

**Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **Κρυπτογράφηση Πληροφορίας μέσω Επεξεργασίας Εικόνας**

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΡΙΟΣ ΑΝΕΜΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΤΣΑΚΑΝΙΚΑΣ**

**ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ-ΑΝΤΙΠΡΙΟ 2016-2017**





## Περιεχόμενα

<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	13
1.2 Οργάνωση κειμένου.....	13
<b>2 ΟΡΑΣΗ ΚΑΙ ΦΩΣ: ΠΩΣ ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΑΣΤΕ ΤΑ ΧΡΩΜΑΤΑ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Λειτουργία της όρασης.....	15
2.2 Μάτι.....	16
2.3 Ραβδία και Κωνία.....	17
2.4 Χρώμα.....	18
2.5 Φως.....	19
<b>3 ΣΤΕΓΑΝΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>21</b>
3.1 Ιστορικά Στοιχεία Κρυπτολογίας.....	21
3.2 Κρυπτανάλυση.....	21
3.3 Στεγανογραφία.....	21
3.4 Ιστορικά Δεδομένα.....	22
3.5 Πεδίο Εφαρμογών Στεγανογραφίας.....	23
3.6 Στεγανογραφία και Κρυπτογραφία.....	23
3.7 Μέθοδος LSB (Least Significant Bit).....	24
3.8 Συμπερασματά LSB.....	25
<b>4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ.....</b>	<b>26</b>
4.1 Από τον Αναλογικό Κόσμο στον Ψηφιακό.....	26
4.2 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM).....	26
4.2.1 Δειγματοληψία-Θεώρημα Nyquist-Shannon.....	27
4.2.2 Κβαντισμός.....	28
4.2.3 Κωδικοποίηση.....	29
4.2.4 Αναγέννηση.....	30
4.2.5 Αποκωδικοποίηση.....	31
4.2.6 Αποδιαμόρφωση.....	32

4.2.7 Απαιτούμενο Εύρος Ζώνης PCM.....	33
4.3 Bit.....	33
4.4 Byte.....	35
4.5 Bit Plane.....	35
4.6 Pixel.....	36
4.7 Ανάλυση Εικόνας.....	36
4.8 SPI, PPI, DPI, LPI.....	39
4.8.1 SPI.....	39
4.8.2 PPI.....	40
4.8.3 DPI.....	41
4.8.4 LPI.....	41
4.9 Βάθος Εικονοστοιχείων-Χρώματος.....	42
4.10 Χρωματικά μοντέλα.....	44
4.10.1 Μόντελα Ψηφιακών Ηλεκτρονικών Μέσων.....	44
4.10.1.1 RGB.....	44
4.10.1.2 CMYK.....	47
4.10.1.3 CIE Lab.....	49
4.10.1.4 HSL και HSV.....	50
4.10.1.5 RYB.....	52
4.10.1.6 YcbCr.....	54
4.10.1.7 YcgCo.....	55
4.10.1.8 IctCp.....	55
<b>5 ΤΥΠΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>	<b>57</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	57
5.2 Διανυσματικά Γραφικά-Εικόνες Vector.....	57
5.3 Ψηφιογραφικά Γραφικά-Εικόνες Bitmap ή Raster.....	58
5.3.1 Διτωνικές Binary.....	59
5.3.2 Grayscale Μονόχρωμη.....	59
5.3.3 Indexed Δεικτοδοτημένου Χρώματος.....	60

5.3.4 True Color RGB Εικόνες.....	61
5.4 Μορφοποιήσεις Αρχείων Εικόνας.....	62
5.5 Ψηφιογραφικές Μορφές Αρχείων Εικόνας.....	63
5.5.1 TIFF (Tagged Image File Format).....	63
5.5.2 GIF (Graphics Interchange Format).....	63
5.5.3 BMP (Windows Bitmap).....	63
5.5.4 PNG (Portable Network Graphics).....	63
5.5.5 PPM, PGM, PBM, PNM.....	64
5.5.6 WebP.....	64
5.5.7 HDR raster formats.....	64
5.5.8 HEIF (High Efficiency Image File Format).....	64
5.5.9 BAT.....	65
5.5.10 BPG (Better Portable Graphics).....	65
5.5.11 JPEG/JFIF.....	65
5.6 Διανυσματικές Μορφές Αρχείων Εικόνας.....	65
5.6.1 CGM (Metafile Computer Graphics).....	66
5.6.2 Gerber format (RS-274X).....	66
5.6.3 SVG (Scalable Vector Graphics).....	66
5.6.4 Σύνθετες Μορφές (Metafile).....	66
5.6.5 EPS (Encapsulated PostScript).....	66
5.6.6 PDF (Portable Document Format).....	67
5.6.7 PICT.....	67
5.6.8 SWF.....	68
5.7 Συγκεντρωτικός Πίνακας Τεχνικών Χαρακτηριστικών.....	68
<b>6 ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ JPEG.....</b>	<b>70</b>
6.1 Τυπική Χρήση Αλγορίθμου.....	70
6.2 Πλεονεκτήματα.....	70
6.3 Μέρη Κωδικοποίησης.....	71
6.4 Συμπίεση.....	71
6.4.1 Κανόνες Λειτουργίας του Αλγορίθμου Συμπίεσης.....	72
6.5 Αλγόριθμος Αποσυμπίεσης.....	75
6.5.1 Υποχρεωτική Ακρίβεια Κωδικοποίησης.....	75
6.5.2 Βαθμιαία Κωδικοποίηση.....	75
6.5.3 Ιεραρχική Κωδικοποίηση.....	76
6.5.4 Μη Απωλεστικό Μοντέλο.....	77
6.6 Άλλες Εκδόσεις-Επεκτάσεις του προτύπου.....	78

6.6.1 JPEG XT.....	78
6.6.2 JPEG LS.....	78
6.6.3 JPEG 2000.....	78
6.6.4 JPEG XR.....	78
6.6.5 JBIG.....	79
6.7 Παράρτημα.....	79
6.7.1 Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου.....	79
6.7.1.1 Κβαντισμός.....	80
6.7.1.2 Κωδικοποίηση Εντροπίας.....	81
<b>7 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ.....</b>	<b>83</b>
7.1 Εισαγωγή στο Matlab.....	83
7.2 Αλγόριθμος Υλοποίησης LSB.....	83
7.2.1 Υλοποίηση αλγορίθμου στο Σύστημα.....	83
7.2.2 Πειράματα Σενάρια και Αποτελέσματα.....	83
7.2.2.1 Σενάριο 1:Απόκρυψη ασπρόμαυρης εικόνας σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	83
7.2.2.2 Σενάριο 2:Απόκρυψη ασπρόμαυρης εικόνας σε έγχρωμη εικόνα.....	86
7.2.2.3 Σενάριο 3:Απόκρυψη έγχρωμης εικόνας σε ασπρόμαυρη εικόνα.....	87
7.2.2.4 Σενάριο 4:Απόκρυψη έγχρωμης εικόνας σε έγχρωμη εικόνα.....	89
7.3 Συμπεράσματα-Προτεινόμενες επεκτάσεις.....	90
<b>8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>92</b>
8.1 Συμπεράσματα.....	92
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>93</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Οπτικό μονοπάτι στον εγκέφαλο.....	16
Εικόνα 2: Το ανθρώπινο μάτι.....	17
Εικόνα 3: Ραβδία και κωνία.....	17
Εικόνα 4: Μήκος κύματος κωνίων.....	18
Εικόνα 5: Φάσμα ορατού φωτός.....	20
Εικόνα 6: RGB – Βασικά και δευτερογενή χρώματα.....	45
Εικόνα 7: Γραφική απεικόνιση του 8bit χρωματικού μοντέλου RGB.....	47
Εικόνα 8: CMY – Βασικά και δευτερογενή χρώματα.....	47
Εικόνα 9: Γραφική απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CMY.....	48
Εικόνα 10: CIELAB κάτοψη.....	50
Εικόνα 11: CIELAB εμπρόσθια όψη.....	50
Εικόνα 12: Αποκομμένη τρισδιάστατη μορφή κρατώντας κάθε φορά μία παράμετρο σταθερή.....	51
Εικόνα 13: Χρωματικό αστέρι RYB.....	52
Εικόνα 14: Πλάνο CbCr με σταθερή φωτεινότητα $Y'=0.5$ .....	54
Εικόνα 15: Κάτοψη ICTCP.....	56
Εικόνα 16: Κωδικοποίηση πλαισίου JPEG.....	73
Εικόνα 17: Κωδικοποίηση κβαντισμένων δεδομένων.....	81



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ανάλυση Εικόνας.....	38
Πίνακας 2: Βάθος χρώματος.....	43
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	69
Πίνακας 4: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 1.....	85
Πίνακας 5: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 2.....	86
Πίνακας 6: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 3.....	87
Πίνακας 7: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 4.....	89



## Περίληψη

Η ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια έχει φέρει αλλαγές στο μέγεθος και την ποιότητα του διαθέσιμου περιεχομένου. Οι χρήστες με μια εύκολη αναζήτηση μπορούν να κατακλυστούν από μεγάλο όγκο πληροφοριών οι οποίες μπορεί να έχουν την μορφή κειμένου, ήχου, εικόνας, βίντεο. Η ευκολία στην χρήση και ο πραγματικά μεγάλος όγκος πληροφορίας συνέβαλε στο να αυξηθεί με γεωμετρική πρόοδο ο αριθμός των νέων χρηστών. Έτσι μεγάλωσε η ανάγκη για προμήθεια όλο και μεγαλύτερου όγκου πληροφορίας. Αυτή η αλλαγή στην ψηφιακή πληροφορία την οδήγησε στην ανάγκη για ανάπτυξη νέων τεχνικών στεγανογραφίας και κρυπτογραφίας για την ασφαλή ανταλλαγή κρυφής πληροφορίας, έννοιες οι οποίες είναι ευρέως γνωστές από την αρχαιότητα.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται και υλοποιείται ένας από τους πιο δημοφιλείς αλγόριθμους στεγανογράφησης και κρυπτογράφησης ο LSB (Least Significant Bit). Η εφαρμογή του αλγορίθμου που υλοποιήθηκε είναι διαθέσιμη να χρησιμοποιηθεί μέσω γλώσσας υψηλού επιπέδου όπως είναι το Matlab για οποιοδήποτε επιθυμεί να αποκρύψει μια πληροφορία εικόνας σε μια άλλη εικόνα. Η εφαρμογή επίσης υλοποιεί όχι μόνο την απόκρυψη της πληροφορίας αλλά και την αντίστροφη διαδικασία δηλαδή την ανάκτηση της κρυμμένης πληροφορίας. Το περιβάλλον της εφαρμογής είναι απλό και εύχρηστο για τον χρήστη, αφού απαιτεί με ένα παράθυρο διαλόγου της εισαγωγής από τα αρχεία του, την εικόνα που χρειάζεται να κρύψει πληροφορία και μετέπειτα την εικόνα που θέλει να κρυφτεί στην προηγούμενη. Η εφαρμογή λόγω της πειραματικής της προσέγγισης αφού προβεί στην διαδικασία ένωσης, αυτόματα εισέρχεται και στην διαδικασία ανάκτησης της πληροφορίας. Ο χρήστης σαν έξοδο από το σύστημα δέχεται δύο εικόνες που αποθηκεύονται αυτόματα στον ηλεκτρονικό του υπολογιστή, την στεγανογραφημένη και την ανακτημένη εικόνα για περαιτέρω χρήσεις.

Τέλος στο θεωρητικό μέρος της πτυχιακής, αφού παρουσιάζονται κάποιες θεωρητικές πληροφορίες για την στεγανογραφία και τις ψηφιακές εικόνες, πραγματοποιούνται κάποια σενάρια εισόδου πληροφορίας εικόνας στην εφαρμογή.

## Summary

The rapid growth of the Internet in recent years has brought about changes in the size and quality of the content available. Users with an easy search can flood a lot of information that can be in the form of text, sound, picture, video. The ease of use and the large amount of information have helped to increase the number of new users with geometric progress. This has increased the need to supply an increasing amount of information. This change in digital information has led to the need to develop new sealing and encryption techniques for the secure exchange of hidden information, concepts that have been widely known since antiquity.

In this dissertation, one of the most popular LSB (Less Significant Bit) steganography and encryption algorithms is presented and implemented. The implementation of the implemented algorithm is available for use through a high-level language such as Matlab for anyone wishing to conceal an information image in another image. The application also implements not only the decryption of information but also the reverse process, ie the recovery of hidden information. The application environment is simple and user-friendly, requiring from an import dialog box, the image that needs to hide information, and then the image it wants to hide in the previous one. Applying its experimental approach after the connection process is automatically entered into the information retrieval process. The user as an output from the system accepts two images that are automatically stored on his computer, the sealed and the refurbished image for further use.

Finally, in the theoretical part of the diplomatic paper, after some theoretical information on the steganography and the digital images is presented, some scenarios of image information input are implemented in the application.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η ραγδαία ανάπτυξη του διαδικτύου τα τελευταία χρόνια έχει φέρει αλλαγές στο μέγεθος και την ποιότητα του διαθεσίμου περιεχομένου. Οι χρήστες με μια εύκολη αναζήτηση μπορούν να κατακλυστούν από μεγάλο όγκο πληροφοριών οι οποίες μπορεί να έχουν την μορφή κειμένου, ήχου, εικόνας, βίντεο. Η ευκολία στην χρήση και ο πραγματικά μεγάλος όγκος πληροφορίας συνέβαλε στο να αυξηθεί με γεωμετρική πρόοδο ο αριθμός των νέων χρηστών. Έτσι μεγάλωσε η ανάγκη για προμήθεια όλο και μεγαλύτερου όγκου πληροφορίας. Αυτή η αλλαγή στην ψηφιακή πληροφορία έφερε την οδήγησε στην ανάγκη για ανάπτυξη νέων τεχνικών στεγανογραφίας και κρυπτογραφίας για την ασφαλή ανταλλαγή κρυφής πληροφορίας, έννοιες οι οποίες είναι ευρέως γνωστές από την αρχαιότητα.

Η στεγανογραφία, ειδικά σε συνδυασμό με την κρυπτογραφία, είναι ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει τους ανθρώπους να επικοινωνούν χωρίς πιθανές υποκλοπές ακόμη και να γνωρίζουν ότι υπάρχει μια μορφή της επικοινωνίας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη της στεγανογραφίας έχουν προχωρήσει πολύ κατά τους τελευταίους αιώνες, ειδικά με την άνοδο της εποχής του υπολογιστή. Αν και οι τεχνικές εξακολουθούν να μην χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, οι δυνατότητες είναι ατελείωτες. Δεδομένου ότι η ανίχνευση δεν μπορεί ποτέ να εγγυηθεί την εξεύρεση όλων των κρυφών πληροφοριών, μπορεί να χρησιμοποιηθούν μαζί με τις μεθόδους εξάλειψης της στεγανογραφίας, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες. Στο εγγύς μέλλον, η πιο σημαντική χρήση τεχνικών στεγανογραφίας θα είναι πιθανότατα στον τομέα της ψηφιακής υδατογράφησης (watermarking). Οι πάροχοι είναι πρόθυμοι να προστατεύσουν τα έργα πνευματικής ιδιοκτησίας κατά της παράνομης διανομής και τα ψηφιακά υδατογραφήματα παρέχουν έναν τρόπο εντοπίζοντας τους ιδιοκτήτες αυτών των υλικών. Παρόλο που δεν εμποδίζει τη διανομή η ίδια θα επιτρέψει στον πάροχο περιεχομένου να κινήσει νομικές ενέργειες κατά των παραβατών της τα πνευματικά δικαιώματα, καθώς μπορούν τώρα να εντοπιστούν. Η στεγανογραφία μπορεί επίσης να περιοριστεί σύμφωνα με τους νόμους, από τις κυβερνήσεις ήδη ισχυρίστηκε ότι οι εγκληματίες χρησιμοποιούν αυτές τις τεχνικές για να επικοινωνούν.

## 1.2 Οργάνωση κειμένου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκε μια εφαρμογή στεγανογραφίας με την μέθοδο LSB. Η εργασία έχει οργανωθεί ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται εισαγωγή στις βασικές λειτουργίες του ματιού και πως αντιλαμβανόμαστε το χρωματικό φάσμα μέσω των ματιών μας.

Το κεφάλαιο 3 κάνει μια εισαγωγή στην θεωρία της στεγανογραφίας, πως συνδιάζεται με την κρυπτογραφία όπως επίσης και ιστορικά δεδομένα διότι η στεγανογραφία υπάρχει από αρχαιωτάτων χρόνων.

Το κεφάλαιο 4 αφορά τις ψηφιακές εικόνες, απο τεχνικά θέματα και πως δημιουργούνται μέχρι τα πιο γνωστά χρωματικά μοντέλα. Επίσης δίνει πληροφορίες για την ανάλυση εικόνας και το bit plane.

Το κεφάλαιο 5 αφορά τα πρότυπα εικόνων, δηλαδή τις ψηφιογραφικές και διανυσματικές εικόνες όπως και τα σημαντικότερες μορφολογήσεις τους.

Το κεφάλαιο 6 κάνει μια εκτενής αναφορά στο πρότυπο Jpeg το γνωστότερο πρότυπο για ψηφιακές εικόνες όπως επίσης γίνεται αναφορά και στις νεότερες εκδόσεις του.

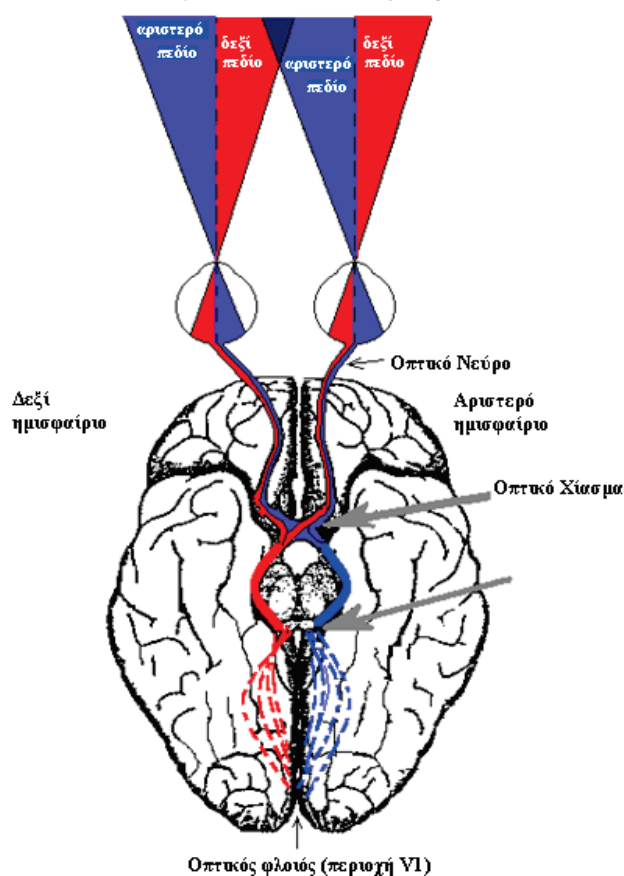
Τέλος το κεφάλαιο 7 αφορά την εφαρμογή που υλοποιήθηκε για τις ανάγκες της πτυχιάκης, “τρέχοντας” τα σενάρια που απαιτούνται για την λεπτομερή ανάλυση της.

## 2 ΟΡΑΣΗ ΚΑΙ ΦΩΣ: ΠΩΣ ΑΝΤΙΛΑΜΒΑΝΟΜΑΣΤΕ ΤΑ ΧΡΩΜΑΤΑ

### 2.1 Λειτουργία της όρασης

Όραση ή Οπτική αντίληψη ονομάζεται μία από τις πέντε αισθήσεις. Όργανο αντίληψης είναι τα μάτια, ενώ το αντικείμενο της αντίληψης είναι το φως. Θεωρείται η πιο σημαντική από τις υπόλοιπες αισθήσεις, γιατί με αυτήν γίνεται άμεσα αντιληπτός ο εξωτερικός χώρος. Περίπου το 30% του ανθρώπινου εγκεφάλου ασχολείται με την επεξεργασία και ερμηνεία των ερεθισμάτων της όρασης. Η όραση είναι εφικτή μόνο όταν υπάρχει φως. Το φως παράγεται συνήθως από τον ήλιο, ή φυσικά από μερικούς οργανισμούς με ειδικές διαδικασίες, από αστραπές και πυρκαγιές. Τεχνητά παράγεται από τον άνθρωπο με τη φωτιά και τα τελευταία χρόνια με τον ηλεκτρισμό. Το φως του περιβάλλοντος προσπίπτει σε διάφορα αντικείμενα και έπειτα ένα μέρος του φτάνει στα μάτια. Εκεί, οι ακτίνες προσανατολίζονται κατάλληλα, ώστε να προβληθεί στον αμφιβληστροειδή η εικόνα του περιβάλλοντος. Στον αμφιβληστροειδή χιτώνα υπάρχουν πάρα πολλοί κατάλληλοι υποδοχείς φωτός, τα κωνία και τα ραβδία, βοηθώντας στην αντίληψη του χρώματος και του σχήματος αντίστοιχα. Αυτοί οι υποδοχείς ενεργοποιούνται ανάλογα με το χρώμα και την ένταση του φωτός και στέλνουν ηλεκτρικά ερεθίσματα στον εγκέφαλο. Όλα αυτά τα ερεθίσματα διαμορφώνουν μια εικόνα, η οποία όμως είναι ανάποδα, γιατί ανάποδα αποτυπώνεται η εικόνα στον αμφιβληστροειδή, όπως στο φιλμ στις φωτογραφικές μηχανές. Ο εγκέφαλος αναλαμβάνει να τη γυρίσει κανονικά. Οι εικόνα που στέλνει το κάθε μάτι είναι ελαφρώς διαφορετική, και βοηθάει, ώστε να γίνει αντιληπτή η απόσταση με τη μέθοδο του τριγωνισμού, και γενικά να υπάρξει τρισδιάστατη όραση. Η εφεύρεση της φωτογραφικής μηχανής βασίστηκε στη λειτουργία του οφθαλμού. Όπως το φως περνά μέσα από το φακό της φωτογραφικής μηχανής για να αποτυπωθεί στο φιλμ έτσι και το φως από ένα συγκεκριμένο αντικείμενο περνά μέσα από τον κερατοειδή, το υδατοειδές υγρό, το φακό και το υαλοειδές για να φτάσει στον αμφιβληστροειδή. Το φως διαθλάται στην πρόσθια επιφάνεια του κερατοειδή και στο φακό και σχηματίζεται ένα ανεστραμμένο είδωλο του αντικειμένου πάνω στον αμφιβληστροειδή. Η κόρη δρα σαν διάφραγμα και ρυθμίζει το ποσό της φωτεινής ακτινοβολίας που θα περάσει μέσω του φακού στον αμφιβληστροειδή. Με την επίδραση της φωτεινής ακτινοβολίας στον αμφιβληστροειδή δημιουργείται ένα νευρικό ερέθισμα, το οποίο μεταφέρεται μέσω της οπτικής οδού (οπτικό νεύρο, οπτική ταινία, οπτική ακτινοβολία) στον οπτικό φλοιό, στον εγκέφαλο.

## Οπτικό μονοπάτι στον εγκέφαλο

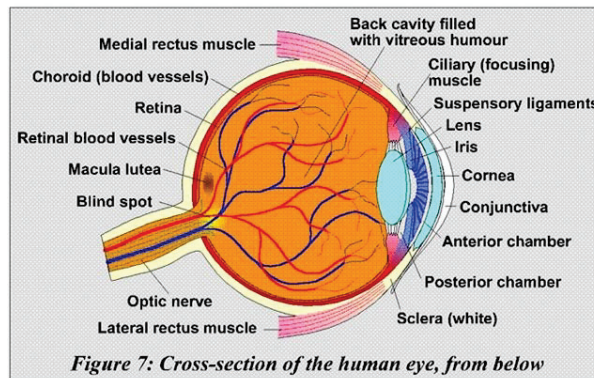


Εικόνα 1: Οπτικό μονοπάτι στον εγκέφαλο

## 2.2 Μάτι

Μάτι ονομάζεται το αισθητήριο όργανο της όρασης των ζωντανών οργανισμών. Μέσω αυτού λαμβάνονται τα οπτικά ερεθίσματα που στέλνονται στον εγκέφαλο ώστε να παίρνουν μορφή εκεί. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αντιληπτό το περιβάλλον, υπό την προϋπόθεση πως το τελευταίο εκπέμπει, σκεδάζει, απορροφά, διαθλά κλπ. Κατάλληλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (φως) που μπορεί να συλλάβει το μάτι. Το μάτι είναι μια απλή σφαίρα, περίπου 25 χιλιοστά (24mm) σε διάμετρο με σημαντικές δυνατότητες. Διακρίνει τα χρώματα και τα σχήματα. Λειτουργεί σε άπλετο ή αμυδρό φωτισμό, σε μακρινές ή κοντινές αποστάσεις. Με τα μάτια μας διαβάζουμε βιβλία, αναγνωρίζουμε ανθρώπους, αξιολογούμε καταστάσεις και αντιλαμβανόμαστε γενικά το περιβάλλον μας. Είναι ένας σύνδεσμος ζωτικής σημασίας με τον κόσμο γύρω μας. Ο κερατοειδής είναι η διάφανη μεμβράνη που βρίσκεται μπροστά από την κόρη και ο αμφιβληστροειδής είναι ο φωτοευαίσθητος ιστός στο πίσω μέρος του ματιού που συνδέεται με τον εγκέφαλο. Το φως το οποίο προέρχεται από ένα αντικείμενο περνά μέσα από τον κερατοειδή και τον κρυσταλλοειδή φακό ο οποίος αυξομειώνει την κυρτότητά του ώστε οι ακτίνες του φωτός να εστιάσουν στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Εκεί πάνω από 100 εκατομμύρια φωτοευαίσθητα κύτταρα τις διαβάζουν και μεταφέρουν την εικόνα δια μέσου του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο.

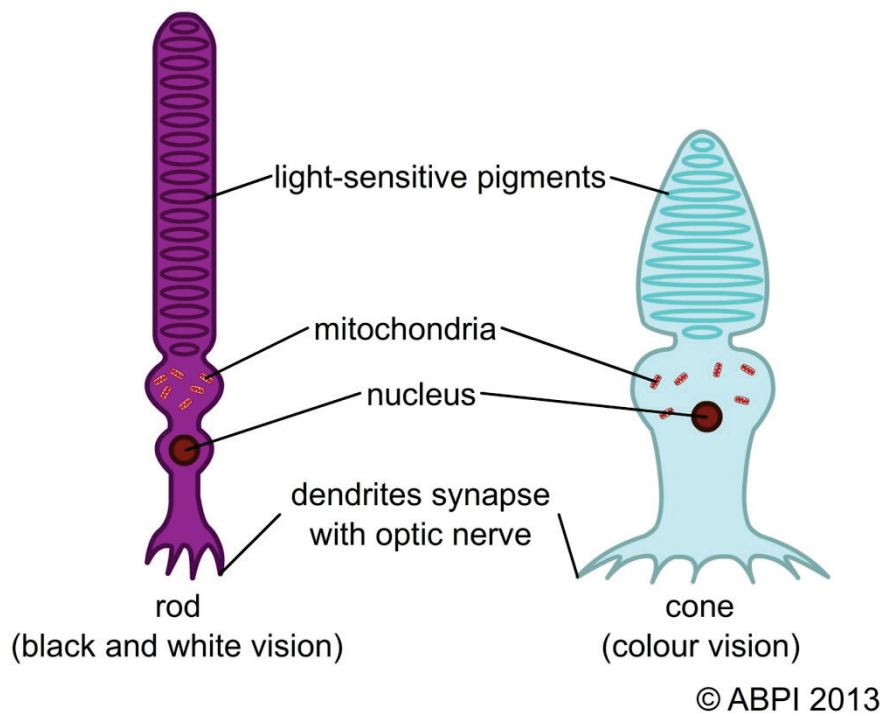




Εικόνα 2: Το ανθρώπινο μάτι

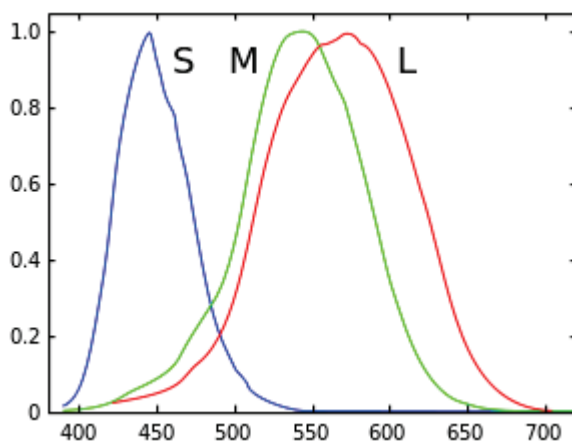
### 2.3 Ραβδία και Κωνία

Η λειτουργία της όρασης εξαρτάται από τα φωτοευαίσθητα κύτταρα του αμφιβληστροειδή χιτώνα, τα κωνία και τα ραβδία. Αυτοί οι φωτοϋποδοχείς είναι από τα πιο πολύπλοκα αισθητήρια κύτταρα που έχουμε και χωρίζονται σε δυο τύπους: Τα ραβδία, περίπου 120–140 εκατομμύρια ράβδους προσαρμοσμένες για την αντίληψη του αμυδρού φωτός και της νυχτερινής όρασης. Τα κωνία, περίπου 6–7 εκατομμύρια κωνοειδείς ράβδους, προσαρμοσμένες να αντιλαμβάνονται τη φωτεινότητα του φωτός της ημέρας και να το αναλύουν σε χρώματα. Τα κωνία διαχωρίζονται σε τρεις τύπους ή άλλως φασματικές κατηγορίες. Τα ονόματα, ραβδία και κωνία, δόθηκαν στους φωτοσυλλέκτες αυτούς, όταν στις αρχικές ανατομικές μελέτες διαπιστώθηκε ότι τα κύτταρα αυτά έτειναν να έχουν κυλινδρικά ή κωνικά σχήματα.



Εικόνα 3: Ραβδία και κωνία

Στην πραγματικότητα οι περισσότεροι αυτοί φωτοϋποδοχείς είναι δύσκολο να ταξινομηθούν από την σχηματική μορφή τους η οποία αλλάζει ανάλογα με την διάταξή τους στον αμφιβληστροειδή. Και οι δύο τύποι κυττάρων έχουν ουσιαστικά την ίδια δομή. Το κυτταρικό σώμα περιέχει τον πυρήνα ο οποίος στηρίζει ένα εξωτερικό τμήμα που περιέχει περίπου 1000 ξεχωριστά στρώματα μορίων λίπους. Σε κάθε στρώμα είναι ενσωματωμένα έως 10.000 φωτοευαίσθητα μόρια φωτοχρωστικής ουσίας, της οψίνης. Η οψίνη των ραβδίων λέγεται ροδοψίνη, ενώ η παραλλαγή της που λειτουργεί εντός των κωνίων καλείται ιωδοψίνη. Όταν το φως ερεθίζει την χρωστική, διακόπτεται η συνοχή της και τότε δημιουργεί ηλεκτρικές ωθήσεις που αποστέλλονται στο συναπτικό νευρωνικό δίκτυο του αμφιβληστροειδούς χιτώνα. Έτσι, με τις ηλεκτρικές αυτές ωθήσεις, πραγματοποιείται η λειτουργία της όρασης. Οι μεν ωθήσεις που προκαλούνται από την διάσπαση της ροδοψίνης των ραβδίων είναι υπεύθυνες για την αντίληψη του φωτός, οι δε ωθήσεις που προκαλούνται από την διάσπαση της ιωδοψίνης των κωνίων ευθύνονται για την αντίληψη των χρωμάτων. Ουσιαστικά τα ραβδία και τα κωνία είναι υπεύθυνα για την όραση σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού. Τα ραβδία ενεργοποιούνται σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού και δεν προσφέρουν υψηλή ευκρίνεια, ευθύνονται για την ασπρόμαυρη όραση. Τα κωνία συγκεντρώνονται στην κόρη του ματιού και είναι υπεύθυνα για την υψηλής ευκρίνεια ημερήσια όραση, ευθύνονται για την πολύχρωμη όραση. Μεταφέρουν πληροφορία μεγαλύτερης ανάλυσης και πληροφορία χρώματος, έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία. Τα κωνία χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Αυτά που αντιλαμβάνονται την κόκκινη ακτινοβολία L-κωνία με ευαισθησία στα μεγαλύτερα μήκη κύματος γύρω στα 575 nm , αυτά που λειτουργούν με την επίδραση της πράσινης ακτινοβολίας M-κωνία με ευαισθησία στα μεσαία μήκη κύματος γύρω στα 540 nm και αυτά που ερεθίζονται από την μπλε S-κωνία με ευαισθησία στα μικρότερα μήκη κύματος γύρω στα 440 nm.



Εικόνα 4:Μήκος κύματος κωνίων

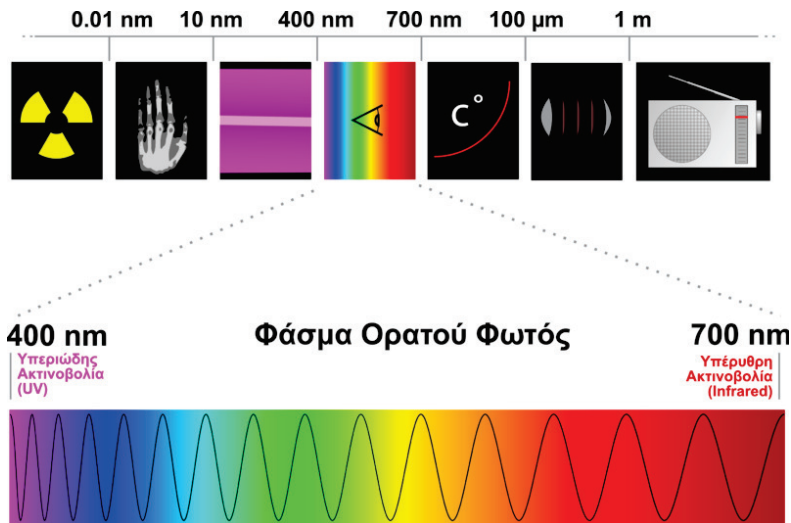
## 2.4 Χρώμα

Το χρώμα είναι μια αίσθηση που δημιουργείται στον εγκέφαλο από μέρος της αλληλουχίας των ηλεκτρικών ώσεων που φθάνουν σε αυτόν μέσω του οπτικού νεύρου. Η πληροφορία για το χρώμα αφορά τις συχνότητες της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που μπορεί να ανιχνευθεί στους κατάλληλους υποδοχείς και κωδικοποιείται μέσα στα ηλεκτρικά αυτά σήματα. Ένα χρώμα που παίρνει μορφή στον εγκέφαλο μπορεί να προέρχεται από μία συχνότητα ή συνδυασμό περισσότερων συχνοτήτων του ορατού φάσματος. Για παράδειγμα το κίτρινο χρώμα είναι αποτέλεσμα της επεξεργασίας του σήματος που προέρχεται από την ανίχνευση φωτός από δύο κυρίως είδη κωνίων, τα κωνία που είναι ευαίσθητα σε συχνότητες που αντιστοιχούν στην περιοχή

του κόκκινου χρώματος και τα κωνία που είναι ευαίσθητα στις συχνότητες που αντιστοιχούν στην περιοχή του πράσινου. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος συνθέτει μεγάλο εύρος χρωμάτων από τους συνδυασμούς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει το μάτι. Το χρώμα στην περίπτωση αυτή είναι μια σύμβαση που αφορά τη μορφή που λαμβάνει στον εγκέφαλο (στον οπτικό φλοιό) ο συνδυασμός των συχνοτήτων που ανιχνεύονται από το μάτι. Έτσι μπορεί να βλέπουμε κίτρινο χρώμα ενώ στην πραγματικότητα οι συχνότητες που ανιχνεύουμε αντιστοιχούν αποκλειστικά στην περιοχή του πράσινου και του κόκκινου, δηλαδή η ακτινοβολία που φθάνει στο μάτι μας δεν βρίσκεται στην περιοχή του κίτρινου. Φυσικά είναι δυνατό να βλέπουμε και το απ' ευθείας κίτρινο χρώμα, όταν η ακτινοβολία είναι μονοχρωματική, όταν δηλαδή το χρώμα αντιστοιχεί πράγματι σε μία μόνο συχνότητα. Παρόλα αυτά, το μονοχρωματικό κίτρινο συλλαμβάνεται εν μέρει και από τους υποδοχείς του κόκκινου και από του πράσινου και μόνο μέσω της όρασής μας δεν είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν πράγματι πρόκειται για μονοχρωματική ακτινοβολία ή όχι. Πέραν του τρόπου που αντιλαμβανόμαστε την ακτινοβολία από πολλές συχνότητες ως μονοχρωματική, παραπλανούμενοι μέσω της αίσθησης της όρασης, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη φύση μπορεί πράγματι να αντιστοιχεί σε διαφορετικά, διακριτά μήκη κύματος που αντιστοιχούν το καθένα σε διαφορετικό χρώμα. Σε αυτή τη φυσική παλέτα του ορατού φάσματος, το η «κόκκινη» ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος και η «ιώδης» το μικρότερο.

## 2.5 Φως

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης. Όμως η αντίληψη αυτή του "ορατού" φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (δηλαδή στα χρώματα του ουράνιου τόξου). Ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες το φως εκδηλώνει ιδιότητες είτε φωτεινού κύματος, (φωτεινή ακτίνα), είτε δέσμης σωματιδίων, (φωτεινή δέσμη ή δέσμες). Τα στοιχειώδη σωματίδια-κύματα (κβάντα) φωτός ονομάζονται φωτόνια. Η διάδοση του φωτός στο χώρο γενικά ακολουθεί τις εξής αρχές: Αρχή του Ήρωνα: Το φως διαδιδόμενο (από ένα σημείο στο αμέσως επόμενο) ακολουθεί, (οδεύοντας), την συντομότερη (χρονικά) οδό. (Η αρχή αυτή ισχύει για όλα τα οπτικά μέσα, ακόμη και για τα "μη ισότροπα", στα οποία η συντομότερη οδός διάδοσης του φωτός δεν είναι ευθεία. Ο Ήρωνας, αναφερόμενος στη συντομότερη οδό, εννοούσε το μήκος της διαδρομής. Τα εντός παρένθεσης διορθώνουν σύμφωνα με τα σήμερα αποδεκτά). Το φως σε ένα ισότροπο μέσο διαδίδεται ευθύγραμμα, όταν και ο χώρος είναι ισότροπος (πρέπει δηλαδή το φως να διέρχεται και από χώρο με μη έντονη διαβάθμιση της βαρύτητας ή καμπύλωσης του χωροχρόνου, όπως αυτή εξηγείται με τη Γενική θεωρία της Σχετικότητας). Αρχή του ελάχιστου χρόνου. Πρόκειται για την "αρχή του Ήρωνα" εκπεφρασμένη από τον Φερμά (1662) στην έννοια του χρόνου. Αρχή της αντίστροφης πορείας. Όταν το φως διαδίδεται προς ορισμένο δρόμο προς μια φορά είναι δυνατόν ν' ακολουθήσει τον ίδιο κατ' αντίθετη φορά.



