



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
με θέμα

Συστήματα οπτικής απεικόνισης – Τεχνολογίες, καταγραφή,
και τρόπος λειτουργίας, από την αρχή του αιώνα, έως και σήμερα.

από τον **Δρούτσα Χρήστο .**

Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Εφαρμογών
Δρ. Κουριδάκη Στυλιανού

Χανιά, Ιούλιος 2014

Ο φοιτητής Δρούτσας Χρήστος δηλώνει υπεύθυνα ότι το κείμενο της παρούσας πτυχιακής αποτελεί προϊόν προσωπικής μελέτης και εργασίας και ότι όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή και τη σύνταξη της δηλώνονται κατάλληλα τόσο στο σώμα του κειμένου όσο και στη βιβλιογραφία. Επίσης δηλώνει υπεύθυνα ότι γνωρίζει πως η λογοκλοπή αποτελεί σοβαρότατο παράπτωμα και ότι είναι ενήμερος για την επέλευση των νόμιμων συνεπειών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μία προσπάθεια για ανάλυση του αναλογικού και ψηφιακού σήματος βίντεο από την αρχή της δημιουργίας του, μέσω της σύλληψης πολλών διαδοχικών καρτέ, έως την αποθήκευσή του. Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή στις πρώτες φωτογραφικές μηχανές, οι οποίες συντέλεσαν στην ανάπτυξη και δημιουργία του κινηματογράφου και γενικότερα της κινούμενης εικόνας (βίντεο). Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία συσχέτιση του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου ματιού και της φωτογραφικής μηχανής-κάμερας. Επίσης στο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη των φακών μίας κάμερας και γίνεται μία εκτενής αναφορά σε πολύ βασικές έννοιες γύρω από αυτούς. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται ενδελεχώς το φωτογραφικό φιλμ και οι ψηφιακοί αισθητήρες ως τα μέσα αποτύπωσης της αναλογικής και ψηφιακής εικόνας αντίστοιχα. Το κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται στα πρότυπα εγγραφής και μετάδοσης του αναλογικού σήματος βίντεο, καθώς επίσης και διαφόρων εννοιών που το απαρτίζουν-ενώ, το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στη δημιουργία, στην συμπίεση και στην αποθήκευση του ψηφιακού βίντεο. Τέλος γίνεται αναφορά στα είδη μικρόφωνων που υπάρχουν, στα χαρακτηριστικά τους καθώς επίσης και στους τρόπους ψηφιοποίησης του αναλογικού σήματος ήχου που παράγουν.

ABSTRACT

In this thesis, there has been an effort done, in order to analyse the video analog and digital signals, from the multiple frame capture stage, until its final storage. More specifically, the first chapter introduces the history of the foremost camera which contributed the most, to the creation and evolution of the cinema and the moving image. The second chapter makes a correlation between the human eye function and the camera mechanism. Moreover, the camera lens is presented and basic terminology over this part. In the third chapter the photographic film is presented and analysed thoroughly as well as, the digital sensors which are the means of the image capture for the analog and digital image respectively. The fourth chapter refers to the standards of recording and transmission of the video analog signal. The next chapter refers to the creation and compression of the digital video signal. The final chapter refers to the microphone types and their characteristics as well as, the digitalization modes of the analog signal that they produce.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013 – 2014 στη Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών του ΤΕΙ Κρήτης, στο τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε., υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Εφαρμογών κ. Κουριδάκη Στυλιανού. Το αντικείμενο μελέτης είναι ο τρόπος σύλληψης και αποθήκευσης της εικόνας μέσω της φωτογραφικής μηχανής καθώς επίσης και η ανάλυση του αναλογικού και ψηφιακού σήματος βίντεο, αλλά και των διάφορων προτύπων και εννοιών γύρω από αυτά.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με στήριξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας και ιδιαίτερα ευχαριστώ τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κουριδάκη Στυλιανό για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την ευγενική του καθοδήγηση και την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο, εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά και για τις εύστοχες και πολύ χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις του γύρω από τα θέματα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνάδελφο και φίλο, Λεωνίδα Τζαγκαράκη, για την συμπαράσταση και τις παρατηρήσεις του κατά την διάρκεια της εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου, που ήταν μαζί μου από την αρχή μέχρι το τέλος αυτής της διπλωματικής εργασίας, για την ενθάρρυνση και την συμπαράστασή τους. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόθερμα την οικογένειά μου για την ηθική συμπαράσταση, την στήριξη και την υπομονή τους καθόλη την περίοδο συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Δεν ξέρω κανέναν που να έχει
φτάσει στην κορυφή χωρίς
πολλή δουλειά. Αυτή είναι η
συνταγή. Δεν θα σε οδηγήσει
πάντα στην κορυφή, αλλά θα
σε φέρει αρκετά κοντά.

Μάργκαρετ Θάτσερ,
Βρετανίδα πρωθυπουργός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΙΤΛΟΣ.....	ΣΕΛ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	11
1.1 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑΣ	11
1.2 Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΚΙΝΗΜΑΤΟΓΡΑΦΟΥ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΓΡΦΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΦΑΚΟΥ.....	19
2.1 ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΜΑΤΙ ΚΑΙ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ.....	19
2.2 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ.....	21
2.2.1 ΕΣΤΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.....	22
2.2.2 ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑ ΟΡΑΣΗΣ	23
2.2.3 ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑ	24
2.2.4 ΒΑΘΟΣ ΠΕΔΙΟΥ	25
2.2.5 ΚΛΕΙΣΤΡΟ ΚΑΙ ΦΩΤΟΦΡΑΚΤΗΣ	26
2.2.6 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ	32
3.1 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΦΙΛΜ	32
3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	34
3.2.1 CCD	34
3.2.2 CMOS	38
3.2.3 FOVON X3.....	38
3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ CCD ΚΑΙ ΦΙΛΜ.....	39
3.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ CCD ΚΑΙ CMOS	40
3.5 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΒΙΝΤΕΟ	44
4.1 ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΒΙΝΤΕΟ	44
4.2 ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΑ ΣΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΥΠΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	45
4.2.1 NTSC	45
4.2.2 PAL	46
4.2.3 SECAM.....	47
4.3 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΓΓΡΑΦΗΣ	48
4.3.1 ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΑΙΝΙΑ	48
4.3.2 VHS.....	50
4.3.3 ΒΕΤΑ.....	51
4.3.4 S-VHS	51
4.3.5 ΣΥΣΤΗΜΑ 8mm ΚΑΙ Hi-8.....	52
4.4 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΨΗΦΙΑΚΟ ΒΙΝΤΕΟ	56
5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ	56
5.2 ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΒΙΝΤΕΟ	58
5.2.1 ΜΗ-ΑΠΩΛΕΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	58
5.2.2 ΑΠΩΛΕΣΤΙΚΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	59
5.2.2.1 H.261.....	60
5.2.2.2 MPEG.....	61
5.2.2.3 H.264.....	61
5.3 ΜΟΡΦΕΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΒΙΝΤΕΟ	62
5.3.1 ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ	62
5.3.2 ΤΥΠΙΚΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ	63
5.3.3 ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ.....	63
5.3.4 ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΒΙΝΤΕΟ	63
5.4 ΠΡΟΤΥΠΑ ΕΓΓΡΑΦΗΣ	63
5.4.1 DIGITAL BETACAM.....	64
5.4.2 HDCAM – HDCAM SR	64
5.4.3 DV– DVCPRO – DVCPRO HD – HDV	64
5.4.4 AVCHD	65
5.5 ΜΕΣΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	65
5.5.1 DVD	66

5.5.2 HD DVD	66
5.5.3 BLU-RAY DISC	66
5.5.4 ΣΚΛΗΡΟΙ ΔΙΣΚΟΙ.....	67
5.5.5 ΚΑΡΤΕΣ ΜΝΗΜΗΣ	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΧΟΥ - ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ 69

6.1 ΕΙΔΗ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ	69
6.1.1 ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	69
6.1.2 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ ΚΙΝΗΤΟΥ ΠΗΝΙΟΥ	70
6.1.3 ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ ΤΑΙΝΙΑΣ.....	70
6.1.4 ΠΥΚΝΩΤΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ	71
6.1.5 ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΤΗ (ELECTRET).....	72
6.1.6 ΠΙΕΖΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΑ.....	73
6.2 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΦΩΝΩΝ.....	73
6.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΉΧΟΥ	75
6.3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ – ΚΒΑΝΤΟΠΟΙΗΣΗ	75
6.3.2 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	76
6.3.2.1 PCM – ΓΡΑΜΜΙΚΗ PCM.....	76
6.3.2.2 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ PCM.....	77
6.3.2.3 DPCM.....	77
6.4 ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΉΧΟΥ.....	78
6.4.1 MPEG.....	79
6.4.2 AC3 – DOLBY DIGITAL.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 80

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 81

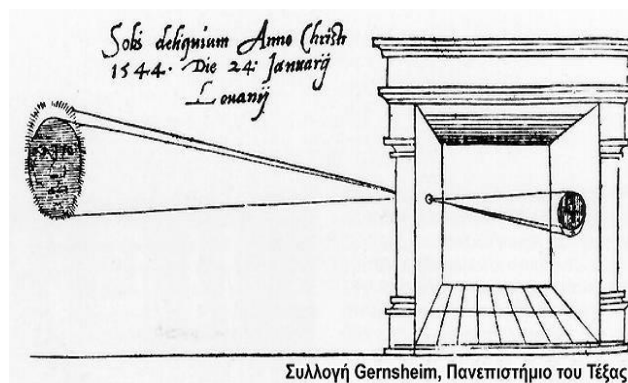
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα κύρια πολιτιστικά χαρακτηριστικά του αιώνα που πέρασε, αλλά και των αρχών του 21ου αιώνα, αποτελεί η επικοινωνία μέσω των εικόνων. Κοιτάζοντας την ιστορία του πολιτισμού διακρίνεται εύκολα η ανάγκη του ανθρώπου για καταγραφή των ιστορικών γεγονότων αλλά και σημαντικών προσωπικών στιγμών, αισθημάτων και αναζητήσεων μέσα από διαφορετικούς τρόπους έκφρασης, πέραν του γραπτού και προφορικού λόγου. Την ανάγκη αυτή κλήθηκε να καλύψει η αποτύπωση της εικόνας, της οποίας η δύναμη δεν μπορούσε να αντικατασταθεί από την χρήση λέξεων. Κοιτάζοντας στο βάθος του χρόνου θα δούμε την ανάγκη αυτή να υλοποιείται με την εφεύρεση της φωτογραφίας. Μέσα από την εφεύρεση αυτή έγινε εφικτή η αποτύπωση αρνητικών -ασπρόμαυρων- εικόνων πάνω σε φωτοευαίσθητα υλικά και αργότερα σε χαρτί. Την εφεύρεση της φωτογραφίας ακολούθησε η δημιουργία των πρώτων φωτογραφικών μηχανών. Στα χρόνια που ακολούθησαν έγιναν πολλές προσπάθειες εξέλιξης των φωτογραφικών συσκευών καθώς και των τεχνικών αποτύπωσης και σύλληψης των εικόνων. Η σταδιακή αυτή πρόοδος καλλιέργησε την επιθυμία για ανάλυση και απεικόνιση της κίνησης με τη βοήθεια της φωτογραφικής μηχανής, εισάγοντας έτσι την έννοια της κινούμενης εικόνας. Την περίοδο εκείνη είχαμε και την δημιουργία του κινηματογράφου, δηλαδή την γρήγορη προβολή διαδοχικών στιγμιότυπων που έδιναν την αίσθηση της κίνησης. Με την πάροδο των χρόνων η έννοια της κινούμενης εικόνας έδωσε τη θέση της στις έννοιες των κινηματογραφικών ταινιών και του βίντεο, ενώ παράλληλα οι ασπρόμαυρες φωτογραφικές μηχανές μετατράπηκαν σε έγχρωμες ψηφιακές μηχανές. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μία ιστορική αναδρομή, μέσα από την οποία παρουσιάζονται τα στάδια εξέλιξης της φωτογραφίας και του κινηματογράφου.

1. Ιστορική Αναδρομή

1.1 Η ιστορία της Φωτογραφίας

Η ιστορία της φωτογραφίας ξεκινάει από την αρχαιότητα και πιο συγκεκριμένα από τον 4^ο π.Χ αιώνα. Την περίοδο εκείνη έχουμε την πρώτη περιγραφή της Camera Obsura (εικόνα 1.1) [1], η οποία αποτελεί τον πρόγονο της σημερινής φωτογραφικής μηχανής. Η camera obsura ήταν ένα σκοτεινό δωμάτιο ή κουτί που στη μία του πλευρά διαθέτει μία γυαλιστερή επιφάνεια και στην απέναντι πλευρά μία πολύ μικρή οπή. Στην κατασκευή αυτή οι ακτίνες του φωτός διαδίδονται μέσα από την οπή και σχηματίζουν στην απέναντι επιφάνεια ένα είδωλο.



Εικόνα 1.1: Camera Obsura

Στους αιώνες που ακολούθησαν πολλοί ήταν αυτοί που ασχολήθηκαν με την camera obsura, και ανάμεσα σε αυτούς αρκετοί ζωγράφοι που την χρησιμοποιούσαν για την σχεδίαση πορτραίτων και τοπίων.

Φτάνοντας στο 16^ο αιώνα και συγκεκριμένα στο 1550 πραγματοποιείται από τον Girolamo Gardano η πρώτη σημαντική τροποποίησή της, με την προσθήκη ενός διπλού κοίλου φακού στην οπή εισόδου του φωτός. Οκτώ χρόνια αργότερα ο Daniello Barbaro επινοεί ένα είδος διαφράγματος που επιτρέπει την εστίαση της εικόνας, ενώ το 1573 πρώτος ο Danti χρησιμοποιεί ένα κυρτό φακό για να ανορθώνει το είδωλο.

Με την εισαγωγή στον 17^ο αιώνα ξεκινάνε οι πρώτες προσπάθειες αποτύπωσης των εικόνων. Το 1604 ο Ιταλός φυσικός Angelo Sala παρατηρεί ότι ορισμένες ενώσεις του αργύρου μαυρίζουν μετά την έκθεσή τους στο ηλιακό φως, χωρίς όμως να καταφέρει να σταθεροποιήσει τη χημική αυτή αντίδραση πριν ξεθωριάσει η εικόνα, αφήνοντας το πρόβλημα αυτό άλυτο. Παράλληλα την περίοδο αυτή παρουσιάζεται, από τον Γιόχαν Κέπλερ, η πρώτη φορητή μηχανή λογικών διαστάσεων, ώστε να μπορεί να μεταφέρεται από δύο άτομα. Επιπλέον γίνονται περαιτέρω προσπάθειες βελτίωσης και τροποποίησης της camera obsura, με τον Daniel Schwenter, το 1636, να κατασκευάζει ένα σύστημα πολλαπλών φακών διαφορετικών εστιακών αποστάσεων, πρόδρομο του σημερινού ζουμ. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1676, ο Johann Christoph Sturm, ένας Γερμανός μαθηματικός, κατασκευάζει τη πρώτη μηχανή με μεταβλητή εστιακή απόσταση και καθρέπτη αναστροφής της εικόνας, δημιουργώντας την πρώτη

μηχανή ρεφλέξ.

Περνώντας στον 18^ο αιώνα αρχίζει να γίνεται εντονότερο το μειονέκτημα όλων των μέχρι τότε “φωτογραφικών” μηχανών να διατηρήσουν τα είδωλα που σχηματίζονταν στο εσωτερικό τους. Αυτή είναι και η αφορμή που οδηγεί στη διενέργεια των πρώτων πειραμάτων πάνω σε φωτοευαίσθητα υλικά. Η πρώτη προσπάθεια ανήκει στον Johann Heinrich Schulze ο οποίος πετυχαίνει την αποτύπωση του φωτός πάνω σε ένα φωτοευαίσθητο χαρτί από άλατα αργύρου, αλλά δεν καταφέρνει να διατηρήσει την αποτύπωση της εικόνας. Την ίδια κατάληξη έχουν και τα πειράματα του Γάλλου ερευνητή Nicéphore Niépce, τα οποία πραγματοποιούνται λίγα χρόνια μετά.

Τα χρόνια περνούν, χωρίς να έχουμε κάποια σημαντική εξέλιξη, για να φτάσουμε στο 19^ο αιώνα, έναν αιώνα που θα επιφέρει πολλές εξελίξεις και μεγάλες εφευρέσεις. Το 1826, λοιπόν, έχουμε το Γάλλο ερευνητή Nicéphore Niépce ο οποίος καταφέρνει να αποτυπώσει απευθείας σε “θετικό” την πρώτη φωτογραφία της ιστορίας (εικόνα 1.2)[1], χρησιμοποιώντας ένα παράγωγο του πετρελαίου, το οποίο χρειάστηκε να εκτεθεί στο φως για οκτώ ώρες.



Εικόνα 1.2: Η πρώτη φωτογραφία, η οποία απεικονίζει τη θέα από το παράθυρο του εργαστηρίου του Nicéphore Niépce.

Ο Niépce ονομάζει την τεχνική του ηλιογραφία και προσπαθεί, χωρίς ιδιαίτερη επιτυχία, να την διαδώσει. Τρία χρόνια αργότερα ο Niépce υπογράφει συμβόλαιο συνεργασίας με έναν Γάλλο επιχειρηματία, ονομαζόμενο Louis Jacques Mande Daguerre, και συμφωνούν να ενημερώνουν ο ένας τον άλλον για την πρόοδό τους πάνω στη φωτογραφία. Μετά από χρόνια δουλειάς, το 1833, ο Daguerre τελειοποιεί την μέθοδο του Niépce, και επινοεί τη μέθοδο της νταγκεροτυπίας (εικόνα 1.3), σύμφωνα με την οποία χρησιμοποιεί το θαλασσινό αλάτι για να στερεώνει τις νταγκεροτυπίες του.



Εικόνα 1.3: Η πρώτη Νταγκεροτυπία το 1837

Το 1839, είναι η χρονιά δημοσιοποίησης της εφεύρεσης της φωτογραφίας στη Γαλλία. Εκείνη τη χρονιά η Ακαδημία των Επιστημών αναγνωρίζει επίσημα τη μέθοδο του Νταγκέρ.

Ωστόσο, νωρίτερα από τον Daguerre, το 1833, ο Άγγλος λόγιος και επιστήμονας William Fox Talbot είχε ανακαλύψει μια άλλη αντίστοιχη μέθοδο, την οποία είχε κρατήσει μυστική. Μετά την γνωστοποίηση της νταγκεροτυπίας, έσπευσε να την ανακοινώσει, ερχόμενος και σε ρήξη με τον Daguerre σχετικά με την πατρότητα της φωτογραφίας. Ο Talbot ονόμασε αρχικά την τεχνική του καλλοτυπία αλλά αργότερα μετονομάστηκε σε ταλμποτυπία (εικόνα 1.4)[2].



Εικόνα 1.4: Ταλμποτυπία, εικόνα από το παράθυρο του σπιτιού του Talbot

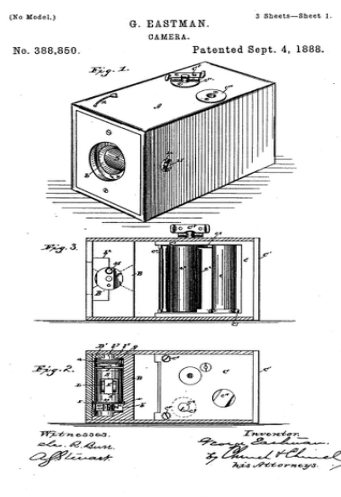
Το 1841 ο Talbot τελειοποιεί την εφεύρεση του και καταφέρνει να πετύχει χρόνους έκθεσης 30 δευτερολέπτων. Επίσης καταφέρνει να βγάλει ανάτυπα φωτογραφίζοντας

ξανά την πρώτη αρνητική φωτογραφία. Αυτό οδηγεί τον Talbot στην κατοχύρωση της ευρεσιτεχνίας της φωτογραφικής μεθόδου σύμφωνα με την οποία αποτυπώνεται, πάνω σε χαρτιά ιωδιούχου αργύρου, η θετική εικόνα από το αρνητικό της. Οι όποιες ατέλειες του αρνητικού της καλλοτυπίας (ταλμποτυπίας), σταδιακά περιορίστηκαν με την παράλληλη εξέλιξη της τεχνικής και ειδικότερα με τη χρήση ειδικών γυάλινων πλάκων, αρχικά υγρών και αργότερα ξηρών, οι οποίες έπαιζαν το ρόλο των σύγχρονων φιλμ και υποκαθιστούσαν όλα τα χημικά που απαιτούνταν παλαιότερα. Οι πλάκες αυτές ωστόσο ζύγιζαν αρκετά, με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολο να διαδοθεί η χρήση της φωτογραφικής μηχανής[2].

Αργότερα το 1853 εγκαινιάζεται στο Παρίσι το πρώτο γνωστό επαγγελματικό φωτογραφικό εργαστήριο, του Γάλλου Félix Nadar, ο οποίος το 1857 κατασκευάζει τον πρώτο απλανητικό φακό. Επίσης την ίδια χρονιά πραγματοποιείται από τον Nadar η πρώτη αεροφωτογράφιση από αερόστατο, πάνω από το Παρίσι.

Φτάνοντας στο 1861 συναντάμε τον Μάξουελ, ο οποίος παρουσιάζει την Ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Αυτή βρίσκει εφαρμογή στην πρώτη έγχρωμη φωτογραφική αναπαραγωγή με χρήση τριών μαυρόασπρων διαφανειών στις οποίες προσαρμόζονται φίλτρα των τριών βασικών χρωμάτων. Πρόκειται για την αυγή της έγχρωμης φωτογραφίας. Δύο χρόνια αργότερα έχουμε άλλη μία πολύ σπουδαία εφεύρεση αυτή τη φορά από τον Χουάιτ, ο οποίος χρησιμοποιεί τη σκόνη μαγνησίου στην πρώτη φορητή τεχνητή φωτιστική πηγή. Το πρώτο φλας είναι πραγματικότητα.

Περνώντας τα χρόνια και μπαίνοντας στη δεκαετία 1880-1890, έχουμε μία σειρά από σημαντικά γεγονότα με πρώτο από όλα την πρώτη δημοσίευση φωτογραφίας, τυπωμένης σε εφημερίδα, με τη μέθοδο της φωτοσιγκογραφίας μία μέθοδος που είχε ανακαλυφθεί το 1872. Τον Ιούλιο του 1888 πραγματοποιείται η επαναστατική για την εποχή ανακάλυψη του φιλμ σε ρολό. Η ιδέα ανήκε στον George Eastman, ο οποίος κατασκεύασε έτσι την πρώτη φωτογραφική μηχανή-κουτί (εικόνα 1.5), την οποία και ονόμασε Kodak [3].

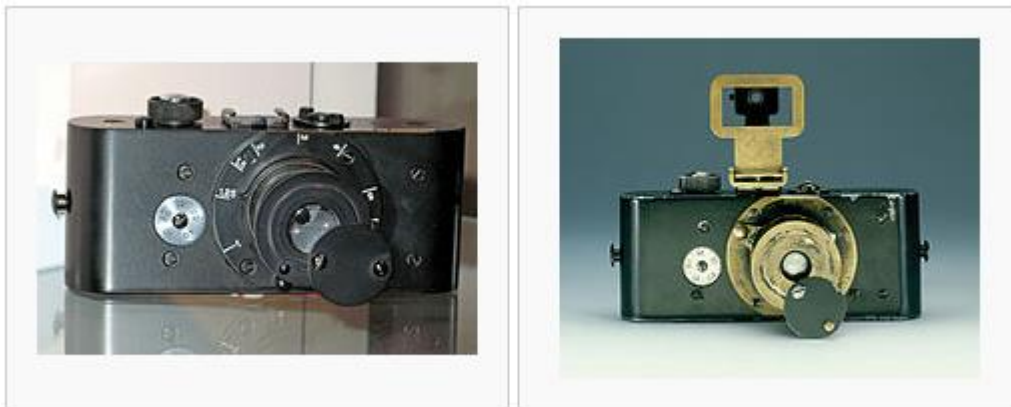


Εικόνα 1.5: Μηχανή-κουτί, Kodak

Η μηχανή αυτή χαρακτηριζόταν από μικρό βάρος (περίπου ένα κιλό), είχε μικρές διαστάσεις και διέθετε ένα σταθερό διάφραγμα. Ήταν επιφορτωμένη με ένα ρολό

φωτοευαίσθητου χαρτιού πάνω στο οποίο μπορούσαν να αποτυπωθούν πολλές φωτογραφίες, τις οποίες αναλάμβανε το εργοστάσιο της Kodak να εμφανίσει και να τυπώσει. Η ανακάλυψη αυτή αποτέλεσε ορόσημο για την μαζική χρήση της φωτογραφικής μηχανής, ενώ είχε συμβολή και στην εμπορική ανάπτυξη της φωτογραφίας. Παράλληλα την ίδια χρονιά κυκλοφορεί το πρώτο τεύχος του περιοδικού National Geographic, στο οποίο και δημοσιεύονται ορισμένα από τα σημαντικότερα φωτογραφικά ρεπορτάζ. Επίσης σημαντικό γεγονός θα αποτελέσει η κυκλοφορία του πρώτου αναστιγματικού φακού από το εργοστάσιο Zeiss, ενώ έχουμε και την δημιουργία του πρώτου φιλμ που μπορεί να φορτωθεί σε φωτογραφική μηχανή, ακόμη και σε φως ημέρας.

Η δεκαετία που ακολούθησε δεν εισήγαγε κάποιες σημαντικές εξελίξεις στην τέχνη της φωτογραφίας κάτι που συνέβη με την εισαγωγή μας στον 20^ο αιώνα. Το πρώτο μεγάλο και σημαντικό γεγονός έρχεται από τον Auguste Lumière, ο οποίος το 1904 τραβά την πρώτη ολοκληρωμένη έγχρωμη φωτογραφία. Μερικά χρόνια αργότερα, και συγκεκριμένα την τριετία 1911-1913 παρουσιάζεται το πρώτο από μία σειρά τριάντα δοκιμαστικών μοντέλων (εικόνα 1.6) της πλέον διάσημης φωτογραφικής μηχανής μικρού μεγέθους, η γνωστή Leica, η παραγωγή της οποίας θα γίνει μαζική το 1925[4].



Εικόνα 1.6: Αριστερά φαίνεται ένα μοντέλο του 1913 και δεξιά ένα μοντέλο του 1914

Το 1916 κυκλοφορεί το πρώτο έγχρωμο φιλμ Agfachrome από την εταιρία Agfa, ενώ τέσσερα χρόνια μετά παράγεται ο αναστιγματικός φακός Tessar, ο οποίος υπάρχει ακόμη και σήμερα σε φωτογραφικές μηχανές. Την ίδια χρονιά έχουμε επίσης το πρώτο τρίφυλλο μεταλλικό κλείστρο.

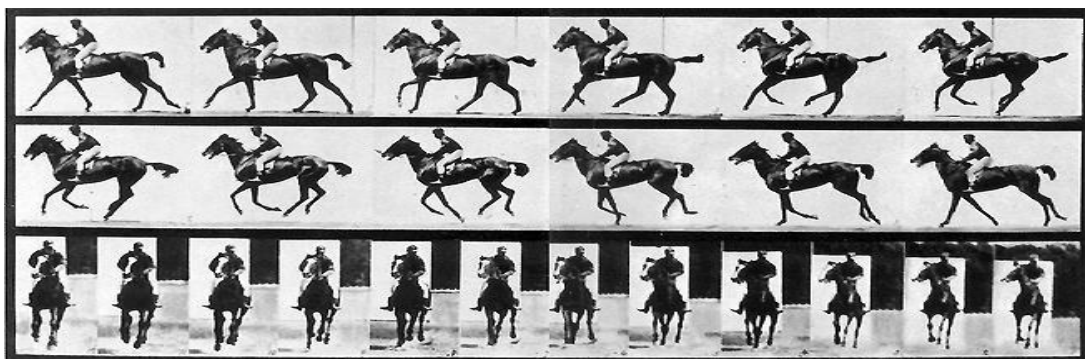
Την χρονιά 1935 θα δημιουργηθεί, από το εργαστήριο ερευνών του Ήστμαν, το πρώτο έγχρωμο θετικό φιλμ για έγχρωμες διαφάνειες, το Kodachrome. Επίσης την ίδια χρονιά εισάγεται από τον Λαπόρτ το πρώτο ηλεκτρονικό φλας, η χρήση του οποίου θα γενικευθεί μετά το 1945. Το 1942 κυκλοφορεί στο εμπόριο το έγχρωμο φωτογραφικό χαρτί AgfaColor για εκτύπωση έγχρωμων φωτογραφιών και το 1947 διατίθεται το Ektachrome, το πρώτο έγχρωμο θετικό φιλμ της Kodak. Ένα χρόνο μετά η πρώτη φωτογραφική μηχανή μάρκας Polaroid κάνει την εμφάνισή της. Ένα πολύ μεγάλο γεγονός έρχεται το 1959 με την δημοσίευση των πρώτων φωτογραφιών της Γης από τεχνητό δορυφόρο.

Στα χρόνια που ακολουθούν οι εξελίξεις στην τεχνολογία είναι ραγδαίες, γεγονός που θα επιφέρει το 1990 την είσοδο της φωτογραφίας στην ψηφιακή εποχή, μέσα από την “γέννηση” της πρώτης ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής. Τέλος, το 1997 θα δημοσιευτούν οι πρώτες ψηφιακές φωτογραφίες από τον πλανήτη Άρη, κλείνοντας με αυτό τον τρόπο τον σπουδαιότερο αιώνα στην ιστορία της φωτογραφίας και των φωτογραφικών μηχανών.

1.2 Η ιστορία του Κινηματογράφου

Ο κινηματογράφος αποτελεί την αποκαλούμενη και έβδομη τέχνη, δίπλα στη γλυπτική, τη ζωγραφική, το χορό, την αρχιτεκτονική, τη μουσική και τη λογοτεχνία. Ο κινηματογράφος βασίζεται σε ένα ελάττωμα του ανθρώπινου ματιού, που ονομάζεται μετείκασμα, ένας στιγμιαίος οπτικός ερεθισμός διαρκεί αρκετά αφού εξαφανιστεί η αιτία που το προκάλεσε γιατί χρειάζεται επεξεργασία από τον εγκέφαλο. Η εικόνα (είδωλο) που σχηματίζεται στον αμφιβληστροειδή από ένα αντικείμενο δεν χάνεται αμέσως, αλλά παραμένει και μετά την εξαφάνιση του. Ο κινηματογράφος στηρίζεται πάνω σε αυτή την αρχή για να λειτουργήσει και δεν είναι τίποτα άλλο δηλαδή από μια αλληλουχία φωτογραφιών που κινούνται με 24 καρτέ το δευτερόλεπτο. Έτσι πριν ακόμα εξαφανιστεί το μετείκασμα της μιας εικόνας, έρχεται η άλλη εικόνα, και τότε οι εικόνες αυτές συγχωνεύονται δημιουργώντας μια συνεχή ροή εντυπώσεων. Με αυτόν τον τρόπο ο κινηματογράφος δίνει την εντύπωση της κίνησης [4].

Αφετηρία στην ιστορία του κινηματογράφου αποτελεί το 1877. Την χρονιά αυτή ο Edward Muybridge στοιχηματίζει έναντι εικοσιπέντε χιλιάδων δολαρίων ότι ένα άλογο που καλπάζει έχει σηκωμένα και τα τέσσερα πόδια του για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Τοποθετεί, λοιπόν 24 φωτογραφικές κάμερες κατά μήκος μιας διαδρομής που θα διένυε ένα άλογο. Με την εμφάνιση των φωτογραφιών επαληθεύεται ο ισχυρισμός του και κερδίζει το στοίχημα.



