



# ***Αρχές Ψηφιακής Τηλεόρασης*** ***Ενότητα 2 – Παραγωγή τηλεοπτικού*** ***σήματος***

Καθηγητής Δρ. Ευάγγελος Πάλλης  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών  
Υπολογιστών  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Περιεχόμενα

- Σύνοψη και μαθησιακά αποτελέσματα/στόχοι
- Εισαγωγή στην Ενότητα 2
- Περιγραφή Εικόνας
  - Αναπαράσταση Οπτικής Πληροφορίας
    - Τριχρωματική Όραση
    - Φωτεινότητα και Χρωμοδιαφορές
- Δημιουργία Σήματος στην Αναλογική Τηλεόραση
  - Διαπλεγμένη Σάρωση
  - Παλμοί Οριζόντιας και Κατακόρυφης Επιστροφής
    - Δεδομένα εντός του Παλμού Κατακόρυφης Επιστροφής
  - Συστήματα Διαχείρισης Χρώματος
- Δημιουργία Ψηφιακού Σήματος
  - Φιλτράρισμα και Δειγματοληψία
  - Κβαντισμός
  - Υποδειγματοληψία Χρώματος
  - Δομή Βίντεο
- Σήμα Υψηλής Ευκρίνειας

# Περιγραφή Ενότητας 2

## Σύνοψη

Στην Ενότητα 2 εξετάζουμε την παραγωγή του τηλεοπτικού σήματος εστιαζόμενοι στο τμήμα του βίντεο το οποίο παίζει και τον καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία του τηλεοπτικού σήματος, τόσο από την άποψη του ποσοστού του μεγέθους που αυτό καταλαμβάνει όσο και από την περιπλοκότητα και τις επιλογές που διατίθενται. Ένα από τα βασικά συμπεράσματα της Ενότητας 2 είναι η ανάγκη για συμπίεση, ώστε να γίνει δυνατή η μετάδοση του σήματος, τόσο της τυπικής όσο και της υψηλής ευκρίνειας.

Η Ενότητα 2 αποτελείται από τέσσερις επιμέρους ενότητες:

- 1) **Τον τρόπο αναπαράστασης της πληροφορίας της εικόνας και του βίντεο.** Εδώ εξετάζουμε τη χρήση της προσθετικής μίξης με χρήση των τριών βασικών χρωμάτων (R, G, B) και επεξηγούμε το μέγεθος της φωτεινότητας και τους τρόπους τρόποι υπολογισμού του, καθώς και κάποιες εναλλακτικές αναπαραστάσεις συμπεριλαμβανομένων της χροιάς, του κορεσμού και της φωτεινότητας, καθώς και αυτής των χρωμοδιαφορών.
- 2) **Τη δημιουργία του σήματος βίντεο στην αναλογική τηλεόραση.** Εδώ εξετάζουμε τρία από τα βασικά χαρακτηριστικά της δημιουργίας του βίντεο στην αναλογική τηλεόραση, συγκεκριμένα τη διαπλεγμένη σάρωση (interlaced scanning), τους παλμούς οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής (Horizontal και Vertical Blanking Intervals) και τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα συστήματα στην αναλογική τηλεόραση διαχειρίζονται το χρώμα (το αμερικανικό NTSC και τα ευρωπαϊκά PAL και SECAM).
- 3) **Τον τρόπο δημιουργίας του σήματος στην ψηφιακή τηλεόραση.** Εδώ εξετάζουμε τον τρόπο λήψης του σήματος και τα στάδια επεξεργασίας που υφίσταται, τα οποία περιλαμβάνουν το φιλτράρισμα, τη δειγματοληψία, καθώς και την υποδειγματοληψία χρώματος. Με βάση αυτά υπολογίζεται ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης.
- 4) **Το σήμα υψηλής ευκρίνειας.** Σε αυτή την υπο-Ενότητα γίνεται ανάλογη ανάλυση με αυτή που προηγήθηκε για το σήμα τυπικής ευκρίνειας και επεξηγούνται οι διαστάσεις που χρησιμοποιούνται και οι ρυθμοί που προκύπτουν.

## Προαπαιτούμενη γνώση

Η Ενότητα 2 είναι σε μεγάλο βαθμό αυτόνομη, αφού η μεθοδολογία δημιουργίας του σήματος είναι ένα από τα πρώτα βήματα που ακολουθούνται στην πορεία που διαγράφει το τηλεοπτικό σήμα προς τις μονάδες εκπομπής. Υπάρχει συσχέτιση με την Ενότητα 3 (επόμενη Ενότητα) η οποία αφορά στη συμπίεση του βίντεο.

# Μαθησιακά αποτελέσματα

Με την επιτυχή ολοκλήρωση της Ενότητας 2 ο φοιτητής / τρια θα διαθέτει:

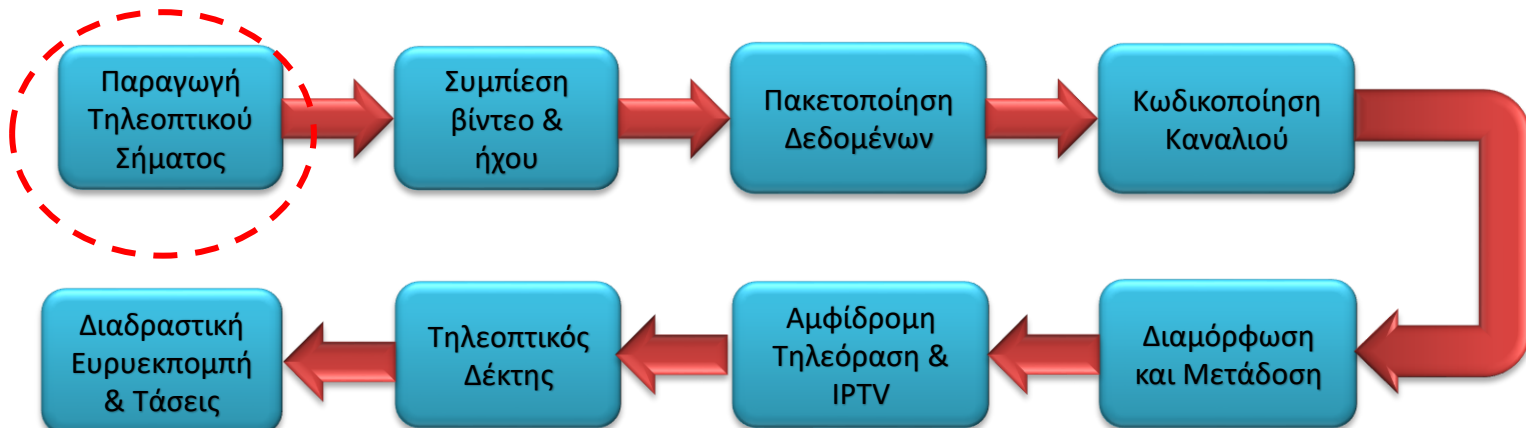
- **Γνώσεις:** Βασικές γνώσεις σχετικά με τις αρχές αναπαράστασης των πληροφοριών εικόνας και ήχου αλλά και προχωρημένες γνώσεις για αναζήτηση πληροφοριών σχετικά με τη δημιουργία του τηλεοπτικού σήματος καθώς και τεχνολογικές και επιστημονικές περιοχές ανάλυσης τηλεοπτικού σήματος τυπικής και υψηλής ευκρίνειας.
- **Δεξιότητες:** Κατέχει την ικανότητα να διακρίνει του βασικούς μηχανισμούς δημιουργίας του τηλεοπτικού σήματος και της αναπαράστασής του και να αναγνωρίζει τις επιστημονικές και τεχνολογικές περιοχές που σχετίζονται με το οικοσύστημα της τυπικής και της υψηλής ευκρίνειας τηλεόραση.
- **Ικανότητα:** Να διακρίνει τα δομικά στοιχεία για την αναπαράσταση και δημιουργία τηλεοπτικού σήματος και να αναγνωρίζει τις βασικές λειτουργικές μονάδες και μηχανισμούς υλοποίησης τυπικής και υψηλής ευκρίνειας εικόνας και ήχου.

# ***Εισαγωγή***

# Εισαγωγή στην Ενότητα 2

Το βίντεο αποτελείται από μια αλληλουχία εικόνων, οι οποίες απαρτίζονται από εικονοστοιχεία (picture elements- pixels), το πλήθος των οποίων καθορίζει την ανάλυση (**resolution**). Η ανάλυση προκύπτει από το γινόμενο του πλήθους των γραμμών επί των στηλών της εικόνας.

Επειδή οι σκηνές διαφοροποιούνται με τον χρόνο, απαιτείται να λαμβάνονται πολλές διαδοχικές εικόνες. Η ταχύτητα με την οποία λαμβάνουμε τις εικόνες ποικίλλει και μετρείται σε πλαίσια ανά δευτερόλεπτο (frames per second, fps), **framerate**.



# ***Εισαγωγή στην Ενότητα 2***

Για την αναπαράσταση του σήματος βίντεο κατά τη δημιουργία του, αλλά και την αναπαραγωγή του στην τηλεοπτική συσκευή, χρησιμοποιείται η αναπαράσταση RGB (**βασικά χρώματα** Red, Green, Blue - RGB). Ο χώρος περιγραφής χρησιμοποιείται τόσο για τη λήψη του σήματος στον εικονολήπτη όσο και για την αναπαραγωγή αυτού στον δέκτη.

Για τους σκοπούς της μετάδοσης έχουμε μια μετατροπή από τον χώρο RGB σε έναν άλλο ισοδύναμο τρόπο αναπαράστασης, ο οποίος βασίζεται στη φωτεινότητα και τα μεγέθη που ονομάζουμε **χρωμοδιαφορές** (Y,Cb, Cr). Στη συνέχεια πραγματοποιείται η αντίστροφη μετατροπή σε RGB για την αναπαραγωγή του σήματος στη συσκευή του δέκτη.

# ***Εισαγωγή στην Ενότητα 2***

Στους στόχους αυτής της Ενότητας περιλαμβάνονται:

- Η κατανόηση των τρόπων αναπαράστασης της πληροφορίας που αφορά τα χρώματα σε μια εικόνα και κατ' επέκταση στο βίντεο,
- Η μετατροπή μεταξύ ισοδύναμων τρόπων αναπαράστασης εικόνων και βίντεο,
- Η διαχείριση της υποδειγματοληψίας χρώματος και τη συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά του τηλεοπτικού σήματος, και
- Οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και ο τρόπος που αυτές σχετίζονται με τις επιλογές που αφορούν το βίντεο.



# ***Περιγραφή εικόνας***

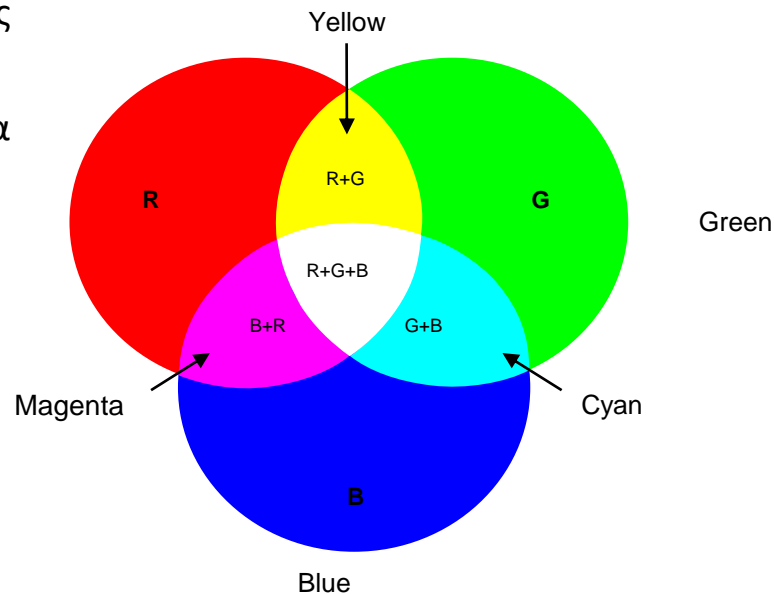
Αναπαράσταση Οπτικής  
Πληροφορίας

# Τριχρωματική όραση

Το βασικό χαρακτηριστικό της αναπαράστασης της οπτικής πληροφορίας είναι η δυνατότητα παραγωγής οποιουδήποτε χρώματος με μίξη τριών φασματικών χρωμάτων, τα οποία ονομάζουμε κύρια ή βασικά χρώματα και τα οποία είναι το κόκκινο (R), το πράσινο (G) και το μπλε (B).

- Η **προσθετική μίξη** συνδυάζει τα παραπάνω πρωτεύοντα χρώματα (κόκκινο, πράσινο και μπλε) ώστε να δώσει τους επιθυμητούς συνδυασμούς.
- Η **αφαιρετική μίξη** ξεκινάει από το λευκό, το οποίο αποτελείται από όλα τα χρώματα στο μέγιστο ποσοστό και αφαιρεί (απορρίπτει) κάποια από αυτά. Έτσι, αυτά που παραμένουν, δημιουργούν τον επιθυμητό χρωματικό συνδυασμό.
  - Στην αφαιρετική μίξη ως πρωτεύοντα/βασικά χρώματα θεωρούνται το κυανό (cyan – από το πράσινο και το μπλε), το πορφυρό (magenta – από το κόκκινο και το μπλε, και το κίτρινο (yellow – από το πράσινο και το κόκκινο).