Εικόνα 5: Φάσμα ορατού φωτός

## 3 ΣΤΕΓΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

### 3.1 Ιστορικά Στοιχεία Κρυπτολογίας

Η κρυπτολογία ξεκίνησε από τις πρώτες μέρες του πολιτισμού. Προκειμένου να υπάρξει πολιτισμός απαιτείται γλώσσα, και κατά συνέπεια μια γραπτή γλώσσα. Στους αρχαίους πολιτισμούς εκτός από τον ελληνικό η γραφή θεωρούνταν προνόμιο των ευγενών και των ιερέων. Έτσι διαπιστώνουμε την αύξηση της δύναμης που είχαν στα χέρια τους τη γραπτή γλώσσα, και όλα αυτά λόγω της δύναμης που περιέχει η γνώση. Έτσι λοιπόν, από την αρχαιότητα, με το να στερούν τη γνώση της γραφής από το λαό, του στερούσαν τη δύναμη. Στην ελευθερία της γνώσης βασίζεται και η αθηναϊκή δημοκρατία. Ο μόνος τρόπος να καταργηθεί κάθε δύναμη των πολιτών είναι η λογοκρισία. Όταν πλέον η διάδοση της γραφής και η γλωσσολογία κατέστησαν κάθε είδος μυστικής ή όχι γραφής ανίκανο να κρύψει πληροφορίες, γεννήθηκε η ανάγκη για τη δημιουργία γραφών που να μην αναγνωρίζονται από μη εξουσιοδοτημένους αναγνώστες, ανεξάρτητα από το αν η γλώσσα του κειμένου είναι γνωστή ή όχι. Έτσι αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο αναγραμματισμός προκειμένου να διασφαλιστεί το απόρρητο των πληροφοριών. Το μπέρδεμα αυτό των γραμμάτων γίνεται σύμφωνα με έναν αλγόριθμο. Αλγόριθμος είναι ένα σύνολο από πράξεις που αν εκτελεστούν συντελούν στη λύση ενός προβλήματος. Με τη χρήση λοιπόν του αναγραμματισμού γινόταν μέχρι το τέλος του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου η διασφάλιση του απορρήτου των επικοινωνιών. Οι Γερμανοί ναζί είχαν αναπτύξει τον κώδικα Enigma, που χρησιμοποιούσε έναν αλγόριθμο πολλαπλών αναγραμματισμών. Όταν όμως έπεσε στα χέρια των συμμάχων μια γερμανική κρυπτομηχανή, μια ομάδα από Πολωνούς μαθηματικούς κατάφερε να σπάσει τον κωδικό. Το γεγονός αυτό συντέλεσε σημαντικά στη λήξη του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου. Σήμερα η κρυπτολογία έχει περάσει στους υπολογιστές, επομένως φυσικό ήταν μια επιστήμη καθαρά πληροφορική να έχει να κάνει με την κύρια επιστήμη της πληροφορικής, την υπολογιστική και τη συνδυαστική, και πρόσφατα με την τεχνητή νοημοσύνη και τα νευρωνικά δίκτυα. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι απείρως περιπλοκότεροι αλλά όχι και ισχυρότεροι από αυτούς που χρησιμοποιούνταν πριν από λίγες δεκαετίες.

### 3.2 Κρυπτανάλυση

Η κρυπτανάλυση είναι η μελέτη για την επινόηση μεθόδων που εξασφαλίζουν την κατανόηση του νοήματος της κρυπτογραφημένης πληροφορίας, έχοντας ως άγνωστες ποσότητες τον κρυφό μετασχηματισμό, το κλειδί, με βάση το οποίο αυτός πραγματοποιήθηκε και το κρυπτογραφημένο μήνυμα. Βασικός στόχος της είναι, ανάλογα με της απαιτήσεις του αναλυτή κρυπτοσυστημάτων ή αλλιώς κρυπτανάλυτή, να βρει το κλειδί, το μήνυμα ή ένα ισοδύναμο αλγόριθμο που θα τον βοηθά να αναγνώσει το (κρυφό) μήνυμα. Ένας κρυπταλγόριθμος λέγεται ότι έχει «σπάσει», αν βρεθεί μια μέθοδος (πιθανοκρατική ή ντετερμινιστική) που μπορεί να βρει το μήνυμα ή το κλειδί με πολυπλοκότητα μικρότερη από την πολυπλοκότητα της επίθεσης ωμής βίας. Η πρώτη νύξη σχετικά με την κρυπτανάλυση έγινε από ένα Άραβα μαθηματικό τον 8ο αιώνα με την εργασία Ανταμπ-αλ-κουταπ ή αλλιώς Εγχειρίδιο των γραμματέων.

### 3.3 Στεγανογραφία

Η στεγανογραφία προέρχεται από τις λέξεις στεγανός + γραφή και είναι η διαδικασία κατά την οποία αποκρύπτεται κάποια πληροφορία που πρέπει να αποσταλεί σε κάποιον παραλήπτη μέσα σε ένα μέσο. Ως μέσο εδώ μπορεί να οριστεί οποιοδήποτε υλικό αντικείμενο ή άυλο (π.χ. άυλο αντικείμενο μπορεί να είναι τα αρχεία ενός Ηλεκτρονικού υπολογιστή). Ο σκοπός της στεγανογραφίας είναι η αποστολή της επιθυμητής πληροφορίας κρυμμένη μέσα στο μέσο, έτσι ώστε να μην γίνει αντιληπτή από ανεπιθύμητα άτομα, αλλά μόνο από τον παραλήπτη που για τον οποίο προορίζεται. Για μεγαλύτερη ασφάλεια, τον τρόπο με τον οποίο έγινε η στεγανογράφιση της πληροφορίας και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να ανακτηθεί πρέπει να τον γνωρίζει μόνο ο αποστολέας και ο παραλήπτης. Η στεγανογραφία, παρόλο που σήμερα χρησιμοποιείται κατά βάση στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, δεν είναι καινούργια μέθοδος απόκρυψης της πληροφορίας κατά την επικοινωνία. Όσο αφορά τα θέματα ασφάλειας, η στεγανογραφία προσφέρει προστασία της κρυμμένης πληροφορίας για όσο δεν γίνεται αντιληπτή η ύπαρξη της πληροφορίας αυτής. Αν γίνει αντιληπτή η ύπαρξη της κρυμμένης πληροφορίας τότε είναι θέμα χρόνου η ανάκτησή της από ανεπιθύμητα άτομα, αν η πληροφορία δεν είναι κρυπτογραφημένη. Ο κλάδος που ασχολείται με την ανάκτηση των στεγανογραφικά κρυμμένων πληροφοριών λέγεται στεγανάλυση.

### 3.4 Ιστορικά Δεδομένα

Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης της στεγανογραφίας στην αρχαιότητα είναι η αφήγηση ενός ιστορικού γεγονότος από τον Ηρόδοτο: αναφέρεται ότι ο Δημάρατος ήθελε να ειδοποιήσει τη Σπάρτη ότι ο Ξέρξης προτίθετο να εισβάλει στην Ελλάδα. Για να αποφύγει την κλοπή του μηνύματος έγραψε το μήνυμά του σε ξύλινη πινακίδα, αφού έξυσε το κερί που αυτή είχε και την οποία μετά κάλυψε πάλι με κερί. Οι πινακίδες φαίνονταν λευκές και αχρησιμοποίητες και με αυτό το τρόπο πέρασαν κάθε έλεγχο. Ο Ιστιαίος λίγα χρόνια μετά ήταν πιο εφευρετικός: ξύρισε τον αγγελιαφόρο και έκανε τατουάζ στο κεφάλι του το μήνυμα. Μόλις μάκρυναν τα μαλλιά του, το μήνυμα κρύφτηκε εντελώς από τα περίεργα μάτια. Στόχος ήταν επανάσταση εναντίον των Περσών και το σχέδιο πέτυχε.

Οι Ρωμαίοι επίσης χρησιμοποιούσαν αόρατα μελάνια, τα οποία φτιάχνονταν από φυσικά συστατικά όπως χυμοί φρούτων και γάλα. Στη συνέχεια ζέσταιναν το αντικείμενο πάνω στο οποίο είχε γραφεί το μήνυμα και αποκάλυπταν το μυστικό περιεχόμενο. Τα αόρατα μελάνια εξελίχθηκαν περισσότερο κατά τη διάρκεια των αιώνων και είναι ακόμα σε χρήση αν και περιορισμένη. Κατά τη διάρκεια του 15ου και του 16ου αιώνα, πολλοί συγγραφείς συμπεριλαμβανομένου του Johannes Trithemius (συγγραφέα του «Steganographia») και του Gaspari Schotti (συγγραφέα του «Steganographica») έγραψαν για στεγανογραφικές τεχνικές όπως η κωδικοποίηση κειμένων, τα αόρατα μελάνια και τα ενσωματωμένα κρυμμένα μηνύματα στη μουσική. Μεταξύ του 1883 και του 1907, οι δημοσιεύσεις του Auguste Kerckhoff (συγγραφέα του «Cryptographic Militaire») και του Charles Briquet (συγγραφέα του «Les Filigranes») εξέλιξαν περισσότερο τη στεγανογραφία. Τα βιβλία αυτά πραγματεύονταν κυρίως την κρυπτογραφία, αλλά και τα δύο θεωρείται ότι θεμελίωσαν κάποια στεγανογραφικά συστήματα και πιο συγκεκριμένα τις τεχνικές υδατογραφήματος. Κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου παγκοσμίου πολέμου ανακαλύφθηκαν επίσης ακόμα πιο εξελιγμένες μορφές στεγανογραφίας. Εκεί αναπτύχθηκε η λογική των κρυμμένων στεγανογραφημάτων, η αντικατάσταση μέρους της εικόνας καθώς και το σύστημα των μικροτελειών.

Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα στεγανογραφίας σε ταινία, είναι αυτή με τον χυμό λεμονιού στη

ταινία: “Το όνομα του Ρόδου”. -Και με τα νέα δεδομένα της ηλεκτρονικής, αυτό που έχει αλλάξει το εξηγεί ο George Weir, καθηγητής του Πανεπιστημίου Strathclyd: Το καινούργιο που κομίζει η στεγανογραφία είναι ότι το κρυπτογραφημένο μήνυμα δεν φαίνεται κρυπτογραφημένο. Δηλαδή, κρύβουμε το κρυμμένο μήνυμα. Αντίστοιχα η στεγανογραφία σήμερα μπορεί να υλοποιηθεί στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, κρύβοντας για παράδειγμα ένα αρχείο κειμένου μέσα σε μία εικόνα χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό. Φαινομενικά η εικόνα, μετά από την αποκρυψη του αρχείου κειμένου μέσα σε αυτήν, παραμένει ίδια με την αρχική.

### 3.5 Πεδίο Εφαρμογών Στεγανογραφίας

Η στεγανογραφία μπορεί να υλοποιηθεί σε εικόνες, αρχεία ήχου, βίντεο και κείμενα. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται πρέπει να υπολογίζουν τρεις πτυχές που αφορούν την χωρητικότητα, την ασφάλεια και την ευρωστία. Η χωρητικότητα αναφέρεται στο μέγεθος των δεδομένων που μπορεί να αποθηκευθούν στο μέσο κάλυψης, η ασφάλεια στην αδυναμία κάποιου που είτε ακούει τον ήχο είτε βλέπει την εικόνα ή διαβάσει το κείμενο να εντοπίζει την κρυμμένη πληροφορία και η ευρωστία στο εύρος των τροποποιήσεων που μπορεί να υποστεί το μέσο στεγανογράφησης πριν κάποιος τρίτος καταστρέψει την κρυμμένη πληροφορία. Η βαρύτητα που δίνεται σε κάθε έναν από τους παραπάνω συντελεστές καθορίζεται ανάλογα με την εφαρμογή στεγανογράφησης που υλοποιείται. Γενικά όμως τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ικανοποιούνται είναι:

- Οι πληροφορίες που αποκρύπτονται να μην είναι αντιληπτές από τον ανθρώπινο παρατηρητή
- Να εξασφαλίζεται το μέγιστο επίπεδο ασφάλειας σε όλη τη διαδικασία αλλά
- Να μπορούν να αποθηκευτούν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα κάνοντας χρήση έξυπνων τεχνικών προκειμένου να υπάρξει εκμετάλλευση όλης της χωρητικότητας του μέσου κάλυψης
- Το αποτέλεσμα της στεγανογράφησης να είναι ανθεκτικό σε απλή επεξεργασία σήματος, γεωμετρικές στρεβλώσεις και επιθέσεις, να είναι αναλλοίωτο σε μετασχηματισμούς εικόνας όπως περικοπή ή περιστροφή ή συμπίεση.

### 3.6 Στεγανογραφία και Κρυπτογραφία

Η Στεγανογραφία δεν εντάσσεται στην Κρυπτογραφία αλλά θεωρείται σαν ένα άλλο μέσο προστασίας στον τομέα της ασφάλειας. Αντίθετα με την Κρυπτογραφία, όπου σκοπός μας είναι να αλλάξουμε την πληροφορία που θέλουμε να ασφαλίσουμε από οποιουδήποτε είδους επίθεση με αποτέλεσμα η επιτιθέμενη οντότητα να μην μπορεί να βγάλει νόημα από τα στοιχεία που κατέχει για επίθεση, στην στεγανογραφία σκοπός μας είναι να κρύψουμε την ίδια την ύπαρξη της πληροφορίας. Η στεγανογραφία έχει ως σκοπό να αποκρύψει την ύπαρξη της πληροφορίας, σε αντίθεση με την κρυπτογραφία που σκοπεύει στην μετατροπή της πληροφορίας σε μη κατανοητή μορφή, έτσι ώστε ακόμα και αν γίνει αντιληπτή η ύπαρξη της πληροφορίας να μην μπορεί να διαβαστεί από άτομα που δεν είναι κάτοχοι του κλειδιού αποκρυπτογράφησης. Συνεπώς, για την

επίτευξη μεγαλύτερης ασφάλειας μπορούμε να συνδυάσουμε τη στεγανογραφία με την κρυπτογράφηση.

Για παράδειγμα, μπορούμε ένα αρχείο κειμένου πρώτα να το κρυπτογραφήσουμε και ύστερα να το κρύψουμε μέσα σε μια εικόνα, πάντοτε με την χρήση του κατάλληλου λογισμικού. Έτσι αν γίνει αντιληπτή η ύπαρξη του κειμένου μέσα στην εικόνα και ανακτηθεί μέσω στεγανάλυσης από ανεπιθύμητα άτομα, δε θα μπορεί παρόλα αυτά να διαβαστεί λόγω του ότι είναι κρυπτογραφημένο.

### 3.7 Μέθοδος LSB (Least Significant Bit)

Στην ψηφιακή στεγανογραφία, τα ευαίσθητα μηνύματα μπορεί να αποκρύπτονται με το χειρισμό και την αποθήκευση πληροφοριών στα λιγότερο σημαντικά bit ενός αρχείου εικόνας. Στο πλαίσιο μιας εικόνας, αν κάποιος χρήστης έπρεπε να χειριστεί τα δύο τελευταία bit ενός χρώματος σε ένα εικονοστοιχείο, η τιμή του χρώματος θα άλλαζε το πολύ σε +/- 3 θέσεις αξίας, κάτι που είναι πιθανό να είναι δυσδιάκριτο από το ανθρώπινο μάτι. Ο χρήστης μπορεί αργότερα να ανακτήσει αυτές τις πληροφορίες, εξάγοντας τα λιγότερο σημαντικά bit των χειρισμένων εικονοστοιχείων για να ανακτήσει το αρχικό μήνυμα. Αυτό επιτρέπει την απόκρυψη της αποθήκευσης ή της μεταφοράς ψηφιακών πληροφοριών.

Για να αποκρύψετε ένα μυστικό μήνυμα μέσα σε μια εικόνα, απαιτείται μία εικόνα "κάλυμμα". Επειδή αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί bit από κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσετε μια μορφή συμπίεσης χωρίς απώλειες, διαφορετικά οι κρυφές πληροφορίες θα χαθούν στο μετασχηματισμό ενός αλγόριθμου συμπίεσης με απώλειες.

Η αρχή στην οποία στηρίζεται ακολουθεί την εξής λογική: το λιγότερο σημαντικό ψηφίο από κάποια ή και από όλα τα pixels μία εικόνας κάλυψης αντικαθίστανται από ένα bit του κρυφού μηνύματος. Στην περίπτωση που το μέσο απόκρυψης είναι εικόνες 24-bit, αυτό το ψηφίο μπορεί να προέρχεται από κάθε χρωματική συνιστώσα της εικόνας: κόκκινο, πράσινο, μπλε. Δηλαδή σε κάθε pixel είναι δυνατό να γίνεται απόκρυψη 3 bits μηνύματος. Κατά αυτόν τον τρόπο σε μία εικόνα διαστάσεων 800X600 μπορούν να στεγανογραφηθούν 1.440.000 bits ή 180.000 bytes.

Για παράδειγμα, το ακόλουθο πλέγμα μπορεί να θεωρηθεί ως 3 εικονοστοιχεία μιας έγχρωμης εικόνας 24 bit, χρησιμοποιώντας 9 byte μνήμης:

```
(00100111 11101001 11001000)
(00100111 11001000 11101001)
(11001000 00100111 11101001)
```

Όταν ο χαρακτήρας A, η οποία δυαδική τιμή ισούται με 10000001, παρεμβάλλεται στο ακόλουθο πλέγμα:

```
(00100111 11101000 11001000)
(00100110 11001000 11101000)
(11001000 00100111 11101001)
```

Σε αυτήν την περίπτωση, χρειάστηκε να αλλαχτούν μόνο τρία bits για να εισαχθεί ο χαρακτήρας με επιτυχία.

Το προηγούμενο παράδειγμα περιγράφει μια πολύ απλοϊκή προσέγγιση απόκρυψης του μηνύματος αντικαθιστώντας το λιγότερο σημαντικό ψηφίο κάθε χρωματικής συνιστώσας σε συνεχόμενα εικονοστοιχεία έως ότου γίνει απόκρυψη όλου του μηνύματος. Μία τέτοια μέθοδος μπορεί να είναι γνώστη και κατά συνέπεια μπορεί εύκολα κάποιος να εξάγει το μήνυμα. Σε ένα πιο ασφαλές σύστημα ο αποστολέας και ο παραλήπτης χρησιμοποιούν ένα κρυφό κλειδί με το οποίο καθορίζονται τα εικονοστοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι εξασφαλίζεται ότι κάποιος



ανεπιθύμητος που δεν έχει στην κατοχή του το κλειδί δε μπορεί να γνωρίζει σε ποια εικονοστοιχεία είναι κρυμμένο το μήνυμα και κατά συνέπεια δεν μπορεί να το αποσπάσει.

### 3.8 Συμπερασματά LSB

Δεδομένου ότι υπάρχουν 256 δυνατοί συνδυασμοί για κάθε χρώμα, αλλάζοντας το λιγότερο σημαντικό ψηφίο των χρωματικών συνιστωσών κάθε pixel, το αποτέλεσμα έχει πολύ μικρές επιδράσεις στην ένταση των χρωμάτων. Αυτές οι αλλαγές δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι και έτσι το μήνυμα αποκρύπτεται επιτυχώς. Στην περίπτωση που η εικόνα δεν εμφανίζει πολλές ακμές ή μεγάλες χρωματικές αντιθέσεις κ.α. μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα bit (2 ή 3) από κάθε χρώμα και οι επιδράσεις να μην μπορούν και πάλι να γίνουν αντιληπτές.

Κατά μέσο όρο, μόνο τα μισά από τα bits μιας εικόνας θα πρέπει να τροποποιηθούν για να αποκρύψουν ένα μυστικό χρησιμοποιώντας το μέγιστο μέγεθος κάλυψης. Οι προκύπτουσες αλλαγές που έγιναν στο LSB είναι πολύ μικρές για να αναγνωριστούν από το ανθρώπινο μάτι, έτσι το μήνυμα κρύβεται αποτελεσματικά.

Ενώ χρησιμοποιείτε μια εικόνα 24 bit δίνει ένα σχετικά μεγάλο χώρο για να κρύψετε μηνύματα, είναι επίσης δυνατή η χρήση μιας εικόνας 8 bit ως πηγή κάλυψης. Λόγω του μικρότερου χώρου και διαφορετικών ιδιοτήτων, οι εικόνες 8 bit απαιτούν πιο προσεκτική προσέγγιση. Όπου εικόνες 24 bit χρησιμοποιούν τρία bytes για να αντιπροσωπεύουν ένα εικονοστοιχείο, μια εικόνα 8 bit χρησιμοποιεί μόνο ένα. Η αλλαγή του LSB αυτού του byte θα έχει ως αποτέλεσμα μια ορατή αλλαγή χρώματος, καθώς θα εμφανιστεί ένα άλλο χρώμα στη διαθέσιμη παλέτα. Επομένως, η εικόνα του καλύμματος πρέπει να επιλεγεί πιο προσεκτικά και κατά προτίμηση να είναι σε κλίμακα του γκρι, καθώς το ανθρώπινο μάτι δεν θα ανιχνεύσει τη διαφορά μεταξύ διαφορετικών γκρι τιμών τόσο εύκολη όσο και με διαφορετικά χρώματα. Τα μειονεκτήματα της χρήσης της μεταβολής του LSB, οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι απαιτεί ένα αρκετά μεγάλη εικόνα κάλυψης για να δημιουργήσετε ένα εύχρηστο ποσό κρυμμένου χώρου.

Ακόμα και τώρα, οι ασυμπίεστες εικόνες των 800 x 600 εικονοστοιχείων δεν χρησιμοποιούνται συχνά στο Διαδίκτυο, οπότε με τη χρήση αυτών ενδέχεται να αυξηθεί η υποψία. Ένα άλλο μειονέκτημα θα προκύψει όταν συμπιέζουμε μια εικόνα που κρύβει ένα μυστικό χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο συμπίεσης απώλειας. Το κρυφό μήνυμα δεν θα επιβιώσει σε αυτή τη λειτουργία και χάθηκε μετά τον μετασχηματισμό.

## 4 ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Με τον όρο Εικόνα νοείται η οπτική αντίληψη ενός συνόλου στο χώρο ή η δημιουργία φανταστικών σκηνών και η αναπαράστασή τους με τεχνικά μέσα. Η εικόνα είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές πληροφορίας. Ανέκαθεν οι άνθρωποι την χρησιμοποιούσαν γιατί όπως είναι γνωστό “Μια εικόνα ισούται με χίλιες λέξεις”. Παλαιότερα οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν την ζωγραφική για την αποτύπωση των σκέψεων τους, την γλυπτική ή την λογοτεχνία για να δημιουργήσει ο αναγνώστης την ιδεατή εικόνα στο μυαλό του. Όμως η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη έφερε τις εικόνες σε ηλεκτρονική μορφή έτσι μπορούμε πια να έχουμε περισσότερα οπτικά ερεθίσματα από εικόνες στην καθημερινότητα μας.

### 4.1 Από τον Αναλογικό Κόσμο στον Ψηφιακό

Ο πραγματικός κόσμος, στον οποίο είμαστε μέρος του, είναι ένας αναλογικός κόσμος αδιάλειπτος με συνέχεια. Ένας κόσμος στον οποίο εξελίσσονται συνεχή φαινόμενα και εμείς τα παρατηρούμε, τα αισθανόμαστε, τα καταγράφουμε και τα εξηγούμε με συνεχή τρόπο. Εν αντιθέσει ο ψηφιακός κόσμος αποτελείται από ακολουθίες διακριτών τιμών. Τα φαινόμενα και οι πληροφορίες γενικότερα, καταγράφονται σαν μια σειρά από αριθμούς. Η διαδικασία μετάβασης από τον αναλογικό στο ψηφιακό κόσμο συνεπάγεται με τη μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά. Αυτή η διαδικασία είναι ευρέως γνωστή ως ψηφιοποίηση και πραγματοποιείται με την Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM Pulse-Code Modulation). Η ψηφιακή πληροφορία αποτελείται από μια σειρά ακεραίων αριθμών και η ποιότητα της κάθε πληροφορίας εξαρτάται από το μέγεθος της αλλά και από την ανάλυση της κάθε ψηφιοποίησης.

### 4.2 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

Η μετάδοση σημάτων πληροφορίας, όπως τα σήματα φωνής και εικόνας, τα οποία είναι από τη φύση τους αναλογικά, απαιτεί τα σήματα αυτά να μετατραπούν σε ψηφιακά. Η χρήση της ψηφιακής αναπαράστασης των αναλογικών σημάτων προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

**Αντοχή** στο θόρυβο μετάδοσης και στην παρεμβολή,

Αποτελεσματική **αναγέννηση** του κωδικοποιημένου σήματος κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης και

Δυνατότητα **ομοιόμορφου σχήματος** μετάδοσης για διαφορετικά είδη σημάτων βασικής ζώνης.

Αυτά τα πλεονεκτήματα, ωστόσο, επιτυγχάνονται με το κόστος της αύξησης της απαίτησης σε εύρος ζώνης μετάδοσης και την αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Με την αυξανόμενη διαθεσιμότητα διαύλων επικοινωνίας ευρείας ζώνης και σε συνδυασμό με την εμφάνιση της

απαιτούμενης τεχνολογίας, η χρήση της **PCM** έχει γίνει πραγματικότητα. Οι ουσιώδεις λειτουργίες του πομπού ενός συστήματος PCM είναι η **δειγματοληψία**, η **κβαντοποίηση**, και η **κωδικοποίηση**. Οι λειτουργίες κβαντοποίησης και κωδικοποίησης, συνήθως εκτελούνται με το ίδιο κύκλωμα, το οποίο ονομάζεται **μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό**. Οι ουσιώδεις λειτουργίες του δέκτη είναι η **αναγέννηση** των εξασθετισμένων σημάτων, η **αποκωδικοποίηση** και η **αποδιαμόρφωση** της ακολουθίας των κβαντισμένων σημάτων. Η αναγέννηση συνήθως εμφανίζεται σε ενδιάμεσα στάδια κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης, όπου είναι απαραίτητο.

#### 4.2.1 Δειγματοληψία-Θεώρημα Nyquist-Shannon

Δειγματοληψία είναι η μετατροπή ενός συνεχούς σήματος σε διακριτό. Το δείγμα συνήθως αναφέρεται σε μια τιμή του συνεχούς σήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο δειγματολήπτης είναι ένα σύστημα το οποίο εξάγει δείγματα (σε ίσα χρονικά διαστήματα) από ένα συνεχές σήμα. Ένας θεωρητικός ιδανικός δειγματολήπτης δημιουργεί δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στην στιγμιαία τιμή του συνεχές σήματος στα επιθυμητά χρονικά σημεία. Έστω  $x(t)$  ένα συνεχές, μονοδιάστατο σήμα στο οποίο θα γίνει δειγματοληψία. Η δειγματοληψία θα γίνει παίρνοντας δείγματα του σήματος (τιμή της συνάρτησης) ανά σταθερές χρονικές στιγμές, δηλαδή κάθε  $T$  δευτερόλεπτα.  $T$  ονομάζεται η περίοδος δειγματοληψίας του σήματος. Το σήμα  $x[n]$  στο οποίο έγινε η δειγματοληψία δίνεται από το τύπο:

$$x[n] = x(nT), \text{ με } n = 0, +1, +2, \dots$$

Η συχνότητα δειγματοληψίας ή ρυθμός δειγματοληψίας μετριέται στην μονάδα μέτρησης Χερτζ (Hz) και μας δείχνει πόσα δείγματα έχουν ληφθεί από τον δειγματολήπτη σε διάρκεια ενός δευτερολέπτου. Η συχνότητα δειγματοληψίας  $f_s$  (ο συμβολισμός  $f_s$  προκύπτει από τα αρχικά *sampling frequency* - συχνότητα δειγματοληψίας), σημαίνει ότι ο δειγματολήπτης δημιουργεί  $n$  δείγματα σε κάθε δευτερόλεπτο σήματος. Η χρονική απόσταση των δειγμάτων υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_s = 1/T$$

όπου  $T$  είναι η περίοδος δειγματοληψίας.

Το θεώρημα δειγματοληψίας του Nyquist-Shannon εισάγει την έννοια ενός ποσοστού του δείγματος που είναι επαρκής για την τέλεια πιστότητα για την κατηγορία των λειτουργιών που είναι περιορισμένου εύρους σε ένα δεδομένο εύρος ζώνης, έτσι ώστε καμία πραγματική πληροφορία να μην χάνεται κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας. Εκφράζει τον επαρκή ρυθμό δειγμάτων από την

άποψη του εύρους ζώνης για την κλάση των συναρτήσεων. Αυτός ο τύπος είναι:

$$F_s \geq 2 F_n$$

Όπου  $F_n$  είναι η περίοδος του εκάστοτε σήματος.

### 4.2.2 Κβαντισμός

Στην πραγματικότητα όμως δεν είναι απαραίτητο να μεταδίδουμε τα ακριβή πλάτη των δειγμάτων. Οποιαδήποτε ανθρώπινη αίσθηση (π.χ. το αυτί, το μάτι), σαν τελικός δέκτης, μπορεί να ανιχνεύσει πεπερασμένες διαφορές έντασης. Αυτό σημαίνει ότι το αρχικό συνεχές σήμα μπορεί να προσεγγιστεί από ένα σήμα το οποίο κατασκευάζεται από διακριτά πλάτη, επιλεγμένα από ένα διαθέσιμο σύνολο με βάση την ελαχιστοποίηση του σφάλματος. Η ύπαρξη ενός πεπερασμένου αριθμού διακριτών σταθμών πλάτους είναι μια βασική συνθήκη της PCM. Προφανώς εάν καθορίσουμε διακριτές στάθμες πλάτους με αρκετά μικρό βήμα μεταξύ τους, μπορούμε να κάνουμε το προσεγγιζόμενο σήμα να μη ξεχωρίζει πρακτικά από το αρχικό συνεχές σήμα. Η μετατροπή ενός αναλογικού (συνεχούς) δείγματος του σήματος σε μια ψηφιακή (διακριτή) μορφή καλείται διαδικασία κβαντοποίησης. Γραφικά, η διαδικασία κβαντοποίησης σημαίνει ότι μια ευθεία γραμμή που παριστάνει τη σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου ενός γραμμικού συνεχούς συστήματος αντικαθίσταται από μια κλιμακωτή χαρακτηριστική. Η διαφορά μεταξύ των δύο γειτονικών διακριτών τιμών ονομάζεται κβάντο (quantum) ή μέγεθος βήματος (step - size). Τα σήματα που εφαρμόζονται σε έναν κβαντιστή, ταξινομούνται σε στάθμες πλάτους (βήματα) και όλα τα σήματα εισόδου τα οποία βρίσκονται στο συν ή πλην μισό ενός κβάντου της μεσαίας τιμής μιας στάθμης, αντικαθίστανται στην έξοδο από την υπόψη μεσαία τιμή. Οι διαφορές μεταξύ του αναλογικού σήματος στην είσοδο με το κβαντισμένο σήμα στην έξοδο ονομάζεται σφάλμα κβαντισμού (quantizing error) ή θόρυβος κβάντισης. Είναι φανερό ότι η μέγιστη στιγμιαία τιμή αυτού του σφάλματος είναι το μισό ενός κβάντου και το συνολικό εύρος της μεταβολής είναι από -μισό έως +μισό βήμα. Επίσης μπορεί να αποδειχθεί ότι η μέση τιμή του σφάλματος κβάντισης δίνεται από τη σχέση :

$$\langle q_e^2 \rangle = \delta^2/12$$

Η έξοδος του κβαντιστή μπορεί αναλυτικά να εκφραστεί στη μορφή  $H_i \delta$  όπου  $\pm H_i = 0, 1, 2, \dots$  και  $\delta$  όπως είπαμε το μέγεθος του κβάντου. Στην πιο απλή περίπτωση το  $\delta$  είναι κανονικοποιημένο στην τιμή 1. Ένας κβαντιστής που έχει αυτή τη σχέση εισόδου - εξόδου καλείται τύπου μέσου πατήματος, επειδή η αρχή των αξόνων βρίσκεται στο μέσο ενός οριζώντιου τμήματος του

σκαλοπατιού στο κλιμακωτό γράφημα. Η διαδικασία κβαντοποίησης, όπως την περιγράψαμε πιο πάνω, χρησιμοποιεί ομοιόμορφη απόσταση μεταξύ των επιπέδων κβαντισμού. Σε κάποιες εφαρμογές, ωστόσο, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί μεταβλητή απόσταση μεταξύ των επιπέδων κβαντισμού. Χρησιμοποιώντας έναν μη ομοιόμορφο κβαντιστή με το χαρακτηριστικό ότι το μέγεθος του βήματος αυξάνει, καθώς η απόσταση από την αρχή των αξόνων της χαρακτηριστικής πλάτους εισόδου - εξόδου αυξάνει, το τελευταίο μεγάλο βήμα του κβαντιστή μπορεί να συμπεριλάβει όλες τις πιθανές περιπλανήσεις του σήματος φωνής στις μεγάλες στάθμες πλάτους, οι οποίες συμβαίνουν σχετικά σπάνια. Με άλλα λόγια, τα ασθενή διαστήματα, που χρειάζονται περισσότερη προστασία, προτιμούνται σε βάρος των ισχυρών διαστημάτων. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια ποσοστιαία ομοιόμορφη ακρίβεια στο μεγαλύτερο τμήμα του πεδίου τιμών του σήματος εισόδου, με αποτέλεσμα να απαιτούνται λιγότερα βήματα από ότι στη περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν ομοιόμορφος κβαντιστής. Η χρήση ενός μη ομοιόμορφου κβαντιστή είναι ισοδύναμη με τη διέλευση του σήματος βασικής ζώνης μέσω ενός συμπίεστη και στη συνέχεια την εφαρμογή του συμπίεσμένου σήματος σε ομοιόμορφο κβαντιστή. Για να επαναφέρουμε τα δείγματα του σήματος στην αντίστοιχη σωστή στάθμη πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μια διάταξη στο δέκτη με χαρακτηριστική συμπληρωματικής εκείνης του συμπίεστη. Μια τέτοια διάταξη ονομάζεται αποσυμπιεστής. Στην ιδανική περίπτωση, οι νόμοι συμπίεσης και αποσυμπίεσης είναι ακριβώς αντίστροφοι έτσι ώστε εκτός από την επίδραση της κβαντοποίησης η έξοδος του αποσυμπιεστή να είναι ίση με την είσοδο του συμπίεστη. Ο συνδυασμός ενός συμπίεστη και ενός αποσυμπιεστή ονομάζεται συμπίεστής – αποσυμπιεστής.

### 4.2.3 Κωδικοποίηση

Συνδυάζοντας τις διαδικασίες δειγματοληψίας και κβαντοποίησης, ένα συνεχές σήμα βασικής ζώνης περιορίζεται σε ένα διακριτό σύνολο τιμών, αλλά όχι σε μορφή που να ταιριάζει καλά σε μετάδοση μέσω μίας γραμμής ή ενός ραδιοδιαύλου. Για να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα δειγματοληψίας και κβαντοποίησης απαιτείται η χρησιμοποίησης μίας διαδικασίας κωδικοποίησης για τη μετατροπή του διακριτού συνόλου των τιμών των δειγμάτων σε μια πιο κατάλληλη μορφή. Κάθε σχέδιο για την αναπαράσταση καθενός από αυτά τα διακριτά σύνολα τιμών σαν μια ιδιαίτερη διάταξη διακριτών γεγονότων ονομάζεται κώδικας. Ένα από τα διακριτά γεγονότα σε ένα κώδικα ονομάζεται στοιχείο του κώδικα ή σύμβολο. Μια ιδιαίτερη διάταξη συμβόλων, που χρησιμοποιείται σε ένα κώδικα, για την παράσταση μίας μόνο τιμής του διακριτού συνόλου ονομάζεται κωδική λέξη ή χαρακτήρας. Σε ένα δυαδικό κώδικα κάθε σύμβολο μπορεί να πάρει μια από δύο διακριτές

τιμές ή είδη, όπως η παρουσία ή η απουσία ενός παλμού. Τα δύο σύμβολα ενός δυαδικού κώδικα συνήθως συμβολίζονται με 0 και 1. Σε ένα τριαδικό κώδικα, κάθε σύμβολο μπορεί να είναι μια από τρεις διακριτές τιμές ή είδη, και πάει λέγοντας για τους άλλους κώδικες. Ωστόσο, τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την επίδραση του θορύβου σε ένα μέσο μετάδοσης, επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας δυαδικό κώδικα και αυτό επειδή ένα δυαδικό σύμβολο αντέχει μια σχετικά υψηλή στάθμη θορύβου και είναι εύκολο να αναγεννηθεί.

Τα προηγούμενα βήματα αφορούν τον πομπό. Στον δέκτη υπάρχουν τρεις λειτουργίες η αναγέννηση, η αποκωδικοποίηση και η αποδιαμόρφωση. Για να ανακτήθει το αρχικό σήμα από τα δεδομένα του δείγματος, ένας "αποδιαμορφωτής" μπορεί να εφαρμόζει τη διαδικασία της διαμόρφωσης αντίστροφα. Μετά από κάθε περίοδο δειγματοληψίας, ο αποδιαμορφωτής διαβάζει την επόμενη τιμή και μετατοπίζει το σήμα εξόδου στη νέα τιμή. Ως αποτέλεσμα αυτών των μεταβάσεων, το σήμα έχει ένα σημαντικό ποσό ενέργειας υψηλής συχνότητας που προκαλείται από aliasing. Για να καταργηθούν αυτές οι ανεπιθύμητες συχνότητες και να μείνει το αρχικό σήμα, ο αποδιαμορφωτής περνάει το σήμα μέσω αναλογικών φίλτρων που αποκρύπτουν ενέργεια εκτός του αναμενόμενου εύρους συχνοτήτων (μεγαλύτερη από τη συχνότητα Nyquist  $f_s/2$ ). Το θεώρημα δειγματοληψίας εμφανίζει τις συσκευές PCM οι οποίες μπορεί να λειτουργήσουν χωρίς την εισαγωγή στρεβλώσεων στο εσωτερικό σχεδιαστικών συχνοτήτων τους, εφόσον παρέχουν μία συχνότητα δειγματοληψίας διπλάσια από αυτή του σήματος εισόδου.