Εικόνα 1.7: Πρώτες φωτογραφίες που δίνουν την αίσθηση της κίνησης

Ταυτόχρονα παρατηρεί ότι μία γρήγορη εναλλαγή των φωτογραφιών δημιουργεί την ψευδαίσθηση της κίνησης (εικόνα 1.7) γεννώντας έτσι την ιδέα του κινηματογράφου. Η εφεύρεση του φιλμ το 1887 και η επινόηση μηχανισμών για την κάμερα, οι οποίοι είναι ικανοί να τραβούν το φιλμ μπροστά από το φακό και να το

εκθέτουν στο φως κάνουν δυνατή την δημιουργία μίας σειράς καρτέ, φέρνοντας την ιδέα του κινηματογράφου ένα βήμα πιο κοντά στην υλοποίησή του. Αυτό θα γίνει από τον Thomas Edison και το βοηθό του, William Dickson οι οποίοι συνδυάζουν τις παραπάνω εφευρέσεις σε μία, δημιουργώντας μία κινηματογραφική κάμερα. Η νέα τους εφεύρεση ονομάζεται "κινητογράφος" (πρώτη μηχανή λήψης) και πρόκειται για μια συσκευή βάρους 500 περίπου κιλών, η οποία μπορούσε να τραβήξει σκηνές με ταχύτητα 50 καρτέ ανά δευτερόλεπτο. Αργότερα ο Thomas Edison κατασκευάζει το κινητοσκόπιο (εικόνα 1.8), η οποία είναι η πρώτη μηχανή προβολής. Δεν πρόβαλλε ωστόσο το φιλμ σε οθόνη, αλλά μέσα σε ένα κουτί, το οποίο μπορούσε να παρακολουθεί από μία οπή μόνον ένας θεατής, ακούγοντας παράλληλα μουσική υπόκρουση από ένα φωνογράφο [5].



Εικόνα 1.8: Κινητοσκόπιο

Ένα χρόνο αργότερα οι αδελφοί Louis και Auguste Lumière πήραν και βελτίωσαν την εφεύρεση του Thomas Edison φτιάχνοντας μία φορητή κινηματογραφική μηχανή λήψεως, εκτύπωσης και προβολής του φιλμ, την οποία και ονόμασαν "κινηματογράφος" (cinematographe). Λίγα χρόνια αργότερα, στις 28 Δεκεμβρίου του 1895, κάνουν και την πρώτη δημόσια προβολή, στο Grand Cafe στο Παρίσι. Από εκείνη τη στιγμή και μετά οι αδερφοί Lumière εγκαινιάζουν κινηματογράφους σε όλες τις μεγάλες ευρωπαϊκές πρωτεύουσες, ενώ εκατοντάδες μιμητές έρχονται να τους αντιγράψουν, αλλά και να βελτιώσουν την εφεύρεση τους.

Τα μετέπειτα χρόνια έχουμε χιλιάδες προβολές ταινιών σε όλο τον κόσμο. Γενικά, οι πρώτες κινηματογραφικές ταινίες ήταν μικρής διάρκειας 15 περίπου λεπτών, αλλά σταδιακά η διάρκειά τους αυξήθηκε, παρουσιάζοντας συνήθως στατικά, μία σκηνή της καθημερινότητας. Αποτελούνταν συνήθως από ένα μοναδικό πλάνο που κάδραρε μια δράση, ως επί το πλείστον σε απόσταση γενικού πλάνου. Επίσης δεν περιελάμβανε διαλόγους, γεγονός που τον χαρακτήρισε ως "βουβό κινηματογράφος". Σταδιακά άρχισε η εισαγωγή διαλόγων με μορφή εικόνων-καρτέ και η συνοδεία της ταινίας από μουσική υπόκρουση από ορχήστρα στον χώρο προβολής της. Παρόλα αυτά το πρόβλημα που άρχισε να παρουσιάζεται ήταν το γεγονός ότι η μουσική

συνοδεία δεν ανεδείκνυε την ιδιαιτερότητα κάθε ταινίας. Το αισθητικό πρόβλημα θα έβρισκε λύση μόνο με πρωτότυπα σάουντρακ, που όμως ήταν σπάνια μέχρι το 1920. Όταν οι ταινίες μεγάλωσαν σε διάρκεια, διαφάνηκε η ανάγκη για συνολική αντιμετώπιση της μουσικής, ίσως και από επαγγελματίες συνθέτες. Ιδέα που πρακτικά ήταν αδύνατη να υλοποιηθεί λόγω των αναρίθμητων ταινιών που υπήρχαν.

Η λύση τελικά θα έρθει, το 1926, χρονιά μετάβασης στον ομιλών κινηματογράφο, από την εταιρία Warner Brothers, και την δημιουργία της συσκευής Vitaphone, η οποία έδινε τη δυνατότητα αναπαραγωγής μουσικής, μέσω ενός δίσκου που συγχρονιζόταν με την μηχανή προβολής της ταινίας. Βασισμένη σε αυτή τη νέα τεχνολογία, στα τέλη του 1927, κυκλοφόρησε η ταινία *The Jazz Singer*, η οποία αν και κατά το μεγαλύτερο μέρος της ήταν βουβή, υπήρξε η πρώτη που περιείχε διαλόγους.

Περίπου την ίδια περίοδο με την προσαρμογή του ήχου, ξεκίνησαν συστηματικές προσπάθειες για την προσθήκη χρώματος. Έγχρωμες ταινίες είχαν ήδη εμφανιστεί από τις αρχές του 20ου αιώνα, μέσω του χρωματισμού των κινηματογραφικών καρτέ με το χέρι, μέθοδος που εγκαταλείφθηκε σταδιακά, σε συνδυασμό και με την αύξηση της διάρκειας των ταινιών. Ανάμεσα στις πρώτες συνθετικές μεθόδους προσθήκης χρώματος, υπήρξε η Technicolor, η οποία τελειοποιήθηκε το 1941 (Monopack Technicolor), αν και παρέμενε ακριβή λόγω των περίπλοκων σταδίων διαχωρισμού και εμφάνισης των χρωμάτων. Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, εμφανίστηκε επιπλέον το έγχρωμο αρνητικό φιλμ της εταιρίας Eastman Kodak, το οποίο δεν απαιτούσε διαδικασία διαχωρισμού των χρωμάτων. Αν και μέχρι τη δεκαετία του 1950, η παραγωγή έγχρωμων ταινιών μειωηφούσε, κατά τη δεκαετία του 1960 και χάρη στην ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας, ο έγχρωμος κινηματογράφος επικράτησε[6].

Είδαμε λοιπόν πως ο κινηματογράφος αν και ξεκίνησε από ένα στοίχημα με το πέρασμα του χρόνου και όσο η τέχνη του κινηματογράφου άκμαζε αυξανόταν και ο ενθουσιασμός του κοινού με αποτέλεσμα να έχει μετατραπεί στην σημερινή εποχή, στην πλέον κερδοφόρα βιομηχανία.

2. Λειτουργία της Φωτογραφικής Μηχανής και του Φωτογραφικού Φακού

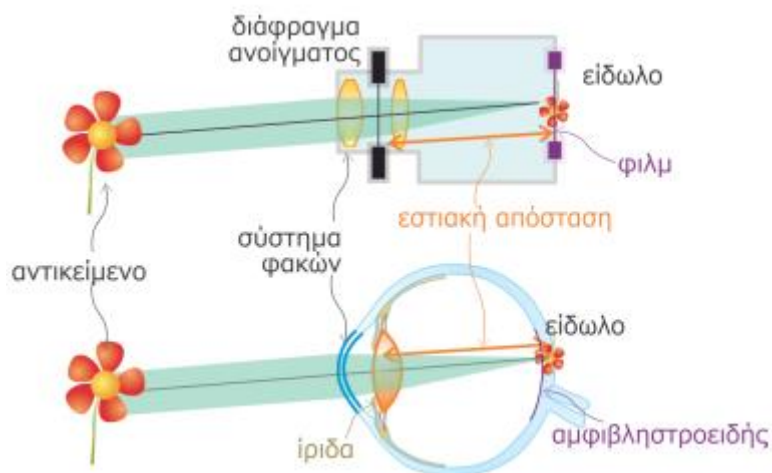
Στο κεφάλαιο αυτό θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε τον τρόπο λειτουργίας

της φωτογραφικής μηχανής και πώς αυτή σχετίζεται με την λειτουργία του ανθρώπινου ματιού. Επιπλέον θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν μία φωτογραφική μηχανή και θα δούμε τον τρόπο με τον οποίο το καθένα από αυτά συμβάλλει στη λήψη της φωτογραφίας.

2.1 Ανθρώπινο Μάτι και Φωτογραφική Μηχανή

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο η φωτογραφική μηχανή με το πέρασμα των χρόνων άρχισε να αλλάζει μορφές. Ξεκίνησε ως ένα άδειο σκοτεινό δωμάτιο ή κουτί με μία μικρή οπή στην μία του μεριά για να μετατραπεί την σημερινή εποχή σε μία υπερσύγχρονη συσκευή αποτελούμενη από περίπλοκα συστήματα φακών και αναρίθμητα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Παρόλα αυτά, στη διάρκεια όλων αυτών των ετών, αυτό που παρέμεινε αναλλοίωτο ήταν η βασική αρχή λειτουργίας της, η οποία συνδέεται άμεσα με το ανθρώπινο μάτι.

Όσο αναφορά λοιπόν την λειτουργία και των δύο αυτών ‘οπτικών οργάνων’ μπορούμε, γενικά, να πούμε ότι δέχονται ακτίνες από το αντικείμενο, και με τη διαθλαστική δράση των οπτικών τους στοιχείων σχηματίζουν ένα πραγματικό είδωλο, που γίνεται αντιληπτό από φωτοευαίσθητα στοιχεία (εικόνα 2.1). Επιπρόσθετα και τα δύο διαθέτουν μηχανισμούς φωτομέτρησης, και ‘μηχανικά’ μέρη ελέγχου της φωτεινής ροής προς τα φωτοευαίσθητα στοιχεία [7].



Εικόνα 2.1: Μάτι και φωτογραφική μηχανή

Αναλυτικότερα στο μπροστινό μέρος του ματιού, έχουμε την ίριδα, η οποία είναι το χρωματιστό τμήμα του ματιού, και περιέχει στη μέση την μαύρη κόρη. Η κόρη διαστέλλεται ή συστέλλεται ανάλογα με τη μείωση ή την αύξηση της φωτεινότητας του εξωτερικού χώρου αντίστοιχα. Στη φωτογραφική μηχανή τον ρόλο αυτό διαδραματίζει το διάφραγμα το οποίο ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στο φακό. Πίσω από την κόρη και το διάφραγμα ακολουθεί ο φακός, ο οποίος είναι

υπεύθυνος για την εστίαση της εικόνας. Στη φωτογραφική μηχανή η εστίαση γίνεται με μετακίνηση των οπτικών στοιχείων κατά μήκος του οπτικού άξονα. Στον οφθαλμό, επειδή δεν είναι δυνατό να μετακινηθούν τα διαθλαστικά στοιχεία του, έχουμε αύξηση της διαθλαστικής ισχύος με μεταβολή της καμπυλότητας στις επιφάνειες του κρυσταλλοειδή φακού. Το είδωλο, που σχηματίζεται μέσα και στα δύο οπτικά όργανα, είναι πραγματικό και ανεστραμμένο και είναι μικρότερο του αντικειμένου. Στο μάτι το είδωλο σχηματίζεται πάνω στον αμφιβληστροειδή, ο οποίος περιέχει εκατομμύρια φωτοευαίσθητα κύτταρα (φωτοϋποδοχείς) που ονομάζονται "ραβδία" και "κωνία". Αντίστοιχα, στη μηχανή το είδωλο σχηματίζεται πάνω στο φωτογραφικό φιλμ, για τις αναλογικές μηχανές, και στους αισθητήρες φωτός αν πρόκειται για ψηφιακές μηχανές. Οι λειτουργίες αυτές που περιγράψαμε συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (εικόνα 2.2)[7].



Εικόνα 2.2: Αντιστοιχίες μεταξύ ανθρώπινου οφθαλμού και φωτογραφικών μηχανών

Υπάρχουν, ωστόσο, αρκετές σημαντικές διαφορές ανάμεσα στον οφθαλμό και τη φωτογραφική μηχανή, ορισμένες από τις οποίες είναι:

- Υπάρχει περιορισμός στο εύρος συχνοτήτων στα οποία ο οφθαλμός είναι ευαίσθητος. Δεν είναι παράξενο που είναι ευαίσθητος 'μόνο' στο ορατό φως, και όχι μόνο αυτό, αλλά η μεγαλύτερη ευαισθησία είναι στο κίτρινο, που είναι το μέγιστο της εκπομπής του ηλιακού φωτός. Αντίθετα, υπάρχουν φωτογραφικά φιλμ και φωτονικοί αισθητήρες με ευαισθησία π.χ. στο υπέρυθρο.
- Το μάτι έχει συγκεκριμένα όρια τόσο για το αξονικό μήκος, όσο και για το άνοιγμα του διαφράγματος. Αυτοί οι δύο παράγοντες επηρεάζουν τόσο το μέγιστο ποσό φωτός που μπορεί να συλλέξει, όσο και το ελάχιστο μέγεθος ενός

‘ιδανικά’ σημειακού ειδώλου.

- Στον οφθαλμό μπορούμε να αλλάξουμε μόνο την οπτική ισχύ του κρυσταλλοειδή φακού για να δούμε πιο κοντινά αντικείμενα. Αυτή είναι η εστίαση του ματιού μας. Αντίθετα, στη φωτογραφική μηχανή, μπορούμε να αλλάξουμε τους φακούς, αλλάζοντας έτσι τη γωνία όρασης και τη μεγέθυνση.
- Τέλος, η κύρια διαφοροποίηση βρίσκεται στο ότι ο οφθαλμός έχει καλή οπτική μόνος σε μια μικρή, σχετικά, περιοχή στο κέντρο της εικόνας. Για γωνίες πάνω από 5° μιλάμε για περιφερειακή όραση. Έτσι για να διακρίνουμε τις λεπτομέρειες από ένα αντικείμενο πρέπει να στραφούμε προς αυτό. Ένα ευρύ δηλαδή πεδίο δεν είναι ταυτόχρονα ολόκληρο ορατό με την ίδια σαφήνεια. Αντίθετα με μια φωτογραφική μηχανή, τόσο η ποιότητα του ειδώλου, όσο και η φωτεινότητά του έχουν μια αρκετά μεγαλύτερη ομοιογένεια σε ένα αρκετά ευρύτερο πεδίο[7].

2.2 Φωτογραφικοί Φακοί [7]

Ο φωτογραφικός φακός αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια σε μία φωτογραφική μηχανή, καθώς είναι αυτός που καθορίζει το πεδίο που γίνεται αντιληπτό γύρω από τον οπτικό άξονα. Ακόμα ευθύνεται για την ευκρίνεια που έχουν τα αντικείμενα κοντά και μακριά από την φωτογραφική μηχανή αλλά και σε σημεία στα άκρα μίας φωτογραφίας. Οι απαιτήσεις αυτές, όπως είναι λογικό δεν είναι δυνατόν, να ικανοποιηθούν από έναν μόνο φακό. Κατά κανόνα, λοιπόν, οι φωτογραφικοί φακοί αποτελούνται από ένα περίπλοκο σύστημα φακών, που πολλές φορές μπορεί να περιέχει δέκα ή και παραπάνω φακούς. Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στην εικόνα 2.3, η οποία είναι μία τομή ενός φωτογραφικού φακού.



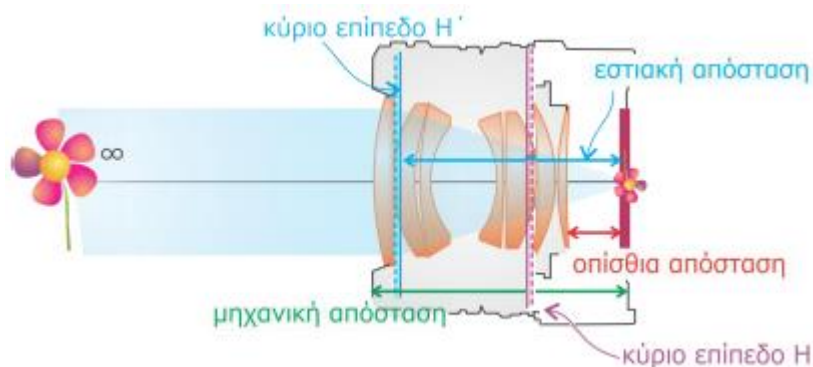
Εικόνα 2.3: Τομή φωτογραφικού φακού

Μέσα από την παραπάνω εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε το πλήθος των φακών που τον αποτελούν. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι το πάχος, το μέγεθος και η αρχιτεκτονική των επιμέρους φακών που είναι τελικά αυτά που καθορίζουν το είδος του φακού. Πριν όμως παρουσιάσουμε τα είδη των φωτογραφικών φακών που υπάρχουν, πρέπει να αναφέρουμε τα κυριότερα

χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, ούτως ώστε να καταλάβουμε καλύτερα τις διαφορές μεταξύ τους.

2.2.1 Εστιακή Απόσταση

Ως *εστιακή απόσταση* ορίζεται η απόσταση ανάμεσα στο οπτικό κέντρο του εμπρόσθιου φακού και του αισθητήρα ή του φιλμ της μηχανής. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο αισθητήρας ή το φιλμ να βρίσκονται στο ίδιο εστιακό επίπεδο με τον φακό, όπως φαίνονται και στην εικόνα 2.4[7]. Η εστιακή απόσταση μπορεί να αναγράφεται είτε στην πρόσθια επιφάνεια είτε στο πλάι του φακού και μετριέται σε mm.



Εικόνα 2.4: Εστιακή απόσταση, οπίσθια απόσταση και μηχανική απόσταση

Σε περίπτωση τώρα που το αντικείμενο της εικόνας μετακινηθεί, από το οπτικό άπειρο που βρίσκεται, και έρθει πιο κοντά στο φακό τότε το είδωλο θα σχηματιστεί πέρα από το επίπεδο που βρίσκεται το φιλμ. Για να διορθώσουμε το πρόβλημα αυτό μετακινούμε κατά μήκος του οπτικού άξονα (π.χ. προς τα έξω) κάποια οπτικά στοιχεία (ομάδες φακών), έτσι ώστε το είδωλο του αντικείμενου να απεικονίζεται πάνω στο φιλμ. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *εστίαση* ή στα αγγλικά *focusing*. Αξίζει να τονίσουμε ότι η κατά την εστίαση η εστιακή απόσταση του συστήματος μεταβάλλεται. Αυτό δεν αλλάζει, όμως αυτό που ορίζουμε ως εστιακή απόσταση του φωτογραφικού φακού.

Εκτός από την εστιακή απόσταση σε ένα φακό υπάρχει και η *οπίσθια απόσταση* του φακού. Αυτή ορίζεται ως, η απόσταση της πίσω επιφάνειας του τελευταίου φακού από την επιφάνεια του φιλμ (εικόνα 2.4). Η οπίσθια απόσταση στα αγγλικά την συναντάμε με κάποια από τις τρεις ονομασίες, *flange-back* ή *flange-focal* ή *register distance*. Αυτό που είναι πολύ σημαντικό και πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι η οπίσθια απόσταση είναι συγκεκριμένη για κάθε οικογένεια φακών, (π.χ. στους φακούς Canon AF είναι 42.1 mm, στους φακούς Nikon AF 46.5 mm). Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ίδια φωτογραφική μηχανή μια ολόκληρη 'οικογένεια' φακών.

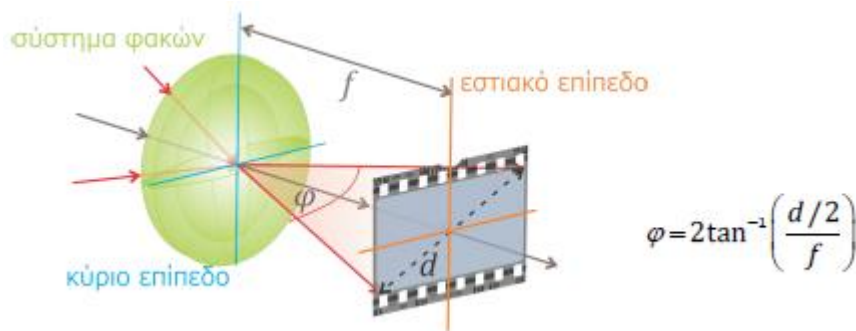
Επίσης, η απόσταση από την πρόσθια επιφάνεια του 'πρώτου' φακού έως το φιλμ λέγεται *μηχανική απόσταση* (*mechanical distance*), και εξαρτάται άμεσα από το

μήκος του φακού, που συνήθως αυξάνει με την εστιακή του απόσταση.

2.2.2 Μεγέθυνση και Γωνία Όρασης

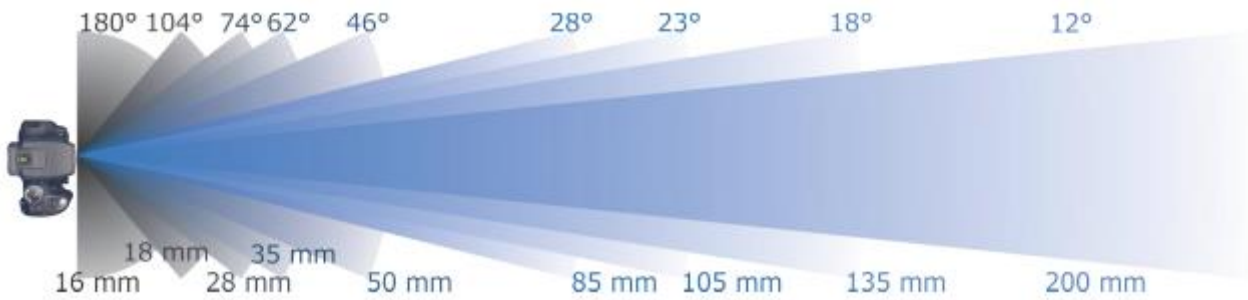
Η εστιακή απόσταση ενός φωτογραφικού φακού έχει άμεση σχέση με τη μεγέθυνση που έχει ένας φωτογραφικός φακός. Η *μεγέθυνση* ενός φωτογραφικού φακού ορίζεται ως το πηλίκο της εστιακής απόστασης προς την απόσταση του κύριου επιπέδου H (εικόνα 2.4) από το αντικείμενο. Έτσι όταν το αντικείμενο βρίσκεται αρκετά μακριά, ώστε να θεωρηθεί ότι βρίσκεται στο οπτικό άπειρο, η μεγέθυνση πρακτικά είναι ανάλογη της εστιακής απόστασης

Η *γωνία όρασης* ή θέασης είναι το οπτικό πεδίο του φωτογραφικού φακού, και ορίζεται ως τη μέγιστη γωνία με την οποία παρατηρεί τα αντικείμενα ο φακός. Εξαρτάται από την εστιακή απόστασή του και το μέγεθος της φωτοευαίσθητης επιφάνειας. Όσο μεγαλύτερη είναι η εστιακή απόσταση ή όσο μικρότερη διάσταση έχει η φωτοευαίσθητη επιφάνεια, τόσο μικρότερη είναι η γωνία όρασης ενός φακού. Αυτό προκύπτει από την τριγωνομετρική σχέση και το σχήμα που φαίνονται στην εικόνα 2.5[7],



Εικόνα 2.5: Τριγωνομετρική σχέση της γωνίας όρασης

όπου d είναι η διαγώνιος της επιφάνειας του φιλμ και f η εστιακή απόσταση. Όσο μεγαλώνει η εστιακή απόσταση του φακού, τόσο μικραίνει η γωνία όρασης όπως φαίνεται καλύτερα μέσα από την εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Γωνία όρασης συναρτήσει της εστιακής απόστασης για διαγώνιο 35mm

Με βάση την παραπάνω εικόνα μπορούμε να δούμε ότι ένας φακός που είναι σχεδιασμένος για 35mm και έχει εστιακή απόσταση 50mm έχει γωνία όρασης 46°. Αντίθετα ένας φακός με 200mm εστιακή απόσταση έχει μόλις 12° γωνία όρασης.

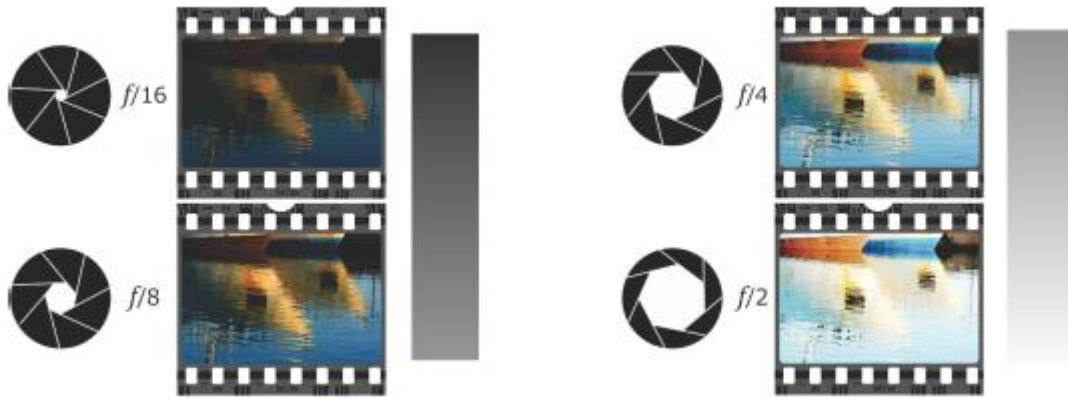
2.2.3 Φωτεινότητα και Διάφραγμα

Η *φωτεινότητα* ενός φακού μαθηματικά ορίζεται ως ,το τετράγωνο, του ηλίκου, της διαμέτρου του φακού προς την εστιακή του απόσταση. Έτσι, αν η εστιακή απόσταση του φακού είναι 50 mm και ο φακός έχει διάμετρο 25 mm, η φωτεινότητά του είναι $\frac{1}{4}$. Στην πράξη η φωτεινότητα περιγράφει την ποσότητα του φωτός που μπορεί να εισέλθει μέσα από το φακό.

Για να ελέγξουμε τη φωτεινότητα, χρησιμοποιούμε μία διάταξη ελασμάτων η οποία σχηματίζει μια κεντρική κυκλική οπή. Με μηχανικό τρόπο, και συγκεκριμένα με ένα ‘δακτυλίδι’ που βρίσκεται γύρω από τον φακό, ελέγχουμε την ακριβή θέση των ελασμάτων, άρα και τη διάμετρο της οπής. Ο μηχανισμός, λοιπόν αυτός ονομάζεται *διάφραγμα* και είναι ενσωματωμένος σε κάθε σύγχρονο φακό.

Η οπή, που διαμορφώνεται στη μέση περιστρέφοντας το δακτυλίδι του διαφράγματος, ονομάζεται *διάφραγμα ανοίγματος* και λόγω της φύσης των ελασμάτων το σχήμα της δεν είναι ακριβώς κυκλικό. Το διάφραγμα ανοίγματος καθορίζει τον αριθμό F# (ειδικά στη φωτογραφία όπου έχουμε τα σύμβολα f/ ή 1:), που αντιπροσωπεύει την ποσότητα εστιακή απόσταση προς διάμετρο οπής διαφράγματος. Δηλαδή f/4 αντιστοιχεί σε φακό που έχει διάμετρο ίση με $\frac{1}{4}$ της εστιακής του απόστασης. Οι αριθμοί που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32. Το τετράγωνο κάθε αριθμού είναι διπλάσιο από το τετράγωνο του επόμενου, δηλαδή κάθε αριθμός πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή 1.4 ($\sqrt{2}$). Η αλλαγή από μία τιμή διαφράγματος στην επόμενη ή στην προηγούμενη αντιστοιχεί σε ένα στοπ (stop). Όλα αυτά που αναφέραμε πρακτικά σημαίνουν ότι ανοίγοντας το διάφραγμα κατά στοπ διπλασιάζεται η ποσότητα του φωτός που περνά από το φακό. Στην εικόνα 2.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται τέσσερα ίδια καρέ τραβηγμένα με διαφορετικό διάφραγμα ανοίγματος.



Εικόνα 2.7: Διαφορές στην φωτεινότητα του ειδώλου για 4 διαφορετικές τιμές του διαφράγματος

Όπως βλέπουμε από την παραπάνω εικόνα οι διαφορετικές τιμές που επιλέγουμε στο διάφραγμα δίνουν και ένα διαφορετικό αισθητικό αποτέλεσμα στη φωτογραφία. Η διαφορετική αυτή αίσθηση, που δίνουν οι φωτογραφίες, οφείλεται στην αλλαγή της φωτεινότητας αλλά και του βάθους πεδίου που επηρεάζονται από τις μεταβολές του διαφράγματος.

2.2.4 Βάθος Πεδίου

Πολλές φορές φωτογραφίζοντας ένα αντικείμενο παρατηρούμε ότι κάποια από τα αντικείμενα που βρίσκονται γύρω από αυτό που θέλουμε να φωτογραφίσουμε προβάλλονται θολά πάνω στην φωτογραφία (εικόνα 2.8 (α)).



Εικόνα 2.8: Φωτογραφία τραβηγμένη με φακό 100mm με (α) διάφραγμα $f/2.8$ και με (β) διάφραγμα $f/32$

Αυτό συμβαίνει γιατί τα αντικείμενα στη φωτογραφία έχουν διαφορετικές θέσεις από

το φακό σε σχέση με το αντικείμενο πάνω στο οποίο εστιάζουμε. Για κάθε μία από αυτές τις θέσεις υπάρχει και μία διαφορετική θέση ειδώλου, έχοντας ως αποτέλεσμα κάποια από τα είδωλα να σχηματίζονται μπροστά ή πίσω από το επίπεδο του φιλμ. Όσα λοιπόν από αυτά δεν σχηματίζονται πάνω στο επίπεδο του φιλμ προβάλλονται θολά στην φωτογραφία. Ωστόσο είναι δυνατόν να έχουμε καλύτερη εστίαση για αυτά αντικείμενα που βρίσκονται σε μία ορισμένη έκταση μπροστά ή πίσω από το αντικείμενο που θέλουμε. Το εύρος αυτής της έκτασης ονομάζεται *βάθος πεδίου* (Depth of Field, DoF).

Αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα ότι το βάθος πεδίου επηρεάζεται άμεσα από το άνοιγμα του διαφράγματος. Η μαθηματική σχέση (2.1) που δίνει το βάθος πεδίου μας εξηγεί πώς επηρεάζει το διάφραγμα το βάθος πεδίου,

$$DoF = \frac{2F\#bx_o(x_o - f)f^2}{f^4 - F\#^2 b^2 x_o^2} \quad (2.1)$$

όπου x_o η απόσταση του διαφράγματος από το αντικείμενο και b η διάμετρος του φακού. Όσο πιο μικρό είναι το $f/$ (π.χ. $f/2.8$) δηλαδή όσο πιο μεγάλο είναι το άνοιγμα του διαφράγματος, τόσο πιο μικρό είναι το βάθος πεδίου. Αντίθετα μικρότερο άνοιγμα διαφράγματος, δηλαδή μεγαλύτερο $f/$ (π.χ. $f/32$) σημαίνει και μεγαλύτερο βάθος πεδίου (εικόνα 2.8). Το βάθος πεδίου πρακτικά μας επιτρέπει να απομονώσουμε οπτικά το αντικείμενο από το υπόβαθρο. Επιπλέον όταν σε μία φωτογραφία χρησιμοποιούμε μικρό βάθος πεδίου, τότε έχουμε μεγάλη διακριτική ικανότητα απάνω στο αντικείμενο που εστιάζουμε. Αντίθετα με μεγάλο βάθος πεδίου μπορούμε να φωτογραφίσουμε περισσότερα αντικείμενα βλέποντάς τα όμως λιγότερο καθαρά.

Τέλος, για να αυξήσουμε το βάθος πεδίου χωρίς να αλλάξουμε το άνοιγμα του διαφράγματος μπορούμε είτε να απομακρυνθούμε από το αντικείμενο (αύξηση του x_o) είτε να χρησιμοποιήσουμε φακό με μικρότερη εστιακή απόσταση f .