Στα συστήματα έγχρωμης τηλεόρασης χρησιμοποιείται η προσθετική μίξη των βασικών χρωμάτων.



# Τριχρωματική όραση

Μια βασική παράμετρος που επηρεάζει την ποιότητα της απεικόνισης, βασίζεται στα διαθέσιμα **επίπεδα κβαντισμού** για την αναπαράσταση των ποσοστών αυτών.

Από το πλήθος των bits που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση, εξαρτώνται τα αντίστοιχα εύρη τιμών. Για παράδειγμα

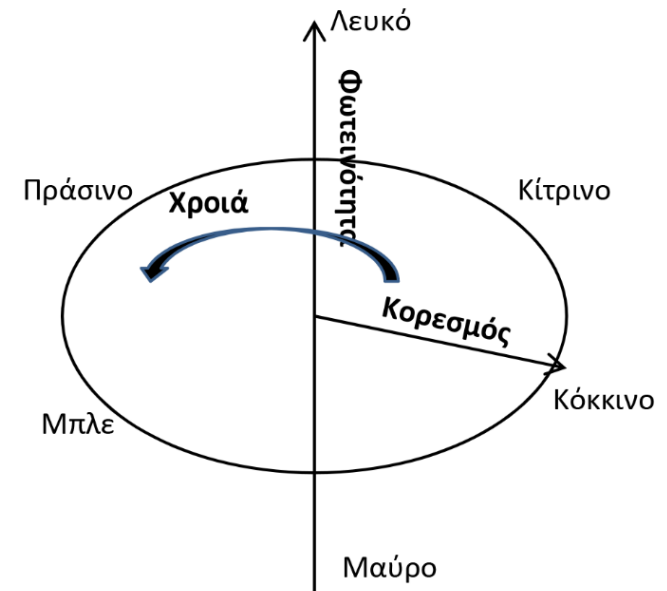
- Για αναπαράσταση 8 bits το εύρος είναι από το 0 έως το 255,
- Για αναπαράσταση 10 bits το εύρος κυμαίνεται από το 0 έως το 1.024.

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

Ένας ισοδύναμος (εναλλακτικός) τρόπος αναπαράστασης της χρωματικής πληροφορίας είναι η ανάλυση του χρώματος στη **χροιά** (hue), τον **κορεσμό** (saturation) και τη **φωτεινότητα** (luminance):

- Η χροιά αντιπροσωπεύει το ίδιο το χρώμα (το είδος δηλαδή του χρώματος) και μετράται ως γωνία, ξεκινώντας από τον άξονα των θετικών πραγματικών αριθμών.
- Ο κορεσμός αφορά την καθαρότητα του χρώματος και μετράται ως το μέτρο της ακτίνας. Ο συνδυασμός χροιάς και κορεσμού συνιστούν τη **χρωμικότητα** (chrominance).
- Η φωτεινότητα μεταβάλλεται από το 0 (μαύρο) ως το 1 (λευκό).

Στο διπλανό σχήμα παρουσιάζονται η χροιά ως γωνία, ο κορεσμός ως το μέτρο του διανύσματος (από την αρχή των αξόνων μέχρι το σημείο που ορίζεται από τη χρωμικότητα) και η φωτεινότητα ως ύψος στον κατακόρυφο άξονα.



Αναπαράσταση χρωμάτων με χρήση χροιάς, κορεσμού και φωτεινότητας.

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

Για τον υπολογισμό της **φωτεινότητας (Y)** επιμερίζουμε το ποσοστό με το οποίο συνεισφέρουν τα (τρία) βασικά χρώματα στην φωτεινότητα, κάνοντας χρήση συντελεστών οι οποίοι έχουν προκύψει από πειραματικές μετρήσεις της ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού στα συγκεκριμένα χρώματα και έχουν προτυποποιηθεί.

- Πιο συγκεκριμένα:

$$Y=0,299\textcolor{red}{R}+0,587\textcolor{green}{G}+0,114\textcolor{blue}{B} \quad (1)$$

Ή, σε πιο απλοποιημένη, προσεγγιστική μορφή:

$$Y=0,30\textcolor{red}{R}+0,59\textcolor{green}{G}+0,11\textcolor{blue}{B} \quad (2)$$

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

Λόγοι που επιλέγουμε την χρήση της φωτεινότητας έναντι της χρωμικότητας:

- **Φυσιολογία του ανθρώπινου οφθαλμού.** Η ευαισθησία του ανθρώπινου οφθαλμού είναι πολύ πιο έντονη στο σήμα της φωτεινότητας σε σχέση με αυτό των χρωμοδιαφορών.
- **Backward compatibility.** Για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα παλαιότερων ασπρόμαυρων δεκτών με τα νέα συστήματα της έγχρωμης τηλεόρασης.

Τρόπος χρήσης της φωτεινότητας:

Για να γίνει σωστή χρήση του μεγέθους «φωτεινότητα» απαιτείται η μετατροπή της περιγραφής του σήματος της εικόνας από τον χώρο των τριών βασικών χρωμάτων RGB σε μια ισοδύναμη αναπαράσταση, η οποία περιέχει τη φωτεινότητα (Y).

- Οι αναπαραστάσεις πρέπει να είναι ισοδύναμες (στην πραγματικότητα να αποτελούνται από τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές) και η μετάβαση από τη μία στην άλλη να μπορεί να είναι αμφίδρομη.
- Για να έχουμε ισοδυναμία στην περιγραφή πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δύο ακόμη (ανεξάρτητα μεταξύ τους) μεγέθη, τα οποία αφορούν το χρώμα, και τα οποία βασίζονται στις **χρωμοδιαφορές**.

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

Ως **χρωμοδιαφορές** ορίζουμε τη διαφορά της φωτεινότητας από την τιμή της συνιστώσας του εκάστοτε χρώματος (συγκεκριμένα του μπλε και του κόκκινου). Ας υποθέσουμε ότι συμβολίζουμε τις κανονικοποιημένες αναλογίες στα τρία βασικά χρώματα, ως R, G, B, τη φωτεινότητα Y και τις χρωμοδιαφορές Cr, Cg και Cb.

- Η χρωμοδιαφορά του κόκκινου προκύπτει ως η διαφορά της φωτεινότητας από την αναλογία του κόκκινου:

$$\mathbf{Cr=R-Y=R-(0,30R+0,59G+0,11B)=0,70R-0,59G-0,11B} \quad (3)$$

- Η χρωμοδιαφορά του πράσινου προκύπτει ως η διαφορά της φωτεινότητας από την αναλογία του πράσινου:

$$\mathbf{Cg=G-Y=G-(0,30R+0,59G+0,11B)=-0,30R+0,41G-0,11B} \quad (4)$$

- Η χρωμοδιαφορά του μπλε προκύπτει ως η διαφορά της φωτεινότητας από την αναλογία του μπλε:

$$\mathbf{Cb=B-Y=B-(0,30R+0,59G+0,11B)=-0,30R-0,59G+0,89B} \quad (5)$$

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

Υπολογισμός φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών.

| Colour | R | G | B | Y    | R-Y   | G-Y   | B-Y   |
|--------|---|---|---|------|-------|-------|-------|
| Black  | 0 | 0 | 0 | 0    | 0     | 0     | 0     |
| Blue   | 0 | 0 | 1 | 0,11 | -0,11 | -0,11 | 0,89  |
| Green  | 0 | 1 | 0 | 0,59 | -0,59 | 0,41  | -0,59 |
| Azure  | 0 | 1 | 1 | 0,7  | -0,7  | 0,3   | 0,3   |
| Red    | 1 | 0 | 0 | 0,3  | 0,7   | -0,3  | -0,3  |
| Purple | 1 | 0 | 1 | 0,41 | 0,59  | -0,41 | 0,59  |
| Yellow | 1 | 1 | 0 | 0,89 | 0,11  | 0,11  | -0,89 |
| White  | 1 | 1 | 1 | 1    | 0     | 0     | 0     |

**Παρατήρηση:** τη μέγιστη τιμή της φωτεινότητας την έχουμε στην περίπτωση του λευκού (η τιμή είναι μονάδα) ενώ την ελάχιστη στην περίπτωση του μαύρου (όπου η τιμή γίνεται μηδενική).

**Συμπέρασμα:** εκ των τριών χρωμοδιαφορών (Cr, Cg και Cb) χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε δύο εξ αυτών (αφού με τη βοήθεια και της φωτεινότητας θα έχουμε πλήρη περιγραφή των χρωμάτων, έχουμε δηλαδή σύστημα με τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές).

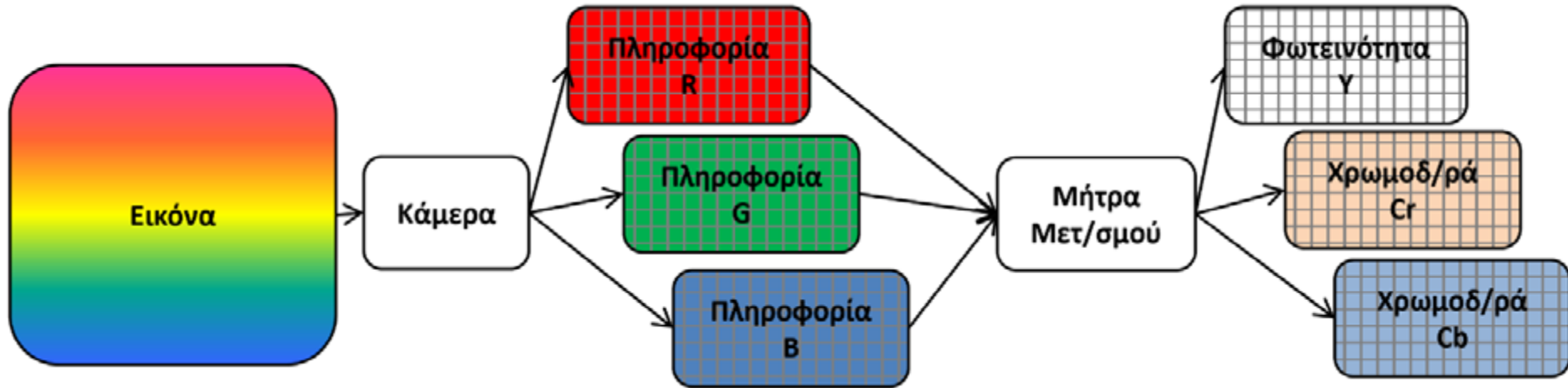


# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

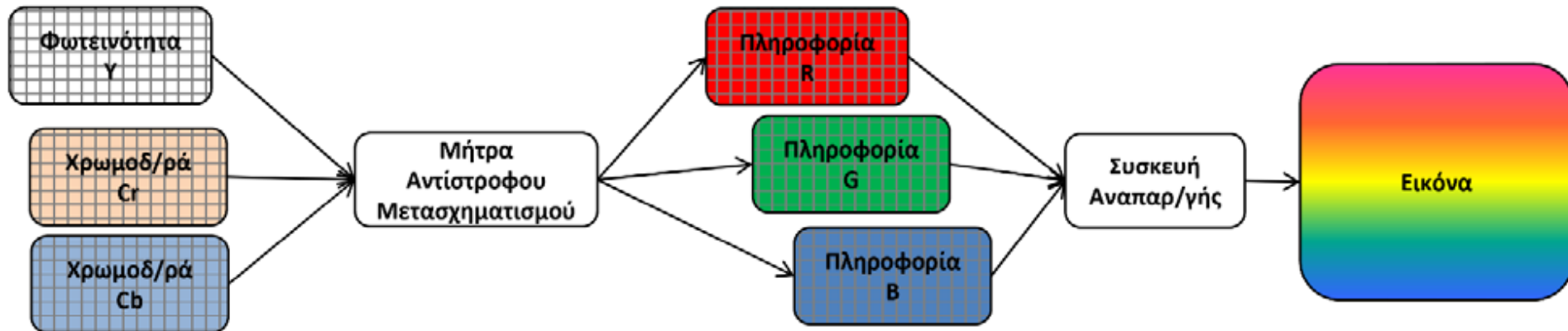
**Ερώτημα:** Ποιο ζευγάρι χρωμοδιαφορών πρέπει να επιλεγεί προκειμένου να συνδυαστεί με την φωτεινότητα για την περιγραφή ενός χρώματος?

**Απάντηση:** Παρατηρώντας τις τιμές που προκύπτουν για τους βασικούς συνδυασμούς στον παραπάνω πίνακα, βλέπουμε ότι οι τιμές των χρωμοδιαφορών Cb και Cr είναι συστηματικά μεγαλύτερες ή ίσες από τις τιμές της χρωμοδιαφοράς Cg. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές τους θα είναι λιγότερο ευάλωτες στον αναπόφευκτο θόρυβο και τα σφάλματα που θα επηρεάσουν την περιγραφή και τη μετάδοσή τους. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο επιλέγονται οι χρωμοδιαφορές Cb και Cr. Έτσι, με τη βοήθεια αυτών θεωρούμε τον χώρο που αποτελείται από τη φωτεινότητα και τις δύο χρωμοδιαφορές, ως **YCbCr**.