#### 4.2.4 Αναγέννηση

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων PCM βρίσκεται στην ικανότητα να ελέγχουν τις επιδράσεις της παραμόρφωσης και του θορύβου που παράγονται κατά την μετάδοση μιας κυματομορφής PCM μέσω ενός διαύλου. Αυτή η δυνατότητα επιτυγχάνεται με την ανακατασκευή της κυματομορφής PCM μέσω μιας αλυσίδας αναγεννητικών επαναληπτών που είναι τοποθετημένοι σε αρκετά μικρή απόσταση κατά μήκος της διαδρομής μετάδοσης. Ο αναγεννητικός επαναλήπτης εκτελεί τρεις βασικές λειτουργίες. Την ισοστάθμιση, τον χρονισμό και τη λήψη απόφασης. Ο ισοσταθμιστής μορφοποιεί τους λαμβανόμενους παλμούς έτσι ώστε να αντισταθμίζει τις επιδράσεις παραμόρφωσης πλάτους και φάσης που παράγονται από τη χαρακτηριστική μετάδοση του διαύλου. Το κύκλωμα χρονισμού περιέχει μια περιοδική ακολουθία παλμών, που παράγεται από τους λαμβανόμενους παλμούς, για τη δειγματοληψία των ισοσταθμισμένων παλμών σε χρονικές στιγμές όπου ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι μέγιστος. Η διάταξη απόφασης ενεργοποιείται όταν στο χρόνο δειγματοληψίας που καθορίζεται από το κύκλωμα χρονισμού, το

πλάτος του ισοσταθμισμένου παλμού με το θόρυβο ξεπερνά μια προκαθορισμένη στάθμη τάσης. Έτσι για παράδειγμα, σε ένα σύστημα PCM με τροφοδοσία on - off, ο επαναλήπτης παίρνει μια απόφαση σε κάθε διάρκεια bit κατά πόσο υπάρχει ή όχι παλμός. Εάν η απόφαση είναι "ναι", μεταδίδεται ένας καινούργιος παλμός προς το επόμενο επαναλήπτη. Αν από την άλλη πλευρά η απόφαση είναι "όχι", μεταδίδεται μια καθαρή μηδενική στάθμη. Κατά αυτό τον τρόπο η συσσώρευση παραμόρφωσης και θορύβου σε ένα διάστημα μεταξύ επαναληπτών απαλείφεται πλήρως, με την προϋπόθεση ότι η παρενόχληση δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλέσει σφάλμα στη διαδικασία λήψης απόφασης. Στην ιδανική περίπτωση, εκτός από την καθυστέρηση, το αναδημιουργούμενο σήμα είναι ακριβώς το ίδιο όπως το αρχικά μεταδιδόμενο σήμα. Στην πράξη όμως, το αναδημιουργούμενο σήμα διαφέρει από το αρχικό σήμα για δύο κυρίως λόγους :

Η παρουσία θορύβου μετάδοσης και η παρεμβολή περιστασιακά προκαλούν λανθασμένες αποφάσεις στον επαναλήπτη εισάγοντας έτσι λανθασμένα bit στο αναδημιουργούμενο σήμα.

Εάν η απόσταση μεταξύ των λαμβανόμενων παλμών αποκλίνει από την αρχική τιμή της, εισάγεται ένα παίξιμο (jitter) στη θέση του αναδημιουργούμενου παλμού προκαλώντας με αυτό τον τρόπο παραμόρφωση.

#### **4.2.5 Αποκωδικοποίηση**

Η πρώτη λειτουργία στον δέκτη είναι η αναγέννηση (επαναμορφοποίηση και καθαρισμός) των λαμβανόμενων παλμών. Αυτοί οι καθαροί παλμοί, στη συνέχεια, ομαδοποιούνται ξανά σε κωδικές λέξεις και αποκωδικοποιούνται (δηλαδή αντιστοιχίζονται) σε ένα κβαντισμένο σήμα PAM (διαμόρφωση πλάτους παλμών). Στη διαμόρφωση πλάτους παλμών (Pulse - Amplitude Modulation), τα πλάτη ισαπέχοντων ορθογώνιων παλμών μεταβάλλονται σύμφωνα με τις στιγμιαίες τιμές των δειγμάτων ενός συνεχούς σήματος πληροφορίας. Η διαδικασία αποκωδικοποίησης περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός παλμού, το πλάτος του οποίου είναι το γραμμικό άθροισμα όλων των παλμών στη κωδική λέξη, με τον κάθε παλμό να έχει βάρος την τιμή της θέσης του ( $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, \dots$ ) στον κώδικα. Η τελική λειτουργία στον δέκτη είναι η ανάκτηση της κυματομορφής σήματος περνώντας την έξοδο του αποκωδικοποιητή μέσω ενός βαθυπερατού φίλτρου ανακατασκευής, του οποίου η συχνότητα αποκοπής είναι ίση με το εύρος ζώνης  $W$  της πληροφορίας. Υποθέτοντας ότι η διαδρομή μετάδοσης είναι ελεύθερη από σφάλματα, το σήμα που ανακτάται δεν περιλαμβάνει θόρυβο, με εξαίρεση την αρχική παραμόρφωση που εισάγεται από την διαδικασία κβαντοποίησης.

#### 4.2.6 Αποδιαμόρφωση

Σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν PCM, είναι φυσικό να πολυπλέκονται διάφορες πηγές πληροφορίας με διαίρεση στο χρόνο, ενώ κάθε πηγή κρατάει την ανεξαρτησία της, καθ' όλη τη διαδρομή από τον πομπό στον δέκτη. Αυτή η ανεξαρτησία είναι υπεύθυνη για τη συγκριτική ευκολία με την οποία οι πηγές πληροφορίας μπορούν να βγούνε ή να ξαναμπούν σε ένα σύστημα πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου. Καθώς ο αριθμός των ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας αυξάνει, το διάστημα χρόνου που διατίθεται σε μία πηγή πρέπει να μειωθεί καθώς όλες πρέπει να εξυπηρετηθούν μέσα σε ένα χρονικό διάστημα ίσο με το αντίστροφο του ρυθμού δειγματοληψίας. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι μειώνεται η επιτρεπόμενη διάρκεια της κωδικής λέξης που παριστάνει ένα απλό δείγμα. Ωστόσο, η παραγωγή και μετάδοση των παλμών τείνει να γίνει δυσκολότερη καθώς η διάρκειά τους μειώνεται. Επιπλέον, εάν οι παλμοί γίνουν πολύ μικροί, τα σφάλματα στο μέσο μετάδοσης αρχίζουν να παρεμβάλλουν στην ορθή λειτουργία του συστήματος. Συνεπώς, στην πράξη είναι απαραίτητο να περιορίσουμε τον αριθμό των ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας που μπορούν να περιληφθούν σε μια ομάδα διαίρεσης χρόνου. Για να λειτουργήσει ικανοποιητικά ένα σύστημα PCM με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου, είναι απαραίτητο οι λειτουργίες χρονισμού στον δέκτη, εκτός από τον χρόνο που χάνεται στη μετάδοση και στην αναγέννηση, να ακολουθούν από κοντά τις αντίστοιχες λειτουργίες στον πομπό. Γενικά, αυτό ισοδυναμεί με ότι το τοπικό ρολόι στο δέκτη πρέπει να κρατάει τον ίδιο χρόνο με ένα σταθερό μακρινό ρολόι στον πομπό, εκτός του ότι το τοπικό ρολόι καθυστερεί κατά μια ποσότητα που αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για τη μετάδοση του σήματος πληροφορίας από τον πομπό στον δέκτη. Μια διαδικασία για τον συγχρονισμό των ρολογιών πομπού και δέκτη είναι να προσαρτηθεί ένα στοιχείο του κώδικα ή παλμός στο τέλος ενός πλαισίου (frame) (το οποίο είναι η διαδοχή κωδικών λέξεων που προέρχονται από κάθε μία από τις ανεξάρτητες πηγές πληροφορίας και να μεταδίδει τον παλμό αυτό σε κάθε πλαίσιο. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο δέκτης περιλαμβάνει ένα κύκλωμα το οποίο ψάχνει για το σχηματισμό εναλλασσόμενων 1 και 0, με ρυθμό το μισό του ρυθμού πλαισίων, και έτσι επιτυγχάνει συγχρονισμό μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Όταν η μετάδοση διακόπτεται είναι αρκετά απίθανο ότι τα ρολόγια πομπού και δέκτη θα συνεχίσουν να δείχνουν τον ίδιο χρόνο για αρκετό χρονικό διάστημα. Συνεπώς, κατά την εκτέλεση μιας διαδικασίας συγχρονισμού πρέπει να ορίσουμε μια διαφορετική διαδικασία για την ανίχνευση του παλμού συγχρονισμού. Η διαδικασία συνίσταται στην παρατήρηση στοιχείων του κώδικα ένα προς ένα, μέχρι να ανιχνευτεί ο παλμός συγχρονισμού. Δηλαδή μετά την παρατήρηση κάποιου συγκεκριμένου στοιχείου του



κώδικα για αρκετό χρόνο ώστε να βεβαιωθούμε ότι δεν είναι παλμός συγχρονισμού, το ρολόι του δέκτη οπισθοχωρεί κατά ένα στοιχείο κώδικα και παρατηρείται το επόμενο στοιχείο κώδικα. Αυτή η διαδικασία αναζήτησης επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ανιχνευτεί ο παλμός συγχρονισμού. Προφανώς, ο χρόνος που απαιτείται για τον συγχρονισμό εξαρτάται από την στιγμή κατά την οποία επανακαθίσταται η σωστή μετάδοση.

#### 4.2.7 Απαιτούμενο Εύρος Ζώνης PCM

Έστω ότι σε ένα σύστημα PCM χρησιμοποιούνται  $L$  στάθμες κβάντισης με :

$$L = 2^n \rightarrow n = \log_2 L$$

όπου  $n$  ο ακέραιος αριθμός ψηφίων του δυαδικού συστήματος. Στην περίπτωση αυτή χρειάζονται  $n$  παλμοί για την κωδικοποίηση κάθε κβαντισμένου δείγματος του αναλογικού σήματος  $m(t)$ . Αν το αναλογικό σήμα  $m(t)$  έχει μέγιστη συχνότητα  $f_m$  και ρυθμό δειγματοληψίας  $f_s \geq 2f_m$ , τότε θα χρειαστούν  $n f_s$  δυαδικοί παλμοί το δευτερόλεπτο. Δηλαδή αν το σήμα PCM είναι ένα σήμα βασικής ζώνης με συχνότητα  $f_{PCM}$ , τότε ο απαιτούμενος ελάχιστος ρυθμός δειγματοληψίας είναι :

$$2f_{PCM}$$

Όπου

$$2f_{PCM} = n f_s \geq n f_m$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι το απαιτούμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων για ένα σύστημα PCM εξαρτάται από το εύρος  $f_m$  του αναλογικού σήματος και από τον αριθμό των παλμών  $n$  (bits) που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δειγμάτων.

#### 4.3 Bit

Τα φαινόμενα και οι πληροφορίες γενικότερα, καταγράφονται σαν μια ακολουθία από αριθμούς που αντιστοιχούν στα δείγματα του φαινομένου. Η καταγραφή αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας το δυαδικό σύστημα που απεικονίζει κάθε μέγεθος με μια σειρά από Δυαδικά Ψηφία (Binary Units ή bits όπως είναι πιο γνωστά). Κάθε bit, όπως λέει και το όνομά του (δυαδικό), μπορεί να πάρει μόνο τις τιμές 1 ή 0. Η κωδικοποίηση αυτή είναι εξαιρετικά βολική για τον κόσμο των ηλεκτρονικών υπολογιστών που καθώς, σε απόλυτη απλοποίηση, δεν είναι παρά ηλεκτρονικές συσκευές, μπορούν με μεγάλη ευκολία να εντοπίσουν την ύπαρξη ή την απουσία κάποιας ηλεκτρικής τάσης σε κάποιο σημείο. Αν εντοπίσουν την ηλεκτρική τάση, έχουμε μια κατάσταση, ας πούμε κατάσταση “1”, αν

δεν την εντοπίσουν έχουμε μία άλλη κατάσταση, ας πούμε κατάσταση “0”. Γίνεται λοιπόν προφανές πώς τιμές που εκφράζονται με το δυαδικό σύστημα μπορούν να αναγνωριστούν με ευκολία από ηλεκτρονικά κυκλώματα διακοπών που είτε είναι ανοικτοί (αξία 0) είτε κλειστοί (αξία 1). Μην μπερδεύεστε εδώ με την διαφοροποίηση στη χρήση των όρων ανάμεσα στα Ελληνικά και τα Αγγλικά, καθώς ένας διακόπτης είναι «κλειστός» όταν η δημιουργεί μια σύνδεση δηλαδή είναι «On» και «Ανοικτός» όταν η σύνδεση έχει διακοπεί, δηλαδή είναι «Off» (!!). Το **bit** είναι η στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας στην Επιστήμη Υπολογιστών και στις Τηλεπικοινωνίες. Ένα bit είναι η ποσότητα της πληροφορίας που μπορεί να αποθηκευτεί από μία δυαδική συσκευή, ή από άλλο φυσικό σύστημα το οποίο μπορεί να υπάρχει σε μία από δύο διακριτές καταστάσεις (για παράδειγμα, αυτές οι καταστάσεις μπορούν να είναι οι δύο στάσεις ενός Flip Flop, οι δύο θέσεις ενός διακόπτη, οι δύο τάσεις ηλεκτρικού ρεύματος που επιτρέπονται σε ένα κύκλωμα, δύο διακριτές εντάσεις φωτός, δύο κατευθύνσεις μαγνητισμού ή πόλωσης, κλπ.). Στην επιστήμη των υπολογιστών, ένα bit μπορεί επιπλέον να οριστεί ως μια μεταβλητή, ή ως μια υπολογίσιμη ποσότητα η οποία μπορεί να έχει μόνο δύο πιθανές τιμές. Αυτές οι δύο τιμές συνήθως ερμηνεύονται ως *δυαδικά ψηφία* και αναπαριστούνται με τους αριθμούς 0 και 1. Η λέξη bit στα αγγλικά προκύπτει από των λέξεων **B**inary digi**T**, αλλά κυριολεκτικά σημαίνει και «μικροσκοπικό τμήμα, κομματάκι». Στα ελληνικά έχει αποδοθεί **δυφίο** (κατά τον ΕΛΟΤ, και ακολουθώντας το σκεπτικό σύντμησης από τα αγγλικά), από τη σύντμηση των λέξεων **Δ**Υαδικό ψη**Φ**ΙΟ, όρος που δεν έχει χρησιμοποιηθεί καθόλου στη βιβλιογραφία. Οι δύο τιμές που μπορεί να πάρει ένα bit μπορούν να ερμηνευθούν ως λογικές τιμές (αληθές/ψευδές, ναι/όχι), ως al values (true/false, yes/no), ως αλγεβρικά πρόσημα (+/-), ως κατάσταση ενεργοποίησης (ενεργό/ανενεργό, on/off), η ως οποιαδήποτε άλλη ιδιότητα η οποία μπορεί να πάρει μόνο δύο τιμές. Η αντιστοιχία μεταξύ αυτών των δύο τιμών και της φυσικής κατάστασης της συσκευής, είναι απλά θέμα σύμβασης, και μπορεί να χρησιμοποιούνται με διαφορετικό τρόπο ακόμα και μέσα στην ίδια συσκευή ή πρόγραμμα. Το μήκος ενός ψηφιακού αριθμού ονομάζεται «μήκος bit».

Η κωδικοποίηση των δεδομένων με διακριτά κομμάτια χρησιμοποιήθηκε στις διάτρητες κάρτες που εφευρέθηκαν από τους Basile Bouchon και Jean-Baptiste Falcon (1732), που αναπτύχθηκαν από τον Joseph Marie Jacquard (1804) και υιοθετήθηκαν αργότερα από τον Semen Korsakov, τον Charles Babbage, τον Hermann Hollerith και κατασκευαστές υπολογιστών όπως η IBM. Μια άλλη παραλλαγή αυτής της ιδέας ήταν η διάτρητη χαρτοταινία. Σε όλα αυτά τα συστήματα, το μέσο (κάρτα ή ταινία) φέρει θεωρητικά μια σειρά από θέσεις οπών. Κάθε θέση θα μπορούσε να είναι είτε διάτρητη είτε όχι, φέρνοντας έτσι ένα κομμάτι πληροφοριών. Η κωδικοποίηση κειμένου με δυαδικά

ψηφία χρησιμοποιήθηκε επίσης στον κώδικα Morse (1844) και στις πρώτες μηχανές ψηφιακών επικοινωνιών, όπως οι τηλετυπικές συσκευές και οι μηχανές χαρτονομισμάτων (1870). Ο Ralph Hartley πρότεινε τη χρήση ενός λογαριθμικού μέτρου πληροφορίας το 1928. Ο Claude E. Shannon χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τη λέξη bit στην τεκμηριωμένη του επιστήμη του 1948 ‘Μια Μαθηματική Θεωρία της Επικοινωνίας’. Αποδόθηκε η προέλευσή του στον John W. Tukey, ο οποίος είχε γράψει ένα σημείωμα Bell Labs στις 9 Ιανουαρίου 1947, στο οποίο ανέθεσε το "ψηφιακό ψηφίο πληροφοριών" απλά "λίγο". Είναι ενδιαφέρον ότι ο Vannevar Bush είχε γράψει το 1936 "κομμάτια πληροφορίας" που θα μπορούσαν να αποθηκευτούν στις διάτρητες κάρτες που χρησιμοποιούνται στους μηχανικούς υπολογιστές εκείνης της εποχής. Ο πρώτος προγραμματιζόμενος υπολογιστής που κατασκευάστηκε από τον Konrad Zuse χρησιμοποίησε δυαδικό συμβολισμό για αριθμούς.

#### 4.4 Byte

Το **byte** είναι μονάδα μέτρησης ποσότητας πληροφορίας στα υπολογιστικά συστήματα, εμφανιζόμενη συνήθως στα διάφορα επίπεδα της ιεραρχίας μνήμης τους. Ένα byte ισοδυναμεί με 8 bit. Το byte μπορεί να αντιπροσωπεύσει τιμές από 0 έως και 255 στο δεκαδικό σύστημα ( $2^8=256$  τιμές). Γενικά μια σειρά με  $n$  bits αντιπροσωπεύουν  $2^n$  διαφορετικές τιμές. Το byte είναι και η βασική μονάδα μέτρησης (χώρου και πληροφορίας) στα υπολογιστικά συστήματα. Παλαιότερα είχαν χρησιμοποιηθεί σε διάφορους υπολογιστές και άλλες μονάδες, από 1 ως 60 bit, αλλά σήμερα επικρατεί το οκτάμπιτο byte. Ένας λόγος γι' αυτό είναι η συμβατότητά του με το οκτάμπιτο πρότυπο ASCII.

#### 4.5 Bit Plane

Ένα επίπεδο bit ενός ψηφιακού διακεκριμένου σήματος (όπως η εικόνα ή ο ήχος) είναι ένα σύνολο από δυαδικά ψηφία που αντιστοιχούν σε μια δεδομένη θέση δυαδικού ψηφίου σε κάθε έναν από τους δυαδικούς αριθμούς που αντιπροσωπεύουν το σήμα. Για παράδειγμα, για αναπαράσταση δεδομένων 16-bit υπάρχουν επίπεδα 16 bit: το πρώτο επίπεδο bit περιέχει το σύνολο του πιο σημαντικού δυαδικού ψηφίου και το 16ο περιέχει το λιγότερο σημαντικό bit. Είναι δυνατόν να δούμε ότι το πρώτο επίπεδο bit δίνει την πιο σκληρή, αλλά την πιο κρίσιμη προσέγγιση των τιμών ενός μέσου και όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός του επιπέδου δυφίων, τόσο μικρότερη είναι η

συμβολή του στο τελικό στάδιο. Έτσι, η προσθήκη ενός επιπέδου bit δίνει μια καλύτερη προσέγγιση. Εάν ένα κομμάτι στο επίπεδο του δυαδικού ψηφίου σε ένα σύνολο δεδομένων m-bit έχει οριστεί σε 1, συνεισφέρει μια τιμή 2<sup>(m-n)</sup>, διαφορετικά δεν συνεισφέρει τίποτα. Επομένως, τα επίπεδα δυαδικών ψηφίων μπορούν να συμβάλλουν στο μισό της τιμής του προηγούμενου επιπέδου δυαδικών ψηφίων. Το bit-level χρησιμοποιείται μερικές φορές ως συνώνυμο του Bitmap. Ωστόσο, τεχνικά το πρώτο αναφέρεται στην τοποθεσία των δεδομένων στη μνήμη και η τελευταία στα δεδομένα. Μία πτυχή της χρήσης δυαδικών ψηφίων καθορίζει εάν ένα επίπεδο δυαδικών ψηφίων είναι τυχαίος θόρυβος ή περιέχει σημαντικές πληροφορίες. Μία μέθοδος για τον υπολογισμό αυτό συγκρίνει κάθε εικονοστοιχείο (X, Y) με τρία παρακείμενα εικονοστοιχεία (X-1, Y), (X, Y-1) και (X-1, Y-1). Εάν το εικονοστοιχείο είναι το ίδιο με τουλάχιστον δύο από τα τρία παρακείμενα εικονοστοιχεία, δεν είναι θόρυβος. Ένα θορυβώδες bit-plane θα έχει 49% έως 51% pixels που είναι θόρυβος.

## 4.6 Pixel

Εικονοστοιχείο ή pixel (ακρωνύμιο του αγγλικού picture element, στοιχείο εικόνας) είναι ένα "σημείο" μιας εικόνας που εμφανίζεται στην οθόνη ενός υπολογιστικού συστήματος, δηλαδή, για το υπολογιστικό σύστημα, ένα δείγμα πληροφορίας. Στον υπολογιστή η εικόνα αναπαριστάται υπό τη μορφή "ψηφιδωτού". Το εικονοστοιχείο είναι, απλά, μια ψηφίδα του ψηφιδωτού αυτού και, ως εκ τούτου, θεωρείται ως το μικρότερο πλήρες δείγμα μιας εικόνας. Στην οθόνη ενός υπολογιστή οι εικόνες αναπαριστώνται με "υποδιαίρεση" της οθόνης σε ένα δισδιάστατο πίνακα με στήλες και γραμμές. Κάθε "κελί" σε ένα τέτοιο πίνακα είναι ένα εικονοστοιχείο. Ο αριθμός των υποδιαίρεσεων είναι επαρκώς μεγάλος, τόσο ώστε το ανθρώπινο μάτι να μη μπορεί να διακρίνει το ένα εικονοστοιχείο από το άλλο και να βλέπει την εικόνα ενιαία.

## 4.7 Ανάλυση Εικόνας

Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη αναφέρεται ως ανάλυση της εικόνας και είναι κανονικά ένα ζεύγος αριθμών (MxN). Ο πρώτος είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων που μπορούν να εμφανιστούν οριζόντια στην οθόνη και ο δεύτερος ο αριθμός των εικονοστοιχείων καθέτως. Όσο μεγαλύτερη η ανάλυση, τόσο περισσότερα εικονοστοιχεία μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη την ίδια στιγμή, ωστόσο επειδή τα εικονοστοιχεία είναι μικρότερα σε

μεγαλύτερες αναλύσεις, οι λεπτομέρειες μπορεί να μη διακρίνονται καλά σε μια μικρή οθόνη. Οι αναλύσεις, γενικά, χωρίζονται σε προκαθορισμένα τυπικά σύνολα και μόνο μερικές διαφορετικές αναλύσεις χρησιμοποιούνται από τους περισσότερους υπολογιστές. Ο λόγος των διαστάσεων της εικόνας είναι ο λόγος του αριθμού των X (οριζοντίων) εικονοστοιχείων προς τον αριθμό των Y (καθέτων) εικονοστοιχείων. Ο τυπικός λόγος διαστάσεων για τους υπολογιστές είναι 4:3, αλλά κάποιες αναλύσεις χρησιμοποιούν το λόγο 5:4. Οι οθόνες είναι ρυθμισμένες σε αυτό το πρότυπο, έτσι ώστε αν ζωγραφίσουμε ένα κύκλο αυτός να φαίνεται σαν κύκλος και όχι σαν έλλειψη. Εμφανίζοντας μια εικόνα που χρησιμοποιεί λόγο διαστάσεων 5:4 θα προκληθεί κάποια αλλοίωσή της. Η μόνη βασική ανάλυση που χρησιμοποιεί το λόγο 5:4 είναι η μεγάλη ανάλυση 1280x1024.

Υπάρχει κάποια σύγχυση αναφορικά με τη χρήση του όρου "ανάλυση", καθώς μπορεί τεχνικά να σημαίνει διάφορα πράγματα. Πρώτον η ανάλυση της εικόνας που βλέπουμε είναι συνάρτηση της εξόδου της κάρτας γραφικών, καθώς και της ικανότητας εμφάνισης της οθόνης. Για να δούμε μια εικόνα με υψηλή ανάλυση, ας πούμε 1280x1024, αυτό απαιτεί ότι και η κάρτα γραφικών είναι ικανή να δημιουργήσει μια τόσο μεγάλη εικόνα, αλλά και η οθόνη είναι ικανή να την εμφανίσει. Δεύτερον, καθώς κάθε εικονοστοιχείο εμφανίζεται στην οθόνη ως ένα σύνολο από τρεις διαφορετικές κουκίδες (κόκκινη, πράσινη και μπλε), κάποιοι άνθρωποι χρησιμοποιούν τον όρο "ανάλυση" για να αναφερθούν στην ανάλυση οθόνης και τον όρο "δυνατότητα εικονοστοιχείων" για να αναφερθούν στον αριθμό των ξεχωριστών στοιχείων που η κάρτα γραφικών μπορεί να παράγει. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις πιο συνηθισμένες αναλύσεις που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές και τον αριθμό των εικονοστοιχείων που η κάθε μια χρησιμοποιεί:

Ανάλυση	Αριθμός Εικονοστοιχείων	Λόγος Διαστάσεων	Πρότυπο
320×200	64.000	8:5	CGA
640×480	307.200	4:3	VGA
800×600	480.000	4:3	SVGA
1024×768	786.432	4:3	XGA
1280×1024	1.310.720	5:4	SXGA
1600×1200	1.920.000	4:3	UXGA
1920×1080	2.073.600	16:9	FHD
3840×2160	8.294.400	16:9	4K UHD

7680×4320	33.177.600	16:9	8K UHD
-----------	------------	------	--------

### Πίνακας 1: Ανάλυση Εικόνας

Όσον αφορά τις σχετικές μετρήσεις ανάλυσης, άσχετα με το κυρίαρχο σύστημα μονάδων κάθε χώρας, διεθνώς έχει επικρατήσει σαν η πιο συνηθισμένη μονάδα μήκους αναφοράς να χρησιμοποιείται η ίντσα και επομένως η ανάλυση εκφράζεται σαν Εικονοστοιχεία ανά ίντσα ή PPI (Pixels Per Inch). Σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, όπου το κυρίαρχο σύστημα είναι το μετρικό (με μονάδες όπως τα εκατοστά και τα χιλιοστά), η αναφορά σε ίντσες συχνά οδηγεί σε μπερδέματα και αναγκαστικές άβολες μετατροπές από ένα σύστημα στο άλλο κάθε φορά που πρέπει να κάνουμε κάποιο υπολογισμό. Δυστυχώς δεν υπάρχει τρόπος να αποφύγουμε το πρόβλημα αυτό καθώς η χρήση μονάδων είναι πέρα για πέρα ανομοιογενής. Ακόμα πιο σωστός θα ήταν ο όρος Δείγματα ανά ίντσα ή SPI (Samples Per Inch) που συνδέεται πιο άμεσα με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης. Το όρο αυτό συναντάμε μερικές φορές, κυρίως σε scanners αν και πιο συνηθισμένη είναι η χρήση του PPI. Στην πράξη, εφόσον υπάρχει μια απόλυτη αντιστοιχία από δείγμα σε pixel, οι δύο όροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ταυτόσημοι. Δεν πρέπει να ξεχνάμε όμως πως σε περιπτώσεις που περισσότερα από ένα δείγματα είναι απαραίτητα για να οδηγήσουν σε ένα pixel, η απρόσεκτη εξομοίωση στη χρήση των δύο όρων μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνείες και σφάλματα. Κυρίως πρέπει να προσέχουμε όταν η χρήση αυτή γίνεται από κατασκευαστές συσκευών με τρόπο που να δημιουργεί την αίσθηση (ή παραίσθηση!) πως η απόδοση μίας συσκευής είναι υψηλότερη από την πραγματική. Παρακάτω που θα μιλήσουμε για ψηφιοποίηση χρώματος θα συναντήσουμε μια περίπτωση που οι όροι SPI και PPI δεν είναι ακριβώς ταυτόσημοι. Συχνά η προδιαγραφή Ανάλυσης εμφανίζεται και σαν DPI (Dots Per Inch) ή Σημεία ανά ίντσα. Αυτό είναι εντελώς λανθασμένο, καθώς το DPI είναι μια μονάδα που όπως θα δούμε παρακάτω, αναφέρεται και έχει νόημα αυστηρά σαν προδιαγραφή εκτύπωσης, επηρεάζει το τελικό μέγεθος στο οποίο θα εκτυπωθεί μία εικόνα και συνεπώς δεν έχει άμεση ούτε μονοσήμαντη αντιστοιχία με την πραγματική Ανάλυση της εικόνας αυτής. Η Ανάλυση μίας εικόνας αναφέρεται και σαν Χωρική Ανάλυση (Spatial Resolution) μια έκφραση που είναι πιο περιεκτική και μπορεί να διαχωρίσει την Ανάλυση μίας εικόνας από την Ανάλυση Χρώματος που θα δούμε παρακάτω. Παρόλα αυτά ο όρος Χωρική Ανάλυση, με εξαίρεση επιστημονικές εκδόσεις, σπάνια συναντάται στην πράξη.

## 4.8 SPI, PPI, DPI, LPI

Ξεκινώντας από την παραπάνω σύγκριση στην οποία οδηγούν συχνά οι όροι που συναντάμε και που αναφέρονται στην Ανάλυση είναι καλό στο σημείο αυτό να τους διαχωρίσουμε και να ξεκαθαρίσουμε την σωστή σημασία και χρήση τους.

### 4.8.1 SPI

Τα Δείγματα ανά Ίντσα (Samples per Inch) είναι μια μέτρηση της ανάλυσης ενός σαρωτή εικόνας, και συγκεκριμένα ο αριθμός των μεμονωμένων δειγμάτων που λαμβάνονται στο διάστημα μιας γραμμικής ίντσας. Μερικές φορές αναφέρεται λανθασμένα ως κουκκίδες ανά ίντσα, αν και ο όρος αυτός αναφέρεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανάλυση εκτύπωσης. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η SPI ενός σαρωτή, τόσο πιο λεπτομερής είναι η αναπαραγωγή του σαρωμένου αντικειμένου. Οι τυπικοί επίπεδοι σαρωτές σε επίπεδο καταναλωτών είναι ικανοί για οπτική ανάλυση που κυμαίνεται από 100 έως 2400 SPI. Οι σαρωτές υψηλού επιπέδου ενδέχεται να έχουν οπτική ανάλυση 4800 SPI ή περισσότερο. Πολλοί σαρωτές χρησιμοποιούν τεχνικές παρεμβολής για την επίτευξη υψηλότερης αποτελεσματικής βαθμολογίας SPI, με ορισμένους κατασκευαστές που προσφέρουν σχεδόν ένα εκατομμύριο SPI, αν και η ποιότητα περιορίζεται κυρίως από την οπτική ανάλυση. Το παρεμβαλλόμενο SPI δεν παρέχει πρόσθετα εικονοστοιχεία στην σαρωμένη εικόνα. Οι οριζόντιες και κάθετες βαθμολογίες SPI ενδέχεται να διαφέρουν για ένα συγκεκριμένο σαρωτή. Οι τυπικοί σαρωτές επίπεδης επιφάνειας χρησιμοποιούν μια οριζόντια σειρά αισθητήρων που περνούν από το κρεβάτι χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό βηματικό μοτέρ. Η πυκνότητα της συστοιχίας αισθητήρων καθορίζει την οριζόντια ανάλυση σάρωσης, ενώ το ελάχιστο μέγεθος βήματος του κινητήρα καθορίζει την κατακόρυφη ανάλυση. Παρόμοια χαρακτηριστικά υπάρχουν και στους σαρωτές τυμπάνων, οι οποίοι συνεχώς περιστρέφουν το αντικείμενο που σαρώθηκε πέρα από τη συστοιχία αισθητήρων για πολλές διαδρομές απεικόνισης. Για να υπολογίσετε τον αριθμό των byte πρώτων δεδομένων που θα λάβει μια σαρωμένη εικόνα, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τον ακόλουθο τύπο:  $vSPI * hSpi * area * color\ depth\ encoding / 8$ .

Οπου

- vSPI είναι το κάθετο SPI
- hSPI είναι το οριζόντιο SPI (μπορεί να θεωρηθεί το ίδιο με το vSPI εάν δεν καθορίζεται συγκεκριμένα)

- Περιοχή είναι η τετράγωνη περιοχή του σαρωμένου εγγράφου σε ίντσα<sup>2</sup>
- Κωδικοποίηση βάθους χρώματος είναι ο αριθμός των bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση μιας δεδομένης ποσότητας πληροφοριών χρώματος (256 χρώματα = 8, 65'536 χρώματα = 16, 16million χρώματα = 24)

Μην ξεχνάτε ότι αυτό θα δώσει πρώτες bytes δεδομένων, οι εικόνες σχεδόν πάντα συμπιέζονται όταν αποθηκεύονται στο δίσκο χρησιμοποιώντας εικόνες χωρίς απώλειες (όπως PNG, TIFF) ή απώλειες μορφές εικόνας (όπως JPEG).

## 4.8.2 PPI

Τα εικονοστοιχεία ανά ίντσα (Pixels per Inch) ή τα εικονοστοιχεία ανά εκατοστόμετρο (PPCM) είναι μετρήσεις της πυκνότητας των εικονοστοιχείων (ανάλυση) μίας ηλεκτρονικής συσκευής εικόνας, όπως μια οθόνη υπολογιστή ή τηλεοπτική οθόνη ή συσκευή ψηφιακής απεικόνισης, όπως σαρωτής κάμερας ή εικόνας. Η οριζόντια και κάθετη πυκνότητα είναι συνήθως ίδια, καθώς οι περισσότερες συσκευές έχουν τετράγωνα εικονοστοιχεία, αλλά διαφέρουν σε συσκευές που έχουν μη τετραγωνικά εικονοστοιχεία. Το PPI μπορεί επίσης να περιγράψει την ανάλυση, σε εικονοστοιχεία, ενός αρχείου εικόνας. Η μονάδα δεν είναι τετραγωνικά εκατοστά - μια εικόνα 100 × 100 εικονοστοιχείων που εκτυπώνεται σε τετράγωνο 1 cm έχει ανάλυση 100 pixels ανά εκατοστόμετρο (ppcm). Με αυτόν τον τρόπο, η μέτρηση έχει νόημα κατά την εκτύπωση μιας εικόνας. Έχει γίνει συνηθισμένο να αναφερόμαστε στο PPI ως DPI, παρόλο που ο PPI αναφέρεται σε ανάλυση εισόδου. Τα βιομηχανικά πρότυπα, οι φωτογραφίες καλής ποιότητας συνήθως απαιτούν 330 pixels ανά ίντσα, σε μέγεθος 100%, όταν εκτυπώνονται σε χαρτί με επίστρωση, χρησιμοποιώντας οθόνη εκτύπωσης 150 γραμμών ανά ίντσα (lpi). Αυτό παρέχει έναν παράγοντα ποιότητας 2, ο οποίος είναι ο βέλτιστος. Ο μικρότερος αποδεκτός ποιοτικός παράγοντας θεωρείται 1,5, ο οποίος ισοδυναμεί με την εκτύπωση μιας εικόνας 225 ppi χρησιμοποιώντας οθόνη 150 lpi σε επικαλυμμένο χαρτί. Η συχνότητα οθόνης καθορίζεται από τον τύπο χαρτιού στην οποία εκτυπώνεται η εικόνα. Μια απορροφητική επιφάνεια χαρτιού, για παράδειγμα, μη επικαλυμμένο ανακυκλωμένο χαρτί, επιτρέπει την εξάπλωση των σταγονιδίων μελάνης (κέρδος κηλίδων) - έτσι χρειάζεται μια πιο ανοιχτή οθόνη εκτύπωσης. Επομένως, η ανάλυση της εισόδου μπορεί να μειωθεί για να ελαχιστοποιηθεί το μέγεθος του αρχείου χωρίς απώλεια ποιότητας, εφόσον διατηρείται ο συντελεστής ποιότητας 2. Αυτό προσδιορίζεται εύκολα διπλασιάζοντας τη συχνότητα γραμμής. Θεωρητικά, το PPI μπορεί να υπολογιστεί γνωρίζοντας το διαγώνιο μέγεθος της οθόνης σε ίντσες και την ανάλυση σε εικονοστοιχεία (πλάτος και ύψος). Αυτό μπορεί να γίνει σε δύο βήματα:

1. Υπολογίζοντας τη διαγώνια ανάλυση σε εικονοστοιχεία χρησιμοποιώντας το Πυθαγόρειο θεώρημα:

$$d_p = \sqrt{w_p^2 + h_p^2}$$

2. Υπολογίζοντας το PPI:



$$PPI = \frac{d_p}{d_i}$$

όπου:

- $d_p$  η διαγώνια ανάλυση σε εικονοστοιχεία
- $w_p$  η οριζόντια ανάλυση σε εικονοστοιχεία
- $h_p$  η κάθετη ανάλυση σε εικονοστοιχεία
- $d_i$  το διαγώνιο μέγεθος σε ίντσες (αυτός είναι ο αριθμός που διαφημίζεται ως το μέγεθος της οθόνης)

### 4.8.3 DPI

Οι Κουκίδες ανά Ίντσα (Dots per Inch ή dpi) είναι ένα μέτρο της χωρικής εκτύπωσης ή της πυκνότητας των σημείων βίντεο, και συγκεκριμένα ο αριθμός των μεμονωμένων κουκίδων που μπορούν να τοποθετηθούν σε μια γραμμή μέσα στην έκταση της ίντσας (2,54 cm). Οι οθόνες δεν έχουν τελείες, αλλά έχουν εικονοστοιχεία. Η στενά συναφής έννοια για οθόνες και εικόνες είναι pixels ανά ίντσα ή PPI. Πολλοί πόροι, συμπεριλαμβανομένου του οδηγού προγραμματιστή Android, χρησιμοποιούν τους όρους DPI και PPI εναλλακτικά. Οι παλιές οθόνες βίντεο τύπου CRT ήταν σχεδόν καθολικά βαθμολογημένες σε κουκκίδες, η οποία αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ των υπο-εικονοστοιχείων κόκκινου, πράσινου και μπλε κουκκίδων που αποτελούσαν τα ίδια τα εικονοστοιχεία. Οι κατασκευαστές των οθονών χρησιμοποίησαν τον όρο "pitch trio pitch", τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ των κέντρων παρακείμενων ομάδων τριών κουκκίδων / ορθογωνίων / τετραγώνων στην οθόνη CRT. Η μονάδα αυτή αναφέρεται ευρέως σαν Ανάλυση, στην πραγματικότητα μας δείχνει την Πυκνότητα Εκτύπωσης μίας μονάδας εξόδου. Αν αναφέρεται σαν χαρακτηριστική προδιαγραφή μας δείχνει πόσα σημεία μελάνης έχει τη δυνατότητα μια τέτοια συσκευή να τοποθετεί πάνω σε μια δεδομένη διάσταση στην επιφάνεια εκτύπωσης.

