

475
ΑΥΤ



ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΜΠΑΧΤΑΛΙΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

με θέμα: «Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΜΑΤΟΓΡΑΦΟ»



Εισηγητής Καθηγητής:
Καραϊσκος Χρήστος

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΒΙΝΤΕΟΚΑΜΕΡΑ

1.1 Γενικά για τη βιντεοκάμερα.....	σελ. 2
1.2 Προδιαγραφές μιας βιντεοκάμερας.....	σελ. 3
1.3 Φακοί.....	σελ. 7
1.4 Αισθητήρια.....	σελ. 13
1.5 Γενικές αρχές της συμπίεσης του βίντεο.....	σελ. 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΡΗΣΗ ADOBE AFTER EFFECTS

2.1 Γενικά πράγματα για την εικόνα.....	σελ. 43
2.2 Το βίντεο της πτυχιακής.....	σελ. 54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΦΗΓΗΣΗ ΒΙΝΤΕΟ..... σελ. 63

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΒΙΝΤΕΟΚΑΜΕΡΑ

1.1 Γενικά για τη βιντεοκάμερα

Μια από τις μεγαλύτερες επαναστάσεις μετά την αναλογική τηλεόραση ήταν το ψηφιακό βίντεο. Έπειτα από την εφεύρεση και διάδοσή του, η παραγωγή ποιοτικών ταινιών δεν ήταν πλέον προτέρημα μόνο των μεγάλων κινηματογραφικών στούντιο. Όλοι μπορούν να αποκτήσουν μια ψηφιακή βίντεο-κάμερα και να γίνουν συνάδελφοι του Στήβεν Σπίλμπεργκ.

Ακόμα όμως και τα μεγάλα κινηματογραφικά στούντιο χρησιμοποιούν για ορισμένα πλάνα ή και για ολόκληρη ταινία (όπως το «The Blair Witch Project»), φορητή ψηφιακή βιντεοκάμερα σαν αυτή που μπορούμε να έχουμε σπίτι μας με λογικό κόστος. Αλλά όπως θα έχετε παρατηρήσει, ακόμα και σε ζωντανές τηλεοπτικές εκπομπές (συνήθως νεανικού περιεχομένου) ο σκηνοθέτης χρησιμοποιεί φορητή ψηφιακή βιντεοκάμερα για να δώσει έναν πιο ανάλαφρο «αέρα» στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα. Βγαίνει λοιπόν το συμπέρασμα ότι πρόκειται για μια επανάσταση που ξεκίνησε το ψηφιακό βίντεο και σήμερα αφομοιώνεται από το μεγαλύτερο μέρος των διαθέσιμων μοντέλων ψηφιακών βιντεοκαμερών.

Το υλικό που έχουμε μέσα στην ψηφιακή μας βιντεοκάμερα έχουμε τη δυνατότητα να το αφήσουμε εκεί και να το αναπαράγουμε όποτε θέλουμε συνδέοντας την με κάποιο μέσο προβολής όπως τηλεόραση ή οθόνη υπολογιστή. Πιο συναρπαστική βέβαια είναι η δυνατότητα που μας δίνεται να «μεταφέρουμε» το υλικό μας σε ένα μεγάλο εύρος άλλων αποθηκευτικών μέσων, από το σκληρό δίσκο του υπολογιστή μας, μέχρι σε βιντεοκασέτες VHS αλλά και δίσκους DVD.

Στις μέρες μας που οι βίντεο- κάμερες έχουν γίνει σχετικά προσιτές, πολλές βρίσκονται ήδη στα χέρια των ερασιτεχνών, ενώ περισσότεροι είναι αυτοί που σκέφτονται να αποκτήσουν. Το παρακάτω κείμενο, σκοπό έχει να δώσει την ερμηνεία των τεχνικών χαρακτηριστικών τους ώστε η ανάγνωση των προδιαγραφών μιας τέτοιας βίντεο κάμερας να γίνει όσο το δυνατόν κατανοητή. Η παρακάτω ανάλυση ξεκινά με την περιγραφή των προδιαγραφών μιας βίντεο-κάμερας συνεχίζοντας με τον φακό και εν συνεχεία περνάμε στην περιγραφή των αισθητηρίων (“καρδιά της βιντεοκάμερας”). Τέλος, θα αναφερθούμε στη συμπίεση του ψηφιακού βίντεο.

1.2 Προδιαγραφές μιας βίντεο- κάμερας

Τα χαρακτηριστικά που διαβάζουμε στις προδιαγραφές είναι:

- **Μέγεθος των pixel :**

Καθορίζει τη σχετική συνάφεια της βίντεο- κάμερας με το υπόλοιπο οπτικό σύστημα. Είναι μαζί με το ενεργό εστιακό μήκος, αυτό που θα καθορίσει την κλίμακα ειδώλου στις εικόνες. Ο τύπος που χρησιμοποιούμε είναι:

$$\text{Κλίμακα} = \frac{206.265 \times \text{μέγεθος pixel σε μικρά}}{\text{Ενεργό εστιακό μήκος τηλεσκοπίου σε mm}}$$

- **Εύρος του πεδίου :** Που θα καλυφθεί δίνεται σε κάθε διάσταση (μήκος ή πλάτος) του CCD από τον τύπο:

$$\text{Πεδίο} = \frac{3438 \times \text{πλάτος CCD σε mm}}{\text{Ενεργό εστιακό μήκος τηλεσκοπίου σε mm}}$$

- **Μονόχρωμη ή έγχρωμη:**

Οι μονόχρωμες κάμερες έχουν μεγαλύτερη ανάλυση (για το ίδιο πλήθος pixel), μεγαλύτερη ευαισθησία και μεγαλύτερη δυναμική περιοχή από τις έγχρωμες. Για να δώσουν έγχρωμη εικόνα πρέπει να γίνουν λήψεις σε όλα τα φίλτρα και να συνδυαστούν τα αποτελέσματα εκ των υστέρων. Η πιστότητα όμως που μπορούν να δώσουν είναι η υψηλότερη δυνατή. Οι έγχρωμες κάμερες είναι πιο εύρηστες και οικονομικές από το συνδυασμό μονόχρωμη CCD + Filter wheel + φίλτρα LRGB.

- **Εύρος ψηφιοποίησης:**

Είναι πια σε όλες τις μονόχρωμες 16-bit (65536 αποχρώσεις του γκρι) ενώ στις έγχρωμες 4 x 12-bit. Μεγαλύτερο εύρος ψηφιοποίησης σημαίνει μεγαλύτερη δυναμική περιοχή.

- **Quantum efficiency:**

Δείχνει το πόσο ευαίσθητη είναι η κάμερα. Οι τιμές εξαρτώνται από το μήκος κύματος και φανερώσουν το ποσοστό των φωτονίων που μετατρέπεται σε φωτοηλεκτρόνια. Αν στο ίδιο μήκος κύματος μια κάμερα έχει ευαισθησία 45% και μια άλλη 85%, η δεύτερη χρειάζεται περίπου το μισό χρόνο για να καταγράψει την ίδια πληροφορία.

- **Well depth (χωρητικότητα εικονοστοιχείων):**

Είναι εν πολλοίς φυσική ιδιότητα του φωτοευαίσθητου υλικού από το οποίο φτιάχνονται τα εικονοστοιχεία (pixel) και σχετίζεται άμεσα με τις διαστάσεις τους. Έτσι τα 9 μικρά έχουν χωρητικότητα 100.000 φωτοηλεκτρονίων ενώ τα 24 μικρά έχουν 500.000. Εδώ θέλει προσοχή γιατί άλλοι κατασκευαστές δημοσιεύουν (συνήθως) το “full well depth” και άλλοι το “linear well depth” που είναι το πλήθος φωτοηλεκτρονίων στο οποίο η κάμερα έχει γραμμική απόκριση (διπλάσια προσπίπτοντα φωτόνια = διπλάσια δημιουργούμενα φωτοηλεκτρόνια).

- **Gain:**

Είναι ο συντελεστής μετατροπής φωτοηλεκτρονίων σε ψηφιακές μονάδες (ADU) τις οποίες κατόπιν διαβάζουν τα υποσυστήματα του υπολογιστή μας. Μικρότερες τιμές του, σημαίνουν καλύτερη αξιοποίηση της δυναμικής περιοχής.

- **Dark current (ρεύμα σκότους):**

Η συσκευή παράγει φωτοηλεκτρόνια-παράσιτα. Το καλό νέο είναι πως ο ρυθμός παραγωγής μειώνεται όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας και αυτό εξηγεί την ύπαρξη κυκλώματος ψύξης. Πρακτικά, κάτω από τους -35°C δεν παράγονται παρά ελάχιστα παράσιτα. Αφαιρούνται με τη λήψη εικόνων σκότους.

- **Read noise (θόρυβος ανάγνωσης):**

Είναι ψηφιακός θόρυβος που εισάγεται κατά τη διαδικασία ανάγνωσης των τιμών των εικονοστοιχείων. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του, τόσο το καλύτερο.

- **Antiblooming ή όχι:**

Η ύπαρξη πυλών antiblooming στο τσιπ της συσκευής αποτρέπει την υπερχειλίση φωτοηλεκτρονίων προς τα επόμενα εικονοστοιχεία. Το τίμημα γι αυτή τη δυνατότητα είναι η κατά πολύ μειωμένη κβαντική ευαισθησία και χωρητικότητα .

- **Επικοινωνία:**

Οι σημερινές βίντεο- κάμερες επικοινωνούν με τον υπολογιστή μέσω θύρας USB επιτρέποντας σχετικά σύντομους χρόνους για να μεταφερθεί το βίντεο στο σκληρό δίσκο προς αποθήκευση. Οι παλαιότερες επικοινωνούσαν μέσω παράλληλης θύρας και οι αντίστοιχοι χρόνοι ήταν πολύ μεγαλύτεροι. Κάποιες έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω δικτύου Ethernet, ενώ άλλες χρησιμοποιούν σύνδεση firewire.

- **Ψύξη:**

Η ψύξη της συσκευής είναι ιδιαίτερης σημασίας .Στις ερασιτεχνικές κάμερες χρησιμοποιούνται θερμοηλεκτρικά στοιχεία (Peltier ή TEC cooling) που κατεβάζουν τη θερμοκρασία του αισθητήρα 20 – 35 βαθμούς κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στις υψηλής ποιότητας κάμερες χρησιμοποιείται διπλό ή και τριπλό κύκλωμα που σε συνδυασμό με υδρόψυξη κατεβάζουν τη θερμοκρασία κατά 50° C.

Οι επαγγελματικές κάμερες χρησιμοποιούν υγρό άζωτο και δουλεύουν μονίμως στους -70 έως -75° C οπότε είναι περιττή η λήψη dark frames. Για τους ερασιτεχνικούς αισθητήρες, αν και δεν αναφέρεται ρητώς, συνιστάται να μην κατεβαίνει η θερμοκρασία κάτω από τους -35° C. Ιδιαίτερης σημασίας είναι να παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να επιλέγει τη θερμοκρασία του αισθητήρα. Έτσι μπορούμε να τη ρυθμίζουμε με τρόπο ώστε το θερμοηλεκτρικό στοιχείο να βρίσκεται στο 80% περίπου της απόδοσης. Αυτό επιτρέπει να έχουμε σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια παρατήρησης και να είναι ευκολότερη η αφαίρεση του θερμικού θορύβου. Σε αντίθετη περίπτωση που η συσκευή αποφασίζει να λειτουργεί μονίμως στο 100%, καθώς προχωρά η νύχτα και πέφτει η θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι μεταγενέστερες εικόνες θα λαμβάνονται σε διαφορετική θερμοκρασία και αυτό εισάγει επιπλέον προβλήματα.

Τέλος, οι βίντεο- κάμερες που χρησιμοποιούμε, χρησιμοποιούν άλλους τύπους αισθητήρων όπως interline ή frame transfer. Εδώ μόλις λήξει η έκθεση μεταφέρονται είτε οι

στήλες μια- μια σε διπλάνες ανενεργές, είτε όλη η εικόνα σε περιοχή του αισθητήρα που δεν είναι φωτοευαίσθητη. Μ' αυτό τον τρόπο η έναρξη της επόμενης έκθεσης είναι πρακτικώς άμεση, αλλά με το μειονέκτημα της σημαντικά μειωμένης ευαισθησίας και ανάλυσης.

1.3 Φακοί

Ο φακός είναι ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα μιας βίντεο- κάμερας αφού, η κακή ποιότητά του, επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της. Η ποιότητα του φακού μιας βιντεοκάμερας παίζει σημαντικό ρόλο και πρέπει να βρίσκεται σε αρμονία με την ποιότητα των υπολοίπων τμημάτων.

- **Προσαρμογή**

Παλαιότερα, οι βίντεο- κάμερες μεγέθους, όπως της 1 ίντσας και των 2/3 της ίντσας, χρησιμοποιούσαν τον τύπο προσαρμογής φακού C για να τοποθετηθούν οι φακοί. Με την έλευση μικρότερων αισθητήρων CCD υιοθετήθηκε ο τύπος προσαρμογής CS. Η βασική διαφορά στις διαστάσεις των δυο συστημάτων είναι το τμήμα του φακού που βυθίζεται μέσα στην βίντεο- κάμερα. Αρκετές βίντεο- κάμερες χρησιμοποιούν ένα μηχανισμό οπίσθιας εστίασης των φακών, ο οποίος επιτρέπει τη χρήση και των δύο τύπων προσαρμογής φακών. Σε αντίθεση με τις βίντεο- κάμερες τύπου CS, οι οποίες μπορούν να δεχτούν φακό προσαρμογής τύπου C, οι κάμερες που είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν με φακό προσαρμογής τύπου C, δεν λειτουργούν με φακό προσαρμογής τύπου CS. Οι φακοί με τύπο προσαρμογής τύπου CS συνήθως είναι φτηνότεροι.

- **Μέγεθος φακού**

Σε μια βίντεο- κάμερα η πιο συνήθης πρακτική που ακολουθείται είναι το μέγεθος του φακού να είναι όμοιο με αυτό του αισθητήρα CCD. Πάραυτα, είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιηθούν φακοί με μεγαλύτερο μέγεθος σε κάμερες με μικρότερο αισθητήρα CCD. Ο κανόνας που ακολουθείται κατά την επιλογή του μεγέθους του φακού που θα χρησιμοποιηθεί είναι ότι η εικόνα η οποία θα παραχθεί από τον φακό, πρέπει να ταιριάζει πάντα ή να είναι μεγαλύτερη από τον αισθητήρα του CCD. Η προσαρμογή ενός φακού μεγαλύτερου μεγέθους σε βίντεο- κάμερα με αισθητήρα CCD μικρότερου μεγέθους, συνοδεύεται από το εξής πλεονέκτημα:

Ο χρήστης με τον τρόπο αυτό μπορεί να αυξήσει το βάθος πεδίου, ενώ η εικόνα που θα παραχθεί από έναν τέτοιο φακό θα έχει λιγότερη παραμόρφωση στις άκρες, σε σχέση με ένα φακό μικρότερου μεγέθους.

- **Εστιακό μήκος**

Το εστιακό μήκος ενός φακού προσδιορίζει το πεδίο παρατήρησης σε μια δεδομένη απόσταση. Ένας ευρυγώνιος φακός, όπως το δηλώνει το όνομά του, έχει ένα ευρύ πεδίο παρατήρησης σε μια δεδομένη απόσταση. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να «δει» μια ευρεία περιοχή της εικόνας αμφότερα, το οριζόντιο και το κάθετο επίπεδο. Λόγω αυτού του γεγονότος, τα αντικείμενα θα εμφανίζονται απόμακρα και θα παρουσιάζουν λίγες λεπτομέρειες. Το αντίθετο είναι αυτό το οποίο αντιστοιχεί σε έναν τηλεφακό.

Το εστιακό μήκος ενός φακού εμπίπτει σε δυο κατηγορίες: σταθερό ή μεταβλητό.

- **Σταθερό εστιακό μήκος**

Οι φακοί που έχουν σταθερό μήκος είναι συνήθως πιο οικονομικοί από αυτούς με μεταβλητό. Βέβαια, αυτό έχει και τις επιπτώσεις του, καθώς όταν το εστιακό μήκος είναι σταθερό, θα είναι και το πεδίο παρατήρησης. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γίνουν ακριβείς υπολογισμοί για να επιλεγεί σωστά ένας φακός για μια δεδομένη εφαρμογή. Μια αλλαγή στις απαιτήσεις της εφαρμογής συχνά καταλήγει στην αλλαγή του φακού.

- **Μεταβλητό εστιακό μήκος**

Παρά το γεγονός ότι είναι περισσότερο δαπανηροί, οι φακοί με μεταβλητό εστιακό μήκος είναι ευκολότεροι στη χρήση, τη ρύθμιση και την αλλαγή. Είναι απλούστερο να έχουμε το σωστό πεδίο παρατήρησης μιας εικόνας όταν είναι δυνατόν να μεταβάλουμε το εστιακό μήκος και συνεπώς τη γωνία παρατήρησης του φακού. Το μεταβλητό εστιακό μήκος δεν πρέπει να συγχέεται με τους φακούς zoom, οι οποίοι έχουν μια μεγαλύτερη περιοχή ρύθμισης.

- **Φακοί zoom**

Οι φακοί zoom είναι το επόμενο βήμα μετά τους φακούς μεταβλητού εστιακού μήκους και προσφέρουν τη μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Μπορούν να είναι ρυθμιζόμενοι συνεχώς σε όλη την περιοχή τους, για να μεταβάλλουν το εστιακό μήκος και το πεδίο παρατήρησης, ενώ είναι συνήθως τηλεχειριζόμενοι. Ένα οπτικό ζουμ 10x για παράδειγμα σημαίνει ότι η μέγιστη εστιακή απόσταση του φακού είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από την ελάχιστη. Προσοχή πρέπει να δοθεί στη διαφορά του οπτικού ζουμ από το ψηφιακό, που είναι ένας ηλεκτρονικός τρόπος

μεγέθυνσης της εικόνας, κατά τον οποίο ειδικοί αλγόριθμοι υπολογίζουν νέα pixels, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ποιότητα της εικόνας.

- **Ίριδα φακών**

Όταν ένας αισθητήρας CCD εκτεθεί σε μεγάλη ποσότητα φωτός η εικόνα θα φαίνεται σαν «ξεπλυμένη». Όταν μικρή ποσότητα φωτός προσπέσει στον αισθητήρα CCD, το αποτέλεσμα θα είναι η εικόνα να φαίνεται σκοτεινή, με αποτέλεσμα να χάνεται η λεπτομέρεια, ειδικότερα στις σκιερές περιοχές της. Ακριβώς για αυτό οι φακοί χρησιμοποιούν την ίριδα, η οποία είναι σε θέση να ελέγξει την ποσότητα του φωτός που πέφτει στον αισθητήρα. Η ίριδα αποτελείται από έναν αριθμό λεπτών μεταλλικών πλακών, οι οποίες είναι τοποθετημένες με τρόπο τέτοιο ώστε να παράγουν ένα κυκλικό άνοιγμα στο κέντρο τους. Αυτό το άνοιγμα, που αποκαλείται ίριδα ή διάφραγμα της ίριδας, μπορεί να γίνει μικρότερο ή μεγαλύτερο, συνήθως σε σταθερά βήματα, που καλούνται f-stops. Επίσης, για να ελέγχεται η ποσότητα του φωτός η οποία εισέρχεται στον φακό, η ίριδα έχει μια δευτερεύουσα λειτουργία στον έλεγχο του βάθους πεδίου.

Οι φακοί μπορεί να διαθέτουν σταθερή, χειροκίνητη ή αυτόματα ρυθμιζόμενη ίριδα.

- **Φακοί σταθερής ίριδας**

Οι φακοί σταθερής ίριδας δεν μπορούν να ρυθμιστούν για διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Αυτοί οι φακοί είναι κατάλληλοι περισσότερο για εσωτερικές συνθήκες φωτισμού, όπου το επίπεδο φωτός παραμένει σταθερό. Εντούτοις, η ηλεκτρονική ίριδα και η λειτουργία του ελέγχου αυτόματης απολαβής, μπορούν να καταστήσουν αυτόν τον φακό περισσότερο ευέλικτο στη χρήση.

- **Φακοί χειροκίνητης ίριδας**

Οι φακοί χειροκίνητης ίριδας επιτρέπουν τη ρύθμιση της ίριδας από τον χρήστη, με αποτέλεσμα η βίντεο- κάμερα να μπορεί να αποδώσει ποιοτικά σε οποιοσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Οι φακοί αυτοί δεν μπορούν να αντιδράσουν αυτόματα σε αλλαγές στο φωτισμό της εικόνας, για αυτό και στα συστήματα CCTV χρησιμοποιούνται συνήθως ως κάμερες εσωτερικού χώρου, όπου ο φωτισμός του περιβάλλοντος παραμένει σταθερός. Και σε αυτή τη περίπτωση η

ηλεκτρονική ίριδα και η λειτουργία του αυτόματου ελέγχου απολαβής, μπορούν να επιτρέψουν στους φακούς αυτούς να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγαλύτερο φάσμα εφαρμογών.

- **Φακοί αυτόματης ίριδας**

Για εξωτερικές συνθήκες φωτισμού, όπου ο φωτισμός της εικόνας αλλάζει συνεχώς, προτιμότερο είναι να χρησιμοποιηθεί ένας φακός ο οποίος να διαθέτει κάποιο μηχανισμό που να ρυθμίζει την ίριδα αυτόματα. Το άνοιγμα της ίριδας (διάφραγμα), ελέγχεται από την βίντεο-κάμερα και αλλάζει συνεχώς για να διατηρεί το βέλτιστο επίπεδο φωτισμού στον αισθητήρα CCD. Οι φακοί με αυτόματη ίριδα συνήθως εντάσσονται σε έναν ή περισσότερους τύπους: αυτόματη ίριδα (AI), άμεσης οδήγησης (DD) και γαλβανικής οδήγησης.