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές

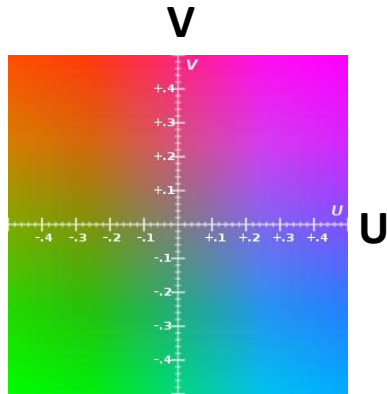


Μετατροπή χρωματικής πληροφορίας από τον χώρο RGB στον χώρο YCbCr



Επαναφορά πληροφορίας από τον χώρο YCbCr στον χώρο RGB

# Φωτεινότητα και χρωμοδιαφορές



Composite



Y



U (Cb)



V (Cr)



Το σύστημα **YCbCr** είναι γνωστό και ως **YUV**: Για μια συγκεκριμένη τιμή της φωτεινότητας (luminance – **Y**), τα τελικά χρώματα δίνονται από της συνιστώσες **U** και **V**. Στο αναλογικό βίντεο, μπορούμε είτε να επιλέξουμε να παραμείνουμε σε αυτό το επίπεδο, των τριών διακριτών σημάτων, είτε να δημιουργήσουμε σύνθετα σήματα (συνδυάζοντας κάποια εξ αυτών). Αυτό μπορεί να γίνει παράγοντας ένα σήμα χρώματος από το Cb και το Cr ή και ένα σύνθετο σήμα με πληροφορίες φωτεινότητας και χρώματος που είναι το σύνθετο σήμα (**Composite video**).

# ***Δημιουργία σήματος στην αναλογική τηλεόραση***

# Δημιουργία σήματος στην αναλογική τηλεόραση

Η έξοδος μιας μηχανής λήψης (εικονολήπτη) είναι ένα σήμα σε μορφή RGB το οποίο περιγράφει την ένταση των τριών βασικών χρωμάτων. Για την μετάδοση του RGB ως τηλεοπτικό σήμα απαιτείται:

- **Μεταφορά όσο το δυνατόν καλύτερα του σήματος της φωτεινότητας (Y).** Με δεδομένο ότι το ανθρώπινο μάτι είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στις μεταβολές της έντασης και όχι στη συχνότητα των ερεθισμάτων (δηλαδή είναι περισσότερο ευαίσθητο στην φωτεινότητα σε σχέση με τα χρώματα) αυτό που μας ενδιαφέρει είναι να μεταφέρουμε όσο το δυνατόν καλύτερα την πληροφορία Y.
- **Επιλογή του ρυθμού δεδομένων** (άρα και το εύρος ζώνης) του video. Ο ρυθμός δεδομένων του video εξαρτάται από:
  - (α) **την ανάλυση κάθε εικόνας**, η οποία σχετίζεται με το πλήθος των γραμμών κάθε εικόνας και των δειγμάτων που λαμβάνονται εντός κάθε γραμμής. 625 γραμμές ανά εικόνα στην Ευρώπη, και 525 γραμμές ανά εικόνα στην Αμερική.
  - (β) **τη συχνότητα με την οποία λαμβάνονται οι εικόνες**. Στην αναλογική τηλεόραση έχουμε δύο τιμές, τα 25 και τα 30 Hz (25 και 30 εικόνες το δευτερόλεπτο), αντίστοιχα προς τις τιμές των γραμμών ανά εικόνα.
- **Διαπλεγμένη σάρωση** (interlaced scanning),
- **Παλμοί** οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής και
- **Μηχανισμοί** με τους οποίους τα διάφορα συστήματα διαχειρίζονται το χρώμα

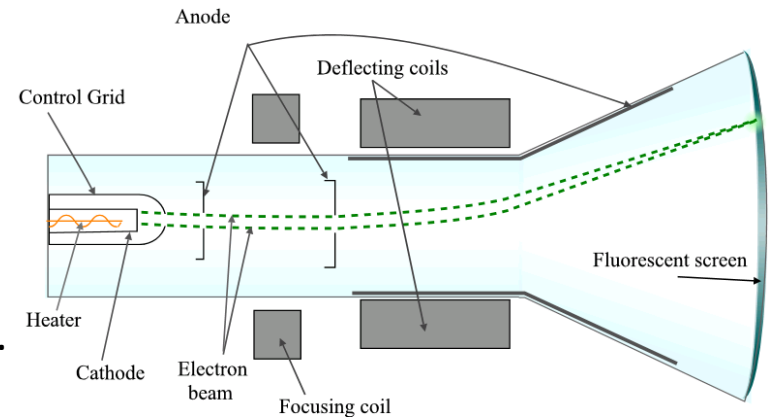
# Διαπλεγμένη σάρωση

Αναλογική τηλεόραση, τεχνολογία του καθοδικού σωλήνα (Cathode Ray Tube, CRT) τόσο στα συστήματα δημιουργίας (εικονολήπτης), όσο και στα συστήματα αναπαραγωγής σήματος (τηλεοπτικός δέκτης).

- **Στην εκπομπή:** χρήση δέσμης ηλεκτρονίων για τη σάρωσης της επιφάνειας της εικόνας και εξαγωγή της πληροφορίας (αρχικά της φωτεινότητας και στη συνέχεια των χρωμάτων).
- **Στη λήψη:** χρήση δέσμης ηλεκτρονίων για την αναπαράσταση των εικόνων μέσω της διέγερσης της επιφάνειας του καθοδικού σωλήνα.

Ο εικονολήπτης (κάμερα) σαρώνει την επιφάνεια της εικόνας με συγκεκριμένο τρόπο ο οποίος πρέπει να είναι κοινός στον πομπό και τον δέκτη.

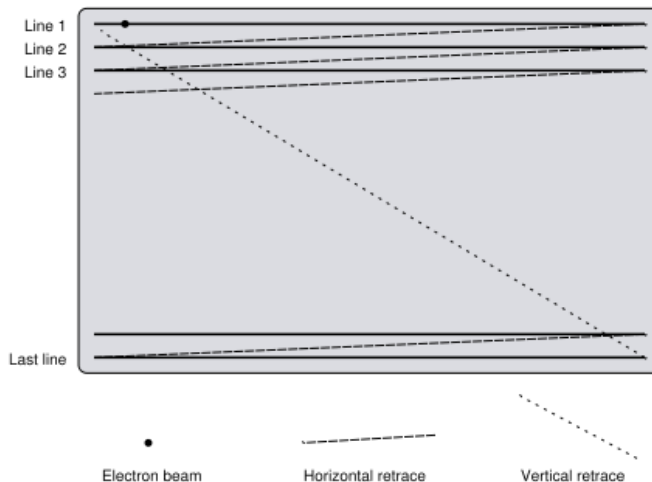
- Ο σχετικά χαμηλός ρυθμός ανανέωσης των εικόνων, 25 (ή 30) εικόνες ανά δευτερόλεπτο **υποβάθμιζαν την ποιότητα της εικόνας (τρεμόσβημα της εικόνας)**, ιδίως στα σημεία μεγάλης φωτεινότητας αυτής.



# Διαπλεγμένη σάρωση

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο του τρεμοσβήματος της της εικόνας, επινοήθηκαν διάφορες τεχνικές λύσεις.

- **Αύξηση του ρυθμού ανανέωσης των εικόνων** (π.χ., διπλασιασμός). Μια τέτοια λύση, όμως, θα διπλασίαζε το πλήθος των δεδομένων που αποστέλλονται από τον πομπό στον δέκτη άρα και το απαιτούμενο εύρος ζώνης.
- Η τεχνική της **διαπλεγμένης σάρωσης (interlaced scanning)**, σύμφωνα με την οποία η σάρωση της εικόνας γίνεται σε δύο φάσεις: α) η δέσμη σαρώνει τις περιττές γραμμές και β) αφού αυτές ολοκληρώνονται (από το πάνω μέρος της οθόνης μέχρι το κάτω) η σάρωση συνεχίζεται στις άρτιες γραμμές.
  - Αυτό σημαίνει ότι κάθε πλαίσιο (frame) χωρίζεται σε δύο πεδία (fields). Το πρώτο πεδίο περιλαμβάνει τις περιττές γραμμές (περιττό πεδίο) και το δεύτερο πεδίο περιλαμβάνει τις άρτιες γραμμές (άρτιο πεδίο).



Διαπλεγμένη σάρωση: Δύο (2) πεδία για ένα (1) πλαίσιο. Το ένα πεδίο αποτελείται από τις διακεκομμένες γραμμές, ενώ το άλλο από τις συνεχείς γραμμές.

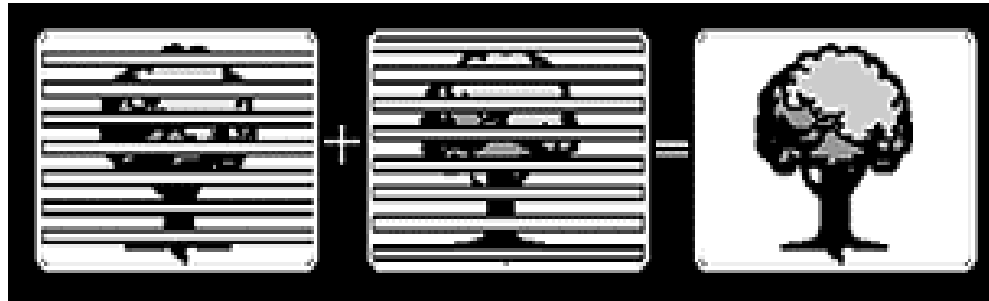
# Διαπλεγμένη σάρωση

Η διαπλεγμένη σάρωση (interlaced scanning) αποτελεί σχεδόν καθολικό κανόνα στην αναλογική τηλεόραση. Με αυτού του τύπου τη σάρωση ο ρυθμός μετάδοσης των πεδίων είναι διπλάσιος από εκείνον των πλαισίων.

- Για **25 πλαίσια** το δευτερόλεπτο (25Hz) ο αριθμός πεδίων γίνεται **50 πεδία** το δευτερόλεπτο (50Hz).
- Για **30 πλαίσια** το δευτερόλεπτο (30Hz) ο ρυθμός πεδίων γίνεται **60 πεδία** ανά δευτερόλεπτο (60 Hz).

Ισχύει δηλαδή η σχέση (6) που συνδέει τον ρυθμό μετάδοσης πεδίων με τον ρυθμό μετάδοσης πλαισίων:

$$\text{Ρυθμός μετάδοσης πεδίων} = 2 * \text{ρυθμός μετάδοσης πλαισίων} \quad (6)$$



Στην ψηφιακή τηλεόραση υποστηρίζεται και η προοδευτική σάρωση (**progressive scanning**), κυρίως στις περιπτώσεις υψηλής ευκρίνειας, λόγω αφενός των ενισχυμένων δυνατοτήτων του εμπλεκόμενου υλικού αλλά και των βελτιωμένων μεθόδων επικοινωνίας.



# Παλμοί οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής

Το σήμα video στην αναλογική τηλεόραση περιλαμβάνει όχι μόνο την πληροφορία που αφορά τις εικόνες που αποτελούν το οπτικό σήμα, αλλά και σηματοδοσία η οποία είναι απαραίτητη για να διακόπτεται η εκπεμπόμενη δέσμη ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα. Αυτή η σηματοδοσία έχει σκοπό:

- την επιστροφή της δέσμης οριζοντίως (δηλαδή μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση μιας γραμμής), οπότε έχουμε το διάστημα (ή τον παλμό) **οριζόντιας επιστροφής ή αμαύρωσης** (Horizontal Blanking Interval, HBI)
- την επιστροφή της δέσμης κατακόρυφα, δηλαδή μόλις ολοκληρωθεί η εμφάνιση ενός πλαισίου ή συνηθέστερα πεδίου, λόγω του διαπλεγμένου (interlaced) τρόπου εμφάνισης της πληροφορίας. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε τον παλμό **κατακόρυφης επιστροφής ή αμαύρωσης** (Vertical Blanking Interval, VBI).