### 4.8.4 LPI

Οι Γραμμές ανά ίντσα (Lines per Inch) είναι μια μέτρηση της ανάλυσης εκτύπωσης. Μια γραμμή αποτελείται από ημίτονο που δημιουργείται από φυσικές στιγμές μελάνης που γίνονται από τη συσκευή εκτυπωτή για να δημιουργήσουν διαφορετικούς τόνους. Συγκεκριμένα, το LPI είναι ένα μέτρο για το πόσο κοντά βρίσκονται οι γραμμές σε ένα ημίτονο πλέγμα. Η ποιότητα της συσκευής

ή της οθόνης του εκτυπωτή καθορίζει πόσο υψηλή είναι η LPI. Το υψηλό LPI υποδεικνύει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ευκρίνεια. Τα τυπωμένα περιοδικά και οι εφημερίδες συχνά χρησιμοποιούν σύστημα ημίτονο. Το τυπικό χαρτί εφημερίδας δεν είναι πολύ πυκνό και έχει σχετικά υψηλό κέρδος κηλίδων ή αιμορραγία χρώματος, έτσι ώστε το δημοσιογραφικό χαρτί να είναι συνήθως γύρω στα 85 LPI. Το χαρτί υψηλότερης ποιότητας, όπως αυτό που χρησιμοποιείται στα εμπορικά περιοδικά, έχει μικρότερο κέρδος κουκκίδων και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 300 LPI με ποιοτικό γυαλιστερό χαρτί. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ολόκληρο το φάσμα των διαθέσιμων LPI σε σύστημα ημίτονο, μια εικόνα που επιλέγεται για εκτύπωση γενικά πρέπει να έχει 1,5 έως 2 φορές περισσότερα δείγματα ανά ίντσα. Για παράδειγμα, εάν η συσκευή εξόδου στόχου είναι ικανή εκτύπωσης στα 100 LPI, ένα βέλτιστο εύρος για μια εικόνα πηγή θα είναι 150 έως 200 SPI. Η χρήση λιγότερων SPI από αυτό δεν θα έκανε πλήρη χρήση του διαθέσιμου LPI του εκτυπωτή. Η χρήση περισσότερων SPI από αυτό θα υπερβεί την ικανότητα του εκτυπωτή και η ποιότητα θα χαθεί αποτελεσματικά. Μια άλλη συσκευή που χρησιμοποιεί την προδιαγραφή LPI είναι το tablet γραφικών.

#### **4.9 Βάθος Εικονοστοιχείων-Χρώματος**

Την ακρίβεια της καταγραφής της πληροφορίας που αποθηκεύεται σε ένα Pixel καθορίζει το Βάθος Εικονοστοιχείου (bit depth). Όσο μεγαλύτερο το βάθος εικονοστοιχείου, τόσο περισσότερη η λεπτομέρεια της πληροφορίας που μπορεί να χωρέσει το κάθε συρτάρι. Το βάθος εικονοστοιχείου είναι στην ουσία μια ένδειξη της ακρίβειας και ανάλυσης του κβαντισμού μιας εικόνας. Εκφράζει τον αριθμό από ενδιάμεσα βήματα (διαβαθμίσεις) που είναι δυνατόν να οριστούν ανάμεσα στα δύο άκρα της κλίμακας μέτρησης (άσπρο-μαύρο σε B & W εικόνες ή όρια υπέρυθρου-υπεριώδους στο χρώμα). Αυτές είναι οι πιθανές διαβαθμίσεις που μπορεί να καταγράψει το κάθε pixel μίας ψηφιακής εικόνας. Παράλληλα, το βάθος εικονοστοιχείου μας δείχνει πόσα bits χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της αξίας κάθε pixel και μπορεί να είναι από 1 και πάνω bits. Οι διαθέσιμες διαβαθμίσεις είναι το αποτέλεσμα που μας δίνει η τιμή του βάθους εικονοστοιχείου σαν δύναμη του 2. Μια μονοχρωματική εικόνα με βάθος 2 bit έχει  $2^2 = 4$  διαβαθμίσεις, ενώ μια εικόνα των 3 bit θα έχει  $2^3 = 8$  διαβαθμίσεις. Στην περίπτωση που ένα σύστημα συλλαμβάνει μονοχρωματικές εικόνες με ακρίβεια 8-bit, κάθε pixel καταγράφει οκτώ δυαδικά επίπεδα άρα μπορεί να διακρίνει 28 βαθμίδες άρα 256 διαφορετικές τιμές. Επομένως μπορεί να καταγράψει το μαύρο σαν 0, το άσπρο σαν 255 και ανάμεσά τους, 254 βαθμίδες (τόνους) του γκρι. Κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα της

οθόνης εμφανίζεται χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από τρία διαφορετικά σήματα χρωμάτων, κόκκινο, πράσινο και μπλε. Είναι κάτι παρόμοιο (αλλά όχι ταυτόσημο) με το πως οι εικόνες εμφανίζονται στην τηλεόραση. Κάθε εμφάνιση εικονοστοιχείου ελέγχεται από την ένταση αυτών των τριών δεσμών φωτός. Όταν όλες είναι ρυθμισμένες στο μεγαλύτερο επίπεδο το αποτέλεσμα είναι άσπρο, ενώ όταν όλες είναι στο χαμηλότερο το εικονοστοιχείο γίνεται μαύρο. Το ποσό της πληροφορίας που αποθηκεύεται για ένα εικονοστοιχείο καθορίζει το βάθος του χρώματός του, που ελέγχει την ακρίβεια, με την οποία το χρώμα του εικονοστοιχείου μπορεί να καθοριστεί. Ορισμένες φορές αποκαλείται και βάθος bit, καθώς η ακρίβεια του βάθους χρώματος καθορίζεται σε bits. Όσο περισσότερα bits χρησιμοποιούνται ανά κάθε εικονοστοιχείο, τόσο καλύτερη είναι η λεπτομέρεια του χρώματος της εικόνας. Ωστόσο, η αύξηση του βάθους χρώματος απαιτεί επίσης και μεγαλύτερη μνήμη για την αποθήκευση της εικόνας, καθώς και περισσότερα δεδομένα για να επεξεργαστεί η κάρτα γραφικών, πράγμα που μειώνει τον πιθανό μέγιστο ρυθμό ανανέωσης. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα βάθη χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές σήμερα:

Βάθος Χρώματος	Αριθμός Εμφανιζόμενων Χρωμάτων	Bytes Αποθήκευσης / Εικονοστοιχείο	Τυπικό όνομα για το Βαθος Χρώματος
4-bit	16	0.5	Τυπική VGA
8-bit	256	1.0	256 Χρώματα
16-bit	65.536	2.0	Πολλά χρώματα
24-bit	16.777.216	3.0	Φυσικά χρώματα

Πίνακας 2: Βάθος χρώματος

Το όνομα "φυσικά χρώματα" (true color) δόθηκε γιατί χρησιμοποιούνται 3 bytes πληροφορίας, ένα για κάθε ένα από τα τρία βασικά χρώματα. Καθώς ένα byte έχει 256 διαφορετικές τιμές αυτό σημαίνει ότι κάθε χρώμα έχει 256 διαφορετικές εντάσεις, επιτρέποντας τη δημιουργία περισσότερων από 16 εκατομμύρια χρωμάτων. Έτσι μπορούμε να έχουμε μια πραγματική αναπαράσταση του χρώματος της εικόνας, χωρίς αναγκαίους συμβιβασμούς και περιορισμούς στον αριθμό των χρωμάτων, που μια εικόνα μπορεί να περιέχει. Στην πραγματικότητα, τα 16 εκατομμύρια χρώματα είναι πολλά σε σχέση με αυτά που το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει. Το "true color" είναι αναγκαίο για αυτούς που κάνουν σχεδίαση γραφικών, επεξεργασία εικόνας (φωτογραφιών) και άλλες παρόμοιες εργασίες. Το "πολλά χρώματα" (high color) χρησιμοποιεί δύο bytes πληροφορίας για να αποθηκεύσει την ένταση των τριών χρωμάτων. Αυτό γίνεται σπάζοντας τα 16 bits σε 5 bits για το μπλε, 5 bits για το κόκκινο και 6 bits για το πράσινο. Αυτό σημαίνει 32

διαφορετικές εντάσεις για το μπλε, 32 για το κόκκινο και 64 για το πράσινο. Έτσι παράγεται ακρίβεια χρώματος λίγο χειρότερη από αυτή που βλέπουμε, αλλά η διαφορά είναι στην πραγματικότητα πολύ μικρή, πολλοί άνθρωποι δεν μπορούν να καταλάβουν τη διαφορά μεταξύ μιας "φυσικών χρωμάτων" και μιας "πολλών χρωμάτων" εικόνας, εκτός και αν κοιτάζουν την οθόνη για αυτό ακριβώς το λόγο. Για αυτό το λόγο η ρύθμιση των "πολλών χρωμάτων" χρησιμοποιείται συχνά αντί αυτής των "φυσικών χρωμάτων", καθώς χρειάζεται 33% λιγότερη μνήμη στην κάρτα γραφικών και είναι επίσης ταχύτερο για αυτό το λόγο. Στα "256 χρώματα" ο υπολογιστής χρησιμοποιεί μόνο 8-bits. Αυτό σημαίνει 2 bits για το μπλε και τρία bits για κάθε ένα από τα πράσινο και κόκκινο. Επιλέγοντας μεταξύ 4 ή 8 διαφορετικών τιμών για κάθε χρώμα το αποτέλεσμα δεν είναι και τόσο καλό και για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται μια άλλη τεχνική: η χρήση της παλέτας. Μια παλέτα είναι δημιουργημένη περιέχοντας 256 διαφορετικά χρώματα. Κάθε ένα είναι ορισμένο χρησιμοποιώντας τον 3-byte χρωματικό προσδιορισμό που χρησιμοποιείται στο true color: 256 πιθανές εντάσεις για κάθε ένα από τα κόκκινο, πράσινο, μπλε. Μετά κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να διαλέξει ένα από τα 256 χρώματα στην παλέτα. Συνεπώς, όλη η ποικιλία των χρωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εικόνα, αλλά κάθε εικόνα μπορεί να περιέχει μόνο 256 από τα 16 εκατομμύρια διαθέσιμα διαφορετικά χρώματα.

## **4.10 Χρωματικά μοντέλα**

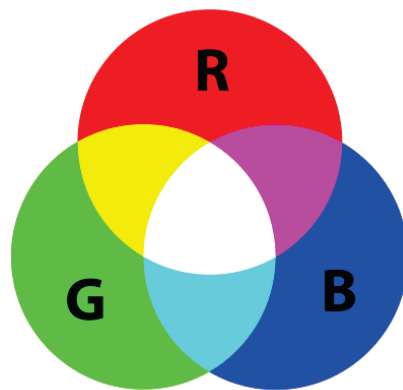
Τα διάφορα χρωματικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να γίνει δυνατή η περιγραφή των χρωμάτων με μαθηματική μορφή, κατάλληλη για την επεξεργασία τους από ψηφιακά μέσα. Έτσι κατ' αρχήν η εικόνα αναλύεται σε εικονοστοιχεία, καθένα από τα οποία είναι χρωματικά ομοιογενές. Τα μοντέλα που περιγράφονται εδώ αφορούν αυτήν την κωδικοποίηση χρώματος ενός εικονοστοιχείου.

### **4.10.1 Μόντελα Ψηφιακών Ηλεκτρονικών Μέσων**

#### **4.10.1.1 RGB**

Το μοντέλο χρωμάτων RGB βασίζεται στη θεωρία των Young-Helmholtz πάνω στην τριχρωματική έγχρωμη όραση, που αναπτύχθηκε από τον Thomas Young και Hermann Helmholtz στις αρχές έως τα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα, και στον James Clerk Maxwell με την θεωρία του στο

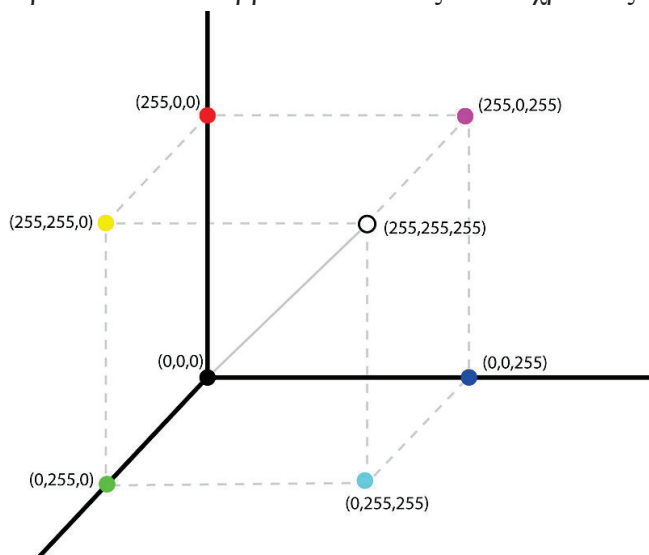
χρωματικό τρίγωνο γύρω στο 1860. Η ονομασία είναι ακρωνύμιο των λέξεων Red Green Blue (Κόκκινο Πράσινο Μπλέ). Με τα βασικά αυτά χρώματα το μοντέλο κωδικοποιεί όλα τα χρώματα που μπορούν να εμφανιστούν σε μία οθόνη (συνήθως υπολογιστή). Στην μορφή του χρωματικού αυτού μοντέλου με βάθος χρώματος των 8 δυαδικών ψηφίων κάθε χρώμα μπορεί να παρασταθεί με μία τριάδα αριθμών και τιμές από 0 έως 255. Το μοντέλο βασίζεται στο γεγονός ότι όταν μία οθόνη δεν εκπέμπει φως εμφανίζεται μαύρη. Τα υπόλοιπα χρώματα δημιουργούνται με υπέρθεση των τριών βασικών με συγκεκριμένη αναλογία. Για το λόγο αυτό, το μοντέλο χαρακτηρίζεται και ως προσθετικό. Ο κύριος σκοπός του μοντέλου είναι για την ανίχνευση, την εκπροσώπηση και την απεικόνιση των εικόνων σε ηλεκτρονικά συστήματα, όπως τηλεοράσεις και υπολογιστές, αν και έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε συμβατική φωτογραφία. Πριν από την ηλεκτρονική εποχή, το μοντέλο είχε ήδη μια θεωρία πίσω του, που βασίζεται στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωμάτων.



Εικόνα 6: RGB – Βασικά και δευτερογενή χρώματα

Για να σχηματιστεί ένα χρώμα με RGB, τρεις ακτίνες φωτός (μία κόκκινη, μία πράσινη και μία μπλε) πρέπει να υπερτίθεται (για παράδειγμα με εκπομπή από μια μαύρη οθόνη ή με ανάκλαση από μια λευκή οθόνη). Κάθε μία από τις τρεις δέσμες ονομάζεται ένα συστατικό αυτού του χρώματος, και το καθένα από αυτά μπορεί να έχει μια αυθαίρετη ένταση, στο μίγμα. Είναι προσθετικό με την έννοια ότι οι τρεις φωτεινές ακτίνες προστίθενται μαζί, και τα φάσματα των φώτων τους προστίθενται, μήκος κύματος με μήκος κύματος, για να δημιουργηθεί το τελικό φάσμα του χρώματος του. Αυτό είναι ουσιαστικά αντίθετο από το αφαιρετικό μοντέλο χρωμάτων που ισχύει για χρώματα, μελάνια, βαφές, και άλλες ουσίες των οποίων το χρώμα εξαρτάται από την ανάκλαση του φωτός σύμφωνα με την οποία τα βλέπουμε. Μηδέν ένταση για κάθε στοιχείο δίνει το πιο σκούρο χρώμα (χωρίς φως, θεωρείται το μαύρο), και την πλήρη ένταση από το καθένα δίνει το λευκό, η ποιότητα του λευκού εξαρτάται από τη φύση των πρωτογενών πηγών φωτός, αλλά αν είναι

σωστά ισορροπημένη, το αποτέλεσμα είναι ένα ουδέτερο λευκό άρτια ισορροπημένο σημείο του συστήματος. Όταν οι εντάσεις για όλα τα συστατικά είναι τα ίδια, το αποτέλεσμα είναι μια απόχρωση του γκρι, πιο σκούρα ή πιο ανοιχτά ανάλογα με την ένταση. Όταν οι εντάσεις είναι διαφορετικές, το αποτέλεσμα είναι μια χρωματισμένη απόχρωση, περισσότερο ή λιγότερο κορεσμένη, ανάλογα με τη διαφορά από τις ισχυρότερες και πιο αδύναμες των εντάσεις από τα βασικά χρώματα που χρησιμοποιούνται. Όταν ένα από τα συστατικά έχει την ισχυρότερη ένταση, το χρώμα είναι μια απόχρωση κοντά σε αυτό το πρωτεύον χρώμα (ερυθρωπό, πρασινωπό ή μπλε), και όταν δύο συνιστώσες έχουν την ίδια ισχυρότερη ένταση, τότε το χρώμα είναι μια απόχρωση ενός δευτερεύοντος χρώματος (απόχρωση κυανού, ματζέντα ή κίτρινο). Κάθε δευτερεύον χρώμα σχηματίζεται από το άθροισμα των δύο βασικών χρωμάτων της ίσης έντασης: κυανό είναι πράσινο + μπλε, ματζέντα είναι κόκκινο + μπλε και το κίτρινο είναι το κόκκινο + πράσινο. Κάθε δευτερεύον χρώμα είναι το συμπλήρωμα του ένα κύριο χρώμα, όταν ένα πρωτεύον και το δευτερεύον συμπληρωματικό χρώμα του προστίθενται μαζί, το αποτέλεσμα είναι λευκό: το κυανό συμπληρώνει το κόκκινο, η ματζέντα συμπληρώνει το πράσινο και το κίτρινο συμπληρώνει το μπλέ. Το ίδιο μοντέλο δεν ορίζει τι σημαίνει κόκκινο, πράσινο και μπλε χρωματομετρικά, και έτσι τα αποτελέσματα της ανάμιξης τους δεν έχουν οριστεί ως απόλυτα, αλλά σχετικά με τα βασικά χρώματα. Όταν οι ακριβείς χρωματισμοί του κόκκινου, πράσινου και μπλε ορίζονται, τότε το μοντέλο γίνεται απόλυτα χρωματικό, όπως sRGB ή Adobe RGB. Το μοντέλο αυτό μπορεί να παρασταθεί με έναν κύβο χρωμάτων σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Στην αρχή των αξόνων είναι η κορυφή του κύβου που αντιστοιχεί στο μαύρο χρώμα, ενώ στις κορυφές του κύβου που βρίσκονται πάνω στους άξονες βρίσκονται τα βασικά χρώματα (Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε). Τα δευτερογενή χρώματα βρίσκονται στις τρεις κορυφές του κύβου που βρίσκονται απέναντι από τα αντίστοιχα βασικά χρώματα και στην κορυφή απέναντι από το μαύρο βρίσκεται το λευκό. Κάθε χρώμα στο σύστημα αυτό προσδιορίζεται από ένα σημείο στον κύβο με τρεις συντεταγμένες. Στη διαγώνιο μεταξύ μαύρου και λευκού βρίσκονται όλες οι αποχρώσεις του γκρι.



Εικόνα 7: Γραφική απεικόνιση του 8bit χρωματικού μοντέλου RGB

#### 4.10.1.2 CMYK

Το χρωματικό μοντέλο CMYK είναι ένα αφαιρετικό μοντέλο χρωμάτων, που χρησιμοποιούνται στην έγχρωμη εκτύπωση. Το μοντέλο αναφέρεται στα τέσσερα μελάνια που χρησιμοποιούνται σε κάποια έγχρωμη εκτύπωση: κυανό, φούξια, κίτρινο και το κλειδί (μαύρο). Με τα τρία αυτά χρώματα δημιουργούνται τα δευτερογενή Κόκκινο – Πράσινο – Μπλε ως εξής:

- Κόκκινο: Φούξια + Κίτρινο
- Πράσινο: Κίτρινο + Γαλάζιο
- Μπλε: Γαλάζιο + Φούξια



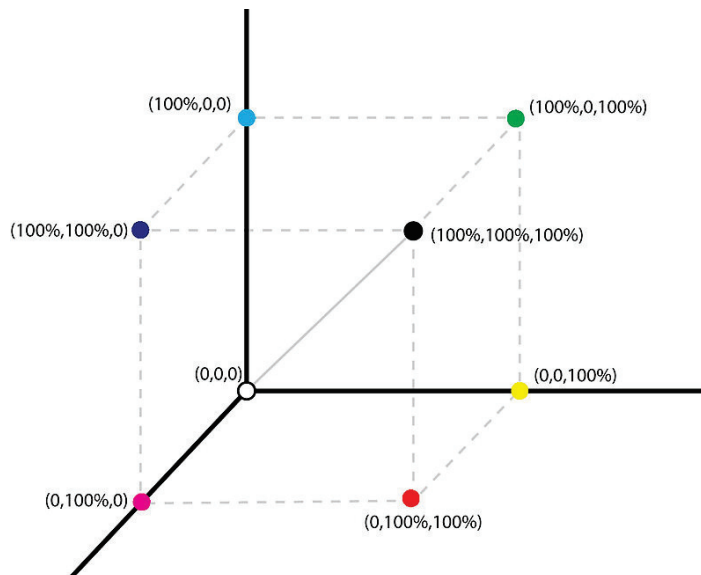
Εικόνα 8: CMY – Βασικά και δευτερογενή χρώματα

Μερικές πηγές δείχνουν ότι το «Κ» στο CMYK προέρχεται από το τελευταίο γράμμα του μαύρου στα Αγγλικά (Black) και επιλέχθηκε επειδή Β σημαίνει ήδη μπλε. Ορισμένες πηγές υποστηρίζουν αυτή την εξήγηση, αν και χρήσιμη ως μνημονική, είναι εσφαλμένη, ότι το Κ προέρχεται μόνο από το «Κλειδί», επειδή το μαύρο χρησιμοποιείται συχνά ως περίγραμμα. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι το υπόβαθρο της εκτύπωσης είναι το λευκό χαρτί που ανακλά όλα τα χρώματα (μήκη κύματος). Κάθε βασικό χρώμα που προστίθεται με ένα μελάνι απορροφά ορισμένα χρώματα και αποδίδει τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα το κίτρινο μελάνι απορροφά το μπλε χρώμα και αφήνει το πράσινο και το κόκκινο να ανακλαστεί. Εδώ ο συνδυασμός των τριών βασικών χρωμάτων δίνει το μαύρο χρώμα (πλήρης απορρόφηση των ακτινοβολιών). Για το λόγο αυτό το μοντέλο CMY

χαρακτηρίζεται και ως "αφαιρετικό" . Για το λόγο αυτό το μοντέλο CMY χαρακτηρίζεται και ως "αφαιρετικό". Μαύρο χρώμα, επίσης, προκύπτει από το συνδυασμό ενός βασικού και του αντίθετου δευτερογενούς:

- Μαύρο: Γαλάζιο + Φούξια + Κίτρινο
- Μαύρο: Γαλάζιο + Κόκκινο
- Μαύρο: Φούξια + Πράσινο
- Μαύρο: Κίτρινο + Μπλε

Τα μελάνια, όμως, από τη φύση τους δεν μπορούν να αποδώσουν συγκεκριμένα μήκη κύματος – χρώματα (όπως τα pixels μίας οθόνης) αλλά, μία πιο ευρεία περιοχή του χρωματικού φάσματος. Το αποτέλεσμα είναι ο συνδυασμός των τριών βασικών χρωμάτων να δίνει ένα καφετί χρώμα αντί για το μαύρο. Για το λόγο αυτό προστέθηκε στο μοντέλο CMY και το μαύρο μελάνι, με αποτέλεσμα να προκύψει το χρωματικό μοντέλο. Πρακτικά στην εκτύπωση δεν χρησιμοποιείται σήμερα το CMY μοντέλο αλλά το CMYK. Το μοντέλο CMY μπορεί να παρασταθεί όπως και το RGB με ένα κύβο σε ένα καρτεσιανό σύστημα αξόνων με το λευκό χρώμα στην αρχή των αξόνων και τα βασικά χρώματα επάνω στους άξονες.



Εικόνα 9: Γραφική απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CMY

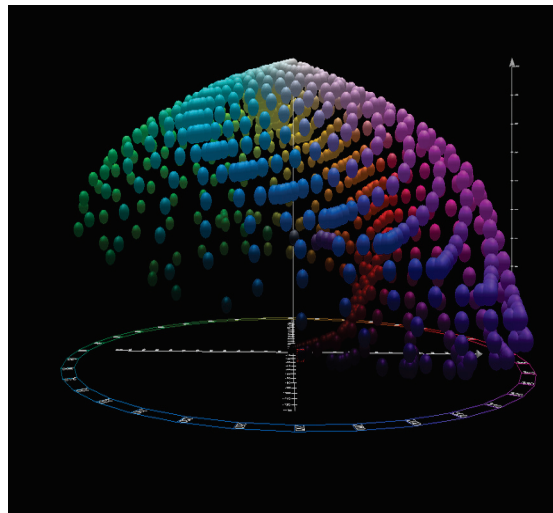
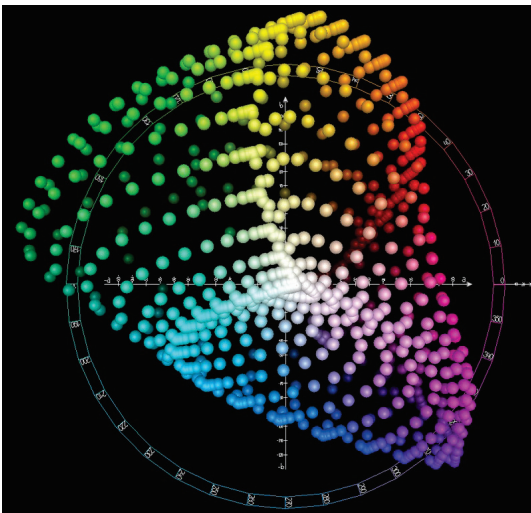


### 4.10.1.3 CIE Lab

Το CIE  $L^* a^* b^*$  (CIELAB) είναι ένας χρωματικός χώρος που έχει οριστεί από τη Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού (Commission Internationale de l'éclairage, ως εκ τούτου CIE). Περιγράφει όλα τα χρώματα που είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι και δημιουργήθηκε για να χρησιμεύσει ως ένα ανεξάρτητο μοντέλο από συσκευές που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς. Το μοντέλο αυτό αναλύει το χρώμα του κάθε εικονοστοιχείου σε τρεις παραμέτρους  $L, a, b$ :

- Ένταση φωτεινότητας (Luminosity)
- Χρωματική θέση ανάμεσα στο κόκκινο και το συμπληρωματικό του πράσινο ( $a$ )
- Χρωματική θέση ανάμεσα μπλε και το συμπληρωματικό του κίτρινο ( $b$ )

Η ορολογία «Lab» προέρχεται από το χρωματικό χώρο του Hunter 1948. Το «Lab» συχνά χρησιμοποιείται ως συντομογραφία για το CIE  $L^* a^* b^*$  1976 χρωματικού χώρου (επίσης CIELAB). Οι αστερίσκοι διαχωρίζουν την έκδοση CIE από την αρχική έκδοση του Hunter. Δεδομένου ότι το μοντέλο  $L^* a^* b^*$  είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο, αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί σωστά μόνο σε ένα τρισδιάστατο χώρο. Δύο-διαστάσεων απεικονίσεις περιλαμβάνουν διαγράμματα συνηστώσεων χρωματισμού: τμήματα του χρώματος με ένα σταθερό φωτισμό. Είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι οι οπτικές αναπαραστάσεις του πλήρη gamut των χρωμάτων σε αυτό το μοντέλο δεν είναι ποτέ ακριβής, είναι εκεί μόνο για να βοηθήσει στην κατανόηση της έννοιας. Στην πραγματικότητα το μοντέλο αποτελείται από δυο επιμέρους μοντέλα, το CIE 1976 και το Hunter. Το πρώτο χρησιμοποιεί συντεταγμένες "κυβικής ρίζας", ενώ το δεύτερο "τετραγωνικής ρίζας". Πιο διαδεδομένο είναι το μοντέλο CIE. Η διαβάθμιση του είναι από τις πλησιέστερες προς την ανθρώπινη αντίληψη.



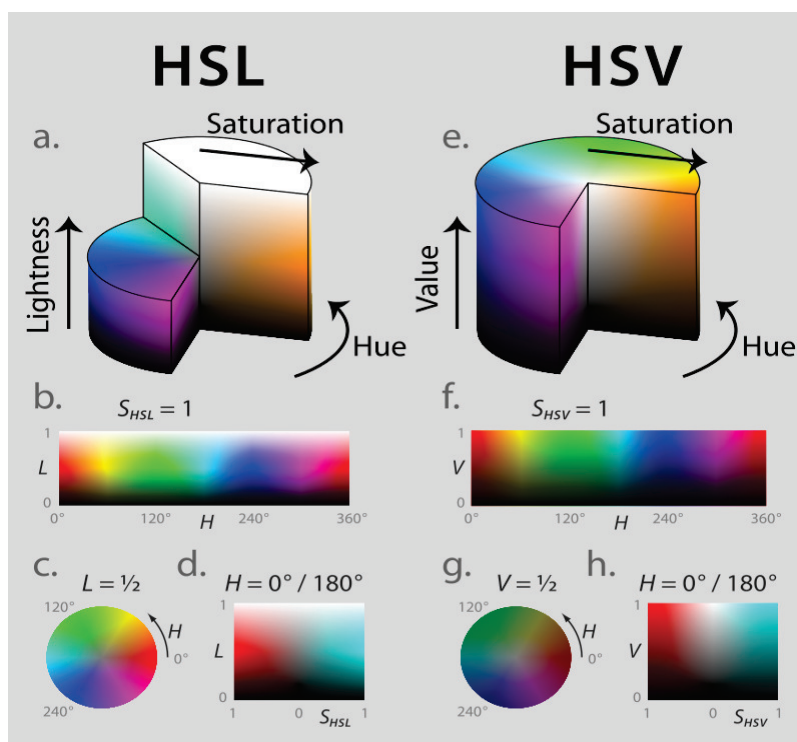
Εικόνα 10: CIELAB κάτοψη      Εικόνα 11: CIELAB εμπρόσθια όψη

Σε αντίθεση με τα μοντέλα RGB και CMYK, το Lab έχει σχεδιαστεί για να προσεγγίσει την ανθρώπινη όραση. Φιλοδοξεί σε αντιληπτική ομοιομορφία, γι' αυτό η συνιστώσα L ταιριάζει πολύ με την ανθρώπινη αντίληψη της φωτεινότητας, αν δεν λάβει το φαινόμενο Helmholtz-Kohlrausch υπόψη. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνουν ακριβείς διορθώσεις χρωμάτων τροποποιώντας καμπύλες εξόδου στα συστατικά A και B, ή για να ρυθμίσετε την αντίθεση φωτεινότητας χρησιμοποιώντας το συστατικό L. Σε RGB ή CMYK χώρους, η έξοδος των φυσικών συσκευών μονρελοποιείται σε αντίθεση με την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, αυτοί οι μετασχηματισμοί μπορεί να γίνουν μόνο με τη βοήθεια των κατάλληλων μίξεων επιλογών στην εφαρμογή επεξεργασίας. Επειδή ο χώρος Lab είναι μεγαλύτερο από το φάσμα των οθονών ηλεκτρονικών υπολογιστών και εκτυπωτών και επειδή οι οπτικές πλάτους βήματος είναι σχετικά διαφορετικές στην περιοχή χρώματος, μία εικόνα bitmap παριστάνεται ως Lab και απαιτεί περισσότερα δεδομένα ανά εικονοστοιχείο για να ληφθεί η ίδια ακρίβεια ως RGB ή CMYK bitmap. Στη δεκαετία του 1990, όταν το υλικό του υπολογιστή και το λογισμικό περιορίζονταν στην αποθήκευση και το χειρισμό κυρίως bitmaps / καναλιού 8-bit, μετατρέποντας μια εικόνα RGB για Lab και πίσω ήταν μια πολύ απωλεστική λειτουργία. Με 16-bit / κανάλι και κινητής υποδιαστολής υποστήριξη τώρα, η απώλεια που οφείλεται στην κβαντοποίηση είναι αμελητέα. Ένα μεγάλο τμήμα του Lab χώρου συντεταγμένων δεν μπορούν να παραχθούν με φασματική κατανομή, ως εκ τούτου, δεν εμπίπτει στην ανθρώπινη όραση και για τέτοιες τιμές δεν υπάρχουν «χρώματα».

#### 4.10.1.4 HSL και HSV

Το HSL και το HSV είναι οι δύο πιο κοινές κυλινδρικές συντεταγμένες αναπαραστάσεις των σημείων σε ένα χρωματικό μοντέλο RGB. Οι δύο παραστάσεις αναδιατάσσουν τη γεωμετρία του RGB σε μια προσπάθεια να είναι πιο διαισθητικό και αντιληπτικά σχετικό από το καρτεσιανό (κύβος) σύστημα. Αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1970 για εφαρμογές γραφικών υπολογιστών, χρησιμοποιούνται σήμερα για συγκομιδή χρωμάτων, για λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, και λιγότερο συχνά στην ανάλυση της εικόνας και τη μηχανική όραση. HSL προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Hue (Απόχρωση), Saturation (Κορεσμός), Lightness (Φωτεινότητα) συχνά αποκαλείται και HLS. HSV προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Hue (Απόχρωση), Saturation (Κορεσμός),

Value (Αξία) συχνά αποκαλείται και HSB λόγω του B, Brightness (Λαμπρότητα). Ένα τρίτο μοντέλο, κοινό σε εφαρμογές μηχανικής όρασης, είναι το HSI (I Intensity για την ένταση). Ωστόσο, αν και πρακτικά χρησιμοποιούνται, οι ορισμοί αυτοί δεν είναι τυποποιημένοι, και κάθε άλλη από αυτές τις συντομογραφίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε από αυτά τα τρία ή περισσότερα άλλα συναφή κυλινδρικά μοντέλα. Σε κάθε κύλινδρο, η γωνία γύρω από τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα αντιστοιχεί σε «απόχρωση», η απόσταση από τον άξονα αντιστοιχεί σε «κορεσμό», και η απόσταση κατά μήκος του άξονα αντιστοιχεί σε «φωτεινότητα», «αξία» ή «λαμπρότητα». Σημειώστε ότι ενώ η «απόχρωση» σε HSL και HSV αναφέρεται στην ίδια ιδιότητα, στους ορισμούς του «κορεσμού» διαφέρουν δραματικά.



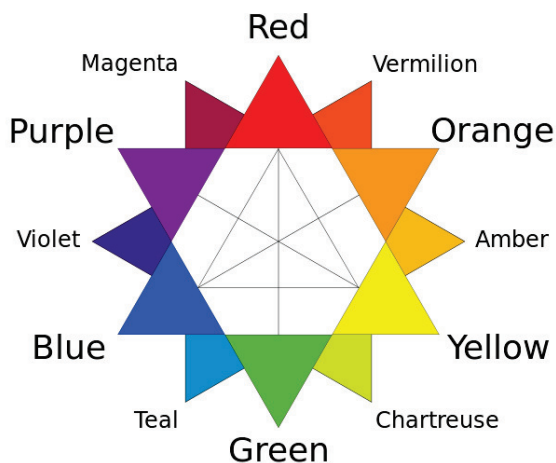
Εικόνα 12: Αποκομμένη τρισδιάστατη μορφή κρατώντας κάθε φορά μία παράμετρο σταθερή

Επειδή τα μοντέλα είναι απλοί μετασχηματισμοί των μοντέλων RGB εξαρτώμενο από τη συσκευή, τα φυσικά χρώματα που μπορούν να προσδιορίσουν εξαρτώνται από τα χρώματα των κόκκινου, πράσινου και μπλε πρωτεύων χρωμάτων της συσκευής ή του συγκεκριμένου χώρου RGB, και για τη διόρθωση gamma χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τα ποσά αυτών των πρωτεύων. Ως εκ τούτου, κάθε μοναδική συσκευή RGB έχει μοναδικούς HSL και HSV απόλυτους χώρους χρώματος για να το συνοδεύουν (όπως ακριβώς έχει μοναδικό RGB χώρο απόλυτο χρωματικό χώρο

για να το συνοδεύουν), και τις ίδιες αριθμητικές τιμές μπορεί να εμφανίζονται διαφορετικά από διαφορετικές συσκευές.

#### 4.10.1.5 RYB

Το χρωματικό μοντέλο RYB είναι ακρωνύμιο των λέξεων Red Yellow Blue (Κόκκινο Κίτρινο Μπλέ), είναι ένα ιστορικό σύνολο χρωμάτων που χρησιμοποιείται σε αφαιρετική χρωματική ανάμειξη και είναι ένας συχνά χρησιμοποιούμενο σύνολο των βασικών χρωμάτων. Χρησιμοποιείται κυρίως στην τέχνη και ιδιαίτερα τη ζωγραφική. Προηγείται χρονικά από την σύγχρονη επιστημονική θεωρία χρώματος, η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το κυανό, το φούξια και το κίτρινο είναι το καλύτερο σύνολο των τριών χρωστικών για να συνδυαστούν, για το ευρύτερο φάσμα των χρωμάτων. Το κόκκινο-κίτρινο-μπλε αποτελούν την πρωταρχική χρωματική τριάδα στον πρότυπο χρωματικό τροχό του καλλιτέχνη. Τα δευτερεύοντα χρώματα μωβ-πορτοκαλί-πράσινο αποτελούν μια άλλη τριάδα. Οι τριάδες σχηματίζονται από τρεις ίσες αποστάσεις χρώματος σε ένα συγκεκριμένο χρωματικό τροχό. Άλλοι κοινοί τροχοί χρωμάτων αντιπροσωπεύουν το μοντέλο του φωτός (RGB) και το μοντέλο εκτύπωσης (CMYK).



