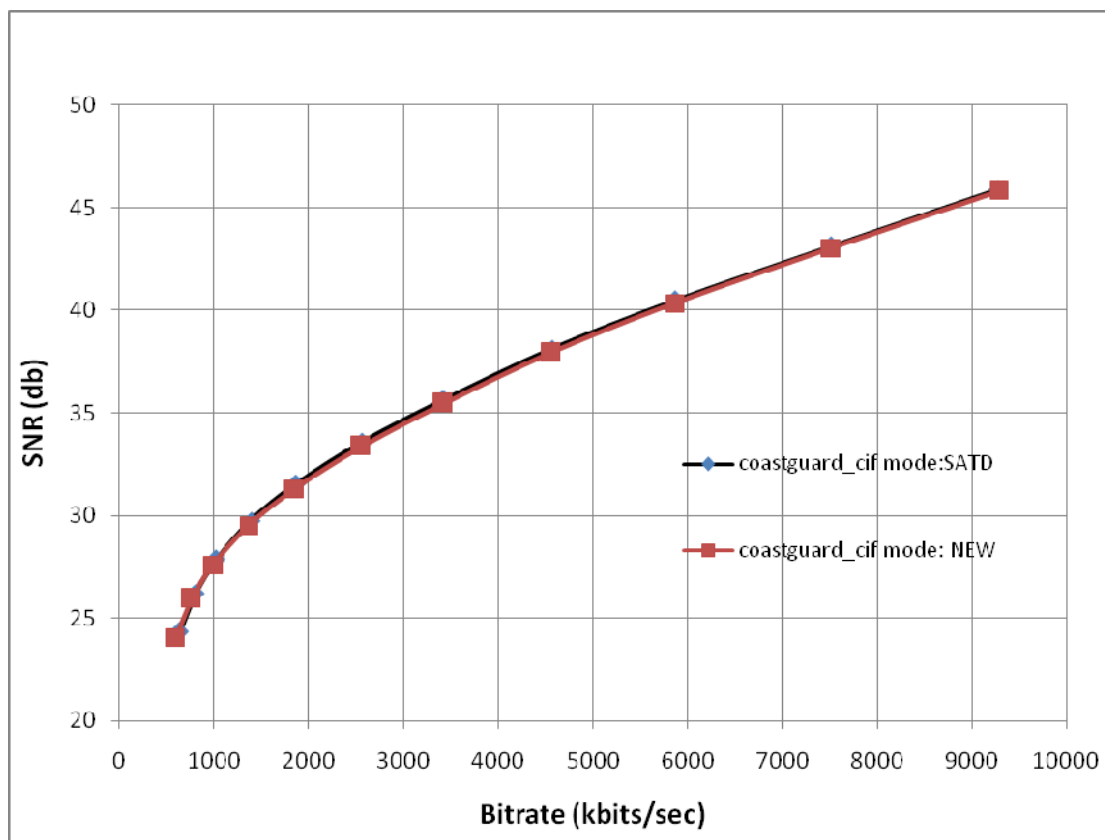


Σχήμα 5-29 Bus i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	45,88	9276	45,82	9287	0,13	-0,12
19	43,14	7518	43,04	7518	0,23	0,00

22	40,48	5869	40,34	5865	0,35	0,07
25	38,13	4575	37,94	4561	0,50	0,31
28	35,64	3419	35,48	3421	0,45	-0,06
31	33,57	2563	33,36	2549	0,63	0,55
34	31,52	1861	31,31	1852	0,67	0,48
37	29,75	1390	29,51	1366	0,81	1,73
40	27,85	1024	27,6	992	0,91	3,13
43	26,21	802	25,94	762	1,04	4,99
46	24,33	631	24,07	593	1,08	6,02