Οι παλμοί επιστροφής ή αμαύρωσης είναι, λοιπόν, των επόμενων δύο κατηγοριών:

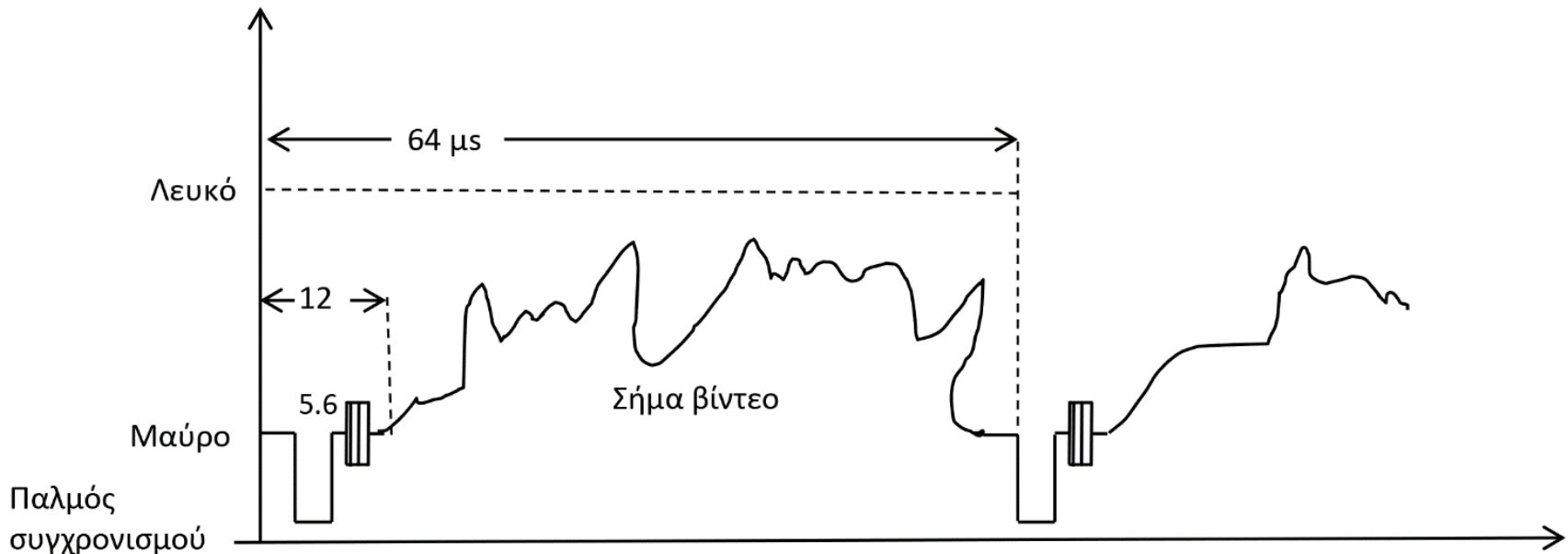
- **HBI:** Horizontal Blanking Interval (παλμός οριζόντιας επιστροφής ή αμαύρωσης)
- **VBI:** Vertical Blanking Interval (παλμός κατακόρυφης επιστροφής ή αμαύρωσης)



# Παλμοί οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής

Εντός του οριζόντιου παλμού επιστροφής (και μετά τον παλμό συγχρονισμού) υπάρχει ένα ακόμη σήμα: **Το σήμα αυτό ονομάζεται burst** και αποτελεί ένα τμήμα του φέροντος με το οποίο διαμορφώνεται το χρώμα.

- Η ύπαρξή του burst είναι απαραίτητη για τον συγχρονισμό πομπού και δέκτη, αφού κατά τη διαμόρφωση του χρώματος, το φέρον καταπνίγεται (Double Side Band Suppressed Carrier, DSB-SC). Το τμήμα του σήματος burst, που περιέχεται στον οριζόντιο παλμό επιστροφής, έχει διάρκεια 10 επαναλήψεις.





# Παλμοί οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής

Στην περίπτωση που έχουμε 625 γραμμές σε κάθε πλαίσιο, τότε οι 50 αντιστοιχούν στο χρονικό διάστημα όπου έχουμε την κατακόρυφη επιστροφή της δέσμης (δηλαδή **VBI**, Vertical Blanking Interval παλμούς κατακόρυφης επιστροφής ή αμαύρωσης). Για την περίπτωση που έχουμε 525 γραμμές, το αντίστοιχο πλήθος κυμαίνεται από 38 έως και 42 γραμμές.

- Με βάση τα παραπάνω οι παλμοί **HBI** και **VBI** αντιστοιχούν (χρονικά) στο 18% και το 7% του συνολικά εκπεμπόμενου σήματος,  
$$\left. \begin{array}{l} \text{(HBI)} \ 12 \ \mu\text{s} / 64 \ \mu\text{s} = 18.75\% \\ \text{(VBI)} \ 50 / 625 = 8\% \end{array} \right\} \quad (8)$$
- Αυτό σημαίνει ότι 25% περίπου του χρόνου δεν μεταδίδεται σήμα βίντεο.

# Παλμοί οριζόντιας και κατακόρυφης επιστροφής

Λόγω της μη μετάδοσης σήματος κατά τα διαστήματα που δεν μεταδίδεται σήμα, ήταν δυνατή η εκμετάλλευση του διαθέσιμου εύρους ζώνης για την:

- Εισαγωγή των **παλμών συγχρονισμού** (εντός του παλμού οριζόντιας αμαύρωσης) και ενός μικρού δείγματος της φέρουσας μέσω της οποίας μεταδίδεται η πληροφορία των χρωμάτων (χρωμοφέρουσα). Το δείγμα αυτό ονομάζεται σήμα **burst** και είναι απαραίτητο για τη σύγχρονη αποδιαμόρφωση του σήματος των χρωμοδιαφορών.
- Εισαγωγή της υπηρεσίας **Teletext** (εντός του παλμού κατακόρυφης αμαύρωσης - VBI)

Στις επόμενες διαφάνειες εξετάζουμε και αναλύουμε το περιεχόμενο του **Κατακόρυφου Παλμού Αμαύρωσης (VBI)**, αφού αυτό είναι που έχει και μεγαλύτερη συνεχόμενη διάρκεια και επιτρέπει ευκολότερα τη μετάδοση δεδομένων.

# Δεδομένα εντός του παλμού κατακόρυφης επιστροφής

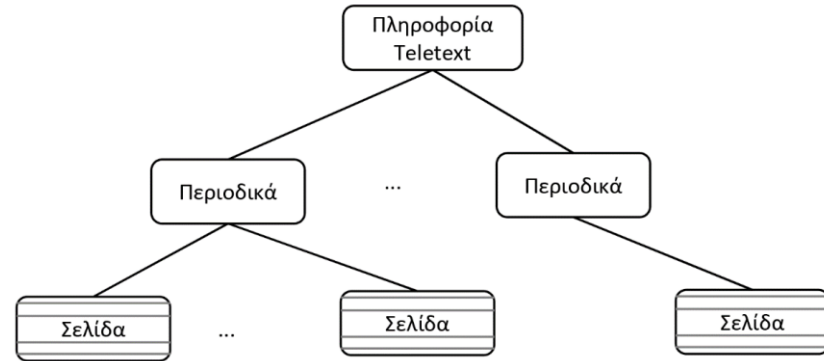
Η καλύτερη εκμετάλλευση του χρονικού διαστήματος το οποίο αντιστοιχεί στον κατακόρυφο παλμό επιστροφής (ή αμαύρωσης) περιλάμβανε:

- την εισαγωγή **σημάτων ελέγχου κατακόρυφου παλμού αμαύρωσης (Vertical Insertion Test Signals, VITS)** με τα οποία μπορούσε να γίνει έλεγχος της ποιότητας του σήματος.
- τη μετάδοση της υπηρεσίας του **Teletext**. Το Teletext είναι μια υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων, με ρυθμό μετάδοσης που τα 6,9 Mbit/s κατά τη διάρκεια των παλμών κατακόρυφης αμαύρωσης.
  - Το σήμα του Teletext αποτελείται από περιοδικά (magazines).
  - Τα περιοδικά αποτελούνται από σελίδες (pages) και κάθε σελίδα από γραμμές (lines).
  - Κάθε σελίδα έχει 24 γραμμές (lines) και σε κάθε γραμμή μπορεί να υπάρχουν 40 χαρακτήρες.
  - Ενδεικτικά, μια σελίδα Teletext μπορεί να μεταδοθεί κατά τη διάρκεια ενός κατακόρυφου παλμού αμαύρωσης, εφόσον το σύνολο του παλμού χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό.

# Δεδομένα εντός του παλμού κατακόρυφης επιστροφής

Δενδροειδής δομή της πληροφορίας  
εντός της υπηρεσίας Teletext

- Η πληροφορία μεταδίδεται με κωδικοποίηση NRZ (non-return-to-zero).
- Κάθε γραμμή ξεκινά με μια λέξη των 16 bits αποτελούμενη από εναλλαγές 1 και 0 για να επιτευχθεί συγχρονισμός.
- Στη συνέχεια υπάρχει η κωδική λέξη 0xE4 η οποία σηματοδοτεί την έναρξη των δεδομένων του Teletext.
- Κατόπιν δίνονται πληροφορίες για το περιοδικό, τη σελίδα, τη γραμμή και μετά μεταδίδονται οι 40 χαρακτήρες της γραμμής. Επίσης υπάρχει και προστασία από τα σφάλματα με άρτια ισοτιμία.



Δόμηση πληροφορίας Teletext



# ***Συστήματα διαχείρισης χρώματος***

# Συστήματα διαχείρισης χρώματος

Η εισαγωγή της πληροφορίας του χρώματος στο σήμα το οποίο δημιουργείται από τη συσκευή λήψης (και μεταδίδεται μέσω του τηλεπικοινωνιακού διαύλου και αναπαράγεται στον δέκτη) έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται η συμβατότητα με την προηγούμενη τεχνολογία.

Στην αναλογική τηλεόραση έχουν χρησιμοποιηθεί τρία συστήματα διαχείρισης των χρωμάτων, το πρώτο χρησιμοποιήθηκε στην Αμερική και τα άλλα δύο στην Ευρώπη. Αυτά είναι τα εξής:

- NTSC (National Television Systems Committee)
- PAL (Phase Alternation per Line)
- SECAM (Séquentiel couleur à mémoire, Sequential Color with Memory)

Και στα τρία συστήματα χρησιμοποιείται το σήμα της φωτεινότητας (Y). Το σήμα της φωτεινότητας Y μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε έναν ασπρόμαυρο δέκτη και αυτό εξασφαλίζει την backwards compatibility (συμβατότητα προς τα πίσω).

# Συστήματα διαχείρισης χρώματος

Στην αναλογική έγχρωμη τηλεόραση υπάρχει διαφοροποίηση στο φάσμα που αφιερώνεται στο σήμα φωτεινότητας και αυτού των χρωμαδιαφορών.

- στο Ευρωπαϊκό τηλεοπτικό σύστημα PAL, το εύρος ζώνης του σήματος Υ είναι περί τα 5,5 MHz, τα δε σήματα U, V έχουν εύρος ζώνης περί τα 1,3 MHz.
- αντίστοιχη διαφοροποίηση στο εύρος ζώνης υπάρχει και στο αναλογικό σύστημα στις ΗΠΑ, το NTSC με τα σήματα της φωτεινότητας και των χρωμοδιαφορών I και Q.

# Συστήματα διαχείρισης χρώματος

Το βασικό σημείο διαφοροποίησης των συστημάτων έγχρωμης τηλεόρασης είναι ο τρόπος που προκύπτουν τα σήματα των χρωμοδιαφορών.

- Στην περίπτωση του NTSC τα σήματα χρώματος ονομάζονται I και Q και υπολογίζονται με βάση τις επόμενες σχέσεις.

$$\left. \begin{aligned} I &= -0,27 (B-Y) + 0,74 (R-Y) \\ Q &= 0,41 (B-Y) + 0,48 (R-Y) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

- Στην περίπτωση του PAL τα σήματα χρώματος ονομάζονται U και V και υπολογίζονται με βάση τις επόμενες σχέσεις.

$$\left. \begin{aligned} U &= 0,49 (B-Y) \\ V &= 0,88 (R-Y) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

- Στην περίπτωση του SECAM τα σήματα χρώματος ονομάζονται DR και DB και υπολογίζονται με βάση τις επόμενες σχέσεις.

$$\left. \begin{aligned} D_R &= -1,9 (R-Y) \\ D_B &= 1,5 (R-Y) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

# Συστήματα διαχείρισης χρώματος

Παρατηρούμε ότι και στα τρία συστήματα χρησιμοποιούνται οι χρωμοδιαφορές **Cb** και **Cr**. Τα σήματα των χρωμάτων διαμορφώνονται από έναν **IQ διαμορφωτή** (NTSC και PAL) ή με **διαμόρφωση συχνότητας** (SECAM).

- Στην περίπτωση του PAL η συχνότητα της IQ διαμόρφωσης είναι:

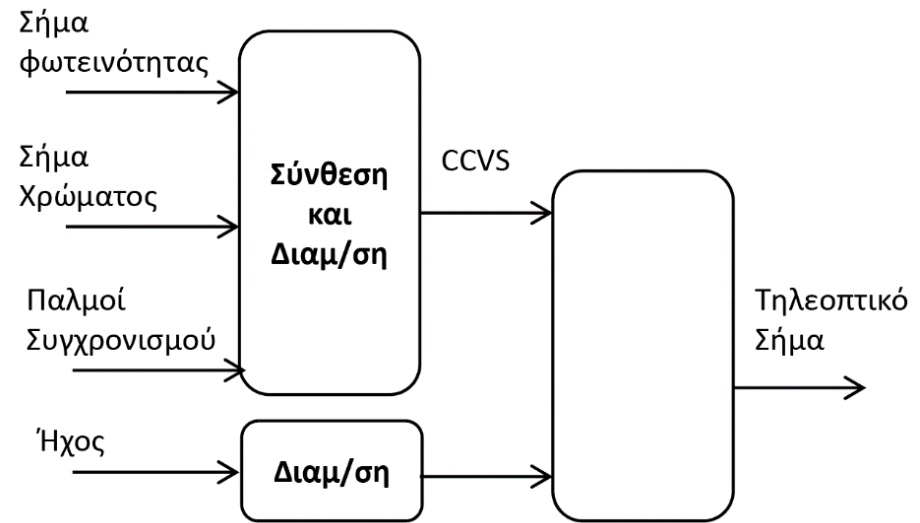
$$f_{sc} = 283,75 f_H + 25 \text{ Hz} = 4,43 \text{ MHz} \quad (12)$$

- Όπου το είναι  $f_H$  η συχνότητα σάρωσης μιας οριζόντιας γραμμής, διάρκειας  $64\mu\text{s}$  (δηλαδή έχει συχνότητας ίση με  $15625 \text{ Hz}$  – βλέπε εξίσωση 8). Επίσης, το οφσσετ των  $25\text{Hz}$  προστίθεται στην βασική υποφέρουσα του χρώματος προκειμένου να ελαχιστοποιήσει το φαινόμενο «Hapover», πράγμα που συνεπάγεται ότι το σήμα της υποφέρουσας προηγείται των οριζόντιων παλμών αμαύρωσης κατά  $+0.576^\circ$  σε κάθε γραμμή.
- Στο σύστημα SECAM, το σήμα των χρωμοδιαφορών διαμορφώνεται κατά συχνότητα (frequency modulation) από δύο διαφορετικά φέροντα. Ανά γραμμή χρησιμοποιείται διαφορετικό φέρον.