Εικόνα 13: Χρωματικό αστέρι RYB

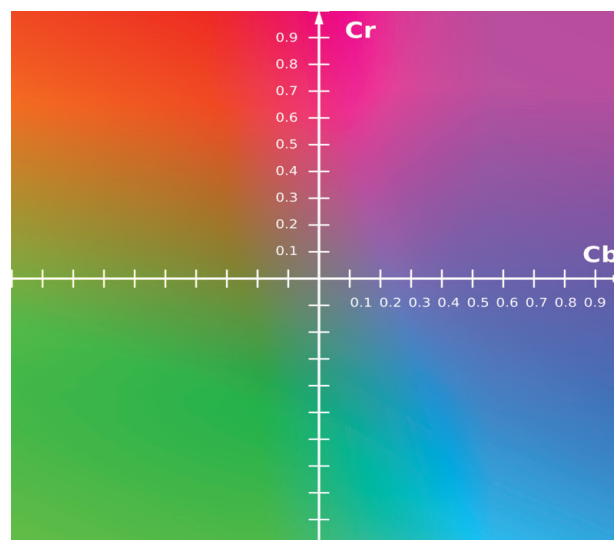
Στο μοντέλο αυτό υπάρχουν και τριτογενή χρώματα, που δημιουργούνται από τα πρωτογενή και τα δευτερογενή. Τα πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή χρώματα εμφανίζονται στον χρωματικό τροχό. Το χρωματικό αυτό μοντέλο περιγράφει, σε πολύ αδρές γραμμές, την συμπεριφορά των

χρωμάτων που παράγονται από ανάμιξη των χρωστικών που χρησιμοποιούνται στα χρώματα ζωγραφικής και παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα στην εφαρμογή του. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένα τα χρώματα περιέχει χρωστικές που ανακλούν μεγάλες περιοχές του ορατού φάσματος, που διαφέρουν ανάλογα με την εταιρεία που τις παρασκευάζει. Με άλλα λόγια, όλες οι κόκκινες βαφές δεν είναι ίδιες και δεν παρουσιάζουν τις ίδιες ιδιότητες, όταν αναμειχθούν με άλλες. Για το λόγο αυτό στη ζωγραφική δεν είναι δυνατόν να παρασκευαστούν όλα τα χρώματα από τα παραδοσιακά πρωτογενή. Έτσι, κάθε παρασκευάστρια εταιρεία δημιουργεί μία δική της γκάμα βασικών χρωμάτων που περιλαμβάνουν τα πρωτογενή, τα δευτερογενή, ορισμένα τριτογενή ή άλλα χρώματα, το λευκό και το μαύρο. Με τα χρώματα αυτά μπορεί να δημιουργηθεί κάθε επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα. Το πρώτο γνωστό περιστατικό εμφάνισης μπορεί να βρεθεί στο έργο του Franciscus Aguilonius (1567-1617), αν και δεν τακτοποίησε τα χρώματα σε μια ρόδα. Στα πειράματά του με το φως, ο Ισαάκ Νεύτων αναγνώρισε ότι τα χρώματα θα μπορούσε να δημιουργηθεί από την ανάμιξη προτεύων χρωμάτων. Στο βιβλίο του *Opticks*, ο Newton δημοσίευσε ένα χρωματικό τροχό για να δείξει τη γεωμετρική σχέση μεταξύ αυτών των πρωτεύων. Αυτό το γράφημα αργότερα έφερε σύγχυση και εννοήθηκε ότι ισχύει για χρωστικές ουσίες, καθώς, και ο Newton επίσης αγνοούσε τις διαφορές μεταξύ προσθετικών και αφαιρετικών χρωμάτων ανάμειξης. Το μοντέλο RYB επίσης χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση, από τον Jacob Christoph Le Blon, από το 1725. Στο 18ο αιώνα, τα βασικά χρώματα του μοντέλου έγιναν το θεμέλιο των θεωριών της έγχρωμης όρασης, όπως και τις θεμελιώδεις αισθητηριακές ιδιότητες που αναμιγνύονται στην αντίληψη όλων των φυσικών χρωμάτων και εξίσου στο φυσικό μίγμα χρωστικών ή βαφών. Αυτές οι θεωρίες ενισχύθηκαν από έρευνες του 18ου αιώνα μιας πληθώρας ψυχολογικών χρωματικών εφέ, ειδικότερα η αντίθεση μεταξύ «συμπληρωματικού» ή αντίθετων αποχρώσεων που παράγονται από τα χρωματικά είδωλα στην οθόνη και στις αντικρουόμενες σκιές σε έγχρωμο φως. Αυτές οι ιδέες και πολλές παρατηρήσεις συνοψίστηκαν σε δύο ιδρυτικά έγγραφα στη θεωρία χρώματος: την ‘‘Θεωρία των Χρωμάτων’’ (1810) από τον Γερμανό ποιητή και υπουργό της κυβέρνησης Johann Wolfgang von Goethe, και ‘‘Ο νόμος της Ταυτόχρονης χρωματικής αντίθεσης’’ (1839) από τον Γάλλο βιομηχανικό χημικό Michel-Eugène Chevreul. Οι Ζωγράφοι έχουν χρησιμοποιήσει περισσότερες από τα τρία βασικά χρώματα σε παλέτες τους, και σε ένα σημείο θεωρείται ότι το κόκκινο, το κίτρινο, το μπλε και το πράσινο είναι τα τέσσερα βασικά χρώματα. Το κόκκινο, το κίτρινο, το μπλε και το πράσινο ακόμα θεωρείται ότι είναι τα τέσσερα ψυχολογικά βασικά χρώματα, αν και το κόκκινο, το κίτρινο και το μπλε μερικές φορές αναφέρονται

ως τα τρία ψυχολογικά πρωτεύοντα, το μαύρο και το άσπρο καιρούς προστίθεται ως το τέταρτο και το πέμπτο.

#### 4.10.1.6 YCbCr

YCbCr, Y'CbCr ή Y Pb / Cb Pr / Cr, επίσης γραμμένο ως YCBCR ή Y'CBCR, είναι μια οικογένεια χρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως μέρος του αγωγού έγχρωμης εικόνας σε συστήματα βίντεο και ψηφιακής φωτογραφίας. Το Y 'είναι το luma (συστατικό φωτεινότητας) και το Cb και το Cr είναι τα συστατικά χρώματος της γαλάζιας διαφοράς και της κόκκινης διαφοράς. Το Y ' διακρίνεται από το Y, το οποίο είναι η φωτεινότητα, που σημαίνει ότι η ένταση φωτός είναι μη γραμμικώς κωδικοποιημένη με βάση τα διορθωμένα στο γάμμα πρωτεύοντα στοιχεία RGB. Οι χρωματικοί χώροι Y'CbCr ορίζονται από ένα μετασχηματισμό μαθηματικών συντεταγμένων από έναν σχετικό χώρο χρωμάτων RGB. Εάν ο υποκείμενος χώρος χρώματος RGB είναι απόλυτος, ο χώρος χρώματος Y'CbCr είναι επίσης ένας απόλυτος χρωματικός χώρος. Αντίθετα, αν ο χώρος RGB είναι κακώς καθορισμένος, έτσι είναι και ο Y'CbCr.



Εικόνα 14: Πλάνο CbCr με σταθερή φωτεινότητα  $Y'=0.5$

Αποτελεί πρακτική προσέγγιση της επεξεργασίας χρωμάτων και της ομοιομορφίας των αντιλήψεων, όπου τα πρωτεύοντα χρώματα που αντιστοιχούν περίπου στο κόκκινο, το πράσινο και το μπλε επεξεργάζονται σε πληροφορίες με αισθητή σημασία. Με αυτόν τον τρόπο, η μεταγενέστερη επεξεργασία/μετάδοση εικόνων/βίντεο, η μετάδοση και η αποθήκευση μπορούν να πραγματοποιήσουν λειτουργίες και να εισάγουν σφάλματα με αισθητικούς τρόπους. Το Y'CbCr χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει ένα σήμα luma (Y ') που μπορεί να αποθηκευτεί με υψηλή

ανάλυση ή να μεταδοθεί σε υψηλό εύρος ζώνης και δύο χρωμικά στοιχεία (CB και CR) που μπορούν να μειωθούν, να υποχωρηθούν, να συμπιεστούν ή να αντιμετωπίζονται ξεχωριστά για βελτιωμένη απόδοση του συστήματος. Ένα πρακτικό παράδειγμα θα ήταν η μείωση του εύρους ζώνης ή της ανάλυσης για το "χρώμα" σε σύγκριση με το "μαύρο και άσπρο", καθώς οι άνθρωποι είναι πιο ευαίσθητοι στις ασπρόμαυρες πληροφορίες. Αυτό ονομάζεται υποδειγματοληψία χρώματος. Το χρωματικό μοντέλο μερικές φορές συντομεύεται σε YCC. Το Y'CbCr ονομάζεται συχνά YPbPr όταν χρησιμοποιείται για αναλογικό βίντεο, παρόλο που ο όρος Y'CbCr χρησιμοποιείται συνήθως και για τα δύο συστήματα, με ή χωρίς το πρωταρχικό. Το Y'CbCr συγγέεται συχνά με το χώρο χρώματος YUV και συνήθως οι όροι YCbCr και YUV χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, οδηγώντας σε κάποια σύγχυση. Όταν γίνεται αναφορά σε σήματα σε βίντεο ή ψηφιακή μορφή, ο όρος "YUV" σημαίνει κυρίως "Y'CbCr". Τα σήματα Y'CbCr (πριν από την κλιμάκωση και την αντιστάθμιση για την τοποθέτηση των σημάτων σε ψηφιακή μορφή) ονομάζονται YPbPr και δημιουργούνται από το ρυθμιζόμενο με γάμμα RGB.

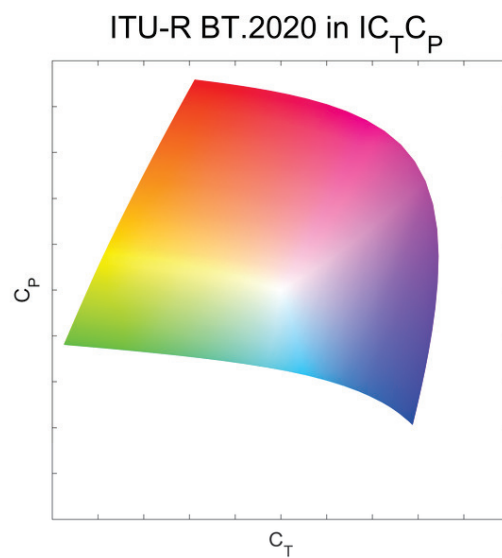
#### **4.10.1.7 YCgCo**

Το μοντέλο χρώματος YCgCo (ή YCoCg) είναι ο χρωματικός χώρος που σχηματίζεται από έναν απλό μετασχηματισμό ενός συσχετιζόμενου χρώματος χώρου RGB σε τιμή φωτεινότητας (υποδηλούμενο ως Y) και δύο χρωματικές τιμές που ονομάζονται χρωμικότητα του πράσινου (Cg) και χρωμικότητα του πορτοκαλί (Co). Υποστηρίζεται σε σχέδια συμπίεσης βίντεο και εικόνας όπως H.264 / MPEG-4 AVC, HEVC, JPEG XR και Dirac, αφού είναι εύκολο να υπολογιστεί, έχει καλό κωδικοποιητικό κέρδος μετασχηματισμού και μπορεί να μετατραπεί χωρίς απώλειες από και προς RGB με λιγότερα κομμάτια από αυτά που χρειάζονται με άλλα έγχρωμα μοντέλα. Πλεονεκτήματα του YCgCo σε σχέση με το YCbCr είναι οι απλούστεροι και ταχύτεροι υπολογισμοί, καλύτερη αντίθεση των χρωμάτων για να βελτιωθεί η απόδοση συμπίεσης και ακριβώς μη απωλεστική αντιστρεψιμότητα.

#### **4.10.1.8 ICTCp**

Το ICTCP, το ICTCp ή το ITP είναι ένας χρωματικός χώρος που χρησιμοποιείται ως μέρος του αγωγού έγχρωμης εικόνας σε συστήματα βίντεο και ψηφιακής φωτογραφίας για εικόνες υψηλής

δυναμικής και ευρείας γκάμας χρωμάτων (HDR) και καθορίζεται στο ITU-R BT.2100. Το I είναι το συστατικό φωτεινότητας έντασης που κωδικοποιείται χρησιμοποιώντας τη μη γραμμικότητα PQ SMPTE ST 2084 ή Hybrid Log-Gamma. Τα CT και CP είναι τα μπλε-κίτρινα (που ονομάζονται από την τριτανοπία) και τα κόκκινα-πράσινα (που ονομάζονται από την πρωτανοπία) χρωμικά συστατικά. Το ICTCP είναι κοντά στη σταθερή φωτεινότητα, πράγμα που βελτιώνει την υποδειγματοληψία χρωμάτων έναντι του YCbCr. Βελτιώνει επίσης τη γραμμικότητα απόχρωσης σε σύγκριση με το YCbCr το οποίο βοηθά με την απόδοση συμπίεσης και τη χαρτογράφηση του όγκου χρώματος. Με την αναδιαμόρφωση, μπορεί να βελτιώσει την απόδοση συμπίεσης κατά 10%.



Εικόνα 15: Κάτοψη ICTCP



## 5 ΤΥΠΟΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια ψηφιακή εικόνα  $i[m,n]$  αναπτύσσεται σε ένα διακριτό χώρο δύο διαστάσεων και παράγεται από την ψηφιοποίηση μιας αναλογικής εικόνας  $i[x,y]$  που αναπτύσσεται σε ένα συνεχή χώρο με διαστάσεις  $x$  και  $y$ .

### 5.2 Διανυσματικά Γραφικά-Εικόνες Vector

Τα γραφικά διανυσμάτων είναι η χρήση πολυγώνων για την αναπαραγωγή εικόνων σε γραφικά υπολογιστή. Τα διανυσματικά γραφικά βασίζονται σε διανύσματα, τα οποία οδηγούν μέσω τοποθεσιών που ονομάζονται σημεία ελέγχου ή κόμβοι. Κάθε ένα από αυτά τα σημεία έχει μια ορισμένη θέση στους άξονες  $x$  και  $y$  του επιπέδου εργασίας και καθορίζει την κατεύθυνση της διαδρομής. Επιπλέον, σε κάθε διαδρομή μπορούν να αποδοθούν διάφορα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των τιμών όπως το χρώμα, το σχήμα, η καμπύλη, το πάχος και η πλήρωση. Στην τυπογραφία υπολογιστών, οι σύγχρονες γραμματοσειρές περιγράμματος περιγράφουν εκτυπώσιμους χαρακτήρες (glyphs) με κυβικές ή τετραγωνικές μαθηματικές καμπύλες με σημεία ελέγχου. Παρ' όλα αυτά, οι γραμματοσειρές bitmap εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται. Η μετατροπή των περιγραμμάτων απαιτεί την πλήρωσή τους. Η μετατροπή σε bitmaps δεν είναι ασήμαντη, επειδή τα bitmaps συχνά δεν έχουν επαρκή ανάλυση για να αποφύγουν τη "σκάλα", ειδικά με μικρότερα ορατά μεγέθη χαρακτήρων. Η επεξεργασία των δεδομένων χαρακτήρων περιγράμματος με περίπλοκο τρόπο για τη δημιουργία ικανοποιητικών bitmaps για επίστρωση καλείται "hinting". Αν και ο όρος υποδηλώνει πρόταση, η διαδικασία είναι ντετερμινιστική και γίνεται με εκτελέσιμο κώδικα, ουσιαστικά μια γλώσσα υπολογιστή ειδικής χρήσης. Ενώ είναι δυνατή η αυτόματη υπόδειξη, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι κατώτερα από αυτά που έχουν γίνει από τους ειδικούς. Οι σύγχρονες οθόνες γραφικών διανυσμάτων μπορούν να βρεθούν μερικές φορές στο φως του λέιζερ, όπου δύο ταχέως κινούμενοι καθρέφτες X-Y τοποθετούν τη δέσμη ώστε να τραβούν γρήγορα σχήματα και κείμενο ως ευθείες και καμπύλες κινήσεις σε μια οθόνη. Τα διανυσματικά γραφικά μπορούν να δημιουργηθούν με τη μορφή ενός στυλό plotter, ενός ειδικού τύπου εκτυπωτή που χρησιμοποιεί μια σειρά από στυλό και μαρκαδόρους σε μια σερβο-οδηγημένη βάση που κινείται οριζόντια κατά μήκος του χαρτιού, με τον σχεδιαστή να μετακινεί το χαρτί εμπρός και πίσω μέσω της διαδρομής χαρτιού για κάθετη κίνηση. Παρόλο που μια τυπική πλοκή μπορεί να απαιτήσει μερικές χιλιάδες κινήσεις χαρτιού, μπροστά και πίσω, το χαρτί δεν γλιστρά. Σε ένα μικροσκοπικό φυλλοειδές plotter από τις Άλλεις στην Ιαπωνία, τα δόντια σε λεπτούς οδοντωτούς τροχούς περιείχαν το χαρτί κοντά στα άκρα του στο πρώτο πέρασμα και διατηρούσαν την εγγραφή τους σε επόμενα περάσματα. Ορισμένοι σχεδιαστές στυλό Hewlett-Packard είχαν αερογράφο τύπου δύο αξόνων και χαρτί (το μέγεθος του σχεδιασμού ήταν περιορισμένο). Ωστόσο, οι plotters H-P του κινούμενου χαρτιού είχαν τροχούς χαλκού (παρόμοιοι με τους τροχούς λείανσης μηχανών) οι οποίοι, κατά το πρώτο πέρασμα, περιείχαν την επιφάνεια του χαρτιού και συλλογικά διατηρούσαν την καταχώρηση. Τα διανυσματικά αρχεία διανυσματικών εικόνων σήμερα, όπως τα σχέδια μηχανικής, εκτυπώνονται τυπικά ως bitmap, μετά τη μετατροπή μεταξύ φορέα-σε-ράστερ. Ο όρος "διανυσματικά γραφικά" χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως στο πλαίσιο των δισδιάστατων γραφικών υπολογιστών. Είναι ένας από τους πολλούς τρόπους που ένας καλλιτέχνης μπορεί να χρησιμοποιήσει για να δημιουργήσει μια εικόνα σε μια οθόνη raster. Τα διανυσματικά γραφικά μπορούν να μεταφορτωθούν σε ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων για άλλους σχεδιαστές για να

κατεβάσουν και να χειριστούν, επιταχύνοντας τη δημιουργική διαδικασία. Άλλοι τρόποι περιλαμβάνουν κείμενο, πολυμέσα και απόδοση 3D. Σχεδόν όλες οι σύγχρονες απεικονίσεις 3D πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας επεκτάσεις 2D διανυσματικών τεχνικών γραφικών. Οι σχεδιαστές που χρησιμοποιούνται στο τεχνικό σχέδιο εξακολουθούν να τραβούν διανύσματα απευθείας σε χαρτί. Το πρότυπο World Wide Web Consortium (W3C) για διανυσματικά γραφικά είναι το Scalable Vector Graphics (SVG). Το πρότυπο είναι σύνθετο και έχει σχετικά αργό ρυθμό, τουλάχιστον εν μέρει, λόγω εμπορικών συμφερόντων. Πολλοί περιηγητές ιστού έχουν τώρα κάποια υποστήριξη για την απόδοση δεδομένων SVG, αλλά οι πλήρεις εφαρμογές του προτύπου εξακολουθούν να είναι συγκριτικά σπάνιες. Τα τελευταία χρόνια, το SVG έχει καταστεί μια σημαντική μορφή που είναι εντελώς ανεξάρτητη από την ανάλυση της συσκευής απόδοσης, συνήθως ενός εκτυπωτή ή οθόνης. Τα αρχεία SVG είναι ουσιαστικά εκτυπώσιμα κείμενα που περιγράφουν τόσο ευθείες όσο και καμπύλες διαδρομές, καθώς και άλλα χαρακτηριστικά. Η Wikipedia προτιμά το SVG για εικόνες όπως απλούς χάρτες, εικόνες γραμμών, οικόσημα και σημαίες, οι οποίες γενικά δεν μοιάζουν με φωτογραφίες ή άλλες εικόνες συνεχόμενου τόνου. Η απόδοση του SVG απαιτεί μετατροπή σε μορφότυπο raster με ανάλυση κατάλληλη για την τρέχουσα εργασία. Το SVG είναι επίσης μια μορφή για κινούμενα γραφικά.

### 5.3 Ψηφιογραφικά Γραφικά-Εικόνες Bitmap ή Raster

Στα γραφικά των υπολογιστών, μια εικόνα ράστερ ή μια εικόνα bitmap είναι μια δομή δεδομένων μητρικών σημείων, η οποία αντιπροσωπεύει ένα γενικά ορθογώνιο πλέγμα εικονοστοιχείων ή σημεία χρώματος που μπορούν να προβληθούν μέσω μίας οθόνης, χαρτιού ή άλλου μέσου απεικόνισης. Οι ψηφιογραφικές εικόνες αποθηκεύονται σε αρχεία εικόνας με διαφορετικές μορφές. Ένα bitmap, ένα raster ενός bit, αντιστοιχεί σε bit-for-bit με μια εικόνα που εμφανίζεται σε μια οθόνη, γενικά στην ίδια μορφή που χρησιμοποιείται για αποθήκευση στη μνήμη βίντεο της οθόνης, ή ίσως ως ένα bitmap ανεξάρτητο από τη συσκευή. Ένα ράστερ χαρακτηρίζεται τεχνικά από το πλάτος και το ύψος της εικόνας σε εικονοστοιχεία και από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων ανά εικονοστοιχείο (ή βάθος χρώματος, που καθορίζει τον αριθμό των χρωμάτων που μπορεί να αντιπροσωπεύει). Οι βιομηχανίες εκτύπωσης και prepress γνωρίζουν τα ράστερ γραφικά ως conones (από τους "συνεχείς τόνους"). Το αντίθετο των συμβολών είναι η "εργασία γραμμής", που συνήθως εφαρμόζεται ως διανυσματικά γραφικά σε ψηφιακά συστήματα. Οι περισσότεροι σύγχρονοι υπολογιστές έχουν οθόνες ψηφιογραφικές, όπου κάθε εικονοστοιχείο στην οθόνη αντιστοιχεί άμεσα σε ένα μικρό αριθμό μπιτ στη μνήμη. Η οθόνη ανανεώνεται απλά με σάρωση μέσω εικονοστοιχείων και χρωματισμό τους σύμφωνα με κάθε σετ δυαδικών ψηφίων. Η διαδικασία ανανέωσης, που είναι κρίσιμη για ταχύτητα, συχνά υλοποιείται με ειδικά κυκλώματα, συχνά ως μέρος μιας μονάδας επεξεργασίας γραφικών. Μια πρόιμη σαρωμένη οθόνη με ψηφιογραφικά γραφικά υπολογιστή επινοήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από τον A. Michael Noll στο Bell Labs, αλλά η αίτησή του για χορήγηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας που κατατέθηκε στις 5 Φεβρουαρίου 1970 εγκαταλείφθηκε στο Ανώτατο Δικαστήριο το 1977 σχετικά με το ζήτημα της κατοχύρωσης με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας λογισμικού ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι περισσότερες εικόνες υπολογιστή αποθηκεύονται σε μορφές ψηφιογραφικών γραφικών ή συμπιεσμένες παραλλαγές, συμπεριλαμβανομένων των GIF, JPEG και PNG, τα οποία είναι δημοφιλή στο Διαδίκτυο. Τα τρισδιάστατα ψηφιογραφικά γραφικά voxel χρησιμοποιούνται σε βιντεοπαιχνίδια και χρησιμοποιούνται επίσης σε ιατρικές απεικονίσεις όπως σαρωτές μαγνητικής τομογραφίας.

Τα ψηφιογραφικά γραφικά εξαρτώνται από την ανάλυση, πράγμα που σημαίνει ότι δεν μπορούν να κλιμακωθούν σε μια αυθαίρετη ανάλυση χωρίς απώλεια φαινομενικής ποιότητας. Αυτή η ιδιότητα έρχεται σε αντίθεση με τις δυνατότητες των διανυσματικών γραφικών, τα οποία μπορούν εύκολα

να κλιμακωθούν μέχρι την ποιότητα της συσκευής που τα κάνει. Τα γραφικά των ραστρών ασχολούνται περισσότερο πρακτικά με τα γραφικά διανύσματος με φωτογραφίες και φωτορεαλιστικές εικόνες, ενώ τα διανυσματικά γραφικά συχνά εξυπηρετούν καλύτερα για στοιχειοθέτηση ή γραφικό σχεδιασμό. Οι σύγχρονες οθόνες υπολογιστή τυπικά εμφανίζουν περίπου 72 έως 130 εικονοστοιχεία ανά ίντσα και ορισμένοι σύγχρονοι καταναλωτικοί εκτυπωτές μπορούν να επιλύσουν 2400 κουκκίδες ανά ίντσα ή περισσότερο. Ο προσδιορισμός της καταλληλότερης ανάλυσης εικόνας για μια συγκεκριμένη ανάλυση εκτυπωτή μπορεί να δημιουργήσει δυσκολίες, αφού η εκτυπωμένη έξοδος μπορεί να έχει μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας από ό, τι μπορεί να διακρίνει ένας θεατής σε μια οθόνη. Συνήθως, μια ανάλυση από 150 έως 300 PPI λειτουργεί καλά για την εκτύπωση 4 χρωμάτων (CMYK). Ωστόσο, για τις τεχνολογίες εκτύπωσης που πραγματοποιούν ανάμιξη χρωμάτων μέσω της αδράνειας και όχι μέσω της επικάλυψης (σχεδόν όλοι οι εκτυπωτές inkjet και οικιακού εκτυπωτή), ο DPI του εκτυπωτή και η εικόνα PPI έχουν πολύ διαφορετική σημασία και αυτό μπορεί να είναι παραπλανητικό. Επειδή ο εκτυπωτής δημιουργεί ένα pixel από μια σειρά στιγμών εκτυπωτή για να αυξήσει το βάθος χρώματος, η ρύθμιση DPI του εκτυπωτή πρέπει να είναι πολύ υψηλότερη από την επιθυμητή τιμή PPI, ώστε να εξασφαλίζεται επαρκές βάθος χρώματος χωρίς να θίγεται η ανάλυση εικόνας. Έτσι, για παράδειγμα, η εκτύπωση μιας εικόνας στα 250 PPI μπορεί στην πραγματικότητα να απαιτεί ρύθμιση εκτυπωτή 1200 DPI.

### 5.3.1 Διτωνικές Binary

Μια δυαδική εικόνα είναι μια ψηφιακή εικόνα που έχει μόνο δύο πιθανές τιμές για κάθε εικονοστοιχείο. Συνήθως, τα δύο χρώματα που χρησιμοποιούνται για μια δυαδική εικόνα είναι ασπρόμαυρα, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε δύο χρώματα. Το χρώμα που χρησιμοποιείται για το αντικείμενο ή τα αντικείμενα στην εικόνα είναι το χρώμα του προσκηνίου ενώ το υπόλοιπο της εικόνας είναι το χρώμα φόντου. Στη βιομηχανία σάρωσης εγγράφων, αυτό αναφέρεται συχνά ως "διτωνικό". Οι δυαδικές εικόνες ονομάζονται επίσης δύο επιπέδων. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εικονοστοιχείο αποθηκεύεται ως ένα ενιαίο bit - δηλ. 0 ή 1. Τα ονόματα ασπρόμαυρα, μονόχρωμα ή μονοχρωματικά χρησιμοποιούνται συχνά για αυτήν την έννοια, αλλά μπορούν επίσης να υποδηλώνουν οποιοσδήποτε εικόνες που έχουν μόνο ένα δείγμα ανά εικονοστοιχείο, όπως εικόνες σε κλίμακα του γκρι. Οι δυαδικές εικόνες εμφανίζονται συχνά στην ψηφιακή επεξεργασία εικόνας ως μάσκες ή ως αποτέλεσμα ορισμένων λειτουργιών, όπως τμηματοποίηση, οριακή τιμή και ακινησία. Ορισμένες συσκευές εισόδου / εξόδου, όπως εκτυπωτές λέιζερ, συσκευές φαξ και οθόνες υπολογιστών διπλής όψης, μπορούν να χειριστούν μόνο εικόνες διεπίπεδες. Μία δυαδική εικόνα μπορεί να αποθηκευτεί στη μνήμη ως ψηφιογραφική, μια συστοιχισμένη σειρά από δυαδικά ψηφία. Μια εικόνα 640 × 480 απαιτεί αποθήκευση 37,5 KiB. Λόγω του μικρού μεγέθους των αρχείων εικόνας, οι λύσεις φαξ και διαχείρισης εγγράφων χρησιμοποιούν συνήθως αυτή τη μορφή. Οι περισσότερες δυαδικές εικόνες συμπίεζονται επίσης καλά με απλά προγράμματα συμπίεσης κατά μήκος διαδρομής. Οι δυαδικές εικόνες μπορούν να ερμηνευθούν ως υποσύνολα του δισδιάστατου δικτυακού πλέγματος  $Z^2$ . Το πεδίο της μορφολογικής επεξεργασίας εικόνας εμπνεύστηκε σε μεγάλο βαθμό από αυτή την άποψη.

### 5.3.2 Grayscale Μονόχρωμη

Μια ψηφιακή εικόνα σε κλίμακα του γκρι ή σε κλίμακα του γκρι είναι μια εικόνα στην οποία η αξία κάθε εικονοστοιχείου είναι ένα μόνο δείγμα, δηλαδή φέρει μόνο πληροφορίες εντάσεως. Εικόνες αυτού του είδους, επίσης γνωστές ως ασπρόμαυρες, αποτελούνται αποκλειστικά από αποχρώσεις

του γκριζου, που κυμαίνονται από το μαύρο με την ασθενέστερη ένταση στο λευκό στο πιο δυνατό. Οι εικόνες σε κλίμακα του γκρι είναι ξεχωριστές από τις ασπρόμαυρες ασπρόμαυρες ασπρόμαυρες εικόνες, οι οποίες στο πλαίσιο της απεικόνισης υπολογιστών είναι εικόνες με δύο μόνο χρώματα, ασπρόμαυρες. Οι εικόνες σε κλίμακα του γκρι έχουν πολλές αποχρώσεις του γκρι. Συχνά το αποτέλεσμα της μέτρησης της έντασης του φωτός σε κάθε εικονοστοιχείο σε μια μόνο ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (π.χ. υπέρυθρο, ορατό φως, υπεριώδες, κ.λπ.) και σε τέτοιες περιπτώσεις είναι μονοχρωματικά κατάλληλα όταν μόνο μια δεδομένη συχνότητα συλληφθεί. Αλλά επίσης μπορούν να συντίθενται από μια πλήρη έγχρωμη εικόνα. Ανατρέξτε στην ενότητα σχετικά με τη μετατροπή σε κλίμακα του γκρι.

Η ένταση ενός εικονοστοιχείου εκφράζεται μέσα σε ένα δεδομένο εύρος μεταξύ ενός ελάχιστου και ενός μέγιστου. Το εύρος αυτό αντιπροσωπεύεται με αφηρημένο τρόπο ως εύρος από 0 (ολική απουσία, μαύρο) και 1 (συνολική παρουσία, λευκό), με οποιεσδήποτε κλασματικές τιμές μεταξύ. Αυτός ο συμβολισμός χρησιμοποιείται σε ακαδημαϊκά έγγραφα, αλλά αυτό δεν καθορίζει τι είναι "μαύρο" ή "λευκό" από την άποψη της χρωματομετρίας. Μια άλλη σύμβαση είναι η χρήση ποσοστών, οπότε η κλίμακα είναι από 0% έως 100%. Αυτό χρησιμοποιείται για μια πιο διαισθητική προσέγγιση, αλλά αν χρησιμοποιούνται μόνο ακέραιες τιμές, το εύρος περιλαμβάνει συνολικά μόνο 101 εντάσεις, οι οποίες είναι ανεπαρκείς για να αντιπροσωπεύουν μια ευρεία κλίση των γκριζών. Επίσης, η γραφική παράσταση χρησιμοποιείται για την εκτύπωση για να υποδείξει πόση μελάνη χρησιμοποιείται σε ημίξηρο, αλλά στη συνέχεια η κλίμακα αντιστρέφεται, δηλαδή το χαρτί λευκό (χωρίς μελάνη) και 100% ένα στερεό μαύρο (πλήρες μελάνη). Στους H/Y, αν και η κλίμακα του γκρι μπορεί να υπολογιστεί με λογικούς αριθμούς, τα εικονοστοιχεία εικόνας αποθηκεύονται σε δυαδική, κβαντισμένη μορφή. Ορισμένες πρώιμες οθόνες σε κλίμακα του γκρι μπορούν να παρουσιάσουν έως και δεκαέξι (4-bit) διαφορετικές αποχρώσεις, αλλά σήμερα οι εικόνες σε κλίμακα του γκρι (ως φωτογραφίες) που προορίζονται για οπτική απεικόνιση (τόσο στην οθόνη όσο και σε έντυπη μορφή) αποθηκεύονται συνήθως με 8 bits ανά pixel δειγματοληψίας, Πρέπει να καταγράφονται διαφορετικές εντάσεις (δηλαδή, αποχρώσεις του γκρι), συνήθως σε μη γραμμική κλίμακα. Η ακρίβεια που παρέχεται από αυτή τη μορφή είναι ελάχιστα επαρκής για να αποφευχθούν τα ορατά αντικείμενα συγκόλλησης, αλλά πολύ βολικό για προγραμματισμό, επειδή ένα μόνο εικονοστοιχείο καταλαμβάνει έπειτα ένα μόνο byte. Οι τεχνικές χρήσεις (π.χ. σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης ή τηλεπισκόπησης) συχνά απαιτούν περισσότερα επίπεδα, για πλήρη αξιοποίηση της ακρίβειας του αισθητήρα (συνήθως 10 ή 12 bits ανά δείγμα) και για την προστασία από σφάλματα στρωγγυλοποίησης σε υπολογισμούς. Δεκαέξι bits ανά δείγμα (65.536 επίπεδα) είναι μια βολική επιλογή για τέτοιες χρήσεις, καθώς οι υπολογιστές διαχειρίζονται λέξεις 16-bit αποτελεσματικά. Ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο βάθος pixel, οι δυαδικές αναπαραστάσεις υποθέτουν ότι το 0 είναι μαύρο και η μέγιστη τιμή (255 στα 8 bpp, 65,535 στα 16 bpp κ.λπ.) είναι άσπρη, αν δεν σημειώνεται διαφορετικά.

### 5.3.3 Indexed Δεικτοδοτημένου Χρώματος

Μια δεικτοδοτημένη εικόνα αποτελείται από ένα πίνακα δεδομένων X, και ένα πίνακα ψηφιογραφικό, χάρτη. Ο χάρτης είναι ένας πίνακας  $m \times 3$  της κατηγορίας διπλής κατηγορίας που περιέχει τιμές κυμαινόμενου σημείου στην περιοχή [0, 1]. Κάθε σειρά χαρτών καθορίζει τα κόκκινα, πράσινα και μπλε συστατικά ενός μόνο χρώματος. Μια ευρετηριασμένη εικόνα χρησιμοποιεί "άμεση χαρτογράφηση" των τιμών των εικονοστοιχείων στις τιμές των χρωμάτων. Το χρώμα κάθε εικονοστοιχείου εικόνας προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη τιμή του X ως δείκτη σε χάρτη. Οι τιμές του X πρέπει επομένως να είναι ακέραιοι. Η τιμή 1 δείχνει την πρώτη γραμμή στο χάρτη, η τιμή 2 πάντοτε στη δεύτερη σειρά και ούτω καθεξής. Εμφάνιση μιας

ευρετηριωμένης εικόνας με τις δηλώσεις. Το ευρετήριο χρώματος είναι μια τεχνική για τη διαχείριση των χρωμάτων των ψηφιακών εικόνων με περιορισμένο τρόπο, προκειμένου να εξοικονομηθεί η μνήμη του υπολογιστή και η αποθήκευση αρχείων, επιταχύνοντας την ανανέωση της οθόνης και τις μεταφορές αρχείων. Είναι μια μορφή διανύσματος συμπίεσης κβαντισμού. Όταν μια εικόνα κωδικοποιείται με αυτόν τον τρόπο, οι πληροφορίες χρώματος δεν μεταφέρονται απευθείας από τα δεδομένα εικονοστοιχείων εικόνας, αλλά αποθηκεύονται σε ξεχωριστό κομμάτι δεδομένων που ονομάζεται παλέτα: μια σειρά χρωμάτων. Κάθε στοιχείο στη συστοιχία αντιπροσωπεύει ένα χρώμα, το οποίο έχει ευρετηριωθεί από τη θέση του μέσα στη συστοιχία. Οι μεμονωμένες καταχωρήσεις είναι μερικές φορές γνωστές ως καταχωρητές χρώματος. Τα εικονοστοιχεία εικόνας δεν περιέχουν την πλήρη προδιαγραφή του χρώματος, αλλά μόνο τον δείκτη της στην παλέτα. Αυτή η τεχνική αναφέρεται μερικές φορές ως ψευδοχρωμία ή έμμεσο χρώμα, καθώς τα χρώματα αντιμετωπίζονται έμμεσα. Ίσως η πρώτη συσκευή που υποστήριζε τα χρώματα των παλετών ήταν ένα buffer πλαισίου τυχαίας προσπέλασης, που περιγράφηκε το 1975 από τους Kajiya, Sutherland και Cheadle. Αυτό υποστηρίζει μια παλέτα 256 χρωμάτων RGB 36-bit.

Η ίδια η παλέτα αποθηκεύει ένα περιορισμένο αριθμό διαφορετικών χρωμάτων. 4, 16 ή 256 είναι οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις. Αυτά τα όρια συχνά επιβάλλονται από το υλικό προσαρμογέα οθόνης της αρχιτεκτονικής στόχου, οπότε δεν είναι τυχαίο ότι αυτοί οι αριθμοί είναι ακριβείς δυνάμεις των δύο (ο δυαδικός κώδικας):  $2^2 = 4$ ,  $2^4 = 16$  και  $2^8 = 256$ . (Και στη συνέχεια ένα μοναδικό εικονοστοιχείο έγχρωμης εικονοστοιχείου καταλαμβάνει επίσης ένα μόνο byte), οι δείκτες pixel με 16 (4-bit, a nibble) ή λιγότερα χρώματα μπορούν να συσκευάζονται μαζί σε ένα μόνο byte (δύο nibbles ανά Byte, εάν χρησιμοποιούνται 16 χρώματα ή τέσσερα εικονοκύτταρα 2 bits ανά byte αν χρησιμοποιούν 4 χρώματα). Μερικές φορές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τιμές 1-bit (2-χρωμάτων) και έπειτα έως και οκτώ εικονοστοιχεία μπορούν να συσκευαστούν σε ένα μοναδικό byte. Τέτοιες εικόνες θεωρούνται δυαδικές εικόνες και όχι μια δεικτοδοτημένη έγχρωμη εικόνα.

### 5.3.4 True Color RGB Εικόνες

Το αληθινό χρώμα υποστηρίζει 24-bit για τρία χρώματα RGB. Παρέχει μια μέθοδο απεικόνισης και αποθήκευσης πληροφοριών γραφικών εικόνων (ειδικά στην επεξεργασία ηλεκτρονικών υπολογιστών) σε ένα χώρο χρωμάτων RGB, έτσι ώστε ένας πολύ μεγάλος αριθμός χρωμάτων, αποχρώσεων και αποχρώσεων να μπορεί να εμφανίζεται σε μια εικόνα, όπως σε υψηλής ποιότητας φωτογραφική Εικόνες ή περίπλοκα γραφικά. Συνήθως, το αληθινό χρώμα ορίζεται ως 256 αποχρώσεις του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε, για συνολικά 224, ή εναλλακτικά 2563, ή 16.777.216 χρωματικές παραλλαγές. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει έως δέκα εκατομμύρια χρώματα. Η επεξεργασία χρώματος στο μάτι γίνεται μέσω κυττάρων αμφιβληστροειδούς κώνου που είναι τριών τύπων, αν και δεν αντιστοιχούν σε κόκκινες, πράσινες και μπλε αποχρώσεις. Το "αληθινό χρώμα" μπορεί επίσης να αναφέρεται σε λειτουργία απεικόνισης RGB που δεν χρειάζεται πίνακα έγχρωμης αναζήτησης (CLUT). Για κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιείται γενικά ένα byte για κάθε κανάλι, ενώ το τέταρτο byte (εάν υπάρχει) χρησιμοποιείται είτε ως κανάλι άλφα, δεδομένα, είτε απλά αγνοείται. Η εντολή byte είναι συνήθως RGB ή BGR. Ορισμένα συστήματα υπάρχουν με περισσότερα από 8 bits ανά κανάλι και αυτά συχνά αναφέρονται επίσης ως αληθινό χρώμα. Ακόμη και με αληθινό χρώμα, οι μονοχρωματικές εικόνες, οι οποίες περιορίζονται σε 256 επίπεδα, χάρη στο μοναδικό τους κανάλι, μπορούν μερικές φορές να αποκαλύψουν ακόμη και ορατά αντικείμενα. Όπως και άλλα έγχρωμα μοντέλα RGB, δεν μπορεί να εκφράσει χρώματα έξω από τη γκάμα του έγχρωμου χώρου RGB (γενικά sRGB). Τα συστήματα Macintosh αναφέρονται σε χρώμα 24-bit ως "εκατομμύρια χρώματα". Ο χρωματικός χώρος RGBA ή το χρώμα 32-bit είναι μια

παραλλαγή του αληθινού χρώματος στο οποίο τα πρόσθετα 8 μπιτ κατανέμονται στη διαφάνεια και υποδεικνύουν πόσο διαφανές είναι το στοιχείο στο οποίο αντιστοιχεί το χρώμα, όταν επικαλύπτεται σε άλλα στοιχεία.