Πίνακας 5-21 CoastGuard i4x4 SATD / new method

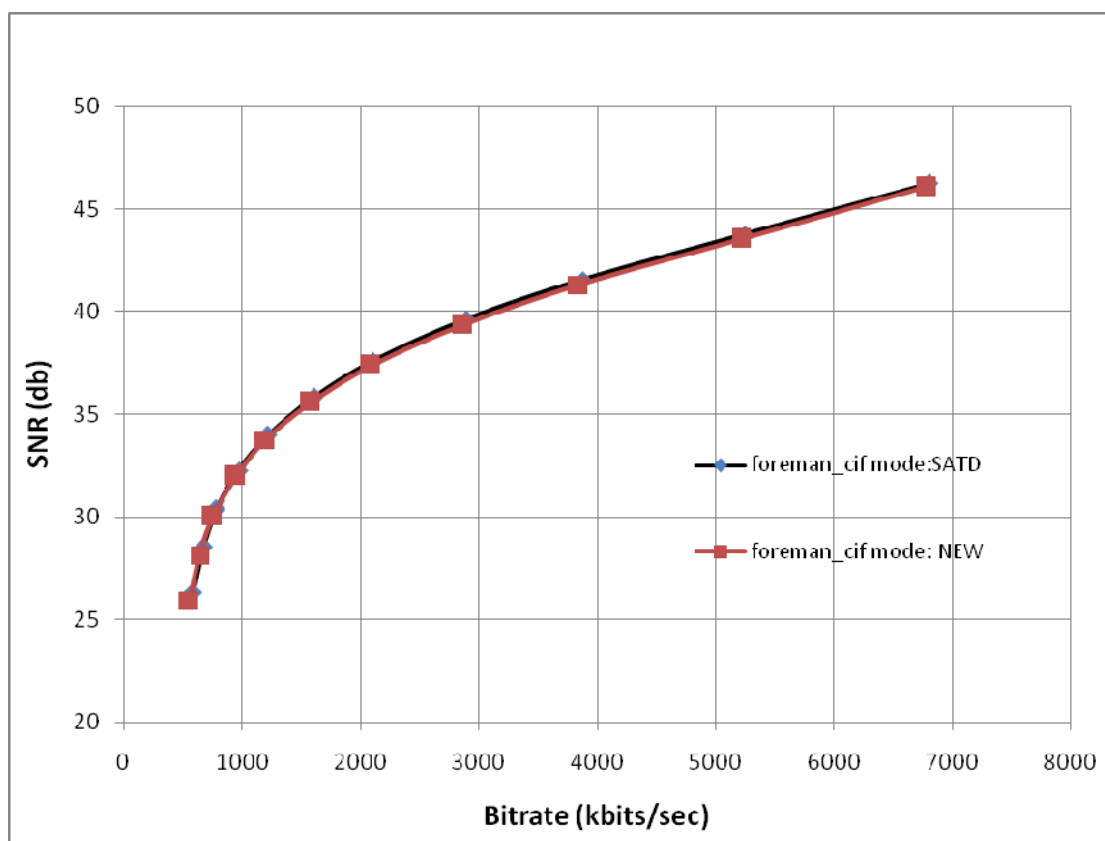


Σχήμα 5-30 CoastGuard i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	46,25	6805	46,08	6792	0,37	0,19
19	43,75	5251	43,54	5218	0,48	0,63
22	41,54	3882	41,3	3845	0,58	0,95

25	39,62	2900	39,36	2866	0,66	1,17
28	37,59	2114	37,37	2089	0,59	1,18
31	35,82	1609	35,58	1583	0,67	1,62
34	33,96	1219	33,75	1200	0,62	1,56
37	32,27	974	31,99	948	0,88	2,67
40	30,38	785	30,02	755	1,20	3,82
43	28,52	677	28,14	645	1,35	4,73
46	26,34	586	25,91	557	1,66	4,95