# Συστήματα διαχείρισης χρώματος

Το σύνθετο σήμα βίντεο (composite) και για τις τρεις τεχνολογίες διαχείρισης του χρώματος (PAL, NTSC και SECAM) προκύπτει από τη σύνθεση του σήματος φωτεινότητας, της πληροφορίας συγχρονισμού και των σημάτων χρώματος.

- Το τελικό (προκύπτον) σήμα ονομάζεται CCVS (Composite Color, Video Synchronization).



Δημιουργία σήματος στην αναλογική τηλεόραση

# ***Δημιουργία ψηφιακού σήματος***

# **Παραγωγή των σημάτων φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών (Y, Cb και Cr)**

- Πρότυπο ITU-BT R601 (Studio Encoding Parameters of Digital Television for Standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios). Αρχές δεκαετίας 1980.
  - Δυνατότητα λήψης και αναπαραγωγής βίντεο σε διαπλεγμένη (interlaced) μορφή, με διαδοχική αποστολή των πεδίων, χρήση του τρόπου χρωματικής αναπαράστασης και δειγματοληψία του σήματος φωτεινότητας με συχνότητα 13,5 MHz.
  - Το σήμα που δημιουργείται και αξιοποιείται κατά βάση εντός του στούντιο δεν είναι κατάλληλο (κυρίως λόγω της μεγάλης ρυθμότητας μετάδοσης που θα απαιτούσε) για μετάδοση.
- Πρωτόκολλο BT.656: περιγράφει ένα ψηφιακό πρωτόκολλο βίντεο για τη μετάδοση μη συμπιεσμένου σήματος PAL ή NTSC κανονικής ευκρίνειας (625 και 525 γραμμές αντίστοιχα).
  - Βασίζεται στην κωδικοποίηση τύπου 4:2:2 με τις παραμέτρους οι οποίες ορίζονται στο πρότυπο ITU-RBT.601.



# **Παραγωγή των σημάτων φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών (Y, Cb και Cr)**

Το πρώτο βήμα στη δημιουργία του ψηφιακού σήματος είναι η λήψη των τιμών των βασικών χρωματικών συνιστωσών κόκκινου, πράσινου και μπλε (Red, Green, Blue) ως τριών διακριτών σημάτων.

- Αρχικά τα σήματα υφίστανται διόρθωση «γάμμα», δηλαδή την αντιστοίχιση της φωτεινότητας στην τάση μέσω μιας εκθετικής σχέσης όπως περιγράφεται από το πρότυπο CCIR Rec.709.
  - Το συγκεκριμένο πρότυπο ασχολείται με τις παραμέτρους που αφορούν το βίντεο τηλεόρασης υψηλής ευκρίνειας με λόγο διαστάσεων 16:9.
- Στον τηλεοπτικό δέκτη γίνεται διόρθωση «γάμμα» ώστε η σχέση τάσης σήματος βίντεο και φωτεινότητας να γίνει ξανά γραμμική.
  - Η διόρθωση «γάμμα» γίνεται με μια συνάρτηση στην ανεξάρτητη μεταβλητή της οποίας ο εκθέτης είναι ο αντίστροφος του εκθέτη που χρησιμοποιήθηκε στην αντίστροφη διόρθωση «γάμμα», δηλαδή  $(1/0,45=2,2)$ .

# Παραγωγή των σημάτων φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών (Y, Cb και Cr)

Στη συνέχεια τα τρία αυτά σήματα (R, G, B) υφίστανται επεξεργασία ώστε να δώσουν το σήμα φωτεινότητας Y και τα σήματα χρωμικότητας, δηλαδή τις χρωμοδιαφορές Cb και Cr.

$$\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B \\ Cb &= R - Y = 0,701R - 0,587G - 0,114B \\ Cr &= B - Y = -0,299R - 0,587G + 0,886B \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} Y &= 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B \\ Cb &= R - Y = 0,701R - 0,587G - 0,114B \\ Cr &= B - Y = -0,299R - 0,587G + 0,886B \end{aligned}} \right\} (13)$$

- Οι τιμές της φωτεινότητας (Y) κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1,0,
- Οι τιμές της χρωμοδιαφοράς Cr κυμαίνονται μεταξύ -0,701 έως +0,701
- Οι τιμές της χρωμοδιαφοράς Cb κυμαίνονται μεταξύ -0,886 έως +0,886.

Για να αντιστοιχιστούν τα εύρη των τιμών στην μονάδα, γίνεται κλιμάκωση των τιμών και οι χρωμοδιαφορές κυμαίνονται στο διάστημα -0,5 έως και 0,5.

$$\begin{aligned} Cb &= 0,56 * (B - Y) \\ Cr &= 0,71 (R - Y) \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} Cb &= 0,56 * (B - Y) \\ Cr &= 0,71 (R - Y) \end{aligned}} \right\} (14)$$

Στο σημείο αυτό θεωρούμε ότι έχουμε την αρχική μορφή του τηλεοπτικού σήματος, το οποίο περιλαμβάνει τη φωτεινότητα και τις χρωμοδιαφορές.

# Φιλτράρισμα και δειγματοληψία

Το σήμα στη συνέχεια φιλτράρεται με χρήση φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων.

- Το σήμα της φωτεινότητας (Y) φιλτράρεται στα 5,75 MHz,
- Το σήμα της χρωμοδιαφοράς Cb φιλτράρεται στα 2,75 MHz.
- Το σήμα της χρωμοδιαφοράς Cr φιλτράρεται στα 2,75 MHz.

Τα φιλτραρισμένα αυτά σήματα (Y, Cb, Cr) μετατρέπονται σε σήματα διακριτού χρόνου, με χρήση δειγματοληψίας, κάνοντας χρήση συχνοτήτων δειγματοληψίας οι οποίες υπερβαίνουν το διπλάσιο της μέγιστης συνιστώσας συχνότητας (θεώρημα του Shannon).

- Το σήμα Y δειγματοληπτείται με συχνότητα δειγματοληψίας 13.5 MHz
- Το σήμα Cb δειγματοληπτείται με συχνότητα δειγματοληψίας 6.75 MHz
- Το σήμα Cr δειγματοληπτείται με συχνότητα δειγματοληψίας 6.75 MHz

Παρατήρηση: η συχνότητα δειγματοληψίας της φωτεινότητας (Y) είναι η διπλάσια από αυτή των χρωμοδιαφορών (Cb και Cr), πράγμα που συνεπάγεται ότι το πλήθος των δειγμάτων που αφορούν το σήμα της φωτεινότητας να ισούται με το πλήθος των δειγμάτων που αφορούν τα σήματα και των δύο χρωμοδιαφορών.

# Κβαντισμός

Τα σήματα φωτεινότητας (Y) και των χρωμοδιαφορών (Cb, Cr) που έχουν υποστεί δειγματολήψια, στην συνέχεια κβαντίζονται αντιστοιχώντας κάθε τους δείγμα σε ακολουθία bits.

- Οι συνήθεις τιμές είναι τα 8 ή τα 10 bits και για τα τρία μεγέθη. Στην περίπτωση που έχουμε ομοιόμορφο κβαντισμό με χρήση 8 και 10 bits, θα έχουμε  $2^8$  και  $2^{10}$  **επίπεδα κβαντισμού**.
- Το πλήθος των τιμών είναι αντίστοιχα 256 και 1.024.

Το πλήθος των bits που επιλέγουμε για τον κβαντισμό σχετίζεται με την **ποιότητα του κβαντισμού** και συγκεκριμένα τον λόγο του σήματος προς τον **θόρυβο κβαντισμού** (Signal to Quantization Noise Ratio, SQNR). Το **SQNR σχετίζεται με την στρογγυλοποίηση** που πραγματοποιείται και εξαρτάται από το πλήθος των διαθέσιμων επιπέδων.

- Η στρογγυλοποίηση αυτή αφορά το **σφάλμα κβαντισμού** (ή, αλλιώς, τον **θόρυβο κβαντισμού**).
- Μιας και το σφάλμα κβαντισμού είναι κατά μέγιστο το ήμισυ του διαστήματος κβαντισμού, και υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{SQNR} = 20 \log 2^{(N-1)/(1/2)} = 20 * N * \log 2 = 6.02N \text{ (dB)} \quad (15)$$

Όπου N είναι το πλήθος των bits, π.χ. εάν  $N=10$  τότε  $\text{SQNR}=60.2 \text{ dB}$

- **Όσο μεγαλύτερο είναι το SQNR τόσο μικρότερο είναι το σφάλμα κβαντισμού.**

# Κβαντισμός

Ο τελικός ρυθμός μετάδοσης των σημάτων της φωτεινότητας (Y) και των χρωμοδιαφορών (Cb και Cr) όταν έχει προηγηθεί δειγματοληψία με ρυθμούς 13,5 MHz και 6,75MHz αντίστοιχα είναι:

- Στην περίπτωση κβαντισμού με χρήση 8 bits:

$$Y: 13,5 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = \mathbf{108 \text{ Mbps}}$$

$$Cb: 6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = \mathbf{54 \text{ Mbps}}$$

$$Cr: 6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = \mathbf{54 \text{ Mbps}}$$

} (16)

- Αυτοί οι ρυθμοί αθροιστικά είναι στα **216 Mbps**.

- Στη περίπτωση κβαντισμού με χρήση 10 bits:

$$Y: 13,5 \text{ MHz} * 10 \text{ bits / sample} = \mathbf{135 \text{ Mbps}}$$

$$Cb: 6,75 \text{ MHz} * 10 \text{ bits / sample} = \mathbf{67,5 \text{ Mbps}}$$

$$Cr: 6,75 \text{ MHz} * 10 \text{ bits / sample} = \mathbf{67,5 \text{ Mbps}}$$

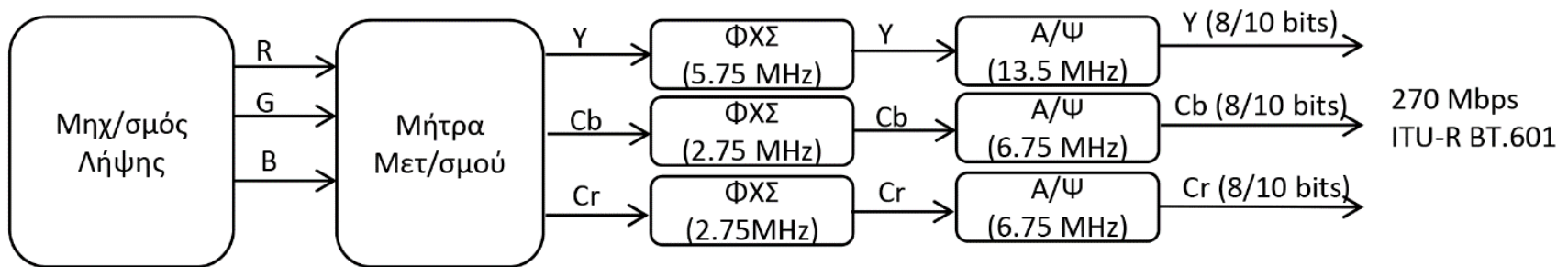
} (17)

- Αυτοί οι ρυθμοί αθροιστικά είναι στα **270 Mbps**.

# Κβαντισμός

Συνοψίζοντας, η μέχρι σε αυτό το στάδιο διαδικασία δημιουργίας ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος περιλαμβάνει:

- τον μηχανισμό δημιουργίας των σημάτων R, G, B,
- τη μήτρα μετασχηματισμού σε Y, Cb, Cr,
- τα φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων και
- το σύστημα δειγματοληψίας (αναλογικό σε ψηφιακό) το οποίο πραγματοποιεί τη δειγματοληψία και στη συνέχεια τον κβαντισμό με 8 ή 10 bits.



Παρατηρούμε ότι η δειγματοληψία δίνει ρυθμό ο οποίος υπολογίζεται στα **270 Mbps** (στην περίπτωση της χρήσης 10 bits ανά δείγμα). Η χρήση 8 bits δίνει έναν αντίστοιχο ρυθμό στα **216 Mbps**.

# Υποδειγματοληψία χρώματος

Η εναλλαγή δειγμάτων φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών στο σήμα βίντεο είναι ως εξής: Y, Cb, Y, Cr, Y,

Η αλληλουχία αυτή ονομάζεται **4:2:2** και στην ουσία πρόκειται για μια τεχνική που παραπέμπει στην **υποδειγματοληψία του χρώματος**, η οποία εκμεταλλεύεται κάποια από τα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου συστήματος όρασης.