- **Βάθος πεδίου**

Ο δακτύλιος εστίασης ενός φακού συνήθως ρυθμίζεται έτσι, ώστε το αντικείμενο του ενδιαφέροντος το οποίο βρίσκεται εντός της εικόνας να είναι σωστά εστιασμένο. Μέχρις ενός σημείου, τα αντικείμενα τα οποία βρίσκονται μπροστά από αυτή τη ρύθμιση και πίσω από αυτή, να είναι εστιασμένα. Η ζώνη εστίασης αναφέρεται επίσης και ως βάθος πεδίου. Καθώς τα αντικείμενα απομακρύνονται από το βάθος πεδίου (μακρύτερα του φακού ή κοντύτερα σε αυτόν), χάνεται η σωστή εστίαση. Το βάθος πεδίου μπορεί να ελεγχθεί από τη ρύθμιση της ίριδας στην βίντεο-κάμερα. Καθώς το διάφραγμα της ίριδας μειώνεται, το βάθος πεδίου θα είναι μεγαλύτερο, πράγμα που σημαίνει ότι περισσότερα αντικείμενα από κάθε πλευρά του σημείου εστίασης θα είναι καλύτερα εστιασμένα. Ένα μειονέκτημα που συνεπάγεται από την αύξηση του βάθους πεδίου, είναι η μείωση της ποσότητας του φωτός που λαμβάνεται από την κάμερα, με αποτέλεσμα η εικόνα να είναι σκοτεινότερη. Το βάθος πεδίου εξαρτάται από το εστιακό μήκος του φακού. Οι ευρυγώνιοι φακοί (π.χ. αυτοί με μικρότερο εστιακό μήκος) θα έχουν ένα μεγαλύτερο βάθος πεδίου από τους τηλεφακούς. Το βάθος πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογο του εστιακού μήκους του φακού, με αποτέλεσμα όσο αυξάνει το εστιακό μήκος να μειώνεται το βάθος πεδίου. Οι φακοί με αυτόματη ίριδα, λόγω της φύσης της κατασκευής τους, προκαλούν μεταβολές του βάθους πεδίου. Όταν ο χρήστης εστιάζει τον φακό στην κάμερα, πρέπει να είναι βέβαιος ότι η ίριδα του φακού είναι πλήρως ανοικτή. Στην περίπτωση που η ίριδα είναι κλειστή, το αυξημένο βάθος πεδίου μπορεί να δώσει μια εσφαλμένη εντύπωση στον χρήστη, ώστε να πιστεύει ότι ο φακός είναι σωστά εστιασμένος, ενώ στην πραγματικότητα δεν θα είναι. Αυτό

μπορεί να εξακριβωθεί όταν ανοιχθεί η ίριδα του φακού και παρατηρηθεί η απώλεια της εστίασης.

- **Ευαισθησία**

Η ευαισθησία τού φακού που μετριέται σε lux (ένα lux είναι περίπου το φως ενός κεριού) δείχνει τον ελάχιστο φωτισμό που απαιτείται για ικανοποιητική λήψη. Οι τιμές και εδώ τείνουν προς την υπερβολή, που επιβεβαιώνεται από τα σκοτεινά και χωρίς λεπτομέρεια πλάνα, που παίρνουμε σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Το άνοιγμα τού φακού ρυθμίζεται επίσης αυτόματα σε βήματα που λέγονται stop και συμβολίζονται με το γράμμα f ακολουθούμενο από έναν αριθμό που είναι το πηλίκο της εστιακής απόστασης προς την διάμετρο του ανοίγματος. Όσο πιο μικρός ο αριθμός τόσο πιο μεγάλο είναι το άνοιγμα και τόσο πιο πολύ φως περνάει. Το μέγιστο δυνατό άνοιγμα αποτελεί κατασκευαστικό χαρακτηριστικό του φακού. Η εστίαση του φακού, δηλαδή η ρύθμισή του ώστε να επιτύχουμε ευκρινές είδωλο, μπορεί να γίνει αυτόματα ή χειροκίνητα.

Τέλος να πούμε ότι τα αυτόματα συστήματα σώζουν την κατάσταση σε ερασιτεχνικές περιπτώσεις και η εξοικείωση με την χειροκίνητη εστίαση μπορεί να αποδειχθεί πολύ δημιουργική, όπως επίσης και να μας λύσει το πρόβλημα σε περιπτώσεις όπου το αυτόματο σύστημα «ξεγελιέται» (για παράδειγμα όταν παρεμβάλλονται κάγκελα ή όταν εστιάζουμε σε πολλά κοντινά αντικείμενα).

1.4 Αισθητήρια

- **Φίλτρο**

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των αισθητηρίων μιας βιντεοκάμερας θα πρέπει αρχικά να αναφερθούμε στο φίλτρο το οποίο βρίσκεται μεταξύ αυτών και του φακού.

Ο ρόλος του φίλτρου έγκειται στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) και στην προστασία της επιφάνειας του CCD (ψηφιακού αισθητήρα) από τις φθορές. Είναι λεπτό και διαφανές, από οργανικό πλαστικό, συνήθως έχει πράσινο χρώμα και απέχει ελάχιστα από το CCD. Το φίλτρο αυτό έχει υποστεί επεξεργασία σκλήρυνσης για να αντέχει μέχρι ενός σημείου στη φθορά.

Όταν κάνουμε μια ψηφιακή λήψη, αναγκαστικά ανάμεσα στον αισθητήρα και το φακό παρεμβάλλεται και ένα φίλτρο προστασίας. Από τους νόμους της οπτικής επιβάλλεται αυτό να έχει άριστη διαπερατότητα και καθαρότητα που να παραμένει σταθερή στο φως, στις διάφορες ακτινοβολίες και στο πέρασμα του χρόνου. Σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν φίλτρα από οργανικό πλαστικό αντί για καθαρό κρύσταλλο, επειδή τοποθετούνται εύκολα και έχουν χαμηλό κόστος. Αυτό σημαίνει ότι κάποια στιγμή θα χάσουν μέρος από τη διαπερατότητά τους στο φως, θα χαραχθούν παρά τη διαδικασία σκλήρυνσης την οποία έχουν υποστεί και, επειδή δεν είναι εφικτό να παραμείνουν εντελώς λεία για πάντα, θα μαζέψουν στις αόρατες εσοχές της επιφάνειάς τους ξένα σωματίδια που θα αλλοιώσουν τη διαθλαστικότητά τους. Με άλλα λόγια, θα θαμπώσουν.

Το φίλτρο αυτό προστατεύει το αισθητήριο, αλλά δεν υπάρχει τρόπος να προστατευτεί το ίδιο από τη φθορά. Έτσι, κάθε διαδικασία καθαρισμού χρειάζεται τεράστια προσοχή και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά που δεν θα το καταστρέψουν.

- **Τα αισθητήρια της βίντεο-κάμερας**

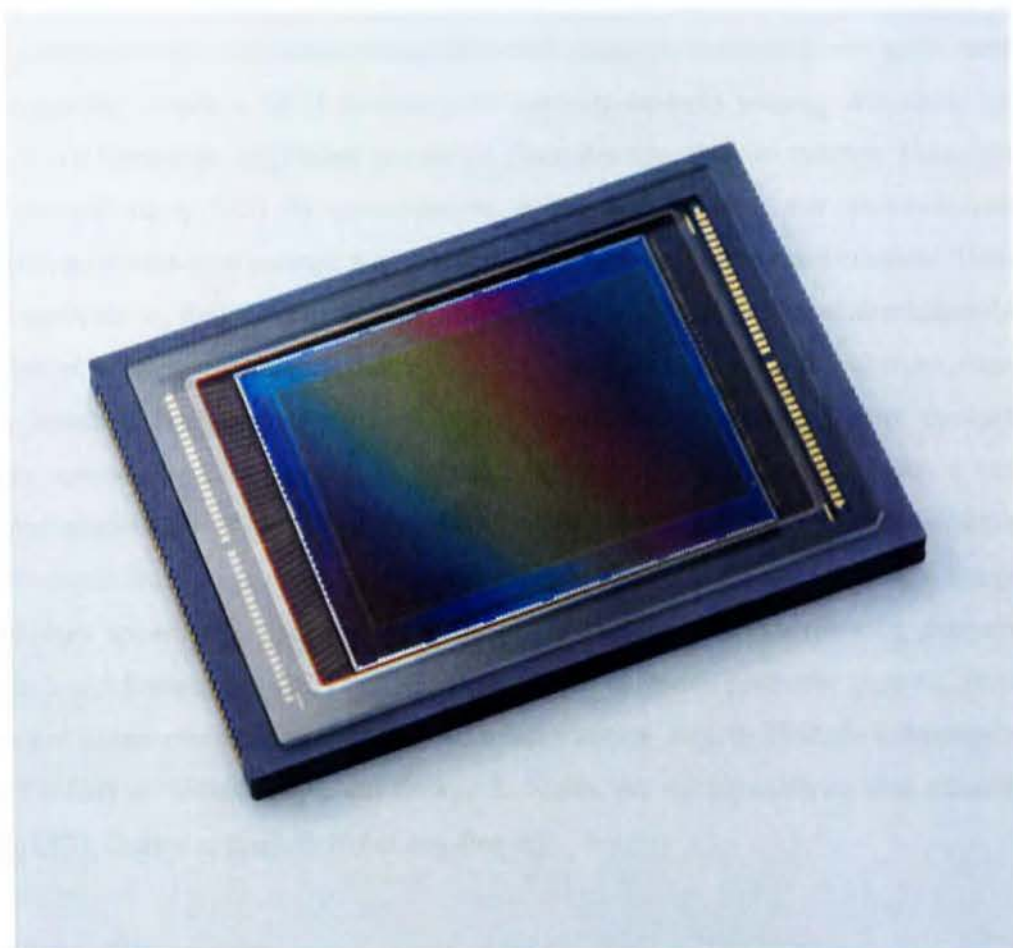
Ασχέτως συγκεκριμένου σχεδιασμού, ο αισθητήρας είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, που αρχικά είχε σχεδιαστεί ως αποθηκευτικό μέσο. Πρόκειται για ένα τσιπ το οποίο αποτελείται από πολλές σειρές φωτοευαίσθητων “κελιών”, τα οποία με τη σειρά τους, σχηματίζουν μια μήτρα (για διάταξη σαν σκακιέρα). Κάθε κελί περιέχει μια ειδική “φωτοδίοδο”, η οποία (λόγω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου), παράγει ηλεκτρικό φορτίο μόλις πέσει φως πάνω της. Πρόκειται για την ίδια αρχή που χρησιμοποιείται και στα φωτόμετρα. Το φορτίο είναι τόσο

μεγαλύτερο όσο περισσότερο είναι το φως και αποθηκεύεται στον μικρό πυκνωτή που περιλαμβάνει κάθε κελί. Το γινόμενο του αριθμού φωτοευαίσθητων κελιών κάθε σειράς επί τον αριθμό των σειρών, μας δίνει το μέγεθος του αισθητήρα σε εικονοστοιχεία (pixels). Πρέπει να τονισθεί πως, όπως συμβαίνει και στα φωτόμετρα, οι ειδικές φωτοδιόδους είναι ευαίσθητες μόνο στην ένταση του φωτός. Έτσι, για να καταγραφεί το χρώμα χρησιμοποιούνται ειδικά χρωματιστά φίλτρα κόκκινο, πράσινο και μπλε, ένα για κάθε χρώμα. Στην απλούστερη διάταξη, η επιφάνεια κάθε κελιού χρωματίζεται ώστε το κελί αυτό να μπορεί να συλλάβει φως μόνο ενός από τα τρία κύρια χρώματα. Η σύνθεση των τριών αυτών χρωμάτων, σε διαφορετικά ποσοστά δίνει όλα τα χρώματα και τις αποχρώσεις που μπορεί να διακρίνει το ανθρώπινο μάτι (μοντέλο RGB).

Στις βίντεο-κάμερες χρησιμοποιούνται δυο κύρια είδη αισθητήρων, το CMOS και CCD. CCD σημαίνει Charge Coupled Device, ενώ CMOS σημαίνει Complementary Metal Oxide Semiconductor. Ευρύτερα όμως χρησιμοποιούμενοι είναι οι αισθητήρες CCD.

- **Αισθητήρας CMOS.**

Η μορφή CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) είναι σήμερα η κύρια μορφή σχεδιασμού chip. Ένας αισθητήρας CMOS έχει συγκριτικά, μεγάλη πυκνότητα κυκλωμάτων. Αυτό επιτρέπει στον κατασκευαστή να ενσωματώσει κάποιες επιπλέον λειτουργίες στο chip, όπως π.χ. μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital conversion – ADC). Έτσι, καταλήγουμε σε ένα προϊόν με πληθώρα λειτουργιών και μικρό μέγεθος που, ως αποτέλεσμα, έχει χαμηλό συνολικό κόστος κατασκευής. Επιπρόσθετα, έχει και συγκριτικά χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Όμως η ποιότητα εικόνας που δίνουν είναι χαμηλότερη. Έτσι χρησιμοποιούνται κυρίως σε φτηνές μηχανές με χαμηλή ανάλυση. Οι πρόσφατες πρόοδοι στους αισθητήρες CMOS τους φέρνουν πιο κοντά στα αντίστοιχα CCD από άποψη της ποιότητας εικόνας, αλλά οι CCD όμως είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ακόμη κατά κόρον και θα αναφερθούμε σ' αυτούς αμέσως παρακάτω.



Εικόνα 1.1: Αισθητήρας CMOS.

- **Αισθητήρας CCD**

Ιστορικά στοιχεία

Η τεχνολογία των διατάξεων CCD ανακαλύφθηκε το 1969 από τους: Willard Boyle και George E. Smith στα Αμερικανικά εργαστήρια της AT&G Bell Labs (βλέπε και το σχετικό άρθρο για το βραβείο Nobel 2009). Την εποχή εκείνη τα εργαστήρια απασχολούνταν με το “εικονόφωνο” (picture phone) και την ανάπτυξη της ημιαγωγής μνήμης “φουσαλίδων” (semiconductor bubble memory). Συσχετίζοντας τις δύο τεχνολογίες, πρώτοι οι Boyle και Smith συνέλαβαν τον σχεδιασμό αυτού που είναι γνωστό σαν διάταξη φορτίου “φουσαλίδας” (Charge ‘Bubble’ Devices). Η ουσία της

διάταξης αυτής συνίστατο στη μεταφορά φορτίου κατά μήκος τις επιφάνειας ενός ημιαγωγού. Στο ξεκίνημά της λοιπόν η CCD λειτουργούσε σαν ένα στοιχείο μνήμης, στο οποίο ήταν δυνατόν ν' αποθηκευτούν (εγχυθούν) φορτία με βάση ένα πρωτόκολλο εισόδου. Όμως έγινε αμέσως φανερό ότι η CCD θα μπορούσε να δεχθεί φορτία μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, με συνέπεια να υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ηλεκτρονικών ειδώλων. Ήδη το 1969 οι ερευνητές της Bell, ήταν σε θέση να καταγράψουν είδωλα σε απλές γραμμικές διατάξεις, γεγονός που σήμαινε τη γέννηση της διάταξης CCD. Μετά από αυτό, πολλά εργαστήρια, όπως η RCA, η Fairchild Semiconductor και η Texas Instruments, στηριζόμενα στην εφεύρεση, ανέπτυξαν προγράμματα για περαιτέρω έρευνα. Η εταιρία Fairchild ήταν η πρώτη η οποία έβγαλε στο εμπόριο, το 1974, μια γραμμική CCD 500 στοιχείων (pixels) και μια διδιάστατη CCD 100 pixels. Εκείνη την εποχή, με την καθοδήγηση του Ιάπωνα Kazuo Iwama, η εταιρεία Sony ξεκίνησε ερευνητικές προσπάθειες πάνω στις διατάξεις CCD, επενδύοντας σημαντικά κεφάλαια. Μαζική παραγωγή CCD διατάξεων για χρήση σε φωτο-γραφικών μηχανές, βίντεο-καμερών και άλλων συστημάτων απεικόνισης, η Sony πέτυχε μετά το 1982, έτος θανάτου του Iwama. Το 2009 οι Willard Boyle και George E. Smith, για τις ανακαλύψεις τους πάνω στις διατάξεις CCD, έλαβαν το βραβείο Nobel στη Φυσική.

Γενικές Πληροφορίες

Οι αισθητήρες CCD χρησιμοποιούνται στις βίντεο-κάμερες και παρουσιάζουν πολλές συμφέρουσες ιδιότητες, όπως καλύτερη ευαισθησία φωτός από τους αισθητήρες CMOS. Αυτή η υψηλότερη ευαισθησία μεταφράζεται σε καλύτερη εικόνα σε συνθήκες χαμηλού φωτός. Οι αισθητήρες CCD είναι, εντούτοις, ακριβότεροι επειδή κατασκευάζονται με μεταβλητή διαδικασία και είναι πιο δύσκολο να ενσωματωθούν σε μια κάμερα. Επιπλέον, όταν υπάρχει ένα πολύ φωτεινό αντικείμενο στη σκηνή (όπως ένας λαμπτήρας ή ένα άμεσο φως του ήλιου), το CCD μπορεί να θολώσει, προκαλώντας κάθετες λωρίδες κάτω και επάνω από το αντικείμενο. Αυτό το φαινόμενο καλείται κηλίδα.

Σε σύγκριση με τον CMOS, για τη λειτουργία του χρειάζεται κάποια επιπλέον κυκλώματα επεξεργασίας (εκτός chip), κάτι που οδηγεί σε υψηλότερο κόστος κατασκευής. Παρά το γεγονός, σήμερα το CCD χρησιμοποιείται στις περισσότερες βίντεο-κάμερες που κατέχουν υψηλή θέση στην αγορά, όσον αφορά την ικανότητά τους να «συλλαμβάνουν» την

εικόνα. Ο λόγος είναι η υψηλή ποιότητα εικόνας που προσφέρει. Οι αισθητήρες CCD έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο φως, χαμηλότερα επίπεδα θορύβου (noise) και υψηλότερη δυναμική κλίμακα (dynamic range). Βεβαίως, αυτό δεν σημαίνει πως δεν υπάρχουν στην αγορά μηχανές με αισθητήρα CMOS ικανές να παράγουν υψηλής ποιότητας εικόνες.

Το φυσικό μέγεθος του αισθητήρα και το μέγεθος των μεμονωμένων ρixel, είναι παράγοντες που συνδυάζονται για να καθορίσουν, όχι μόνο το κόστος ενός αισθητήρα, αλλά και πολλές πτυχές της απόδοσής του. Περισσότερα ρixel σημαίνει υψηλότερη ανάλυση. Αλλά επίσης, σημαίνει και είτε περισσότερα ρixel σε έναν αισθητήρα, είτε έναν αισθητήρα μεγαλύτερου μεγέθους.

Πράγματι, ο μόνος τρόπος να προστεθούν περισσότερα ρixel σε έναν αισθητήρα, ενός δεδομένου μεγέθους, είναι να γίνουν μικρότερα. Αλλά, καθώς τα ρixel γίνονται μικρότερα είναι λιγότερο ικανά να συλλάβουν τα φωτόνια, και επομένως η αναλογία τους σήματος/ θορύβου αυξάνεται.

(Όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα έχουν έμφυτο θόρυβο. Όσο υψηλότερο είναι το σήμα που λαμβάνουν, (περισσότερο φως εν προκειμένω), τόσο χαμηλότερος είναι ο θόρυβος σε σχέση με εκείνο το σήμα.)

Φυσικά, οι κατασκευαστές αισθητήρων συνεχίζουν να βελτιώνουν τις ικανότητες μείωσης θορύβου των κυκλωμάτων τους, αλλά οι νόμοι της φυσικής δεν μπορούν να αμφισβητηθούν. Έτσι λοιπόν υποθέτουμε πως οποιαδήποτε τεχνολογία κι αν χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του θορύβου στα νέα σχέδια των αισθητήρων με τα μικρότερα ρixel, μπορεί εξίσου καλά να εφαρμοστεί σε εκείνους με μεγαλύτερα ρixel. Έτσι, ενώ βλέπουμε μεμονωμένες βελτιώσεις, σχετικά μιλώντας, το χάσμα μεταξύ τους παραμένει κατά προσέγγιση το ίδιο.

- **Λειτουργία-Τεχνικά χαρακτηριστικά CCD**

Το CCD είναι η καρδιά της βιντεοκάμερας και έχει ως αποστολή να μετατρέπει την εικόνα σε ηλεκτρικό σήμα. Είναι ένας ημιαγωγός που φέρει στην επιφάνειά του μικρά φωτοευαίσθητα στοιχεία, ο αριθμός των οποίων καθορίζει και την ανάλυση της κάμερας, που μετριέται σε ρixel. Μεγαλύτερος αριθμός σημαίνει μεγαλύτερη λεπτομέρεια στην εικόνα, γεγονός που περιορίζεται βέβαια και από τις δυνατότητες τού συστήματος, οπότε σε κάθε σύστημα χρησιμοποιούνται CCD αναλόγων επιδόσεων. Το CCD λειτουργεί επίσης ως ένα κλειστό ηλεκτρονικής μορφής, αφού ελέγχει την διέλευση του ηλεκτρικού σήματος, στο οποίο

έχει μετατραπεί η εικόνα, όπως το κλείστρο μιας φωτογραφικής μηχανής ελέγχει ανοιγοκλείνοντας πόσο χρόνο θα εκτεθεί στο φως το φωτογραφικό φιλμ. Ένα CCD «ανοιγοκλείνει» κάθε ένα εξηκοστό του δευτερολέπτου με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης. Σε ακριβές υλοποιήσεις η χρήση τριών CCD, ένα για καθένα από τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, μπλε, πράσινο), επιτυγχάνει υψηλότερη ποιότητα στην απεικόνιση των χρωμάτων. Το μέγεθος του μετράται διαγώνια και μπορεί να είναι 1/4, 1/3, 1/2, ή 2/3 της ίντσας. Όσο μεγαλύτερο είναι, τόσο καλύτερη είναι και η ποιότητα της εικόνας. Πιο συγκεκριμένα ο φακός εστιάζει την εικόνα του ειδώλου κατευθείαν πάνω στον αισθητήρα ο οποίος την σαρώνει και με την βοήθεια κάποιων άλλων ολοκληρωμένων παράγει το πλήρες σήμα βίντεο, έτοιμο να εγγραφεί σε μια κασέτα. Ένας τυπικός αισθητήρας CCD έχει περίπου 410.000 φωτοευαίσθητα στοιχεία διατεταγμένα σε 720 οριζόντιες γραμμές και 576 κατακόρυφες στήλες. Κάθε φωτοευαίσθητο στοιχείο φορτίζεται ανάλογα με την ποσότητα φωτός που προσπίπτει πάνω του. Το φορτίο κάθε στοιχείου μεταφέρεται μέσω των οριζόντιων καταχωρητών στους κατακόρυφους και από εκεί στους οριζόντιους καταχωρητές ολίσθησης. Αυτοί τροφοδοτούν έναν ενισχυτή που μετατρέπει το φορτίο σε τάση, παράγοντας έτσι ένα μεταβαλλόμενο σήμα τάσης, ανάλογο των μεταβολών του φορτίου. Εάν το φωτοευαίσθητο στοιχείο μείνει πολύ ώρα εκτεθειμένο στο φως τότε θα αποδώσει μια πολύ φωτεινή κουκίδα, ενώ αν εκτεθεί πολύ λίγο θα αποδώσει μια πολύ σκούρα. Για να αποδοθεί σωστά η φωτεινότητα θα πρέπει ο χρόνος των φωτοευαίσθητων στοιχείων να διαρκεί ανάλογα με τον φωτισμό του περιβάλλοντος. Αυτό ρυθμίζεται από το αυτόματο ηλεκτρονικό κλείστρο καθορίζοντας τον χρόνο έκθεσης από 10μsec έως 20μsec.