Πίνακας 5-22 Foreman i4x4 SATD / new method

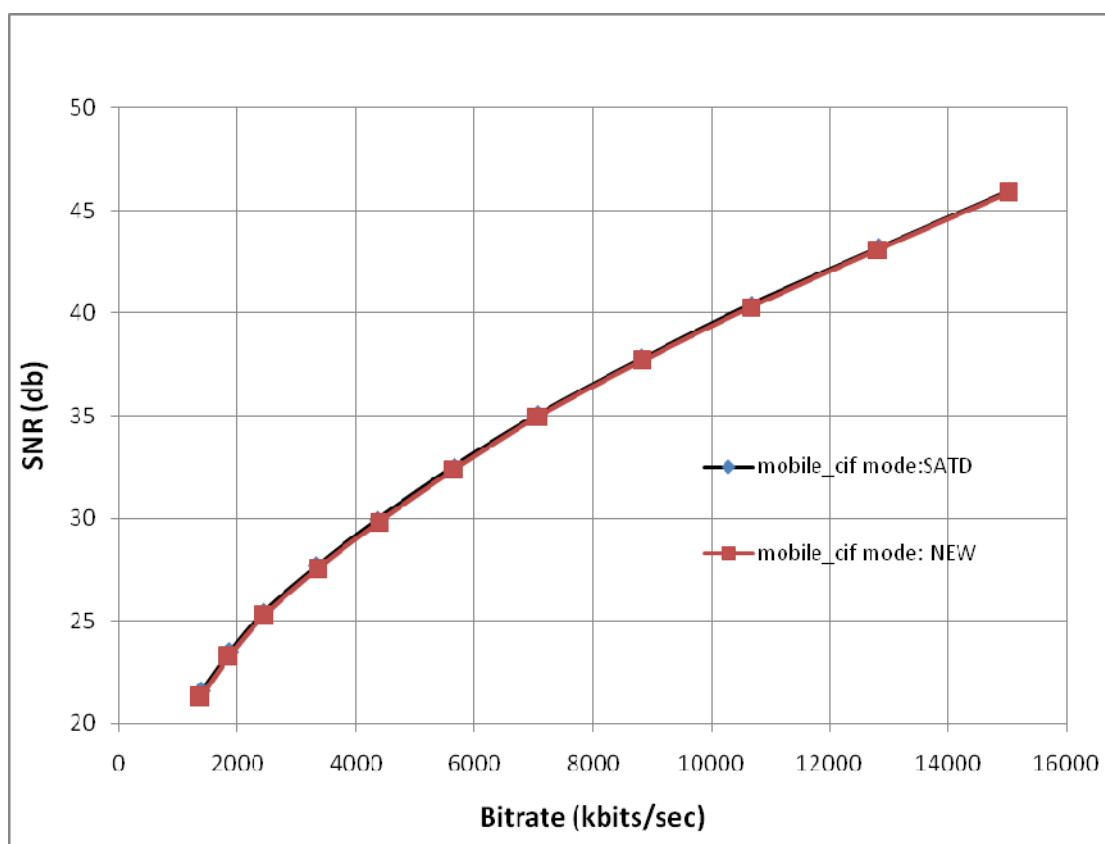


Σχήμα 5-31 Foreman i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	45,93	15030	45,87	15031	0,13	-0,01
19	43,18	12825	43,11	12821	0,16	0,03
22	40,39	10672	40,29	10668	0,25	0,04
25	37,79	8831	37,67	8827	0,32	0,05

28	35,04	7061	34,95	7073	0,26	-0,17
31	32,5	5648	32,38	5661	0,37	-0,23
34	29,93	4363	29,81	4384	0,40	-0,48
37	27,69	3338	27,52	3348	0,62	-0,30
40	25,44	2440	25,22	2436	0,87	0,16
43	23,5	1861	23,25	1845	1,08	0,86
46	21,58	1387	21,27	1362	1,46	1,80