- Συγκεκριμένα, λόγω της αυξημένης ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού στη φωτεινότητα, σε σχέση με την ευαισθησία του στα χρώματα και δεδομένης της ανάγκης για συμπίεση του σήματος (άρα και υποβιβασμού του απαραίτητου εύρους ζώνης για τη μετάδοσή του) μπορούμε να λαμβάνουμε λιγότερα δείγματα χρωματικής πληροφορίας σε σχέση με τα δείγματα τα οποία αφορούν τη φωτεινότητα.

Κάτι τέτοιο είδαμε και προηγουμένως, όπου χρησιμοποιήσαμε διαφορετικούς ρυθμούς δειγματοληψίας για τα σήματα της φωτεινότητας και των χρωμοδιαφορών. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται υποδειγματοληψία χρώματος, και στη συγκεκριμένη περίπτωση, κατά τη δημιουργία του σήματος, έχουμε εναλλαγή δειγμάτων φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών με βάση το πρότυπο που παρουσιάστηκε παραπάνω (δηλαδή Y, Cb, Y, Cr, Y, ...).

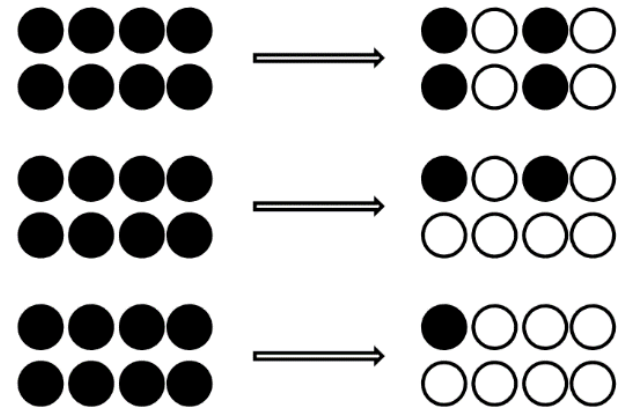
# Υποδειγματοληψία χρώματος

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις και συνδυασμοί στον ρυθμό λήψης δειγμάτων του σήματος φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών, αρκεί να ορίσουμε (αναλογικά) τους ρυθμούς με τους οποίους πραγματοποιείται η δειγματοληψία της φωτεινότητας και του χρώματος. Συνήθως χρησιμοποιείται ο εξής συμβολισμός:

$$J:a:b \quad (18)$$

Η περιγραφή αυτή αποτελείται από τρεις ακεραίους, π.χ. 4:2:0,

- Ο πρώτος ακέραιος (**J**) μας δίνει το πόσα δείγματα (φωτεινότητας) παίρνουμε οριζόντια σαν αναφορά, συνήθως 4.
- Ο δεύτερος ακέραιος (**a**) μας δείχνει πόσα δείγματα χρωμικότητας έχουμε στα πρώτα J (οριζόντια) δείγματα,
- Ο τρίτος ακέραιος (**b**), μας δείχνει πόσα δείγματα χρωμικότητας έχουμε στα επόμενα J (οριζόντια, της επόμενης γραμμής) δείγματα.



● Δείγμα φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών  
○ Δείγμα φωτεινότητας

Υποδειγματοληψία χρώματος από 4:4:4 σε 4:2:2, 4:2:0 και 4:1:0.



# Υποδειγματοληψία χρώματος

Με την υποδειγματοληψία του χρώματος ελαττώνουμε τις απαιτήσεις αναφορικά με τον ρυθμό μετάδοσης, άρα και του απαιτούμενου εύρους ζώνης.

Εάν για παράδειγμα έχουμε πραγματοποιήσει υποδειγματοληψία χρώματος της μορφής 4:2:0, και έχουμε κβαντίσει τα δελιγματά μας με χρήση 8 bits (για τη φωτεινότητα και τις χρωμοδιαφορές), τότε οι ρυθμοί των δεδομένων θα είναι:

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{Y: 13,5 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = 108\text{Mbps}} \\ \mathbf{Cb: (1/4)*6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = 13,5\text{Mbps}} \\ \mathbf{Cr: (1/4)*6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = 13,5\text{Mbps}} \end{array} \right\} \quad (19)$$

**Οι επιμέρους ροές αθροίζονται συνολικά στα 135 Mbps, οπότε και παρατηρούμε μείωση σε σχέση με τον αρχικό ρυθμό των 216 Mbps.**

# Δομή βίντεο

Ενώ στην αναλογική τηλεόραση η έναρξη και το πέρας του ενεργού τμήματος σηματοδοτείται από τους παλμούς κατακόρυφης και οριζόντιας αμαύρωσης, στο ψηφιακό βίντεο αυτή η σηματοδοσία πραγματοποιείται από ειδικές λέξεις (Έναρξη του Ενεργού βίντεο και Πέρας του Ενεργού Βίντεο – SAV και EAV, Start of Active Video και End of Active Video αντίστοιχα).

- Τα σημεία SAV και EAV αντιστοιχούν σε συνδυασμό τεσσάρων λέξεων των 8 ή 10 bits. Η πρώτη λέξη αποτελείται μόνο από ένα ("1"), οι δύο επόμενες έχουν μόνο μηδενικά, η τέταρτη λέξη είναι που περιέχει τις πληροφορίες για το σχετικό πεδίο ή το διάστημα κατακόρυφης αμαύρωσης και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του σημείου έναρξης ενός πλαισίου, πεδίου ή περιοχής εικόνας στην κατακόρυφη κατεύθυνση.
  - Το πρώτο bit είναι πάντα "1".
  - Το δεύτερο bit δίνει πληροφορίες για το πεδίο (εάν είναι 0, τότε αφορά γραμμή του πρώτου πεδίου, σε σχέση με τη διαπλεγμένη σάρωση, ενώ εάν είναι 1 τότε είναι γραμμή του δεύτερου πεδίου).
  - Το επόμενο bit δείχνει το ενεργό βίντεο στην κατακόρυφη κατεύθυνση (εάν είναι 0, τότε η περιοχή ανήκει στην ενεργό περιοχή, εάν είναι 1 τότε η περιοχή ανήκει στον κατακόρυφο παλμό αμαύρωσης).
  - Το τέταρτο bit σε περίπτωση κβαντισμού με 8 bits (ή το έκτο εάν στον κβαντισμό χρησιμοποιούνται 10 bits) δίνει την κωδικοποίηση για τον διαχωρισμό των SAV και EAV. Στην περίπτωση του 0, έχουμε SAV, ενώ στην περίπτωση του 1 έχουμε EAV.
  - Υπάρχουν επίσης bits τα οποία χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο σφαλμάτων.

# Δομή βίντεο

Ούτε το σήμα της φωτεινότητας ούτε αυτό των χρωμοδιαφορών εκμεταλλεύεται το πλήρες σύνολο των επιπέδων κβαντισμού.

- Το σήμα φωτεινότητας χρησιμοποιεί μόνο ένα υποσύνολο από 220 επίπεδα, με τη στάθμη του μαύρου να αντιστοιχεί στο 16 και του λευκού στη στάθμη 235 (οι τιμές για κβαντισμό 10 bits είναι από το 64 έως και το 940).
- Το σήμα των χρωμοδιαφορών έχει εύρος τιμών από το 16 έως το 240 (για κβαντισμό 8 bits) και από την τιμή 64 έως την 960 (για κβαντισμό 10 bits).

Τα χαρακτηριστικά του σήματος συνοψίζονται στον πίνακα της επόμενης διαφάνειας (και για τις δύο περιπτώσεις θεωρούμε ότι για τα δείγματα των χρωμοδιαφορών έχουμε το πρότυπο 4:2:2).

**Το σήμα που προκύπτει με αυτήν την όλη διαδικασία που περιγράψαμε μέχρι τώρα αποτελεί και το σήμα εισόδου για τις βαθμίδες συμπίεσης που ακολουθούν.**

# Δομή βίντεο

| Παράμετρος  | Σύστημα 625 γραμμών<br>25 πλαίσια / δευτερόλεπτο<br>(50 πεδία / δευτερόλεπτο)  | Σύστημα 525 γραμμών<br>30 πλαίσια / δευτερόλεπτο<br>(60 πεδία / δευτερόλεπτο) |
|---|--|---|
| Δείγματα φωτεινότητας ανά γραμμή  | 864  | 858   |
| Δείγματα χρωμοδιαφορών ανά γραμμή   | 432  | 429   |
| Δομή  | Ορθογωνική δομή γραμμής, πεδίου και πλαισίου. Τα δείγματα των χρωμοδιαφορών παρατίθενται μαζί με τα δείγματα φωτεινότητας περιττού αριθμού (1ο, 3ο κ.λπ.). |   |
| Ρυθμός δειγματοληψίας φωτεινότητας  | 13,5 MHz   |   |
| Ρυθμός δειγματοληψίας χρωμοδιαφορών                                       | 6,75 MHz   |   |
| Κωδικοποίηση  | Ομοιόμορφη κωδικοποίηση τύπου PCM με χρήση 8 ή 10 bits (με προτιμητέα την τιμή των 10 bits) για το σήμα της φωτεινότητας και των χρωμοδιαφορών.            |   |
| Πλήθος δειγμάτων φωτεινότητας ανά ενεργή ψηφιακή γραμμή                   | 720  |   |
| Πλήθος δειγμάτων χρωμοδιαφορών ανά ενεργή ψηφιακή γραμμή                  | 360  |   |
| Αντιστοίχιση επιπέδου τιμών σήματος φωτεινότητας και επιπέδων κβαντισμού  | 220 επίπεδα κβαντισμού, με εκκίνηση το 16 και το λευκό να αντιστοιχεί στο 235.   |   |
| Αντιστοίχιση επιπέδου τιμών σημάτων χρωμοδιαφορών και επιπέδων κβαντισμού | 225 επίπεδα κβαντισμού, περί την κεντρική τιμή, με το μηδενικό σήμα να αντιστοιχεί στην τιμή 128.  |   |

Χαρακτηριστικά δειγματοληψίας και κβαντισμού τηλεοπτικού σήματος κατά το πρότυπο  
ITU-BT R.601

# ***Σήματα υψηλής ευκρίνειας***

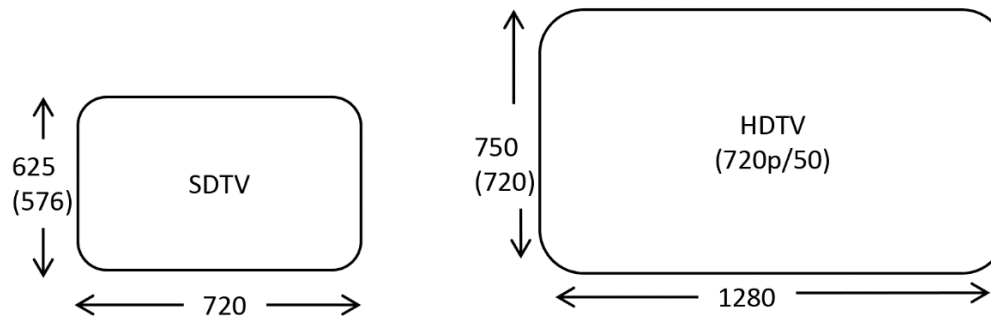
# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

Στα βασικά χαρακτηριστικά του τηλεοπτικού σήματος τυπικής ευκρίνειας (Standard Definition Television, SDTV) είναι η χρήση 625 και 525 γραμμές με σάρωση στα 25 και τα 50 Hz αντίστοιχα και αναλογίες 4:3.

Για την παραγωγή τηλεοπτικού σήματος πολύ μεγαλύτερης ευκρίνειας έγινε χρήση της αναλογίας 16:9

Οι πρώτες σκέψεις για την παραγωγή τηλεοπτικού σήματος υψηλής ευκρίνειας ήταν ο διπλασιασμός των γραμμών αλλά και των εικονοστοιχείων (pixel) ανά γραμμή.

- Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε στην αύξηση του μεγέθους του σήματος, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Σύγκριση διαστάσεων βίντεο τυπικής και υψηλής ευκρίνειας

# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

Τα πρότυπα ITU-R BT.709 και ITU-R BT.1120 καταπιάνονται με θέματα τηλεοπτικού σήματος υπερυψηλής ευκρίνειας και συγκεκριμένα με την ανάλυση της οθόνης, τον ρυθμό των πλαισίων, την υποδειγματοληψία του χρώματος, τα επίπεδα κβαντισμού και την αναπαράσταση των χρωμάτων.

- Η ITU αναφέρει 1.125 γραμμές με συχνότητες 50 Hz και 60 Hz εκ των οποίων οι 1.080 είναι ενεργές γραμμές και κάθε γραμμή έχει 1.920 pixels και στα δύο συστήματα .

Το πρότυπο EBU – TECH 3299: High Definition (HD), Image Formats for Television Production, αναφέρεται σε 4 συστήματα στην Ευρώπη:

- **Σύστημα 1**, 1.125 γραμμές, 1.280 οριζόντια δείγματα και 720 ενεργές γραμμές με προοδευτική σάρωση στα 50 Hz, και αναλογίες 16:9. Συντομογραφία 720p/50.
- **Σύστημα 2**, 1.250 γραμμές, 1.920 δείγματα και 1.080 ενεργές γραμμές με διαπλεγμένη σάρωση και ρυθμό πλαισίων 25 Hz, και αναλογίες 16:9. Συντομογραφία 1080i/25.
- **Σύστημα 3**, 1.250 γραμμές, 1.920 δείγματα οριζοντίως και 1.080 ενεργές γραμμές με προοδευτική σάρωση με ρυθμό 25 Hz και αναλογίες 16:9. Συντομογραφία 1080p/25.
- **Σύστημα 4**, 1.250 γραμμές, 1.920 οριζόντια δείγματα και 1.080 ενεργές γραμμές με προοδευτική σάρωση, ρυθμό πλαισίων στα 50 Hz και αναλογία 16:9. Συντομογραφία 1080p/50.

# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

Χαρακτηριστικά προτεινόμενων συστημάτων για το βίντεο υψηλής ευκρίνειας.

| Συστήματα | Συντόμευση | Δείγματα φωτεινότητας ανά ενεργή γραμμή | Σύνολο γραμμών ανά πλαίσιο | Πλήθος ενεργών γραμμών | Συχνότητα πλαισίων   |
|-----------|------------|---|----------------------------|------------------------|----------------------|
| Σύστημα 1 | 720p/50    | 1.280                                   | 750                        | 720                    | 50                   |
| Σύστημα 2 | 1.080i/25  | 1.920                                   | 1.125                      | 1.080                  | 25 (50 για τα πεδία) |
| Σύστημα 3 | 1.080p/25  | 1.920                                   | 1.125                      | 1.080                  | 25                   |
| Σύστημα 4 | 1.080p/50  | 1.920                                   | 1.125                      | 1.080                  | 50                   |



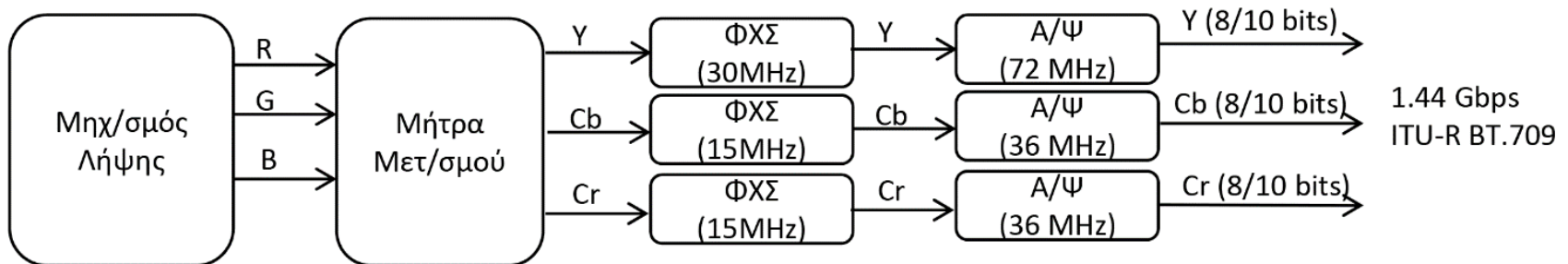
# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

Αναφορικά με τους ρυθμούς δειγματοληψίας,

- για το σήμα φωτεινότητας η συχνότητα δειγματοληψίας έχει την τιμή των 74,25 MHz, και για το σήμα του χρώματος το μισό, δηλαδή 37.125 MHz.
- Το πρότυπο ITU-R BT.709 δίνει ρυθμό δειγματοληψίας 72 MHz για τη φωτεινότητα και 36 MHz για το σήμα των χρωμάτων.

Για τον σχηματισμό του σήματος Y:Cb:Cr ο μηχανισμός ο οποίος χρησιμοποιείται εξακολουθεί να είναι ο 4:2:2.

- Για την αποφυγή του φαινομένου της αναδίπλωσης, το εύρος ζώνης του σήματος φωτεινότητας περιορίζεται στα 30 MHz και αυτό των σημάτων χρωμοδιαφορών στα 15 MHz μέσω φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων.



Δημιουργία σήματος υψηλής ευκρίνειας

# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

Στην περίπτωση της δημιουργίας σήματος υψηλής ευκρίνειας υποστηρίζεται τόσο το μοντέλο της διαπλεγμένης σάρωσης (interlaced scanning) όσο και της προοδευτικής (progressive).

- Με την προοδευτική σάρωση των 50 ή 60 Hz οι ρυθμοί δειγματοληψίας διπλασιάζονται στα 148,5 MHz και τα 144 MHz αντίστοιχα για τα σήματα φωτεινότητας και χρωμοδιαφορών.
- Ο ρυθμός δεδομένων τότε λαμβάνει την τιμή 2,97 Gbps και 2,88 Gbps, αντίστοιχα.

Η δομή του μη συμπιεσμένου βίντεο υψηλής ευκρίνειας είναι παρόμοια με αυτή που προβλέπει το πρότυπο ITU-R BT.601, και τα βασικά του χαρακτηριστικά είναι:

- κατ' ελάχιστον υποστήριξη 720 γραμμών
- αναλογία 16:9
- ανάλυση 1.280 x 720 στα 50 Hz και τα 60 Hz με προοδευτική σάρωση 720p
- ανάλυση 1.980 x 1080 στα 50 Hz και τα 60 Hz για διαπλεγμένη σάρωση 1080i
- υποστήριξη ψηφιακών διεπαφών DVI (Digital Visual Interface ) και HDMI
- κρυπτογράφηση τύπου HDCP στις ψηφιακές διεπαφές

# Σήματα υψηλής ευκρίνειας

- Η μετάδοση του σήματος υψηλής ευκρίνειας γίνεται με χρήση του πρωτοκόλλου HD-SDI (High Definition Serial Digital Interface).
- Η διεπαφή DVI (Digital Visual Interface) χρησιμοποιείται για τις διασυνδέσεις των υπολογιστών (τείνει να αντικαταστήσει τη γνωστή διεπαφή VGA). Υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι και 1.65 Gbps.
- Το HDMI (High Definition Multimedia Interface) υποστηρίζει ρυθμούς μέχρι και 5 Gbps και μεταφέρει τόσο εικόνα όσο και ήχο.
- Το πρότυπο HDCP (High Bandwidth Digital Content Protection) προστατεύει το ψηφιακό υλικό που μεταφέρεται από τις διεπαφές DVI και HDMI από μη επιτρεπόμενη εγγραφή.

# ***Επαναληπτικές ασκήσεις – Κριτήρια αξιολόγησης***

# Κριτήριο αξιολόγησης 1

**Άσκηση:** Υπολογίστε τον προκύπτοντα ρυθμό μετάδοσης για δειγματοληψία με ρυθμούς 13,5 MHz και 6,75 MHz αντίστοιχα και κβάντιση (α) με χρήση 8 bits και για τις τρεις προκύπτουσες συνιστώσες και (β) 10 bits για τις τρεις συνιστώσες.

## Απάντηση/λύση

- Κβαντισμός με χρήση 8 bits

$$Y: 13,5 \text{ MHz} * 8 \text{ bits / sample} = 108 \text{ Mbps}$$

$$Cb: 6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits/sample} = 54 \text{ Mbps}$$

$$Cr: 6,75 \text{ MHz} * 8 \text{ bits/sample} = 54 \text{ Mbps}$$

**Άρα συνολικά: 216 Mbps**

} (20)

- Κβαντισμός με χρήση 10 bits

$$Y: 13,5 \text{ MHz} * 10 \text{ bits / sample} = 135 \text{ Mbps}$$

$$Cb: 6,75 \text{ MHz} * 10 \text{ bits/sample} = 67,5 \text{ Mbps}$$

$$Cr: 6,75 \text{ MHz} * 10 \text{ bits/sample} = 67,5 \text{ Mbps}$$

**Άρα συνολικά: 270 Mbps**

} (21)

# Κριτήριο αξιολόγησης 2

**Άσκηση:** Να υπολογιστεί το bit rate (σε Mbits/sec) που απαιτείται για τη μεταφορά ασυμπίεστου ψηφιοποιημένου βίντεο 1080p, δηλ. ανάλυσης 1920x1080 με ρυθμό 50 frames per second (fps) για τις εξής δύο περιπτώσεις α) Τιμές RGB και β) Τιμές YCrCb όπου αντιστοιχίζουμε μία τιμή Cr και μία Cb για τέσσερις τιμές φωτεινότητας.

Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούμε 1 byte για κάθε τιμή χρώματος ή φωτεινότητας.

## Απάντηση/λύση

- Τιμές RGB
  - Το κάθε καρέ έχει 1920x1080 pixels = 2.073.600 pixels.
  - Χρειαζόμαστε 2.073.600 τιμές για κάθε χρώμα δηλ. 2.073.600 bytes για κάθε χρώμα.
  - Άρα το κάθε καρέ έχει 6.220.800 bytes.
  - **Για 50 καρέ ανά δευτερόλεπτο απαιτούνται  $6.220.800 \times 50 = 311.040.000$  bytes/sec = 2.488 GBits / sec.**
- Τιμές YCrCb
  - Το κάθε καρέ έχει 1920x1080 pixels = 2.073.600 pixels.
  - Χρειαζόμαστε 2.073.600 τιμές για τη φωτεινότητα, δηλ. 2.073.600 bytes για τη φωτεινότητα.
  - Χρειαζόμαστε επίσης  $2.073.600/4 = 518.400$  bytes για το Cr και επίσης 518.400 bytes για το Cb.
  - Άρα το κάθε καρέ έχει σύνολο 3.110.400 bytes.
  - **Για 50 καρέ ανά δευτερόλεπτο απαιτούνται  $3.110.400 \text{ bytes} \times 50 = 155.520.000$  bytes/sec = 1.244 GBits/sec**

# ***Βιβλιογραφία και βασικές πηγές***

# Βιβλιογραφία και βασικές πηγές

## Προτεινόμενη βιβλιογραφία

1. Παπαδάκης, Α., 2015. Ψηφιακή τηλεόραση. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5005>
2. Κ. Τσαμούταλος και Π. Σαράντης. Αναλογική και Ψηφιακή Τηλεόραση. Σταμούλης, 2003.
3. Π. Βαφειάδης. Αναλογική-ψηφιακή τηλεόραση και βίντεο. 7η έκδοση. Π. Βαφειάδης, 2014.
4. M. R. Pointer. The Gamut of Real Surface Colours. John Wiley & Sons, Inc. Color Research and Application, 5 (3): 145–155, 1980.
5. E. Chino<sup>1</sup>, K. Tajiri, H. Kawakami, H. Ohira, K. Kamijo, H. Kaneko, S. Kato, Y. Ozawa, T. Kurumisawa, K. Inoue, K. Endo, H. Moriya, T. Aragaki and K. Murai. Invited Paper: Development of wide-Color-Gamut Mobile Displays with Four-primary-color LCDs. SID 06 Digest, pp.1221-1224, 2006.
6. Society of Motion Picture and Television Engineers. Recommended Practice RP 145-2004. Color Monitor Colorimetry. Society of Motion Picture and Television Engineers, 1987–2004.
7. Society of Motion Picture and Television Engineers. Engineering Guideline EG 27-2004. Supplemental Information for SMPTE 170M and Background on the Development of NTSC Color Standards. Society of Motion Picture and Television Engineers 1994- 2004.
8. International Telecommunication Union – Radiocommunication sector, Recommendation BT.601. Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios. International Telecommunication Union, 1985
9. International Telecommunication Union – Radiocommunication sector, Recommendation BT.656. Interfaces for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:2:2 level of Recommendation ITU-R BT.601. International Telecommunication Union, 1994
10. International Telecommunication Union – Radiocommunication sector, Recommendation BT.709, Parameter values for the HDTV standards for production and international programme exchange. International Telecommunication Union, 2015.
11. International Telecommunication Union – Radiocommunication sector, Recommendation BT.1120. Digital interfaces for HDTV studio signals. International Telecommunication Union, 2012.
12. EBU – TECH 3299: High Definition (HD), Image Formats for Television Production. EBU, 2010.
13. Society of Motion Pictures and Television Engineers. SMPTE 259M, Σειριακές Διεπαφές Βίντεο (SDI, Serial Digital Interface). Society of Motion Pictures and Television Engineers, 1989.
14. Society of Motion Pictures and Television Engineers. SMPTE 292M, Σειριακές Διεπαφές Βίντεο (SDI, Serial Digital Interface) για υψηλή ευκρίνεια. Society of Motion Pictures and Television Engineers, 1998.
15. Fernando Pereira, “ANALOGUE TELEVISION”, Instituto Superior Técnico, Audiovisual Communications, Fernando Pereira, 2012.