## 5.4 Μορφοποιήσεις Αρχείων Εικόνας

Οι μορφές αρχείων εικόνας είναι τυποποιημένα μέσα οργάνωσης και αποθήκευσης ψηφιακών εικόνων. Τα αρχεία εικόνας αποτελούνται από ψηφιακά δεδομένα σε μία από αυτές τις μορφές, τα οποία μπορούν να ψηφιοποιηθούν για χρήση σε οθόνη υπολογιστή ή εκτυπωτή. Μια μορφή αρχείου εικόνας μπορεί να αποθηκεύει δεδομένα σε μη συμπιεσμένα, συμπιεσμένα ή διανυσματικές μορφές. Μόλις ψηφιοποιηθεί, μια εικόνα γίνεται ένα πλέγμα εικονοστοιχείων, το καθένα από τα οποία έχει ένα αριθμό bit για να καθορίσει το χρώμα που αντιστοιχεί στο βάθος χρώματος της συσκευής που την εμφανίζει.

Το μέγεθος των αρχείων των ψηφιογραφικών εικόνων συσχετίζεται με την ανάλυση και το μέγεθος των εικόνων (αριθμός εικονοστοιχείων) και το βάθος χρώματος (ψηφία ανά εικονοστοιχείο). Ωστόσο, οι εικόνες μπορούν να συμπιεστούν με διάφορους τρόπους. Ένας αλγόριθμος συμπίεσης αποθηκεύει είτε μια ακριβή αναπαράσταση είτε μια προσέγγιση της αρχικής εικόνας σε ένα μικρότερο αριθμό bytes που μπορεί να επεκταθεί πίσω στη ασυμπίεστη μορφή του με έναν αντίστοιχο αλγόριθμο αποσυμπίεσης. Εικόνες με τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων και βάθος χρώματος μπορούν να έχουν πολύ διαφορετικό μέγεθος συμπιεσμένου αρχείου. Λαμβάνοντας υπόψη την ίδια συμπίεση, τον αριθμό εικονοστοιχείων και το βάθος χρώματος για δύο εικόνες, η διαφορετική γραφική πολυπλοκότητα των αρχικών εικόνων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πολύ διαφορετικά μεγέθη αρχείων μετά τη συμπίεση λόγω της φύσης των αλγορίθμων συμπίεσης. Με ορισμένες μορφές συμπίεσης, οι εικόνες που είναι λιγότερο πολύπλοκες ενδέχεται να έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερα μεγέθη συμπιεσμένων αρχείων. Αυτό το χαρακτηριστικό οδηγεί μερικές φορές σε μικρότερο μέγεθος αρχείου για ορισμένες μη απωλεστικές μορφές απ'ό, τι οι μορφές απώλειας. Για παράδειγμα, γραφικά απλές εικόνες (δηλ. Εικόνες με μεγάλες συνεχείς περιοχές όπως γραμμικές τέχνες ή ακολουθίες κινουμένων σχεδίων) μπορεί να συμπιεστούν χωρίς απώλειες σε μορφή GIF ή PNG και να έχουν ως αποτέλεσμα μικρότερο μέγεθος αρχείου απ'ότι σε μορφή JPEG με απώλειες.

Οι διανυσματικές εικόνες μπορεί να είναι οποιαδήποτε διάσταση ανεξάρτητα από το μέγεθος του αρχείου. Το μέγεθος του αρχείου αυξάνεται μόνο με την προσθήκη περισσότερων διανυσμάτων.

Υπάρχουν δύο τύποι αλγορίθμων συμπίεσης αρχείων εικόνας: χωρίς απώλειες και με απώλειες. Οι αλγόριθμοι συμπίεσης χωρίς απώλειες μειώνουν το μέγεθος του αρχείου διατηρώντας ταυτόχρονα ένα τέλειο αντίγραφο της αρχικής ασυμπίεστου εικόνας. Η απώλεια συμπίεσης γενικά, αλλά όχι πάντα, έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα αρχεία από τη συμπίεση των ζιμιών. Η συμπίεση χωρίς απώλειες πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθεί η συσσώρευση σταδίων επανσυμπίεσης κατά την επεξεργασία εικόνων.

Οι απωλεστικοί αλγόριθμοι συμπίεσης διατηρούν μια αναπαράσταση της αρχικής εικόνας που μπορεί να φαίνεται ότι είναι ένα τέλειο αντίγραφο, αλλά δεν είναι. Συχνά η συμπίεση απώλειας είναι σε θέση να επιτύχει μικρότερα μεγέθη αρχείων από τη συμπίεση χωρίς απώλειες. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι συμπίεσης απώλειας επιτρέπουν μεταβλητή συμπίεση που εμπορεύεται την ποιότητα εικόνας για το μέγεθος του αρχείου.

Οι σημαντικότερες μορφές αρχείων εικόνας παραθέτονται παρακάτω.

## 5.5 Ψηφιογραφικές Μορφές Αρχείων Εικόνας

### 5.5.1 TIFF (Tagged Image File Format)

Η μορφή TIFF (μορφοποίηση αρχείου ετικετών) είναι μια ευέλικτη μορφή που συνήθως αποθηκεύει 8 bit ή 16 bit ανά χρώμα (κόκκινο, πράσινο, μπλε) για σύνολα 24 bit και 48 bit, αντίστοιχα, συνήθως χρησιμοποιώντας είτε το όνομα αρχείου TIFF ή TIF επέκταση. Η δομή με ετικέτες σχεδιάστηκε για να είναι εύκολα επεκτάσιμη και πολλοί πωλητές έχουν εισαγάγει ιδιόκτητες ετικέτες ειδικής χρήσης - με αποτέλεσμα κανένας αναγνώστης να μην χειρίζεται κάθε αρχείο. Τα TIFFs μπορεί να είναι απωλεστικά ή χωρίς απώλειες, ανάλογα με την τεχνική επιλογή για την αποθήκευση των δεδομένων εικονοστοιχείων. Ορισμένοι προσφέρουν σχετικά καλή απώλεια συμπίεσης για εικόνες δύο επιπέδων (ασπρόμαυρη). Ορισμένες ψηφιακές κάμερες μπορούν να αποθηκεύσουν εικόνες σε μορφή TIFF, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο συμπίεσης LZW για αποθήκευση χωρίς απώλειες. Η μορφή εικόνας TIFF δεν υποστηρίζεται ευρέως από προγράμματα περιήγησης ιστού. Παραμένει ευρέως αποδεκτό ως πρότυπο αρχείου φωτογραφιών στην επιχείρηση εκτύπωσης. Επίσης μπορεί να χειριστεί χρωματικούς χώρους ειδικά για τη συσκευή, όπως το CMYK που ορίζεται από μια συγκεκριμένη σειρά μελανιών τύπου εκτύπωσης. Τα πακέτα λογισμικού OCR (Οπτική Αναγνώριση Χαρακτήρων) συνήθως δημιουργούν κάποια μορφή εικόνας TIFF (συχνά μονοχρωματικές) για σελίδες σαρωμένου κειμένου.

### 5.5.2 GIF (Graphics Interchange Format)

Το GIF (Μορφή Ανταλλαγής Γραφικών) είναι σε κανονική χρήση περιορισμένο σε παλέτα 8-bit ή σε 256 χρώματα (ενώ το βάθος χρώματος 24-bit είναι τεχνικά δυνατό). Είναι το πιο κατάλληλο για την αποθήκευση γραφικών με λίγα χρώματα, όπως απλά διαγράμματα, σχήματα, λογότυπα και εικόνες στυλ κινουμένων σχεδίων, καθώς χρησιμοποιεί συμπίεση LZW χωρίς απώλειες, η οποία είναι πιο αποτελεσματική όταν οι μεγάλες περιοχές έχουν ένα χρώμα και λιγότερο αποτελεσματικές για φωτογραφικές εικόνες. Λόγω της απλότητας και της ηλικίας του GIF, πέτυχε σχεδόν καθολική υποστήριξη λογισμικού. Λόγω των δυνατοτήτων του animation, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως για την παροχή εφέ κίνησης εικόνας, παρά τη χαμηλή αναλογία συμπίεσης σε σύγκριση με τις σύγχρονες μορφές βίντεο.

### 5.5.3 BMP (Windows Bitmap)

Η μορφή αρχείου BMP χειρίζεται γραφικά αρχεία μέσα στο λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows. Συνήθως, τα αρχεία BMP είναι ασυμπίεστα, και επομένως μεγάλα και χωρίς απώλειες. Το πλεονέκτημά τους είναι η απλή δομή και η ευρεία αποδοχή τους στα προγράμματα των Windows.

### 5.5.4 PNG (Portable Network Graphics)

Η μορφή αρχείου PNG δημιουργήθηκε ως δωρεάν εναλλακτική λύση για το GIF. Υποστηρίζει παλέτες οκτώ δυαδικών ψηφίων (με προαιρετική διαφάνεια για όλα τα χρώματα των παλετών) και 24 bit truecolor (16 εκατομμύρια χρώματα) ή truecolor 48 bit με και χωρίς κανάλι άλφα - ενώ το GIF υποστηρίζει μόνο 256 χρώματα και ένα ενιαίο διαφανές χρώμα. Σε σύγκριση με το JPEG, το

PNG υπερέρχει όταν η εικόνα έχει μεγάλες, ομοιόμορφα χρωματισμένες περιοχές. Ακόμη και για φωτογραφίες - όπου η JPEG είναι συχνά η επιλογή για τελική διανομή, καθώς η τεχνική της συμπίεσης αποδίδει συνήθως μικρότερα μεγέθη αρχείων - το PNG είναι ακόμα κατάλληλο για την αποθήκευση εικόνων κατά τη διαδικασία επεξεργασίας λόγω της απώλειας της συμπίεσης. Το PNG παρέχει αντικατάσταση χωρίς ευρεσιτεχνίες για το GIF (αν και το GIF είναι αυτόνομο πλέον δωρεάν) και μπορεί επίσης να αντικαταστήσει πολλές κοινές χρήσεις του TIFF. Εμφανίζονται εικόνες με ευρετήριο, χρώματα κίτρινου χρώματος, κίτρινο και τρίχρωμο, καθώς και ένα προαιρετικό κανάλι άλφα. Η αλληλεπίδραση του Adam7 επιτρέπει μια έγκαιρη προεπισκόπηση, ακόμα και όταν έχει μεταδοθεί μόνο ένα μικρό ποσοστό των δεδομένων εικόνας. Το PNG μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα γάμμα και χρωματικότητας για βελτιωμένη αντιστοίχιση χρωμάτων σε ετερογενείς πλατφόρμες. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί καλά σε εφαρμογές προβολής στο διαδίκτυο, όπως προγράμματα περιήγησης στο διαδίκτυο, και μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πλήρη ροή με μια προοδευτική επιλογή εμφάνισης. Είναι ισχυρό, παρέχοντας τόσο πλήρη έλεγχο ακεραιότητας αρχείων όσο και απλή ανίχνευση κοινών σφαλμάτων μετάδοσης. Τα κινούμενα σχήματα που προέρχονται από το PNG είναι MNG και APNG. Το τελευταίο υποστηρίζεται από τα Mozilla Firefox και Opera και είναι συμβατό με PNG.

### 5.5.5 PPM, PGM, PBM, PNM

Η μορφή Netpbm είναι μια οικογένεια που περιλαμβάνει τη φορητή μορφή αρχείου p1xmap (PPM), τη φορητή μορφή αρχείου graymap (PGM) και τη μορφή φορητού bitmap (PBM). Αυτά είναι είτε καθαρά αρχεία ASCII είτε ακατέργαστα δυαδικά αρχεία με κεφαλίδα ASCII που παρέχουν πολύ βασικές λειτουργίες και χρησιμεύουν ως ο χαμηλότερος κοινός παρονομαστής για τη μετατροπή αρχείων p1xmap, graymap ή bitmap μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών. Ορισμένες εφαρμογές αναφέρονται σε αυτές συλλογικά ως PNM (Portable aNy Map).

### 5.5.6 WebP

Το WebP είναι μια νέα μορφή ανοιχτής εικόνας που χρησιμοποιεί τόσο συμπίεση χωρίς απώλειες όσο και με απώλειες. Σχεδιάστηκε από την Google για να μειώσει το μέγεθος του αρχείου εικόνας για να επιταχύνει τη φόρτωση της ιστοσελίδας: ο κύριος σκοπός της είναι να αντικαταστήσει την JPEG ως πρωτεύουσα μορφή για φωτογραφίες στον ιστό. Το WebP βασίζεται στην κωδικοποίηση εντός πλαισίου του VP8 και χρησιμοποιεί ένα δοχείο με βάση το RIFF.

### 5.5.7 HDR raster formats

Οι περισσότερες τυπικές μορφές ψηφιογραφικών δεν μπορούν να αποθηκεύσουν δεδομένα HDR (τιμές 32 κυμαινόμενου σημείου ανά στοιχείο εικονοστοιχείου), γι' αυτό και εξακολουθούν να κυριαρχούν κάποια σχετικά παλιά ή σύνθετα σχήματα και αξίζει να αναφερθούν χωριστά. Ωστόσο, εμφανίζονται νεότερες εναλλακτικές λύσεις. Το RGBE είναι η μορφή των εικόνων HDR που προέρχονται από την Radiance και υποστηρίζεται επίσης από το Adobe Photoshop.

### 5.5.8 HEIF (High Efficiency Image File Format)

Η μορφή αρχείου εικόνας υψηλής απόδοσης (HEIF) είναι μια μορφή δοχείου εικόνας που



τυποποιήθηκε από το MPEG με βάση τη μορφή αρχείου μέσω της βάσης ISO. Ενώ το HEIF μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε μορφή συμπίεσης εικόνας, το πρότυπο HEIF καθορίζει την αποθήκευση των ενδοκωδικοποιημένων εικόνων HEVC και των ακολουθιών εικόνων που κωδικοποιούνται με HEVC, εκμεταλλευόμενοι την πρόβλεψη μεταξύ των εικόνων.

### 5.5.9 BAT

Η BAT κυκλοφόρησε στον δημόσιο τομέα από την C-Cube Microsystems. Η "επίσημη" μορφή αρχείου για τα αρχεία JPEG είναι το SPIFF (Still Picture Interchange File Format), αλλά από τη στιγμή που κυκλοφόρησε, η BAT είχε ήδη επιτύχει ευρεία αποδοχή. Το SPIFF, το οποίο έχει την ονομασία ISO 10918-3, προσφέρει πιο ευέλικτη χωρητικότητα συμπίεσης, διαχείρισης χρώματος και μεταδεδομένων από το JPEG / BAT, αλλά έχει ελάχιστη υποστήριξη. Μπορεί να αντικατασταθεί από το JPEG 2000 / DIG 2000: ISO SC29 / WG1, JPEG - Σύνδεσμοι πληροφοριών. Ομάδα ψηφιακής απεικόνισης, "JPEG 2000 και DIG: Η εικόνα της συμβατότητας".

### 5.5.10 BPG (Better Portable Graphics)

Το BPG είναι μια νέα μορφή εικόνας. Σκοπός του είναι να αντικαταστήσει τη μορφή εικόνας JPEG όταν η ποιότητα ή το μέγεθος του αρχείου είναι ένα πρόβλημα. Τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι:

Υψηλή αναλογία συμπίεσης. Τα αρχεία είναι πολύ μικρότερα από το JPEG για παρόμοια ποιότητα. Υποστηρίζεται από τα περισσότερα προγράμματα περιήγησης Web με μικρό αποκωδικοποιητή Javascript (μέγεθος gzip: 76 KB). Βασίζεται σε ένα υποσύνολο του ανοικτού προτύπου συμπίεσης βίντεο του HEVC. Υποστηρίζει τις ίδιες μορφές χρωμάτων με την JPEG (κλίμακα του γκρι, YCbCr 4: 2: 0, 4: 2: 2, 4: 4: 4) για να μειώσει τις απώλειες κατά τη μετατροπή. Υποστηρίζεται ένα κανάλι άλφα. Επίσης υποστηρίζονται οι χώροι χρωμάτων RGB, YCgCo και CMYK. Φυσική υποστήριξη 8 έως 14 bits ανά κανάλι για υψηλότερο δυναμικό εύρος. Χάρη στη συμπίεση χωρίς απώλειες. Μπορούν να συμπεριληφθούν διάφορα μεταδεδομένα (όπως το EXIF).

### 5.5.11 JPEG/JFIF

Εκτενείς αναφορά του προτύπου στο επόμενο κεφάλαιο.

## 5.6 Διανυσματικές Μορφές Αρχείων Εικόνας

Σε αντίθεση με τις παραπάνω ψηφιογραφικές μορφές εικόνας (όπου τα δεδομένα περιγράφουν τα χαρακτηριστικά κάθε μεμονωμένου εικονοστοιχείου), οι μορφές διανυσματικών εικόνων περιέχουν μια γεωμετρική περιγραφή η οποία μπορεί να γίνει ομαλά σε οποιοδήποτε επιθυμητό μέγεθος οθόνης. Σε κάποιο σημείο, όλα τα διανυσματικά γραφικά πρέπει να είναι ψηφιογραφικά ώστε να εμφανίζονται σε ψηφιακές οθόνες. Εικόνες διανυσματικές μπορεί επίσης να εμφανίζονται με την αναλογική τεχνολογία CRT, όπως αυτή που χρησιμοποιείται σε κάποιο ηλεκτρονικό εξοπλισμό δοκιμών, ιατρικές οθόνες, οθόνες ραντάρ, εκπομπές λέιζερ και πρόωρα βιντεοπαιχνίδια. Οι plotters είναι εκτυπωτές που χρησιμοποιούν δεδομένα διανυσμάτων παρά δεδομένα εικονοστοιχείων για να

σχεδιάσουν γραφικά.

### **5.6.1 CGM (Metafile Computer Graphics)**

Το CGM είναι μια μορφή αρχείου για διανυσματικά γραφικά 2D, ψηφιογραφικά γραφικά και κείμενο και ορίζεται από το πρότυπο ISO / IEC 8632. Όλα τα γραφικά στοιχεία μπορούν να καθοριστούν σε αρχείο κειμένου που μπορεί να μεταγλωττιστεί σε δυαδικό αρχείο ή Μία από τις δύο αναπαραστάσεις κειμένου. Το CGM παρέχει ένα μέσο ανταλλαγής δεδομένων γραφικών για την αντιπροσώπευση υπολογιστών 2D γραφικών πληροφοριών ανεξάρτητα από οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή, σύστημα, πλατφόρμα ή συσκευή. Έχει υιοθετηθεί σε κάποιο βαθμό στους τομείς της τεχνικής απεικόνισης και του επαγγελματικού σχεδιασμού, αλλά έχει σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από μορφές όπως το SVG και το DXF.

### **5.6.2 Gerber format (RS-274X)**

Η μορφή Gerber (γνωστός και ως Extended Gerber, RS-274X) αναπτύχθηκε από την Gerber Systems Corp., τώρα Ucamco, και είναι μια μορφή περιγραφής εικόνων δύο επιπέδων. Πρόκειται για την de facto τυποποιημένη μορφή που χρησιμοποιείται από πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων ή λογισμικό PCB. Χρησιμοποιείται επίσης ευρέως σε άλλες βιομηχανίες που απαιτούν εικόνες 2D δύο επιπέδων υψηλής ακρίβειας.

### **5.6.3 SVG (Scalable Vector Graphics)**

Το SVG είναι ένα ανοιχτό πρότυπο που δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε από την Κοινοπραξία World Wide Web για την αντιμετώπιση της ανάγκης (και των προσπαθειών διάφορων εταιρειών) για μια ευέλικτη, διαφανή και διανυσματική μορφή διάνυσμα για τον ιστό και αλλιώς. Η μορφή SVG δεν έχει δικό της σχήμα συμπίεσης, αλλά λόγω της κειμένου της XML, ένα γραφικό SVG μπορεί να συμπιεστεί χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα όπως το gzip. Λόγω του δυναμικού δέσμης ενεργειών του, το SVG αποτελεί βασικό στοιχείο στις εφαρμογές ιστού: διαδραστικές ιστοσελίδες που φαίνονται και λειτουργούν σαν εφαρμογές.

### **5.6.4 Σύνθετες Μορφές (Metafile)**

Αυτές είναι μορφές που περιέχουν τόσο εικονοστοιχεία όσο και διανυσματικά δεδομένα, πιθανά και άλλα δεδομένα.

Το Metafile είναι ένας γενικός όρος για μια μορφή αρχείου που μπορεί να αποθηκεύσει πολλούς τύπους δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει συνήθως μορφές αρχείων γραφικών. Αυτά τα αρχεία γραφικών μπορούν να περιέχουν δεδομένα ψηφιογραφικά, διανυσματικά και τύπου. Μια κοινή χρήση αυτών των αρχείων είναι η παροχή υποστήριξης για γραφικά υπολογιστή του λειτουργικού συστήματος. Π.χ., τα Microsoft Windows χρησιμοποιούν το Metafile των Windows και το Mac OS X χρησιμοποιεί το PDF.

### **5.6.5 EPS (Encapsulated PostScript)**

Το EPS είναι ένα έγγραφο PostScript συμβατό με DSC με πρόσθετους περιορισμούς, το οποίο προορίζεται να χρησιμοποιηθεί ως μορφή αρχείου γραφικών. Με άλλα λόγια, τα αρχεία EPS είναι περισσότερα ή λιγότερο αυτοδύναμα, εύλογα προβλέψιμα έγγραφα PostScript που περιγράφουν μια εικόνα ή σχέδιο και μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα άλλο έγγραφο PostScript. Απλά, ένα αρχείο EPS είναι ένα πρόγραμμα PostScript, αποθηκευμένο ως ένα μόνο αρχείο που περιλαμβάνει μια προεπισκόπηση χαμηλής ανάλυσης "εγκλωβισμένη" μέσα του, επιτρέποντας σε ορισμένα προγράμματα να εμφανίζουν μια προεπισκόπηση στην οθόνη. Τουλάχιστον, ένα αρχείο EPS περιέχει ένα σχόλιο BoundingBox DSC, που περιγράφει το ορθογώνιο που περιέχει την εικόνα που περιγράφεται από το αρχείο EPS. Οι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να σχεδιάσουν τη σελίδα, ακόμη και αν δεν είναι σε θέση να αποδώσουν απευθείας το εσωτερικό του PostScript. Το EPS, μαζί με τις συμβάσεις ανοικτής δομής DSC, αποτελούν τη βάση των πρώιμων εκδόσεων της μορφής αρχείου Adobe Illustrator Artwork.

### 5.6.6 PDF (Portable Document Format)

Η μορφή φορητού εγγράφου (συνήθως αναφέρεται ως PDF) είναι μια μορφή αρχείου που χρησιμοποιείται για την παρουσίαση εγγράφων με τρόπο ανεξάρτητο από το λογισμικό εφαρμογών, το υλικό και τα λειτουργικά συστήματα. Κάθε αρχείο PDF περικλείει μια πλήρη περιγραφή ενός επίπεδου εγγράφου σταθερής διάταξης, Κείμενο, γραμματοσειρές, γραφικά και άλλες πληροφορίες που απαιτούνται για την εμφάνισή του.

### 5.6.7 PICT

Το PICT είναι μια μορφή αρχείου γραφικών που εισήχθη στον αρχικό υπολογιστή Apple Macintosh ως τυπική μορφή μετα-αρχείου. Επιτρέπει την ανταλλαγή γραφικών (τόσο bitmapped και φορέα), και κάποια υποστήριξη περιορισμένου κειμένου, μεταξύ των εφαρμογών Mac, και ήταν η εγγενής γραφική μορφή του QuickDraw. Η μορφή αρχείου PICT αποτελείται ουσιαστικά από σειριακούς κωδικούς QuickDraw. Η αρχική έκδοση, PICT 1, σχεδιάστηκε ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο συμπαγής, ενώ περιγράφει τα διανυσματικά γραφικά. Για το σκοπό αυτό, χαρακτήρισε μονοκατευθυντικούς κωδικούς, πολλοί από τους οποίους ενσωμάτωσαν λειτουργίες όπως "ξανακάνω την προηγούμενη λειτουργία". Ως εκ τούτου ήταν αρκετά μνήμη αποτελεσματική, αλλά δεν είναι πολύ επεκτάσιμη. Με την εισαγωγή των Macintosh II και Color QuickDraw, το PICT αναθεωρήθηκε στην έκδοση 2. Αυτή η έκδοση χαρακτήριζε 16-bit opcodes και πολλές αλλαγές που βελτίωσαν τη χρησιμότητά του. Οι PICT 1 opcodes υποστηρίχθηκαν ως υποσύνολο για συμβατότητα προς τα πίσω. Σε μια εφαρμογή Mac, οποιαδήποτε ακολουθία λειτουργιών σχεδίασης θα μπορούσε απλώς να καταγραφεί / κωδικοποιηθεί στη μορφή PICT ανοίγοντας μια "εικόνα", κλείνοντας την μετά την έκδοση των απαιτούμενων εντολών. Με την αποθήκευση της προκύπτουσας ροής byte ως πόρου, προέκυψε ένας πόρος PICT, ο οποίος θα μπορούσε να φορτωθεί και να αναπαραχθεί ανά πάσα στιγμή. Το ίδιο ρεύμα θα μπορούσε να αποθηκευτεί σε ένα αρχείο δεδομένων στο δίσκο (με 512 bytes αχρησιμοποίητου χώρου κεφαλίδας που προστέθηκε) ως αρχείο PICT. Με την αλλαγή στο Mac OS X και τη διακοπή του QuickDraw, το PICT έπεσε υπέρ του Portable Document Format (PDF) ως native format metafile, αν και η υποστήριξη PICT διατηρείται από πολλές εφαρμογές, όπως υποστηρίχθηκε τόσο ευρέως στο Classic Mac OS.

### 5.6.8 SWF

Το αρχείο SWF είναι μορφή αρχείου Adobe Flash που χρησιμοποιείται για πολυμέσα, διανυσματικά γραφικά και ActionScript. Αρχίζοντας με το λογισμικό FutureWave, μεταφερόμενο στη Macromedia και έπειτα υπό τον έλεγχο του Adobe, τα αρχεία SWF μπορούν να περιέχουν κινούμενα σχέδια ή μικροεφαρμογές διαφόρων βαθμών αλληλεπίδρασης και λειτουργίας. Μπορούν επίσης να εμφανιστούν σε προγράμματα, συνήθως σε προγράμματα περιήγησης, χρησιμοποιώντας το ActionScript. Οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργούν αρχεία SWF από διάφορα προϊόντα της Adobe, όπως το Flash, το Flash Builder (IDE), το Adobe Animate (το αντικατάσταση του Adobe Flash από τον Φεβρουάριο του 2016) και το After Effects, καθώς και μέσω του MXMLC που αποτελεί τμήμα του ελεύθερου διαθέσιμου Flex SDK. Αν και το Adobe Illustrator μπορεί να δημιουργήσει αρχεία μορφής SWF μέσω της λειτουργίας "εξαγωγής", δεν μπορεί να τα ανοίξει ή να τα επεξεργαστεί. Εκτός από τη χρήση προϊόντων Adobe, μπορείτε να δημιουργήσετε αρχεία SWF με το Open Source ActionScript 2 Compiler (MTASC), τη βιβλιοθήκη Ming ανοιχτού κώδικα και τα SWFTools της σουίτας δωρεάν λογισμικού. Διάφορα άλλα προγράμματα άλλων κατασκευαστών μπορούν επίσης να παράγουν αρχεία σε αυτή τη μορφή, όπως τα Multimedia Fusion 2, Captivate και Maxi SwiSH.

Ο όρος "SWF" έχει οριστεί ως συντομογραφία για το ShockWave Flash. Αυτή η χρήση άλλαξε στο ακρωνύμιο Small Web Format για να εξαλείψει τη σύγχυση με μια διαφορετική τεχνολογία, Shockwave, από την οποία προέρχεται το SWF. Δεν υπάρχει επίσημη ανάλυση στο ακρωνύμιο "SWF" από την Adobe.

## 5.7 Συγκεντρωτικός Πίνακας Τεχνικών Χαρακτηριστικών

Σε αυτό τον πίνακα προβάλλονται οι κυριότερες μορφές αρχείων εικόνων με τα χαρακτηριστικά τους συγκριτικά μεταξύ τους.

HD R For mat	No	Yes	No	No	No	No	No	N/A	Yes	No
Exte nda ble	No	Yes	Yes	No	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Col or Man age	Yes	Yes	No	Yes	Unk now n	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Ani mati on	No	No	Yes	No	No	No	No	Yes	No	Yes
Mul ti- page	No	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes

Metadata	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Indexed color	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	No	No	Yes(1-8bit)	No
Color Depth	1,4,8 to 64	Device Specific	1,2,8 to 128	8,12,24	1,2,4 to 32	1,8,16 bcp	Up to 16	8 bcp	1,2,4 to 32	12,20 bbbp
Raster/Vector	Raster	Both	Raster	Raster	Both	Raster	Raster	Vector	Both	Raster
Compression Algorithm	RLE, jpeg, png	LZW, RLE, DC T	LZW	DC T.L RE. Huffman	RLE, QuickTime	Lossless, Deflate	None	Lossless, gzip	LZW, RLE, ZIP	Lossy, Lossless
Format	BM P	EPS	GIF	JPEG	PIC T	PN G	PP M	SV G	TIF F	Web P

Πίνακας 3:Τεχνικά χαρακτηριστικά

## 6 Το πρότυπο JPEG

Το πρότυπο JPEG (ISO / IEC 10918) δημιουργήθηκε το 1992 (τελευταία έκδοση, 1994) ως αποτέλεσμα μιας διαδικασίας που ξεκίνησε το 1986 από την επιτροπή Joint Photographic Experts Group η οποία έχει παράδοση στην δημιουργία προτύπων κωδικοποίησης εικόνων. Ο Όμιλος Εμπεριστατωμένων Φωτογραφικών (JPEG) είναι μια κοινή ομάδα εργασίας του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO) και της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (IEC). Αν και, το πρότυπο αυτό θεωρείται γενικά ως μία ενιαία προδιαγραφή, στην πραγματικότητα αποτελείται από ξεχωριστά τμήματα και ένα αμάλγαμα από τρόπους κωδικοποίησης.

### 6.1 Τυπική Χρήση Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος συμπίεσης JPEG χρησιμοποιείται καλύτερα για φωτογραφίες και πίνακες ζωγραφικής ρεαλιστικών σκηνών με ομαλές παραλλαγές του τόνου και του χρώματος. Για χρήσεις διαδικτύου το JPEG είναι πολύ δημοφιλής διότι η ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για μια εικόνα είναι σημαντική. JPEG/Exif είναι επίσης η πιο κοινή μορφή αποθήκευσης από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Από την άλλη πλευρά, Το JPEG μπορεί να μην είναι τόσο κατάλληλο για γραμμικά σχέδια και άλλα εικονικά γραφικά, όπου οι έντονες αντιθέσεις μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων μπορεί να προκαλέσει αισθητή απώλεια. Τέτοιες εικόνες είναι καλύτερο να αποθηκεύονται σε μια απωλεστική μορφή γραφικών, όπως TIFF, GIF, PNG, ή σε μορφή εικόνας RAW. Το πρότυπο JPEG περιλαμβάνει στην πραγματικότητα μια χωρίς απώλειες λειτουργία κωδικοποίησης, αλλά αυτή η λειτουργία δεν υποστηρίζεται στα περισσότερα προϊόντα. Δεδομένου ότι η τυπική χρήση του JPEG είναι μια μέθοδος με απώλειες συμπίεσης, η οποία μειώνει κάπως την πιστότητα της εικόνας, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε σενάρια όπου απαιτείται η ακριβής αναπαραγωγή των δεδομένων (όπως ορισμένες επιστημονικές και ιατρικές εφαρμογές απεικόνισης και ορισμένες τεχνικές εργασίες επεξεργασίας εικόνας). Το JPEG, επίσης, δεν είναι κατάλληλο για τα αρχεία που θα υποστούν πολλαπλές τροποποιήσεις, όπως κάποια ποιότητα εικόνας θα χαθεί κάθε φορά που η εικόνα θα είναι σε κατάσταση συμπίεσης ή/και αποσυμπίεσης, ιδιαίτερα αν η εικόνα έχει περικοπεί ή μετατοπιστεί, ή εάν οι παράμετροι κωδικοποίησης έχουν τροποποιηθεί. Για να αποφευχθεί αυτό, μια εικόνα που είναι να τροποποιηθεί ή μπορεί να τροποποιηθεί στο μέλλον, μπορεί να αποθηκευτεί σε μορφή χωρίς απώλειες, με αντίγραφο εξαγόμενο ως διανομή του JPEG.

### 6.2 Πλεονεκτήματα

Γενικά είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος συμπίεσης με απώλειες για τις ψηφιακές εικόνες, ιδιαίτερα για εκείνες τις εικόνες που παράγονται από την ψηφιακή φωτογραφία. Ο βαθμός συμπίεσης μπορεί να ρυθμιστεί, επιτρέποντας έναν επιλέξιμη ανταλλαγή μεταξύ του μεγέθους αποθήκευσης και την ποιότητα της εικόνας. Συνήθως επιτυγχάνει 10: 1 συμπίεση με μικρή αισθητή απώλεια στην ποιότητα της εικόνας. Το JPEG / JFIF υποστηρίζει ένα μέγιστο μέγεθος εικόνας των  $65.535 \times 65.535$  pixels, ως εκ τούτου μέχρι 4 gigapixels για μια αναλογία aspect ratio 1: 1. Τα αρχεία των συμπίεσμένων εικόνων μπορούν να γίνουν πολύ μικρά σε μέγεθος και έτσι γίνεται γρήγορη η μετάδοση τους μέσα από δίκτυα, όπως επίσης γίνεται πραγματοποιήσιμη η περιληπτική

αρχειοθέτηση σε βιβλιοθήκες εικόνων. Μια μέση συμπίεση μετατρέπει μια έγχρωμη εικόνα μεγέθους 2 MB σε ένα αρχείο 100 KB δηλαδή συμπίεση 20 προς 1. Το JPEG αποθηκεύει την εικόνα σε 24 bits ανά pixel (σε 16 εκατομμύρια χρώματα). Έτσι με τις συνεχώς αναβαθμιζόμενες δυνατότητες σε hardware, οι υπολογιστές θα υιοθετήσουν ως νέο πρότυπο για προβολή εικόνων, αυτό που θα αξιοποιεί τις δυνατότητές τους αυτές στον μεγαλύτερο βαθμό. Το αντίτιμο σε αυτά τα πλεονεκτήματα του JPEG είναι ότι χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να γίνει η αποκωδικοποίηση και η προβολή σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Όταν όμως πρόκειται να παρεμβληθούν δικτυακές ή τηλεφωνικές μεταδόσεις, τότε το κέρδος που έχουμε στην σχέση χρόνου μετάδοσης αρχείου / χρόνου αποσυμπίεσης εικόνας είναι μεγάλο.

### 6.3 Μέρη Κωδικοποίησης

Το πρώτο μέρος του προτύπου δημοσιεύθηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 1992 και καθορίζει τον πυρήνα της κωδικοποίησης και ενσωματώνει πολλές επιλογές για την κωδικοποίηση φωτογραφικών εικόνων. Στις 11 Νοεμβρίου 1994 το δεύτερο μέρος του προτύπου καθορίζει τον Έλεγχο Συμμόρφωσης δηλαδή διαμορφώνει και ορίζει κανόνες για το λογισμικό του πρώτου μέρους. Μετά από δύο χρόνια και συγκεκριμένα στις 3 Ιουνίου 1996 το τρίτο μέρος του προτύπου αφορά σε επεκτάσεις του πρώτου μέρους του κώδικα και μέσω τροπολογίας του συμπεριλαμβάνει την μορφή αρχείου SPIFF (Still Picture Interchange Format). Μετέπειτα στο τέταρτο μέρος στις 18 Ιουλίου 1998 εστιάζεται στις εγγραφές των προφίλ JPEG και SPIFF. Όπως επίσης στις ετικέτες, τους χρωματικούς χώρους και τους τύπους συμπίεσης και Αρχές Εγγραφής που αφορούν την μορφή αρχείου SPIFF και τους δείκτες APPn. Το πέμπτο μέρος καθορίζει το JPEG File Interchange Format (JFIF) στις 14 Μαΐου 2011. Μια δημοφιλής μορφή που έχει γίνει η de facto μορφή αρχείου για τις εικόνες που κωδικοποιούνται από το πρότυπο JPEG. Το 2009, η Επιτροπή JPEG καθιερώνει επίσημα μια ομάδα Ad-hoc, την Ecma International για την τυποποίηση JFIF ως το πέμπτο του προτύπου JPEG, η πρώτη έκδοση δημοσιεύθηκε τον Ιούνιο του 2009. Τέλος το έκτο μέρος του προτύπου αφορά εφαρμογή σε συστήματα εκτύπωσης και καθορίζει ένα υποσύνολο των χαρακτηριστικών σύμφωνα με το πρότυπο ISO / IEC 10918-1 για εκτύπωση.