Πίνακας 5-23 Mobile i4x4 SATD / new method

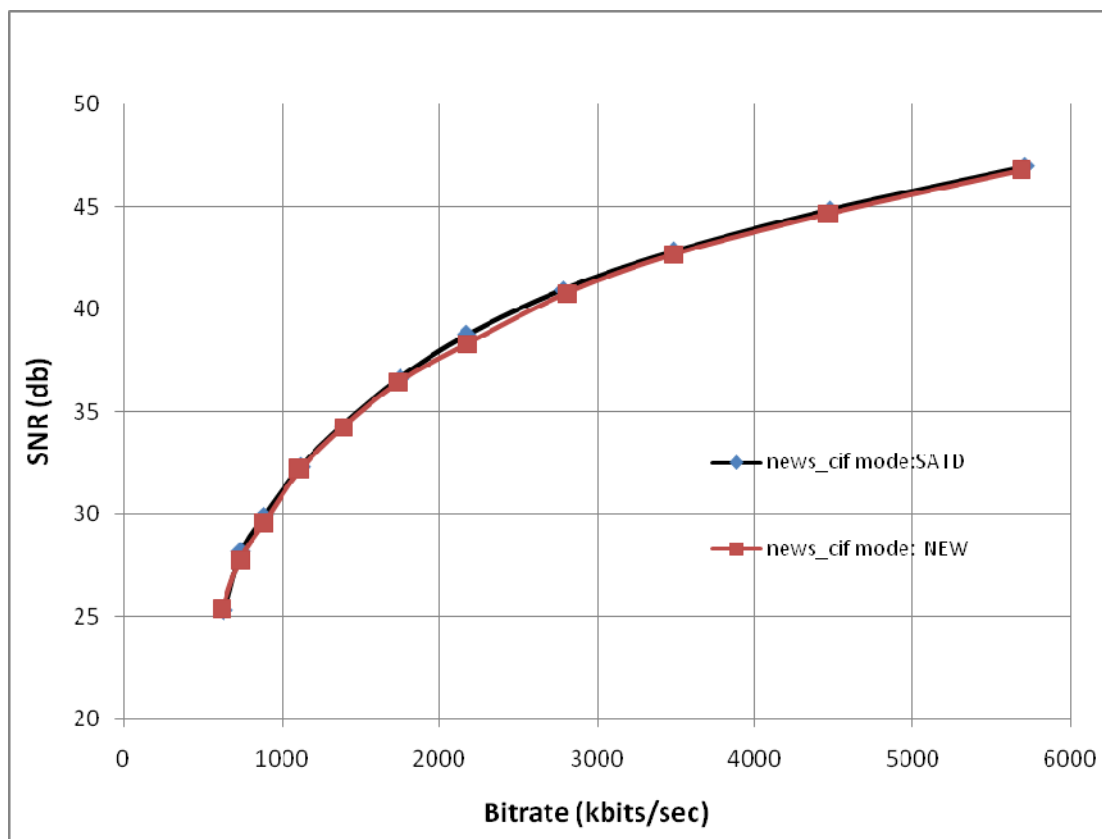


Σχήμα 5-32 Mobile i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	46,95	5713	46,79	5687	0,34	0,46
19	44,82	4474	44,65	4470	0,38	0,09
22	42,82	3485	42,67	3489	0,35	-0,11
25	40,95	2786	40,77	2808	0,44	-0,79
28	38,77	2177	38,3	2181	1,23	-0,18

31	36,62	1753	36,46	1749	0,44	0,23
34	34,31	1387	34,24	1392	0,20	-0,36
37	32,3	1123	32,16	1118	0,44	0,45
40	29,93	892	29,54	888	1,32	0,45
43	28,17	745	27,77	741	1,44	0,54
46	25,29	634	25,34	624	-0,20	1,58

