

ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

- Πλεονεκτήματα:

- Αντοχή (ruggedness) στο θόρυβο μετάδοσης
- Αποτελεσματική αναγέννηση (regeneration)
- Δυνατότητα ομοιόμορφου σχήματος (uniform format) μετάδοσης

Όμως:

- ☞ Αύξηση απαίτησης εύρους ζώνης
- ☞ Αύξηση πολυπλοκότητας συστήματος

ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ (PCM)

- Πομπός:
 - Δειγματοληψία (sampling)
 - Κβαντισμός (quantization)
 - Κωδικοποίηση (encoding)
- Δέκτης:
 - Αναγέννηση (regeneration)
 - Αποκωδικοποίηση (decoding)
 - Αποδιαμόρφωση (demodulation)

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

- Θεώρημα (Nyquist): Αν $m(t)$ σήμα και f_m η μέγιστη συχνότητά του, για να μπορώ να ανακατασκευάσω πλήρως το σήμα, πρέπει $f_s \geq 2f_m$ όπου f_s η συχνότητα δειγματοληψίας.

☞ Παράδειγμα: για ομιλία $f_m = 4\text{KHz}$, άρα χρειαζόμαστε (μετά από LPF) $f_s = 8\text{KHz}$

ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΣ

- Κάθε αίσθηση ανιχνεύει πεπερασμένες διαφορές έντασης
- Προσεγγίζω σήμα από λίγα διακριτά πλάτη (ελάχιστο σφάλμα)
- Κβαντισμός: γραμμική χαρακτηριστική αντικαθίσταται από κλιμακωτή
- Κβάντο (δ): διαφορά μεταξύ γειτονικών διακριτών τιμών

ΚΒΑΝΤΙΣΜΟΣ

- Μέσο σφάλμα κβαντισμού: $\langle q_e^2 \rangle = \delta^2/12$
- Ομοιόμορφος κβαντιστής (uniform quantizer): ίσες αποστάσεις μεταξύ επιπέδων
- Ανομοιόμορφος κβαντιστής (non-uniform quantizer): μέγεθος βήματος αυξάνει καθώς απομακρυνόμαστε από αρχή αξόνων \equiv compressor + uniform quantizer + expander

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

- Μετατροπή διακριτών τιμών σε μορφή κατάλληλη για μετάδοση
- Στοιχείο κώδικα ή σύμβολο: κάθε διακριτό γεγονός του κώδικα
- Κωδική λέξη ή χαρακτήρας: κάθε διάταξη συμβόλων
- Δυαδικός κώδικας: κάθε σύμβολο παίρνει μια από δύο διακριτές τιμές (καλύτερη αντοχή σε θόρυβο)

ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

- Αναγεννητικοί επαναλήπτες (regenerative repeaters):
 - ισοστάθμιση (equalization): μορφοποιεί παλμούς που παραμορφώθηκαν στο δίαυλο
 - χρονισμός (timing): κάνει δειγματοληψία ισοσταθμισμένων παλμών όταν SNR μέγιστο
 - λήψη απόφασης (decision making): αποφασίζει κατά πόσο υπάρχει ή όχι παλμός

ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

- Το αναγεννημένο σήμα διαφέρει από το αρχικό λόγω:
 - Θορύβου μετάδοσης και παρεμβολής (λανθασμένες αποφάσεις επαναλήπτη)
 - Απόστασης μεταξύ λαμβανόμενων παλμών με αποτέλεσμα jitter (παίξιμο)

ΑΠΟΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

- Ομαδοποίηση παλμών στο δέκτη, σε κωδικές λέξεις
- Αντιστοίχιση λέξεων σε πλάτη σήματος PAM (Pulse Amplitude Modulation)
- Δημιουργία παλμού: γραμμικό άθροισμα παλμών κωδικής λέξης
- Φιλτράρισμα: έξοδος αποκωδικοποιητή περνά από βαθυπερατό φίλτρο (LPF).

ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

- Διαίρεση χρόνου: πολύπλεξη διαφόρων πηγών πληροφορίας
- Αύξηση πηγών πληροφορίας: μείωση διαθέσιμου διαστήματος του $T_s \Rightarrow$ μείωση διάρκειας κωδικής λέξης \Rightarrow μικρότεροι παλμοί είναι επιρρεπείς σε σφάλματα
- Λύση: κρατάμε χαμηλό το πλήθος ανεξάρτητων πηγών πληροφορίας

ΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟΣ

- Τοπικό ρολόι δέκτη πρέπει να κρατάει ίδιο χρόνο με μακρινό ρολόι πομπού (μείον χρόνο μετάδοσης)
- Λύση: προσάρτηση παλμού στο τέλος κάθε πλαισίου που μεταδίδεται
- Δέκτης έχει κύκλωμα ανίχνευσης εναλλασσόμενων 0 και 1
- Συγχρονισμός μετά από διακοπή: παρατήρηση στο δέκτη κάθε συμβόλου για να διαπιστωθεί αν είναι παλμός συγχρονισμού

ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΕ PCM

- Αν L στάθμες κβάντισης με $L=2^n \Rightarrow n=\log_2 L$, απαιτούνται n παλμοί για κάθε δείγμα
- Αν f_s συχνότητα δειγματοληψίας, nf_s δυαδικοί παλμοί/sec
- Επειδή $nf_s \geq 2nf_m$ και εύρος ζώνης διακριτού PAM $\geq nf_s/2$ έχουμε $B_{PCM} \geq nf_m$

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

- *Γραμμική*: πλήθος σταθμών κατανέμεται εξίσου στο εύρος του πεδίου τιμών
 - ☞ Παράδειγμα: Τάσεις από 0-1000 Volt με λέξεις 8 bit \Rightarrow 256 δυνατές στάθμες (ανά 4 volt)
- *Λογαριθμική*: οι στάθμες δεν ισαπέχουν αλλά ακολουθούν λογαριθμική κατανομή (κύρια τεχνική στην τηλεφωνία)

ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ PCM

- Απαιτούμενο εύρος μετάδοσης ομιλίας:
0-4000 Hz \Rightarrow απόσταση συνεχόμενων δειγμάτων = $1/(8000 \text{ s}^{-1}) = 125 \mu\text{s}$
- PAM: πλάτος παλμών διαμορφώνεται από το αναλογικό σήμα \Rightarrow προβλήματα μεταφοράς σε απόσταση
- PCM: ποιότητα μετάδοσης ανεξάρτητη απόστασης (repeaters)

ΗΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ CD-DA

- Γραμμική μέθοδος κωδικοποίησης (λιγότερο περιορισμένο εύρος συχνοτήτων, απαιτήσεις πιστότητας)
- Εύρος ακουστών συχνοτήτων $\approx 20\text{kHz}$
- Συχνότητα δειγματοληψίας = 44.1kHz (ένα δείγμα / $23\mu\text{s}$)
- Κωδικές λέξεις: 16 bit
- Το CD-DA υποστηρίζει στερεοφωνία
- Bit rate για CD-DA: $2 \frac{10^6}{23} \cdot 16 = 1,411\text{Mbps}$

ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

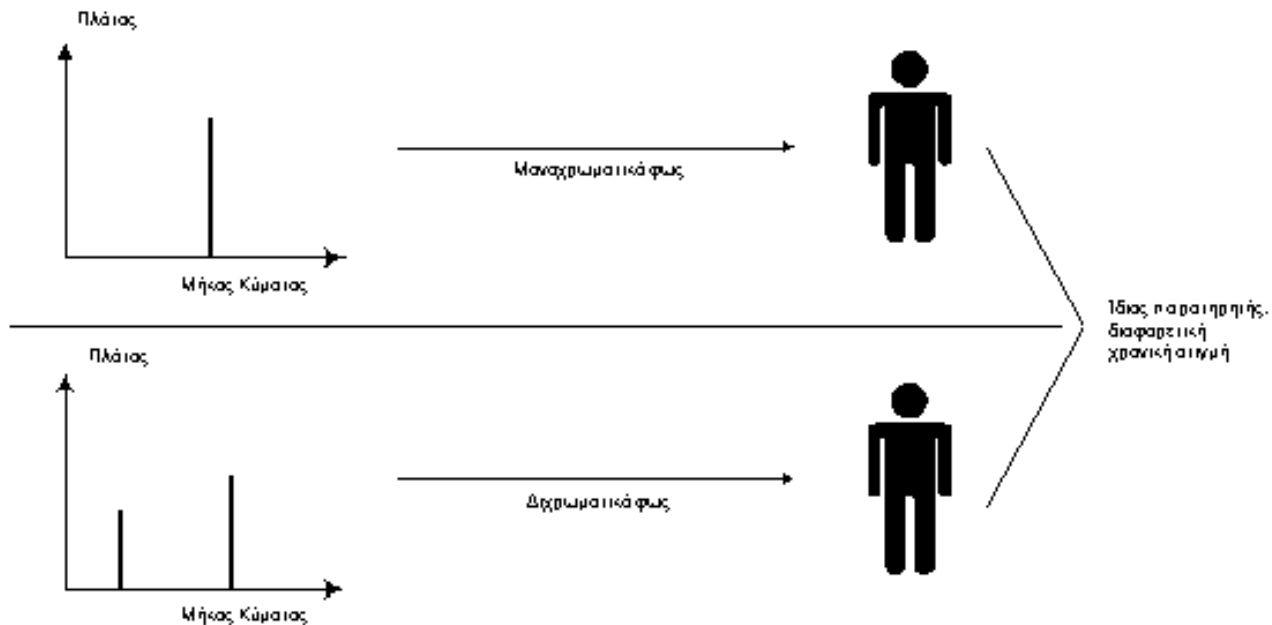
- Λήψη με αναλογική κάμερα και ψηφιοποίηση του αναλογικού σήματος ή
- Λήψη απ'ευθείας με ψηφιακή κάμερα
- Πρότυπα: τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV), ποιότητα εικόνας μετάδοσης (broadcast TV quality), ποιότητα βίντεο (VCR), ποιότητα τηλεδιάσκεψης (video conferencing).
- Απαιτείται συμπίεση ή έστω αποδοτική ψηφιοποίηση

ΦΩΣ, ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ

- Φως: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Ορατή ακτινοβολία: $250\text{nm} \leq \lambda \leq 780\text{nm}$
- Πηγή φωτός: γενικά πολλά μήκη κύματος
- Μονοχρωματική πηγή: ένα μήκος κύματος
- Ένταση (intensity) C : ενέργεια πηγής
- Φασματική κατανομή (spectral distribution) $C(\lambda)$: ένταση όλων των μηκών κύματος
- Ανθρώπινη όραση: κάθε μήκος κύματος ένα χρώμα

ΦΩΣ, ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ

- Διαφορετική ευαισθησία όρασης $V(\lambda)$ σε κάθε χρώμα (π.χ. πιο ευαίσθητη στο κίτρινο παρά κόκκινο)



ΦΩΣ, ΧΡΩΜΑ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ

- Lightness: πόσο μαύρο ή λευκό είναι ένα αντικείμενο (αντανακλά λιγότερο του 30% του φωτός \Rightarrow μαύρο, περισσότερο του 80% \Rightarrow λευκό)
- Σχετική φωτεινότητα (brightness): αντικείμενο εκπέμπει περισσότερο φως από τον περίγυρό του.
- Απόλυτη φωτεινότητα (luminance) L : άθροισμα οπτικής απόκρισης σε όλα τα μήκη κύματος