2.2.5 Κλείστρο και Φωτοφράκτης

Όπως αναφέραμε προηγουμένως με τη μεταβολή του διαφράγματος καταφέρνουμε να επηρεάσουμε την φωτεινότητα του ειδώλου. Αν εμείς θέλουμε να διατηρήσουμε σταθερή αυτή την φωτεινότητα και στη φωτογραφία που θα καταγράψουμε πρέπει να ρυθμίσουμε και τη διάρκεια λήψης. Η διάρκεια λήψης αναφέρεται στον χρόνο που το φως αλληλεπιδρά με το φιλμ ή τον αισθητήρα. Άρα λοιπόν είναι πολύ σημαντικό να μπορούμε να ρυθμίσουμε το χρόνο έκθεσης του φιλμ στο φως. Η ρύθμιση στη χρονική διάρκεια της έκθεσης γίνεται με το *φωτοφράκτη* (shutter), ο οποίος είναι ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα, που ανοίγει με την πίεση του *κλείστρου* (trigger) και επιτρέπει την έκθεση της φωτοευαίσθητης επιφάνειας στο φως για όση ώρα παραμένει ανοικτός.

Η διάρκεια λήψης ή έκθεσης (exposure time) της φωτογραφίας, είναι γνωστή

και ως ταχύτητα (speed) του φωτοφράκτη. Στις φωτογραφικές μηχανές η ταχύτητα εκφράζεται με παρονομαστές των κλασμάτων του δευτερολέπτου όπως π.χ. 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000. Έτσι, λέγοντας ‘ταχύτητα’ 125 εννοούμε ότι ο φωτοφράκτης ανοίγει για 1/125 δευτερόλεπτα. Κάθε θέση της κλίμακας είναι διπλάσια ή υποδιπλάσια της γειτονικής της. Επίσης είναι πιθανοί, χρόνοι έκθεσης πέρα του ενός δευτερολέπτου, δηλαδή 1”, 2”, κλπ, ακόμα και ‘B’ (bulb), όταν ο φωτοφράκτης μένει ανοικτός όσο είναι πιεσμένο το κλείστρο. Πρέπει να αναφέρουμε ότι ο σωστός συνδυασμός διαφράγματος και ταχύτητας, εξαρτάται από τον εξωτερικό φωτισμό και την ευαισθησία του φιλμ, και καθορίζεται είτε εμπειρικά, είτε με τη βοήθεια ενός φωτομετρητή (photometer) ενσωματωμένου, συνήθως, στις σύγχρονες φωτογραφικές μηχανές.

Ο σκοπός όμως της αλλαγής της ταχύτητας του φωτοφράκτη, πέρα από την αντιστάθμιση της φωτεινότητας λόγω άλλης τιμής στο διάφραγμα, είναι για την απεικόνιση της κίνησης στην φωτογραφία. Αν θέλουμε, δηλαδή, να φωτογραφήσουμε ένα κινούμενο αντικείμενο, πρέπει η διάρκεια της λήψης ή να είναι σύντομη αρκετά, ώστε να αποτυπώσουμε μία “παγωμένη” κίνηση ή να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να έχουμε μια θολωμένη κίνηση (εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9: Ανάλογα τον χρόνο λήψης η κίνηση καταγράφεται ως παγωμένη ή θολωμένη. Για να διατηρηθεί η φωτεινότητα το διάφραγμα κλείνει.

Συμπεραίνουμε, μετά από όλα αυτά, ότι ο φωτοφράκτης επιτελεί μια πολύ κρίσιμη αποστολή στη φωτογραφία. Για το λόγο αυτό λοιπόν, πρέπει να επηρεάζει ομοιόμορφα όλη την εικόνα και να επιτρέπει την επιλογή πολλών ταχυτήτων. Ανάλογα με τη θέση τους στη μηχανή, μπορούμε να τους διακρίνουμε σε φωτοφράκτες:

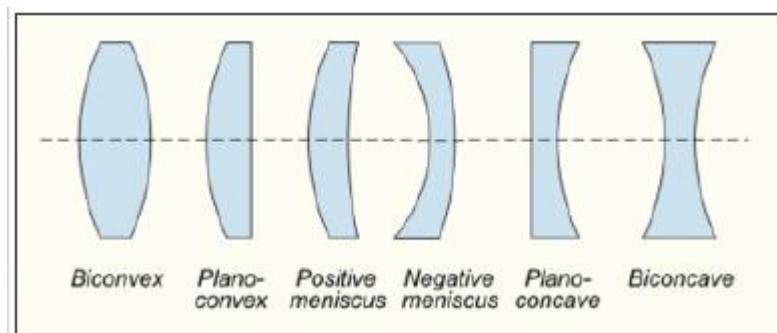
- Μπροστά από το φακό: Αυτό το είδος φωτοφράκτη είναι το πιο παραδοσιακό και απλό και είναι το κάλυμμα μπροστά από το φακό, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται από ορισμένους φακούς. Άλλοι τύποι αυτής της κατηγορίας είναι ο φωτοφράκτης ταινίας και ο ημισφαιρικός.
- Μέσα στο φακό: Η απλούστερη μορφή είναι ο τομέας που αποτελείται από ένα δίσκο με μια σχισμή. Κάνοντας μία περιστροφή αφήνει το φως να περάσει μέσα από το φακό. Ο πιο διαδεδομένος τύπος αυτής της κατηγορίας είναι ο φωτοφράκτης ίριδας (iris ή leaf shutter), που αποτελείται από ελάσματα που ανοίγουν και κλείνουν όπως η ίριδα. Τέτοιου είδους φωτοφράκτες επιτρέπουν ταχύτητες μέχρι 1/500 sec ενώ έχουν το μειονέκτημα ότι πρέπει κάθε φακός να

έχει ενσωματωμένο το φωτοφράκτη του.

- **Εστιακού επιπέδου:** Οι φωτοφράκτες αυτού του είδους αποτελούνται από υφασμάτινη ταινία ή μεταλλική λεπίδα που φέρει μια σχισμή. Μεταβάλλοντας το πλάτος της σχισμής και την ταχύτητα της ταινίας μπορούμε να πετύχουμε πολλούς χρόνους έκθεσης. Μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι βρίσκονται κοντά στο φιλμ ή αισθητήρα και επιτρέπουν πολλές και μεγάλες ταχύτητες έως και $1/4000$ sec. Όμως μειονεκτούν στο ότι δεν εκθέτουν όλο το φιλμ συγχρόνως με πιθανό αποτέλεσμα της παραμόρφωσης της εικόνας.

2.2.6 Είδη Φωτογραφικών φακών

Όπως είπαμε και στην αρχή του κεφαλαίου οι φωτογραφικοί φακοί αποτελούνται από ένα σύστημα οπτικών φακών. Τα είδη των οπτικών φακών που υπάρχουν μέχρι σήμερα φαίνονται στην εικόνα 2.10[8].



Εικόνα 2.10: Είδη οπτικών φακών

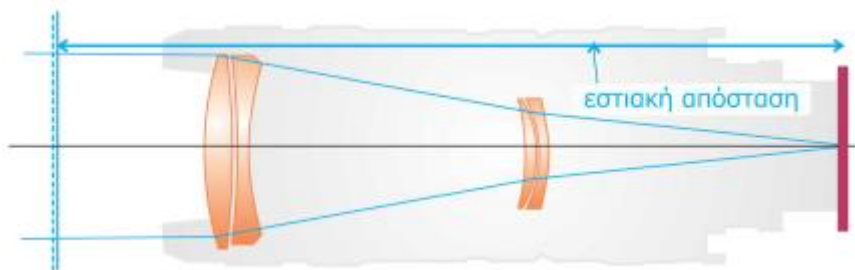
Κάθε φακός ανάλογα με τον βαθμό και το είδος της κυρτότητας που διαθέτει επηρεάζει και την πορεία του ειδώλου κατά την εξαγωγή του από τον φακό. Με βάση λοιπόν την παραπάνω εικόνα ο πρώτος φακός αποτελείται από 2 κυρτές επιφάνειες και ονομάζεται αμφίκυρτος (Biconvex). Αν η μία του πλευρά είναι κυρτή και η άλλη είναι επίπεδη τότε ονομάζεται επιπεδόκυρτος (Plano-convex). Ενώ αν η μία του πλευρά είναι κοίλη και η άλλη επίπεδη τότε ονομάζεται επιπεδόκοιλος (Plano-concave). Σε περίπτωση τώρα που ο φακός έχει μία πλευρά κυρτή και μία πλευρά κοίλη ονομάζεται κυρτόκοιλος (convex-concave ή positive meniscus), ενώ εάν είναι ανάποδα ονομάζεται κοιλόκυρτος (concave-convex ή negative meniscus). Τέλος ο φακός που έχει και τις δύο του επιφάνειες κοίλες ονομάζεται αμφίκοιλος.

Οι τρεις πρώτοι φακοί παρουσιάζουν την ιδιότητα να μετατρέπουν σε συγκλίνουσα μία δέσμη παράλληλων ακτίνων και ονομάζονται συγκλίνοντες. Τα επόμενα τρία είδη φακών μετατρέπουν σε αποκλίνουσα δέσμη μία δέσμη παράλληλων ακτίνων, και ονομάζονται αποκλίνοντες. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι συγκλίνοντες φακοί είναι λεπτοί στα άκρα και παχιοί στο κέντρο, ενώ οι αποκλίνοντες, λεπτοί στο κέντρο και παχιοί στα άκρα.

Σε ότι αφορά τώρα τους φωτογραφικούς φακούς, αυτοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη γωνία όρασης και κατ' επέκταση την εστιακή απόσταση. Έτσι λοιπόν υπάρχουν οι εξής κατηγορίες:

Κανονικοί: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φακοί με γωνία όρασης 46° ($f = 50 \text{ mm}$) και λέγονται κανονικοί επειδή το οπτικό τους πεδίο ίδιο με αυτό του ανθρώπινου ματιού. Γενικότερα στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι φακοί με γωνία όρασης από $43\text{-}56^\circ$, με αντίστοιχες εστιακές αποστάσεις από $37\text{-}55 \text{ mm}$. Επίσης οι φακοί αυτοί διαθέτουν σχετικά την πιο εύκολη σχεδίαση, απαιτώντας από 3 έως 7 οπτικά στοιχεία.

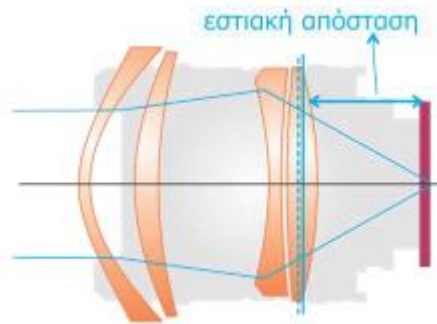
Τηλεφακοί: Εδώ ανήκουν οι φακοί με γωνία όρασης $37^\circ\text{-}2^\circ$ ($f = 75\text{-}1200 \text{ mm}$). Χαρακτηριστικό τους είναι το ρηχό βάθος πεδίου και η επίπεδη προοπτική. Σε αυτούς όσο αυξάνει η εστιακή απόσταση μικραίνει το βάθος πεδίου. Οι τηλεφακοί χωρίζονται σε υποκατηγορίες, όπως μεσαίοι τηλεφακοί (medium telephoto), μέχρι γωνία 10° (75 ως 135 mm) και υπερ-τηλεφακοί (super telephoto) (από 8° έως και 2°). Καθώς αυξάνει η εστιακή απόσταση ενός φακού, το μέγεθός του αυξάνει επίσης, δυσανάλογα. Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου φακού φαίνεται στην εικόνα 2.11[7].



Εικόνα 2.11: Αρχιτεκτονική σχεδίαση τηλεφακού

Μέσα από την παραπάνω εικόνα μπορούμε να δούμε ότι ένας τηλεφακός αποτελείται από ένα σετ θετικών φακών που ακολουθείται από ένα σετ αρνητικών φακών έχοντας ως αποτέλεσμα το κύριο επίπεδο του φακού να είναι μπροστά από το φακό! Με αυτό τον τρόπο καταφέρνει να έχει πολύ μεγάλη εστιακή απόσταση αλλά αρκετά μικρότερο φυσικό μήκος.

Ευρυγώνιοι: Στην κατηγορία αυτοί ανήκουν οι φακοί με γωνία όρασης $100^\circ\text{-}62^\circ$ ($f = 18\text{-}35 \text{ mm}$). Χαρακτηριστικό τους είναι το μεγάλο βάθος πεδίου, η απότομη προοπτική ενώ έχουν και περισσότερη παραμόρφωση στα άκρα. Για αυτό το είδος φακού θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ανεστραμμένοι τηλεφακοί, και έτσι η αρχιτεκτονική τους είναι μια αρνητική ομάδα φακών που ακολουθείται από μια θετική ομάδα, με αποτέλεσμα το κύριο επίπεδο να σχηματίζεται στο πίσω μέρος του φακού. Η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου φακού φαίνεται στην εικόνα 2.12[7].



Εικόνα 2.12: Αρχιτεκτονική ευρυγώνιου φακού

Υπερευρυγώνιοι: Οι φακοί αυτής της κατηγορίας έχουν γωνία όρασης 100° - 180° ενώ υπάρχουν και φακοί με γωνία όρασης 220° - 180° ($f = 6$ - 8 mm) που λέγονται fish-eye. Η ονομασία τους είναι τέτοια επειδή η γωνία όρασης ταιριάζει σε αυτή που συναντάμε στα ψάρια. Για την κατασκευή τους απαιτούν τουλάχιστον 7, έως και 12 οπτικά στοιχεία, και ο σχεδιασμός τους είναι ιδιαίτερα απαιτητικός. Χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλο βάθος πεδίου, έντονο σφάλμα παραμόρφωσης ειδώλου, και χρησιμοποιούνται για ειδικά εφέ.

Μακροφωτογραφικοί: Είναι ειδικής διάταξης φακοί που, ενώ διαθέτουν σχετικά μεγάλο μήκος εστιακής απόστασης (π.χ. 100 mm), έχουν την δυνατότητα να εστιάζουν σε κοντινές αποστάσεις, έτσι ώστε το είδωλο όπως καταγράφεται στο φιλμ, να έχει το φυσικό μέγεθος του αντικειμένου, να έχει δηλαδή μεγέθυνση την μονάδα. Με τη συνήθη μεγέθυνση που ακολουθεί κατά την εκτύπωση, τα αντικείμενα φαίνονται αρκετά μεγάλα και οι φωτογραφίες έχουν πολύ μικρό βάθος πεδίου.

Όλοι οι φακοί που αναφέραμε προτύτερα έχουν σταθερή εστιακή απόσταση. Όμως υπάρχουν και φακοί με μεταβλητή εστιακή απόσταση και κατ' επέκταση μεταβλητή γωνία όρασης, όπως αυτοί που φαίνονται στην εικόνα 2.13[7].



Εικόνα 2.13: Φακοί ζουμ με εστιακή απόσταση (α)17-40mm (β) 35-70mm (γ) 70-100mm

Τέτοιοι φακοί ονομάζονται φακοί ζουμ, αποτελούνται από πολλά περισσότερα οπτικά στοιχεία σε σχέση με τους προηγούμενους και δίνουν σημαντικά περισσότερες επιλογές στη σύνθεση μίας φωτογραφίας. Ο λόγος που δεν αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία είναι γιατί υπάρχουν φακοί ζουμ που είναι τηλεφακοί, άλλοι που είναι

ευρυγώνιοι, και άλλοι που είναι ενδιάμεσοι. Ένας φακός ζουμ λοιπόν παρότι έχει μεγάλη εστιακή απόσταση δεν είναι τηλεφακός.

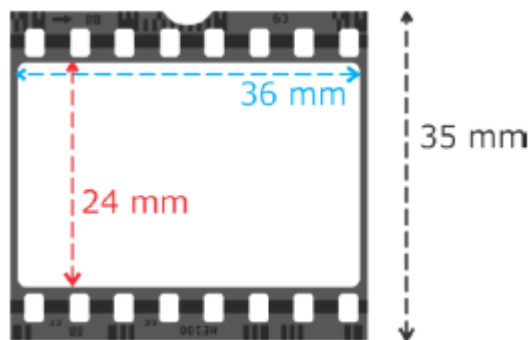
3. Αποτύπωση της Εικόνας

Το φως του αντικειμένου διέρχεται μέσα από τον φωτογραφικό φακό, ο οποίος το βοηθάει να εστιάσει πάνω στο επίπεδο του φωτοευαίσθητου υλικού που βρίσκεται πίσω από το φακό. Στις αναλογικές φωτογραφικές μηχανές το φωτοευαίσθητο υλικό είναι το φιλμ. Αντίθετα στις ψηφιακές μηχανές το ρόλο του φωτοευαίσθητου υλικού έχει ο ψηφιακός αισθητήρας. Στις ενότητες που ακολουθούν γίνεται μία παρουσίαση των χαρακτηριστικών του φιλμ και των ψηφιακών αισθητήρων.

3.1 Φωτογραφικό Φιλμ [7]

Το κυριότερο χαρακτηριστικό στοιχείο ενός φιλμ είναι οι διαστάσεις του, οι οποίες είναι εκείνες που καθορίζουν και το φορμά (format) και κατ' επέκταση και την ενεργό περιοχή του. Ως ενεργός περιοχή ονομάζεται το παραλληλόγραμμο πλαίσιο του πάνω στο οποίο αποτυπώνεται το είδωλο.

Το πρώτο ήταν το φορμά 120 ή 6x6, επειδή η ενεργός περιοχή (frame) ήταν 56x56mm, γνωστό και με την ονομασία φιλμ μεσαίου φορμά (medium format). Μετέπειτα χρησιμοποιούνταν το μεγάλο φορμά (large format) με διαστάσεις 95x120mm. Αυτό που καθιερώθηκε τελικά ως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο φιλμ ήταν αυτό με διαστάσεις 36x24mm, γνωστό με την ονομασία 35άρι ή φορμά 135, λόγω του ύψους του που μαζί με τις ταινίες διάτρησης είναι 35mm (εικόνα 3.1) [7].



Εικόνα 3.1: Διαστάσεις του φιλμ των 35mm

Κυκλοφόρησε σε πολλές παραλλαγές, για 12, 24 ή 36 λήψεις, ασπρόμαυρο, έγχρωμο, θετικό, υπέρυθρο, υπερευαίσθητο. Οι πρώτες μηχανές που το χρησιμοποίησαν ήταν η Σπορτ (1934), αλλά καθιερώθηκε στην Nikon F (1959), και από τότε ήταν το φιλμ που κυριάρχησε στις μηχανές SLR.

Πέραν όμως από τις διαστάσεις του φιλμ, εξίσου σπουδαίο χαρακτηριστικό αποτελεί η ευαισθησία του στο φως αλλά και πόσο καλά μπορεί να καταγράψει τις λεπτομέρειες από το σχηματισμένο είδωλο. Η ευαισθησία του στο φως σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του κρυστάλλου αλογονούχου αργύρου, το οποίο είναι το φωτοευαίσθητο υλικό του φιλμ και το οποίο μετατρέπεται σε άργυρο με την πρόσπτωση φωτός επάνω του. Ανάλογα, λοιπόν, με το μέγεθος του κρυστάλλου μπορεί να εμφανιστούν στο φιλμ οι λεγόμενοι κόκκοι (grain), οι οποίοι οφείλονται στο

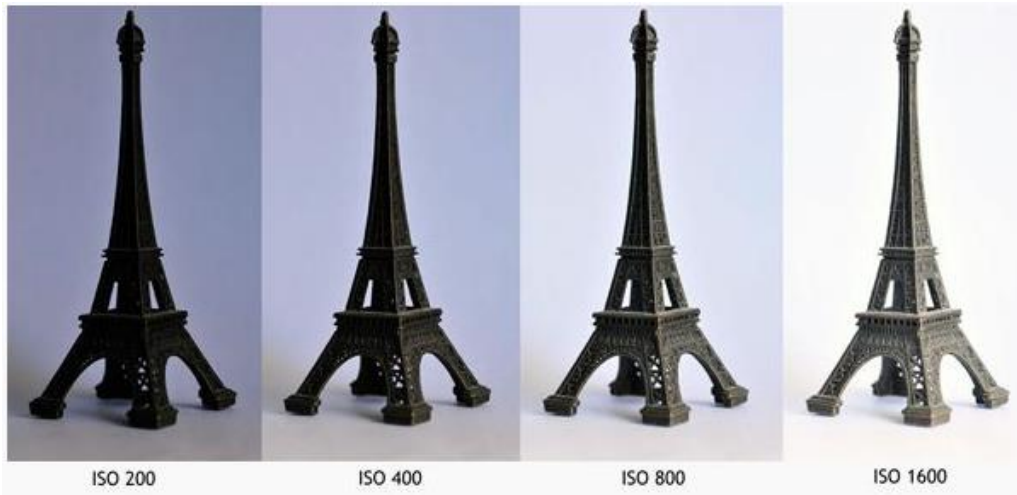
ότι ένας αλογονούχος κρύσταλλος δεν έχει αναχθεί πλήρως σε άργυρο. Το αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη κενών ανάμεσα στους γειτονικούς εμφανισμένους κόκκους (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Η κοκκώδης εμφάνιση στο φιλμ (α) μικροί κόκκοι (β) μεγαλύτεροι κόκκοι

Με το μικρό μέγεθος των κρυστάλλων (π.χ. 0.1 μm) μειώνεται η πιθανότητα αντίδρασης με το φως, και έτσι το φιλμ καθίσταται λιγότερο ευαίσθητο. Επομένως, η ταχύτητα του φιλμ (film speed) είναι μικρή και απαιτείται, αντίστοιχα, μεγάλη έκθεση στο φως κατά τη διάρκεια της λήψης της φωτογραφίας. Επιπρόσθετα, ένα τέτοιο φιλμ, έχει μικρή έως μη αντιληπτή εμφάνιση κόκκου και η μεγάλη πυκνότητά τους, επιτρέπει την καταγραφή πολύ μικρών λεπτομερειών. Αντιθέτως, σε ένα φιλμ με μεγάλο μέγεθος κρυστάλλων (λίγα μm), οι κρύσταλλοι είναι πιο πιθανό να αντιδράσουν με το ίδιο φως, και έτσι το φιλμ είναι πιο ευαίσθητο, και άρα η ταχύτητά του μεγαλύτερη.

Για να γίνει εφικτή η περιγραφή της ευαισθησίας των φιλμ χρησιμοποιήθηκαν οι κλίμακες ASA και DIN, οι οποίες αντικαταστάθηκαν από την κλίμακα ISO (International Standards Organization) που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Η κλίμακα ISO είναι αριθμητική και κάθε βήμα της είναι διπλάσιο του προηγούμενου. Για παράδειγμα, ένα φιλμ ISO 200 μπορεί με διπλάσια ταχύτητα φωτοφράκτη (δηλαδή με τη μισή ποσότητα φωτός) να πετύχει το ίδιο αποτέλεσμα με ένα φιλμ ISO 100. Για το λόγο αυτό, τα φιλμ με μεγάλο ISO λέγονται "γρήγορα", ενώ αυτά με μικρό "αργά". Τα 'αργά' φιλμ φθάνουν ακόμα και κάτω από το 12, και τα 'γρήγορα' ακόμα και πέρα από το 3200. Όσο μεγαλύτερο είναι το ISO ενός φιλμ, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία, γεγονός που μας επιτρέπει την λήψη φωτογραφιών σε σκοτεινά περιβάλλοντα χωρίς την χρήση φλας. Ουσιαστικά με την αύξηση του ISO και διατηρώντας αμετάβλητα την ταχύτητα του φωτοφράκτη και το άνοιγμα του διαφράγματος, έχουμε και αύξηση στη φωτεινότητα της εικόνας, όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 3.3[9].



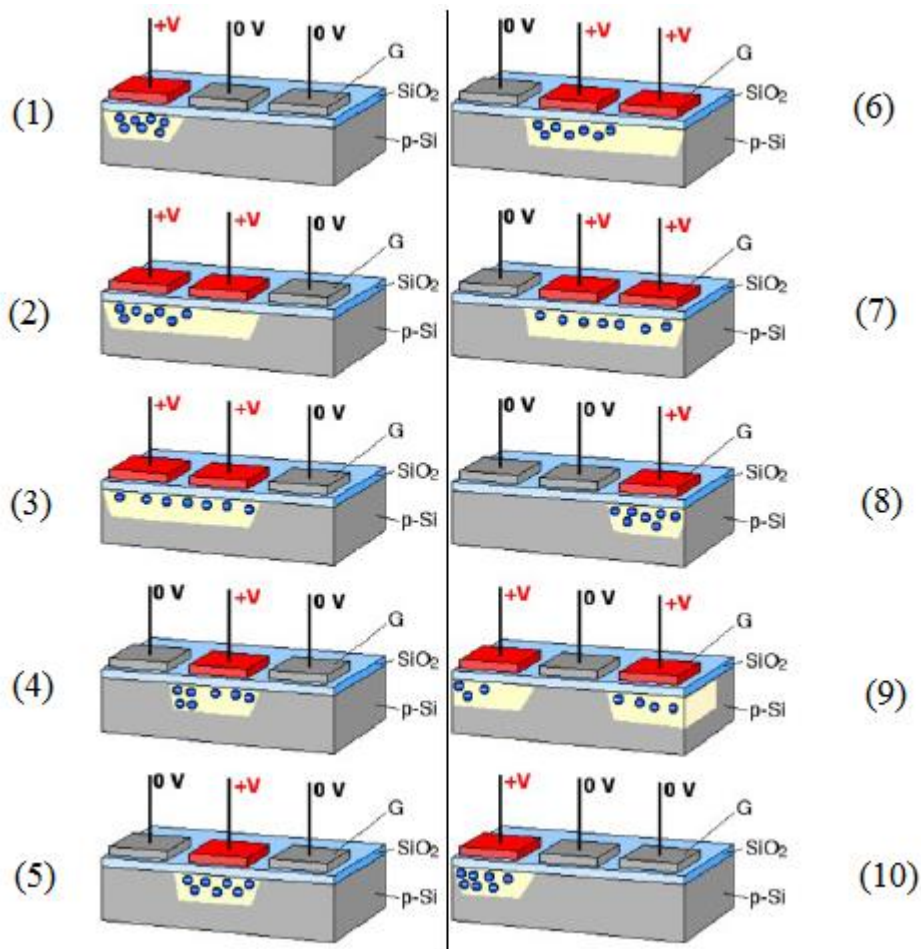
Εικόνα 3.3: Η ίδια εικόνα τραβηγμένη για διαφορετικές τιμές του ISO

3.2 Αισθητήρες

Στις μέρες μας, οι αναλογικές φωτογραφικές μηχανές έχουν εκτοπιστεί από τις ψηφιακές για όλες σχεδόν τις χρήσεις. Η βασική τους διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούν ως μέσο καταγραφής της εικόνας έναν αισθητήρα ανίχνευσης φωτός. Ο αισθητήρας αυτός είναι κατ' ουσία μία φωτοδίοδος. Ανάλογα με τον τρόπο μετατροπής του προσπίπτοντος φωτός σε ηλεκτρικό σήμα οι αισθητήρες διακρίνονται σε CCD (Charged Coupled Device) ή CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Οι αισθητήρες τεχνολογίας CCD και CMOS αποτελούνται από εκατομμύρια μικρές κυψέλες-φωτοδιόδους- με μέγεθος της τάξεως του $1/1000000$ του μέτρου. Οι κυψέλες αυτές ονομάζονται pixels και ο αριθμός τους ορίζει την ανάλυση του αισθητήρα και συνεπώς και την ανάλυση της εικόνας.

3.2.1 CCD

Σε ότι αφορά τους CCD αισθητήρες η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο τα φωτόνια που προσπίπτουν πάνω στην επιφάνεια του pixel προκαλούν την διέγερση και την απελευθέρωση ηλεκτρονίων από τα άτομα του διοξειδίου του πυριτίου. Τα ελεύθερα αυτά ηλεκτρόνια αποτελούν το ηλεκτρικό ρεύμα (σήμα), του οποίου το μέγεθος είναι ανάλογο της ποσότητας του φωτός που έχει δεχθεί το συγκεκριμένο pixel. Για να μπορέσουμε όμως να καταλάβουμε πως από αυτό το ρεύμα καταφέρνουμε και σχηματίζουμε την εικόνα, θα χρειαστεί αρχικά να περιγράψουμε την αρχή λειτουργίας του πυκνωτή MOS, που αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο του αισθητήρα CCD.

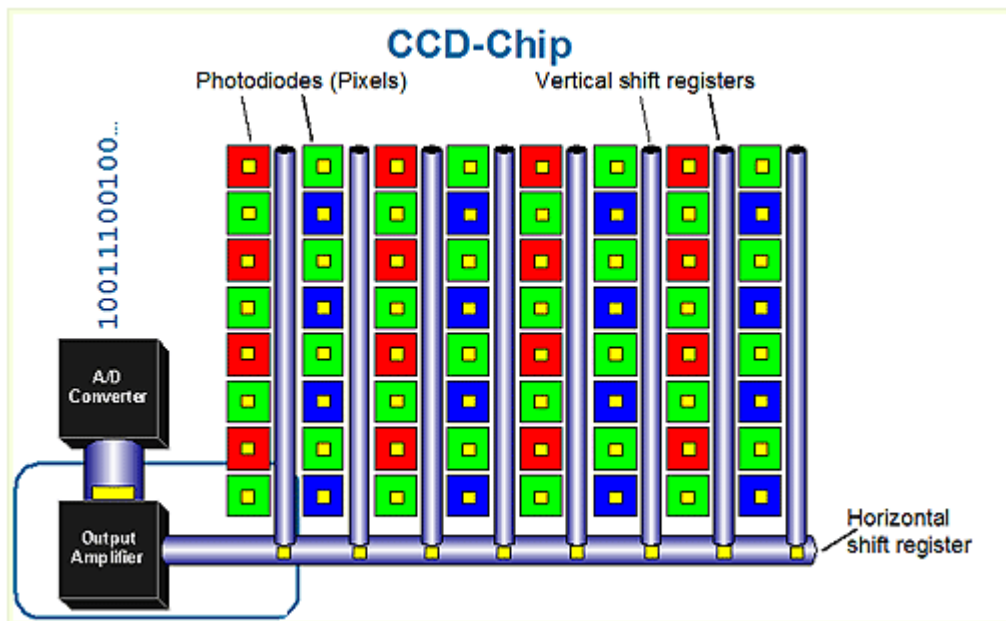


Εικόνα 3.4: Μεταφορά (ολίσθηση) του ηλεκτρικού φορτίου σε έναν CCD αισθητήρα

Ο στοιχειώδης ανιχνευτής CCD αποτελείται από τρεις ανιχνευτές MOS παράλληλα τοποθετημένους. Η καινοτομία της συσκευής, έγκειται στη μεταφορά του σήματος, από τον ένα πυκνωτή, στον άλλο. Για να γίνει αυτό αρχικά πολώνουμε μόνο την πρώτη πύλη (φάση 1), έτσι όλο το σήμα, που έχει δημιουργηθεί από την πρόσκρουση των φωτονίων, συγκεντρώνεται εκεί. Έπειτα, πολώνουμε τη δεύτερη πύλη (φάση 2 και 3) και μηδενίζουμε το δυναμικό της πρώτης (φάση 4). Μέχρι αυτή την στιγμή το σήμα έκανε ένα “βήμα” δεξιά. Όμοια πράττουμε και με την τρίτη πύλη όπου και ολοκληρώνεται ένας κύκλος[10].

Σε ότι αφορά τώρα την γενική λειτουργία ενός αισθητήρα CCD, αυτή εξαρτάται από τον τύπο του αισθητήρα. Οι τύποι αισθητήρων που έχουμε είναι οι εξής: α) interline CCD, β) full frame CCD και γ) frame transfer CCD.