• Τα χρώματα

Υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες αισθητήρων. Οι αισθητήρες διάταξης και οι γραμμικοί.

Στους πρώτους τα εικονοστοιχεία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο κόκκινο φως,
- σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο πράσινο,
- και τέλος σε αυτά που αντιδρούν μόνο στο μπλε.

Ως γνωστόν όλα τα χρώματα σχηματίζονται από το συνδυασμό αυτών των τριών χρωμάτων: κόκκινου, πράσινου και μπλε.

Έτσι λοιπόν, ένα εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο φως παράγει ηλεκτρική τάση μόνο όταν πέσει πάνω του κόκκινο φως, ενώ μένει ανεπηρέαστο από τα άλλα δύο χρώματα. Αντίστοιχα αντιδρούν και τα άλλα δύο.

- **Τι γίνεται με τα υπόλοιπα χρώματα.**

Ας πάρουμε το πορτοκαλί για παράδειγμα:

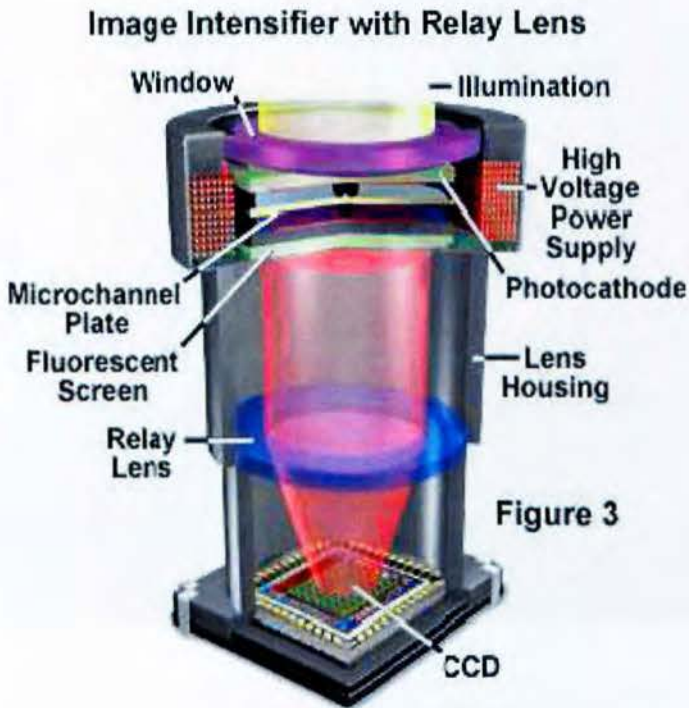
Είναι ο συνδυασμός κόκκινου και μπλε. Έτσι, το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο κόκκινο θα παράγει μια μικρή τάση και το εικονοστοιχείο που αντιδρά στο μπλε θα παράγει επίσης μια μικρή τάση. Η μονάδα της κάμερας που κάνει τη μετατροπή θα διαβάσει τις δυο αυτές μικρές τάσεις σαν πορτοκαλί. Βλέπουμε, συνεπώς ότι χρειαζόμαστε τρία διαφορετικά εικονοστοιχεία για να αναπαράγουμε ένα χρώμα.

- **Πόσα χρώματα μπορεί να διαβάσει ένας αισθητήρας.**

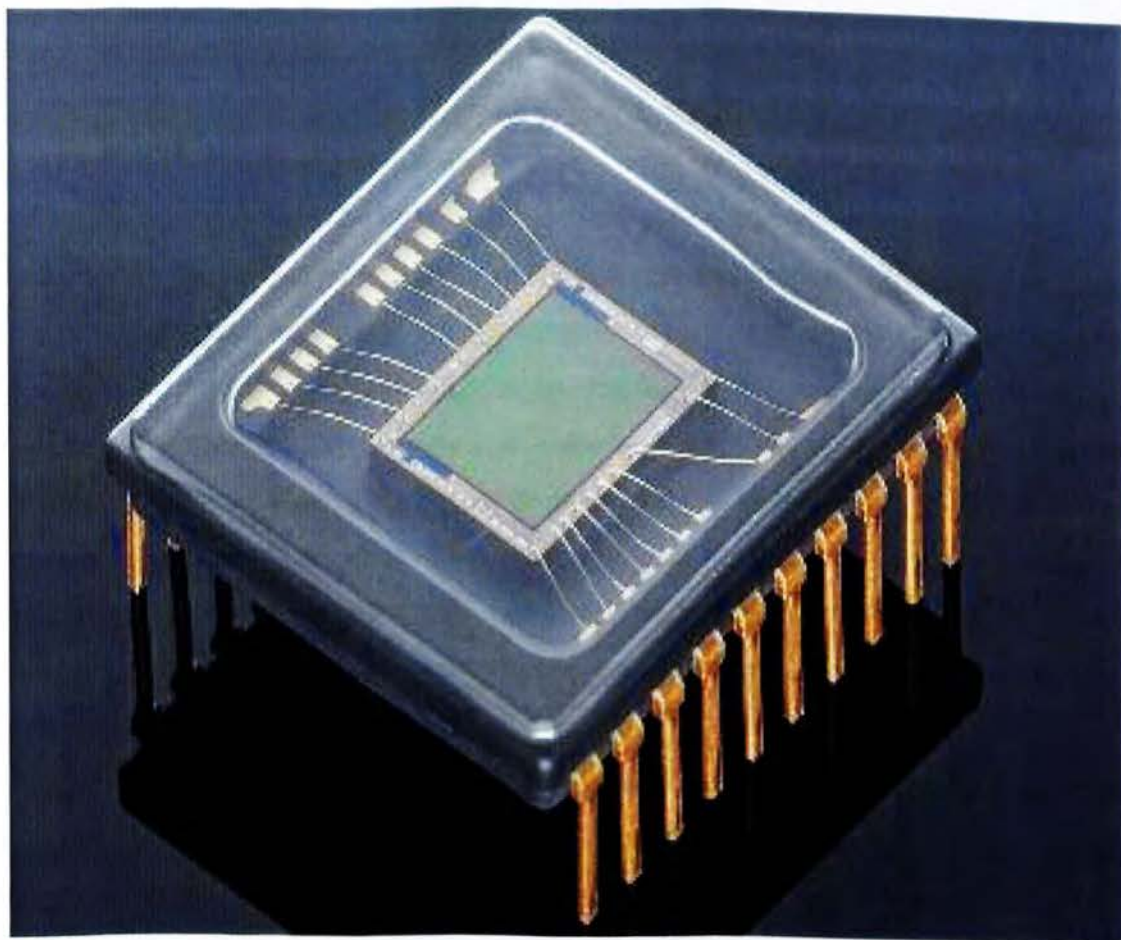
Όπως είπαμε, όσο περισσότερο φως πέφτει πάνω σε ένα εικονοστοιχείο, τόσο μεγαλύτερη ηλεκτρική τάση παράγεται. Έτσι κάθε εικονοστοιχείο δίνει ένα byte ψηφιακής πληροφορίας. Κάθε byte όμως περιέχει οκτώ bits και κάθε bit έχει τιμή 1 ή 0, που αντιστοιχεί στο on και στο off. Όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των οκτώ bits μας δίνουν 256 συνδυασμούς. Τελικά το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αντιδράσει στην ένταση του φωτός που πέφτει πάνω του με 256 διαφορετικές τιμές, που ποικίλουν από το μηδέν (καθόλου φως) μέχρι το 256 (μέγιστη ένταση φωτός). Με άλλα λόγια, κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να διαβάσει 256 διαφορετικά επίπεδα φωτός. Αν πολλαπλασιάσουμε $256 \times 256 \times 256$ (τα επίπεδα του φωτός που διαβάζει κάθε εικονοστοιχείο κόκκινο, πράσινο, μπλε) βρίσκουμε τον αριθμό 16.777.216. Αυτό σημαίνει ότι ένας αισθητήρας CCD RGB μπορεί να διαβάσει 16.777.216 διαφορετικά χρώματα. Μάλλον πρόκειται για ένα πολύ ικανοποιητικό αριθμό, που μπορεί να αποτυπώσει με ακρίβεια οποιοδήποτε χρώμα στη φύση!

- Πώς λειτουργεί ο γραμμικός αισθητήρας.

Ο δεύτερος τύπος αισθητήρα κάνει τρεις λήψεις του ίδιου θέματος, όπου στην κάθε λήψη χρησιμοποιεί ένα κόκκινο, πράσινο και μπλε φίλτρο. Έτσι η τελική εικόνα προέρχεται από τον συνδυασμό των τριών χρωμάτων RGB.



Εικόνα 1.2: Εσωτερικό του αισθητήρα CCD.



Εικόνα 1.3: Αισθητήρας CCD.

- **Η συμπίεση του βίντεο**

Όπως αναφέραμε και παραπάνω όταν η εικόνα προσκρούει στον αισθητήρα, τότε «πιάνουν δουλειά» όλα τα megarixels. Πρώτα απ' όλα η εικόνα περνά μέσα από τα φίλτρα χρώματος επάνω από τους μεμονωμένους αισθητήρες. Ο αισθητήρας μετατρέπει την εικόνα από κύματα φωτός σε αναλογικό-ηλεκτρικό σήμα. Το αναλογικό σήμα στη συνέχεια διασχίζει έναν ψηφιακό μετατροπέα (A-D Converter), όπου μετατρέπεται σε γνήσιο ψηφιακό σήμα. Έπειτα, περνάει από μία σειρά από ηλεκτρονικά φίλτρα, όπου προσαρμόζεται η ισορροπία του χρώματος, της φωτεινότητας και γενικά βελτιώνει την εικόνα. Στο τέλος η εικόνα συμπιέζεται με το να «ξεφορτώνεται» περιττά pixels, για πιο αποδοτική

αποθήκευση (και μικρότερο όγκο σε αποθηκευτικό χώρο φυσικά). Ας δούμε λοιπόν τώρα αναλυτικά την μεγάλη χρησιμότητα και το πώς γίνεται η συμπίεση.

- **Η ανάγκη για ψηφιακή συμπίεση**

Με δεδομένη την ολοένα και αυξανόμενη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας, η οποία αντικαθιστά την αναλογική που παραδοσιακά χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες στις τηλεπικοινωνίες, την τηλεόραση, την ηχογράφηση και αναπαραγωγή της μουσικής αλλά και σε άλλους τομείς, έχει αρχίσει παράλληλα να γίνεται έρευνα και προς την κατεύθυνση της συμπίεσης της ψηφιακής πληροφορίας, με στόχο την οικονομία εύρους φάσματος (bandwidth). Οι λόγοι για τους οποίους είναι όχι απλά χρήσιμη αλλά απαραίτητη η ανάπτυξη αυτών των τεχνικών συμπίεσης δεν είναι ίσως τόσο προφανείς, γι' αυτό ας εξετάσουμε μερικά παραδείγματα που φανερώνουν την επιτακτική ανάγκη για επέκταση της εφαρμογής της ψηφιακής συμπίεσης, τόσο στην εικόνα όσο και στον ήχο (δύο μορφές επικοινωνίας που παράγουν αυξημένο όγκο ψηφιακής πληροφορίας).

Ένα κανονικό ασυμπίεστο τηλεοπτικό σήμα PAL καταλαμβάνει ένα **bandwidth** περίπου 5 MHz. Έστω ότι θέλουμε να το μεταδώσουμε ψηφιακά. Για να μην έχουμε απώλεια πληροφορίας (που μεταφράζεται σε μείωση της ποιότητας της εικόνας) πρέπει σύμφωνα με το **θεώρημα Nyquist** να κάνουμε τη δειγματοληψία στη διπλάσια συχνότητα, δηλαδή στα 10 MHz. Για να έχουμε επαρκή ευκρίνεια (resolution) πρέπει κάθε δείγμα να έχει τουλάχιστον 8 bits ($2^8=256$ επίπεδα κωδικοποίησης). Μέχρι στιγμής έχουμε $10*8=80$ Mbits/sec. Αν και ήδη αντιμετωπίζουμε πρόβλημα μετάδοσης σε μία τόσο υψηλή ταχύτητα, το πρόβλημα είναι μεγαλύτερο αν θέλουμε να έχουμε καλύτερη ευκρίνεια, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε δείγματα των 16, ή 24 bits και φυσικά μέχρι στιγμής αναφερόμαστε σε ασπρόμαυρη εικόνα. Αν θέλουμε να έχουμε και χρώμα ο όγκος της ψηφιακής πληροφορίας γίνεται τριπλάσιος (αφού κάθε χρώμα σχηματίζεται σα συνδυασμός των τριών βασικών χρωμάτων πράσινο, κόκκινο, μπλέ - μιλώντας πάντα για ασυμπίεστα σήματα). Συνεπώς χρειαζόμαστε τουλάχιστον $3*80=240$ Mbits/sec (30 MB/sec).

Για να καταλάβει κανείς το μέγεθος του bandwidth που χρειάζεται αρκεί να το συγκρίνει με την **ταχύτητα μεταφοράς** (transfer rate) δεδομένων από/προς τον επεξεργαστή μέσα σε ένα computer (που γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις με ISA bus) η οποία δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 40 Mbit/sec (5 MB/sec) είναι δηλαδή 6 φορές πιο μικρή από όσο χρειαζόμαστε.

Ακόμα και με τη χρήση SCSI bus το πρόβλημα παραμένει. Στην περίπτωση των CD-ROM τα πράγματα γίνονται ακόμα πιο δύσκολα αφού αυτά φτάνουν μέχρι 10 Mbit/sec (24 φορές πιο μικρή ταχύτητα). Έτσι παρόλο που είναι δυνατή (αν και πρακτικά ασύμφορη) η μετάδοση του παραπάνω σήματος (π.χ. μέσω δικτύων ATM) είναι αδύνατη η αποθήκευση και αναπαραγωγή του.

Αλλά δεν είναι μόνο το transfer rate που κάνει αδύνατη την αξιοποίηση της παραπάνω μετάδοσης. Αρκεί να αναλογιστούμε ότι για την αποθήκευση ενός τυπικού κινηματογραφικού film που διαρκεί 90 λεπτά ($90 \cdot 60 = 5400$ δευτερόλεπτα), θα χρειαζόμασταν αποθηκευτικό μέσο ικανό να αποθηκεύσει τα $30 \cdot 5400 = 162$ GB. Δηλαδή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε περίπου 65 σκληρούς δίσκους computer, χωρητικότητας 2,5 GB (μία τυπική χωρητικότητα για τα σημερινά δεδομένα).

Άλλο παράδειγμα που δείχνει το πρόβλημα αποθήκευσης είναι το γνωστό σε όλους μας CD. Εκεί αποθηκεύονται περίπου 75 λεπτά ασυμπίεστου στερεοφωνικού ψηφιακού ήχου με συχνότητα δειγματοληψίας 44.1 KHz και ακρίβεια 16-bit. Δεδομένου ότι έχουμε δύο ανεξάρτητα κανάλια, ο συνολικός όγκος πληροφορίας είναι περίπου 650 MB. Αν όμως το CD χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ψηφιακού video τότε μπορεί να χωρέσει το πολύ 30 δευτερόλεπτα. Ακόμα και τα νεότερης επινόησης DVD (Digital Video Disk) τα οποία είναι CD με χωρητικότητα 4.7 GB (δηλαδή 7 φορές πιο μεγάλη από το 'κανονικό' CD), δεν επαρκούν για την αποθήκευση μιας κινηματογραφικής ταινίας 90 λεπτών ασυμπίεστου ψηφιακού video αφού χρειαζόμαστε τουλάχιστον 35 DVD.

Όλα τα παραπάνω κάνουν φανερό ότι υπάρχει πρόβλημα τόσο μετάδοσης όσο και αποθήκευσης του ασυμπίεστου ψηφιακού σήματος video (άρα και του ήχου που το συνοδεύει, παρ' όλο που καταλαμβάνει πολύ λιγότερο όγκο). Μόνο στην περίπτωση του μουσικού CD το πρόβλημα αποθήκευσης έχει λυθεί και έχει δημιουργηθεί ένα standard που επιτρέπει την αποθήκευση του ήχου σε ψηφιακή ασυμπίεστη μορφή. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση όμως το πρόβλημα μετάδοσης του ήχου ποιότητας CD παραμένει (εδώ εννοούμε τη μετάδοση σε ευρύτερα δίκτυα όπως το Internet ή την τηλεοπτική μετάδοση μέσω δορυφόρων, όπου η ανάγκη για οικονομία bandwidth είναι δεδομένη). Άρα είναι φανερό ότι πρέπει να γίνουν προσπάθειες για τη σημαντική μείωση του όγκου της ψηφιακής πληροφορίας αλλά χωρίς να γίνουν μεγάλοι συμβιβασμοί στην ποιότητα του ήχου και της εικόνας.

- **Το πρότυπο συμπίεσης MPEG**

Τα αρχικά **MPEG** προέρχονται από τις λέξεις **Moving Picture Experts Group** (Ομάδα Ειδικών στην Κινούμενη Εικόνα) . Πρόκειται για μία επιτροπή που δρα στα πλαίσια του Διεθνούς Οργανισμού τυποποίησης. Επίσημα είναι γνωστή σαν ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Ιδρύθηκε το 1988 και είναι μέλος του **JTC1** (Joint ISO/IEC Technical Committee on Information Technology - Ενωμένη Τεχνική επιτροπή ISO/IEC στην Τεχνολογία της Πληροφορικής) . Ο συντονιστής της επιτροπής MPEG είναι ο Leonardo Chiariglione γνωστός σαν ο «πατέρας» του MPEG. Η επιτροπή πραγματοποιεί 3 - 4 συναντήσεις το χρόνο σε διάφορες πόλεις του κόσμου όπου συζητούνται οι εξελίξεις της ερευνητικής δουλειάς που έχει γίνει ενδιάμεσα, θέτονται στόχοι και προθεσμίες και διατυπώνονται οι προδιαγραφές πάνω στις οποίες οι εταιρίες θα αναπτύξουν τα προϊόντα.

Το όνομα MPEG έχει επικρατήσει όμως να αναφέρεται και στην οικογένεια των τυποποιήσεων (standards) που δημιουργήθηκαν από την ομάδα MPEG και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση οπτικών και ηχητικών δεδομένων σε ψηφιακή συμπίεσμένη μορφή. Η οικογένεια MPEG περιλαμβάνει τα standards **MPEG-1**, **MPEG-2** και το επερχόμενο **MPEG-4**, τα οποία είναι επίσημα γνωστά σαν ISO/IEC-11172, ISO/IEC-13818 και ISO/IEC-14496 αντίστοιχα. Πιο αναλυτικά :

- **MPEG-1: Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s.** Αναπτύχθηκε για την αποθήκευση και ανάκτηση κινούμενης εικόνας και ήχου σε ψηφιακά μέσα με ρυθμό μετάδοσης μέχρι 1,5 Mbits/sec. Η εικόνα έχει ανάλυση 352x240 pixels (NTSC) ή 352x288 pixels (PAL) και η ποιότητά της είναι σε επίπεδα VHS video. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση video σε CD-ROM, Video-CD και CD-i και όπου αλλού χρειάζεται μικρό (σε σχέση με το MPEG-2) bandwidth. Το MPEG-1 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές με ρυθμό μετάδοσης 4-5 Mbits/sec, αλλά τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο καλά, όσο στην κανονική περιοχή λειτουργίας του.
- **MPEG-2 Generic coding of moving pictures and associated audio information.** Αναπτύχθηκε για εφαρμογή στην ψηφιακή τηλεόραση. Η βασική ανάλυση της εικόνας ακολουθεί το τηλεοπτικό πρότυπο CCIR-601 (broadcast quality - ποιότητα εκπομπής) δηλαδή 704x480 pixels (NTSC) ή 704x576 pixels (PAL) και υποστηρίζει

εικόνα πλεκτής σάρωσης (interlaced). Ο ρυθμός μετάδοσης κυμαίνεται από 3 ως 10 Mbits/sec. Οι εφαρμογές του είναι στην καλωδιακή τηλεόραση (CableTV), στη δορυφορική (Direct Broadcasting Satellite TV) αλλά αναμένεται να επεκταθεί και στην επίγεια τηλεόραση. Επίσης χρησιμοποιείται στην αποθήκευση κινηματογραφικών ταινιών στα DVD (Digital Video Disk).

- **MPEG-4 Coding of audio-visual objects:** Ο όρος audio visual objects (AV-objects) είναι γενικός και σημαίνει διάφορες οντότητες που απαρτίζουν την εικόνα και οι οποίες μπορούν κωδικοποιητής και αποκωδικοποιητής να χειρισθούν αυτόνομα και ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες. Με τον όρο οντότητες πάλι εννοούμε σχήματα και ήχους, φυσικούς ή computer generated που χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν άλλα ομοειδή αντικείμενα. Είναι ένα standard για εφαρμογές επικοινωνίας πολυμέσων (multimedia communications) δηλαδή εφαρμογές όπως video-phone, video-conference, video e-mail, electronic news και πολλές άλλες. Η ανάλυση της εικόνας είναι 176x144 pixels σε σχετικά χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης που κυμαίνονται ανάμεσα στα 4.8 και 64 Kbits/sec, κατάλληλα δηλαδή για μετάδοση σε δίκτυα με μικρό διαθέσιμο bandwidth ανά συνδρομητή, όπως το Internet.

Επίσης υπάρχει στα σχέδια και το **MPEG-7** που είναι ένα standard κωδικοποίησης με αναπαράσταση (content representation), για την αναζήτηση πληροφοριών σε εφαρμογές πολυμέσων.