## Συναφή επιστημονικά περιοδικά

1. IEEE Communications Magazine, ComSoc
2. IEEE Transactions on Broadcasting



# ***Παράρτημα***

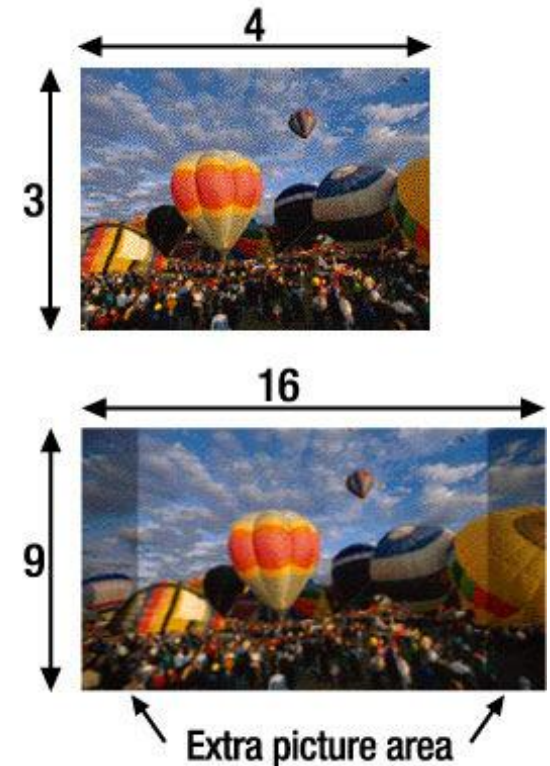
# Analogue TV design

The temporal evolution is characterized by:

- Number of images/second – Depends on the frequency needed to create the illusion of motion and the frequency of the electrical power network

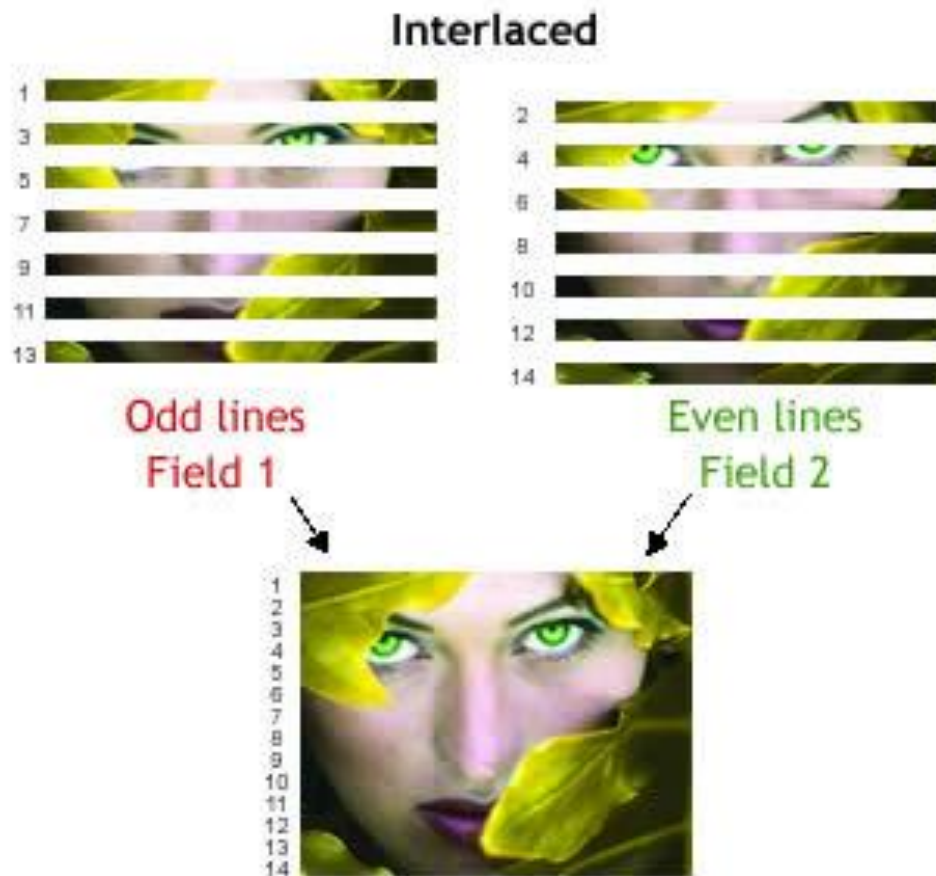
Each 2D image is characterized by:

- Number of lines/image – Depends on the visual acuity and the Kell factor.
- Aspect ratio – To give the user a more intense sensation of involvement, the image is longer in the horizontal direction since this is the ‘format’ of our eyes and most real life action is performed along the horizontal axis ( $4/3 \Rightarrow 16/9$ )
- Bandwidth – Determines the maximum detail per line.

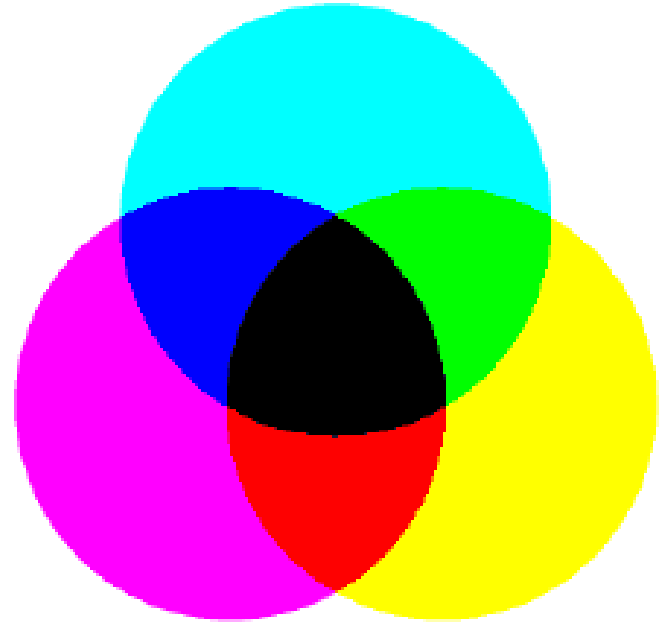
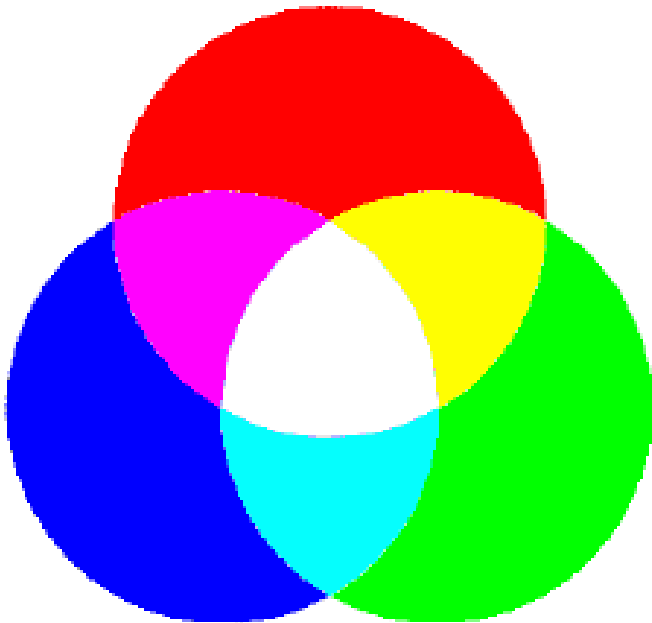


Source: Fernando Pereira, “ANALOGUE TELEVISION”, Instituto Superior Técnico, Audiovisual Communications, Fernando Pereira, 2012.

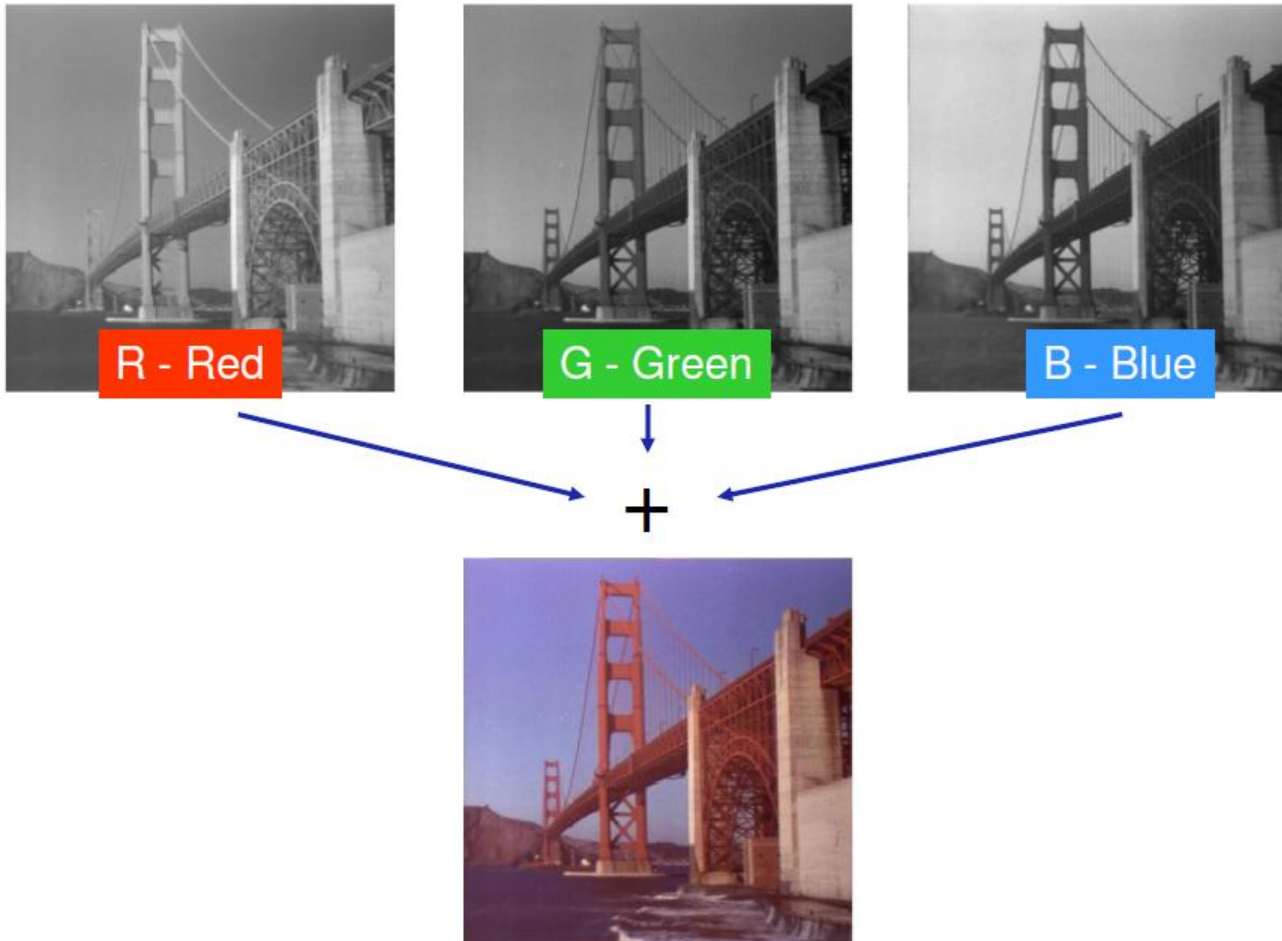
# *Frames and fields*



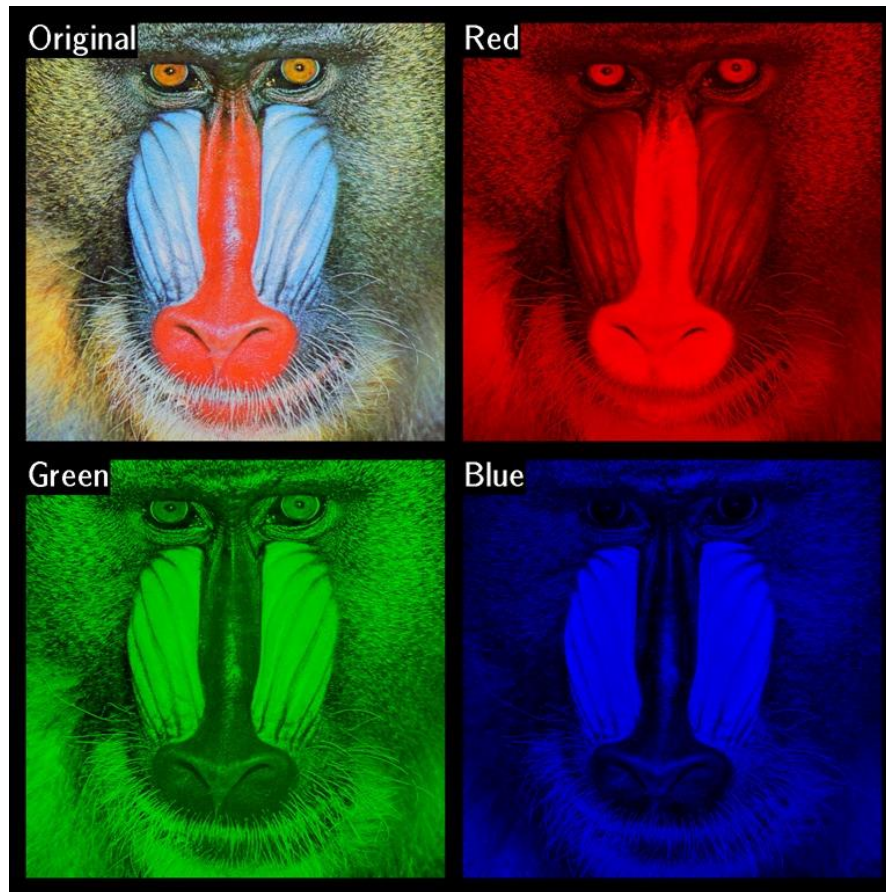
# ***Additive and Subtractive Color Synthesis***



# ***Colour TV from the 3 basic colours***



# ***Colour TV from the chrominance signals***





# ***Colour TV from the chrominance signals***