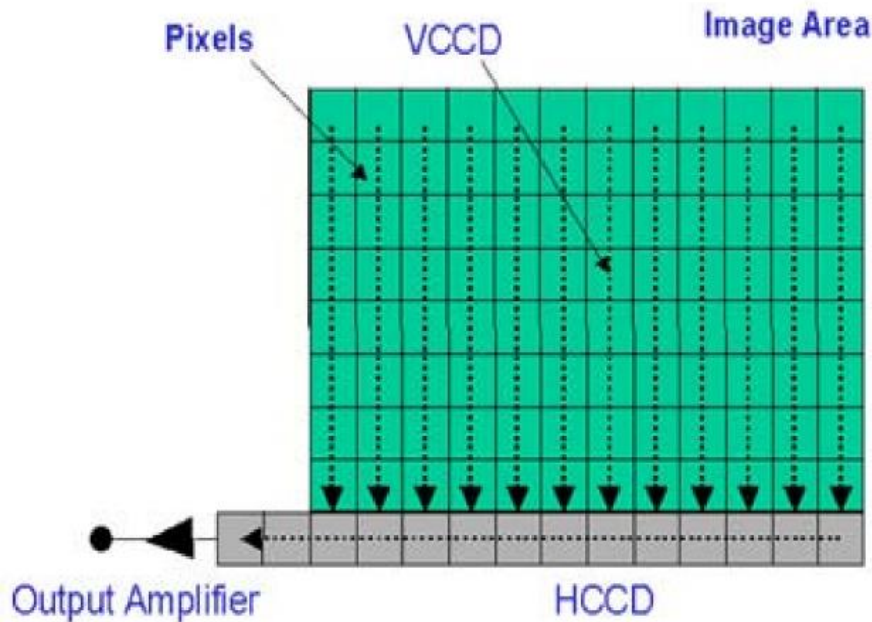
Στη περίπτωση του *interline CCD*, το φως συλλέγεται από φωτοδιόδους και μεταφέρεται από το CCD (κατακόρυφος και οριζόντιος καταχωρητής ολίσθησης) εικόνα 3.5. Πιο συγκεκριμένα δίπλα από κάθε στήλη με pixels υπάρχει ένας κατακόρυφος καταχωρητής ολίσθησης. Μόλις δημιουργηθεί το ρεύμα από το pixel αμέσως εισέρχεται στον καταχωρητή ο οποίος το ολισθαίνει και το εκχωρεί στον οριζόντιο καταχωρητή ολίσθησης.



Εικόνα 3.5: Αρχιτεκτονική διάταξη αισθητήρα τύπου interline CCD

Αυτός μετά με την σειρά του το οδηγεί σε έναν ενισχυτή όπου εκεί το ρεύμα μετατρέπεται σε τάση. Μετά τον ενισχυτή το σήμα οδηγείται σε έναν μετατροπέα A/D (analog to digital) “ αναλογικό-σε-ψηφιακό”. Στον A/D μετατροπέα διεξάγεται η δειγματοληψία, η κβάντιση και η κωδικοποίηση έτσι ώστε να παραχθούν οι διακριτές τιμές τάσης δηλαδή το ψηφιακό σήμα, αποτελούμενο μόνο από ‘0’ και ‘1’. Έπειτα το ψηφιακό αυτό σήμα αποθηκεύεται προσωρινά στην μνήμη της μηχανής (Buffer). Πρέπει να τονίσουμε ότι η όλη διαδικασία γίνεται ταυτόχρονα για κάθε οριζόντια γραμμή από εικονοστοιχεία (pixels) και μετά το τέλος της επαναλαμβάνεται από την αρχή για την επόμενη σειρά. Αυτός είναι και ο λόγος που ο αισθητήρας χαρακτηρίζεται ως interline. Μόλις τελειώσει η σάρωση όλων των σειρών, η κεντρική μονάδα επεξεργασίας που διαθέτει η μηχανή συνθέτει την εικόνα σειρά-σειρά. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι για να αποτυπώσουμε το χρώμα της εικόνας με έναν CCD αισθητήρα πρέπει να τοποθετηθεί πάνω από αυτόν ένα φίλτρο Bayer, γιατί οι αισθητήρες αντιλαμβάνονται μόνον την ένταση του φωτός και όχι το χρώμα. Με την τοποθέτηση του φίλτρου αυτού κάθε pixel καταγράφει ένα από τα τρία βασικά χρώματα και η τελική σύνθεση μας δίνει όλο το ορατό φάσμα. Η χρωματική διάταξη ενός τέτοιου φίλτρου φαίνεται στην εικόνα 3.5. Αυτό που παρατηρούμε ξεκάθαρα είναι το γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερα πράσινα pixel, και ο λόγος είναι ότι το ανθρώπινο μάτι είναι πιο ευαίσθητο στο πράσινο. Γενικά ισχύει ότι ένα φίλτρο bayer αποτελείται από 50% πράσινα, 25% μπλε και 25% κόκκινα pixels. Μία άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται για την έγχρωμη αποτύπωση της εικόνας με αισθητήρες CCD είναι με την διέλευση του φωτός μέσα από ένα πρίσμα. Το πρίσμα διαχωρίζει την εικόνα σε 3 διαφορετικές, μία για κάθε βασικό χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε). Οι τρεις αυτές εικόνες στέλνονται σε 3 διαφορετικούς αισθητήρες όπου από εκεί και μετά ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως. Τέλος σημαντικό στοιχείο του τύπου interline CCD που περιγράψαμε, είναι ότι μπορεί να συλλέγεται φως καθόλη τη διάρκεια που η προηγούμενη εικόνα μεταφέρεται στην έξοδο.

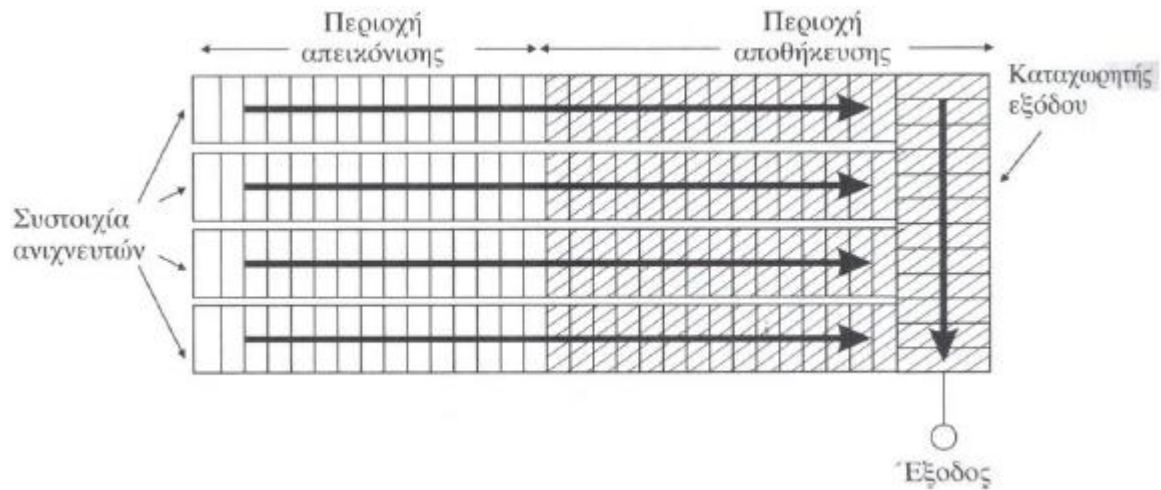
Σε αντίθεση, τώρα, με τους interline CCD οι *full frame CCD* χρησιμοποιούν όλη την επιφάνεια ως ανιχνευτή εικόνα 3.6[10], όπου VCCD και HCCD οι κατακόρυφοι και οριζόντιοι καταχωρητές ολίσθησης αντίστοιχα.



Εικόνα 3.6: Αρχιτεκτονική διάταξη αισθητήρα τύπου full frame CCD

Το κύριο χαρακτηριστικό λειτουργίας αυτού του αισθητήρα είναι ότι για να διαβαστεί το σήμα, πρέπει η επιφάνεια να καλυφθεί από το φως, άρα υπάρχει απαίτηση για εξωτερικό κλείστρο, και επομένως δεν μπορεί να συλλεχθεί φως όσο διαβάζεται το σήμα. Εφόσον η επιφάνεια καλυφθεί από το φως ξεκινάει η διαδικασία της ολίσθησης και κατόπιν της δημιουργίας της εικόνας όπως περιγράφηκε προηγουμένως.

Οι αισθητήρες του τύπου *frame transfer CCD* αποτελούνται από δύο περιοχές, την περιοχή απεικόνισης και την περιοχή αποθήκευσης. Το αρχικό σήμα αποθηκεύεται στη δεύτερη περιοχή και από εκεί γίνεται η τελική ανάγνωσή του, όπως και στις δύο προηγούμενες μεθόδους (εικόνα 3.7)[11]. Δύο βασικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου είναι αφενός η ικανότητα για λήψη σήματος, όσο αποθηκεύεται το προηγούμενο σήμα και αφετέρου ο διπλασιασμός του μήκους και κόστους του.



Εικόνα 3.7: Αρχιτεκτονική διάταξη αισθητήρα τύπου frame transfer CCD

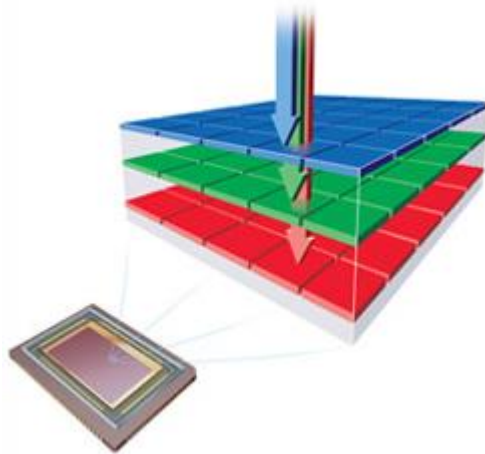
3.2.2 CMOS

Η πιο ανταγωνιστική τεχνολογία του CCD, είναι το CMOS, που χρησιμοποιείται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Οι αισθητήρες CMOS κατασκευάζονται με τη μέθοδο της λιθογραφίας, ανάλογης τεχνικής δηλαδή με εκείνη που κατασκευάζονται οι επεξεργαστές για τους υπολογιστές. Οι αισθητήρες αυτής της τεχνολογίας αποτελούνται από εκατομμύρια pixel. Το καθένα από αυτά τα pixel αποτελεί ουσιαστικά ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αφού μέσα σε αυτό γίνεται η σύλληψη του φωτός, η μετατροπή του σε τάση και η κωδικοποίησή του σε ένα ψηφιακό αριθμό. Η κύρια λοιπόν διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών είναι ότι ενώ στους CCD αισθητήρες το κάθε pixel παράγει μόνο ένα ηλεκτρικό σήμα (ρεύμα), στους αισθητήρες CMOS το αντίστοιχο pixel παράγει αμέσως το ψηφιακό νούμερο που απαιτείται για την δημιουργία της εικόνας. Αυτό το χαρακτηριστικό, τους κάνει να είναι πολύ μικροί σε μέγεθος, γι' αυτό άλλωστε χρησιμοποιούνται σε όλες τις μικρές ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές (ενσωματωμένες στα κινητά τηλέφωνα, webcams, κ.λπ.). Το μειονέκτημα τους είναι ότι δημιουργεί στην ψηφιακή εικόνα το φαινόμενο του έντονου θορύβου όποτε ποιοτικά το αποτέλεσμα υστερεί σε σχέση με τους αισθητήρες CCD. Τα τελευταία χρόνια όμως, έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες που περιορίζουν τον θόρυβο και δίνουν αποτελέσματα εφάμιλλα με τους CCD, με κόστος φυσικά πολύ χαμηλότερο.

3.2.3 Foveon x3

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, οι δύο βασικοί αισθητήρες είναι οι CCD και οι CMOS. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και ένας νέος ψηφιακός αισθητήρας ο Foveon x3. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες βασίζονται στην λειτουργία της έγχρωμης αναλογικής φωτογραφία, δηλαδή στη συνένωση 3 φωτογραφιών που έχουν τραβηχτεί χρησιμοποιώντας 3 φίλτρα χρώματος Κόκκινο,

Πράσινο και Μπλε (RGB). Οι αισθητήρες Foveon X3 εμπεριέχουν δηλαδή 3 φωτοευαίσθητα χρωματικά πλέγματα (RGB), τοποθετημένα το ένα πάνω από το άλλο, (εικόνα 3.8)[12].

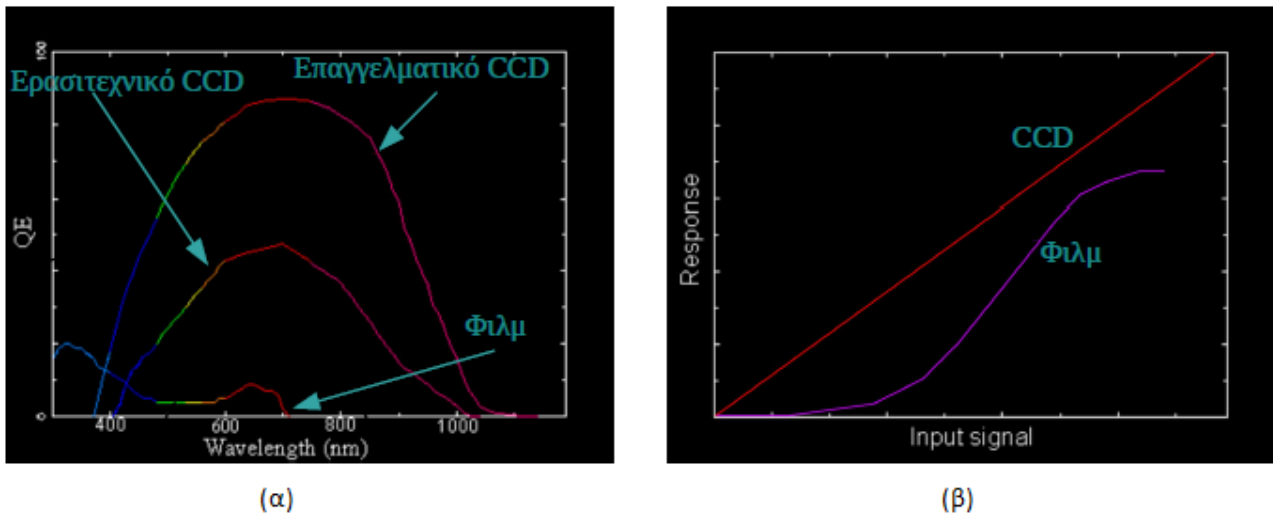


Εικόνα 3.8: Αισθητήρας Foveon x3

Πιο κοντά στο εισερχόμενο φως (δηλαδή στον φακό) είναι το μπλε, και στην συνέχεια το πράσινο και το κόκκινο. Σε κάθε χρωματικό πλέγμα συλλέγεται η πληροφορία του μπλε του πράσινου και του κόκκινου και στην συνέχεια καταγράφονται, όλες μαζί οι πληροφορίες του κάθε χρώματος, στον αισθητήρα που βρίσκεται από κάτω. Όπως είναι λογικό, οι Foveon x3, μπορούν να συλλέξουν περισσότερες χρωματικές πληροφορίες αφού το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να καταγράψει και ένα διαφορετικό χρώμα. Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να δημιουργείται ένα πλέγμα από 4 εικονοστοιχεία ώστε να αποδώσουν 1 ακριβές χρώμα, όπως αναφέρθηκε στους αισθητήρες που χρησιμοποιούν το φίλτρο τύπου Bayer.

3.3 Σύγκριση μεταξύ CCD και Φιλμ

Έχοντας γνωρίσει τους αισθητήρες CCD και τα φιλμ, είμαστε σε θέση να κάνουμε μία σύγκριση μεταξύ τους ούτως ώστε να δούμε πιο ξεκάθαρα τις διαφορές μεταξύ τους. Η πρώτη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο σχετίζεται με την απόδοση. Αναφορικά λοιπόν, το CCD έχει μεγαλύτερη κβαντική απόδοση, από το φιλμ, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να συλλεχθεί πολύ περισσότερη πληροφορία σε μικρότερο χρόνο έκθεσης, ή να μελετηθούν ποιο αδύναμα σήματα. Αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό μέσα και από το γράφιμα της εικόνας 3.9(α) που ακολουθεί, όπου παρουσιάζεται η φασματική απόκριση ενός ερασιτεχνικού CCD, ενός επαγγελματικού CCD και ενός φιλμ[10].



Εικόνα 3.9: α) Φασματική απόκριση (QE), συναρτήσεως του μήκους κύματος, μεταξύ δύο CCD αισθητήρων και του φιλμ, β) απόκριση του CCD και του φιλμ ως συνάρτηση του μεγέθους του σήματος.

Βλέπουμε λοιπόν ότι τα CCD έχουν μεγαλύτερο φάσμα ανίχνευσης (400nm – 1000nm) σε σχέση με το φιλμ (300nm – 700nm). Ακόμα τα CCD έχουν μεγαλύτερη απόκριση σε σχέση με το φιλμ σε όλο το κοινό τους φάσμα. Επιπλέον μέσα από την εικόνα 3.9β μπορούμε να δούμε ότι το CCD έχει γραμμική απόκριση εισόδου-εξόδου, κάτι που δε συμβαίνει στο φιλμ, το οποίο έχει σχεδόν μηδενική απόκριση σε πολύ χαμηλά σήματα εισόδου.

3.4 Σύγκριση μεταξύ CCD και CMOS

Οι τεχνολογίες των CCD των CMOS είναι οι δύο κυρίαρχες τεχνολογίες στον τομέα των ψηφιακών αισθητήρων καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει σημαντικές διαφορές. Η πρώτη μεγάλη διαφορά τους έγκειται στον τρόπο λειτουργίας των pixel τους. Τα pixel ενός CCD αισθητήρα παράγουν στην έξοδό τους ηλεκτρικό φορτίο (ρεύμα) ενώ τα αντίστοιχα pixel των CMOS παράγουν μία τάση. Επίσης στους αισθητήρες φωτός CMOS, κάθε pixel είναι ένας ξεχωριστός ανιχνευτής, κάτι που τους κάνει μεγαλύτερους από τους CCD. Μία εξίσου σημαντική διαφορά αφορά την κατανάλωση ενέργειας, η οποία σε έναν CCD αισθητήρα φτάνει περίπου τα 2-5 Watt ενώ του CMOS είναι μόλις 20-50 mWatt. Το πλεονέκτημα όμως ενός CCD είναι ότι είναι πιο φωτοευαίσθητος και έχει υψηλότερο συντελεστή φωτεινότητας.

Γενικά θα λέγαμε ότι ένας CMOS είναι πολύ φτηνότερος και χρησιμοποιείται μαζικά σε κινητά τηλέφωνα, παιχνίδια και φτηνές κάμερες, ενώ σε εφαρμογές, όπως αυτή των τηλεσκοπίων, όπου απαιτείται μεγαλύτερη ποιότητα χρησιμοποιείται ο CCD.

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας, στον οποίο καταγράφονται συνοπτικά οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών αισθητήρων (εικόνα 3.10) [8].

χαρακτηριστικό	CCD	CMOS
έξοδος από εικονοστοιχείο	ηλεκτρονικό φορτίο	τάση
έξοδος από chip (IC)	τάση	Bits
έξοδος από κάμερα	Bits	Bits
πολυπλοκότητα αισθητήρα	χαμηλή	υψηλή
συντελεστής φωτεινότητας (fill factor)	υψηλός	μέτριος
ταχύτητα λειτουργίας	μέτρια προς υψηλή	υψηλή
απόκριση	μέτρια	μέτρια προς υψηλή
κόστος κατασκευής	υψηλό	χαμηλό
στοιχεία κάμερας (camera components)	αισθητήρας, πολλαπλά chips, φακός	αισθητήρας, πιθανή υποστήριξη με chip, φακός
καταναλώσιμη ενέργεια	υψηλή	χαμηλή, 10 φορές λιγότερη

Εικόνα 3.10: Διαφορές μεταξύ CCD και CMOS

3.5 Διαστάσεις Αισθητήρων

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στον σχεδιασμό μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής είναι το μέγεθος του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί. Τα μεγέθη των αισθητήρων ποικίλλουν αναλόγως το ποιοτικό αποτέλεσμα που χρειάζεται ο απευθυνόμενος χρήστης. Οι διαστάσεις λοιπόν, χαρακτηρίζονται από την διαγώνια απόσταση του πλάτους και ύψους του αισθητήρα. Η διαγώνιος, πάντα μετράται σε ίντσες και κάποια μεγέθη που χρησιμοποιούνται σε μαζικής παραγωγής ψηφιακές κάμερες είναι $1/2''$, $1/3''$, $2/3''$, κ.λπ.. Αναλυτικότερα, οι διαστάσεις φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (εικόνα 3.11) [13].

Sensor size comparison chart

Type	1/3"	1/2"	2/3"	4/3"	APS-C	Canon Nikon Pentax DX	Super 35	APS-H	35mm Full Frame
sensor w x h	4.8 x 3.6mm	6.4 x 4.8mm	8.8 x 6.6mm	17.8 x 10mm	22.2 x 14.8mm	23.6 x 15.5mm*	24.89 x 18.66mm	28.7 x 19.1mm	36 x 24mm
sensor diagonal	6mm	8mm	11mm	20.41mm	26.7mm	28.4mm	31.1mm	34.5mm	43.3mm
sensor area	17.3mm ²	30.7mm ²	58.1mm ²	178mm ²	329mm ²	366mm ^{2*}	464.44mm ²	548mm ²	864mm ²
crop factor	7.21	5.41	3.93	2	1.62	1.52	1.39	1.26	1
applicable cameras				Panasonic AG-AF101	Canon EOS 7D Canon EOS 60D Canon EOS 50D Sony NEX-VG10E	*Approx	Arri Alexa Sony PMW-F3 Sony SRW-9000PL Sony F35		Canon EOS 5D MkII Nikon D3s

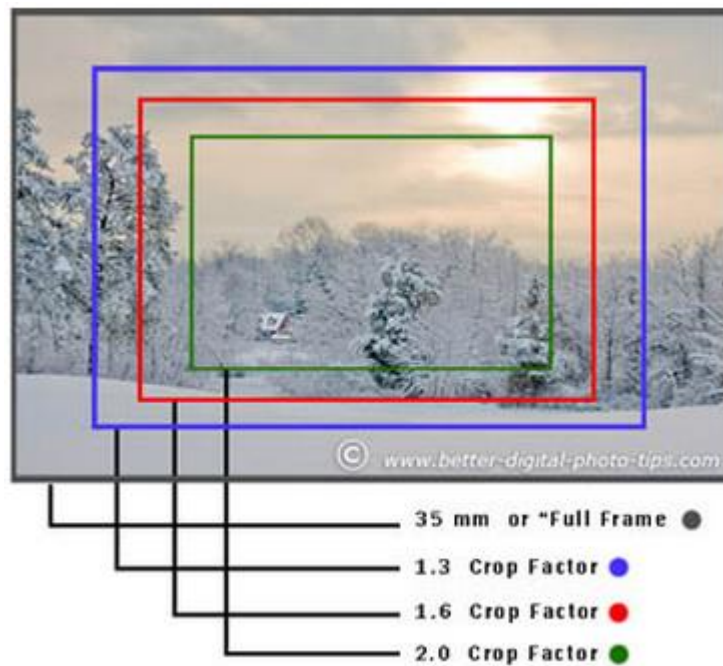
© Copyright CVP 2010

Εικόνα 3.11: Μεγέθη και χαρακτηριστικά των ψηφιακών αισθητήρων

Στην πρώτη σειρά του πίνακα παρουσιάζονται οι διαστάσεις, πλάτος επί ύψος, για κάθε ένα αισθητήρα. Στην δεύτερη σειρά καταγράφεται το μήκος της διαγωνίου, ενώ στην τρίτη η επιφάνεια του αισθητήρα σε τετραγωνικά χιλιοστά. Στην τρίτη στήλη φαίνεται το crop factor ενός αισθητήρα και στην τέταρτη κάποια ενδεικτικά είδη κάμερας που συναντάμε το κάθε είδος αισθητήρα.

Το σημαντικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά στο οποίο πρέπει να δώσουμε μεγαλύτερη σημασία είναι το crop factor. Το crop factor εκφράζει την αναλογία της εικονιζόμενης επιφάνειας του αισθητήρα σε σχέση με ένα φορμά αναφοράς. Ως φορμά αναφοράς χρησιμοποιείται το φιλμ των 35 χιλιοστών. Ο υπολογισμός του crop factor, προκύπτει από τη διαίρεση του μέτρου της διαγωνίου του φιλμ των 35mm, που ισούται με 43.3mm, με το μέτρο της διαγωνίου του αισθητήρα. Πιο συγκεκριμένα για ένα αισθητήρα τύπου 1/3", το crop factor του ισούται με $43.3\text{mm}/6\text{mm}=7.21\text{mm}$. Όπως είναι λογικό λοιπόν, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του αισθητήρα τόσο μικρότερο είναι το crop factor, δηλαδή τόσο περισσότερο αυξάνει η επιφάνεια που μπορεί να απεικονίσει ο αισθητήρας. Αυτό μπορούμε να το καταλάβουμε καλύτερα με την βοήθεια και της εικόνας 3.12[14].

Στην εικόνα αυτή προβάλλεται μία φωτογραφία τραβηγμένη από το ίδιο σημείο για τέσσερις διαφορετικούς, σε μέγεθος, αισθητήρες. Με πράσινο πλαίσιο δηλώνονται τα όρια της φωτογραφίας, δηλαδή αυτό που θα βλέπαμε, αν χρησιμοποιούσαμε ένα φακό (τύπου 4/3") με crop factor 2,0. Αντίστοιχα, με γκρι πλαίσιο φαίνονται τα όρια της φωτογραφίας να χρησιμοποιούσαμε ένα full frame φακό. Καταλαβαίνουμε, λοιπόν, πόσο σημαντικό ρόλο παίζει το μέγεθος ενός αισθητήρα, αφού όσο μεγαλύτερος είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η ανάλυση (διαστάσεις) της φωτογραφίας.



Εικόνα 3.12: Η ίδια εικόνα τραβηγμένη για διαφορετικά μεγέθη αισθητήρα

Στο παρόν κεφάλαιο γνωρίσαμε το μέσο με το οποίο γίνεται η καταγραφή της εικόνας από μία φωτογραφική κάμερα, είτε αυτή είναι αναλογική είτε είναι ψηφιακή και έγινε μία εκτενής αναφορά στα χαρακτηριστικά τους. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γνωρίσουμε, πώς μέσα από τη σύλληψη (καταγραφή) πολλών διαδοχικών εικόνων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα οδηγεί στη δημιουργία του βίντεο, σαν διαδοχικό και συνεχόμενο αποτέλεσμα πολλών πεπερασμένων καρέ.

4. Αναλογικό Βίντεο

Μέσα από τα κεφάλαια 2 και 3 γνωρίσαμε τη διαδικασία που απαιτείται για την σωστή λήψη μίας εικόνας καθώς επίσης και τον τρόπο που αυτή αποτυπώνεται μέσα στην κάμερα. Επίσης γνωρίσαμε και αναλύσαμε το μέσο (φίλμ ή αισθητήρας) που χρησιμοποιούμε για να γίνει εφικτή η καταγραφή της εικόνας, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την περαιτέρω επεξεργασία της.

Κατ' ουσία το βίντεο είναι μια αλληλουχία εικόνων οι οποίες διαδέχονται η μια την άλλη με τέτοια ταχύτητα (1/30 -1/25 του δευτερολέπτου) ώστε να δίνουν την ψευδαίσθηση της φυσικής κίνησης. Το βίντεο μπορεί να είναι σε αναλογική ή σε ψηφιακή μορφή.

4.1 Χρωματικά Πρότυπα Μετάδοσης Βίντεο

Το βίντεο παραδοσιακά λαμβάνεται, εγγράφεται, αποθηκεύεται και μεταδίδεται σε αναλογική μορφή. Το αναλογικό σήμα βίντεο αναφέρεται σε ένα μονοδιάστατο ηλεκτρικό σήμα σε συνάρτηση με το χρόνο και το οποίο προκύπτει από δειγματοληψία κατά την κάθετη συνιστώσα των εικόνων της ακολουθίας.

Κατά την περίπτωση όπου έχουμε έγχρωμο σήμα βίντεο θεωρούμε ότι αυτό προκύπτει από τη σύνθεση τριών συνιστωσών που αντιστοιχούν στα τρία βασικά χρώματα: κόκκινο (R), πράσινο (G) και μπλε (B). Υπάρχουν διάφορα πρότυπα αναλογικού βίντεο, διακρινόμενα ανάλογα με τον τρόπο που διαχειρίζονται τις χρωματικές συνιστώσες στις εξής μορφές: α) Component αναλογικό βίντεο, β) Composite αναλογικό βίντεο, γ) S-video

Στο *component* αναλογικό βίντεο το σήμα μεταφέρεται μέσω τριών διαφορετικών συνιστωσών οι οποίες είναι οι πληροφορίες για τα τρία πρωτεύοντα χρώματα του μοντέλου RGB. Λόγω όμως της ανάγκης για συμβατότητα, αποδοτικότερη μετάδοση και συμπίεση, έγινε διαχωρισμός των χρωματικών συνιστωσών και της φωτεινότητας. Έτσι μετασχηματίστηκε από RGB σε YUV όπου Y= φωτεινότητα ή luminance, U= πληροφορία χρώματος (Cb) και V= πληροφορία χρώματος (Cr). Η συνιστώσα φωτεινότητας (luminance) που αντιστοιχεί στο επίπεδο της gray αναπαράστασης του βίντεο δίνεται από τη σχέση: $Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$. Ενώ οι συνιστώσες που περιέχουν την χρωματική πληροφορία δίνονται από τις σχέσεις $Cr = R - Y$ και $Cb = B - Y$. Το σήμα Component είναι το καλύτερο ποιοτικά σήμα.

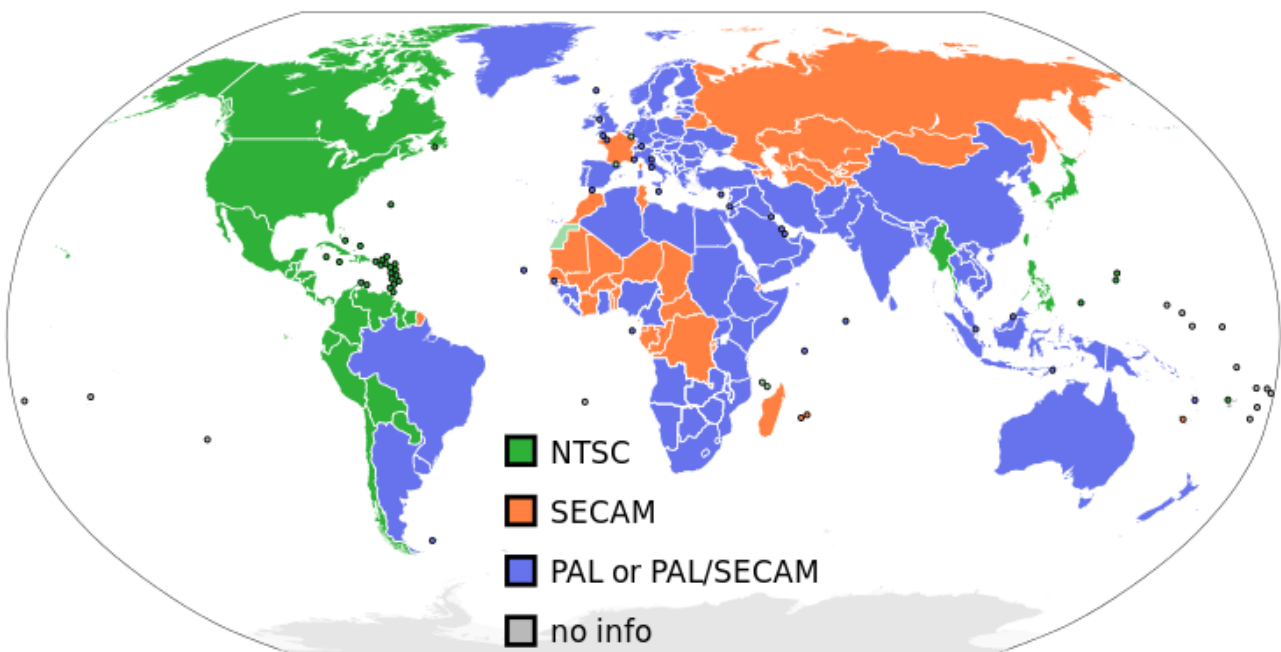
Το *S-video* έχει παρόμοια μορφή με το component αναλογικό βίντεο αφού μεταφέρεται από δύο συνιστώσες, μια της φωτεινότητας Y και μια της χρωματικότητας C. Η τελευταία δημιουργείται από την σύνθεση των U και V. Το σήμα S-video συχνά αναφέρεται και ως σήμα Y/C. Το σήμα αυτό είναι συμπιεσμένο ως προς τη χρωματικότητα και η ποιότητά του είναι χαμηλότερη από το Component.