Να σημειωθεί ότι οι αναλύσεις (resolution) της εικόνας που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν είναι περιοριστικές αλλά αναφέρονται στους περιορισμούς που έχουν τεθεί για να κρατηθούν σε λογικά επίπεδα η πολυπλοκότητα των κωδικοποιητών και αποκωδικοποιητών και ο όγκος δεδομένων. Ο περιορισμός αυτός ονομάζεται **CPB** (Constrained Parameters Bitstream) και ορίζει τις διαστάσεις που πρέπει να έχουν τα MPEG σήματα, κάτι σαν ένα standard format. Παρόλα αυτά μπορεί να γίνει κωδικοποίηση και σε υψηλότερες αναλύσεις απλώς δεν υπάρχει εγγύηση ότι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με όλους τους διαθέσιμους αποκωδικοποιητές, άσχετα αν ακολουθούν τους κανόνες του MPEG. Έτσι το MPEG-2 π.χ. μπορεί να φτάσει ανάλυση (resolution) 1920x1080 και το MPEG-1 4095x4095. Επίσης το γεγονός ότι τα σήματα MPEG εμφανίζονται σε δύο διαφορετικές αναλύσεις (διαστάσεις) εικόνας οφείλεται στην ύπαρξη δύο συστημάτων για το αναλογικό σήμα, τα PAL και NTSC, με δειγματοληψία των

οποίων προκύπτουν τα σήματα MPEG. Ακόμα δεν έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην κατεύθυνση της δημιουργίας πηγών (κάμερες κτλ.) που θα παράγουν σήμα MPEG απευθείας.

Τα δύο τελευταία στάδια του MPEG είναι ακόμα υπό ανάπτυξη και δεν έχουν γίνει ακόμα standards (το MPEG-4 δεν έχει γίνει ακόμα standard και το MPEG-7 είναι ακόμα στα προκαταρκτικά σχέδια) ενώ τα MPEG-1 και MPEG-2 έχουν τεθεί ήδη σε εκτεταμένη εφαρμογή. Σε γενικές γραμμές το MPEG-1 έχει αντικατασταθεί από το MPEG-2 το οποίο είναι μια βελτίωση του, που προσφέρει καλύτερη εικόνα και λόγους συμπίεσης και είναι συμβατό με το MPEG-1 (**backwards compatible**). Αυτό σημαίνει ότι συσκευές MPEG-2 μπορούν να χειριστούν σήματα συμπιεσμένα με MPEG-1 (αλλά όχι το αντίστροφο).

Ενδιάμεσα υπήρξε και το MPEG-3 το οποίο ήταν προσανατολισμένο στην τεχνολογία της **Τηλεόρασης Υψηλής Ευκρίνειας** (HDTV - High Definition TV) αλλά εγκαταλείφθηκε αφού διαπιστώθηκε ότι το MPEG-2 μπορεί με κάποιες αλλαγές στη σύνταξη των προδιαγραφών να χρησιμοποιηθεί το ίδιο καλά στη HDTV. Έτσι η δουλειά που είχε γίνει πάνω στο MPEG-3 ενσωματώθηκε στο MPEG-2.

Παρακάτω θα ακολουθήσει μία γενική περιγραφή των γενικών αρχών και των διαφορών βημάτων της μεθόδου συμπίεσης που χρησιμοποιείται για το video, οι οποίες είναι κοινές και στις τρεις 'εκδόσεις' του MPEG. Κατόπιν θα γίνει μία σύντομη περιγραφή του τρόπου κωδικοποίησης του ήχου, ή οποία διαφέρει από αυτή του video και στις ιδιότητες πάνω στις οποίες στηρίζεται αλλά και στις μεθόδους που χρησιμοποιεί.

1.5 Γενικές αρχές της συμπίεσης video

- **Ποιοτική ανοχή**

Σε αντίθεση με την αντίληψη ότι η ψηφιακή μετάδοση θα πρέπει να έχει το εύρος ζώνης που χρειάζεται για να μεταδώσει και το πιο απαιτητικό πλαίσιο (frame) μιας σειράς κινούμενων εικόνων, ακόμα και αν αυτό παρουσιάζεται με συχνότητα 1%, τώρα πια κάτω από την εμπορική πίεση που υπάρχει (λόγοι κόστους) θεωρείται λογικό να δεχόμαστε κάποιο ποσοστό παραμόρφωσης σε τέτοιες σπάνιες σκηνές, με αντάλλαγμα να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα bit που εξοικονομούμε για την αναβάθμιση του μέσου όρου ανάλυσης του συνόλου των σκηνών. Έτσι σε αντίθεση με την ηχογράφηση ήχου σε CD, που γίνεται χωρίς καμία συμπίεση, στη συμπίεση video αναζητείται μία χρυσή τομή (sweet spot) ανάμεσα στην ποιότητα και το bandwidth που πολλές φορές βασίζεται σε υποκειμενικές μετρήσεις που γίνονται σε άτομα που θεωρούνται ικανά “δείγματα” πάνω στην εκτίμηση της εικόνας και του ήχου λόγω επαγγελματικής εμπειρίας. Αν η εμπειρία τους δεν τους επιτρέπει να αντιληφθούν σημαντικές διαφορές στην ποιότητα του κωδικοποιημένου ήχου από τον αρχικό και συγχρόνως θεωρούν ανεκτές τις ατέλειες (artifacts) της εικόνας μετά από κάποιο ποσοστό συμπίεσης, η μέθοδος και το ποσοστό αυτό θεωρούνται αποδεκτά και τυποποιούνται. Να σημειωθεί εδώ ότι ενώ ο ήχος προσφέρεται για μεγάλα ποσοστά συμπίεσης χωρίς να μπορεί να γίνει αισθητή υποβάθμιση στην ποιότητά του, στον τομέα της εικόνας τα πράγματα είναι λίγο πιο δύσκολα και οι όποιες ατέλειες είναι ορατές, απλά γίνεται προσπάθεια να μην γίνονται ενοχλητικές για το θεατή.

- **Πλεονασμός (Redundancy)**

Η βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζονται όλες οι μέθοδοι ψηφιακής συμπίεσης είναι το γεγονός ότι το σήμα εμπεριέχει ένα ποσοστό **πλεονασμού** (redundancy). Με τον όρο αυτό εννοούμε την πληροφορία που είτε μπορεί να παραληφθεί, είτε να κωδικοποιηθεί με λιγότερη ακρίβεια, χωρίς αυτό να έχει αξιοσημείωτη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. Υπάρχουν δύο είδη πλεονασμού:

1. **Στατικός πλεονασμός (Spatial Redundancy):** Το επίπεδο του σήματος μπορεί σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή να προϋπολογιστεί από την προηγούμενη τιμή του, γιατί οι τιμές δειγμάτων της εικόνας σε μεγάλο ποσοστό σχετίζονται μεταξύ τους. Αυτό μπορούμε

να το επαληθεύσουμε και εποπτικά π.χ. σε μία εικόνα του δελτίου ειδήσεων ένα μεγάλο κομμάτι της εικόνας (φόντο) παραμένει αμετάβλητο και μόνο το κομμάτι της εικόνας που καταλαμβάνει ο παρουσιαστής μεταβάλλεται ελαφρά (κινήσεις των χειλιών, των βλεφάρων κτλ). Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε ένα τμήμα της εικόνας από μία προηγούμενη και να προσθέσουμε απλά τις διαφορές που έχουν προκύψει χωρίς να χρειάζεται να κωδικοποιούμε σε κάθε πλαίσιο (frame) την πλεονάζουσα πληροφορία.

2. Υποκειμενικός Πλεονασμός (Temporal Redundancy) : Ανάλογα με το περιεχόμενο της εικόνας το ανθρώπινο μάτι μπορεί να ανεχτεί ένα ποσοστό παραμόρφωσης ή αλλοίωσης ορισμένων παραμέτρων της εικόνας χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό. Π.χ. είναι γνωστό ότι η ανθρώπινη όραση είναι γενικά πολύ πιο ευαίσθητη στη φωτεινότητα της εικόνας παρά στα χρώματα. Αντίστοιχες ιδιότητες έχει και η ακοή. Άρα μπορούμε να αφαιρώσουμε λιγότερο από το διαθέσιμο bandwidth στην περιγραφή των χρωμάτων και γενικά της πλεονάζουσας πληροφορίας και αυτό να περάσει απαρατήρητο από το θεατή. Ο υποκειμενικός πλεονασμός και οι ιδιαιτερότητες της ανθρώπινης όρασης έχουν αξιοποιηθεί εδώ και δεκαετίες στην αναλογική τεχνολογία της τηλεόρασης, αλλά τώρα βρίσκουν εφαρμογή και στις ψηφιακές τεχνικές μετάδοσης.

- **DCT Coding (Discrete Cosine Transform Coding)**

Ο Διακριτός Συνημιτονικός Μετασχηματισμός (Discrete Cosine Transform) είναι μία μέθοδος που βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην ψηφιακή συμπίεση γενικά αλλά και στο MPEG ειδικότερα. Με το μετασχηματισμό DCT μπορούμε να μεταφέρουμε την πληροφορία που περικλείει η εικόνα από το πεδίο του χώρου στο πεδίο της συχνότητας (αφηρημένο πεδίο), όπου η περιγραφή της μπορεί να γίνει με σημαντικά μικρότερο πλήθος bits, για διάφορους λόγους.

Ο μετασχηματισμός DCT ορίζεται ως εξής :

Για κάθε pixel (x,y) εφαρμόζοντας τον τύπο :

$$DCT(i,j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} \text{pixel}(x,y) \cos\left[\frac{(2x+1)}{2N}i\pi\right] \cos\left[\frac{(2y+1)}{2M}j\pi\right]$$

$$\text{όπου } C(x) = \begin{cases} 0.7071, & x=0 \\ 1 & , x > 0 \end{cases}$$

παίρνουμε την τιμή $DCT(i,j)$ που είναι η τιμή του συντελεστή του μετασχηματισμού στο πεδίο της συχνότητας. Έτσι αντιστοιχίζουμε τις τιμές των pixels στις αντίστοιχες τιμές συντελεστών.

Οι συντελεστές αυτοί μεταφέρουν ο καθένας ένα κομμάτι της αρχικής πληροφορίας (αυτό που αντιστοιχεί στο κομμάτι του φάσματος που περιγράφει). Επειδή όμως έχει παρατηρηθεί ότι η ανθρώπινη όραση αντιλαμβάνεται πολύ περισσότερο τα φαινόμενα που σχετίζονται με χαμηλές συχνότητες όπως (π.χ. χρώματα με μικρότερα μήκη κύματος), ενώ δείχνει κάποια ανοσία σε υψίσυχνες περιοχές του σήματος (π.χ. ακμές της εικόνας), οι συντελεστές του μετασχηματισμού που αντιστοιχούν σε χαμηλές συχνότητες έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από αυτούς που περιγράφουν τις υψηλές συχνότητες και για το λόγο αυτό οι πρώτοι περιγράφονται με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια..

Κατά την αναπαγωγή γίνεται η αντίστροφη διαδικασία με τη βοήθεια του μετασχηματισμού IDCT (Inverse Discrete Cosine Transform - Αντίστροφος Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημίτονων), που περιγράφεται από τον τύπο:

$$\text{Pixel}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i)C(j)DCT(i,j) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right]$$

Το αποτέλεσμα είναι να πάρουμε πίσω σχεδόν ανέπαφη την αρχική πληροφορία (εκτός από κάποια αναπόφευκτα σφάλματα στρογγυλοποίησης).

• Κβαντοποίηση (Quantization)

Η μέθοδος που μας βοηθάει να απαλλαγούμε από σημαντικό μέρος της πληροφορίας είναι η κβαντοποίηση. Με τον όρο κβαντοποίηση γενικά εννοούμε τη μετατροπή ενός σήματος άπειρων (ή πάρα πολλών) τιμών σε ένα σήμα ορισμένων διακριτών τιμών π.χ. η κβαντοποίηση μιας εικόνας που περιέχει εκατομμύρια χρώματα οδηγεί σε μία εικόνα που έχει 256 διαφορετικές τιμές για το χρώμα (πρότυπο JPEG). Με άλλα λόγια κβαντοποίηση είναι ο περιορισμός των bits με τα οποία περιγράφουμε τα δείγματα του σήματος (προφανώς το 256 έχει πολύ λιγότερα bits από τους τεράστιους αριθμούς με τους οποίους έπρεπε να περιγράψουμε τα δείγματά μας αν δεν γινόταν κβαντοποίηση).

Ένα παράδειγμα (με πιο «διαισθητικά» νούμερα) είναι το παρακάτω που δείχνει ταυτόχρονα με τη μεγάλη οικονομία που γίνεται και την εισαγωγή σημαντικών σφαλμάτων (για τον περιορισμό των οποίων επιστρατεύονται άλλες μέθοδοι) :

Ο αριθμός 45 είναι 101101 έχει δηλαδή 6 bits.

Με 4 bits γίνεται 1011 = 11

Με 3 bits γίνεται 101 = 5 κτλ.

Δηλαδή αν είχαμε διαλέξει να περιγράψουμε το σήμα με 3 bits, τιμές όπως το 45 και το 11 θα έπαιρναν την τιμή 101 (=5). Είναι προφανές ότι η κβαντοποίηση εισάγει σφάλμα ανάλογο με τον αριθμό των bits που απορρίπτονται και κατά συνέπεια ευθύνεται στο μεγαλύτερο βαθμό για την απώλεια πληροφορίας κατά τη συμπίεση (lossy compression) σε αντίθεση με το μετασχηματισμό DCT που είναι μια, σε μεγάλο βαθμό αντιστρεπτή διαδικασία.

Για να περιγράψουμε όσο περισσότερες από τις τιμές του σήματος γίνεται με δοσμένο αριθμό bits, διαιρούμε τις τιμές των δειγμάτων είτε με σταθερές τιμές (uniform quantization) είτε με πίνακες κβαντοποίησης (quantization tables). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δηλαδή στο πρότυπο MPEG χρησιμοποιείται η δεύτερη μέθοδος και μάλιστα υπάρχει ένας πίνακας για τα πλαίσια που έχουν κωδικοποιηθεί με ενδοπλαισιακή (intra-frame coding) και ένας για αυτά με δια-πλαισιακή (inter-frame coding).

- **Τμηματική Πρόβλεψη Κίνησης (Block Motion Compensation)**

Ένας τρόπος με τον οποίο μπορούμε να περιγράψουμε πιο αποτελεσματικά εικόνες με κίνηση είναι η τμηματική πρόβλεψη κίνησης. Με τη βοήθεια αυτής της μεθόδου μπορούμε να εκτελέσουμε τη δια-πλαισιακή (inter-frame) κωδικοποίηση και να περιγράψουμε την αλληλουχία εικόνων ως σειρά ομοιοτήτων και διαφορών. Για παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα έχουμε μια σκακιέρα σε δύο φάσεις που διαφέρουν μεταξύ τους στο ότι κάποια πόνια έχουν μετακινηθεί.

Εναλλακτικά με το να κωδικοποιήσουμε ανεξάρτητα τα δύο πλαίσια μπορούμε να περιγράψουμε τη δεύτερη εικόνα με το να τη χωρίσουμε σε ίσα τμήματα και να φτιάξουμε ένα πίνακα που να περιέχει τμήματα που έχουν μείνει ίδια και διανύσματα που να δείχνουν τη νέα θέση των τμημάτων που άλλαξαν θέση. Έτσι αν έχουμε ήδη αποστείλει την πρώτη εικόνα μπορούμε να στείλουμε τη δεύτερη σαν ένα πίνακα 20 διανυσμάτων και ορισμένων σταθερών τμημάτων, που προφανώς έχει πολύ μικρότερο μέγεθος.

Το παραπάνω είναι μία καλή προσέγγιση της μεθόδου αλλά στην πραγματικότητα οι πραγματικές εικόνες δεν θα είναι τόσο όμοιες μεταξύ τους όσο η σκακιέρα. Θα έχουν κάποια

κοινά τμήματα που αλλάζουν θέση από πλαίσιο σε πλαίσιο αλλά θα υπάρχουν και τμήματα που αλλάζουν θέση διατηρώντας το σχήμα τους αλλά μεταβάλλεται το χρώμα τους, καθώς και άλλα που δεν υπάρχουν σε προηγούμενο πλαίσιο αλλά εμφανίζονται σε κάποιο για πρώτη φορά. Για την κάλυψη αυτών των περιπτώσεων χρησιμοποιείται μια πιο βελτιωμένη εκδοχή της παραπάνω ιδέας (ή για την ακρίβεια διάφορες εκδοχές της παραπάνω ιδέας).

Η σύνταξη του MPEG καθορίζει πως θα αναπαρίσταται η πληροφορία για την κίνηση του κάθε macroblock, ότι θα γίνεται δηλαδή αυτή η αναπαράσταση με τη χρήση διανυσμάτων κίνησης, αλλά δεν καθορίζει πως τα διανύσματα αυτά θα υπολογίζονται και για το λόγο αυτό εμφανίζονται διάφορες υλοποιήσεις της μεθόδου εύρεσης των διανυσμάτων κίνησης οι οποίες στηρίζονται όλες στην ελαχιστοποίηση μίας συνάρτησης που υπολογίζει την ταύτιση του τρέχοντος με το macroblock αναφοράς.

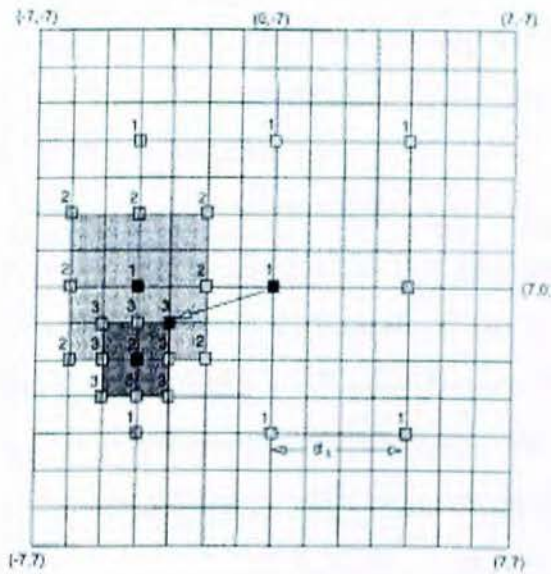
Αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε συνάρτηση σφάλματος που υπάρχει, η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη συνάρτηση είναι η Απόλυτη Διαφορά (AE - Absolute Error) η οποία δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$AE(d_x, d_y) = \sum_{i=0}^{15} \sum_{j=0}^{15} |f(i, j) - g(i - d_x, j - d_y)|$$

Στην παραπάνω εξίσωση το $f(i, j)$ και $g(i, j)$ αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες των pixels στο τρέχον και το macroblock αναφοράς αντίστοιχα. Το macroblock αναφοράς που καθορίζεται από το διάνυσμα (d_x, d_y) αντιπροσωπεύει την περιοχή αναζήτησης. Το macroblock που παράγει το μικρότερο σφάλμα αντιστοιχεί στην τιμή του διανύσματος που ψάχνουμε.

Η πιο απλή διορατικά αλλά και η πιο πολύπλοκη από πλευράς υπολογιστικής πολυπλοκότητας είναι η πλήρης αναζήτηση (full search) η οποία καλύπτει κάθε pixel στην περιοχή αναζήτησης.

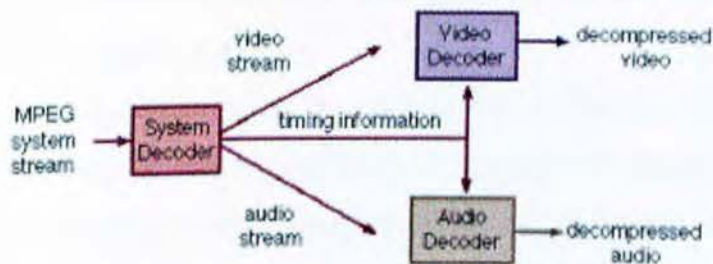
Για να μειωθεί λίγο η υπολογιστική πολυπλοκότητα έχει επινοηθεί η μέθοδος αναζήτησης τριών βημάτων (TSS - Three Step Search). Ο αλγόριθμος υπολογίζει την απόλυτη διαφορά (AE) στο κέντρο και σε οχτώ περιοχές της περιοχής αναζήτησης που είναι 32×32 pixels. Η περιοχή που θα έχει τη μικρότερη απόλυτη διαφορά γίνεται το κέντρο για την επόμενη αναζήτηση, η οποία έτσι έχει το μισό μέγεθος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τρεις φορές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (η περιοχή του κάθε βήματος περικλείεται από σημεία που φέρουν την αντίστοιχη αρίθμηση).



Σχήμα 1.1: Motion Compensation με χρήση του Three Step Search

- **Ανατομία του σήματος MPEG**

Ένα σήμα κωδικοποιημένο με MPEG αποτελείται από τρία επίπεδα: system, video και audio, όπως φαίνεται παρακάτω :



Σχήμα 1.2: Σχηματικό διάγραμμα αποκωδικοποιητή MPEG.

Το επίπεδο system περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με το συγχρονισμό, την τυχαία), ελέγχει τη ροή του σήματος για να μην παρατηρείται έλλειψη ή πλεονασμός δεδομένων, παρέχει πληροφορίες για σημεία αναφοράς που διευκολύνουν την τυχαία προσπέλαση (random access) και τέλος περιέχει πληροφορίες για το διαχωρισμό του video από το audio και για την συγχρονισμένη απεικόνισή τους.

Τα επίπεδα video και audio περιέχουν κωδικοποιημένη την εικόνα και τον ήχο αντίστοιχα.

Η κωδικοποίηση αυτών των επιπέδων μπορεί να έχει γίνει ταυτόχρονα ή ξεχωριστά. Σε κάθε περίπτωση, τα δεδομένα των τριών επιπέδων συνενώνονται σε ένα ενιαίο σήμα (bit-stream)

μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται πολυπλεξία (multiplexing ή muxing). Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται demultiplexing (ή demuxing). Μερικά συστήματα κάνουν την πολυπλεξία σε πραγματικό χρόνο (real-time) και άλλα όχι.

Η διαδικασία της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης του MPEG γίνεται με hardware ή με software. Η λύση του software είναι πιο φθηνή αλλά έχει μειονέκτημα στον τομέα της ποιότητας της εικόνας και απαιτεί αρκετά ισχυρούς υπολογιστές για να λειτουργήσει (Pentium). Η λύση του hardware είναι ακριβότερη, βασίζεται σε υλοποιήσεις των διαφόρων μεθόδων με ολοκληρωμένα VLSI και παράγει αυτόνομα συστήματα (κωδικοποιητές ή αποκωδικοποιητές) που δεν χρειάζονται υπολογιστή για να λειτουργήσουν, ενώ ταυτόχρονα έχουν πολύ καλή ποιότητα εικόνας.