Πίνακας 5-24 News i4x4 SATD / new method

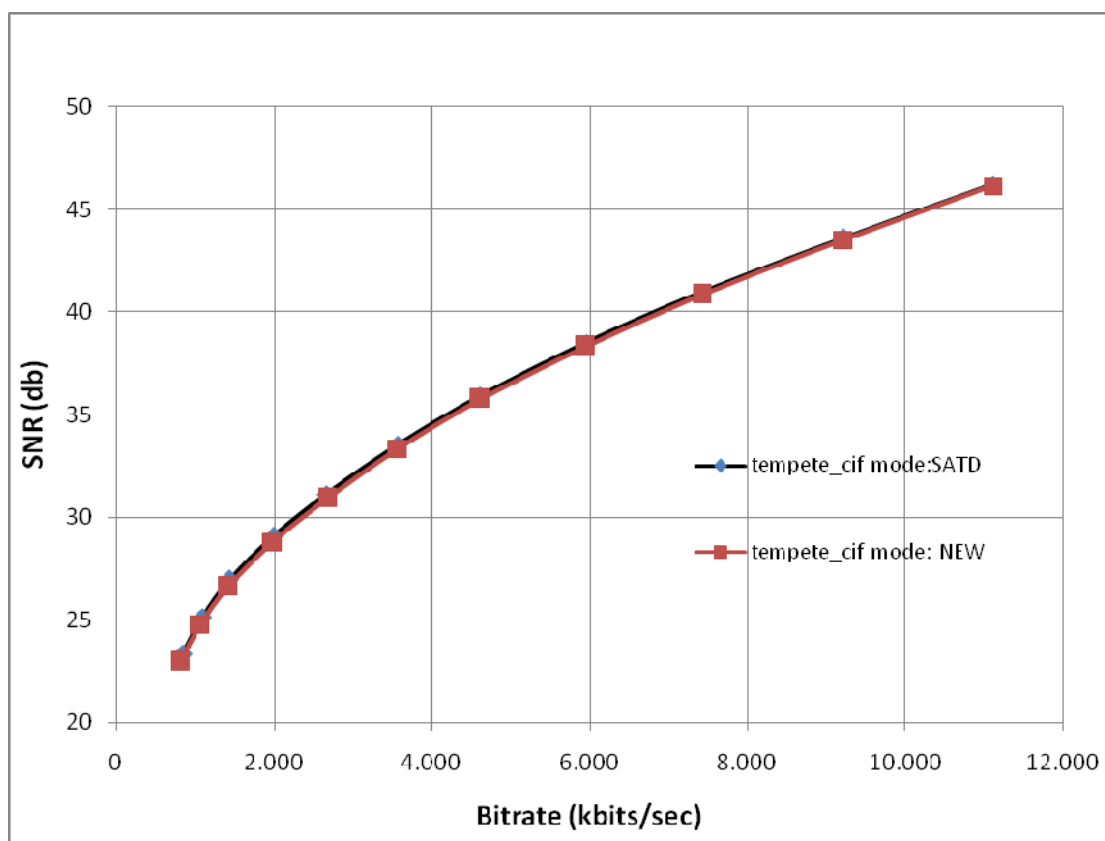


Σχήμα 5-33 News i4x4 SATD / new method

q	SATD				SNR	Bitrate
q	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	SNR(db)	Bitrate(kbits/sec)	%μείωση	%μείωση
16	46,2	11.117	46,15	11107	0,11	0,09
19	43,6	9.222	43,52	9216	0,18	0,07
22	40,94	7.423	40,84	7420	0,24	0,04
25	38,48	5.957	38,35	5948	0,34	0,15
28	35,88	4.604	35,76	4614	0,34	-0,22
31	33,51	3.570	33,35	3574	0,48	-0,11

34	31,12	2.667	30,93	2674	0,61	-0,26
37	29,05	1.993	28,79	1985	0,90	0,40
40	26,96	1.440	26,62	1418	1,28	1,53
43	25,14	1.098	24,77	1065	1,49	3,01
46	23,31	842	22,94	805	1,61	4,39

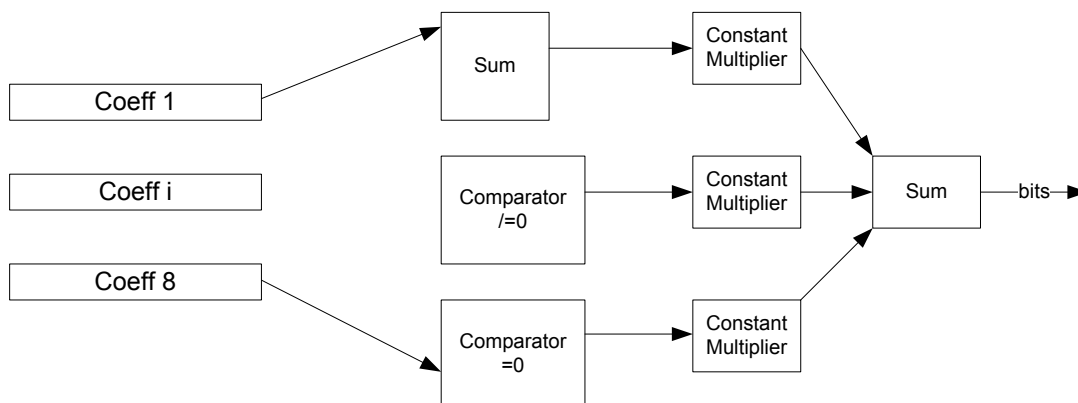
Πίνακας 5-25 Tempete i4x4 SATD / new method