Το *composite* αναλογικό βίντεο δημιουργείται συνθέτοντας τα δύο σήματα Y και C, σε ένα σύνθετο σήμα το οποίο μεταφέρει την πληροφορία της φωτεινότητας και του χρώματος. Είναι το πλέον συμπιεσμένο σήμα και το χαμηλότερο ποιοτικά. Το

Composite (σύνθετο σήμα) είναι το πιο συνηθισμένο σήμα (το PAL και το NTSC μεταδίδουν σήμα Composite, οι απλές μηχανές Video δηλαδή οι VHS και οι Video8 φέρουν σήμα Composite) [16].

4.2 Τηλεοπτικά Σήματα - Πρότυπα Μετάδοσης

Τα πρότυπα που αναλύσαμε παραπάνω ασχολούνται με την μετάδοση σημάτων video. Για τα τηλεοπτικά σήματα υπάρχουν τα πρότυπα NTSC, PAL και SECAM. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τις χώρες που χρησιμοποιείται κάθε ένα από αυτά (εικόνα 4.1)[17].



Εικόνα 4.1: Πρότυπα μετάδοσης αναλογικού σήματος βίντεο παγκοσμίως

4.2.1 NTSC

Το πρότυπο *NTSC* (**N**ational **T**ele**v**ision **S**ystem **C**ommittee) αποτελεί το πρώτο τηλεοπτικό σύστημα μετάδοσης έγχρωμου video και δημιουργήθηκε στις Η.Π.Α το 1953. Το πρότυπο αυτό, χρησιμοποιείται σήμερα σε πολλές πολιτείες της αμερικανικής ηπείρου αλλά και σε πολλές ασιατικές χώρες συμπεριλαμβανομένης και της Ιαπωνίας. Το πρότυπο εκπέμπει διαπλεκόμενη εικόνα με 525 συνολικά οριζόντιες γραμμές (262.5 γραμμές σε κάθε πεδίο, από τις οποίες οι 45 χρησιμοποιούνται για πληροφορίες ελέγχου). Επομένως, το οπτικό πεδίο αποτελείται από μόνο 480 γραμμές σάρωσης. Η συχνότητα ανανέωσης στο σύστημα αυτό είναι 60 Hz, δηλαδή 30 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο. Το σύστημα NTSC χρησιμοποιεί το χρωματικό μοντέλο Composite

και ο λόγος της εικόνας είναι 4:3. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικά του χαρακτηριστικά (εικόνα 4.2).

NTSC	
Γραμμές ανά πεδίο (Lines / Field)	525/60
Οριζόντια Συχνότητα (Horizontal Frequency)	15.734 kHz
Κατακόρυφη Συχνότητα (Vertical Frequency)	60 Hz
Συχνότητα χρωματικού φέροντος (Color Sub carrier Frequency)	3.579545 MHz
Εύρος Ζώνης Video (Video Bandwidth)	4.2 MHz
Συχνότητα ηχητικού φέροντος (Sound Carrier)	4.5 MHz

Εικόνα 4.2: Βασικά χαρακτηριστικά NTSC

Επειδή το μεγαλύτερο μέρος του περιεχομένου ταινιών κινηματογράφου δημιουργείται σε 24 FPS (frame per second-καρέ ανά δευτερόλεπτο), για να ανταποκρίνεται στο πρότυπο NTSC, πρέπει να προστεθούν επιπλέον πλαίσια, για να φτάσει η απαίτηση 30 FPS. Αυτό γίνεται μέσω ενός αλγορίθμου που δημιουργεί ένα ενδιάμεσο καρέ ανάμεσα σε δύο άλλα καρέ. Η διαδικασία που αφαιρεί τα πλαίσια που προστέθηκαν έτσι ώστε στο τέλος να προκύψουν μόνο 30 FPS είναι γνωστή ως αντίστροφο στοιχείο τηλεκινηματογράφου.

4.2.2 PAL

Το σύστημα *PAL* αναπτύχθηκε στην Γερμανία από τον Walter Bruch το 1967. Χρησιμοποιείται στην Ευρώπη και στην Ασία με εύρος ζώνης 6.5 MHz. Εκπέμπει εικόνα με 625 συνολικά οριζόντιες γραμμές και η συχνότητα ανανέωσης είναι 25 πλαίσια / sec. Κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε δύο πεδία (σύμπλεξη) από 312.5 γραμμές. Στο σύστημα PAL, χρησιμοποιείται το χρωματικό μοντέλο YUV, και ο λόγος της εικόνας είναι 4:3. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικά του χαρακτηριστικά (εικόνα 4.3).

ΣΥΣΤΗΜΑ	PAL B,G,H	PAL I	PAL D	PAL N	PAL M
Γραμμές ανά πεδίο (Lines/Field)	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60
Οριζόντια Συχνότητα (Horizontal Frequency)	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.750 kHz
Κατακόρυφη Συχνότητα (Vertical Frequency)	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Συχνότητα χρωματικού φέροντος (Color Sub carrier Frequency)	4.433618 MHz	4.433618 MHz	4.433618 MHz	3.582056 MHz	3.575611 MHz
Εύρος Ζώνης Video (Video Bandwidth)	5.0 MHz	5.5 MHz	6.0 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz
Συχνότητα ηχητικού φέροντος (Sound Carrier)	5.5 MHz	6.0 MHz	6.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz

Εικόνα 4.3: Χαρακτηριστικά συστημάτων PAL

Τα γράμματα B, G, D, K, ή I χρησιμοποιούνται για την ανατολική και δυτική Ευρώπη την Αυστραλία, την Νέα Ζηλανδία και κάποιες χώρες της Αφρικής.

4.2.3 SECAM

Το πρότυπο *SECAM* (Sequential Couleur Avec Memoire ή Sequential Color with Memory) εμφανίστηκε επίσης στις αρχές του 1960 και εφαρμόστηκε στην Γαλλία, στην Ανατολική Ευρώπη (Ρωσία) και κάποιες περιοχές της Αφρικής. Το πρότυπο χρησιμοποιεί το ίδιο εύρος ζώνης με το σύστημα PAL αλλά μεταδίδει την χρωματική πληροφορία σειριακά. Το πρότυπο έχει προκαθορίσει επίσης 625 γραμμές ανά καρέ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βασικά του χαρακτηριστικά (εικόνα 4.4).

ΣΥΣΤΗΜΑ	SECAM B,G,H	SECAM D,K,K1,L
Γραμμές ανά πεδίο (Lines/Field)	625/50	625/50
Οριζόντια Συχνότητα (Horizontal Frequency)	15.625 kHz	15.625 kHz
Κατακόρυφη Συχνότητα (Vertical Frequency)	50 Hz	50 Hz
Εύρος Ζώνης Video (Video Bandwidth)	5.0 MHz	6.0 MHz
Συχνότητα ηχητικού φέροντος (Sound Carrier)	5.5 MHz	6.5 MHz

Εικόνα 4.4: Χαρακτηριστικά SECAM

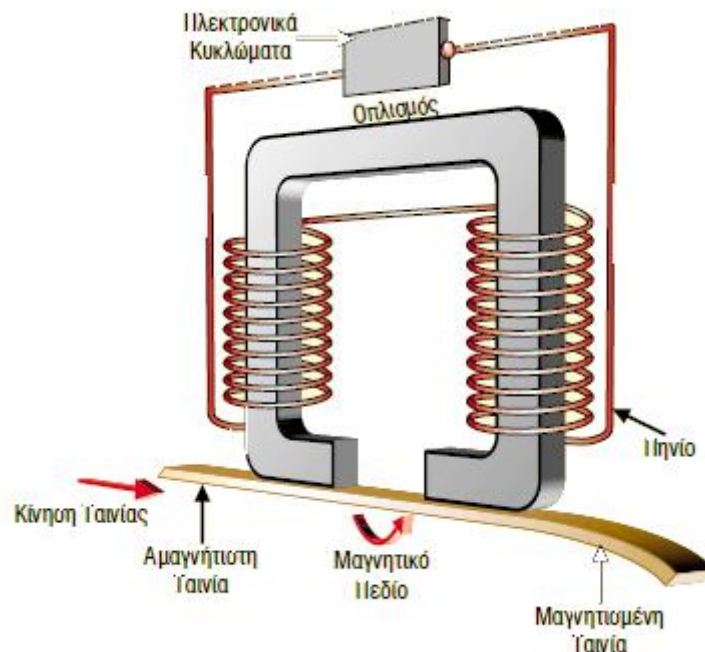
Τα γράμματα B και G χρησιμοποιούνται για την Γερμανία και την Ελλάδα.

4.3 Πρότυπα Εγγραφής^[18]

Από την εποχή που ο Jack Mullin παρουσίασε στις ΗΠΑ τη μαγνητική εγγραφή ήχου χρησιμοποιώντας δύο συσκευές tape recorder γερμανικής προέλευσης, υπήρχε τεράστιο ενδιαφέρον και για την καταγραφή της εικόνας. Τα πρώτα βήματα έγιναν το 1951, από την εταιρία Ampex, η οποία είχε την ιδέα να χρησιμοποιήσει μία γρήγορα περιστρεφόμενη κεφαλή που θα έγραφε σε μία κινούμενη ταινία μικρότερης ταχύτητας. Για να γίνει αυτό πραγματικότητα η Ampex διέθεσε χρήματα για έρευνα και προσέλαβε τον Charlie Ginsburg ο οποίος ηγήθηκε μίας ομάδας επιστημών που έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη της μηχανής βιντεοταινιών. Ένα χρόνο αργότερα, το 1952, δημιούργησε τη μηχανή Videotape, η οποία χρησιμοποιούσε ένα σύστημα τοξοειδούς σάρωσης με τρεις κεφαλές που επέτρεπαν τη διαμόρφωση της εικόνας κατά πλάτος. Οι έρευνες συνεχίστηκαν και το 1956 κατασκευάστηκε το πρώτο μηχάνημα εγγραφής εικόνας σε μαγνητική ταινία, το VR-1000, το οποίο εφάρμοζε ένα σύστημα ελικοειδούς σάρωσης και χρησιμοποιούσε βιντεοταινία πλάτους δύο ιντσών.

4.3.1 Μαγνητική Ταινία

Όπως έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα το πρώτο μέσο που χρησιμοποιήθηκε για την εγγραφή εικόνας ήταν η μαγνητική ταινία. Για την επεξήγηση της αρχής λειτουργίας της μαγνητικής εγγραφής θα χρησιμοποιήσουμε την εικόνα 4.5^[18].



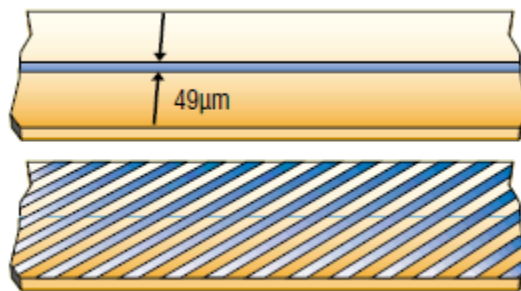
Εικόνα 4.5: Μαγνητική εγγραφή

Το πηνίο είναι τυλιγμένο γύρω από τον οπλισμό και δημιουργεί μαζί του ένα ηλεκτρομαγνήτη. Μόλις περνά ρεύμα από το πηνίο, δημιουργείται το μαγνητικό πεδίο

στο διάκενο των οπλισμών το οποίο μαγνητίζει μόνιμα το παραμαγνητικό υλικό της ταινίας, η οποία κινείται με σταθερή ταχύτητα μπροστά από το διάκενο.

Το μαγνητικό πεδίο εφαρμόζεται μόνο μία φορά, αλλά αν είναι πολύ ισχυρό τότε η επιφάνεια της ταινίας αποκτά καμπυλότητα και αυτό μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο σημείο επαφής της κεφαλής με την ταινία. Είναι πολύ σημαντικό η ίδια η μαγνητική επιφάνεια να είναι μεταλλική και να μην προέρχεται από κάποιο οξειδίο μέταλλου. Η ταινία πρέπει να είναι λεπτή και να παραμένει εύκαμπτη έπειτα από κάθε χρήση. Διαφορετικά θα δυσκολευτεί να κινηθεί μέσα από τις κεφαλές και τα τύμπανα του μηχανισμού εγγραφής και θα υπάρχει αλλοίωση της εικόνας. Έτσι έχουμε την επίστρωση του βασικού μέρους της ταινίας που είναι κατασκευασμένο από πολυεστέρα με το μέταλλο που έχει προκύψει από την θέρμανση σε κενό νικελίου, σιδήρου και κοβαλτίου. Τελευταίο στάδιο στην κατασκευή της ταινίας είναι η λίπανση της επιφάνειάς της για την εύκολη κίνηση ανάμεσα στα μηχανικά μέρη της συσκευής.

Το σοβαρότερο πρόβλημα που παρουσίαζε η εγγραφή της εικόνας σε μαγνητική ταινία, με τον τρόπο που αναφέρθηκε, ήταν ο χώρος που απαιτούνταν. Αφού με συχνότητες από 30Hz – 5MHz, δηλαδή εύρος ζώνης 18 οκτάβες, απαιτούνταν πολύ μεγάλου μήκους ταινίες. Επίσης το τεράστιο εύρος του σήματος απαιτούσε μεγαλύτερη ταχύτητα εγγραφής άρα και κατασκευή καινούριων ειδικών κεφαλών. Έπρεπε, λοιπόν να δοθεί μία λύση για να μειωθεί το εύρος συχνοτήτων του σήματος της εικόνας. Η λύση του προβλήματος βρέθηκε στην κάθετη ελικοειδή εγγραφή (εικόνα 4.6) με διαμόρφωση κατά FM. Σύμφωνα με την διαμόρφωση αυτή το σήμα καταλάμβανε εύρος τριών οκτάβων[18].



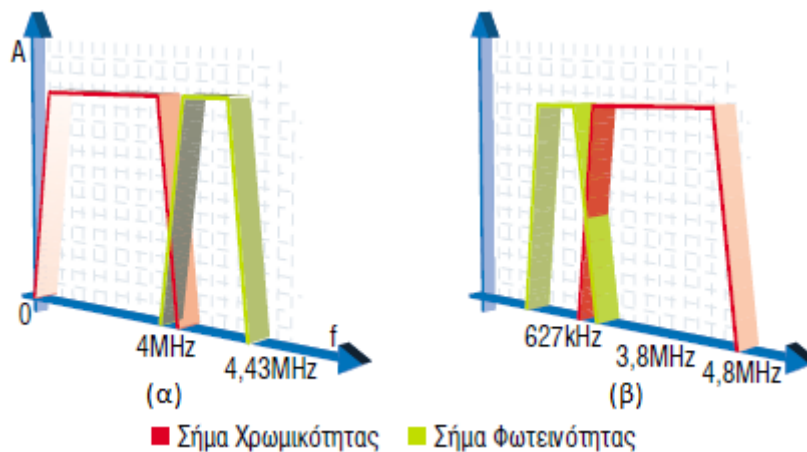
Εικόνα 4.6: Ελικοειδής εγγραφή

Όπως βλέπουμε και από παραπάνω εικόνα, η ελικοειδής εγγραφή εκμεταλλεύεται σχεδόν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της ταινίας, σε αντίθεση με την ευθύγραμμη που αρχικά χρησιμοποιούνταν. Με τον τρόπο αυτό επετεύχθη η θεαματική μείωση του συνολικού χώρου που καταλάμβανε η πληροφορία του σήματος εικόνας.

4.3.2 VHS

Ενώ λοιπόν φαινόταν πως τα προβλήματα είχαν λυθεί, προέκυψε ένα νέο πρόβλημα με την εφαρμογή της ελικοειδούς σάρωσης. Η ταινία έπρεπε να τυλιχθεί γύρω από έναν κύλινδρο και να περάσει από ένα μεγάλο αριθμό κεφαλών και εγκατεστημένων οδηγών. Οι πρώτες λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού ήρθαν από την Sony. Παρόλα αυτά, ορισμένες τεχνικές ατέλειες εμπόδιζαν τα συστήματά της να δουλέψουν καλά και αποδοτικά, οδηγώντας έτσι την εταιρία στο να εγκαταλείψει τις προσπάθειες το 1966. Την ίδια χρονιά η JVC αγόρασε τα πνευματικά δικαιώματα των παραπάνω συστημάτων, κατάφερε να ξεπεράσει τις ατέλειες που παρουσιάζονταν και το χρησιμοποίησε σε ένα μηχάνημα που το ονόμασε Video Home Cinema, το γνωστό και ως VHS.

Το VHS σε ότι αφορά την εγγραφή και μετάδοση του χρώματος, ανήκει στην κατηγορία του composite βίντεο, δηλαδή το σήμα εικόνας περιέχει τις πληροφορίες χρώματος C και φωτεινότητας Y. Το σήμα χρωματικότητας στα τηλεοπτικά συστήματα είναι διαμορφωμένο σε μία υποφέρουσα συχνότητα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του φάσματος (4.43MHz στο PAL και 3.58MHz στο NTSC εικόνα 4.7)[18].



Εικόνα 4.7: Σήμα χρωματικότητας και φωτεινότητας στα συστήματα α) PAL, β) NTSC

Όμως στο σημείο αυτό, κατά την εγγραφή, πέφτει η απόδοση του συστήματος κεφαλής-ταινίας. Άμα, λοιπόν, κάνουμε άμεση καταγραφή των δύο σημάτων, ενδέχεται να υπάρχουν απώλειες στη χρωματικότητα. Παρόλα αυτά εμείς θέλουμε το σήμα φωτεινότητας να βρίσκεται ψηλά στο φάσμα συχνοτήτων, αφού με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση της ανάλυσης της εικόνας. Για τους λόγους αυτούς, στο VHS το σήμα φωτεινότητας μετατοπίζεται προς τα πάνω και το σήμα χρωματικότητας προς τα κάτω, ώστε να εξασφαλίσουμε ότι το χρώμα γράφεται σωστά, δεχόμενοι όμως την όποια μείωση στην ανάλυση της εικόνας. Γενικά στο VHS η ανάλυση του σήματος βίντεο είναι μεταξύ 260 και 320 γραμμών.

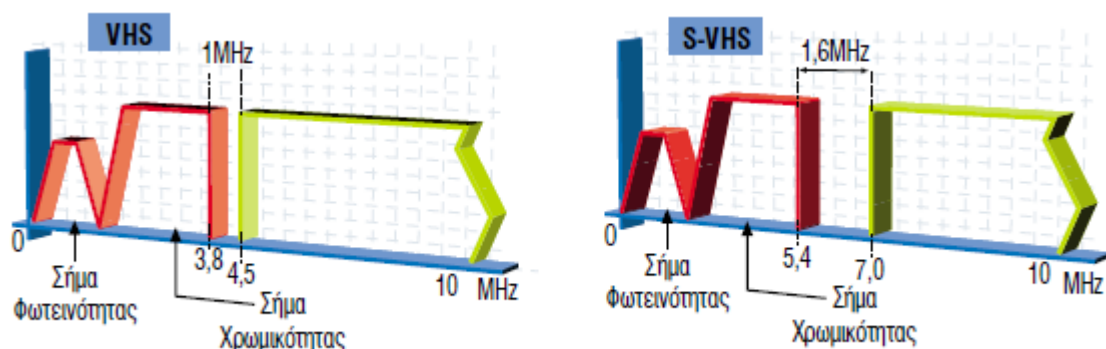
4.3.3 Beta

Ο τύπος Beta εμφανίστηκε το 1975, ένα χρόνο νωρίτερα από το VHS, από την εταιρία Sony. Το Beta ήταν ένα σύστημα πολύ υψηλών προδιαγραφών που βρήκε εφαρμογή στο χώρο της επαγγελματικής εικονοληψίας, αφού οι επιδόσεις του το καθιστούσαν εφάμιλλο των πολύ μεταγενέστερων ψηφιακών συστημάτων. Το χαρακτηριστικό του Beta ήταν η γρήγορη κίνηση της ταινίας που ως αποτέλεσμα είχε υψηλή ποιότητα εγγεγραμμένου σήματος αλλά και μικρούς χρόνους εγγραφής (ξεκίνησε με 1 ώρα εγγραφής και αργότερα έφτασε τις 2). Σημαντικό χαρακτηριστικό του, είναι το γεγονός ότι ανήκει στην κατηγορία του component βίντεο σε ότι αφορά την μετάδοση και εγγραφή του χρώματος. Όπως έχουμε είδη προαναφέρει το σήμα YUV αποτελεί το καλύτερο ποιοτικά σήμα, γεγονός που καταδεικνύει την πολύ καλή ποιότητά του. Ταυτόχρονα η ανάλυση ενός σήματος βίντεο, μορφής Beta, κυμαίνεται από 360 έως 500 γραμμές. Όλα αυτά έχουν σαν επακόλουθο το πολύ μεγάλο εύρος ζώνης που απαιτεί ένα τέτοιο σήμα, το οποίο είναι της τάξης των 7MHz.

4.3.4 S-VHS

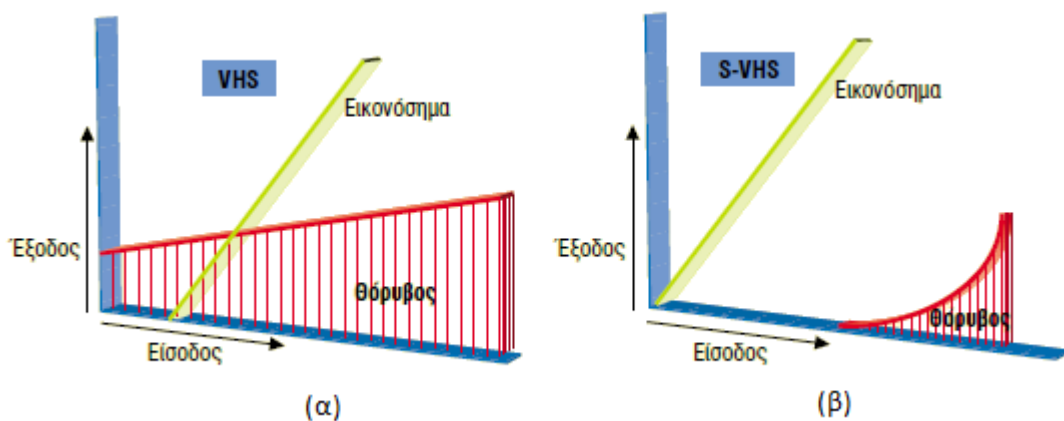
Το 1976 παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το VHS και έμελλε να μείνει για πολλά χρόνια χωρίς βελτιώσεις. Ο ένας λόγος ήταν ότι δεν είχε αντίπαλο μετά την επικράτησή του από το Beta. Όμως ο κύριος λόγος, αφορούσε τις τεχνολογικές εξελίξεις των μαγνητικών ταινιών, οι οποίες από το 1982 είχαν φτάσει την ανάλυση των 320 γραμμών. Παρόλο που η ανάλυση είχε αυξηθεί, οι ταινίες αυτές δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρύτερα στην αγορά, διότι απαιτούνταν τεράστιες αλλαγές σε τεχνικό επίπεδο, χωρίς να είναι απόλυτα σίγουρο ότι η απήχησή τους θα ήταν τέτοια ώστε να καλυφθεί το κόστος παραγωγής τους. Φτάνοντας στο 1987 η ανάλυση των ταινιών έφτασε μέχρι και τις 430 γραμμές. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις εκτιμήσεις που έδειχναν την τάση του αγοραστικού κοινού για νέες εφαρμογές οδήγησαν στη δημιουργία του συστήματος S-VHS. Πρώτα εμφανίστηκε στην Αμερική, και ένα χρόνο αργότερα εισήχθη και στην Ευρώπη. Το S-VHS έχει πολλές ομοιότητες με το σύστημα VHS, αλλά διαφέρει αρκετά ώστε να αποτελέσει μία ξεχωριστή κατηγορία.

Το S-VHS ανήκει στην κατηγορία του composite βίντεο, όπως το VHS, όμως μπορεί να αναπαράγει διαχωρισμένα τα σήματα χρωματικότητας (C) και φωτεινότητας (Y).



Εικόνα 4.8: Απόκλιση κατά FM του VHS και του S-VHS

Επίσης οι κασέτες S-VHS έχουν επίστρωση στην επιφάνειά τους που τους επιτρέπει την εγγραφή σημάτων υψηλής συχνότητας. Έτσι στο S-VHS, έχουμε αύξηση του εύρους του σήματος της φωτεινότητας από τα 3MHz στα 5MHz. Αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η διεύρυνση της απόκλισης κατά FM από 1MHz σε 1.6MHz (εικόνα 4.8), που συνεπάγεται και αύξηση της ανάλυσης στις 400 γραμμές. Με την αύξηση όμως του εύρους ζώνης αυξάνεται και η ανάγκη για μείωση του θορύβου. Για το λόγο αυτό στο S-VHS, χρησιμοποιείται παραβολική ενίσχυση ή εξασθένηση, του σήματος, εν σχέση με την γραμμική που χρησιμοποιεί το σύστημα VHS. Με τον τρόπο αυτό στις χαμηλές συχνότητες που υπάρχει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας έχουμε μικρή ενίσχυση οπότε δεν υπάρχουν προβλήματα κορεσμού στους διαμορφωτές. Ταυτόχρονα, στις υψηλές συχνότητες έχουμε μεγαλύτερη ενίσχυση, με αποτέλεσμα κατά την αποέμφαση να παρουσιάζεται μεγαλύτερη εξασθένηση του θορύβου, δηλαδή να έχουμε μεγαλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο (εικόνα 4.9).



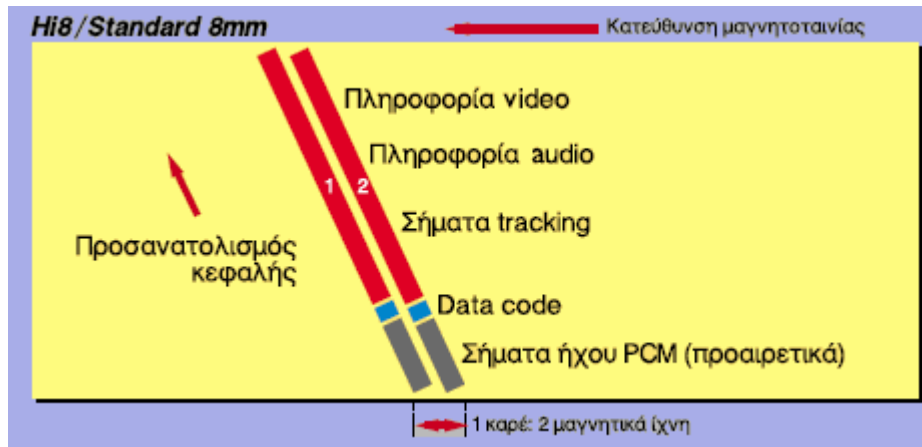
Εικόνα 4.9: α) Γραμμική ενίσχυση, β) Παραβολική ενίσχυση

4.3.5 Σύστημα 8mm και Hi-8

Εκτός όμως από το σύστημα S-VHS, τη δεκαετία του '90, εμφανίστηκε και το σύστημα 8mm, το οποίο πήρε το όνομά του από την ταινία των 8mm που χρησιμοποιούνταν για την εγγραφή της εικόνας. Το φορμά αυτό είχε αρκετές ομοιότητες με τα VHS και Beta, αλλά και σημαντικές διαφορές όπως το πλάτος της ταινίας, το σύστημα εγγραφής ήχου και το σύστημα αποθήκευσης πληροφοριών.

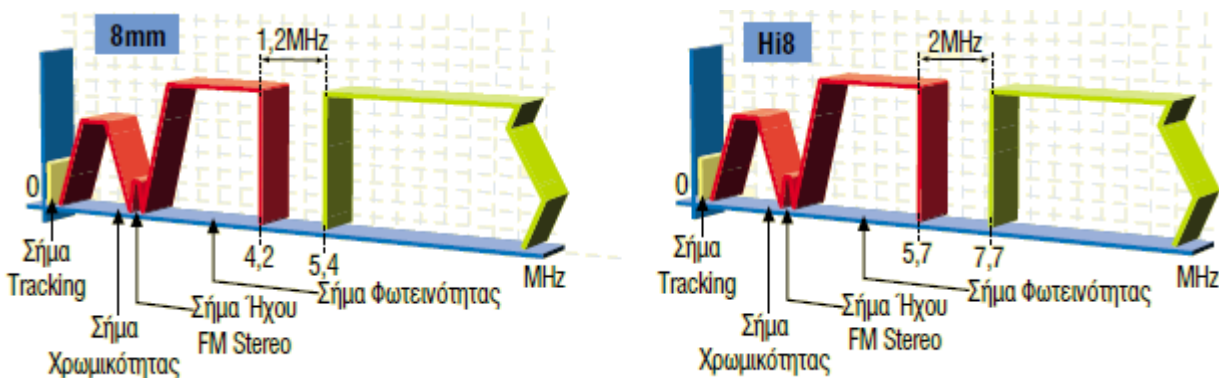
Σχετικά με το σύστημα εγγραφής, για το σήμα φωτεινότητας χρησιμοποιείται διαμόρφωση FM, ενώ η τεχνική που εφαρμόζεται είναι η ίδια με των άλλων συστημάτων εγγραφής, δηλαδή εγγραφή με διαχωρισμό του σήματος φωτεινότητας από το σήμα χρωματικότητας. Η διαφορά του, έναντι των υπολοίπων, έγκειται στον τρόπο εγγραφής της κεφαλής, που αντί για την καταγραφή παλμών από μία στατική κεφαλή, έχουμε τώρα δύο περιστρεφόμενες κεφαλές που εγγράφουν τόνους χαμηλής συχνότητας. Το σύστημα αυτό ονομάζεται ATF (Automatic Track Finding) και χρησιμοποιεί τέσσερα ίχνη τοποθετημένα παράλληλα (εικόνα 4.10)[18], καθένα εκ των οποίων έχει πάνω του ένα τόνο συγκεκριμένης συχνότητας που εγγράφεται από

την περιστρεφόμενη κεφαλή εικόνας. Ενώ δύο τόνοι εγγράφονται από κάθε μία από τις κεφαλές. Πρέπει να τονίσουμε ότι τα επίπεδα εγγραφής των σημάτων πρέπει να παραμένουν περίπου στα 14dB κάτω από το σήμα χρωματικότητας για να αποφεύγονται παράσιτα και εσωτερικές παρεμβολές.



Εικόνα 4.10: Τα ίχνη εγγραφής για τα συστήματα Hi-8/8mm

Βελτίωση του συστήματος των 8mm αποτελεί το Hi-8, το οποίο εμφανίστηκε το 1989 σε βιντεοκάμερες και συσκευές βίντεο, οι οποίες όμως δεν προορίζονταν για οικιακή χρήση. Οι διαφορές του Hi-8 εν σχέση με τον προκατόχο του είναι αρκετά σημαντικές. Πρώτον, το Hi-8 έχει μεγαλύτερο εύρος φωτεινότητας που φτάνει τα 5,4MHz, σε αντίθεση με των 8mm που έχει 3,4MHz. Δεύτερον, η ανάλυσή του είναι αρκετά αυξημένη αφού από τις 250 γραμμές του προκατόχου του, αυτό διαθέτει, τουλάχιστον, 420 γραμμές. Τρίτον, έχουμε σχεδόν εκμηδενισμό του θορύβου (πολύ μεγάλος λόγος σήματος προς θόρυβο), αφού η απόκλιση συχνότητας στη διαμόρφωση FM από 1,2MHz που ήταν γίνεται τώρα, στο Hi-8, 2MHz (εικόνα 4.11)[18].