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι περισσότερες μέθοδοι κωδικοποίησης video όπως Cinepak, Indeo, Motion-JPEG, στηρίζονται στις μεθόδους συμπίεσης ακίνητης εικόνας JPEG (Joint Photographic Experts Group), αντιμετωπίζοντας την κινούμενη εικόνα σαν μια σειρά από διαδοχικές ακίνητες εικόνες. Η μέθοδος MPEG αν και δανείζεται σε μεγάλο βαθμό τις βασικές αρχές του JPEG επεκτείνει την προσέγγιση αυτή και περιγράφει την παράμετρο της κίνησης με ένα πιο λεπτομερή και αποτελεσματικό τρόπο από τις άλλες μεθόδους, με ευεργετικά αποτελέσματα από πλευράς ποσοστού συμπίεσης.

Προκειμένου να γίνει η επεξεργασία της εικόνας και η διαδικασία πρόβλεψης της κίνησης, το κάθε πλαίσιο (frame) της εικόνας χωρίζεται σε τμήματα που ονομάζονται slices. Τα slices περιέχουν μία σειρά macroblocks, οποία όπως φανερώνει και το όνομά τους περιέχουν μία σειρά από blocks. Τα blocks είναι τμήματα της εικόνας διαστάσεων 8×8 .

Ο ρόλος των slices είναι να περιορίσουν τη διάδοση των λαθών (error propagation). Αν ένα slice ληφθεί με λάθος παραλείπεται χωρίς να χάνουμε όλη την εικόνα. Γενικά τα slices βοηθούν στην απόκρυψη των σφαλμάτων (error concealment).

Το κάθε macroblock περιέχει ένα πίνακα με πληροφορίες φωτεινότητας (16×16) και δύο πίνακες του μισού μεγέθους (8×8) για το χρώμα.

Πιο αναλυτικά : όπως είναι γνωστό από την αναλογική τεχνολογία της τηλεόρασης και για λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί, για την κωδικοποίηση της εικόνας δε χρησιμοποιούμε τρία ανεξάρτητα σήματα για τις συνιστώσες R,G,B παρόλο που κάθε χρώμα μπορεί να περιγραφεί από αυτές και άλλο ένα για τη φωτεινότητα, αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται μόνο αυτό της

φωτεινότητας (Y) και δύο άλλα (Cr) και (Cb) που περιέχουν τις πληροφορίες για τα R,G,B αν συνδυαστούν με τη φωτεινότητα σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους :

$$Y = 0,30R + 0,59G + 0,14B$$

$$Cr = 0,74(R-Y) - 0,27(B-Y) = 0,60R + 0,28G + 0,32B$$

$$Cb = 0,48(R-Y) + 0,41(B-Y) = 0,21R + 0,52G + 0,31B \quad (\text{για το NTSC})$$

και

$$Y = 0,30R + 0,59G + 0,11B$$

$$Cr = 0,493(B-Y) = -0,15R - 0,29G + 0,44B$$

$$Cb = 0,877(R-Y) = 0,62R - 0,52G - 0,10B \quad (\text{για το PAL})$$

** Να σημειώσουμε ότι αυτό το μοντέλο είναι αυτό που συναντάται πιο συχνά. Παρ' όλα αυτά στις μέρες μας γίνεται πρόοδος και στον τομέα της αναλογικής τεχνολογίας της εικόνας και έχουν εισαχθεί νέες αναλογικές τεχνικές όπως το S-VHS όπου οι τρεις συνιστώσες του σήματος μεταδίδονται με τρία διαφορετικά σήματα.*

Τα σήματα Cr και Cb δειγματοληπτούνται στα 6,75 Hz και το Y στα 13,5 Hz (δηλαδή στη διπλή συχνότητα). Και οι δυο συχνότητες πάντως έχουν επιλεγεί γιατί είναι πολλαπλάσια του 2,25 Hz που είναι το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο των γραμμών των πλαισίων PAL και NTSC (525/2*25 και 625/2*30) και αυτό γιατί σύμφωνα με τηλεοπτικά πρότυπα πρέπει ο ρυθμός δειγματοληψίας να είναι ο ίδιος ανεξάρτητα με τη συχνότητα του αναλογικού σήματος.

Αντίστοιχα στην ψηφιακή τους μορφή τα τρία αυτά σήματα έχουν την παρακάτω μορφή για κάθε macroblock, δηλαδή τρεις πίνακες (blocks), ένας 16x16 και δύο 8x8, που δείχνουν τις τιμές φωτεινότητας και χρώματος για τα pixels του block.

Πάνω στους πίνακες αυτούς εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός DCT και οι υπόλοιπες διαδικασίες συμπίεσης καθώς και η διαδικασία της πρόβλεψης της κίνησης.

• Είδη πλαισίων (frames)

Δύο βασικές προσεγγίσεις στην κωδικοποίηση της κινούμενης εικόνας είναι οι παρακάτω. Η πρώτη είναι βασισμένη στη μέθοδο συμπίεσης ακίνητης εικόνας JPEG και η δεύτερη στην τμηματική πρόβλεψη κίνησης (block motion compensation) :

Ενδο-πλαισιακή
Κωδικοποίηση (Intra-frame
Coding):

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση η κάθε εικόνα (frame) αντιμετωπίζεται σαν αυτόνομη μονάδα και κωδικοποιείται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, οπότε το τελικό σήμα είναι μία σειρά από διακριτές ακίνητες

εικόνες.

Δια-πλαισιακή
Κωδικοποίηση (Inter-frame
Coding):

Λαμβάνονται κατά την κωδικοποίηση υπ' όψη οι πιθανές ομοιότητες μεταξύ των πλαισίων και κωδικοποιείται η διαφορά τους με χρήση του block motion compensation. Έτσι στο τελικό σήμα υπάρχει μία εξάρτηση

μεταξύ των πλαισίων αφού για να αποκωδικοποιηθεί κάποιο 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.

Σε ένα σήμα (bit-stream) MPEG υπάρχουν τριών ειδών πλαίσια :

- **I (Intra frames)** : Το είδος αυτό των πλαισίων κάνει χρήση του intra frame-coding. Τα πλαίσια τύπου **I** είναι τα μόνα που είναι κωδικοποιημένα στο σύνολό τους και η αποκωδικοποίηση μπορεί να γίνει χωρίς αναφορά σε κάποιο άλλο. Είναι κατά συνέπεια τα μεγαλύτερα σε μήκος και αποτελούν σημεία αναφοράς κατά την τυχαία προσπέλαση ενός σήματος. 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 (δηλαδή δύο φορές το δευτερόλεπτο αν η συχνότητα είναι 30 Hz).

Η διαδικασία της κωδικοποίησης ενός **I** πλαισίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η εικόνα χωρίζεται σε macroblocks και για κάθε block ξεχωριστά εφαρμόζεται DCT, Κβαντοποίηση, Zig-Zag Scanning, Run-Length-Encoding και Huffman Encoding (οι μέθοδοι αυτοί θα εξεταστούν ξεχωριστά παρακάτω).

- **P (Predicted frames)** : Τα πλαίσια τύπου **P** είναι βασισμένα σε ένα προηγούμενο **I** ή **P** πλαίσιο. Με τη βοήθεια του motion compensation προβλέπουν τη νέα θέση όποιων macroblocks έχουν απλά μετακινηθεί και κωδικοποιούν τον αριθμό του macroblock και ένα διάνυσμα κίνησης. Με τη σειρά τους μπορούν να αποτελέσουν και αυτά σημείο αναφοράς για επόμενα πλαίσια και αυτός είναι και ο λόγος που συμβάλλουν στην εισαγωγή και

διάδοση σφαλμάτων, αφού η διαδικασία της πρόβλεψης κίνησης δεν μπορεί να είναι 100% ακριβής. Δεν έχουν το μέγεθος των I πλαισίων γιατί δεν έχουν περιγραφεί με την ίδια ακρίβεια, δηλαδή παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό συμπίεσης. Η διαδικασία λοιπόν της κωδικοποίησης τους, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα είναι: σύγκριση macroblocks και δημιουργία ενός γραμμικού συνδυασμού αυτών που παρουσιάζουν σημαντική ομοιότητα, δημιουργία motion vector, μετασχηματισμός DCT σε κάθε block του νέου macroblock, Κβαντοποίηση, Run-Lenght-Encoding και το αποτέλεσμα κωδικοποιείται με κωδικοποίηση Huffman, όπως και στα I πλαίσια.

➤ **B (Bi-directional frames):** Τα πλαίσια τύπου B είναι πλαίσια που 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. Μπορούμε να πούμε ότι ο 'κύκλος της ζωής' τους περιορίζεται μόνο σε αυτά και δεν επεκτείνεται με το να κληροδοτούν πληροφορίες σε άλλα πλαίσια, κάτι που πολλές φορές σε συνδυασμό και με την υπολογιστική πολυπλοκότητα που απαιτούν για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση τα κάνει μη επιθυμητά από τους κατασκευαστές. Η διαδικασία της κωδικοποίησης περιλαμβάνει συνδυασμό των αντίστοιχων macroblocks που παρουσιάζουν μικρές διαφορές με τα αντίστοιχα των πλαισίων αναφοράς (προηγούμενο και επόμενο) δηλαδή αφαίρεση του μέσου όρου των άλλων δύο από το τρέχον πλαίσιο, συνδυασμό των διανυσμάτων κίνησης των πλαισίων αναφοράς (που συνδυάζονται όπως και τα αντίστοιχα macroblocks, δηλαδή λαμβάνεται ο μέσος όρος τους) και στη συνέχεια την ίδια διαδικασία με τα I και P πλαίσια για την κωδικοποίηση του macroblock που προκύπτει.

Ο κύριος λόγος ύπαρξης των B-πλασίων είναι η κάλυψη της περίπτωσης κάποιες πληροφορίες της εικόνας να υπάρχουν σε επόμενα πλαίσια και να μην υπάρχουν στα προηγούμενα. Συνεπώς η πρόβλεψή τους 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.

Αφού τα πλαίσια P κατασκευάζονται με βάση τα I και τα B με βάση τα I και P είναι προφανές ότι τα I πρέπει να έχουν σταλεί πριν τα αντίστοιχα P. Επίσης και τα P αλλά και τα I πρέπει να έχουν σταλεί πριν από τα αντίστοιχα B, παρόλο που στη μετάδοση αυτά παρεμβάλλονται ανάμεσά τους. Η σειρά με την οποία απεικονίζονται και η σειρά με την οποία αποστέλλονται τα πλαίσια (που προφανώς δεν είναι η ίδια) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :

Η συνηθέστερη διάταξη των πλαισίων σε ένα σήμα MPEG είναι η παρακάτω. Πολλές φορές παρεμβάλλονται περισσότερα B πλαίσια και τα I πλαίσια απέχουν περισσότερο μεταξύ τους (αλλά αυτό υποβαθμίζει την ποιότητα της εικόνας γιατί τα σφάλματα διαδίδονται περισσότερο).

Η μικρότερη μονάδα που μπορεί να αποκωδικοποιηθεί ανεξάρτητα ονομάζεται **GOP** (Group of Pictures) και περιέχει όλα τα I,P,B πλαίσια που χρειάζονται για την αποκωδικοποίηση, χωρίς να γίνονται αναφορές σε άλλο GOP.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αναλογία πλαισίων I,P,B σε ένα σήμα MPEG :

Είδος εικόνας	Bit-rate	I	P	B	Μέσος όρος
MPEG-1	(1.15 Mbit/sec)	150,000	50,000	20,000	38,000
MPEG-2	(4.00Mbit/sec)	400,000	200,000	80,000	130,000

Πίνακας 1.1

➤ Οι μέθοδοι Run Length Encoding και Huffman

Οι δύο αυτές μέθοδοι δεν μεταβάλουν τις τιμές των δειγμάτων (όπως ο μετασχηματισμός DCT για παράδειγμα ή η κβαντοποίηση), αλλά χρησιμοποιούνται στο τελικό στάδιο της κωδικοποίησης, για να μειώσουν τον αριθμό bits που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση τους.

Η πρώτη (**Run-Length-Encoding**) στηρίζεται στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλά μηδενικά σε διαδοχικές θέσεις και ανάμεσά τους κάποιες μη μηδενικές τιμές. Έτσι χρησιμοποιώντας κάποια σύμβολα (flags) που δείχνουν ότι αυτό που τα ακολουθεί δεν είναι διακριτή τιμή του σήματος αλλά ομάδα τιμών, ομαδοποιούν τα μηδενικά και τα μεταδίδουν σαν έναν αριθμό (πλήθος μηδενικών). Έτσι σχηματίζονται ζευγάρια τιμών που ο πρώτος δείχνει το πλάτος μιας μη μηδενικής συνιστώσας και ο δεύτερος των αριθμό μηδενικών που ακολουθεί μέχρι την επόμενη, γλυτώνοντας έτσι πολλά bit.

Η δεύτερη (**Huffman**) είναι μια μέθοδος που αντιστοιχίζει σε συχνότερα εμφανιζόμενες τιμές μια συμβολική τιμή που είναι μικρή (έχει όσο το δυνατόν λιγότερα bits). Ταυτόχρονα

δημιουργεί και ένα «λεξικό» (έναν πίνακα δηλαδή) που δείχνει αυτή την αντιστοίχιση και προσθέτει και το λεξικό αυτό στο σήμα για να χρησιμοποιηθεί από τον αποκωδικοποιητή. Έτσι τιμές που εμφανίζονται συχνά και έχουν μεγάλο αριθμό bits περιγράφονται με άλλες που έχουν μικρότερο, άρα πάλι έχουμε οικονομία σε bits.

- **Προσαρμοστική Κωδικοποίηση - Adaptive coding**

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν δύο είδη κωδικοποίησης (inter-frame και intra-frame με motion compensation). Επίσης είναι δεδομένο ότι επιβάλλεται η μετάδοση ενός I πλαισίου κάθε 15 πλαίσια. Πέρα από αυτό όμως οι απαιτήσεις της εικόνας μπορεί να απαιτούν περισσότερα ή ακόμα και λιγότερα, δηλαδή μπορεί η εικόνα να περιλαμβάνει γρήγορες αλλαγές σκηνικών και χρωμάτων ή το αντίθετο. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να απαιτηθούν περισσότερα intra-frame πλαίσια και στη δεύτερη για λόγους οικονομίας, λιγότερα. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις (πιο πολύπλοκες υλοποιήσεις) ο κωδικοποιητής μπορεί να επιλέξει το είδος κωδικοποίησης ανάλογα με τις ανάγκες της εικόνας. Δηλαδή οι δύο τρόποι κωδικοποίησης χρησιμοποιούνται περιοδικά για να «φιλτράρουν» την εικόνα από αυξημένες παραμορφώσεις, ή στην αντίθετη περίπτωση να ελαττώσουν το ρυθμό μετάδοσης. Αυτός είναι και ο λόγος που στο MPEG-2 εμφανίζεται μεταβαλλόμενο ρυθμός μετάδοσης.

- **Διαδικασία Κωδικοποίησης**

Ας δούμε με ένα παράδειγμα την όλη διαδικασία της κωδικοποίησης, όπως εφαρμόζεται στους πίνακες των macroblocks. Η διαδικασία της πρόβλεψης κίνησης θεωρείται ότι έχει εξεταστεί παραπάνω και δεν συμπεριλαμβάνεται στο παράδειγμα. Η διαδικασία αφορά ένα πλαίσιο που κωδικοποιείται με κωδικοποίηση μετασχηματισμού DCT (και όχι με motion compensation) δηλαδή ένα I πλαίσιο.

Έστω ότι έχουμε ένα τέτοιο πλαίσιο, ένα block του οποίου είναι το παρακάτω. Τα νούμερα του αρχικού πίνακα είναι τυχαία και δεν αντιστοιχούν σε κάποια πραγματική εικόνα. Δείχνουν απλώς την επίδραση που έχουν πάνω σε ένα πίνακα οι διαδικασίες του μετασχηματισμού DCT και της Κβαντοποίησης.

-0,27	0,35	0,12	-0,00	-0,12	0,66	0,28	-0,19
-0,31	0,36	-0,50	-0,32	-0,52	0,37	0,07	-0,01

Πίνακας 1.3: Το ίδιο μπλοκ μετά από εφαρμογή DCT.

Στο επόμενο στάδιο εφαρμόζεται κβαντοποίηση και ποσοστοποίηση (thresholding) των τιμών δηλαδή απορρίπτονται αυτές που είναι κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο (και αντικαθιστούνται με μηδενικά). Η διαδικασία αυτή βασίζεται αφ' ενός στο ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται σε περιοχές που δεν είναι τόσο κρίσιμες από πλευράς αντίληψης των αλλοιώσεων που δημιουργούνται, αλλά και στο ότι τα πολλά μηδενικά και μάλιστα σε διαδοχικές θέσεις είναι πολύ εύκολο να κωδικοποιηθούν με ελάχιστα bits με τη μέθοδο Run-Length encoding. Ο προηγούμενος πίνακας μετά από ποσοστοποίηση, ακολουθεί παρακάτω :

294,94	0,00	-3,08	-1,37	0,00	0,00	0,00	0,00
-5,81	-7,07	-1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,62	-2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 1.4: Το προηγούμενο μπλοκ μετά από εφαρμογή ποσοστοποίησης (thresholding).

Σειρά έχει η κβαντοποίηση. Η κβαντοποίηση στις περισσότερες υλοποιήσεις είναι αφ' ενός ποικίλη (χρησιμοποιείται διαφορετικός νόμος κβαντοποίησης) αλλά και ρυθμιζόμενη, δηλαδή είναι ρυθμιζόμενη η τιμή του κβαντιστή με αντίστοιχη επίδραση στην τελική ποιότητα και το ρυθμό μετάδοσης, δύο μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα όπως έχει προαναφερθεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο νόμος κβαντοποίησης που έχει χρησιμοποιηθεί για λόγους απλότητας είναι η στρογγυλοποίηση των αριθμών, που μειώνει σημαντικά τον αριθμό bits, αλλά

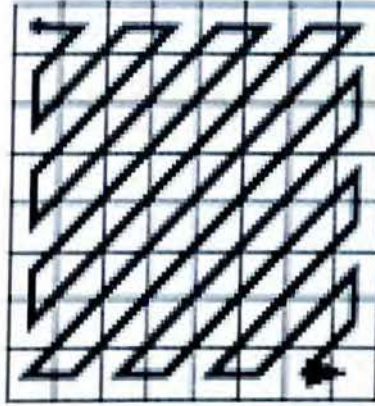
μπορεί να εφαρμοστεί και άλλη κβαντοποίηση π.χ. τιμές που διαφέρουν μόνο κατά 3 μεταξύ τους κτλ. (εξαρτάται από το hardware)

295	0	-3	-1	0	0	0	0
-6	-4	-1	0	0	0	0	0
-3	-2	0	0	0	0	0	0
-2	0	3	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 1.5: Κβαντοποίηση με μετατροπή σε ακέραιες τιμές.

Ακολουθεί η σάρωση σε σχήμα zig-zag. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη γιατί κάποια στιγμή όλα τα δεδομένα που περιέχονται στους πίνακες 2 διαστάσεων, αφού υποστούν επεξεργασία, πρέπει να μεταδοθούν από ένα σειριακό μέσο, άρα πρέπει να κωδικοποιηθούν σειριακά σε ένα σήμα. Το γιατί έχει επιλεγεί το συγκεκριμένο σχήμα σάρωσης (zig-zag από την πάνω δεξιά γωνία όπως στο πιο κάτω σχήμα) γίνεται προφανές από τον πίνακα 4 αν παρατηρήσει κανείς ότι οι τιμές που έχουν προκύψει έχουν μια διάταξη αυξανόμενου μεγέθους αν τις σαρώσουμε κατά αυτό τον τρόπο. Αυτό δεν είναι κάτι τυχαίο που προέκυψε για τις συγκεκριμένες τιμές του παραδείγματος αλλά είναι ιδιότητα του μετασχηματισμού. Η αποθήκευση των τιμών κατά αυτό τον τρόπο βοηθάει πολύ στα επόμενα στάδια της κωδικοποίησης **RLE** (Run-Length-Encoding) και Huffman.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάταξη της σάρωσης zig-zag:



Σχήμα 1.3: Zig-zag scanning.

Κατά την αποκωδικοποίηση ακολουθούνται οι αντίστροφες διαδικασίες. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι πολύ κοντά στο αρχικό. Το πόσο κοντά εξαρτάται από τις παραδοχές που έχουμε κάνει στην κβαντοποίηση, την ποσοστοποίηση και κατ' επέκταση στο ρυθμό μετάδοσης που έχουμε χρησιμοποιήσει. Το block που χρησιμοποιήθηκε για παράδειγμα, αν ανακατασκευαστεί, θα παρουσιάζει την εξής εικόνα, για την οποία μπορούμε να επαληθεύσουμε ότι είναι πολύ κοντά στο αρχικό :

131	134	139	142	144	144	144	144
136	139	143	146	147	146	146	145
143	145	148	150	150	148	147	147
148	150	152	152	151	149	148	147
150	151	152	152	150	148	146	146
150	151	152	152	150	148	146	145
151	152	153	152	150	148	147	147
151	152	153	153	151	149	149	148

Πίνακας 1.6: Ανακατασκευή του αρχικού block μετά από αποκωδικοποίηση

Οι εφαρμογές στις οποίες απευθύνεται το MPEG-2 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα :

Επίπεδο	Μέγεθος Εικόνας	Pixels/ sec (Mbits)	bit-rate	Εφαρμογές
Χαμηλή	352 x 240	3 M	4	Κανονική τηλεοπτική ποιότητα
Κύρια	720 x 480	10 M	15	Τηλεόραση (ποιότητα studio)
Υψηλή 1440	1440 x 1152	47 M	60	Τηλεόραση Υψηλής Ευκρίνειας
Υψηλή	1920 x 1080	63 M	80	Παραγωγή Ταινιών

Πίνακας 1.7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΡΗΣΗ ADOBE AFTER EFFECTS

2.1: ΓΕΝΙΚΑ ΠΡΑΓΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ

Εισαγωγή

Από τότε που οι αδερφοί Lumiere γύρισαν και προέβαλαν την πρώτη ταινία (που απλά δείχνει τους εργάτες να βγαίνουν από το εργοστάσιο του πατέρα τους), μέχρι και το υπερσύγχρονο Avatar ο στόχος του κινηματογράφου ήταν ένας: η «αιχμαλώτιση» του ματιού του θεατή. Αργότερα βέβαια, με απαρχή την ταινία The Jazz singer (1927) της Warner brothers, συνδράμει και ο ήχος σε αυτή την προσπάθεια.