Σχήμα 5-34 Tempete i4x4 SATD / new method

5.3.2 Υλοποίηση νέας μεθόδου I4x4

Η υλοποίηση της νέας μεθόδου περιλαμβάνει το κύκλωμα μετασχηματισμού των 8 συντελεστών όπως και στην περίπτωση DCT-8, το κύκλωμα κβαντοποίησης και το κύκλωμα πρόβλεψης. Το κύκλωμα πρόβλεψης αποτελείται από ένα δένδρο αθροιστών που υπολογίζουν την τιμή του αθροίσματος των απολύτων τιμών, συγκριτές και 3 πολλαπλασιαστές με σταθερό τον ένα όρο. Το μέγεθος της υλοποίησης είναι 7166 πύλες, το 85% της υλοποίησης της SATD.



Σχήμα 5-35 Διάγραμμα υλοποίησης νέας μεθόδου

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η νέα μέθοδος δίνει όμοια αποτελέσματα με αυτή της χρήσης της μετρικής απόκλισης SATD αλλά με μείωση κατά 15% του απαιτούμενου κυκλώματος. Αν λάβουμε υπόψη ότι το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιεί κύκλωμα του TQ που υπάρχει ήδη στο τμήμα του I4x4 τότε με συνδυασμένη χρήση μπορούμε να έχουμε περισσότερη μείωση του κυκλώματος. Τέλος η τεχνική αυτή έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι έχει περιθώρια βελτίωσης με ενσωμάτωση της τεχνικής RDO.

6 Αναφορές

- [1] Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCBG, "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 | ISO/IEC 14496-10 AVC)", JVT-G050, March 2003/ May 2003.
- [2] Yu Ting Sun Yinyi Lin "SATD-BASED INTRAMODE DECISION FOR H.264/AVC VIDEO CODING", Multimedia and Expo, 2008 IEEE International Conference June 23 2008
- [3] C. H. Tseng, H. M. Wang, and J. F. Yang, "Enhanced intra-4x4 mode decision for H.264/AVC coders", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 16, no. 8, pp.1027-1032, Aug. 2006.
- [4] H. Kim and Y. Altunbasak, "Low-complexity macroblock mode selection for H.264/AVC encoder", in Proc. IEEE ICIP, pp. 765-768, 2004.
- [5] C. Kim, H. H. Shih, and C. C. J. Kuo, "Feature-based intra-prediction mode decision for H.264", in Proc. IEEE ICIP, pp. 769-772, 2004.
- [6] C. L. Yang, L. M. Po, and W. H. Lam, "A fast H.264 intra prediction algorithm using macroblock properties", in Proc. IEEE ICIP, pp. 461-464, 2004.
- [7] Feng Pan, Xiao Lin, Susanto Rahardja, Keng Pang Lim, Z.G. Li, Dajun Wu, and Si WU, "Fast Mode Decision Algorithm for Intra-prediction in H.264/AVC Video Coding", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech., vol. 15, no. 7, pp-813-822, July 2005.
- [8] Yu-Wen Huang, Bing-Yu Hsieh, Tung-Chien Chen, and Liang-Gee Chen "Analysis, Fast Algorithm, and VLSI Architecture Design for H.264/AVC Intra Frame Coder", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 15, NO. 3, MARCH 2005