Εικόνα 4.11: Η απόκλιση FM στο Hi 8 σε σχέση με τα 8mm

Μεγάλο προτέρημα του συστήματος Hi-8 είναι η συμβατότητά του με το σύστημα των 8mm, δηλαδή κασέτες που έχουν γραφτεί σε 8mm διαβάζονται από βιντεοκάμερες Hi-8.

4.4 Απεικόνιση Αναλογικού Βίντεο

Μέχρι τώρα, έχουμε γνωρίσει τον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιείται και μεταδίδεται το χρώμα ενός σήματος βίντεο καθώς επίσης και το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το ίδιο το σήμα βίντεο ανάλογα με το φορμά καταγραφής. Επιπλέον είδαμε ότι τα 24 καρέ ανά δευτερόλεπτο που δίνουν την αίσθηση της κινούμενης εικόνας, γίνονται 25 ή 30 καρέ (το δευτερόλεπτο) ανάλογα με το πρότυπο μετάδοσης του σήματος. Όμως, μέχρι τώρα, δεν έχουμε αναφερθεί καθόλου στο μέγεθος και τον τρόπο που τα καρέ αυτά προβάλλονται στον θεατή.

Το μέγεθος-διαστάσεις- των καρέ, δηλώνεται μέσω του όρου aspect ratio, που ουσιαστικά είναι ο λόγος του πλάτους της εικόνας προς το ύψος της. Έτσι στην συμβατική τηλεοπτική εικόνα έχουμε aspect ratio 4:3, στη τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας έχουμε 16:9 και ενώ στον κινηματογράφο έχουμε 2:1.

Ο τρόπος με τον οποίο, προβάλλεται το βίντεο στην τηλεοπτική σχετίζεται άμεσα με την ανάλυση και σάρωση της εικόνας. Σε ότι αφορά την ανάλυση, αναφερόμαστε στις οριζόντιες γραμμές στις οποίες αναλύεται ένα καρέ (συχνά αναφερόμενο και ως πλαίσιο). Η ανάλυση λοιπόν ενός αναλογικού σήματος βίντεο το οποίο μεταδίδεται στο ευρωπαϊκό τηλεοπτικό σύστημα (PAL) έχει ανάλυση 625 γραμμές, ενώ στο αμερικάνικο (NTSC), έχει 525 γραμμές. Ο τρόπος προβολής των γραμμών αυτών ορίζει και τον τρόπο σάρωσης της εικόνας. Γενικά, υπάρχουν δύο τρόποι σάρωσης, ο διαπλεκόμενος (interlaced) και ο συνεχής (non interlaced).

Στην διαπλεκόμενη σάρωση, το κάθε ένα πλαίσιο (καρέ) χωρίζεται σε δύο πεδία, το πάνω πεδίο (upper field) και το κάτω πεδίο (lower field). Το πάνω πεδίο περιλαμβάνει τις γραμμές περιττής τάξης, δηλαδή την 1^η, 3^η, 5^η, κλπ γραμμή, και το κάτω πεδίο περιλαμβάνει τις γραμμές άρτιας τάξης, δηλαδή την 2^η, 4^η, 6^η, κλπ γραμμή. Έτσι, η εικόνα δημιουργείται προβάλλοντας πρώτα το πάνω πεδίο και ύστερα το κάτω. Αντίθετα στην συνεχή σάρωση, συχνά αναφερόμενη και ως progressive scan, η εικόνα προβάλλεται μέσα από την συνεχόμενη σάρωση των γραμμών, χωρίς να δημιουργούνται πεδία.

Στη συμβατική τηλεόραση, εφαρμόζεται διαπλεκόμενη σάρωση ενώ στη τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας εφαρμόζεται συνεχής σάρωση. Επίσης, συνεχή σάρωση εφαρμόζεται και στους υπολογιστές.

Σαν σημείωση, να παρατεθεί πως, ειδική προσοχή χρειάζεται όταν μετατρέπουμε ένα progressive video σε interlaced, καθώς τόσο ο τρόπος, όσο και η ποιότητα με την οποία θα γίνει η μετατροπή, εξαρτώνται από το μέσο στο οποίο θα απευθύνεται το video, καθώς από συσκευή σε συσκευή, ενδέχεται να αλλάξει, τόσο το firmware, όπως και το hardware – για παράδειγμα, πολλά dvd players έχουν σαν διαφορά τους, ότι διαβάζουν πρώτα το πάνω πεδίο (upper field), ενώ άλλα το κάτω πεδίο (lower field), όπως επίσης και στο ότι κάποιες συσκευές κάνουν de-interlacing

στο υλικό που αναπαράγουν ,δίνοντας της ψευδαίσθηση της progressive εικόνας, ενώ άλλες όχι.

5. Ψηφιακό Βίντεο

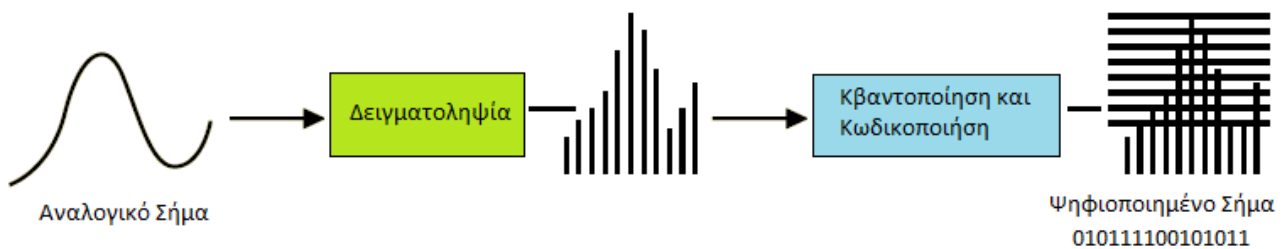
Είδαμε στην προηγούμενη ενότητα τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να καταγράψουμε και να αποθηκεύσουμε την “κινούμενη” εικόνα. Επιπλέον παρουσιάσαμε τα διάφορα φορμά εγγραφής, και μέσα από αυτά προβάλλαμε τα κύρια χαρακτηριστικά και τις διαφορές που έχει η εικόνα ανάλογα με το φορμά εγγραφής. Το κοινό, λοιπόν, στοιχείο όλων αυτών των αναφορών μας είναι ότι απευθύνονται στο αναλογικό βίντεο. Το βασικό χαρακτηριστικό του αναλογικού βίντεο είναι η χαμηλή ποιότητα της προβαλλόμενης εικόνας, και η μεγάλη ευαισθησία του στο θόρυβο.

Αυτές ήταν και οι αιτίες ανάπτυξης-δημιουργίας- ενός άλλου τύπου βίντεο, του ψηφιακού. Το ψηφιακό βίντεο αποτελεί αυτή τη στιγμή την καλύτερη -πιστότερη- σύλληψη και αναπαράσταση τις 'κινούμενης' εικόνας.

5.1 Δημιουργία Ψηφιακού Βίντεο

Γενικά για να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό σήμα βίντεο, υπάρχουν δύο τρόποι: α) η απευθείας καταγραφή σε ψηφιακή μορφή και β) η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος βίντεο.

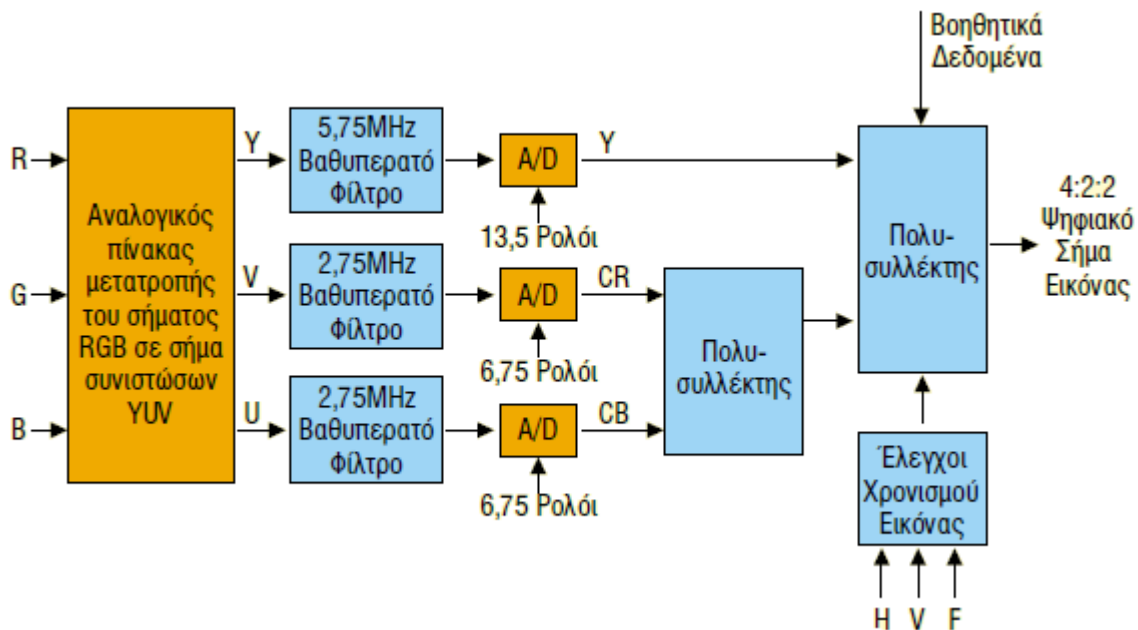
Η απευθείας καταγραφή σε ψηφιακή μορφή, γίνεται μέσω ψηφιακής κάμερας και συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας τον ψηφιακό αισθητήρα που διαθέτει. Αντίθετα, η ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος, απαιτεί μία σειρά σύνθετων διεργασιών, αποτελούμενη από τρία στάδια (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την δειγματοληψία του αναλογικού σήματος. Κατά την δειγματοληψία, γίνεται μετατροπή του σήματος συνεχούς χρόνου σε σήμα διακριτού χρόνου, διατηρώντας όμως το σήμα μας την αναλογική του μορφή. Για την σωστή δειγματοληψία του σήματός μας, απαιτείται η χρήση της κατάλληλης συχνότητας δειγματοληψίας, η οποία πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την συχνότητα του σήματός μας. Έτσι, η συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος φωτεινότητας Y είναι 13,5 MHz, δηλαδή σε ένα δευτερόλεπτο παίρνουμε 13,5 εκατομμύρια δείγματα. Ενώ, για τα σήματα χρωμικότητας Cr και Cb η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 6,5 MHz (εικόνα 5.2) [18]. Επειδή όπως βλέπουμε η συχνότητα δειγματοληψίας των σημάτων της χρωμικότητας είναι η μισή της συχνότητας του σήματος φωτεινότητας λέμε ότι ακολουθούμε το μοντέλο 4:2:2 για την δειγματοληψία της εικόνας. Δηλαδή, για κάθε τέσσερα pixels της εικόνας έχουμε 4 δείγματα για την πληροφορία της φωτεινότητας και μόνο 2 Cb και 2 Cr δείγματα για την χρωμικότητα. Πέρα όμως από το μοντέλο 4:2:2 για τον ρυθμό της δειγματοληψίας, μπορούμε να έχουμε και κάποιο εκ των 4:4:4, 4:1:1 και 4:2:0. Εικόνα, η οποία έχει προκύψει από ρυθμό δειγματοληψίας 4:4:4, είναι η καλύτερη ποιοτικά εν σχέση με τις εικόνες που έχουν προκύψει από κάποιο από τα άλλα μοντέλα. Όμως, το μοντέλο 4:4:4 δεν χρησιμοποιείται σχεδόν από κανένα φορμά εγγραφής βίντεο, γιατί απαιτεί πολύ μεγάλο αποθηκευτικό χώρο. Αντίθετα με το 4:4:4, τα μοντέλα 4:1:1 και 4:2:0, δημιουργούν μία κακή ποιοτικά εικόνα, χρησιμοποιούνται όμως σε αρκετά φορμά εγγραφής. Είναι πολύ σημαντικό, να διευκρινίσουμε ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας 4:2:0 έχει μία διαφορετική ερμηνεία από αυτή που δώσαμε. Σε μία γραμμή υπάρχουν

2 δείγματα Cr για κάθε 4 δείγματα Y και κανένα Cb δείγμα. Στην επόμενη όμως γραμμή, υπάρχουν 2 δείγματα Cb για κάθε 4 δείγματα Y και κανένα δείγμα Cr. Αυτό το μοτίβο επαναλαμβάνεται για όλη την εικόνα.



Εικόνα 5.2: Block διάγραμμα μετατροπής αναλογικού σήματος RGB σε ψηφιακό σήμα YCrCb

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία της δειγματοληψίας, περνάμε στην διαδικασία του κβαντισμού. Στον κβαντισμό, στόχος μας είναι η διακριτοποίηση του (διακριτού ως προς το χρόνο) σήματος ως προς το πλάτος. Έτσι το κάθε ένα δείγμα ανάλογα με το πλάτος που έχει, και επομένως την στάθμη στην οποία ανήκει, λαμβάνει μία τιμή από 0 έως 255. Να τονίσουμε εδώ ότι το εύρος από 0 έως 255 δεν είναι μικρό καθώς για την περιγραφή του χρωματικού μοντέλου RGB προκύπτουν συνολικά $256 \times 256 \times 256$ πιθανές αποχρώσεις, δηλαδή περισσότερα από 16 εκατομμύρια χρώματα.

Αφού περάσει από την κβαντοποίηση το σήμα, το περιμένει η διαδικασία της κωδικοποίησης, η οποία αναλαμβάνει την δεκαδική τιμή του πλάτους κάθε δείγματος να την μετατρέψει σε δυαδική μορφή. Κατόπιν όλα τα δυαδικά νούμερα ενώνονται σε μία ψηφιακή λέξη και αποτελούν το ψηφιακό σήμα.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι ο αριθμός των στάθμεων, στην διαδικασία της κβαντοποίησης, είναι και αυτός που καθορίζει τον αριθμό των bits που θα χρησιμοποιηθούν για την κωδικοποίηση. Δηλαδή εάν στην κβαντοποίηση χρησιμοποιηθεί ένα εύρος από 0 έως 255, τότε η κωδικοποίηση κάθε δείγματος θα γίνει με 8bits ανά δείγμα. Σε περίπτωση που αυξήσουμε τις στάθμες κβάντισης, αυξάνει και ο αριθμός των bits, επιτυγχάνοντας έτσι ποιοτικότερα δείγματα και άρα μεγαλύτερη ακρίβεια στην μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

5.2 Συμπύεση του Σήματος Βίντεο

Μετά το τέλος της ψηφιοποίησης του αναλογικού μας σήματος, η πληροφορία μας αποτελείται μόνο από μηδενικά και άσσους. Σε αυτή τη μορφή η πληροφορία μας έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα, το οποίο είναι η εύκολη διαχείρισή της από οποιοδήποτε ψηφιακό επεξεργαστή. Έχει όμως και ένα πολύ σοβαρό μειονέκτημα, αυτό του τεράστιου όγκου που καταλαμβάνει για την αποθήκευση και μετάδοσή της. Για να μπορέσει, λοιπόν το ψηφιακό σήμα να γίνει πιο εύκολα διαχειρίσιμο, δημιουργήθηκαν κάποιες τεχνικές συμπίεσης των δεδομένων που το απαρτίζουν. Οι τεχνικές συμπίεσης, γνωστές και με την ονομασία codecs (Compressors/DECompressors), χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις απωλεστικές και τις μη-απωλεστικές.

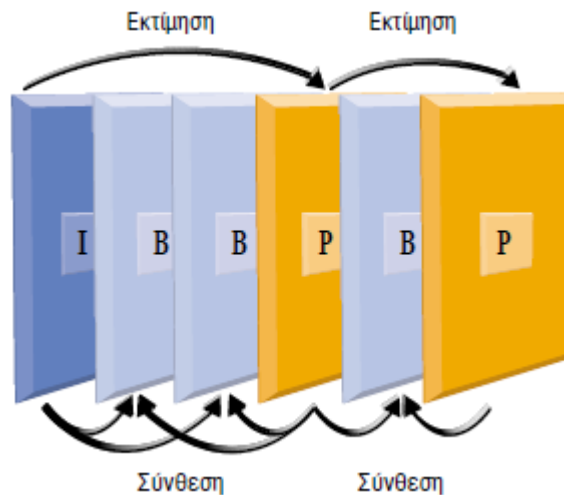
5.2.1 Μη-Απωλεστική Συμπίεση

Οι μη-απωλεστικές τεχνικές συμπίεσης χρησιμοποιούν μη απωλεστικού αλγορίθμους, με στόχο την μικρή μείωση του μεγέθους του ψηφιακού αρχείου, χωρίς να αλλοιώνεται η ποιότητά του. Οι γνωστότεροι μη-απωλεστικοί αλγόριθμοι είναι ο διακριτός συνημιτονοειδής μετασχηματισμός (DCT), ο προσαρμοστικός κβαντισμός (AQ), και η κωδικοποίηση μεταβλητού μήκους (VLC). Η χρήση των παραπάνω τύπων, που στηρίζονται βασικά στον αλγόριθμο DCT, επιτρέπει την μείωση του όγκου της πληροφορίας με δύο τρόπους. Το τηλεοπτικό σήμα εκτός από την πληροφορία της εικόνας που βλέπουμε στον δέκτη περιλαμβάνει πληροφορίες χρονοισμού και άλλα χρήσιμα στοιχεία για την μετάδοση. Ένα μεγάλο μέρος της πληροφορίας αυτής δεν χρησιμοποιείται κατά την εγγραφή του σήματος στην ταινία και απορρίπτεται, μειώνοντας έτσι το μέγεθος του σήματος κατά ένα μικρό μέρος. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος DCT αναλύει κάθε καρέ της εικόνας, αδιαφορώντας για το προηγούμενο ή το επόμενο καρέ, και εντοπίζει τις περιοχές που έχουν λιγότερη λεπτομέρεια ή κίνηση. Η άχρηστη ή επαναλαμβανόμενη πληροφορία απορρίπτεται, φτάνοντας έτσι σε μία μείωση της τάξης του 80% του αρχικού όγκου [18]. Εκτός βέβαια από τις τεχνικές αυτές, στην κατηγορία των μη απωλεστικών αλγορίθμων υπάρχουν και κάποιες άλλες τεχνικές συμπίεσης όπως η μέθοδος RLE, ο κώδικας του Huffman και ο αλγόριθμος Lempel/Ziv. Γενικά, παρόλο που όλες οι μη-απωλεστικές τεχνικές προκαλούν συμπίεση στο ψηφιακό μας σήμα, αυτό εξακολουθεί να παραμένει τεράστιο κάνοντας έτσι επιτακτική την ανάγκη για χρησιμοποίηση και απωλεστικών αλγορίθμων.

5.2.2 Απωλεστική Συμπίεση

Οι απωλεστικές τεχνικές χρησιμοποιούν απωλεστικούς αλγορίθμους με σκοπό την επίτευξη μεγάλης μείωσης του μεγέθους της πληροφορίας με απώλειες τόσες ώστε να μην είναι εύκολα διακριτές από το ανθρώπινο μάτι. Για να καταλάβουμε πως γίνεται η αφαίρεση της πληροφορίας, από ένα σήμα βίντεο πρέπει να πούμε ότι αρχικά

το βίντεο αντιμετωπίζεται ως μία αλληλουχία από καρτέ. Κάθε καρτέ χωρίζεται, ανάλογα με την πληροφορία που μεταφέρει, σε καρτέ τύπου I, τύπου P ή τύπου B (εικόνα 5.3)[18].



Εικόνα 5.3: Αλληλουχία καρτέ τύπου I, B, P ενός συμπιεσμένου σήματος βίντεο

Τα καρτέ τύπου I (Intra frames) είναι τα μόνα που είναι κωδικοποιημένα στο σύνολό τους και η αποκωδικοποίηση μπορεί να γίνει χωρίς αναφορά σε κάποιο άλλο. Επειδή η παρουσία τους είναι απαραίτητη σε σημείο χρονικής αναφοράς και για να αποφευχθεί η διάδοση των σφαλμάτων που δημιουργούν τα P πλαίσια επιβάλλεται να μεταδίδονται ανά τακτά χρονικά πλαίσια. Έτσι υπάρχει ένα I πλαίσιο τουλάχιστον κάθε 15 πλαίσια [19].

Τα καρτέ τύπου P (Predicted frames) βασίζονται πάντα σε ένα προηγούμενο I ή P πλαίσιο. Γενικά, το κάθε πλαίσιο χωρίζεται σε macroblocks, δηλαδή σε ομάδες από pixels. Έτσι, τα πλαίσια τύπου P χρησιμοποιούν αλγορίθμους που προβλέπουν τη νέα θέση όποιων macroblocks έχουν απλά μετακινηθεί και κωδικοποιούν τον αριθμό του macroblock και ένα διάνυσμα κίνησης. Τα καρτέ αυτού του τύπου επιδέχονται πολύ μεγάλη συμπίεση.

Τα καρτέ τύπου B (Bi-directional frames) δημιουργούνται λαμβάνοντας το μέσο όρο σε επίπεδο macroblock ενός προηγούμενου και ενός επόμενου πλαισίου I και P (ένα από το κάθε είδος). Δε συντελούν τόσο πολύ στη διάδοση των σφαλμάτων γιατί δεν χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς και επιπλέον μειώνουν σημαντικά το σφάλμα παίρνοντας το μέσο όρο από δύο πλαίσια. Ο κύριος λόγος ύπαρξης των B πλαισίων είναι η κάλυψη της περίπτωσης, που κάποιες πληροφορίες της εικόνας μπορεί να υπάρχουν σε επόμενα πλαίσια και να μην υπάρχουν στα προηγούμενα. Συνεπώς η πρόβλεψή των πληροφοριών αυτών με τα P πλαίσια θα ήταν αδύνατη. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε μία πόρτα που ανοίγει ξαφνικά. Η πληροφορία για το τι βρίσκεται πίσω από την πόρτα υπάρχει στα επόμενα πλαίσια και όχι στα προηγούμενα και για να εμφανιστεί και στο τρέχον πλαίσιο πρέπει να ληφθούν σαν σημεία αναφοράς και το προηγούμενο και το επόμενο [19].

Πριν αναφερθούμε στα πρότυπα συμπίεσης (κωδικοποίησης), να αναφέρουμε ένα

ακόμα πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο αφορά το είδος της κωδικοποίησης που επιφέρει και την συμπίεση του σήματος. Υπάρχουν λοιπόν δύο κατηγορίες κωδικοποίησης, η *Intra-frame* (ενδοπλαισιακή) και η *Inter-frame* (διαπλαισιακή). Σύμφωνα με την *Intra-frame* το κάθε καρέ αντιμετωπίζεται σαν αυτόνομη μονάδα και κωδικοποιείται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, οπότε το τελικό σήμα είναι μία σειρά από διακριτές ακίνητες εικόνες. Αντίθετα στην *Inter-frame* λαμβάνονται υπ' όψη οι πιθανές ομοιότητες μεταξύ των πλαισίων και κωδικοποιείται μόνο η διαφορά τους. Έτσι στο τελικό σήμα υπάρχει μία εξάρτηση μεταξύ των πλαισίων αφού για να αποκωδικοποιηθεί κάποιο πλαίσιο πιθανώς να πρέπει να ληφθούν πληροφορίες και από κάποιο άλλο (προηγούμενο ή επόμενο). Γίνεται έτσι πολύ μεγαλύτερη συμπίεση, αφού μόνο οι διαφορές μεταξύ των πλαισίων κωδικοποιούνται [19].

5.2.2.1 H.261

Το πρότυπο H.261 παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1988 και ήταν το πρώτο πρότυπο κωδικοποίησης-συμπίεσης- βίντεο. Επίσης ήταν το πρώτο πρότυπο που εφάρμοσε την τεχνική των macroblocks για την κωδικοποίηση της κινούμενης εικόνας. Σύμφωνα με το H.261 κάθε macroblock αποτελούνταν από ένα διάνυσμα μεγέθους 16x16 με δείγματα φωτεινότητας και από δύο επιμέρους διανύσματα μεγέθους 8x8 με δείγματα χρωμικότητας. Επιπλέον χρησιμοποιούσε το μοντέλο 4:2:0 για την συχνότητα δειγματοληψίας καθώς επίσης και το χρωματικό μοντέλο YCbCr. Το πρότυπο αυτό, υποστήριζε δύο μεγέθη πλαισίων βίντεο: α) το CIF με ανάλυση 352x288 για την φωτεινότητα και 176x144 για την χρωμικότητα, και β) το QCIF με ανάλυση 176x144 για την φωτεινότητα και 88x72 για την χρωμικότητα. Σχεδιάστηκε να λειτουργεί για ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ 40Kbit/s και 2Kbit/s, για αυτό και η εφαρμογή του ήταν κυρίως για τηλεδιασκέψεις και βιντεοτηλέφωνα.

5.2.2.2 MPEG

Η διεθνής επιτροπή MPEG (Moving Picture Experts Group), ιδρύθηκε το 1988 με σκοπό την δημιουργία και καθιέρωση κάποιων τυποποιήσεων (standards) γύρω από την μετάδοση οπτικών και ηχητικών δεδομένων σε ψηφιακή συμπιεσμένη μορφή.

Το πρώτο πρότυπο της επιτροπής MPEG, είναι το *MPEG-1* και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1992. Σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει την αποθήκευση πληροφορίας video σε πλατφόρμα CD-ROM. Χρησιμοποιεί το μοντέλο 4:1:1 για την δειγματοληψία και χρωματικό μοντέλο YUV. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει μεγέθη πλαισίων τύπου SIF με ανάλυση 352x240 για την φωτεινότητα και 176x120 για την χρωμικότητα, για το πρότυπο NTSC και πλαίσια με ανάλυση 352x288 για την φωτεινότητα και 176x144 για την χρωμικότητα, για τα πρότυπα PAL/SECAM. Σε ότι

αφορά το ρυθμό μετάδοσης των ψηφιακών δεδομένων (bit rate), αυτός κυμαίνεται από 1,2 Mbps έως 1,5 Mbps κάτι που όμως είναι μεγάλο για τη μεταφορά του μέσω του διαδικτύου. Τέλος πρέπει να πούμε ότι η κωδικοποίηση MPEG-1 υποστηρίζει μόνο προοδευτικής σάρωσης βίντεο.

Το επόμενο πρότυπο που αναπτύχθηκε από την επιτροπή MPEG ήταν το *MPEG-2*, το οποίο εμφανίστηκε το 1994 και απετέλεσε σημαντική βελτίωση του MPEG-1. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να είναι σταθερός ή μεταβλητός και ποικίλει από 700 Kbps έως 9,2Mbps. Η μέγιστη ανάλυση φθάνει 1280x720 pixels με ρυθμό ανανέωσης πλαισίων μέχρι 60 fps και ήχο ποιότητας CD. Όμως η πιο σημαντική βελτίωση στην κωδικοποίηση MPEG-2 σε σχέση με την MPEG-1 ήταν η προσθήκη της υποστήριξης για πεπλεγμένης σάρωσης βίντεο (interlaced). Το MPEG-2 υποστηρίζει φορμά βίντεο για ευρύ φάσμα εφαρμογών, από εφαρμογές σε κινητό, μέχρι σε μοντάζ υψηλής ποιότητας HD. Το κύριο όμως πεδίο εφαρμογής του είναι η πλατφόρμα DVD.

Το *MPEG-4* , παρουσιάστηκε για πρώτη φορά τον Οκτώβριο του 1998 και αποτελεί βελτίωση του MPEG-2. Στο MPEG-4 ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι μεταβλητός και κυμαίνεται μεταξύ 5Kbps και 10Mbps. Το πρότυπο αυτό διαφέρει από τα προηγούμενα πρότυπα συμπίεσης στο ότι λειτουργεί με διανυσματική ανάλυση της εικόνας, κάνοντας μάλιστα και πρόβλεψη για την κίνηση των αντικειμένων της. Συγκεκριμένα, καταγράφει απλώς τις διαφορές ανάμεσα σε διαδοχικά καρέ, οπότε δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνει όλη την πληροφορία της εικόνας, παρά μόνο τις μεταβολές της. Έχει μάλιστα την δυνατότητα να διακρίνει τα διάφορα αντικείμενα και να τα ξεχωρίζει από το φόντο τους, το οποίο επαναλαμβάνει με πολύ μικρή ποσότητα πληροφορίας. Αναφορικά, τώρα , με τη σάρωση του βίντεο, στηρίζει τόσο προοδευτική όσο και πεπλεγμένη.

5.2.2.3 H.264

Το H.264 είναι το 10ο τμήμα (part 10) του στάνταρ MPEG-4 που περιγράφει το βίντεο. Είναι γνωστό και με την ονομασία AVC (Advanced Video Coding). Περιέχει μια σειρά από σημαντικές προόδους στη συμπίεση, και πρόσφατα έχει υιοθετηθεί σε μια σειρά προϊόντων από επιχείρησης, όπως για παράδειγμα το Xbox 360, PlayStation Portable, iPod, iPhone, το Nero Digital τη σουίτα, Mac OS X v10.4 , καθώς και HD DVD / Blu-ray Disc.

5.3 Μορφές – Ανάλυση Ψηφιακού Βίντεο

Όπως είδαμε μέχρι τώρα κάθε πρότυπο συμπίεσης υποστηρίζει και κάποια συγκεκριμένη ανάλυση βίντεο. Όσο μεγαλύτερη ανάλυση έχει το ψηφιακό βίντεο

τόσο καλύτερη, πιο λεπτομερής, είναι και η προβαλλόμενη εικόνα. Υπάρχουν, λοιπόν διάφορες μορφές βίντεο οι οποίες προσδιορίζονται ονοματολογικά από τα χαρακτηριστικά τους. Αυτά αναφέρονται στα εξής: α) τον αριθμό των κάθετων γραμμών του κάδρου (υπάρχουν φορμά από 480 ενεργές γραμμές έως και φορμά με 1080 ή και 4320 κάθετες γραμμές), β) τον τρόπο σάρωσης της εικόνας όπου μπορεί να είναι είτε προοδευτική (progressive) είτε πεπλεγμένη (interlaced) και συμβολίζονται με τα γράμματα p και i αντίστοιχα και γ) τον αριθμό των πλαισίων (frames) που σαρώνονται ανά δευτερόλεπτο. Με βάση, λοιπόν, αυτά τα χαρακτηριστικά ένα βίντεο μπορεί να είναι χαμηλής ευκρίνειας (low definition), μέτριας-τυπικής- ευκρίνειας (standard definition), υψηλής ευκρίνειας (high definition) και πολύ υψηλής ευκρίνειας (ultra high definition).

5.3.1 Χαμηλής ευκρίνειας Βίντεο

Στα χαμηλής ευκρίνειας βίντεο ανήκουν τα φορμά 240p, 288p και 360p. Όπως αναφέραμε παραπάνω το γράμμα 'p' δηλώνει το είδος της σάρωσης, η οποία είναι προοδευτική και στα τρία φορμά.

Στην κατηγορία 240p ανήκουν τρία επιμέρους πρότυπα: i) το NTSC square pixel, ii) το NTSC widescreen και iii) το SIF(525). Το NTSC square pixel έχει ανάλυση 320x240 και λόγο πλευρών (aspect ratio) 4:3, ενώ το NTSC widescreen έχει ανάλυση 427x240 και λόγο πλευρών 16:9. Το SIF(525) έχει ανάλυση 352x240 και 4:3 λόγο πλευρών.

Στην κατηγορία 288p ανήκουν τρία επιμέρους πρότυπα τα: i) CIF, ii) SIF (625) και PSP. Τα CIF και SIF (625) έχουν ανάλυση 352x288 και λόγο πλευρών 4:3, ενώ το PSP έχει ανάλυση 480x272 και 30:17 λόγο πλευρών.