Η όραση, λοιπόν, μαζί με τη βοήθεια της ακοής, προσπαθούν να υποκαταστήσουν και τις υπόλοιπες αισθήσεις, που μέχρι στιγμής η τεχνολογία δεν έχει επιτρέψει ακόμα να χρησιμοποιηθούν στον κινηματογράφο.

Χρώμα, φως και μάτι

Προτού αναφερθούμε στα τελευταία επιτεύγματα της τεχνολογίας είναι σημαντικό να κάνουμε μια μικρή αναφορά στο πώς αντιλαμβανόμαστε το φως και το χρώμα. Το φως είναι ένα φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το οποία μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι. Αυτό που διαφοροποιεί μεταξύ τους τα χρώματα είναι η συχνότητά τους. Στα δύο «άκρα» του οπτικού φάσματος βρίσκεται το κόκκινο (700nm) και το ιώδες (400nm), γι αυτό άλλωστε και οι υπόλοιπες ακτινοβολίες (μικρότερες από 700nm και μεγαλύτερες απο 400nm) ονομάζονται αντίστοιχα υπέρυθρες και υπεριώδεις.

Το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται το φως στα ραβδία και στα κωνία. Τα πρώτα δεν αντιλαμβάνονται τόσο τις λεπτομέρειες, αλλά είναι πολύ ευαίσθητα στο φως, ενώ τα δεύτερα το αντίστροφο. Το μάτι πραγματοποιεί δύο δειγματοληψίες ταυτόχρονα, χωρική και χρονική. Η χωρική αφορά στην αντίληψη διάταξης και χωροθέτησης, ενώ η χρονική στη μεταβολή τους στο χρόνο, δηλαδή το αν οι πηγές φωτός κινούνται ή όχι.

Γενικές πληροφορίες για την εικόνα

Ο κινηματογραφικός προβολέας έχει την εξής λειτουργία: μας προβάλλει ένα σύνολο από στατικά καρέ, με τόσο μεγάλο ρυθμό, ώστε το μάτι να μην μπορεί να αντιληφθεί το ότι ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύνολο από στατικές φωτογραφίες.

Αυτές οι εικόνες αποτυπώνονται στο φιλμ. Το φιλμ είναι ένα φωτοευαίσθητο μέσο, στο οποίο αποτυπώνονται οι εικόνες. Αρχικά, αυτά τα φιλμ μπορούσαν να αποτυπώσουν πολύ μικρό φάσμα από χρώματα, ώσπου φθάσαμε στα σημερινά «παγχρωματικά φιλμ», τα οποία αποτυπώνουν, όπως προδίδει το όνομα, όλα τα χρώματα. Η αποτύπωση γίνεται μέσω της ευαισθησίας του φιλμ στα τρία βασικά χρώματα: κόκκινο, μπλε και πράσινο. Ωστόσο, σε αυτή την πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την ψηφιακή εικόνα, η οποία είναι η μόνη χρήσιμη, έτσι ώστε να μπορέσουμε να προσθέσουμε οπτικά εφέ.

Το βίντεο ως σήμα

Το βίντεο είναι μια εικόνα που είναι συνάρτηση δύο συντεταγμένων x, y , δηλαδή είναι $f(x,y)$. Αναλόγως με τις τιμές των x και y , έχουμε την ένταση της φωτεινότητας –την οποία αναλυτικά θα δούμε παρακάτω– σε ένα σημείο. Κάθε ξεχωριστό σημείο της εικόνας ονομάζεται pixel.

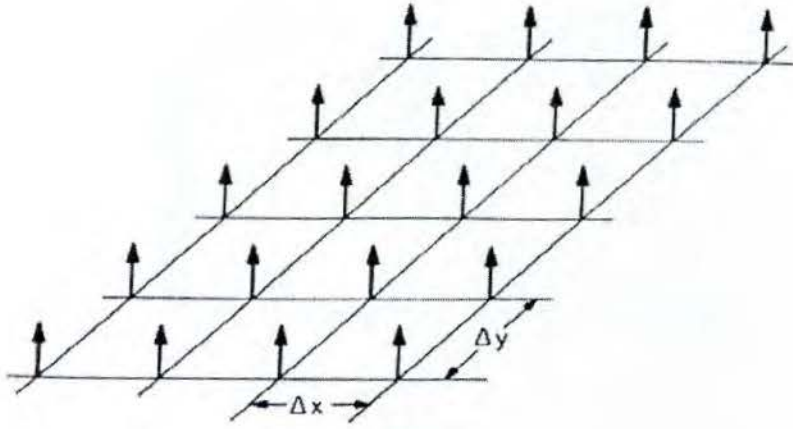
Μπορούμε επίσης να εισάγουμε ένα τρίτο στοιχείο, το χρόνο. Θα έχουμε δηλαδή μία συνάρτηση $F(x,y,t)$, όπου το σήμα θα είναι η φωτεινότητα ενός στοιχείου με συντεταγμένες x,y , τη χρονική στιγμή t του καρέ.

Η επεξεργασία εικόνας γίνεται σε δύο βήματα: τη δειγματοληψία και την κβάντιση. Επίσης, σημαντικό είναι να ξέρουμε τον αριθμό καρέ ανά δευτερόλεπτο.

Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία είναι η διαδικασία κατά την οποία συλλέγουμε δείγματα με σταθερό ρυθμό, δημιουργώντας μια σειρά από διακριτές τιμές.

Κατά αναλογία με τα μονοδιάστατα σήματα, ένα διδιάστατο σήμα δειγματοληπτείται βάζοντας ένα “πλέγμα” από τετράγωνα πάνω σε αυτό και ορίζοντας μια τιμή για κάθε ένα από αυτά που εξαρτάται από τις αντίστοιχες τιμές του σήματος που συναντώνται στην περιοχή του. Αν το διδιάστατο σήμα είναι μια εικόνα το κάθε ένα από αυτά τα τετράγωνα ονομάζεται εικονοστοιχείο (εικόνα 2.1).



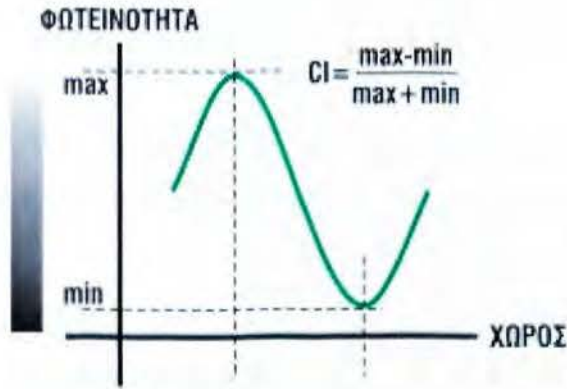
Εικόνα 2.1

Η δειγματοληψία, λοιπόν, είναι ένας δισδιάστατος πίνακας από εικονοστοιχεία και μετρείται με τον αριθμό των εικονοστοιχείων που χρησιμοποιούνται σε καθεμιά από τις διαστάσεις της εικόνας.

Οξύτητα και δείκτης αντίθεσης

Προτού εξοικιωθούμε στο πώς μετατρέπουμε την εικόνα σε πληροφορίες που μπορούμε να τις επεξεργαστούμε, πρέπει να αναφέρουμε επιγραμματικά δύο έννοιες: την οξύτητα και το δείκτη αντίθεσης της εικόνας.

Η οξύτητα όσον αφορά την όρασή μας, είναι η ικανότητά μας να βλέπουμε λεπτομέρειες στο οπτικό μας πεδίο, ενώ στο βίντεο αναφέρεται στο πόσο ικανή είναι η κάμερα στο να συλλαμβάνει λεπτομέρειες. Αντίστοιχα, στο σύστημα προβολής η οξύτητα σχετίζεται με τη δυνατότητα αναπαραγωγής λεπτομερειών. Μετρείται σε κύκλους ανά μονάδα μήκους ή σε κύκλους ανά γραμμή.



Εικόνα 2.2

Ο δείκτης αντίθεσης (contrast index- CI, εικόνα 2.2) είναι ένα μέγεθος που προκύπτει από τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της φωτεινότητας, με τύπο:

$$CI = \frac{\max - \min}{\max + \min}$$

Επίσης, υπάρχει η Συνάρτηση Μεταφοράς Διαμόρφωσης (Modulation Transfer function- MTF) που είναι το πηλίκο του δείκτη αντίθεσης εξόδου προς το δείκτη αντίθεσης εισόδου, δηλαδή:

$$MTF = \frac{\text{Δείκτης αντίθεσης εξόδου}}{\text{Δείκτης αντίθεσης εισόδου}}$$

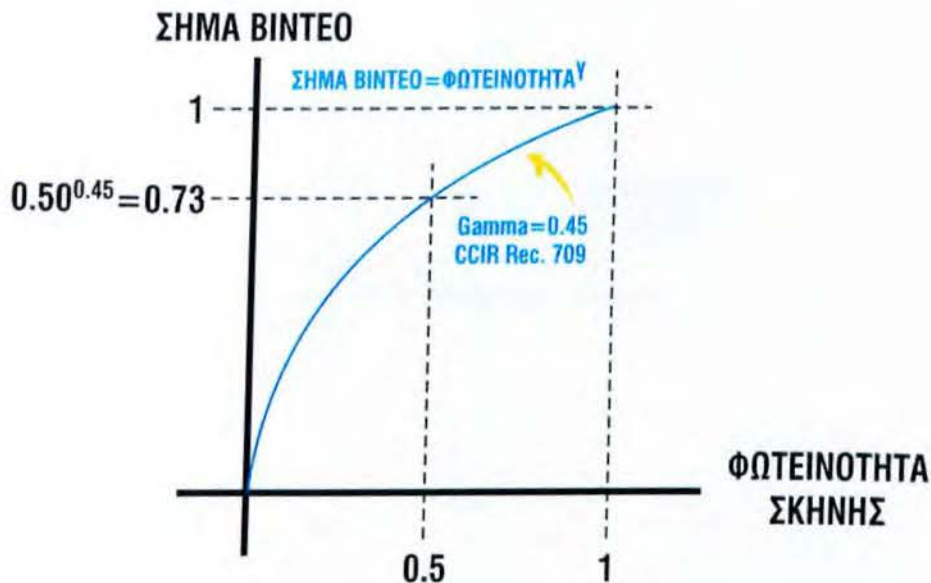
Πρέπει επίσης να σημειώσουμε δύο πράγματα. Πρώτον, αν ο δείκτης αντίθεσης αυξηθεί, τότε η οξύτητα επίσης αυξάνεται, δηλαδή μπορούμε να διακρίνουμε περισσότερες λεπτομέρειες. Ακόμα, ο πραγματικός δείκτης αντίθεσης εξαρτάται από το φωτισμό του περιβάλλοντος.

Θόρυβος και διόρθωση Γάμμα

Στα αναλογικά συστήματα ο θόρυβος είναι αναλογικός και προέρχεται από τα κυκλώματα, ενώ στα ψηφιακά από το θόρυβο κβάντισης. Τα λιγότερα φωτεινά σημεία του

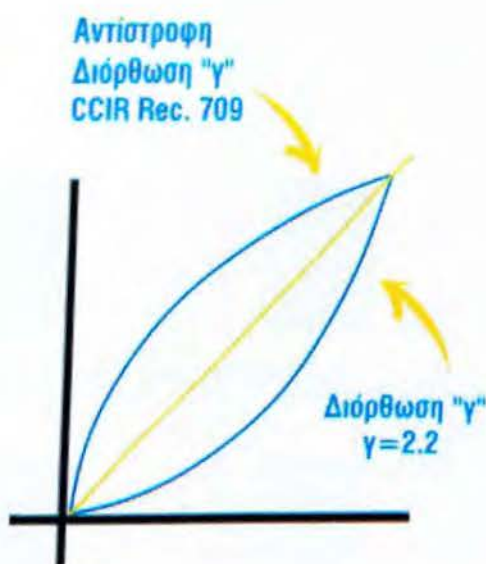
σήματος εμφανίζουν τον θόρυβο πιο έντονα. Ο εκθέτης “ γ ” είναι ένας εκθέτης στον οποίο πρέπει να υψωθεί η τιμή του σήματος του βίντεο έτσι ώστε να έχει γραμμική σχέση με τη σκηνή στην οποία αντιστοιχεί.

Πρέπει να τονιστεί ότι η αντίστροφη διόρθωση γάμμα υλοποιείται στη μηχανή λήψης! (όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3). Αντίθετα, η διόρθωση γάμμα γίνεται στη μηχανή προβολής.



Εικόνα 2.3

Στην παρακάτω γραφική (εικόνα 2.4) απεικονίζεται η διόρθωση γάμμα καθώς και η αντίστροφη διόρθωση γάμμα.



Εικόνα 2.4

Χρονικός και χωρικός δειγματισμός

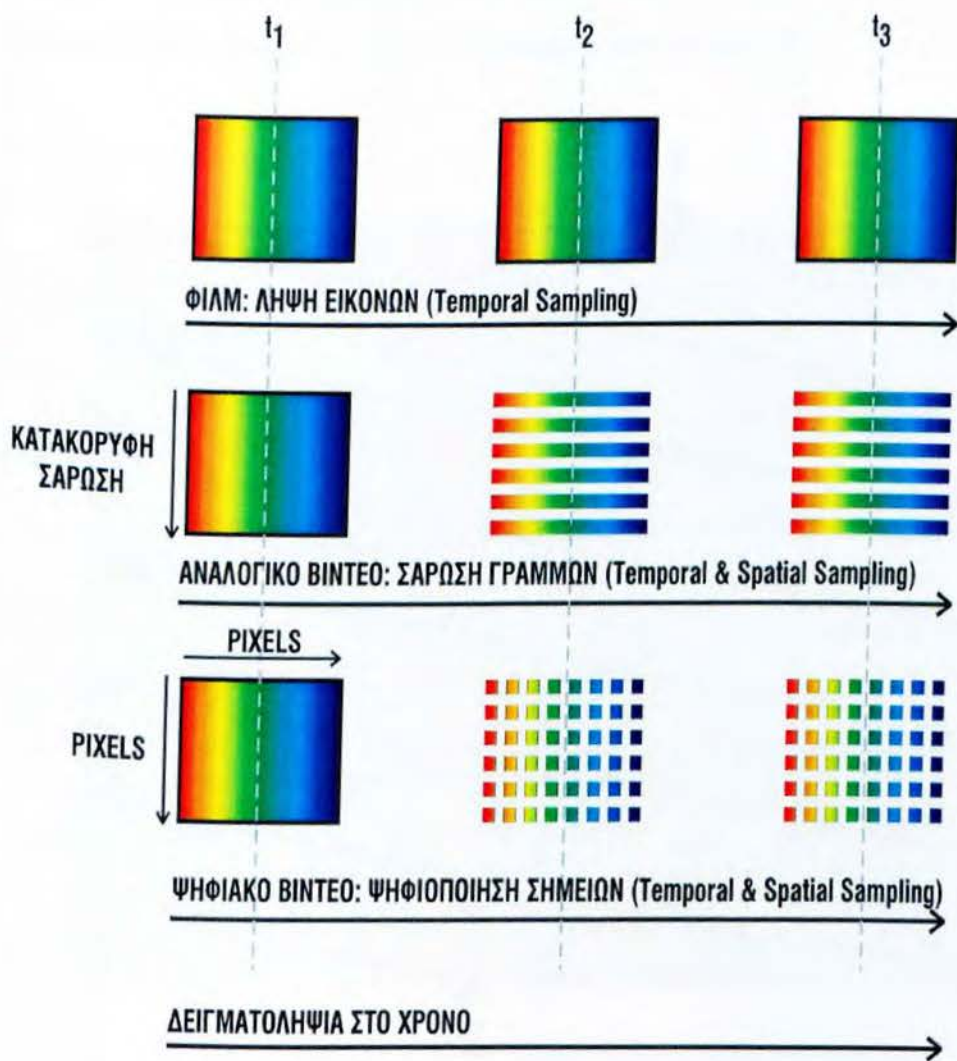
Συνήθως η τεχνολογία “αντιγράφει” την ίδια τη φύση! Έτσι, λοιπόν και η κάμερα πραγματοποιεί χωρικό και χρονικό δειγματισμό, ό,τι ακριβώς και το μάτι.

Ο χωρικός δειγματισμός μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- με φωτογράφιση, την αποτύπωση της ακτινοβολίας δηλαδή μέσω κάποιας φωτοχημικής μεθόδου
- με σάρωση, όπου μέσω οριζόντιων γραμμών καταγράφεται πώς μεταβάλλεται η φωτεινότητα κατά μήκος της
- με δειγματισμό σημείων (pixels), όπου η εικόνα χωρίζεται σε στοιχειώδη σημεία και κάθε μέρος περιγράφεται χωριστά.

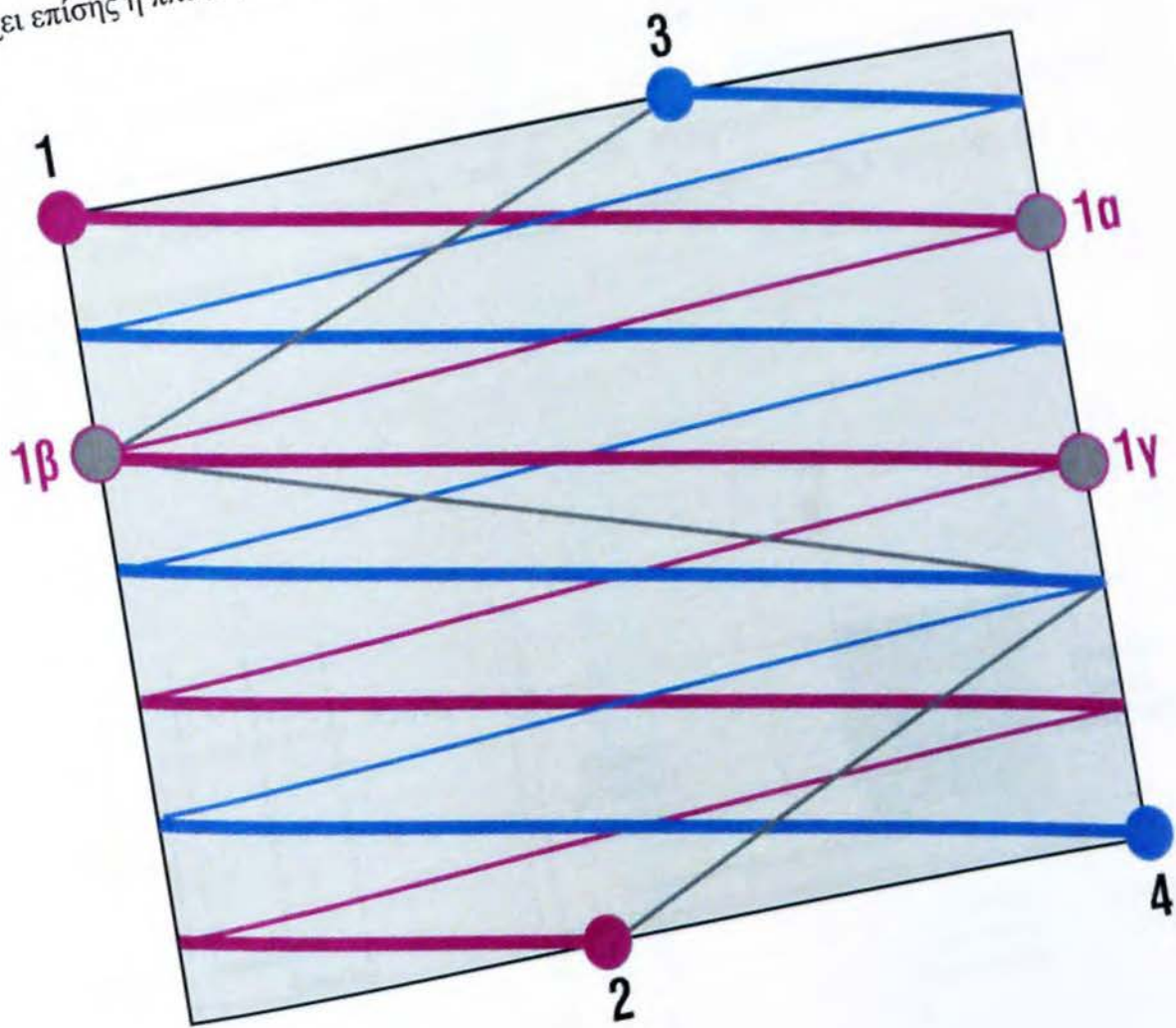
Ο χρονικός δειγματισμός είναι κοινός και στις τρεις μεθόδους. Στην κινηματογραφική βιομηχανία μετριέται σε καρτέ ανά δευτερόλεπτο, ενώ στο βίντεο σε πλαίσια ανά δευτερόλεπτο (frames per second- fps).