### 6.4 Συμπίεση

Το JPEG χρησιμοποιεί μια απωλεστική μέθοδο συμπίεσης η οποία βασίζεται στον διακριτό μετασχηματισμό συνημιτόνου (DCT). Αυτή η μαθηματική πράξη μετατρέπει κάθε πλαίσιο / πεδίο της πηγής από την χωροταξική (2D) μορφή στο πεδίο της συχνότητας (γνωστό και ως πεδίο μετασχηματισμού). Ένα αντιληπτικό μοντέλο που βασίζεται στο οπτικό σύστημα του ανθρώπου απορρίπτει υψηλής συχνότητας πληροφορίες, δηλαδή απότομες μεταβάσεις στην ένταση και την απόχρωση του χρώματος. Στον τομέα μετασχηματισμού, η διαδικασία μείωσης πληροφοριών ονομάζεται κβαντοποίηση. Με άλλα λόγια, κβαντισμός είναι μια μέθοδος για βέλτιστη αναγωγή μιας μεγάλης κλίμακας αριθμών (με διαφορετικές εμφανίσεις κάθε αριθμού) σε ένα μικρότερο, και ο μετασχηματισμός στο πεδίο είναι ένας πρακτικός τρόπος αναπαράστασης της εικόνας, επειδή οι συντελεστές υψηλής συχνότητας, συμβάλλουν λιγότερο στη συνολική εικόνα από ό, τι άλλοι συντελεστές, είναι χαρακτηριστικά μικρές τιμές με υψηλή ιδιότητα συμπίεσης. Οι κβαντισμένοι συντελεστές στη συνέχεια συσκευάζονται σε μια αλληλουχία μη απωλεστικών πακέτων στην έξοδο bitstream. Σχεδόν όλες οι εφαρμογές λογισμικού των JPEG επιτρέπουν στον χρήστη έλεγχο κατά τη διάρκεια της συμπίεσης-δείκτη (καθώς και άλλες προαιρετικές παραμέτρους), επιτρέποντας στο χρήστη να ανταλλάξει εικόνες ποιότητας για μικρότερο μέγεθος αρχείου. Σε ενσωματωμένες εφαρμογές (όπως οι miniDV, η οποία χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο σύστημα DCT-συμπίεσης), οι

παράμετροι είναι προ-επιλεγμένοι και προκαθορισμένοι για αυτή την εφαρμογή. Η μέθοδος συμπίεσης είναι συνήθως απωλεστική, πράγμα που σημαίνει ότι κάποιες αρχικές πληροφορίες της πρωτότυπης εικόνας χάνονται και δεν μπορούν να αποκατασταθούν, πιθανών επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας. Υπάρχει μια προαιρετική λειτουργία χωρίς απώλειες όπως ορίζεται στο πρότυπο JPEG. Ωστόσο, αυτή η λειτουργία δεν υποστηρίζεται ευρέως στα προϊόντα. Υπάρχει επίσης μια συνδυαστική προοδευτική μορφή JPEG, στην οποία τα δεδομένα είναι συμπιεσμένα σε πολλαπλά περάσματα από προοδευτικά υψηλή λεπτομέρεια. Αυτό είναι ιδανικό για μεγάλες εικόνες που θα εμφανιστούν κατά τη λήψη μέσω μιας αργής σύνδεσης, επιτρέποντας μια λογική προεπισκόπηση μετά την παραλαβή μόνο ενός τμήματος των δεδομένων. Ωστόσο, η υποστήριξη για τα προοδευτικά αρχεία JPEG δεν είναι καθολική. Όταν τα προοδευτικά αρχεία JPEG που λαμβάνονται από προγράμματα που δεν τα υποστηρίζουν (όπως εκδόσεις του Internet Explorer πριν από τα Windows 7), το λογισμικό εμφανίζει την εικόνα μόνο αφού έχει ολοκληρωθεί η λήψη. Υπάρχουν επίσης πολλά συστήματα ιατρικής απεικόνισης και κυκλοφορίας του οδικού δικτύου που δημιουργούν και επεξεργάζονται 12-bit εικόνων JPEG, συνήθως εικόνες κλίμακας του γκρι. Η μορφή 12-bit JPEG υπήρξε μέρος της προδιαγραφής JPEG για κάποιο χρονικό διάστημα, αλλά αυτή η μορφή δεν είναι όπως υποστηρίζεται ευρέως.

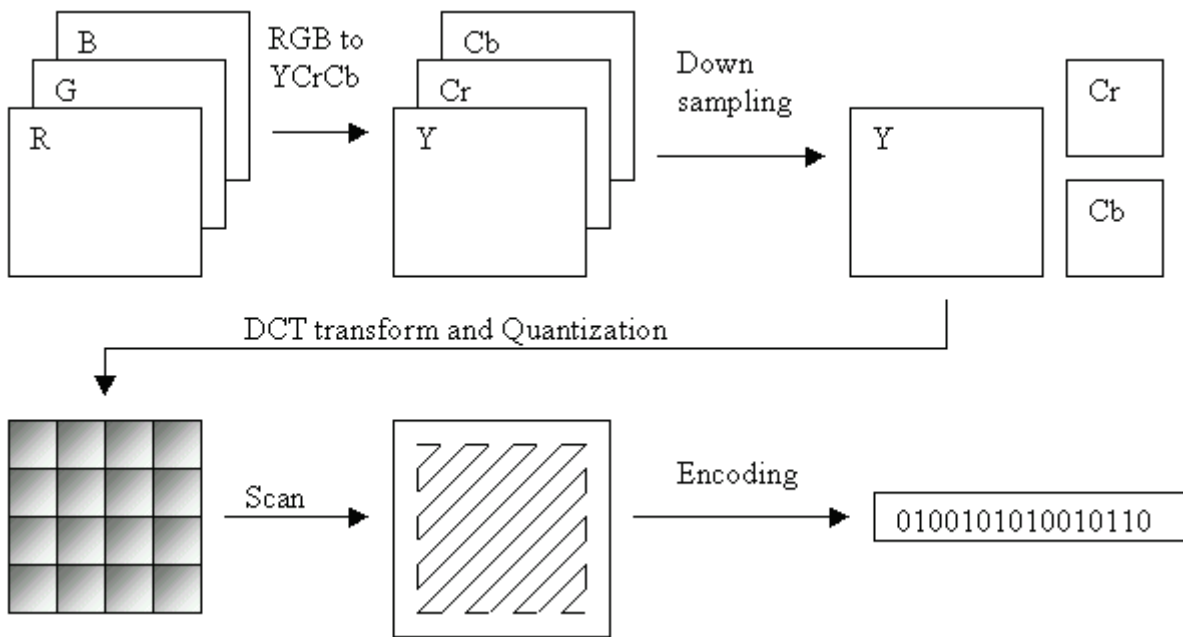
#### 6.4.1 Κανόνες Λειτουργίας του Αλγορίθμου Συμπίεσης

Γενικά η κωδικοποίηση αρχείων JPEG μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, συνήθως αυτό γίνεται με JFIF κωδικοποίηση. Η διαδικασία κωδικοποίησης αποτελείται από πέντε στάδια:

- Η αναπαράσταση των χρωμάτων στην εικόνα μετατρέπεται από RGB σε  $Y' C_B C_R$ , που αποτελείται από ένα συστατικό φωτεινότητας ( $Y$ ), που αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα, και δύο συστατικά χρώματος, ( $C_B$  και  $C_R$ ), που αντιπροσωπεύει το χρώμα. Αυτό το βήμα πολλές φορές παραλείπεται.
- Η ανάλυση των δεδομένων Chroma μειώνεται, συνήθως κατά ένα συντελεστή 2 ή 3. Αυτό αντανακλά το γεγονός ότι το μάτι είναι λιγότερο ευαίσθητο σε μικρές λεπτομέρειες χρώματος παρά σε μικρολεπτομέρειες φωτεινότητας.
- Η εικόνα χωρίζεται σε μπλοκ των  $8 \times 8$  εικονοστοιχείων, και για κάθε μπλοκ, καθένα από τα στοιχεία  $Y$ ,  $C_B$  και  $C_R$  υφίσταται την διακριτού μετασχηματισμού συνημίτονου (DCT), το οποίο αναπτύχθηκε το 1974 από τον N Ahmed, T Natarajan και K R Rao. Ένα DCT είναι παρόμοιο με ένα μετασχηματισμό Fourier, με την έννοια ότι παράγει ένα είδος φάσματος χωρικής συχνότητας.
- Τα πλάτη των συνιστωσών συχνότητας είναι κβαντισμένα. Η ανθρώπινη όραση είναι πολύ πιο ευαίσθητη σε μικρές διακυμάνσεις στο χρώμα ή φωτεινότητας σε μεγάλες εκτάσεις από την αντοχή των διακυμάνσεων φωτεινότητας υψηλής συχνότητας. Ως εκ τούτου, τα μεγέθη των συνιστωσών υψηλής συχνότητας αποθηκεύονται με χαμηλότερη ακρίβεια από τα στοιχεία χαμηλών συχνότητων. Η ρύθμιση ποιότητας του κωδικοποιητή (για παράδειγμα 50 ή 95 σε μια κλίμακα 0-100 στη βιβλιοθήκη του JPEG Ομίλου) επηρεάζει σε ποιο βαθμό μειώνεται η ανάλυση της κάθε συνιστώσας συχνότητας. Εάν χρησιμοποιείται μια υπερβολικά χαμηλή ρύθμιση ποιότητας, οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας απορρίπτονται συνολικά.
- Η έκβαση των δεδομένων για όλα τα  $8 \times 8$  μπλοκ συμπιέζεται περαιτέρω με έναν αλγόριθμο χωρίς απώλειες, μία παραλλαγή της κωδικοποίησης Huffman.

Αναλυτικότερα το κάθε βήμα εκτελείται ως εξής:





Εικόνα 16: Κωδικοποίηση πλαισίου JPEG

Τροποποιούμε την εικόνα σε ένα κατάλληλο έγχρωμο χώρο. Για τις έγχρωμες εικόνες, το πιο συνηθισμένο είναι να θέλουμε να μετατρέψουμε από RGB σε ένα χώρο που να υποστηρίζει φωτεινότητα και χρωματισμό, όπως οι YUV,  $Y'CbCr$  κ.α. Αυτό είναι βασικά ο ίδιος χρωματικός χώρος που χρησιμοποιείται από την ψηφιακή έγχρωμη τηλεόραση, καθώς και το ψηφιακό βίντεο συμπεριλαμβανομένων των DVD βίντεο, και είναι παρόμοια με τον τρόπο που το χρώμα εκπροσωπείται σε αναλογικό βίντεο PAL και MAC. Η χρωματική μετατροπή χώρου  $Y'CbCr$  επιτρέπει μεγαλύτερη συμπίεση χωρίς σημαντική επίδραση στην αντιληπτή ποιότητα της εικόνας (ή μεγαλύτερη ποιότητα αντιληπτική εικόνα για την ίδια συμπίεση). Η συμπίεση είναι πιο αποτελεσματική, επειδή η πληροφορίας της φωτεινότητας, η οποία είναι πιο σημαντική για την τελική αντιληπτική ποιότητα της εικόνας, περιορίζεται σε ένα μόνο κανάλι. Αυτό αντιστοιχεί περισσότερο στην αντίληψη του χρώματος στο ανθρώπινο οπτικό σύστημα. Ο μετασχηματισμός χρώματος βελτιώνει επίσης τη συμπίεση από τη στατιστική αποσυσχέτιση. Μια ιδιαίτερη μετατροπή σε  $Y'CbCr$  καθορίζεται στο πρότυπο JFIF, και θα πρέπει να εκτελείται για το προκύπτουν αρχεία JPEG που θα έχουν μέγιστη συμβατότητα. Ωστόσο, ορισμένες εφαρμογές JPEG σε κατάσταση "υψηλής ποιότητας" δεν εφαρμόζουν αυτό το βήμα και αντί να κρατήσει τις πληροφορίες χρώματος στο μοντέλο χρωμάτων RGB, όπου η εικόνα είναι αποθηκευμένη σε ξεχωριστά κανάλια για το κόκκινο, πράσινο και μπλε συστατικά φωτεινότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα λιγότερο αποδοτική συμπίεση, και δεν θα ήταν πιθανόν να χρησιμοποιηθεί όταν το μέγεθος του αρχείου είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι μας ενδιαφέρει περισσότερο να έχουμε πιστή απεικόνιση της φωτεινότητας παρά των χρωματικών αποχρώσεων, το ανθρώπινο μάτι είναι περισσότερο ευαίσθητο σε υψηλής συχνότητας φωτισμό παρά σε υψηλής συχνότητας χρωματισμό. Ο έγχρωμος χώρος μπορεί να μην χρειαστεί αλλαγή αν το θελήσουμε, αφού ο αλγόριθμος δουλεύει σε κάθε χρωματικό συστατικό ξεχωριστά και δεν τον ενδιαφέρει το είδος των δεδομένων. Παρόλα αυτά ο βαθμός συμπίεσης θα είναι μικρότερος αφού θα πρέπει να κωδικοποιηθούν όλα τα συστατικά σε υψηλή ποιότητα φωτισμού. Μια επιπλέον παρατήρηση είναι ότι η τροποποίηση του έγχρωμου χώρου παρουσιάζει μεν απώλειες λόγω του σφάλματος στρογγυλοποίησης αλλά το μέγεθος τους είναι σημαντικά μικρότερο από το αντίστοιχο που προκαλείται από την συνέχεια του αλγόριθμου, οπότε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο.

Δειγματοληπτούμε κάθε συστατικό ομαδοποιώντας pixels. Λόγω των πυκνοτήτων των χρωμάτων και της φωτεινότητας οι ευαίσθητοι υποδοχείς στο ανθρώπινο μάτι, οι άνθρωποι μπορούν να δουν πολύ πιο μικρές λεπτομέρειες στη φωτεινότητα μιας εικόνας ( $Y$  'συστατικό) σε σχέση με την απόχρωση και τον κορεσμό των χρωμάτων μιας εικόνας ( $C_B$  και  $C_R$  συστατικά). Χρησιμοποιώντας αυτή τη γνώση, οι κωδικοποιητές μπορεί να σχεδιαστούν για να συμπίεζον τις εικόνες πιο αποτελεσματικά. Η μετατροπή σε χρωματικό μοντέλο  $Y'C_B C_R$  επιτρέπει στο επόμενο βήμα, το οποίο είναι να μειωθεί η χωρική ανάλυση των συστατικών  $C_B$  και  $C_R$  (που ονομάζεται "υποδειγματοληψία" ή "υποδειγματοληψία χρώματος"). Οι αναλογίες στις οποίες η μείωση δειγματοληψίας γίνεται συνήθως για εικόνες JPEG είναι 4: 4: 4 (καμία μείωση δειγματοληψίας), 4: 2: 2 (μείωση κατά ένα συντελεστή 2 κατά την οριζόντια διεύθυνση), ή (συνηθέστερα) 4: 2: 0 (μείωση κατά ένα συντελεστή 2 σε αμφότερα τα οριζόντια και κατακόρυφη κατεύθυνση). Για το υπόλοιπο της διαδικασίας συμπίεσης,  $Y'$ ,  $C_B$  και  $C_R$  επεξεργάζονται χωριστά και με πολύ παρόμοιο τρόπο.

Ομαδοποιούμε τις τιμές των pixels για κάθε συστατικό σε ομάδες των  $8 \times 8$ . Επεξεργαζόμαστε κάθε ομάδα με χρήση Διακριτού Συνημιτονοειδούς Μετασχηματισμού ( $\Delta\Sigma M$ ) και έτσι παίρνουμε ένα χάρτη συχνότητας με στοιχεία ομάδες  $8 \times 8 = 64$  στοιχείων. Με αυτό τον τρόπο έχουμε αριθμούς που αναπαριστούν την μέση τιμή σε κάθε ομάδα και επομένως, τις αλλαγές υψηλής συχνότητας στην ομάδα αυτή. Ο λόγος που το κάνουμε αυτό είναι για να μπορούμε να «πετάξουμε» τις πληροφορίες υψηλής συχνότητας, χωρίς να επηρεαστούν οι αντίστοιχες πληροφορίες χαμηλής συχνότητας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται DCT-II δίνει αποτέλεσμα έναν ορθογώνιο πίνακα  $8 \times 8$  διακριτών τιμών.

Σε κάθε ομάδα, χωρίζουμε κάθε ένα από τα 64 στοιχεία με μια ξεχωριστή συντεταγμένη κβαντοποίησης και στρογγυλοποιούμε τα αποτελέσματα σε ακέραιους. Εδώ γίνεται η βασική απώλεια πληροφορίας, ενώ όσο μεγαλύτερες επίπεδα κβαντοποίησης έχουμε, τόσο περισσότερη ποσότητα πληροφορίας χάνουμε. Ακόμα και αν ορίσουμε ως επίπεδο κβαντοποίησης το μικρότερο ακέραιο, δηλαδή το 1, θα χάνουμε ακόμα πληροφορίες γιατί τα αποτελέσματα που θα παίρνουμε από τον  $\Delta\Sigma M$  δεν θα είναι απαραίτητα ακέραιοι. Οι υψηλότερες συχνότητες κβαντοποιούνται πάντα με λιγότερη ακρίβεια (δηλαδή με μεγαλύτερα επίπεδα) από τις χαμηλές συχνότητες, αφού οι πρώτες είναι λιγότερο ορατές στο μάτι. Επίσης, τα δεδομένα για την φωτεινότητα κβαντοποιούνται ακριβέστερα από τα αντίστοιχα για το χρώμα, κάνοντας χρήση ξεχωριστών πινάκων κβαντοποίησης των 64 στοιχείων. Η ρύθμιση των πινάκων αυτών δεν έχει καθοριστεί ακόμα με ποιο τρόπο μπορεί να γίνει καλύτερα και αποτελεί ενεργό χώρο έρευνας. Οι περισσότεροι υπάρχοντες κωδικοποιητές χρησιμοποιούν απλή γραμμική κλιμάκωση των πινάκων που δίνονται ως παράδειγμα στο δεδομένο JPEG, ζητώντας από τον χρήστη μια ρύθμιση της ποιότητας για να αποφασίσει την πολλαπλασιαστική σταθερά της κλιμάκωσης. Αυτή η μέθοδος βρίσκει αρκετά καλή εφαρμογή για μεσαίες ποιότητες (δηλαδή αυτές που βρίσκονται κοντά στις δεδομένες τιμές των πινάκων-παράδειγμάτων που δίνονται) αλλά δεν προτείνονται για υψηλές ή χαμηλές ρυθμίσεις ποιότητας.

Κωδικοποιούμε τις μειωμένες συντεταγμένες χρησιμοποιώντας κυρίως την μέθοδο Huffman και σπανιότερα την αριθμητική κωδικοποίηση. Αυτό το βήμα είναι χωρίς απώλειες οπότε δεν επηρεάζει την ποιότητα της εικόνας. Η αριθμητική κωδικοποίηση χρησιμοποιεί τον κώδικα Q που είχαμε δει σε προηγούμενη παράγραφο και ο οποίος είναι πατενταρισμένος. Έτσι η κωδικοποίηση με Huffman χρησιμοποιείται πιο συχνά για την αποφυγή πληρωμών για άδεια χρήσης του κώδικα Q. Η αριθμητική μέθοδος προσφέρει έτσι και αλλιώς μόλις 5% - 10% καλύτερη συμπίεση, ποσοστό που δεν είναι αρκετό για να προτιμηθεί από ένα ελεύθερο και δωρεάν τρόπο κωδικοποίησης. Σε ένα JPEG αρχείο, όλες οι παράμετροι της συμπίεσης συμπεριλαμβάνονται στη κεφαλή του αρχείου ώστε ο αποσυμπιεστής να μπορεί να αντιστρέψει την διαδικασία. Αυτοί οι παράμετροι περιέχουν

τους πίνακες κβαντοποίησης και τους πίνακες κωδικοποίησης Huffman. Όμως οι πίνακες αυτοί είναι δεδομένοι και για τις πιο πολλές εφαρμογές δεν χρειάζεται να περιέχονται σε κάθε αρχείο εικόνας JPEG, οπότε μπορούμε να τους αφαιρέσουμε, τροποποιώντας την κεφαλή του αρχείου και σώζοντας έτσι αρκετές εκατοντάδες bytes. Η βασική προϋπόθεση για να γίνει αυτό είναι να γνωρίζει ο αποσυμπιεστής από πριν τους πίνακες που χρησιμοποίησε ο συμπιεστής και γι' αυτό το βήμα αυτό είναι καλό να εφαρμόζεται μόνο όταν δουλεύουμε σε κλειστό σύστημα.

## 6.5 Αλγόριθμος Αποσυμπίεσης

Ο αλγόριθμος αποσυμπίεσης αντιστρέφει την διαδικασία : Ο αποσυμπιεστής πολλαπλασιάζει τις μειωμένες συντεταγμένες που βρίσκονται στον πίνακα κβαντοποίησης για να δημιουργήσει προσεγγιστικά τις συντεταγμένες του διακριτού Συνημιτονοειδούς μετασχηματισμού. Αφού όμως αυτές είναι μόνο προσεγγίσεις, οι επανακατασκευασμένες τιμές των pixels θα είναι και αυτές προσεγγιστικές, αλλά παρόλα αυτά τα σφάλματα αυτά δεν θα είναι ορατά για το ανθρώπινο μάτι. Εκτός αυτού, εάν ο αποσυμπιεστής είναι υψηλού επιπέδου, τότε θα προσθέσει από μόνος του μερικά βήματα για ομαλοποίηση, ώστε να μειωθούν οι ασυνέχειες μεταξύ των γειτονικών pixels.

### 6.5.1 Υποχρεωτική Ακρίβεια Κωδικοποίησης

Η περιγραφή κωδικοποίησης στο πρότυπο JPEG δεν διορθώνει την ακρίβεια που απαιτείται για την παραγωγή συμπίεσμνης εικόνας. Ωστόσο, το πρότυπο JPEG περιλαμβάνει ορισμένες απαιτήσεις ακρίβειας για την αποκωδικοποίηση, συμπεριλαμβανομένων όλων των τμημάτων της διαδικασίας αποκωδικοποίησης (αποκωδικοποίηση μεταβλητού μήκους, αντίστροφο DCT, από-κβαντοποίηση, επανακανονικοποίηση εκροών) η έξοδος από τον αλγόριθμο αναφοράς δεν πρέπει να υπερβαίνει:

το πολύ ένα bit της διαφοράς για κάθε συστατικό pixel

χαμηλό μέσο τετραγωνικό σφάλμα πάνω από κάθε μπλοκ 8×8-pixel

πολύ χαμηλό μέσο σφάλμα πάνω από κάθε μπλοκ 8×8-pixel

πολύ χαμηλό μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε όλη την εικόνα

εξαιρετικά χαμηλό μέσο σφάλμα σε όλη την εικόνα

Αυτοί οι ισχυρισμοί έχουν δοκιμαστεί σε ένα μεγάλο σύνολο από τυχαίες εικόνες εισόδου, για να χειριστεί τις χειρότερες περιπτώσεις. Το πρώην πρότυπο IEEE 1180-1990 περιείχε κάποιες παρόμοιες απαιτήσεις ακριβείας. Η ακρίβεια έχει επίπτωση στην εφαρμογή των αποκωδικοποιητών, και αυτό είναι κρίσιμο, διότι ορισμένες διαδικασίες κωδικοποίησης πρέπει να είναι σε θέση να κατασκευάσουν, από την πλευρά του κωδικοποιητή, μια αναφορά αποκωδικοποιημένης εικόνας. Για να υποστηρίξει την ακρίβεια 8-bit ανά συνιστώσα εξόδου pixel, από-κβαντοποίηση και αντίστροφο μετασχηματισμό DCT συνήθως εφαρμόζονται με ακρίβεια τουλάχιστον 14-bit σε βελτιστοποιημένους αποκωδικοποιητές.

### 6.5.2 Βαθμιαία Κωδικοποίηση

Η βαθμιαία κωδικοποίηση έχει δημιουργηθεί για την υποστήριξη αναμετάδοσης εικόνων σε πραγματικό χρόνο. Επιτρέπει στις συντεταγμένες του ΔΣΜ να σταλούν ξεχωριστά σε πολλαπλά «περάσματα» της εικόνας. Με κάθε πέρασμα ο αποκωδικοποιητής μπορεί να παράγει μια υψηλότερης ποιότητας εκδοχή της εικόνας, οπότε μια προεκδοχή της μπορεί να σταλθεί γρήγορα και να αποφασίσει ο χρήστης που την λαμβάνει εάν θέλει να την αφήσει να ολοκληρωθεί και να βελτιωθεί σε ποιότητα. Ο συνολικός χώρος που χρειάζεται είναι ο ίδιος με αυτόν που θα χρειαζόταν

μια βασική JPEG εικόνα της ίδιας τελικής ποιότητας. Στην πράξη, μπορεί να χρειαστεί και λιγότερος ακόμα χώρος εάν χρησιμοποιηθεί ένας σταθερός πίνακας Huffman για κάθε πέρασμα, επειδή οι κωδικοί Huffman μπορούν να βελτιστοποιηθούν σε μια μικρότερη ποσότητα δεδομένων σε πολλαπλά περάσματα σε σχέση με την ποσότητα των δεδομένων του ενός περάσματος. Ο αποκωδικοποιητής πρέπει να εκτελέσει υποχρεωτικά ένα κύκλο για κάθε πέρασμα, δηλαδή να αντιστρέψει τον ΔΣΜ, να δειγματοληπτήσει, και να κάνει μετατροπή χρωμάτων και επιπλέον εάν χρειαστεί να κβαντοποιήσει χρώματα για 8-bit οθόνες. Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη μόνο εάν έχουμε γρήγορο αποκωδικοποιητή ή αργές γραμμές μετάδοσης. Ένα απλό ή «βασικό» αρχείο JPEG αποθηκεύεται σαν μία σάρωση της εικόνας από πάνω προς τα κάτω. Το βαθμιαίο JPEG διαιρεί το αρχείο σε μία σειρά από σαρώσεις. Η πρώτη σάρωση δείχνει την εικόνα παρόμοια με μία ρύθμιση πολύ χαμηλής ποιότητας και γι' αυτό χρειάζεται πολύ λίγο χώρο. Οι σαρώσεις που ακολουθούν βελτιώνουν βαθμιαία την ποιότητα. Κάθε σάρωση προστίθεται στα ήδη υπάρχοντα δεδομένα, έτσι ώστε ο συνολικός χώρος που απαιτείται να είναι περίπου ίδιος με εκείνον μιας βασικής JPEG εικόνας που έχει ίδια ποιότητα με την τελική σάρωση. (Βασικά, το βαθμιαίο JPEG είναι απλώς μια επανατοποθέτηση των ίδιων δεδομένων σε μία πιο πολύπλοκη σειρά). Το πλεονέκτημα του βαθμιαίου JPEG είναι ότι αν η εικόνα παρουσιάζεται απευθείας καθώς μεταδίδεται, μπορούμε να δούμε την προσέγγιση στην πλήρη εικόνα πολύ γρήγορα, με σταδιακή βελτίωση της ποιότητας όσο περισσότερο περιμένουμε. Αυτό βέβαια είναι πολύ καλύτερο από μία αργή εμφάνιση της εικόνας, από πάνω προς τα κάτω. Το μειονέκτημα είναι ότι κάθε σάρωση για να εμφανιστεί χρειάζεται περίπου την ίδια υπολογιστική ισχύ με την εμφάνιση ενός ολόκληρου βασικού JPEG αρχείου. Έτσι, το βαθμιαίο JPEG έχει νόημα μόνο αν διαθέτουμε έναν γρήγορο αποκωδικοποιητή σε σχέση με τον τρόπο επικοινωνίας. Αν τα δεδομένα έρχονται γρήγορα, ένας βαθμιαίος JPEG αποκωδικοποιητής μπορεί να προσαρμοστεί παραλείποντας μερικά περάσματα της εικόνας. Οπότε, όσοι είναι αρκετά τυχεροί να έχουν T1 ή γρηγορότερες συνδέσεις στο δίκτυο ίσως να μην παρατηρήσουν κάποια διαφορά μεταξύ του βαθμιαίου και του απλού JPEG. Όμως σε μια σύνδεση με ταχύτητα modem, το βαθμιαίο JPEG είναι εξαιρετικό. Επιπλέον, το βαθμιαίο JPEG δεν υποστηρίζεται από τους αποκωδικοποιητές του βασικού JPEG γι' αυτό σιγουρευτείτε πρώτα ότι ο browser σας διαθέτει βαθμιαίο JPEG αποκωδικοποιητή. Εκτός από την ικανότητα να παρέχει σταδιακή εμφάνιση της εικόνας, το βαθμιαίο και το βασικό JPEG είναι κατά βάση ίδια και δουλεύουν εξίσου καλά στις εικόνες του ίδιου τύπου. Η παρουσίαση μιας εικόνας είναι δυνατό να μετατραπεί από βασική σε βαθμιαία κι αντίστροφα χωρίς να χάσουμε σε ποιότητα. Βέβαια, χρειάζεται ειδικό software για να πετύχουμε κάτι τέτοιο, αφού συμπίεση κι αποσυμπίεση δεν γίνονται χωρίς απώλειες, λόγω των λαθών στη στρωγγυλοποίηση. Μέχρι το 1995, το βαθμιαίο JPEG ήταν σπάνιο να χρησιμοποιηθεί, αλλά η χρήση του στις μέρες μας είναι πολύ διαδεδομένη λόγω των γρήγορων αποκωδικοποιητών που επιτρέπουν την εφαρμογή του με ταχύτητες της τάξεως μετάδοσης των modem που χρησιμοποιούμε.

### 6.5.3 Ιεραρχική Κωδικοποίηση

Η ιεραρχική κωδικοποίηση αναπαριστά μια εικόνα σε διαφορετικές αναλύσεις. Έτσι, μια ανάλυση της εικόνας που θέλουμε να επεξεργαστούμε θα μπορούσε να είναι 256 x 256, μια άλλη 512 x 512 και μια άλλη 1024 x 1024. Η κάθε ανάλυση κωδικοποιείται ως το σύνολο των διαφορών που έχει από την αμέσως χαμηλότερη της ανάλυση και επομένως δεν έχουμε άσκοπη επανάληψη δεδομένων που ήδη έχουμε λάβει με την προηγούμενη εκδοχή της εικόνας. Παρόλα αυτά, ο συνολικός χώρος που θα χρειαστούμε θα είναι πάλι μεγαλύτερος από αυτόν που θα χρειαζόμασταν για την αποθήκευση της εικόνας με την υψηλότερη ανάλυση από αυτές, εάν χρησιμοποιούσαμε την βασική

κωδικοποίηση JPEG. Τέλος, η κάθε εικόνα της ιεραρχικής αλυσίδας μπορεί αν θέλουμε να κωδικοποιηθεί βαθμιαία, όπως είδαμε προηγουμένως, εάν το θελήσουμε. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιεραρχική κωδικοποίηση δεν είναι ευρέως διαδεδομένη προς το παρόν.

#### 6.5.4 Μη Απωλεστικό Μοντέλο

Υπάρχει μεγάλη σύγχυση σ' αυτό το θέμα για την ύπαρξη μιας τέτοιας μορφής συμπίεσης JPEG. Το στάνταρτ JPEG περιλαμβάνει έναν αλγόριθμο συμπίεσης που είναι πραγματικά χωρίς απώλειες, δηλαδή έναν αλγόριθμο που εξασφαλίζει ότι το αποτέλεσμα της αποσυμπίεσης του είναι ψηφίο προς ψηφίο ίδιο με την αρχική είσοδο. Ωστόσο, αυτός ο αλγόριθμος δεν έχει σχεδόν τίποτα κοινό με τον απλό (αλλά με απώλειες) JPEG αλγόριθμο, και προσφέρει πολύ μικρότερη συμπίεση. Ο βαθμός συμπίεσης που προσφέρει το JPEG χωρίς απώλειες είναι **2:1** (τυπική τιμή). Δουλεύει καλά μόνο για εικόνες με συνεχή τόνο χρώματος ενώ σε εικόνες που χρησιμοποιούν χρώματα παλέτας και σε εικόνες με μικρό βάθος χρώματος, η συμπίεση που παρέχει δεν είναι χρήσιμη. Υπάρχουν πολύ λίγες υλοποιήσεις του πραγματικά χωρίς απώλειες JPEG. Μία απ' αυτές είναι το RVPG. Η μέθοδος αυτή λοιπόν, αποτελεί ανεξάρτητο λογισμικό από το βασικό JPEG, δεν χρησιμοποιεί ΔΣΜ, αφού η χρήση του ΔΣΜ λόγω των σφαλμάτων στρογγυλοποίησης δημιουργεί απώλειες. Για τον ίδιο λόγο δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται μετατροπή χρωματικής περιοχής ή δειγματοληψία, αν και αυτές οι λειτουργίες επιτρέπονται από το πρότυπο αυτό. Η μέθοδος συμπίεσης χωρίς απώλειες κωδικοποιεί την διαφορά μεταξύ της τιμής του κάθε pixel και της αναμενόμενης τιμής για το pixel αυτό. Η αναμενόμενη τιμή είναι μια συνάρτηση των ήδη γνωστών pixels που βρίσκονται πάνω και αριστερά από το παρόν και έχουν ήδη μεταδοθεί. Ως συνάρτηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος ή άλλες 8 συναρτήσεις που προσφέρονται από το ίδιο το πρόγραμμα. Η ακολουθία των διαφορών αυτών κωδικοποιείται με χρήση του ίδιου κώδικα που χρησιμοποιήσαμε στο JPEG με απώλειες (δηλαδή του Huffman ή τον αριθμητικό). Αν ρυθμίσουμε ένα απλό JPEG στη μέγιστη δυνατή ποιότητα δε σημαίνει ότι θα αποθηκευτούν τα δεδομένα χωρίς απώλειες. Το JPEG χωρίς απώλειες είναι μια τελείως διαφορετική μέθοδος. Ακόμα και στην καλύτερη δυνατή ποιότητα, το απλό JPEG δεν μπορεί να είναι χωρίς απώλειες γιατί έχουμε λάθη από στρογγυλοποιήσεις στους διάφορους υπολογισμούς. Τα λάθη αυτά είναι σχεδόν πάντα πολύ μικρά για να γίνουν εμφανή, αλλά θα εμφανιστούν αν υποβάλλουμε την εικόνα σε πολλούς κύκλους συμπίεσης. Το JPEG χωρίς απώλειες με την χρήση κώδικα Huffman δεν έχει τα καλύτερα αποτελέσματα που θα μπορούσαμε να περιμένουμε, ενώ ο αριθμητικός κώδικας είναι πιο ανταγωνιστικός αλλά και πάλι όχι η καλύτερη λύση για συμπίεση χωρίς απώλειες. Ο κυριότερος λόγος που υπάρχει η μέθοδος JPEG χωρίς απώλειες είναι γιατί στην ιεραρχική μέθοδο το τελευταίο πέρασμα μπορεί να είναι μια κωδικοποίηση χωρίς απώλειες των υπολειπόμενων διαφορών, ώστε να επιτευχθεί ολική ακρίβεια. Ακόμα όμως και τότε δεν είναι σίγουρο ότι δεν θα έχουμε απώλειες αφού πρέπει ο κωδικοποιητής και ο αποκωδικοποιητής να έχουν παρόμοιο σφάλμα στρογγυλοποίησης. Εξάλλου, πολλές υλοποιήσεις του JPEG δεν επιτρέπουν να χρησιμοποιηθεί με τη μέγιστη ρύθμιση ποιότητας, αφού θεωρείτε πολύ παράδοξο να χρησιμοποιείτε μ' αυτόν τον τρόπο το JPEG. Για παράδειγμα στο πρόγραμμα IJG JPEG, πρέπει να δηλώσουμε όχι μόνο «quality 100» αλλά και «sample 1x1» για να εξαλείψουμε το χάσιμο της πληροφορίας. Τα αρχεία που προκύπτουν είναι κατά πολύ μεγαλύτερα και λίγο καλύτερα σε ποιότητα από τα αρχεία που δημιουργούνται με λογικότερες ρυθμίσεις. Εκτός αυτού εξακολουθούν να έχουν κάποιες απώλειες. Αν πραγματικά χρειαζόμαστε μία αποθήκευση χωρίς καθόλου απώλειες, δεν προσπαθούμε ποτέ να την πετύχουμε με χρήση του απλού JPEG.

## 6.6 Άλλες Εκδόσεις-Επεκτάσεις του προτύπου

### 6.6.1 JPEG XT

Το JPEG XT (ISO / IEC 18477) καθορίζει μια σειρά συμβατές επεκτάσεις στο πρότυπο JPEG (ITU Σύσταση T.81 | ISO / IEC 10918-1). Ενώ το JPEG εξακολουθεί να είναι η κυρίαρχη τεχνολογία για την αποθήκευση ψηφιακών εικόνων, αποτυγχάνει να αντιμετωπίσει αρκετές απαιτήσεις που έγιναν σημαντικές τα τελευταία χρόνια, όπως η συμπίεση των εικόνων με την υψηλότερο βάθος bit (9-16 bits), απεικόνιση υψηλής δυναμικής εμβέλειας, χωρίς απώλειες συμπίεσης, και εκπροσώπηση από άλλα κανάλια. Το JPEG XT επεκτείνει την προδιαγραφή JPEG σε ένα πλήρως συμβατό τρόπο. Τα υπάρχοντα εργαλεία και το λογισμικό θα συνεχίσει να συνεργάζεται με τα νέα ρεύματα κώδικα, ενώ τα νέα χαρακτηριστικά θα βοηθήσουν να κινήσουν το JPEG στον 21ο αιώνα.

### 6.6.2 JPEG LS

Το JPEG-LS ορίστηκε να αντιμετωπίσει την ανάγκη για αποτελεσματική χωρίς απώλειες συμπίεση των συνεχούς τόνου εικόνων. Αυτό το πρότυπο μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη: το πρότυπο ISO / IEC 14495-1: 1999 | ITU-T Rec. T.87 (1998), ορίζοντας τον πυρήνα της τεχνολογίας και ISO / IEC 14495 με 2: 2003 | ITU-T Rec. T.870 (03/2002), που περιέχει τις επεκτάσεις. Το JPEG-LS είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χαμηλής πολυπλοκότητας εφαρμογές υλικού, πολύ μέτρια πολυπλοκότητα, ενώ ταυτόχρονα παρέχει απόδοση συμπίεσης χωρίς απώλειες.

### 6.6.3 JPEG 2000

Το JPEG 2000 είναι ένα σύστημα κωδικοποίησης εικόνας που χρησιμοποιεί τεχνικές συμπίεσης με βάση τεχνολογία κύματος. Η αρχιτεκτονική του προσφέρεται για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων από φορητές ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, ιατρικές απεικόνισης και άλλους βασικούς τομείς. Το JPEG 2000, αναφέρεται σε όλα τα μέρη του προτύπου.

### 6.6.4 JPEG XR

Το πρότυπο JPEG XR παρέχει μια πρακτική τεχνολογία κωδικοποίησης για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών με εξαιρετική ικανότητα συμπίεσης και σημαντικές πρόσθετες λειτουργίες. Η κύρια προβλεπόμενη εφαρμογή του JPEG XR είναι η αναπαράσταση της συνεχούς τόνου εικόνων, όπως φωτογραφικές εικόνες. Από το 2008, η πιο διαδεδομένη ψηφιακή μορφή φωτογραφία είναι μια ονομαστική εφαρμογή της πρώτης μορφής κωδικοποίησης JPEG, όπως ορίζεται στο Rec. ITU-T T.81 | ISO / IEC 10918 - 1. Αυτή η κωδικοποίηση χρησιμοποιεί ένα βάθος bit 8 για κάθε ένα από τα τρία κανάλια, με αποτέλεσμα 256 τιμές ανά κανάλι (συνολικά 16.777.216 τιμές χρώματος). Πιο απαιτητικές εφαρμογές μπορεί να απαιτήσει ένα βάθος bit των 16, παρέχοντας 65.536 τιμές για κάθε κανάλι, και με αποτέλεσμα πάνω από  $2,8 * 10^{14}$  τιμές χρώματος. Πρόσθετες σενάρια μπορεί να απαιτήσει ακόμη μεγαλύτερο βάθος bit και μορφές αναπαράστασης του δείγματος. Όταν η μνήμη ή επεξεργαστική ισχύ είναι σε ένα ασφάλιστρο, τόσο λίγα όπως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πέντε ή έξι bits ανά κανάλι.