Στην κατηγορία 360p έχουμε το απλό πρότυπο 360p με ανάλυση 480x360 και λόγο πλευρών 4:3, καθώς επίσης και το wide 360p με ανάλυση 640x360 και λόγο πλευρών 16:9.

5.3.2 Τυπικής ευκρίνειας Βίντεο

Στα τυπικής ευκρίνειας βίντεο ανήκουν τα φορμά 480i και 576i. Όπως αναφέραμε παραπάνω το γράμμα 'i' δηλώνει ότι η σάρωση είναι πεπλεγμένη. Στην κατηγορία 480i έχουμε το 480i με λόγο πλευρών 4:3 και 16:9 και αναλύσεις 704x480 και 720x480. Στην κατηγορία 576i έχουμε στην εικόνα λόγο πλευρών 4:3 και 16:9 με αναλύσεις 704x576 και 720x576.

5.3.3 Υψηλής ευκρίνειας Βίντεο

Στα υψηλής ευκρίνειας βίντεο ανήκουν τα φορμά 720p, 1080i και 1080p. Στην κατηγορία 720p ανήκουν τρία φορμά : i)το απλό 720p, ii)το 720p/XGA και iii) το

720p/WXGA. Τα τρία αυτά φορμά έχουν όλα λόγο πλευρών 16:9 και σε όλα η σάρωση είναι προοδευτική. Το απλό 720p έχει ανάλυση οθόνης 1280x720. Το 720p/XGA, αποτελεί συντομογραφία του (Extended Graphics Array), ενός προτύπου που θέσπισε η IBM και είναι ίσως το πιο διαδεδομένο από τα τρία αυτά φορμά με ανάλυση 1024x768. Μία προέκταση αυτού είναι το 720p/WXGA Wide Extended Graphics Array με ανάλυση 1366x768.

Στις 1080 κάθετες γραμμές η σάρωση είναι είτε προοδευτική είτε πεπλεγμένη. Ειδικότερα έχουμε το 1080i με ανάλυση 1440x1080 ή 1920x1080 και λόγο πλευρών 16:9. Ακόμα υπάρχει το 1080p με ανάλυση 1280x1080 ή 1920x1080 και λόγο πλευρών και για τα δύο 16:9. Τέλος στην κατηγορία των φορμά βίντεο υψηλής ευκρίνειας ανήκει και το φορμα 2K, με ανάλυση 2048x1080 και λόγο πλευρών 16:9.

5.3.4 Πολύ Υψηλής ευκρίνειας Βίντεο

Τα πρότυπα βίντεο πολύ υψηλής ευκρίνειας χρησιμοποιούνται κυρίως στο ψηφιακό σινεμά και οι αναλύσεις του είναι οι μεγαλύτερες. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει το WHXGA με ανάλυση 5120x3200 και το 4K με αναλύσεις 4096x2160 ή 4096x1716 ή 3996x2160.

5.4 Πρότυπα Εγγραφής

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη βίντεο σε ότι αφορά την ευκρίνεια (ποιότητα) της προβαλλόμενης εικόνας. Η ύπαρξη διαφορετικής ευκρίνειας βίντεο προϋποθέτει και διαφορετικά πρότυπα εγγραφής. Στην ενότητα αυτή, λοιπόν γίνεται μία παρουσίαση των σημαντικότερων προτύπων εγγραφής που απευθύνονται στο ψηφιακό βίντεο.

5.4.1 Digital Betacam

Το *Digital Betacam*, συχνά αναφερόμενο και ως DigiBeta, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από την εταιρεία Sony, το 1993. Το φορμά αυτό υποστηρίζει την εγγραφή συμπίεσμένου (DCT) ψηφιακού σήματος βίντεο με ανάλυση χρώματος 10-bit και χρωματικό μοντέλο YUV. Επίσης για την δειγματοληψία χρησιμοποιεί το μοντέλο 4:2:2 και απευθύνεται σε βίντεο με ανάλυση 720x486 για το NTSC και 720x576 για το PAL, και έχει ρυθμό μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων (bitrate) 90Mbit/s. Το πρότυπο αυτό απευθύνεται κυρίως σε τυπικής ευκρίνειας βίντεο

5.4.2 HDCAM – HDCAM SR

Το 1997 παρουσιάστηκε, πάλι από την εταιρεία Sony, το *HDCAM*, σαν μια έκδοση HD του Digital Betacam. Το πρότυπο αυτό, χρησιμοποιεί ένα DCT συμπίεστη με ανάλυση χρώματος 8-bit και μοντέλο δειγματοληψίας 3:1:1. Επίσης το πρότυπο αυτό απευθύνεται σε βίντεο με ανάλυση της κατηγορίας 1080i. Η εγγραφή του βίντεο γίνεται με bit rate 144 Mbit/s.

Η νεότερη έκδοση *HDCAM SR*, εισήχθη στην αγορά το 2003, χρησιμοποιεί μεγαλύτερης πυκνότητας ταινία και είναι ικανό για εγγραφή 10-bit RGB με μοντέλα δειγματοληψίας 4:2:2 και 4:4:4, και με bit rate των 440 Mbit/s. Επιπλέον ορισμένα συστήματα εγγραφής *HDCAM SR* μπορούν να χρησιμοποιήσουν ρυθμό εγγραφής 2x με ακόμα μεγαλύτερο bit rate βίντεο της τάξης των 880 Mbit/s, που επιτρέπει δειγματοληψία ενός βίντεο με χαμηλότερη συμπίεση (μοντέλο 4:4:4) ή δύο βίντεο ταυτόχρονα με μοντέλο 4:2:2. Το *HDCAM SR* χρησιμοποιείται συχνά για τηλεοπτική παραγωγή HDTV.

5.4.3 DV– DVCPRO – DVCPRO HD – HDV

Το πρότυπο *DV* παρουσιάστηκε το 1995, και βρήκε αμέσως εφαρμογή στις ψηφιακές βιντεοκάμερες και συσκευές βίντεο. Το φορμά αυτό χρησιμοποιεί ένα DCT ενδοπλαισιακό (intra-frame) συμπίεστη με μοντέλο δειγματοληψίας 4:1:1 για το NTSC και 4:2:0 για το PAL. Επίσης εγγράφει βίντεο με ανάλυση 720x576 (PAL) και 720x480 (NTSC). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για το DV είναι 25 Mbps. Μία από τις εκδόσεις του DV είναι το πρότυπο *DVCPRO*, γνωστό και ως *DVCPRO25*, το οποίο αναπτύχθηκε από την Panasonic το 1995. Το φορμά αυτό διαφέρει από το DV στο μοντέλο δειγματοληψίας που χρησιμοποιεί για το σύστημα PAL και το οποίο είναι 4:1:1.

Το πρότυπο *DVCPRO HD*, είναι επίσης γνωστό και ως *DVCPRO100*, αποτελεί την εξέλιξη του *DVCPRO* της Panasonic. Χρησιμοποιεί τέσσερις παράλληλους κωδικοποιητές και έναν εγγραφέα βίντεο με bit rate των 40-100 Mbit/s. Η κωδικοποίηση γίνεται με δειγματοληψία χρώματος 4:2:2, αρκετά υψηλή σε σχέση με άλλες μορφές βίντεο. Το *DVCPRO HD* έχει οριζόντια συμπίεση εικόνας που καταγράφεται σε 960x720 pixels για 720p εξόδου, 1280x1080 για 1080/59.94i ή 1440x1080 για 1080/50i. Η οριζόντια αυτή συμπίεση είναι απωλεστική και είναι ειδικά προσαρμοσμένη για αποθήκευση σε κασέτα [20].

Το *HDV* πρωτοεμφανίστηκε από τις εταιρίες JVC και Sony. Αργότερα ήρθαν να το υποστηρίξουν η Cannon και η Sharp και το Σεπτέμβριο του 2003 οι τέσσερις εταιρείες ανακοίνωσαν το σχηματισμό της κοινοπραξίας HDV. Το πρότυπο HDV είναι ένα υψηλής ευκρίνειας φορμά βίντεο που χρησιμοποιεί συμπίεση MPEG-2. Οι δύο βασικές μορφές του είναι με εγγραφόμενη ανάλυση 1280x720 (720p) και 1440x1080 (1080i). Το HDV είχε ως στόχο να προσφέρει αναβάθμιση από κανονικής ευκρίνειας (SD), σε υψηλής ευκρίνειας (HD) βίντεο.

Δύο σημαντικές εκδόσεις του HDV είναι το HDV 1080i και το HDV 720p. Το πρώτο χρησιμοποιείται από τη JVC και είναι γνωστό ανεπίσημα ως HDV1. Το

τελευταίο είναι προτείνεται από τη Sony και την Canon και αναφέρεται συχνά ως HDV2. Και τα δύο φορμά εγγράφουν μόνο ευρείας οθόνης (wide screen) βίντεο. Το HDV 1080i χρησιμοποιεί εγγραφή δεδομένων της τάξης του 25 Mbit/s (3,125 MB/s), ενώ το HDV 720p εγγράφει σε 19,7 Mbit/s (2,46 MB/s) [20].

5.4.4 AVCHD

Ένα από τα πιο συνηθισμένα πρότυπα που χρησιμοποιείται σε ψηφιακές βιντεοκάμερες είναι το AVCHD (Advanced Video Codec High Definition). Το πρότυπο προέκυψε από μια συνεργασία των εταιρειών Panasonic και Sony και ανακοινώθηκε στην αγορά τον Μάιο του 2006. Τα βίντεο που υποστηρίζουν το πρότυπο AVCHD (AVC-HD, AVC HD), εγγράφουν με χρήση της κωδικοποίησης συμπίεσης βίντεο MPEG-4 AVC/H.264. Πέρα από την καταγραφή βίντεο, το πρότυπο AVCHD περιλαμβάνει στοιχεία για τη βελτίωση των μέσων παρουσίασης, όπως μενού πλοήγησης, slide shows και υπότιτλους. Το μενού πλοήγησης του συστήματος είναι παρόμοια με του DVD βίντεο, επιτρέποντας την πρόσβαση επιμέρους βίντεο από μια κοινή οθόνη. Τέλος, το πρότυπο AVCHD υποστηρίζει για την εγγραφή υψηλής ευκρίνειας όλα τα σημαντικά πρότυπα 720p, 1080i και 1080p[20].

5.5 Μέσα Αποθήκευσης

Στο κεφάλαιο 4 είδαμε ότι το μέσο αποθήκευσης του αναλογικού βίντεο είναι η μαγνητική ταινία. Το ίδιο αποθηκευτικό μέσο χρησιμοποιήθηκε και από τα πρώτα φορμά εγγραφής του ψηφιακού βίντεο, παρουσιάζοντας όμως κάποιες αλλαγές (κυρίως στις διαστάσεις της ταινίας) ανάλογα με το εκάστοτε φορμά. Ωστόσο, με την πάροδο των χρόνων αυξήθηκε σε ένα πολύ μεγάλο βαθμό η ποιότητα του βίντεο γεγονός που σημαίνει και αύξηση του όγκου των, προς αποθήκευση, δεδομένων. Για να γίνει δυνατή λοιπόν η αποθήκευση όλων αυτών των πληροφοριών απαιτείται και το κατάλληλο μέσο αποθήκευσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αποθηκευτικά μέσα ,(σημάτων ψηφιακού βίντεο) των ημερών μας.

5.5.1 DVD

Οι δίσκοι DVD είναι ίσως το πιο φιλικό προς το χρήστη μέσο αποθήκευσης ενός βίντεο ή μίας ταινίας. Λόγω της ευρείας χρήσης του από πολλές βιντεοκάμερες, δημιουργήθηκαν και μικρότεροι δίσκοι 8cm, ονομαζόμενοι ως miniDVD. Για την εγγραφή το DVD χρησιμοποιεί ένα κόκκινο (650 nm) laser, ενώ η χωρητικότητα της

εγγραφής κυμαίνεται, από 1,4 GB για μονής όψης μονής στρώσης δίσκου σε 5,2 GB για διπλής όψης διπλής στρώσης δίσκου. Το μεγαλύτερο ίσως πλεονέκτημα ενός DVD δίσκου είναι το χαμηλό του κόστος. Από την άλλη μεριά, δύο κύρια μειονεκτήματά του είναι, ότι για DVD που βασίζονται σε βιντεοκάμερες AVCHD ο ρυθμός εγγραφής των δεδομένων είναι περιορισμένος μέχρι 18 Mbit/s. Ταυτόχρονα ένας μονής όψης μονής στρώσης δίσκος DVD 8cm μπορεί να χωρέσει μόνο 15 λεπτά βίντεο στα 12 Mbit/s, και 10 λεπτά για ρυθμό δεδομένων 18 Mbit/s.

5.5.2 HD DVD_[20]

Πρόκειται για ένα δίσκο υψηλής πυκνότητας που προέρχεται από την ίδια τεχνολογία με το DVD. Το HD DVD βρισκόταν πάντα σε ανταγωνισμό με την αντίπαλη μορφή Blu-ray Disc, που θα αναφέρουμε παρακάτω. Τα HD DVD-ROM, HD DVD-R και HD DVD-RW έχουν ένα μόνο στρώμα, χωρητικότητας 15 GB, και διπλής στρώσης χωρητικότητας 30 GB. Το HD DVD-RAM έχει ένα ενιαίο στρώμα-χωρητικότητα 20 GB. Όπως και η αρχική μορφή DVD, το στρώμα του HD DVD με τα δεδομένα είναι 0,6 χιλιοστά κάτω από την επιφάνεια για φυσική προστασία του στρώματος από βλάβες. Τα HD DVD βίντεο μπορούν να κωδικοποιηθούν με τη χρήση VC-1, AVC, ή MPEG-2. Το HD DVD υποστηρίζει κωδικοποίηση σε 24-bit/192 kHz έως και για δύο κανάλια, ή μέχρι οκτώ κανάλια στα 24-bit/96kHz.

5.5.3 Blu-Ray Disc_[20]

Το πιο ευρέως διαδεδομένο μέσο αποθήκευσης HD Video είναι ο οπτικός δίσκος Blu-Ray Disc (γνωστό και ως Blu-ray ή BD). Το πρότυπο αυτό μπορεί να προσφέρει αρκετό χώρο αποθήκευσης που φτάνει τα 50 GB (σε διπλή στρώση). Ο δίσκος έχει τις ίδιες φυσικές διαστάσεις με το πρότυπο DVD και CD. Αναπτύχθηκε από την Blu-ray Disc Association, και το όνομα του προέρχεται από το μπλε λέιζερ και το όνομα του προέρχεται από το (ιώδους χρώματος) που χρησιμοποιείται για να διαβάσει και να γράφει σε αυτό το είδος δίσκου. Η δέσμη του έχει μικρότερο μήκος κύματος (405 nm), πράγμα που επιτρέπει την αποθήκευση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων απ' ότι στο DVD. Ένα διπλής στρώσης Blu-ray Disc μπορεί να αποθηκεύσει 50 giga byte, σχεδόν έξι φορές τη χωρητικότητα διπλής στρώσης DVD, ή δέκα φορές μεγαλύτερο από αυτό του μονής στρώσης DVD.

Οι πρώτοι τίτλοι Blu-ray Disc κυκλοφόρησαν στις 20 Ιουνίου 2006 και χρησιμοποιούσαν MPEG-2 συμπίεση βίντεο, την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιείται και στο DVD. Τον Σεπτέμβριο του 2006 εισήχθησαν οι πρώτες κυκλοφορίες χρησιμοποιώντας νεότερη κωδικοποίηση VC-1 και AVC. Το BD-ROM, για το βίντεο, υποστηρίζει MPEG-2, H.264/AVC, και SMPTE VC-1. Η κωδικοποίηση MPEG-2 χρησιμοποιείται και για πράγμα το οποίο επιτρέπει συμβατότητα. Παρόλα αυτά δίσκοι κωδικοποιημένοι με MPEG-2 βίντεο συνήθως περιορίζουν το περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας σε περίπου δύο ώρες, σε ένα ενιαίο στρώμα (25 GB) BD-ROM. Πιο

προηγμένοι κωδικοποιητές βίντεο (VC-1 και H.264) συνήθως κωδικοποιούν ένα βίντεο σε δύο φορές το χρόνο εκτέλεσης των MPEG-2, με ανάλογη ποιότητα.

5.5.4 Σκληροί Δίσκοι^[21]

Ο σκληρός δίσκος HDD προστέθηκε ως πιθανό μέσο εγγραφής του προτύπου AVCHD. Η χωρητικότητα κυμαίνεται από 30 GB έως 120 GB ή και μεγαλύτερο. Το κυριότερο πλεονέκτημα του είναι η μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα σε σχέση με τα άλλα μέσα, η οποία του επιτρέπει συνεχή εγγραφή. Στην αντίπερα όχθη, ο σκληρός δίσκος είναι ευαίσθητος στην ατμοσφαιρική πίεση, για αυτό και οι περισσότερες βιντεοκάμερες με υποστήριξη HDD, δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ύψη άνω των 3000 m. Επίσης είναι ευάλωτοι σε μηχανικές κρούσεις ή γρήγορη κίνηση. Τέλος, για να μεταφέρουμε βίντεο σε υπολογιστή, η κάμερα πρέπει να είναι συνδεδεμένη με καλώδιο USB, ενώ η χρήση φορτιστή ρεύματος είναι συχνή και αναγκαία.

5.5.5 Κάρτες Μνήμης^[21]

Πολλές ψηφιακές κάμερες καταγράφουν σε κάρτες μνήμης, SD /SDHC κάρτες ή "Memory Stick". Αξιοποιώντας τεχνολογία flash, οι κάρτες μνήμης προσφέρουν επανεγγράψιμη αποθήκευση σε συμπαγή μορφή. Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα τους έναντι των υπολοίπων είναι ότι οι περισσότεροι υπολογιστές και πολλές τηλεοράσεις και Blu-ray Disc players αποδέχονται κάρτες μνήμης απευθείας, ενώ είναι ελαφριές και δεν είναι ευάλωτες σε μαγνητικά πεδία. Επιπλέον πολλές τηλεοράσεις, video players, εκτυπωτές, κι άλλα μέσα αναπαραγωγής βίντεο έχουν ενσωματωμένο αναγνώστη κάρτας (card reader) και μπορούν να παίξουν βίντεο απευθείας. Μειονέκτημά τους είναι το γεγονός πως ανά λεπτό εγγραφής, είναι πιο ακριβές από κάμερα με ενσωματωμένο HDD ή με DVD μέσο. Ακόμα αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα συμβατότητας καθώς όλοι οι αναγνώστες κάρτας δε μπορούν να διαβάσουν υψηλής χωρητικότητας Memory Stick ή κάρτες SDHC.

6. Καταγραφή Ήχου - Μικρόφωνα

Μέχρι τώρα γνωρίσαμε όλες τις διαδικασίες που απαιτούνται για την σύλληψη, την εγγραφή, την αποθήκευση και την αναπαραγωγή ενός αναλογικού ή ψηφιακού βίντεο. Στο κεφάλαιο αυτό θα γνωρίσουμε το μέσο που χρησιμοποιείται για την σύλληψη του ήχου καθώς επίσης και την διαδικασία που διενεργείται για την ψηφιοποίησή του. Ο λόγος που εξετάζουμε το σήμα του ήχου ξεχωριστά από το τμήμα της εικόνας του βίντεο έγκειται στο ότι η επεξεργασία της εικόνας ενός βίντεο γίνεται κατά κύριο λόγο ξεχωριστά από την επεξεργασία του ήχου. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, που αφορούν τον κινηματογράφο ή τις τηλεοπτικές μεταδόσεις το σήμα ήχου αποτελεί ξεχωριστό κομμάτι από το σήμα εικόνας και για την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος μεσολαβεί ένα κύκλωμα συγχρονισμού των δύο αυτών σημάτων.

6.1 Είδη Μικροφώνων

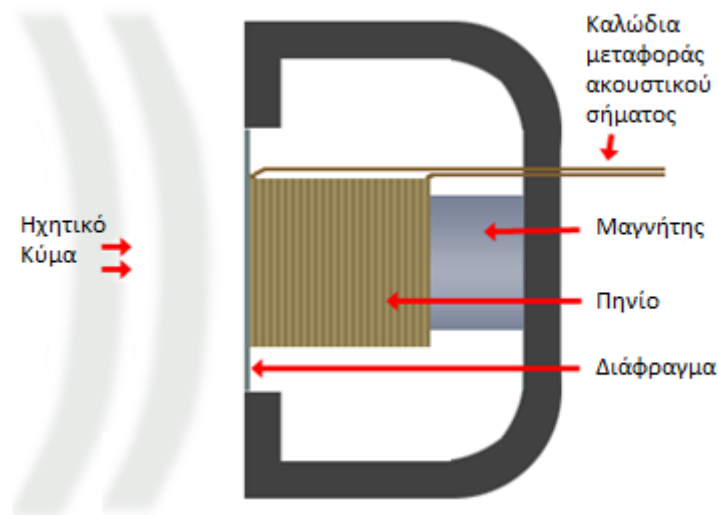
Το πρώτο πρακτικό – εμπορικά εκμεταλλεύσιμο - μικρόφωνο ανακαλύφθηκε τον Απρίλιο 1877 από τον Thomas Edison. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην μετατροπή της ακουστικής ενέργειας (ήχος) σε ηλεκτρική. Η σύλληψη του ήχου σε όλα τα μικρόφωνα γίνεται με ένα λεπτό, εύκαμπτο διάφραγμα. Οι ταλαντώσεις του διαφράγματος μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα με διάφορες μεθόδους, οι περισσότερες εκ των οποίων χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητισμό, μεταβολές φορτίου ή πιεζοηλεκτρισμό. Ανάλογα, λοιπόν, με τον τρόπο λειτουργίας τους, τα μικρόφωνα χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες.

6.1.1 Μικρόφωνα Άνθρακα

Το μικρόφωνο άνθρακα αποτελείται από δυο μεταλλικές πλάκες ανάμεσα στις οποίες υπάρχουν κόκκοι άνθρακα. Όταν τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν πάνω στη μία πλάκα (διάφραγμα), η πίεση που δέχονται οι κόκκοι αλλάζει, με αποτέλεσμα να αλλάζει και η ηλεκτρική αντίσταση ανάμεσα στις πλάκες. Ένα συνεχές ρεύμα περνάει από τη μία πλάκα στην άλλη, και η μεταβαλλόμενη αντίσταση έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και το ρεύμα. Ακριβώς σ' αυτές τις μεταβολές του ρεύματος “εμπεριέχεται” ο ήχος. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τέτοιου είδους μικρόφωνα είναι η μεγάλη ευαισθησία, η σταθερότητα, η ανθεκτικότητα στα κτυπήματα, το μικρό τους βάρος, ενώ είναι και ανεπηρέαστα στη θερμοκρασία. Απο την άλλη μεριά παρουσιάζουν χαμηλή ποιότητα ήχου και είναι ευαίσθητα στην εμφάνιση θορύβου εξαιτίας της μετακίνησης των κόκκων άνθρακα.

6.1.2 Δυναμικά Μικρόφωνα Κινητού Πηνίου

Αποτελούνται από το διάφραγμα, το πηνίο και τον μαγνήτη. Το διάφραγμα είναι ένα πλαστικό τύπου «Mylar» το οποίο έχει το πολύ 0.35 χιλιοστά πάχος. Το πηνίο είναι σταθεροποιημένο πάνω στο διάφραγμα και εντός του εντόνου μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται από τον μαγνήτη. Όταν το ηχητικό κύμα κτυπήσει το διάφραγμα αυτό θέτει σε ταλάντωση το πηνίο. Η ταλάντωση αυτή είναι ίδιας συχνότητας και εντάσεως του ηχητικού κύματος. Τότε σύμφωνα με την αρχή της μαγνητικής επαγωγής εφόσον το πηνίο κινείται εντός των μαγνητικών γραμμών του πεδίου, παράγεται ρεύμα εντός του πηνίου και εμφανίζεται μία τάση στα άκρα του (εικόνα 6.1).

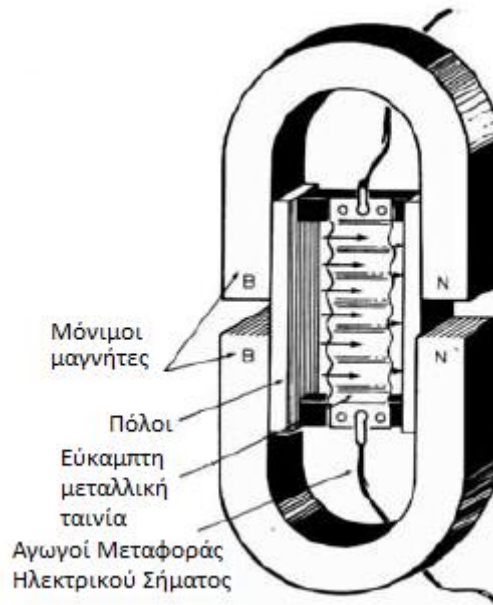


Εικόνα 6.1: Μικρόφωνο κινητού πηνίου

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μικροφώνων κινητού πηνίου είναι ότι η μάζα του συστήματος διάφραγμα - πηνίο είναι μεγάλη σχετικά με την ενέργεια που έχει το προσπίπτον ηχητικό κύμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην ανταποκρίνεται ακαριαία σε κάθε ηχητική αλλαγή ενώ επίσης λόγω της αδρανείας καθυστερεί να σταματήσει την κίνηση του αφότου το κύμα σταματήσει να το κτυπά. Για αυτό το λόγο τα μικρόφωνα κινητού πηνίου δεν έχουν τόσο ικανοποιητική απόκριση στις ψηλές συχνότητες. Σημαντικά τους πλεονεκτήματα είναι δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία για την λειτουργία τους, έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή καθώς και ανθεκτικότητα απέναντι στην υγρασία.

6.1.3 Δυναμικά μικρόφωνα ταινίας

Τα μικρόφωνα αυτού του είδους διαθέτουν μια λεπτή (περίπου 2 μικρόμετρα) πτυχωτή ταινία από αλουμίνιο η οποία είναι προσαρμοσμένη στο διάφραγμα και δέχεται πιέσεις από τα ηχητικά κύματα. Η ταινία βρίσκεται ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη κάθετα στη ροή του μαγνητικού πεδίου (εικόνα 6.2). Όταν το ηχητικό κύμα κτυπάει την ταινία αυτή ταλαντώνεται με την ίδια συχνότητα και ένταση τέμνοντας τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου παράγοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα λόγω επαγωγής.



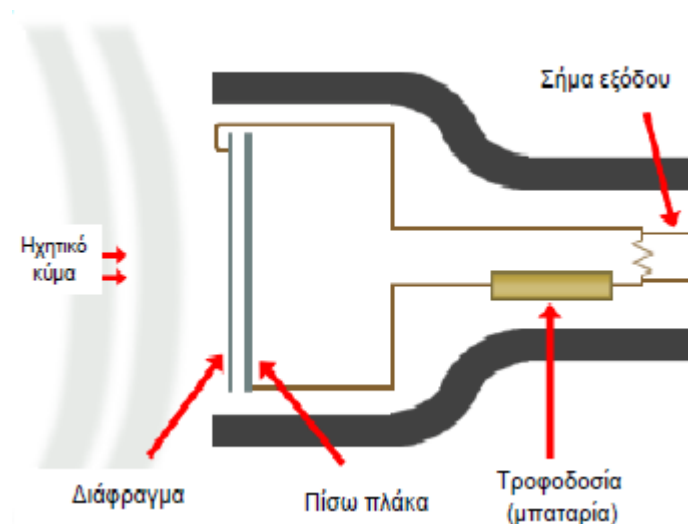
Εικόνα 6.2: Μικρόφωνο ταινίας

Τα μικρόφωνα αυτού του τύπου παρέχουν ήχο υψηλής ποιότητας, αλλά για να έχουν καλή απόδοση στις χαμηλές συχνότητες πρέπει η ταινία να είναι αναρτημένη πολύ χαλαρά με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε υψηλές ακουστικές πιέσεις ή άνεμο. Επίσης λόγω του πολύ μικρού μεγέθους της ταινίας, η ηλεκτρική της αντίσταση είναι πολύ μικρή (περίπου 0.2 Ohm) άρα και η τάση εξόδου που παράγεται στα άκρα της είναι μικρή. Έτσι το σήμα ενισχύεται συνήθως από ένα ενισχυτή, μέσα στο μικρόφωνο. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικά βήματα στην εξέλιξη των μικροφώνων ταινίας. Συγκεκριμένα έχουν κατασκευαστεί μικρόφωνα εξαιρετικά μικρών διαστάσεων αλλά και αυξημένης ανθεκτικότητας σε σχέση με τα πρώτα μικρόφωνα ούτως ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε σκληρότερες συνθήκες. Επίσης κατασκευάζονται μικρόφωνα όπου το διάφραγμα αποτελείται από ένα πολυεστερικό φιλμ στο οποίο τυπώνεται μια σπειροειδής αλουμινένια ταινία. Η κατασκευή περικλείεται από τέσσερις δακτυλιοειδείς μαγνήτες, δύο εμπροσθεν και δύο όπισθεν [15].

6.1.4 Πυκνωτικά Μικρόφωνα

Τα πυκνωτικά μικρόφωνα λειτουργούν με βάση τις αρχές της ηλεκτροστατικής. Η κάψα τους η οποία είναι ένας πυκνωτής αποτελείται από δύο πολύ λεπτά διαφράγματα -οπλισμούς-, (εικόνα 6.3). Ο ένας είναι κινητός και αποτελείται από ένα πλαστικό, διάφραγμα τύπου «Mylar», το οποίο είναι επιστρωμένο με χρυσό ή νίκηλ και απέχει περίπου ένα χιλιοστό της ίντσας από τον σταθερό. Ο πυκνωτής έχει την ικανότητα να συσσωρεύει ηλεκτρικό φορτίο. Η τάση εξόδου του πυκνωτή εξαρτάται από την χωρητικότητά του, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των οπλισμών του. Έτσι οι ταλαντώσεις του διαφράγματος έχουν σαν

αποτέλεσμα τη μεταβολή της απόστασης ανάμεσα στις δυο πλάκες και ταυτόχρονη μεταβολή της τάσης στα άκρα του.



Εικόνα 6.3: Πυκνωτικό μικρόφωνο

Επομένως όταν η τάση του πυκνωτή αλλάζει, η πτώση τάση της αντίστασης αλλάζει και αυτή. Η τάση της αντίστασης τότε γίνεται το σήμα εξόδου. Η αντίσταση και ο πυκνωτής πρέπει να είναι σε σειρά με το τροφοδοτικό, έτσι ώστε το σύνολο της πτώσης τάσης δια μέσου αυτών να είναι ίσο με την τάση τροφοδοσίας.

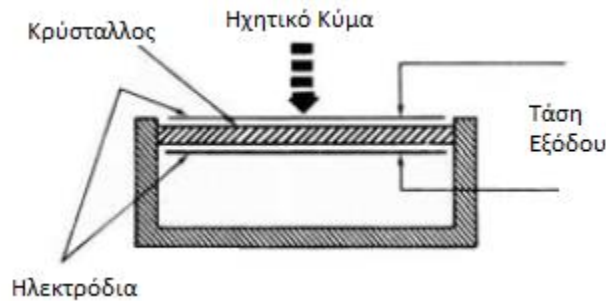
Το σήμα εξόδου επειδή είναι χαμηλού επιπέδου και υψηλής αντίστασης ενισχύεται από ενσωματωμένο προενισχυτή στο σώμα του μικροφώνου για να εμποδίσει τον βόμβο και μια απώλεια σήματος που τυχόν θα εμφανιζότανε στην αντίσταση των καλωδίων και σε άλλους παράγοντες – αν ο προενισχυτής ήταν σε απόσταση από την κάψα. Αυτή η προενίσχυση του μικροφώνου είναι άλλος ένας λόγος που πολλά πυκνωτικά μικρόφωνα χρειάζονται τροφοδοτικό. Τέλος, τα πυκνωτικά μικρόφωνα παρουσιάζουν άριστη ποιότητα απόδοσης και ακρίβεια στην απόκριση των ακραίων υψηλών συχνοτήτων, παράγοντας ένα πολύ καθαρό και διάφανο ήχο. Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται ομοιόμορφη και εκτεταμένη απόκριση [15].