Οι τρόποι δειγματοσμού σε φιλμ, με αναλογικό και ψηφιακό τρόπο αποτυπώνονται στην εικόνα 2.5:



Εικόνα 2.5

Σάρωση και συγχρονισμός βίντεο εικόνας
 Το συμβατικό βίντεο κάνει χωρική δειγματοληψία με σάρωση σε γραμμές και η χρονική με ταχύτητα 25 πλαισίων ανά δευτερόλεπτο (δηλαδή το ορατό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σπουαείται 25 φορές το δευτερόλεπτο).
 Υπάρχει επίσης η πλεκτή σάρωση, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6:



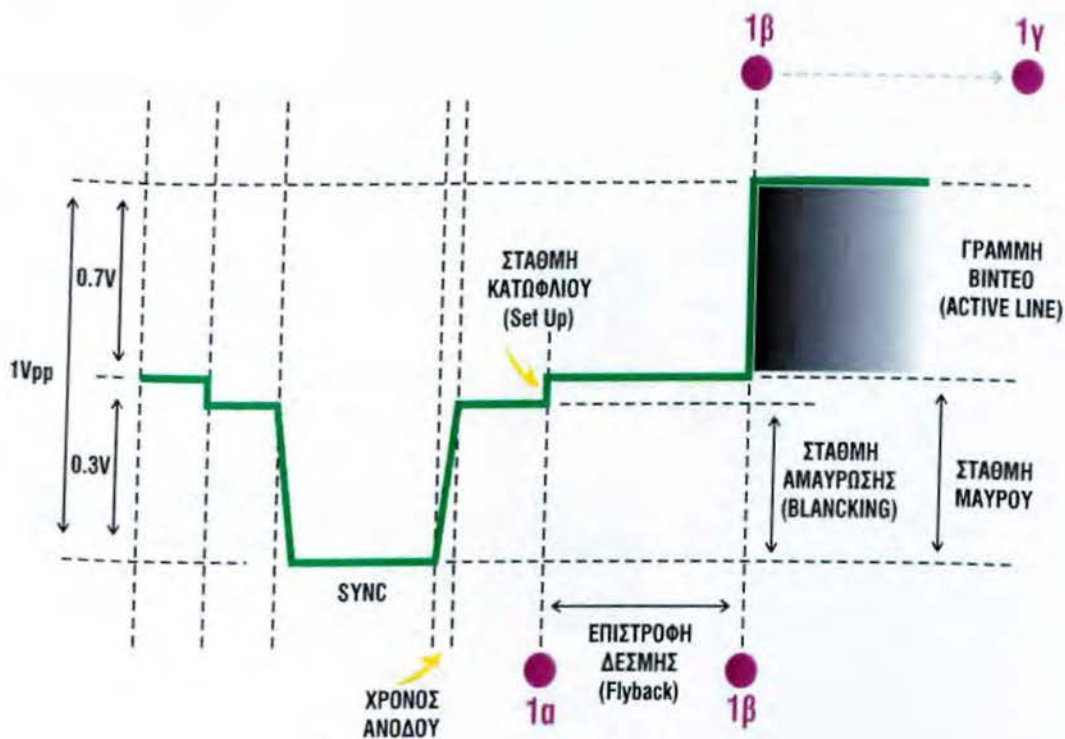
Εικόνα 2.6

Όπως είπαμε η απλή σάρωση γίνεται 25 φορές το δευτερόλεπτο, δηλαδή κάθε σάρωση κρατάει 1/25 του δευτερολέπτου. Στην πλεκτή σάρωση, οι μισές γραμμές σαράνονται στο 1/50 του δευτερολέπτου και οι άλλες μισές επίσης στο 1/50 του δευτερολέπτου. Η σάρωση γίνεται από πάνω προς τα κάτω και από τα αριστερά προς τα δεξιά. Στις μονόχρωμες (και

ασπρόμαυρες όπως λέγονται συνήθως) η δέσμη αλλάζει ένταση, όταν αλλάζει η φωτεινότητα, ενώ στην έγχρωμη οι δέσμες είναι τρεις, όσες δηλαδή και τα βασικά χρώματα.

Στη σάρωση πρέπει η δέσμη να επιστρέψει στην αρχή της επόμενης γραμμής (κάτι σαν την επιστροφή της γραφομηχανής στην αρχική της θέση) και μάλιστα στην κατάλληλη πληροφορία φωτεινότητας, αλλιώς δε λειτουργεί το σύστημα. Η διαδικασία λέγεται Line flyback.

Η διαθέσιμη τάση, που συνήθως είναι 1V, χωρίζεται σε δύο μέρη: στα πρώτα 0,3V μεταφέρεται το σήμα συγχρονισμού και στα υπόλοιπα 0,7V οι πληροφορίες φωτεινότητας. Θεωρητικά, το σήμα εικόνας διαχωρίζεται από το σήμα συγχρονισμού λόγω της χαμηλής φωτεινότητας του δεύτερου, αλλά πρακτικά διαχωρίζονται μέσω μίας τάσης κατωφλίου (εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7

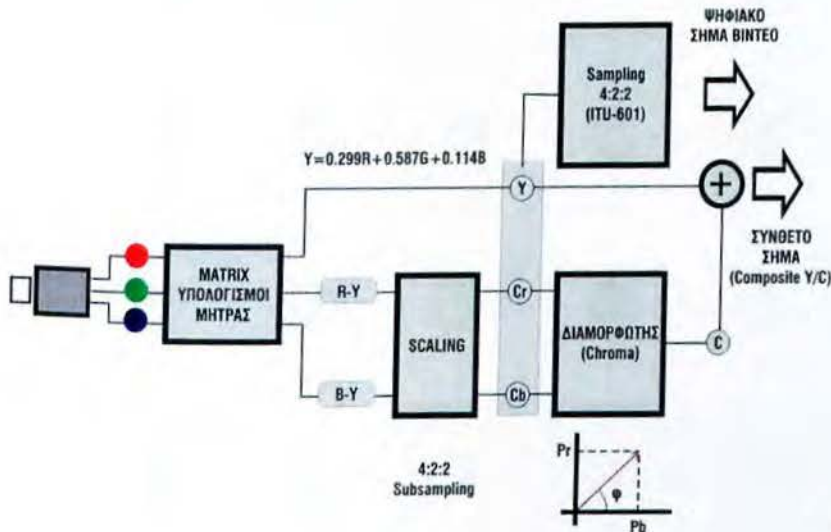
Ανάλυση

Η ανάλυση είναι ένα σταθερό μέγεθος για κάθε συσκευή. Δεν αρκεί ωστόσο να γίνει η λήψη σε καλή ανάλυση. Πρέπει να υπάρχει καλή ανάλυση στο μέσο αποθήκευσης, καθώς και στο μέσο προβολής. Δηλαδή δεν αρκεί να έχει γυριστεί μια ταινία σε καλή ανάλυση, γιατί αν αποθηκευτεί σε dvd, η ανάλυση αυτή χάνεται και δε μπορεί να επανέλθει αν για παράδειγμα την προβάλλουμε σε τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ανάλυση

- Line και field flyback: είναι ο χρόνος που απαιτείται για να επιστρέψει η σάρωση στην επόμενη γραμμή, όπως αναφέρθηκε στη σάρωση.
- παράγοντας Kell: εμφανίζεται στο σύστημα λήψης. Εκεί υπάρχει ένας αισθητήρας που χωρίζει την εικόνα σε δέκα οριζόντιες γραμμές και βρίσκεται απέναντι από μια κάρτα που περιέχει δέκα οριζόντιες γραμμές. Το πρόβλημα βρίσκεται στο ότι οι αισθητήρες και οι γραμμές δε συμπέφτουν.

Μοντελοποίηση σήματος



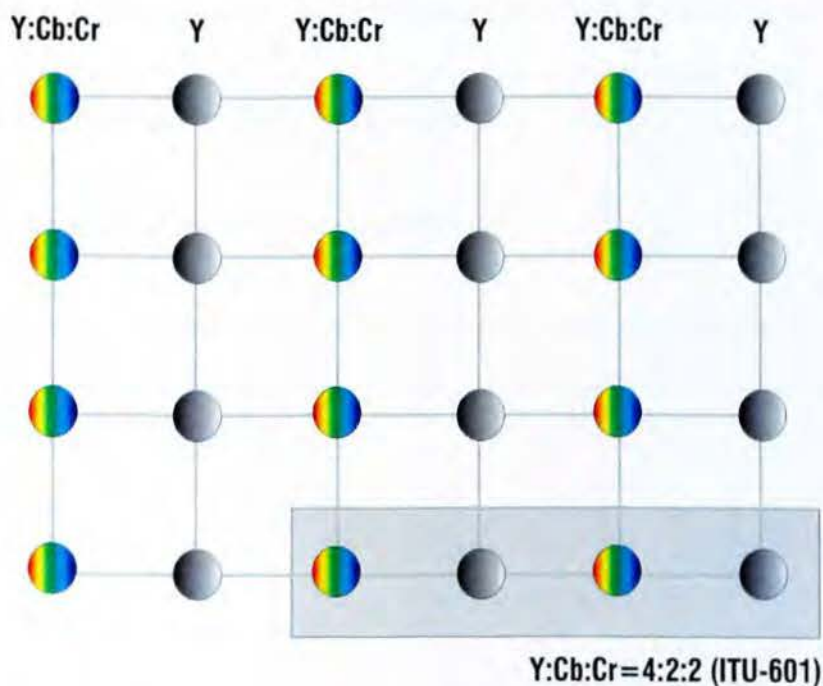
Εικόνα 2.8

Το σήμα φωτεινότητας προκύπτει από πράξεις στα τρία βασικά χρώματα και συμβολίζεται με Y. Το χρώμα μπορεί είτε να αναπαραχθεί στη συσκευή προβολής είτε (το πιο προτιμώμενο) να αποκτήσει ένα δικό του κανάλι στη διαδικασία λήψης.

Στην παραπάνω εικόνα (εικ. 2.8) φαίνονται δύο τρόποι δειγματοληψίας:

Σύνθετο σήμα: Από τη μηχανή λήψης γίνεται η είσοδος του σήματος, το οποίο συγκρίνεται με τα τρία βασικά χρώματα και προκύπτουν τα σήματα χρωματοδιαφορών R-Y και B-Y, προκύπτουν τρία ψηφιοποιημένα σήματα, τα Y, Cr και Cb και τελικά το σύνθετο σήμα.

Ψηφιακό σήμα βίντεο: με την προδιαγραφή ITU-601 δειγματίζονται τα σήματα φωτεινότητας στα 13,5MHz και τα σήματα χρώματος στα 6,25MHz. Αυτές οι συχνότητες προκύπτουν από τη θεμελιώδη συχνότητα δειγματοληψίας, που είναι τα 3,375MHz, τιμή που προκύπτει για να ικανοποιεί και τα PAL και τα NTSC. Στο σήμα φωτεινότητας γίνεται υπερδειγματοληψία 4x, ενώ στο σήμα χρώματος γίνεται υποδειγματοληψία για λόγους οικονομίας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ. 2.9):



Εικόνα 2.9

2.2 Το βίντεο της πτυχιακής

Εισαγωγή

Το βίντεο που γυρίσαμε έχει ως θέμα την ιστορία των οπτικών εφέ. Γίνεται αναφορά στις σημαντικότερες ταινίες και με τη μέθοδο του green screen προσθέσαμε ως φόντο βίντεο ή εικόνες. Για την πραγματοποίησή του χρησιμοποιήσαμε τα εξής προγράμματα:

- Adobe After Effects CS4- αυτό το πρόγραμμα μας επιτρέπει την επεξεργασία της εικόνας μέσω του chroma keying.
- Xilisoft Download YouTube Video- χρησιμεύει στο κατέβασμα βίντεο από το YouTube προκειμένου να τα ενσωματώσουμε στο δικό μας βίντεο.
- Fox Tab Video Converter- πρόγραμμα που μετατρέπει τα βίντεο που κάναμε download από το YouTube από flv σε avi, έτσι ώστε να μπορούμε να τα εισάγουμε στο After Effects.
- PMB- το πρόγραμμα που συνοδεύει την κάμερα Sony HDR-XR105E και μας είναι απαραίτητο για να «περάσουμε» αυτά που βιντεοσκοπήσαμε στον υπολογιστή μας.

Η διαδικασία δημιουργίας των βίντεο έχει ως εξής:

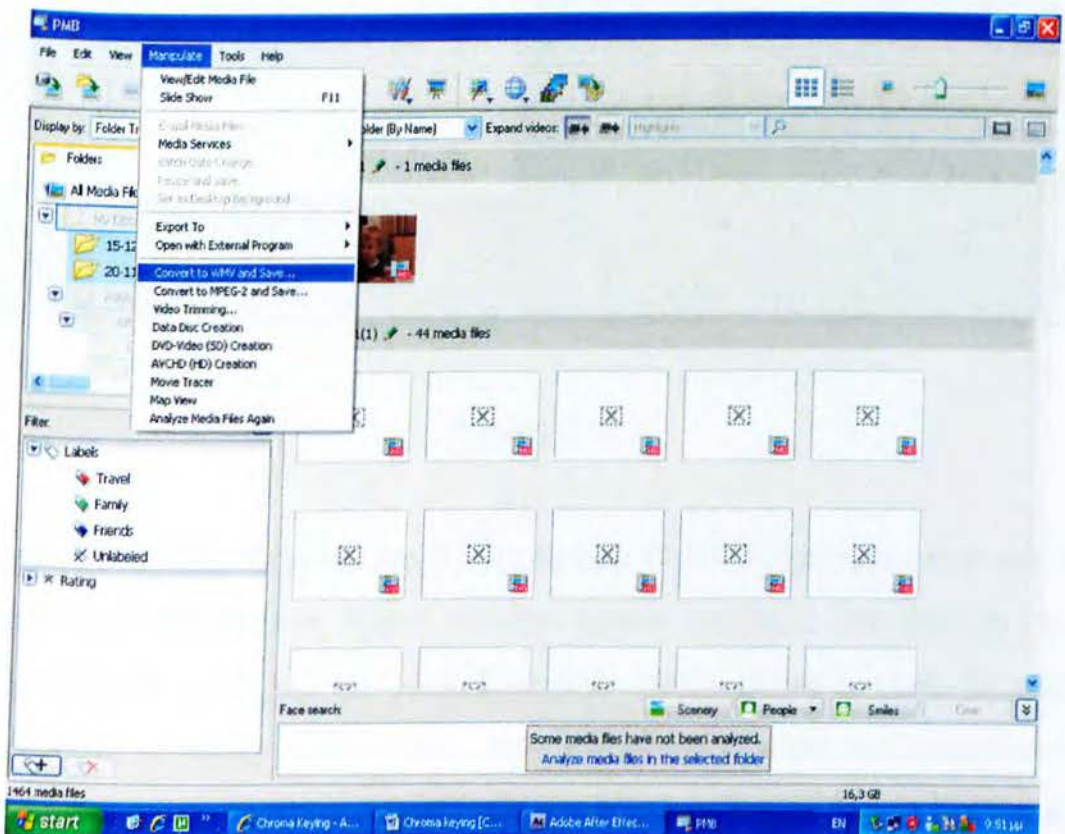
ΒΗΜΑ 1^ο: Εισαγωγή βίντεο από την κάμερα

Όταν συνδέουμε τη βιντεοκάμερα με τον υπολογιστή μας βγαίνει το παρακάτω παράθυρο, από το οποίο επιλέγουμε Media File Import. Αφού επιλέγουμε τα βίντεο που θέλουμε πατάμε Import (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10

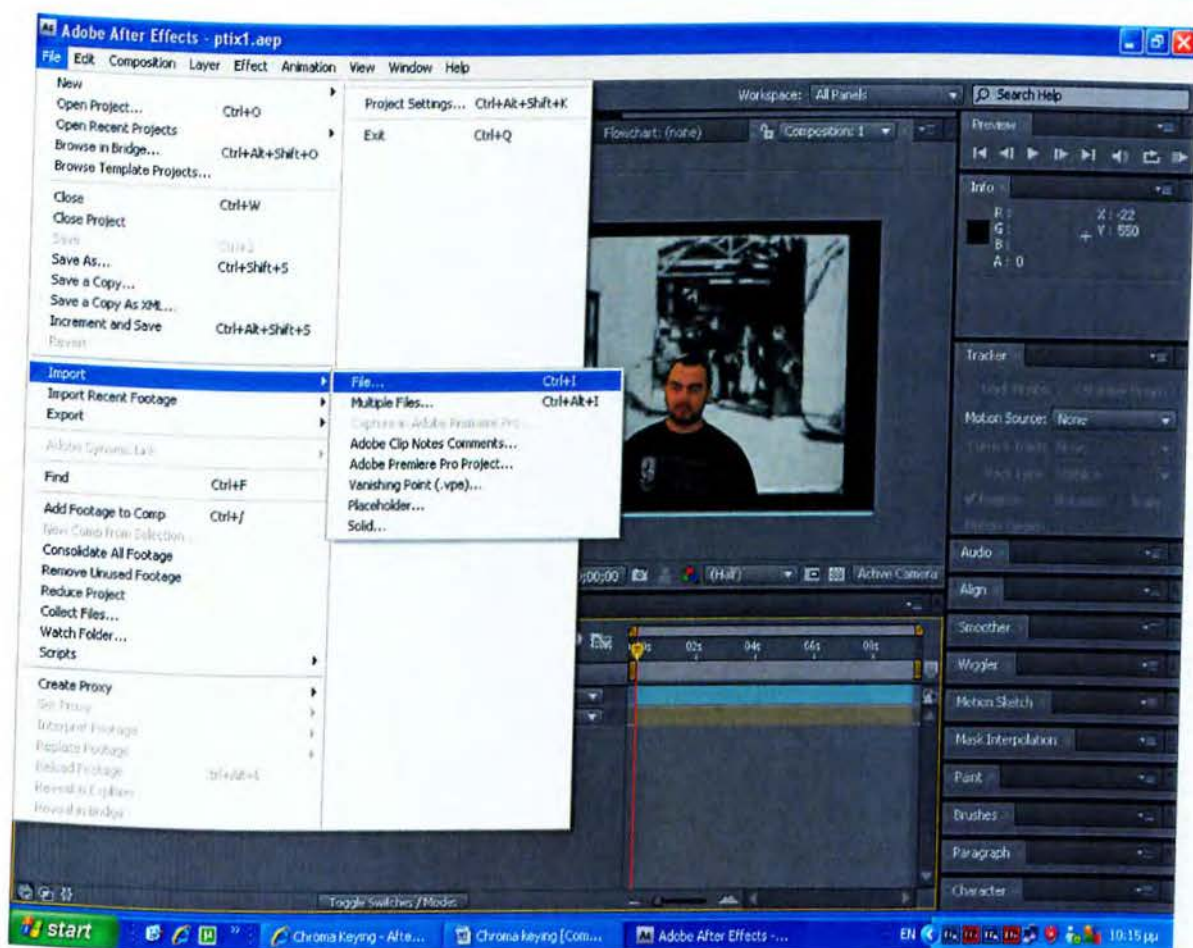
Το αρχείο θα εισαχθεί στον υπολογιστή μας σε μορφή m2ts. Το μετατρέπουμε σε μορφή wmvn επιλέγοντας Convert to wmvn and save (εικόνα 2.11).



εικόνα 2.11

ΒΗΜΑ 2^ο: Δημιουργία composition στο After Effects

Από το μενού File → Import → File επιλέγουμε το αρχείο που θα εισάγουμε κάθε φορά (εικ.2.12).

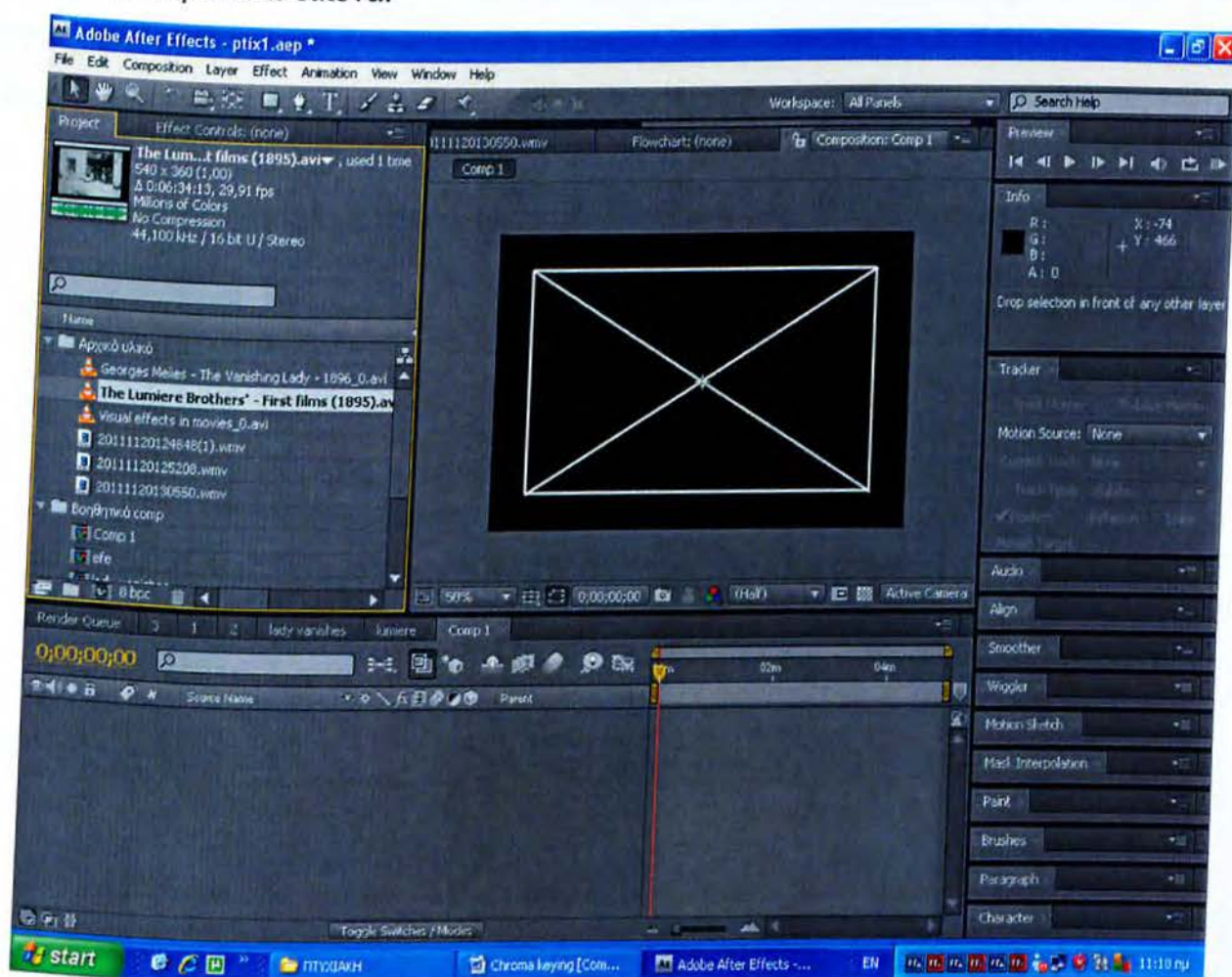


Εικόνα 2.12

Τα έχουμε οργανώσει σε τρεις φακέλους: Αρχικό υλικό, Βοηθητικά comp και τελικά μέρη. Στον πρώτο φάκελο είναι τα αρχεία ανί που έχουμε τραβήξει. Στο δεύτερο είναι τα composition (ή comp για συντομία), στα οποία εισάγουμε κάποιο βίντεο το οποίο θα παίζει ως φόντο. Η χρησιμότητα του comp είναι η εξής: όταν ένα βίντεο εισαχθεί εκεί μπορούμε να το επεξεργαστούμε, ενώ στη μορφή που είναι τα βίντεο στο φάκελο «Αρχικό υλικό» δε γίνεται.

Για το πρώτο βίντεο θα χρειαστεί να εισάγουμε το αρχείο “Lumiere Brothers’ first films” το οποίο κατεβάσαμε από το YouTube και το μετατρέψαμε σε αρχείο μορφής avi με το πρόγραμμα FoxTab Video converter.