## 6.6.5 JBIG

Το JBIG είναι συντομογραφία για Joint Bi-level Image Experts Group. Είναι μια ομάδα εμπειρογνομόνων που διορίζονται από τους εθνικούς φορείς προτύπων και μεγάλες εταιρείες να συνεργαστούν για να παράγουν πρότυπα για bi-level κωδικοποίηση εικόνας. Το «κοινό» χαρακτηρίζει το καθεστώς της ως επιτροπή εργάζεται σε δύο πρότυπα ISO / IEC και ITU-T. Ο επίσημος τίτλος της επιτροπής είναι το ISO / IEC JTC1 SC29 Ομάδα Εργασίας 1, και είναι υπεύθυνη για τα δύο πρότυπα JPEG και JBIG. Η JBIG έχει αναπτύξει το πρότυπο ISO / IEC 11544 (ITU-T T.82) για τη συμπίεση χωρίς απώλειες μιας εικόνας σε δύο επίπεδα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την κωδικοποίηση κλίμακας γκρι και έγχρωμες εικόνες με περιορισμένο αριθμό των bit ανά pixel. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή τηλεμοιοτυπίας που κωδικοποιεί, παρόμοια με της ομάδας 3 ή 4 φαξ, προσφέροντας μεταξύ βελτίωση κατά 20 και 80% σε συμπίεση κατά τη διάρκεια αυτών των μεθόδων (περίπου 20 έως ένα πάνω στο αρχικό ασυμπίεστο χάρτη ψηφιακών bit).

## 6.7 Παράρτημα

### 6.7.1 Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου

Κατά την διάρκεια της κωδικοποίησης τα στοιχεία  $Y$ ,  $C_B$ ,  $C_R$ , ομαδοποιούνται σε πίνακες  $8 \times 8$  για κάθε στοιχείο τα οποία μετατρέπονται σε αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας, χρησιμοποιώντας μια ομαλοποιημένη δισδιάστατη τύπου II διακριτού μετασχηματισμού συνημιτόνου (DCT type-II). Πριν από τον υπολογισμό του DCT του μπλοκ  $8 \times 8$ , οι τιμές του μετατοπίζονται από μια θετική σειρά σε ένα με επίκεντρο το μηδέν. Για μια εικόνα 8-bit, κάθε καταχώρηση στο αρχικό μπλοκ πέφτει στην περιοχή  $[0, 255]$ . Το μέσον της έκτασης αφαιρείται από κάθε είσοδο για να παράγει μια σειρά δεδομένων που επικεντρώνεται στο μηδέν. Αυτό το βήμα μειώνει τις απαιτήσεις της δυναμικής σειράς στο στάδιο της επεξεργασίας DCT που ακολουθεί. Δημιουργείται ένας νέος πίνακας  $g[x, y]$ .

Το επόμενο βήμα είναι να ληφθεί το δισδιάστατο DCT, το οποίο δίνεται από:

$$G_{u,v} = \frac{1}{4} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 g_{x,y} \cos \left[ \frac{(2x+1)u\pi}{16} \right] \cos \left[ \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right]$$

όπου:

- $u$  είναι η οριζόντια χωρική συχνότητα, για τους ακεραίους  $0 \leq u \leq 8$ .
- $v$  είναι η κάθετη χωρική συχνότητα, για τους ακεραίους  $0 \leq v \leq 8$ .

$$\alpha(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{if } u = 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- είναι ένας παράγοντας κλίμακας ομαλοποίησης να κάνει το μετασχηματισμό ορθοκανονικό.
- $g_{x,y}$  είναι η τιμή pixel στις συντεταγμένες  $x, y$ .

- $G_{u,v}$  είναι ο συντελεστής DCT στις συντεταγμένες  $u,v$ .

Σημειώστε ότι στην πάνω αριστερή γωνία εισόδου είναι ο συντελεστής DC (ονομάζεται επίσης η σταθερή συνιστώσα), η οποία ορίζει την βασική απόχρωση για ολόκληρο το μπλοκ. Οι υπόλοιποι 63 συντελεστές είναι οι συντελεστές AC (ονομάζεται επίσης εναλλακτικές συνιστώσες). Το πλεονέκτημα του DCT είναι η τάση του να συναθροίζει τα περισσότερα σήματα σε μια γωνία του αποτελέσματος. Το βήμα κβαντισμού που ακολουθεί ενισχύει αυτό το αποτέλεσμα, μειώνοντας ταυτόχρονα το συνολικό μέγεθος των συντελεστών DCT, καταλήγοντας σε ένα σήμα που είναι εύκολο να συμπιεστεί αποτελεσματικά στο στάδιο εντροπίας. Ο DCT αυξάνει προσωρινά το bit βάθος των στοιχείων, αφού οι συντελεστές DCT του 8-bit κατασκευαστικού στοιχείου εικόνας διαρκεί έως και 11 ή περισσότερα bits (ανάλογα με πιστότητα του υπολογισμού DCT) για την αποθήκευση. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τον κωδικοποιητή να χρησιμοποιήσει προσωρινά αριθμούς 16-bit για να κρατήσει αυτούς τους συντελεστές, διπλασιάζοντας το μέγεθος της αναπαράστασης της εικόνας σε αυτό το σημείο, αυτές οι τιμές συνήθως μειώνονται πίσω σε τιμές 8-bit από το βήμα κβαντισμού. Η προσωρινή αύξηση του μεγέθους σε αυτό το στάδιο δεν είναι ανησυχητική για τις περισσότερες εφαρμογές JPEG, δεδομένου ότι συνήθως μόνο ένα πολύ μικρό μέρος της εικόνας είναι αποθηκευμένη σε πλήρη μορφή DCT σε κάθε δεδομένη στιγμή κατά τη διάρκεια της κωδικοποίησης της εικόνας ή διαδικασία αποκωδικοποίησης.

### 6.7.1.1 Κβαντισμός

Το ανθρώπινο μάτι είναι εξαιρετικό στο να βλέπουμε μικρές διαφορές στη φωτεινότητα σε μια σχετικά μεγάλη περιοχή, αλλά δεν είναι τόσο καλό στο να διακρίνει την ακριβή ισχύ σε υψηλής συχνότητας διακύμανση της φωτεινότητας. Αυτό επιτρέπει σε κάποιον να μειώσει σημαντικά την ποσότητα των πληροφοριών στα συστατικά υψηλής συχνότητας. Αυτό γίνεται απλά με τη διαίρεση κάθε συνιστώσας στο πεδίο συχνοτήτων με ένα σταθερό για το εν λόγω συστατικό, και στη συνέχεια στρογγυλοποίηση στον πλησιέστερο ακέραιο. Αυτή η λειτουργία στρογγυλοποίησης είναι η μόνη απωλεστική λειτουργία σε όλη τη διαδικασία (εκτός από την υποδειγματοληψία χρώματος) εάν ο υπολογισμός DCT διεξάγεται με αρκετά υψηλή ακρίβεια. Ως αποτέλεσμα αυτού, είναι τυπικά η περίπτωση ότι πολλές από τις συνιστώσες υψηλότερης συχνότητας στρογγυλοποιούνται στο μηδέν, και πολλά από τα υπόλοιπα στοιχεία γίνονται μικροί θετικοί ή αρνητικοί αριθμοί, οι οποίοι λαμβάνουν πολύ λιγότερα bit για την αναπαράσταση. Τα στοιχεία στον πίνακα κβαντοποίησης ελέγχουν την αναλογία συμπίεσης, με μεγαλύτερες τιμές που παράγουν μεγαλύτερη συμπίεση. Οι κβαντισμένοι συντελεστές DCT υπολογίζονται με

$$B_{j,k} = \text{round} \left( \frac{G_{j,k}}{Q_{j,k}} \right) \text{ for } j = 0, 1, 2, \dots, 7; k = 0, 1, 2, \dots, 7$$

όπου:

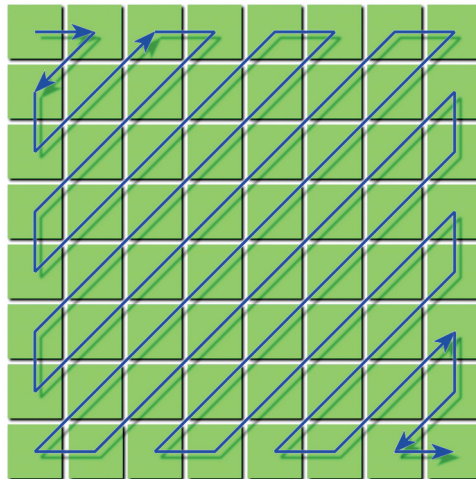
- $G$  είναι οι μη κβαντισμένοι συντελεστές DCT.
- $Q$  είναι ο πίνακας κβαντισμού που προκύπτει στο προηγούμενο βήμα.
- $B$  είναι οι κβαντισμένοι συντελεστές DCT.

Σημειώστε ότι τα περισσότερα από τα στοιχεία υψηλότερης συχνότητας του υπο-μπλοκ (δηλαδή, εκείνοι με ένα  $X$  ή  $Y$  χωρική συχνότητα μεγαλύτερη από 4) συμπιέζονται σε μηδενικές τιμές.



### 6.7.1.2 Κωδικοποίηση Εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας είναι μια ειδική μορφή συμπίεσης δεδομένων χωρίς απώλειες. Περιλαμβάνει την τακτοποίηση των στοιχείων εικόνας σε ένα "ζιγκ-ζαγκ", προκειμένου να απασχολούν κωδικοποίηση μήκους διαδρομής (RLE) αλγόριθμος που ομαδοποιεί παρόμοιες συχνότητες μαζί, εισάγοντας την κωδικοποίηση μήκους μηδέν, και στη συνέχεια, χρησιμοποιεί κωδικοποίηση Huffman σε ό, τι έχει απομείνει. Το πρότυπο JPEG επιτρέπει επίσης, αλλά δεν απαιτεί, αποκωδικοποιητές που υποστηρίζουν τη χρήση της αριθμητικής κωδικοποίησης, η οποία είναι μαθηματικά ανώτερη από την κωδικοποίηση Huffman. Ωστόσο, αυτό το χαρακτηριστικό σπανίως χρησιμοποιείται, και ιστορικά καλυπτόταν από ευρεσιτεχνίες που χρειαζόντουσαν άδειες τελών, και επειδή είναι πιο αργή για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση σε σχέση με την κωδικοποίηση Huffman. Η Αριθμητική κωδικοποίηση καθιστά τυπικά αρχεία περίπου 5-7% μικρότερα. Η προηγούμενοι κβαντισμένοι συντελεστές DC χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των τρεχόντων κβαντισμένων συντελεστών DC. Η διαφορά μεταξύ των δύο κωδικοποιείται αντί της πραγματικής τιμής. Η κωδικοποίηση των 63 κβαντισμένων συντελεστών AC δεν χρησιμοποιεί τέτοια πρόβλεψη διαφορικού.



Εικόνα 17: Κωδικοποίηση κβαντισμένων δεδομένων

Η διαδικασία που κωδικοποιεί τα κβαντισμένα δεδομένα ζιγκ-ζαγκ αρχίζει με μία μήκους διαδρομής που κωδικοποιεί όπως εξηγείται παρακάτω:

$x$  είναι ο μη-μηδενικός, κβαντισμένος συντελεστής AC.

RUNLENGTH είναι ο αριθμός των μηδενικών που ήρθαν πριν από τον συγκεκριμένο μη μηδενικό συντελεστή AC.

SIZE είναι ο αριθμός των bits που απαιτούνται να εκπροσωπή  $x$ .

AMPLITUDE είναι το bit-αναπαράσταση του  $x$ .

Το μήκους διαδρομής κωδικοποίησης λειτουργεί με την εξέταση κάθε μη μηδενικού συντελεστή AC  $x$  και καθορίζει πόσα πολλά μηδενικά ήρθαν πριν από τον προηγούμενο συντελεστή AC. Με αυτές τις πληροφορίες, τα δύο σύμβολα που δημιουργήθηκαν:

Symbol 1	Symbol 2
(RUNLENGTH, SIZE)	(AMPLITUDE)

Τόσο το RUNLENGTH όσο και το SIZE στηρίζονται στο ίδιο byte, που σημαίνει ότι το καθένα περιέχει μόνο τέσσερα bit πληροφορίας. Τα υψηλότερα bits ασχολούνται με τον αριθμό των μηδενικών, ενώ τα χαμηλότερα bits δηλώνουν τον αριθμό των bits που είναι απαραίτητα για την κωδικοποίηση της τιμή του x. Από εδώ, οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τη συχνότητα στις εμφανίσεις των συντελεστών.

## 7 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

### 7.1 Εισαγωγή στο Matlab

Το MATLAB αποτελεί μια υψηλού επιπέδου γλώσσα. Το όνομα του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων MATrix LABoratory (εργαστήριο πινάκων). Το MATLAB (MathWorks Inc.) παρέχει ένα δυναμικό, εύχρηστο και ανοικτό υπολογιστικό περιβάλλον για υλοποίηση επιστημονικών εφαρμογών σε ένα μεγάλο φάσμα πεδίων, όπως: Επεξεργασία Σημάτων, Μαθηματικά, Γραφικά κ.α.

Το περιβάλλον του Matlab υποστηρίζει ένα μεγάλο αριθμό ενδογενών λειτουργιών και συναρτήσεων καθώς και εξωτερικές βιβλιοθήκες (Toolboxes) για εξειδικευμένες περιοχές εφαρμογών.

- DSP Toolbox
- Signal Processing Toolbox
- Statistics Toolbox
- Image Processing Toolbox
- Neural Network Toolbox

Υποστηρίζει μια ευέλικτη, απλή και δομημένη γλώσσα προγραμματισμού (script language) με πολλές ομοιότητες με την Pascal και παρέχει δυνατότητες εύκολης δημιουργίας, διασύνδεσης και χρήσης βιβλιοθηκών (M-files).

Το Matlab εκτελεί από απλούς μαθηματικούς υπολογισμούς μέχρι και προγράμματα (με GUI), χρησιμοποιώντας εντολές παρόμοιες με αυτές που υποστηρίζει μια γλώσσα υψηλού επιπέδου.

Εκτελεί απλές μαθηματικές πράξεις, αλλά εξίσου εύκολα χειρίζεται μιγαδικούς αριθμούς, δυνάμεις, ειδικές μαθηματικές συναρτήσεις, πίνακες, διανύσματα και πολυώνυμα.

Μπορεί επίσης να αποθηκεύει και να ανακαλεί δεδομένα, να δημιουργεί και να εκτελεί ακολουθίες εντολών που αυτοματοποιούν διάφορους υπολογισμούς και να σχεδιάζει γραφικά.

### 7.2 Αλγόριθμος Υλοποίησης LSB

Ο αλγόριθμος LSB (όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο) βασίζεται στην ιδέα ότι αλλαγές στα λιγότερο σημαντικά ψηφία των pixels μιας εικόνας προκαλούν ανεπαίσθητες αλλαγές στη μορφή της οι οποίες δεν γίνονται αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι. Η αναπαράσταση μιας εικόνας γίνεται με έναν πίνακα  $M \times N$  όπου  $M$  και  $N$  οι διαστάσεις της. Ουσιαστικά, κάθε εικόνα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας πίνακας από pixels τα οποία παίρνουν τιμές από 0-255 και αναπαριστούν τη χρωματική διαβάθμιση καθενός (π.χ. 155). Τα pixels μιας RGB εικόνας αποτελούνται από τρεις συντελεστές – χρωματικές συνιστώσες – (red, green, blue). Κάθε μια από αυτές τις συνιστώσες αναπαρίσταται ως μια ακολουθία των 8 bits. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα λιγότερο σημαντικά ψηφία αυτής της ακολουθίας συνιστούν θόρυβο άρα μη χρήσιμη πληροφορία. Στον αλγόριθμο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι η αντικατάσταση αυτών των ψηφίων κάθε pixel με ένα bit μηνύματος επιτυγχάνει απόκρυψη πληροφορίας μέσα στην εικόνα χωρίς αυτή η αλλαγή να γίνει αντιληπτή.

#### 7.2.1 Υλοποίηση αλγορίθμου στο Σύστημα

Στην παρακάτω ενότητα παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία υλοποίησης του αλγορίθμου αυτού στο παρόν σύστημα.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την υλοποίηση του αλγορίθμου είναι τα παρακάτω:

- Διάβασμα των δεδομένων εισόδου δηλαδή την εικόνα προς στεγανογράφηση και την εικόνα προς απόκρυψη
- Κωδικοποίηση της πληροφορίας προς στεγανογράφηση
- Υλοποίηση Αλγορίθμου
- Αντίστροφη διαδικασία για εξαγωγή αρχικής εικόνας
- Εξαγωγή και αποθήκευση στεγανοποιημένης και αρχικής εικόνας

Βήμα 1: Ο Χρήστης εισάγει απο το αρχείο που διαθέτει στον υπολογιστή του την εικόνα προς στεγανογράφηση και την εικόνα προς απόκρυψη στο ειδικά διαμορφωμένο παράθυρο που βλέπει στην οθόνη αφού έχει εκκινήσει τον αλγόριθμο.

Βήμα 2: Σε αυτό το στάδιο γίνονται οι κατάλληλες μετατροπές (εαν χρειαστεί) για να είναι οι εικόνες έτοιμες για το επόμενο βήμα.

Βήμα 3: Στο σημείο αυτό γίνεται η μετατροπή αφού πάρουμε τα κυριότερα bit της εικόνας προς απόκρυψη και τα αντικαταστήσουμε με τα λιγότερο κυριότερα bit της εικόνας προς στεγανογράφηση. Το αποτέλεσμα που προκύπτει της νέας στεγανογραφημένης εικόνας αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση.

Βήμα 4: Στο ανεξάρτητο αυτό βήμα η στεγανογραφημένη εικόνα γίνεται είσοδος του αλγορίθμου και ακολουθείται η ανάποδη διαδικασία με πριν για να βρούμε την εικόνα που έχει "κρυφτεί".

Βήμα 5: Σε αυτό το σημείο ένα παράθυρο επικοινωνίας εμφανίζεται δείχνοντας τις εικόνες εισόδου, την στεγανογραφημένη εικόνα σε τρεις μορφές. Μια είναι το τελικό αποτέλεσμα του αλγορίθμου και η ίδια εικόνα δεχόμενη Γκαουσιανό θόρυβο και θόρυβο Poisson. Οπως επίσης και το αποτέλεσμα την αρχικής την εικόνας.

## 7.2.2 Πειράματα Σενάρια και Αποτελέσματα

Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ακολουθούν τα παρακάτω σενάρια:

- Ασπρόμαυρη εικόνα στην οποία γίνεται απόκρυψη μιας ασπρόμαυρης εικόνας
- Ασπρόμαυρη εικόνα στην οποία γίνεται απόκρυψη μιας έγχρωμης εικόνας
- Έγχρωμη εικόνα στην οποία γίνεται απόκρυψη μιας ασπρόμαυρης εικόνας
- Έγχρωμη εικόνα στην οποία γίνεται απόκρυψη μιας έγχρωμης εικόνας

### 7.2.2.1 Σενάριο 1: Απόκρυψη ασπρόμαυρης εικόνας σε ασπρόμαυρη εικόνα.

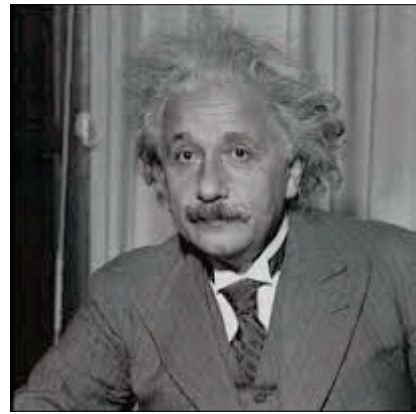
Πίνακας 4: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 1

Αρχική εικόνα	
---------------	--

Εικόνα προς απόκρυψη



Κωδικοποιημένη εικόνα

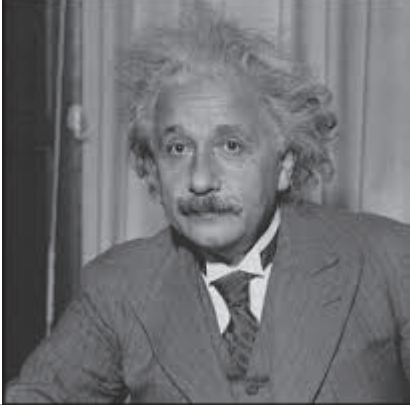

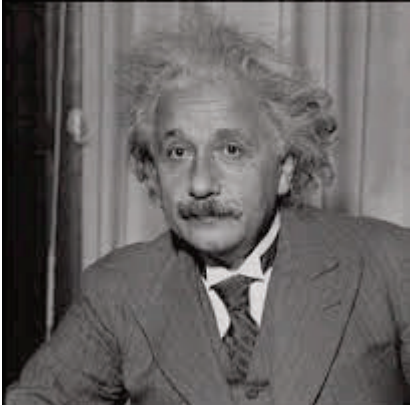


Αποκωδικοποιημένη εικόνα



### 7.2.2.2 Σενάριο 2: Απόκρυψη ασπρόμαυρης εικόνας σε έγχρωμη εικόνα.

Πίνακας 5: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 2

Αρχική εικόνα	
Εικόνα προς απόκρυψη	
Κωδικοποιημένη εικόνα	

Αποκωδικοποιημένη εικόνα



### 7.2.2.3 Σενάριο 3: Απόκρυψη έγχρωμης εικόνας σε ασπρόμαυρη εικόνα.

Πίνακας 6: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 3

Αρχική εικόνα



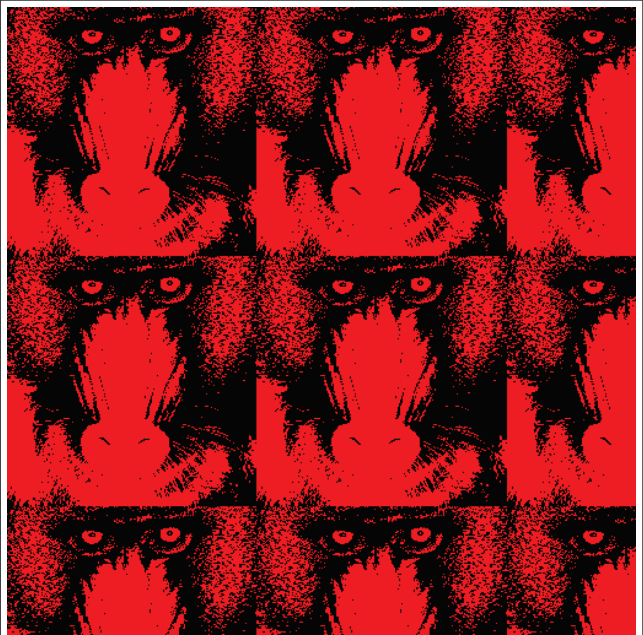
Εικόνα προς απόκρυψη



Κωδικοποιημένη εικόνα



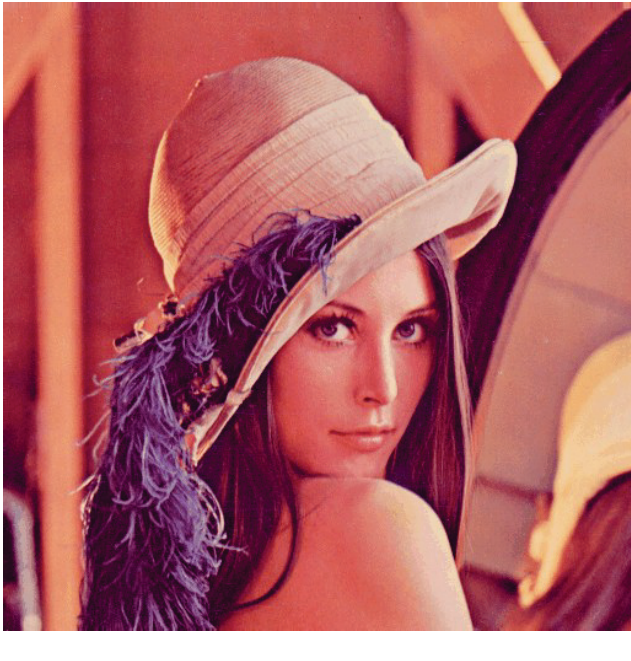
Αποκωδικοποιημένη εικόνα



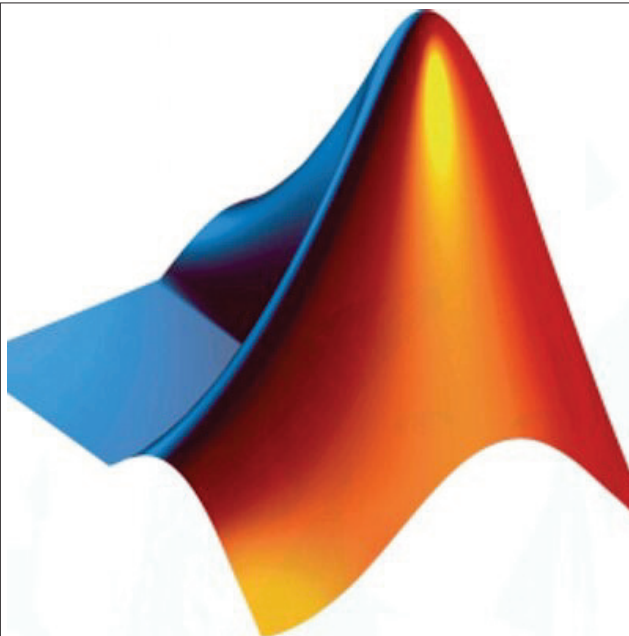


#### 7.2.2.4 Σενάριο 4: Απόκρυψη έγχρωμης εικόνας σε έγχρωμη εικόνα.

Πίνακας 7: Συνθήκες Πειράματος Σενάριου 4

Αρχική εικόνα	
Εικόνα προς απόκρυψη	

Κωδικοποιημένη εικόνα



Αποκωδικοποιημένη εικόνα



### 7.3 Συμπεράσματα-Προτεινόμενες επεκτάσεις

Ο αλγόριθμος LSB είναι ένας απλός αλλά αποδοτικός αλγόριθμος που κάτω υπό συγκεκριμένες συνθήκες είναι ένα εύχρηστο εργαλείο για την στεγανογράφηση εικόνων με άλλες εικόνες. Επίσης ο αλγόριθμος παρουσιάζει χαμηλό επίπεδο ευρωστίας στην περίπτωση που αλλοιωθεί η στεγανογραφημένη εικόνα, χάνεται το μήνυμα. Όμως δεν παύει να έχει τα ελαττώματά του.

Κατά την διάρκεια των δοκιμών του αλγορίθμου παρατηρήθηκε αδυναμία εκτέλεσης ορισμένων σεναρίων και συνθηκών, που μπορούν μελλοντικά να επεκταθούν, αυτά είναι:

- Ο αλγόριθμος δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν η εικόνα για απόκρυψη είναι μεγαλύτερη σε διαστάσεις από την αρχική εικόνα.
- Έγχρωμες εικόνες με παρόμοια ιστογράμματα και χρωματισμούς είναι δυσκολότερο να αποκωδικοποιηθούν διότι χάνεται μεγάλο μέρος της πληροφορίας.
- Όταν έγχρωμη εικόνα αποκρύπτεται σε ασπρόμαυρη, αφού χάνεται η χρωματική παλέτα της, βγαίνει αρκετά αλλοιωμένη η κωδικοποιημένη εικόνα.
- Οι κωδικοποιημένες και αποκωδικοποιημένες εικόνες αποθηκεύονται σε μορφή bitmap (.bmp)

#### Προτεινόμενες Επεκτάσεις

- Ανταλλαγή κλειδιού για να ορίζει τα bit εφαρμογής του αλγορίθμου LSB
- Χρήση κρυπτογραφικών και κατακερματιστικών συναρτήσεων στην στεγανοποιημένη εικόνα για αύξηση της ασφάλειας.

## 8 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### 8.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε και υλοποιήθηκε ένας απο τους πιο δημοφιλείς αλγόριθμους στεγανογράφησης και κρυπτογράφησης ο LSB (Least Significant Bit). Η εφαρμογή του αλγόριθμου που υλοποιήθηκε είναι διαθέσιμη να χρησιμοποιηθεί μέσω γλώσσας υψηλού επιπέδου όπως είναι το Matlab για οποιοδήποτε επιθυμεί να αποκρύψει μια πληροφορία εικόνας σε μια άλλη εικόνα. Η εφαρμογή επίσης υλοποιεί όχι μόνο την απόκρυψη της πληροφορίας αλλά και την αντίστροφη διαδικασία δηλαδή την ανάκτηση της κρυμμένης πληροφορίας. Το περιβάλλον της εφαρμογής είναι απλό και εύχρηστο για τον χρήστη, αφού απαιτεί με ένα παράθυρο διαλόγου της εισαγωγής από τα αρχεία του, την εικόνα που χρειάζεται να κρύψει πληροφορία και μετέπειτα την εικόνα που θέλει να κρυφτεί στην προηγούμενη. Η εφαρμογή λόγω της πειραματικής της προσέγγισης αφού προβεί στην διαδικασία ένωσης, αυτόματα εισέρχεται και στην διαδικασία ανάκτησης της πληροφορίας. Ο χρήστης σαν έξοδο απο το σύστημα δέχεται δύο εικόνες που αποθηκεύονται αυτόματα στον ηλεκτρονικό του υπολογιστή, την στεγανογραφημένη και την ανακτημένη εικόνα για περαιτέρω χρήσεις.

Στα πλαίσια της εργασίας διενεργήθηκαν μια σειρά από πειράματα που περιλαμβάνουν το συνδυασμό διαφορετικών περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, έγινε απόκρυψη ασπρόμαυρων εικόνων και έγχρωμων εικόνων τόσο σε έγχρωμη όσο και σε ασπρόμαυρη εικόνα αλλά και απόκρυψη εικόνων διαφορετικών διαστάσεων (πολύ μικρή – μεσαία εικόνα) σε ασπρόμαυρες και έγχρωμες εικόνες.

Ο αλγόριθμος LSB είναι ένας απλός αλλά αποδοτικός αλγόριθμος που κάτω υπό συγκεκριμένες συνθήκες είναι ένα εύχρηστο εργαλείο για την στεγανογράφηση εικόνων με άλλες εικόνες. Επίσης ο αλγόριθμος παρουσιάζει χαμηλό επίπεδο ευρωστίας στην περίπτωση που αλλοιωθεί η στεγανογραφημένη εικόνα, χάνεται το μήνυμα. Όμως δεν παύει να έχει τα ελαττώματα του.

Κατά την διάρκεια των δοκιμών του αλγόριθμου παρατηρήθηκε αδυναμία εκτέλεσης ορισμένων σεναρίων και συνθηκών, που μπορούν μελλοντικά να επεκταθούν, αυτά είναι:

- Ο αλγόριθμος δεν μπορεί να λειτουργήσει όταν η εικόνα για απόκρυψη είναι μεγαλύτερη σε διαστάσεις απο την αρχική εικόνα.
- Έγχρωμες εικόνες με παρόμοια ιστογράμματα και χρωματισμούς είναι δυσκολότερο να αποκωδικοποιηθούν διότι χάνεται μεγάλο μέρος της πληροφορίας.
- Όταν έγχρωμη εικόνα αποκρύπτεται σε ασπρόμαυρη, αφού χάνεται η χρωματική παλέτα της, βγαίνει αρκετά αλλοιωμένη η κωδικοποιημένη εικόνα.

Προτεινόμενες Επεκτάσεις

- Ανταλλαγή κλειδιού για να ορίζει τα bit εφαρμογής του αλγόριθμου LSB
- Χρήση κρυπτογραφικών και κατακερματιστικών συναρτήσεων στην στεγανοποιημένη εικόνα για αύξηση της ασφάλειας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. <https://el.wikipedia.org/wiki/Όραση>
2. [http://www.ofthalmiatroithess.gr/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=140&Itemid=857&lang=el](http://www.ofthalmiatroithess.gr/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=140&Itemid=857&lang=el)
3. [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/6438/1/Master\\_Thesis\\_Sotiris\\_Balkouras.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/6438/1/Master_Thesis_Sotiris_Balkouras.pdf)
4. <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2015/OglouGeorgios/attached-document-1452845792-307273-384/OglouGeorgios2015.pdf>
5. <https://cryptography444.wordpress.com/>
6. [http://www.icsd.aegean.gr/website\\_files/metaptyxiako/997371597.pdf](http://www.icsd.aegean.gr/website_files/metaptyxiako/997371597.pdf)
7. <http://www.krenn.nl/univ/cry/steg/article.pdf>
8. [http://www.medialab.ntua.gr/education/MultimediaTechnology/MultimediaTechnologyNotes/chapter2a\\_1.htm](http://www.medialab.ntua.gr/education/MultimediaTechnology/MultimediaTechnologyNotes/chapter2a_1.htm)
9. [http://compus.uom.gr/MIS118/document/Dialeksh\\_03\\_-\\_Eikona\\_-\\_Eisagwgh\\_sto\\_photoshop/07-SYSPOL-U5\\_Image-A.pdf](http://compus.uom.gr/MIS118/document/Dialeksh_03_-_Eikona_-_Eisagwgh_sto_photoshop/07-SYSPOL-U5_Image-A.pdf)
10. [http://users.softlab.ntua.gr/~klaskar/IEK/PsifiakiEikona\\_040603.pdf](http://users.softlab.ntua.gr/~klaskar/IEK/PsifiakiEikona_040603.pdf)
11. <https://el.wikipedia.org/wiki/Bit>
12. <https://en.wikipedia.org/wiki/Bit>
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Bit\\_plane](https://en.wikipedia.org/wiki/Bit_plane)
14. <https://el.wikipedia.org/wiki/Byte>
15. [http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/v\\_card/morf\\_an.html](http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/v_card/morf_an.html)
16. [http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/v\\_card/xr\\_anan.html](http://www.it.uom.gr/project/mycomputer/v_card/xr_anan.html)
17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Samples\\_per\\_inch](https://en.wikipedia.org/wiki/Samples_per_inch)
18. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pixel\\_density](https://en.wikipedia.org/wiki/Pixel_density)
19. [https://en.wikipedia.org/wiki/Dots\\_per\\_inch](https://en.wikipedia.org/wiki/Dots_per_inch)
20. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lines\\_per\\_inch](https://en.wikipedia.org/wiki/Lines_per_inch)
21. [https://en.wikipedia.org/wiki/RGB\\_color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model)
22. [https://en.wikipedia.org/wiki/CMYK\\_color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/CMYK_color_model)
23. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lab\\_color\\_space](https://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space)
24. [https://en.wikipedia.org/wiki/HSL\\_and\\_HSV](https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV)
25. [https://en.wikipedia.org/wiki/RYB\\_color\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/RYB_color_model)

- 26.<https://en.wikipedia.org/wiki/YCbCr>
- 27.<https://en.wikipedia.org/wiki/YCgCo>
- 28.<https://en.wikipedia.org/wiki/ICtCp>
- 29.[https://en.wikipedia.org/wiki/Vector\\_graphics](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_graphics)
- 30.[https://en.wikipedia.org/wiki/Raster\\_graphics](https://en.wikipedia.org/wiki/Raster_graphics)
- 31.[https://en.wikipedia.org/wiki/Binary\\_image](https://en.wikipedia.org/wiki/Binary_image)
- 32.<https://en.wikipedia.org/wiki/Grayscale>
- 33.[https://www.mathworks.com/help/matlab/creating\\_plots/image-types.html](https://www.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/image-types.html)
- 34.[https://en.wikipedia.org/wiki/Indexed\\_color](https://en.wikipedia.org/wiki/Indexed_color)
- 35.[https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_depth#True\\_color\\_.2824-bit.29](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_depth#True_color_.2824-bit.29)
- 36.[https://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_file\\_formats](https://en.wikipedia.org/wiki/Image_file_formats)
- 37.[https://en.wikipedia.org/wiki/Encapsulated\\_PostScript](https://en.wikipedia.org/wiki/Encapsulated_PostScript)
- 38.[https://en.wikipedia.org/wiki/Portable\\_Document\\_Format](https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_Document_Format)
- 39.<https://en.wikipedia.org/wiki/PICT>
- 40.<https://en.wikipedia.org/wiki/SWF>
- 41.[https://en.wikipedia.org/wiki/Extensible\\_Application\\_Markup\\_Language](https://en.wikipedia.org/wiki/Extensible_Application_Markup_Language)
- 42.[https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_graphics\\_file\\_formats#Technical\\_details](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_graphics_file_formats#Technical_details)
- 43.<https://jpeg.org/index.html>
- 44.<https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG>
- 45.<http://www.medialab.ntua.gr/education/MultimediaTechnology/MultimediaTechnologyNotes/extra/append3.htm>
- 46.Lab1-Introduction Matlab (Part 1) Σημειώσεις Παρασκευά Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος
- 47.Σημειώσεις απο προσωπικό αρχείο

## **ΕΙΚΟΝΕΣ**

- 48.Εικόνα 1:By wikibooks:User:RobinH <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AC%CF%84%CE%B9>
- 49.Εικόνα 2:By Steve Jurvetson from Menlo Park, USA - Flickr, CC BY 2.0 <http://www.emmetropia.gr/gr/leitourgia-matiou.php>
- 50.Εικόνα 3:<http://www.emmetropia.gr/gr/leitourgia-matiou.php>

- 51.Εικόνα 4:<http://www.abpishools.org.uk/topic/nervoussystem/8>
- 52.Εικόνα 5:By Vanessaezekowitz at en.wikipedia, CC BY-SA 3.0  
<https://el.wikipedia.org/wiki/Χρώμα>
- 53.Εικόνα 6:By Spectre\_visible\_light\_el.svg: \*Spectre\_visible\_light.svg
- 54.Εικόνα 7:additive colors svg
- By SharkD at English Wikipedia Later versions were uploaded by Jacobolus at en.wikipedia.
- 55.Εικόνα 8:By Ntozis at Greek Wikipedia <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11573361>
- 56.Εικόνα 9:By Ntozis at Greek Wikipedia <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7149926>
- 57.Εικόνα 10: By Ntozis at Greek Wikipedia <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11570984>
- 58.Εικόνα 11:By Holger kkk Everding - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38366968>
- 59.Εικόνα 12:By Holger Everding - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38366969>
- 60.Εικόνα 13:By Jacob Rus - Own work, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9445469>
- 61.Εικόνα 14:By Kwamikagami - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43056011>
- 62.Εικόνα 15:By Simon A. Eugster - Own work, Public Domain,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10972475>
- 63.Εικόνα 16:By Smoro100 - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56865487>
- 64.Εικόνα 17:Alex Khristov - self-made after Interior's en:Image:JPEG ZigZag.jpg