6.1.5 Μικρόφωνα Ηλεκτρίτη (Electret)

Η ονομασία του μικροφώνου προέρχεται από το διηλεκτρικό υλικό, electret (**electrostatic magnet**) το οποίο χρησιμοποιεί για την λειτουργία του. Τα μικρόφωνα ηλεκτρίτη λειτουργούν, όπως και τα πυκνωτικά, στηριζόμενα στην αρχή της χωρητικότητας. Αντίθετα όμως με τα πυκνωτικά, όπου εφαρμόζεται εξωτερική τάση, στα μικρόφωνα ηλεκτρίτη η τάση είναι μόνιμα αποθηκευμένη στους σπλισμούς της κάψας (εξαιτίας του διηλεκτρικού) και έτσι δεν χρειάζεται τροφοδοσία. Τα μικρόφωνα ηλεκτρίτη είναι γενικά μικρότερα και ελαφρύτερα από τα πυκνωτικά.

6.1.6 Πιεζοηλεκτρικά Μικρόφωνα

Τα πιεζοηλεκτρικά μικρόφωνα βασίζονται στις πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες μερικών υλικών όπως είναι του κρυστάλλου και του κεραμικού όταν ασκείται επάνω τους πίεση όπως τα ηχητικά κύματα. Η πίεση των ηχητικών κυμάτων δημιουργεί μία τάση μεταξύ των δυο επιφανειών του κρυστάλλου, η οποία έχει την ίδια μορφή με το σήμα το οποίο προσκρούει πάνω στον κρύσταλλο. (εικόνα 6.4).

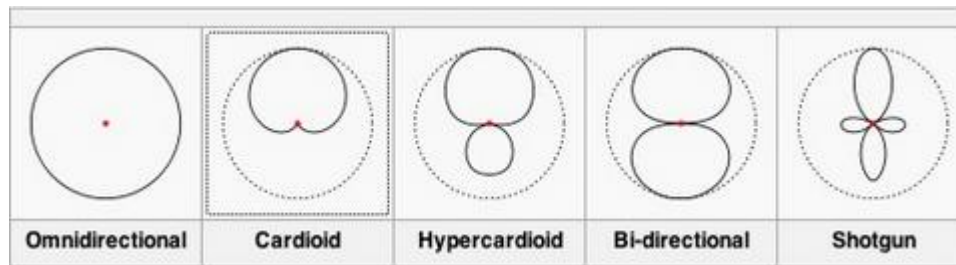


Εικόνα 6.4: Πιεζοηλεκτρικό μικρόφωνο

Πλεονέκτημα των πιεζοηλεκτρικών μικρόφωνων είναι το χαμηλό τους βάρος και ότι δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία για τη λειτουργία τους. Αντίθετα, παρουσιάζουν μικρή μηχανική αντοχή και έχουν χαμηλή ποιότητα απόδοσης.

6.2 Κατευθυντικότητα Μικροφώνων

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος έχει τη δυνατότητα να απομονώνει τους ήχους που θεωρεί θόρυβο και σχεδόν να τους εξαφανίζει ώστε ο ακροατής να ακούει μόνο τους ήχους που προέρχονται από τις ηχητικές πηγές που τον ενδιαφέρουν. Σε περίπτωση όμως όπου αυτοί οι ανεπιθύμητοι ήχοι έχουν καταγραφεί από το μικρόφωνο και ο ακροατής τους ακούει μέσω της αναπαραγωγής από το ηχείο, δεν είναι δυνατόν να γίνει ο διαχωρισμός από τον εγκέφαλο μεταξύ επιθυμητών ήχων και θορύβου αφού όλοι προέρχονται από την ίδια πηγή (το ηχείο). Έτσι διαπιστώθηκε η ανάγκη να έχουν τη δυνατότητα τα μικρόφωνα να προσλαμβάνουν μόνο τους ήχους που προέρχονται από τις πηγές που εμείς επιθυμούμε. Το χαρακτηριστικό αυτό, των μικροφώνων, που δείχνει την κατεύθυνση από την οποία λαμβάνει ήχο ένα μικρόφωνο, ορίζεται ως κατευθυντικότητα. Την κατευθυντικότητα ενός μικροφώνου μας την δείχνει το πολικό του διάγραμμα. Το πολικό διάγραμμα μας δείχνει συγκεκριμένα την ευαισθησία και την απόκριση συχνότητας ενός μικροφώνου, σε σχέση με τον κύριο άξονα, σε ένα πλήρη κύκλο. Με βάση την κατευθυντικότητα τα μικρόφωνα χωρίζονται σε παντοκατευθυντικά (omnidirectional), δικατευθυντικά (bidirectional), τα καρδιοειδή (cardioid), τα υπερκαρδιοειδή (ultracardioid) και τα μικρόφωνα τύπου “shotgun” [15].



Εικόνα 6.5: Πολικό διάγραμμα καθε τύπου μικροφώνου

Ένα παντοκατευθυντικό μικρόφωνο έχει την ικανότητα να αντιδρά με ίση ευαισθησία στους ήχους που προέρχονται από όλες τις κατευθύνσεις παράγοντας πολύ φυσικό ήχο. Συνήθως ένα μικρόφωνο με μικρή φυσική κατασκευή έχει παντοκατευθυντική συλλογή του ηχητικού μοτίβου σε όλες τις περιοχές των συχνοτήτων του ακουστικού φάσματος.

Τα δικατευθυντικά μικρόφωνα είναι αυτά που συλλαμβάνουν εμπρόσθιους και οπίσθιους ήχους ενώ απορρίπτουν τους πλαϊνούς. Τα μικρόφωνα ταινίας είναι συνήθως δικατευθυντικά. Όπως είπαμε πιο πάνω, σε αυτά η κίνηση της ταινίας προκαλείται στην ουσία από την διαφορά πίεσης μεταξύ της εμπρόσθιας και της οπίσθιας πλευράς της ταινίας. Ο ήχος όταν προσπίπτει στην οπίσθια πλευρά παράγει τάση με διαφορά φάσης 180ο σε σχέση με τον προσπίπτοντα στην εμπρόσθια. Αντίθετα ο ήχος που προσπίπτει στα πλάγια της ταινίας σε γωνία 90° ή 270° κτυπάει ισοδύναμα και τις δύο πλευρές άρα δεν προκαλεί κάποια τάση, γι' αυτό και έχουν δικατευθυντικό πολικό διάγραμμα.

Τα καρδιοειδή μικρόφωνα είναι περισσότερο ευαίσθητα σε παραγόμενους ήχους κατευθείαν μπροστά σε αυτά, δηλαδή στον κύριο άξονα. Ονομάζονται καρδιοειδή επειδή το πολικό τους διάγραμμα έχει σχήμα καρδιάς. Οι ήχοι που συλλέγονται πλευρικά (90° και 270°) μειώνονται κατά 6 dB ενώ οι οπίσθιοι ήχοι (180°) σχεδόν απορρίπτονται. Το σούπερ καρδιοειδές (Supercardioid) μικρόφωνο το οποίο είναι λιγότερο ευαίσθητο πλευρικά (μείωση κατά 8 – 9 dB περίπου) ενώ η μέγιστη απόρριψη είναι στις 125° και 235° ή 150° και 210°. Ακόμα, στα υπερκαρδιοειδή (Hyper-cardioid) μικρόφωνα η πλευρική συλλογή ήχων είναι ακόμη μικρότερη, όμως στις 180° έχουμε μεγαλύτερη ευαισθησία σε σχέση με τα καρδιοειδή. Τα καρδιοειδή και τα σουπερ καρδιοειδή πυκνωτικά μικρόφωνα χρησιμοποιούνται ευρέως σε επαγγελματικές κάμερες.

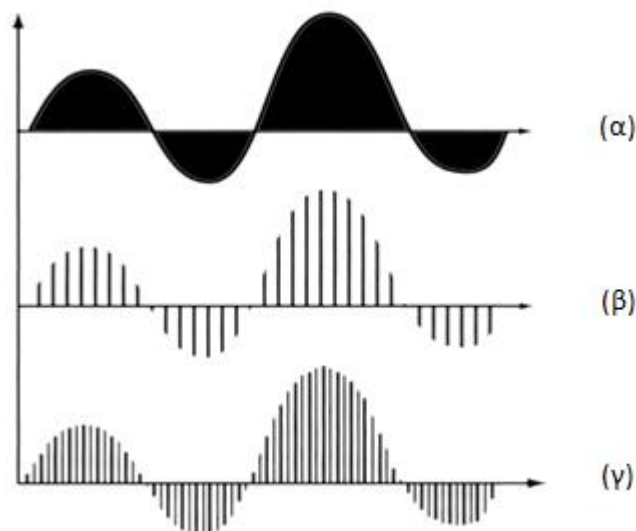
Σε ότι αφορά τώρα τα μικρόφωνα τύπου “Shotgun”, αυτά έχουν ξεχωριστό πολικό διάγραμμα το οποίο μοιάζει με ισοπεδωμένο μπροστινό λοβό, με μια σειρά μικρών πίσω λοβών. Το μοτίβο τους και η υψηλή κατευθυντικότητα τους εξαρτώνται από το μήκος της σύνθεσης της εξωτερικής κατασκευής τους. Όσο μεγαλώνει το μήκος της κατασκευής τόσο αυξάνει η απόδοση της συλλογής των χαμηλών συχνοτήτων. Αυτά τα μικρόφωνα δεν χρησιμοποιούνται τόσο σε στούντιο ηχογραφήσεων όσο σε εξωτερικές λήψεις κινηματογράφου και τηλεόρασης ή σε ζωντανές παραστάσεις θεάτρου.

6.3 Διαδικασία Ψηφιοποίησης του Ήχου

Ανεξάρτητα από τον τύπο μικροφώνου που θα χρησιμοποιήσουμε, το σήμα που θα παραχθεί θα έχει αναλογική μορφή. Απαιτείται λοιπόν η ψηφιοποίησή του μέσα από μία διαδικασία, όμοια με αυτή της ψηφιοποίησης του σήματος της εικόνας, που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Μίας διαδικασίας που περιέχει τα στάδια της δειγματοληψίας, της κβαντοποίησης και της κωδικοποίησης.

6.3.1 Δειγματοληψία – Κβαντοποίηση

Να θυμίσουμε ότι κατά την διαδικασία της δειγματοληψίας, λαμβάνουμε δείγματα του πλάτους του αναλογικού σήματος με σταθερό ρυθμό (συχνότητα). Ο ρυθμός αυτός της δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος της συχνότητας του αναλογικού σήματος. Για την δειγματοληψία λοιπόν του σήματος ήχου συνήθως χρησιμοποιούμε συχνότητα 44KHz. Ένα παράδειγμα δειγματοληπτημένου σήματος φαίνεται στην παρακάτω (εικόνα 6.6) [22].



Εικόνα 6.6: (α) αναλογικό σήμα, (β),(γ) δειγματοληπτημένο σήμα με μικρή και μεγάλη συχνότητα αντίστοιχα

Όπως καταλαβαίνουμε η μεγαλύτερη ποιότητα δειγματοληψίας μας προσφέρει και καλύτερη ποιότητα στο παραγόμενο ηχητικό σήμα.

Την διαδικασία της δειγματοληψίας ακολουθεί η διαδικασία της κβάντωσης σύμφωνα με την οποία το πλάτος του κάθε δείγματος λαμβάνει μία συγκεκριμένη δεκαδική τιμή ανάλογα με την στάθμη που έχει, γίνεται δηλαδή κατά μία έννοια στρογγυλοποίησή του. Το εύρος αυτών των δεκαδικών τιμών είναι συνήθως από 0 έως 255, δηλαδή για την κωδικοποίησή του που θα ακολουθήσει έπειτα θα χρειαστούν 8 bit. Όμως πολλές φορές το εύρος αυτό είναι μεγαλύτερο και κυμαίνεται από 0 έως 65535 (16 bit). Να πούμε ότι το εύρος αυτών των τιμών καθορίζεται κυρίως από τον

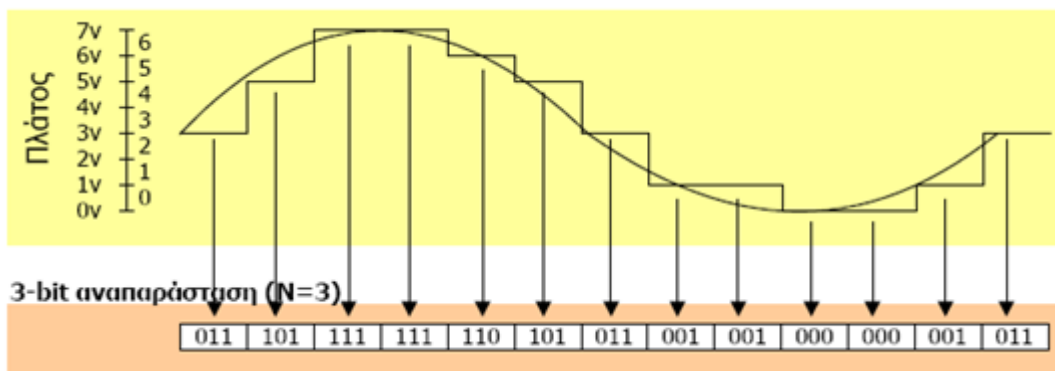
A/D (αναλογικό/ψηφιακό) μετατροπέα που χρησιμοποιείται από το hardware.

6.3.2 Κωδικοποίηση [22]

Η διαδικασία ψηφιοποίησης του αναλογικού σήματος ολοκληρώνεται με την κωδικοποίηση, δηλαδή την μετατροπή της δεκαδικής τιμής σε δυαδική. Η κωδικοποίηση αποτελεί ίσως ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια της ψηφιοποίησης του δείγματος καθώς αυτή είναι και που θα καθορίσει το τελικό μέγεθος του ψηφιακού σήματος (αρχείου). Λόγω της σπουδαιότητας αυτής έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης, οι σημαντικότερες εκ των οποίων αναλύονται παρακάτω.

6.3.2.1 PCM – Γραμμική PCM

Μια από τις πιο απλές και διαδεδομένες μεθόδους κωδικοποίησης ψηφιακού ήχου είναι η παλμοκωδική κωδικοποίηση PCM. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή κάθε δείγμα αναπαριστάται με ένα σύνολο παλμών που αντιστοιχούν στον δυαδικό κώδικα και στην τιμή του δείγματος, έχοντας ως επακόλουθο την αποθήκευση ένα προς ένα των δειγμάτων σε ψηφιακή μορφή χρησιμοποιώντας γραμμική κωδικοποίηση (εικόνα 6.7) [22].



Εικόνα 6.7: Κωδικοποίηση PCM

Όπως είναι αναμενόμενο, η πιστότητα του σήματος που προκύπτει είναι συνάρτηση του δυαδικού κώδικα, π.χ. ένα δυναμικό εύρος 128 τιμών θα έχει ως αποτέλεσμα την απάλειψη ήχων στο ψηφιοποιημένο σήμα με ένταση ίση ή μικρότερη από το 1/128 της έντασης του δυνατότερου ήχου που μπορεί να αναπαρασταθεί από το σήμα. Αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα καθώς μειώνεται η πιστότητα σε ένταση σε ασθενή ηχητικά σήματα. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί άλλες τεχνικές που εξαλείφουν κατά ένα μεγάλο βαθμό το πρόβλημα αυτό. Μία από αυτές τις τεχνικές είναι και η λογαριθμική κωδικοποίηση PCM

6.3.2.2 Λογαριθμική PCM

Η διαφορά της λογαριθμικής κωδικοποίησης ήχου σε σχέση με την γραμμική έγκειται στο γεγονός ότι κατά την διαδικασία της κβάντωσης αντιστοιχίζονται (δημιουργούνται) ολοένα και περισσότερες στάθμες στις χαμηλές συχνότητες και λιγότερες στις υψηλές. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα που περιγράψαμε νωρίτερα, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται και κάποιας μορφής συμπίεση της τάξης του 1,75 προς 1, σε σχέση με την γραμμική PCM. Στην κατηγορία αυτή της λογαριθμικής κωδικοποίησης ήχου εντάσσονται οι Mu-Law PCM και A-Law PCM, δύο μέθοδοι που έχουν τυποποιηθεί από το ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector) στο πρότυπο G711, Pulse Code Modulation of noise Frequencies το οποίο και περιγράφει λεπτομερές τα δύο είδη κωδικοποίησης. Συγκεκριμένα, η Mu-Law υλοποιείται σε ISDN (Integrated Services Digital Network) δίκτυα της Ιαπωνίας και της Β.Αμερικής ενώ η A-Law σε δίκτυα των υπόλοιπων χωρών.

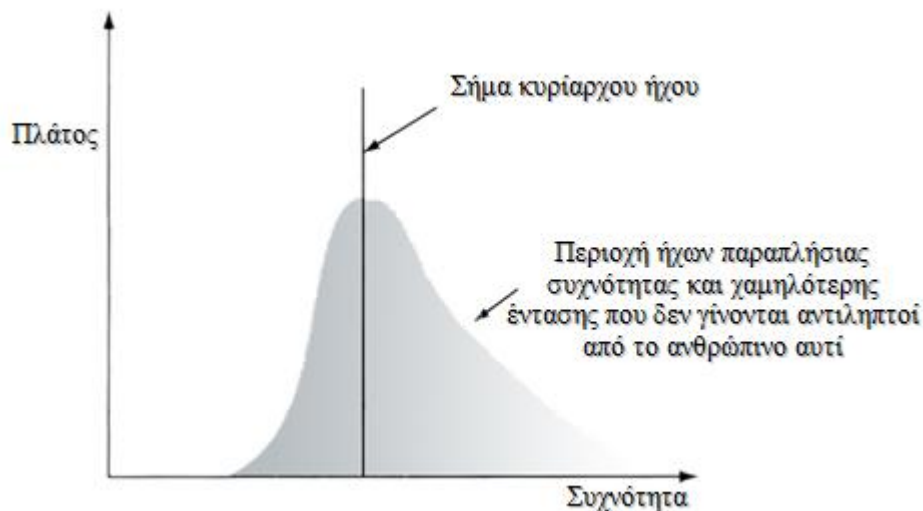
6.3.2.3 DPCM

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέραμε ένα νέο στοιχείο, αυτό της συμπίεσης κατά την κωδικοποίηση. Μία τεχνική κωδικοποίησης που επιφέρει αρκετά υψηλή συμπίεση είναι η DPCM (Differential Pulse-Code Modulation). Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο κάθε δείγμα που λαμβάνεται κωδικοποιείται με βάση την διαφορά του από το προηγούμενο δείγμα π.χ αν η τιμή του d_1 δείγματος είναι 34 και του d_2 40 τότε το δείγμα d_2 κωδικοποιείται με τον αριθμό 6. Η βασική έννοια της DPCM που κωδικοποιεί μια διαφορά, στηρίζεται στο γεγονός ότι τα περισσότερα σήματα πηγής παρουσιάζουν σημαντικό συσχετισμό μεταξύ των διαδοχικών δειγμάτων που κωδικοποιούν, ούτως ώστε οι τιμές των δειγμάτων να διαμορφώνουν χαμηλό ποσοστό δυαδικών ψηφίων.

Μια ειδική μορφή της διαφορικής παλμοκωδικής κωδικοποίησης είναι η DM (Delta Modulation), ως απλουστευμένη DPCM κατά την οποία η διαφορά της επόμενης και της τρέχουσας τιμής του δείγματος κωδικοποιείται με ένα μόνο bit παίρνοντας τιμές σύμφωνα με την αρχή DM: Η παραγωγή DM είναι 0 εάν το τρέχον δείγμα έχει μικρότερο εύρος από το προηγούμενο και 1 εάν το τρέχον δείγμα έχει εύρος μεγαλύτερο από το αμέσως προηγούμενο, με επακόλουθο το DM να κωδικοποιεί την κατεύθυνση των διαφορών στο εύρος σήματος αντί την αξία της διαφοράς DPCM. Αυτό σημαίνει ότι κάθε δείγμα μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο κατά ένα κβάντο από το προηγούμενο του με αποτέλεσμα ο περιορισμός να οδηγεί σε μεγάλη οικονομία αλλά αν το σήμα αλλάζει γρήγορα θα υπάρχει μεγάλη απώλεια πληροφορίας.

6.4 Συμπύεση Ήχου^[22]

Στην προηγούμενη ενότητα κάναμε μία πρώτη αναφορά στην συμπίεση του ψηφιακού σήματος ήχου, η οποία όπως είδαμε πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου κωδικοποίησης. Πέρα όμως από αυτή την συμπίεση έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι συμπίεσης του ήχου, ανάλογης μορφής με αυτούς που συναντήσαμε στην ενότητα του ψηφιακού βίντεο. Για την περίπτωση του ήχου, που εξετάζουμε στην ενότητα αυτή, οι μέθοδοι συμπίεσης ψηφιακών ηχητικών αρχείων στηρίζονται στο φαινόμενο της ηχητικής σκίασης (auditory masking), που αποσκοπεί στην ακουστικότητα των ήχων. Πιο συγκεκριμένα, όταν υπάρχει ένας ήχος συγκεκριμένης συχνότητας και έντασης, άλλοι ήχοι σε κοντινές συχνότητες δεν γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί. Παράλληλα, κατά την συμπίεσης των ψηφιακών ηχητικών δεδομένων απορρίπτονται οι συχνότητες που το ανθρώπινο αυτί δεν μπορεί να ξεχωρίσει μέσα σε ένα καθορισμένο διάστημα συχνοτήτων. Αν και χάνονται ορισμένες ηχητικές πληροφορίες εντούτοις η ποιότητα του ήχου παραμένει σε υψηλά επίπεδα (εικόνα 6.7) [22].



Εικόνα 6.7: Φαινόμενο ηχητικής σκίασης

Το φαινόμενο της ηχητικής σκίασης, είναι άμεσα συνδεδεμένο τόσο με το πρότυπο AC-3 Dolby Digital (H.P.A) όσο και με το Mpeg των οποίων οι διαφορές τους στηρίζονται στο τρόπο υλοποίησης τους. Εντούτοις και τα δύο πρότυπα συμπίεσης ηχητικών δεδομένων, δουλεύουν χωρίζοντας το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων σε υπομπάντες χρησιμοποιώντας περίπλοκους αλγόριθμους και ψυχοακουστικά μέσα για να απορρίψουν τις μη ακουστικές από το ανθρώπινο αυτί συχνότητες.

6.4.1 Mpeg

Το πρώτο διεθνές πρότυπο για την συμπίεση ήχου υψηλής πιστότητας είναι το *Mpeg-1 Audio*, το οποίο αποτελείται από τρία ξεχωριστά επίπεδα. Παράλληλα, το

πρότυπο Mpeg-1 Audio προβλέπει ένα ή δύο ηχητικά κανάλια χρησιμοποιώντας 16bits για την κωδικοποίηση των δειγμάτων, ενώ η συχνότητα δειγματοληψίας του ήχου μπορεί να είναι 32kHz, 44kHz ή 48 kHz.

Το Mpeg-1 Audio Layer I χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα συμπίεσης ψηφιακής κασέτας DCC της Philips προσφέροντας συμπίεση 4:1. Ως αποτέλεσμα, η ηχητική ποιότητα είναι μέτρια ενώ το bandwidth που απαιτείται είναι αυξημένο στα 192 ή 256Kbps ανά κανάλι.

Το Mpeg-1 Audio Layer II (ή Mp2), χρησιμοποιήθηκε στο ψηφιακό ραδιόφωνο όπου ο αλγόριθμος αυτή της κατηγορίας έχει βελτιστοποιηθεί για ένα εύρος ζώνης 96 ή 128 kbps ανά μονοφωνικό κανάλι, ενώ ως αποτέλεσμα η ποιότητα είναι εφάμιλλη του CD (6:1...8:1 με 256...192 kbps για στερεοφωνικό ήχο) .

Αντίθετα, το Mpeg-1 Audio Layer III ή αλλιώς Mp3 έχοντας καλύτερη απόδοση από τα παραπάνω παρουσιάζει συμπίεση περίπου 12:1 με ποιότητα που πλησιάζει αυτή των CD και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στα 64 kbps. Επιπλέον, για δομημένη ποιότητα ήχου Mpeg Layer III απαιτείται μικρότερο bit rate ή αλλιώς για δοσμένο bit rate επιτυγχάνεται υψηλότερη ποιότητα ήχου. Συμπερασματικά, το πρότυπο προσφέρει δειγματοληψία ελαττωμένη κατά το ήμισυ (16 kHz, 22kHz και 24kHz), παρέχοντας βελτιωμένη ποιότητα για ρυθμούς μετάδοσης σε 64 Kbit/sec.

6.4.2 AC3 – Dolby Digital

Ένα από τα πιο διαδεδομένα πρότυπα για τον ψηφιακό πολυκάναλο ήχο είναι το AC3, που άρχισε να γίνεται το διεθνές πρότυπο για την συμπίεση ηχητικών δεδομένων. Σύμφωνα με το AC3, ο ήχος κωδικοποιείται σε έξι συνολικά κανάλια στηριζόμενα στην μέθοδο 5.1. Συγκεκριμένα, υπάρχουν: (α) τρία κανάλια (αριστερό, κεντρικό, δεξί) που αποσκοπούν στο να φέρουν την βασική ηχητική πληροφορία, (β) δύο συνοδευτικά κανάλια περιβάλλοντος ήχου και (γ) ένα κανάλι για τις υπόλοιπες συχνότητες (σύστημα 3/2/.1). Ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους, τα πέντε πρώτα κανάλια διαχειρίζονται συχνότητες ήχου στο διάστημα 3-20000Hz, ενώ το έκτο συχνότητες 3-120Hz. Συμπερασματικά, ο ρυθμός δειγματοληψία είναι 48KHz μεγαλύτερος από το ρυθμό των 44KHz που χρησιμοποιείται στα CDs, ενώ η συμπίεση των ηχητικών δεδομένων ανέρχεται στην αναλογία 10:1.

7. Συμπεράσματα

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής και κοιτώντας όλα όσα αναφέρθηκαν, μπορούμε να εξάγουμε κάποια πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Κάποια εξ αυτών αφορούν το αναλογικό σήμα βίντεο, το οποίο για την μετάδοσή του απαιτεί ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Παρόλα αυτά, με την ψηφιοποίηση των σημάτων πετυχαίνουμε την εκπομπή της ίδιας πληροφορίας, χρησιμοποιώντας όμως μικρότερο εύρος ζώνης. Επίσης, με την εξοικονόμηση αυτή σε εύρος ζώνης αυξάνεται η χωρητικότητα του φάσματος, δηλαδή αυξάνονται οι χρήστες που μπορούν να χρησιμοποιήσουν το διαθέσιμο φάσμα (συχνοτήτων), η έκταση του οποίου είναι συγκεκριμένη εξ ορισμού. Παράλληλα η ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων έχει εξαλείψει το θόρυβο με αποτέλεσμα να έχουμε ‘καθαρότερη’ εικόνα και ήχο. Ακόμα, τα ψηφιακά συστήματα απαιτούν πολύ λιγότερη κατανάλωση ισχύος για την λειτουργία τους. Από την άλλη μεριά όμως, έχει αυξηθεί η πολυπλοκότητα τους κάτι που έχει αυξήσει και το κόστος τους.

Το κομμάτι/πεδίο των ηλεκτρονικών εικόνας ή/και ήχου επιλέχθηκε, καθώς αποτελεί ένα από τα πιο απτά πεδία της επιστήμης των ηλεκτρονικών, εντός του οποίου η σύζευξη των γνώσεων από άλλες επιστήμες ή /και πεδία, γίνονται πιο εύκολα αντιληπτά και χρηστικά.

Με το παρόν, ελπίζουμε και ευελπιστούμε να συντελέσαμε στην δημιουργία μίας χρηστικής, οφέλιμης και καρποφόρας ως προς την γνώση που προσέφερε, πτυχιακής εργασίας.

Βιβλιογραφία

[1] “Το αλφάβητο του Οπτικού Πολιτισμού, Σύντομη αναδρομή στην τέχνη και τις τεχνικές φωτογραφίας”, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

http://www2.media.uoa.gr/lectures/VCommun/Lessons/Lesson01/final_papers/photo_history.pdf

[2] “Η ιστορία της φωτογραφίας: Από το σκοτεινό θάλαμο στην ψηφιακή εικόνα”, 49^ο Γενικό Λύκειο Αθήνας, Αθήνα 2012, Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

http://49lyk-athin.att.sch.gr/EREYNHTIKES_ERGASIES_files/FOTOGRAFIA_PROJECT.pdf

[3] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

http://en.wikipedia.org/wiki/Leica_Camera

[4] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://projects.pblogs.gr/h-istoria-toy-kinhmatografoy-omada-1.html>

[5] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

http://gym-n-kallist.rod.sch.gr/programs/2012-13/politistika/exelixa_film/exelixa_film.htm

[6] Διαθέσιμο στον διαδικτυακό τόπο:

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82>

[7] Π. Δρακόπουλος, Γ. Ασημέλλης., “Εφαρμοσμένη Οπτική - Οπτικά Όργανα Απεικόνισης”. Εκδοτικός οίκος : Σύγχρονη Γνώση.

[8] Γ. Αναστασιάδης. “Σχεδίαση εκπαιδευτικής φωτογραφικής μηχανής για παιδιά 8-14 ετών”. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα σχεδίασης προϊόντων και συστημάτων. Ερμούπολη. Ιούλιος 2011.

[9] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://cyprusphotography.co/tips-tutorials/tip1-aperture-shutter-speed-iso/>

[10] Σ. Κουτσουμπής , Μ. Μακροπούλου. “Ανιχνευτές CCD: Αρχή λειτουργίας και εφαρμογές”, ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ.

[11] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>

[12] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.thephoblographer.com/2013/07/31/an-introduction-to-and-brief-history-of-digital-imaging-sensor-technologies/#more-48380>

[13] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://cvp.com/index.php?t=helpCentre/page/39/image+sensor+size+comparison>

[14] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://www.better-digital-photo-tips.com/crop-factor.html>

[15] Α. ΚΡΑΛΛΗΣ. “«Μελέτη - Υλοποίηση – Αξιολόγηση Συστήματος Συμπρωτικού Μικροφώνου Για Την Πολυκαναλική Ηχογράφηση Μουσικής”. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών Τμήμα Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης Μεθοδολογία Επιστημονικής Έρευνας.

[16] Δ. Κόκκας, “Μεθοδολογία και προδιαγραφές για την επιλογή κατάλληλων προτύπων δομικών στοιχείων Πολυμεσικού Εκπαιδευτικού Υλικού”. Εργαστήριο Πληροφορικής Γ.Π.Α.

[17] Διαθέσιμη στον διαδικτυακό τόπο:

<http://en.wikipedia.org/wiki/File:PAL-NTSC-SECAM.svg>

[18] Κ.Νάσσοσ. “Γνωρίζοντας τα σύγχρονα home Electronics, Σώστε την εικόνα”. Ιανουάριος 2001

[19] Η. Μαγκλογιάννης. “Ηχος- Video”. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Τμήμα Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων.

[20] Ε.Καπούρα, Γ.Κουφονίκος. “Δημιουργία διαδραστικού τίτλου υψηλής ευκρίνειας (Blu-Ray), μιας ζωντανής οπτικοακουστικής παραγωγής”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 2009.

[21] Χ.Βουλγαράκης. “ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΒΙΝΤΕΟ ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ ΣΕ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Τομέας Τηλεπικοινωνιών. Θεσσαλονίκη 2009.

[22] Μ.Χρυσάνθου. “ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ ΗΧΟΥ ”. Ιόνιο Πανεπιστήμιο. Τμήμα αρχειονομίας και βιβλιοθηκονομίας. Κέρκυρα 2006.