$$L = \int C(\lambda)V(\lambda)d\lambda$$

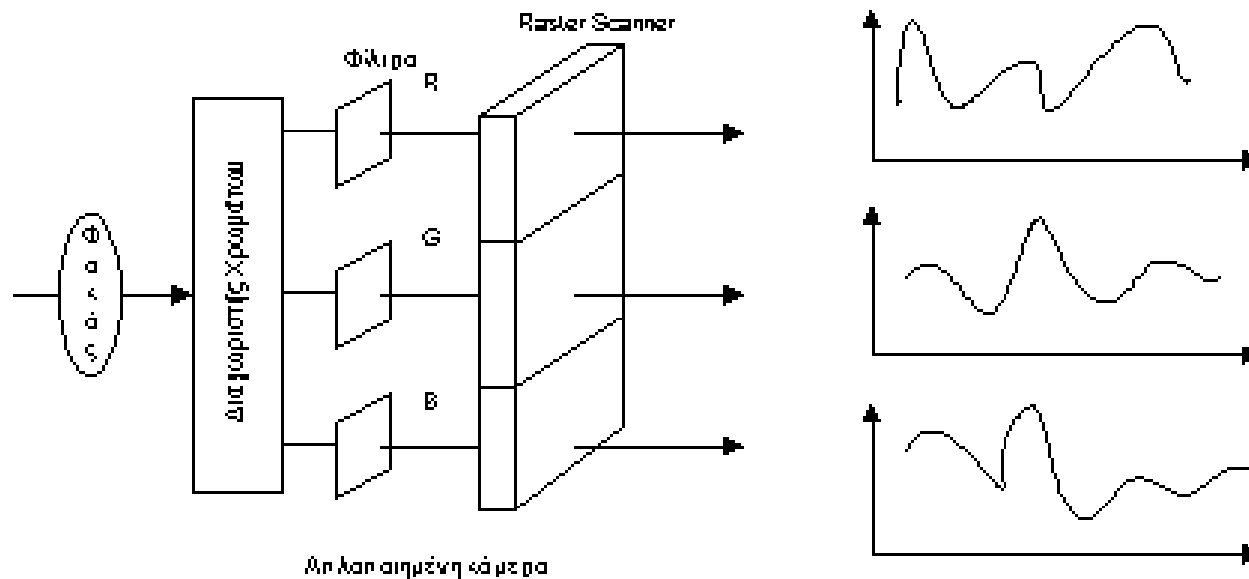
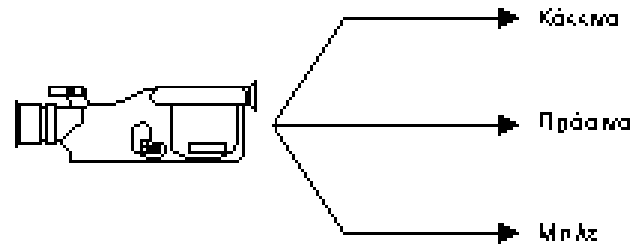
ΣΥΝΘΕΣΗ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

- Κάθε χρώμα μπορεί να παραχθεί με ανάμειξη τριών άλλων (ανεξάρτητων) χρωμάτων:

$$Z = \alpha A + \beta B + \gamma \Gamma$$

- Συνήθως έχουμε RGB (Red, Green, Blue) (κάμερες, τηλεοράσεις, monitors).
- Για μετάδοση απαιτείται μετασχηματισμός.

ΣΥΝΘΕΣΗ ΧΡΩΜΑΤΩΝ



LUMINANCE AND CHROMINANCE

- Ευκολία μετάδοσης: ανθρώπινη όραση πιο ευαίσθητη στη φωτεινότητα
- Χρωματικά σήματα αναπαρίστανται με μικρότερη ακρίβεια (οικονομία bandwidth)
- Διατήρηση συμβατότητας: ασπρόμαυρη τηλεόραση αγνοεί χρωματικά σήματα
- Χρωματικά σήματα: υπολογίζονται από τα σήματα διαφοράς χρώματος (color difference signals)

LUMINANCE AND CHROMINANCE

- NTSC:

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

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

$$Q = 0,48(R-Y) + 0,41(B-Y) = 0,21R + 0,52G + 0,31B$$

- PAL:

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

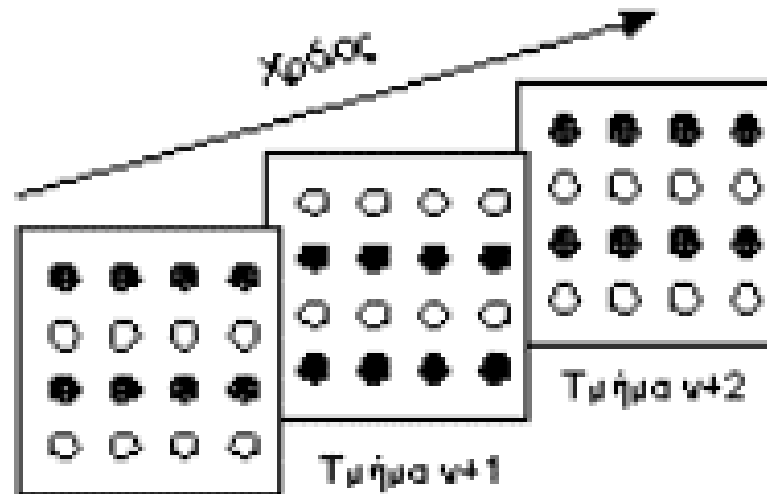
$$U = 0,493(B-Y) = -0,51R - 0,29G + 0,44B$$

$$V = 0,877(R-Y) = 0,62R - 0,52G - 0,10B$$

ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ

- Πρότυπο ITU-R-601 (ψηφιοποίηση τηλεόρασης)
- Θέση κάθε δείγματος σε κάθε frame είναι ίδια (όχι χρονική ολίσθηση)
- Τα δείγματα διατάσσονται σε ορθογώνιο πλέγμα
- Δειγματοληπτούνται εναλλάξ μονές και ζυγές γραμμές (interlaced scanning)

ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ



Τμήμα ν

- Σημεία όπου έγινε δεγματοληψία
- Σημεία όπου δεν έγινε δεγματοληψία

ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ

- NTSC: 525 γραμμές, 30fps
- PAL/SECAM: 625 γραμμές, 25fps
- Ρυθμός δειγματοληψίας ανεξάρτητος προτύπου
- Συχνότητα σάρωσης: πολλαπλάσιο του 2,25MHz (ΕΚΠ των συχνοτήτων ανανέωσης γραμμών των δύο προτύπων)
- Επιλεγμένη συχνότητα: 13.5MHz για φωτεινότητα (ένα δείγμα ανά 7,4nsec), 6.75MHz για χρωματικές συνιστώσες.

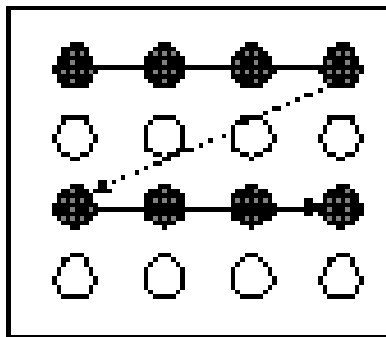
ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ

- Αριθμός δειγμάτων ανά γραμμή:
 - NTSC: 858 ($858 \times 525 \times 30 = 13.500.000$)
 - PAL/SECAM: 864 ($864 \times 625 \times 25 = 13.500.000$)
- Καθυστέρηση μετάβασης ακτίνας από τέλος γραμμής στην αρχή της επόμενης (οριζόντια επαναφορά)
- Καθυστέρηση μετάβασης ακτίνας από τέλος πλαισίου στην αρχή του επόμενου (κάθετη επαναφορά)
- Τελικά: 720 δείγματα ανά γραμμή (φωτεινότητα)

ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ

- Τελικά, σαρώνονται 486 γραμμές στο NTSC, και 576 στο PAL/SECAM
- Κβαντισμός: λέξεις των 8 bits (αλλά λιγότερες από 256 στάθμες)
- 220 στάθμες φωτεινότητας (μαύρο=16, λευκό=235)
- Διαφορά χρώματος από 16 έως 240 (128=όχι χρώμα)

ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΥΝΤΙΟ



- → Δειγματοληψία
- - → Επαναφορά