Υστερα πηγαίνουμε στο Composition → New Composition και δημιουργούμε ένα νέο composition, το οποίο ονομάζουμε “lumiere” και το αποθηκεύουμε στο φάκελο «Βοηθητικό Comp». Μεταφέρουμε με την τεχνική drag- and- drop το αρχείο μας πάνω στο comp, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

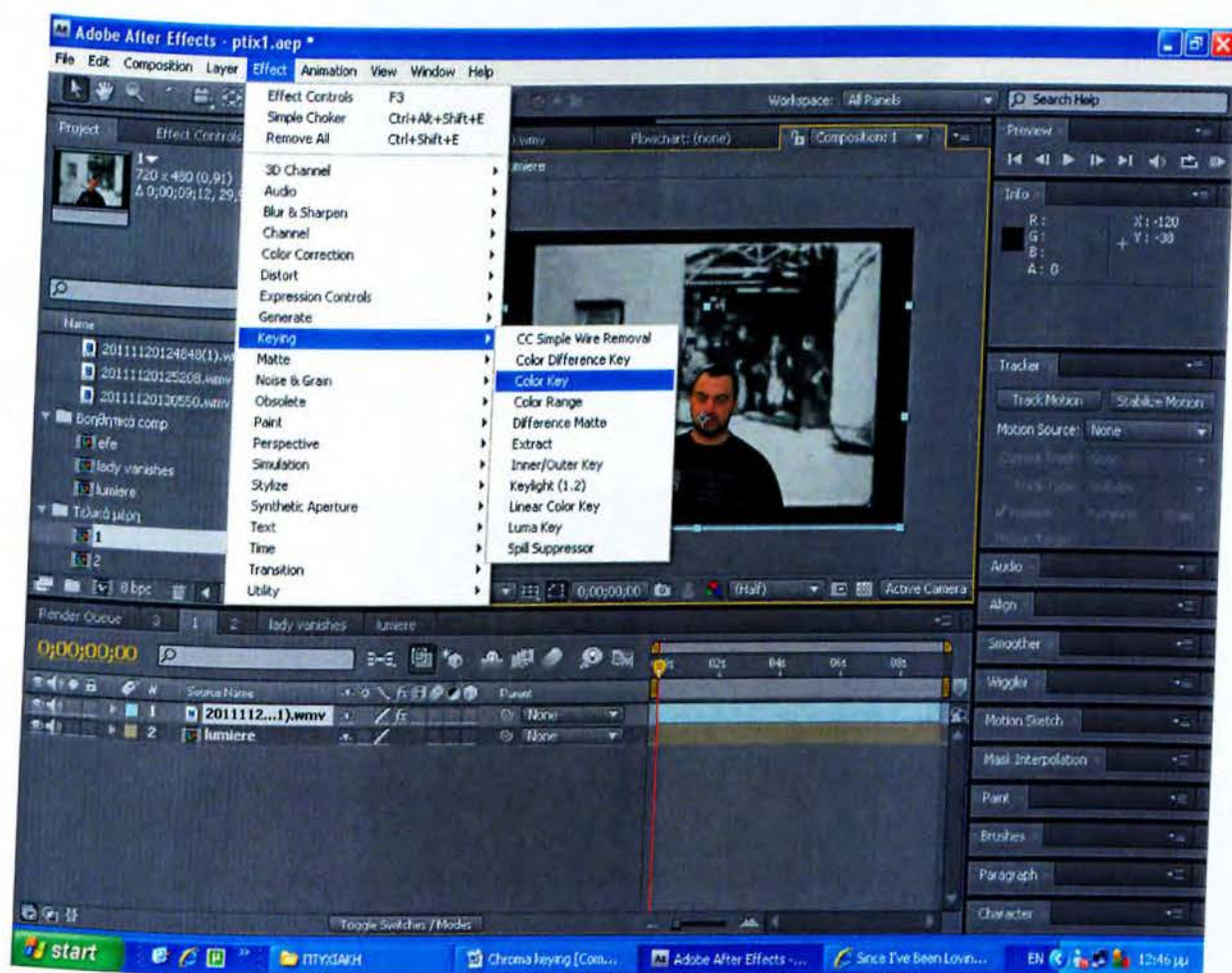


Εικόνα 2.13

Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούμε ένα comp που ονομάζουμε «1». Σε αυτό το comp βάζουμε το βίντεο “20111120124848(1).wmv”, που περιέχει τον αφηγητή μας να μιλάει με φόντο ένα πράσινο πανί.

ΒΗΜΑ 3^ο: Chroma keying

Στο comp «1» πρέπει να διαχωρίσουμε το πράσινο από την υπόλοιπη εικόνα προκειμένου να αντικαταστήσουμε αυτό το χρώμα με βίντεο και εικόνα. Θα επιλέξουμε Effect → Keying → Color key. Λόγω του ανομοιόμορφου φωτισμού δημιουργούνται σκιές, οπότε η απόχρωση του πρασίνου δεν είναι ίδια σε όλο το φόντο και θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε το color key πάνω από μια φορές. Μέσω του color tolerance (εικ. 15) βλέπουμε το εύρος του χρώματος που έχουμε επιλέξει. Σε αυτή την παράμετρο βάζουμε μια οριακή τιμή τέτοια ώστε να μην καλύπτεται με μαύρο το πρόσωπο του αφηγητή (εικ. 2.14-2.15).



Εικόνα 2.14



Εικόνα 2.15

Φέρνουμε την εικόνα σε ένα σημείο, όπου θα έχει μείνει ελάχιστο πράσινο γύρω από τον αφηγητή (εικ. 2.16).



Εικόνα 2.16

Ύστερα επιλέγουμε από το μενού Effect → Keying → Keylight (1.2). Επιλέγοντας το άσπρο που έχει μείνει, θα έχουμε το αποτέλεσμα που φαίνεται στην εικόνα 2.17.



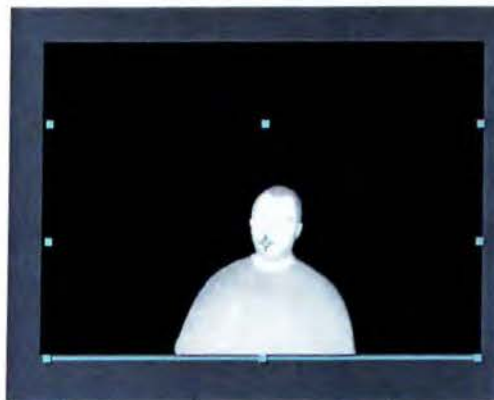
Εικόνα 2.17

Οι επιλογές color key και keylight κάνουν σχεδόν την ίδια δουλειά, απλά η πρώτη είναι γρηγορότερη, ενώ η δεύτερη πιο λεπτομερής.

ΒΗΜΑ 4^ο: Ρυθμίσεις σχετικές με την διαφάνεια στα compositions

Το επόμενο βήμα είναι να σιγουρέψουμε ότι ο αφηγητής θα ξεχωρίζει από το φόντο και δε θα «χάνεται» μέσα σε αυτό. Θα επιλέξουμε Effect → Matte → Simple choker. Στην παλέτα που εμφανίζεται αριστερά επιλέγουμε στο View στην καρτέλα Final Output την επιλογή Matte. Στην εικόνα 18 βλέπουμε τι εμφανίζεται. Ότι είναι μαύρο είναι τελείως διάφανο, ότι είναι άσπρο είναι τελείως αδιαφανές και ότι είναι γκρι είναι ημιδιαφανές.

Στην παλέτα Keylight (1.2) → Screen Matte → Clip White, επιλέγουμε την τιμή που θα εμφανίζει τον αφηγητή τελείως άσπρο.



Εικόνα 2.18

Επιστρέφουμε στην κανονική μας προβολή και κάνουμε drag-and-drop το composition με τίτλο Lumiere στο χρησιμοποιούμενο comp. Το ποιο από τα δύο comp θα εμφανίζεται πρώτο και ποιο δεύτερο έχει να κάνει με ποιά σειρά βρίσκονται στο χώρο εργασίας που φαίνεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 2.19

Το composition είναι έτοιμο, αρκεί να επιλέξουμε preview (στο πάνω δεξιά μέρος της οθόνης μας).

Για να το μετατρέψουμε σε μορφή ανι, δηλαδή σε κανονικό βίντεο επιλέγουμε composition → add to render queue. Ύστερα πατούμε Render και μετά από μερικά δευτερόλεπτα το βίντεο είναι έτοιμο!

Με τον ίδιο τρόπο κάνουμε chroma keying σε όλα τα βίντεο μας.

ΒΗΜΑ 5^ο: Εξαφάνιση κι επανεμφάνιση εικόνας

Στα βίντεο μας βλέπουμε πολλές φορές στο φόντο, αντί για βίντεο, απλές εικόνες να εναλλάσσονται. Αυτό γίνεται μέσω της επιλογής opacity που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης (εικ. 20). Αυτή είναι ρύθμιση για το πότε θα εμφανίζεται ή θα εξαφανίζεται η ανάλογη εικόνα ή το ανάλογο βίντεο.

Αριστερά από την επιλογή opacity υπάρχει το stopwatch. Αυτή η ρύθμιση χρησιμεύει στο να αλλάζουμε την τιμή μιας παραμέτρου μέσα στο composition. Για παράδειγμα στο βίντεο 3, ο αφηγητής μας εξαφανίζεται, οπότε μετακινούμε το κίτρινο βέλος στη χρονική στιγμή που

θέλουμε να αρχίσει να εξαφανίζεται ο αφηγητής και πατάμε το stopwatch έχοντας opacity 100%. Εμφανίζεται ένας μικρός ρόμβος σε εκείνη τη χρονική στιγμή. Ύστερα, μετακινούμε το κίτρινο βελάκι στη χρονική στιγμή που θέλουμε να σταματάει η διαδικασία της εξαφάνισης και ρυθμίζουμε το opacity στο 0%. Εμφανίζεται κι άλλος ρόμβος σε εκείνη τη χρονική στιγμή. Επιλέγοντας αυτόν τον ρόμβο και πατώντας F9, ο ρόμβος γίνεται κλεψύδρα, το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να κάνουμε την εξαφάνιση του επιλεγμένου αντικειμένου πιο αργή.



Εικόνα 2.20

ΒΗΜΑ 6^ο: Φωτόσπαθο

Στο βίντεο 13, ο αφηγητής «κρατάει» ένα φωτόσπαθο. Για τη δημιουργία αυτού του εφέ χρειάστηκε να κατεβάσουμε το ανάλογο αρχείο από το Internet το οποίο το τοποθετήσαμε στην παλέτα Effects and presets → Animation Presets → Light Saber. Προτού όμως το επιλέξουμε θα δημιουργήσουμε μια διαφάνεια πάνω στο οποίο θα τοποθετήσουμε το «εφέ». Θα επιλέξουμε Layer → New → Solid. Ύστερα, επιλέγουμε με διπλό κλικ από το Effects and presets to light saber. Μετακινούμε την φωτεινή στήλη που μας εμφανίζεται έτσι ώστε η αρχή της να «εφάπτεται» με το τέλος της υποτιθέμενης «λαβής» του σπαθιού. Από την παλέτα Missing: Saber_controls επιλέγουμε τη φωτεινότητα του σπαθιού, το χρώμα, τη λάμψη, το μέγεθος και κυριότερα την αρχική και την τελική θέση. Μάλιστα, στην επιλογή των θέσεων πατάμε και το stopwatch, μιας και αυτές οι θέσεις αλλάζουν σε κάθε frame. Η εναλλαγή των frame γίνεται με τα πλήκτρα page up και page down.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΦΗΓΗΣΗ ΒΙΝΤΕΟ

Παρακάτω ακολουθεί η αφήγηση του Ιωάννη Παπαδούλη:

«Ο μεγάλος Ρώσος σκηνοθέτης Σεργκεί Αιζενστάιν είχε πεί ότι το σινεμά είναι το σταυροδρόμι φύσης και τεχνολογίας. Οι αδερφοί Λυμιέρ ήταν οι πρώτοι που κινηματογράφησαν και προέβαλλαν μια ταινία με το ανάλογο χρηματικό αντίτιμο. Το φιλμ αυτό απλά προέβαλε τους εργάτες να βγαίνουν από το εργοστάσιο του πατέρα τους.

Με τα χρόνια εξελίχθηκαν οι κάμερες. Έγινε δυνατή η έγχρωμη καταγραφή, μπήκε ο ήχος κι αργότερα εισήλθε στο χώρο του σινεμά η ψηφιακή τεχνολογία. Έτσι, έγινε δυνατή η ψηφιακή επξεργασία εικόνας και ήχου.

Ας δούμε την ιστορία των οπτικών εφέ μέσω των ταινιών που άφησαν εποχή στη χρήση τους.

Στις πρώτες ταινίες τα οπτικά εφέ δεν περιλάμβαν επί της ουσίας επεξεργασία εικόνας, αλλά κάποια οπτικά τρικ, όπως για παράδειγμα στο *The Vanishing lady* του Γάλλου Georges Melies.

Εδώ βλέπουμε ότι η πρωταγωνίστρια της ταινίας κάθεται σε μία καρέκλα. Στο επόμενο πλάνο η ηθοποιός καλύπτεται από ένα πανί και τελικά εξαφανίζεται!! Στις μέρες μας ένα τέτοιο εφέ γίνεται με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων.

Το έτος 1927 γυρίστηκε μια ταινία τομή στη χρήση ειδικών εφέ, αλλά και σεναριακά, το “*Metropolis*”. Αναφέρεται σε μια πόλη του μέλλοντος, όπου οι πλούσιοι ιδιοκτήτες εκμεταλλεύονται τους εργάτες, ώσπου ο γιος του ιδιοκτήτη ερωτεύεται μια φτωχή προφήτισσα.

Το 1939 ήταν και η πρώτη χρονιά που καθιερώθηκε από την Ακαδημία Κινηματογράφου το βραβείο Όσκαρ Καλύτερων Ειδικών Εφέ.

Ταινίες όπως η *The Wizard of Oz*, το *Gone with the Wind* και το *Only Angels Have Wings* ήταν υποψήφιες.

Νικήτρια, ωστόσο, ήταν η ταινία *The Rains Came*. Με σπουδαία ειδικά εφέ, όπως καταιγίδες (μουσώνες), και ένα βίαιο σεισμό στην Ranchipur, που προκάλεσε μία έκρηξη σε ένα τεράστιο φράγμα και έστειλε ένα τείχος νερού στο κέντρο της πόλης. Τα σκηνικά αυτά ήταν κατασκευασμένα από τον τεχνικό ειδικών εφέ Fred Sersen, μαζί με το φωτογραφικό έργο του EH Hansen.

Το 1952 γυρίζεται η πρώτη έγχρωμη 3D ταινία, το Bwana Devil, το οποίο απαιτούσε τη χρήση ειδικών γυαλιών.

Ένας από τους κορυφαίους σκηνοθέτες του Αμερικάνικου σινεμά, ο Βρετανός Alfred Hitchcock, γύρισε το 1963 «Τα πουλιά». Σε αυτή την ταινία η πόλη δέχεται μια επίθεση από πουλιά, που σπέρνουν το θάνατο. Για να γυριστεί αυτή ταινία χρησιμοποιήθηκαν αληθινά και ψεύτικα πουλιά, ενώ σε άλλες σκηνές πάνω στα φιλμ ζωγραφίστηκαν σχέδια πουλιών.

Στις 4 Οκτωβρίου 1957, η Σοβιετική Ένωση εκτοξεύει τον Σπούτνικ Ι, σηματοδοτώντας την επέκταση του ανθρώπου στο διάστημα. Η ανθρωπότητα θαυμάζει μέχρι και σήμερα τους Γιούρι Γκαγκάριν, Νίλ Άρμστρονγκ και Μπάζ Όλντριν, που με κίνδυνο της ζωής τους εξερεύνησαν το διάστημα.

Αυτές οι εξελίξεις δεν άφησαν αδιάφορους συγγραφείς και σκηνοθέτες. Ο ενθουσιασμός, αλλά και ο φόβος για το άγνωστο, αποτυπώθηκε σε δεκάδες ταινίες, οι οποίες και σεναριακά και σκηνοθετικά αποτέλεσαν μια τομή στην έβδομη τέχνη και ως επακόλουθο έσπασαν τα ταμεία!

Μια από τις πρώτες ταινίες του είδους ήταν «Ο πόλεμος των κόσμων» του 1953 ή το “Forbidden Planet” του 1956. Ωστόσο η ταινία ορόσημο με αυτό το θέμα ήρθε μερικά χρόνια αργότερα...

Ο George Lucas το 1977 γυρίζει τον θρυλικό «Πόλεμο των Άστρων». Η ταινία αναφέρεται στις περιπέτειες του Luke Skywalker και της παρέας του που αποτελείται από μια πριγκίπισσα, ένα τυχοδιώκτη, ένα πίθηκο και δύο ρομπότ, ενάντια στον Darth Vader. Το κατά βάση απλοϊκό σενάριο, διέπρεψε λόγω των καταπληκτικών ειδικών εφέ. Γνώρισε δύο συνέχειες και μια τριλογία prequel, που δείχνει το πώς δημιουργήθηκε ο Darth Vader. Οι θεατές ξετρελέθηκαν με τα φωτόσπαθα και τις ξιφομαχίες μεταξύ των ιπποτών Τζεντάι και των στρατιωτών της Αυτοκρατορίας.

Ο ταλαντούχος σκηνοθέτης, δημιούργησε πέραν της εταιρείας παραγωγής του Lucas Films Ltd, μια ξεχωριστή εταιρεία παραγωγής ειδικών εφέ, την Industrial Light and Magic, η οποία δημιούργησε τα οπτικά εφέ της σειράς του «Πολέμου των Άστρων», αλλά και εκατοντάδων άλλων ταινιών.

Άλλη μια «διαστημική» ταινία που γνώρισε δύο συνέχειες και βραβεύτηκε με Oscar οπτικών εφέ ήταν το Alien. Στην ταινία αυτή μια διαστημική αποστολή καταλαμβάνεται από μικρά εξωγήινα πλάσματα τα οποία εισχωρούν μέσα σε ανθρώπους.

Την ίδια χρονιά γυρίζεται το Star Trek. Οι περιπέτειες του διαστημόπλοιου Enterprise εκτυλλίσονται σε άλλες εννιά συνέχειες, ένα prequel, μερικές τηλεοπτικές σειρές, ενώ άλλη μια ταινία είναι στα σκαριά. Οι σκηνές που δείχνουν το διαστημόπλοιο να ταξιδεύει με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του φωτός είναι εντυπωσιακές.

Ο καλός φίλος του προαναφερθέντος George Lucas, ο διάσημος Steven Spielberg έχει περάσει ήδη στον πάνθεον των μεγάλων σκηνοθετών, έχοντας δημιουργήσει ταινίες άρτιες σεναριακά και που έχουν αφήσει εποχή στη χρήση οπτικών εφέ. Ουκ ολίγες φορές ο Spielberg χρησιμοποίησε την εταιρεία του Lucas για τα οπτικά εφέ των ταινιών του, ενώ μαζί έφτιαξαν τις ταινίες του Indiana Jones.

Το 1993 ο Spielberg έκανε μια ταινία που άφησε εποχή, το Jurassic Park. Η ιστορία αφορά στην αναβίωση των δεινοσαύρων μέσα στο ομώνυμο πάρκο. Φυσικά σάρωσε τα oscar για τα οπτικά εφέ. Γνώρισε δύο συνέχειες κι ετοιμάζεται και μια τρίτη!

Ο 21^{ος} αιώνας ανοίγει κινηματογραφικά με την οπτικοποίηση του «Άρχοντα των δαχτυλιδιών». Η τριλογία του Νεοζηλανδού Peter Jackson, σάρωσε τα oscar των οπτικών εφέ τρία συνεχόμενα χρόνια: 2001, 2002 και 2003. Ο ηθοποιός Andy Serkis προτάθηκε για πολλά βραβεία ενσαρκώνοντας τον Smeagol, έναν καθαρά ψηφιακό χαρακτήρα. Ο ηθοποιός φόρεσε ένα ειδικό κοστούμι που κατέγραφε τις κινήσεις του μέσω ειδικών αισθητηρίων.

Όταν ο James Cameron είδε αυτόν τον χαρακτήρα κατάλαβε ότι τα ειδικά εφέ έχουν προχωρήσει αρκετά ώστε να πραγματοποιήσει μια σειρά ταινιών που είχε χρόνια στο μυαλό του: το Avatar. Ο Καναδός σκηνοθέτης έχει γράψει και σκηνοθετήσει πολλές κινηματογραφικές επιτυχίες, όπως τα «Alien», τον «Τιτανικό», αλλά και τα δύο πρώτα μέρη του «Εξολοθρευτή».

Ο Cameron έχει σχεδόν σε όλες τις ταινίες του σαν θέμα την τεχνολογία. Έχει δηλώσει μάλιστα ότι «η ενδεχόμενη καταστροφή μας ή η ενδεχόμενη διάσωσή μας σαν ανθρώπινα όντα, εξαρτάται από την τεχνολογία και πώς την χρησιμοποιούμε, πώς την ελέγχουμε και πώς θα αποτρέψουμε από το να μας ελέγξει. Ο «Τιτανικός» είχε το ίδιο θέμα όπως και «Ο εξολοθρευτής». Και στα «Alien» είναι η τεχνολογία που κατέστρεψε τους πεζοναύτες, αλλά και αυτή που χρησιμοποιούμε σωστά επέτρεψε στο χαρακτήρα της Sigourney Weaver να επικρατήσει στο τέλος».

Υπήρξαν πολλές σπουδαίες ταινίες που δε χωρέσαν σε αυτή τη σύντομη αναδρομή. Το σημαντικό είναι ότι οι ταινίες που αναφέραμε δεν αφήσαν εποχή μόνο λόγω των ειδικών εφέ τους. Οι σκηνοθέτες τους μπόρεσαν να χρησιμοποιήσουν σωστά τα τεχνολογικά επιτεύγματα

της εποχής τους, γιατί δεν ξέχασαν ότι μια ταινία για να αντέξει στο χρόνο πρέπει να έχει και περιεχόμενο».

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- http://www.smarteck.gr/info_ccd.html
- <http://techblog.gr/database/digital-video-secrets/>
- <http://www.scribd.com> (Περιοδικό του τμήματος φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης)
- http://www.it.uom.gr/project/MultimediaTechnologyNotes/chap2b_5.html
- <http://www.youtube.com/watch?v=Ggmbfn4Tcmg>
- <http://videocopilot.net/basic/#01>
- http://www.avmentor.gr/tech/video_basics_0.htm
- Πτυχιακή εργασία Ιωάννη Παπαδούλη με θέμα «Η τεχνολογία λογισμικού στον κινηματογράφο»