

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΙΣ ΝΕΕΣ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΙΣ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

Εργασία για το μάθημα:  
«Τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών και δικτύων»

## **ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ VIDEO ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ (WIRELESS VIDEO COMMUNICATIONS)**

Τούτιος Αστέριος  
Α.Ε.Μ. Μ27/00

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2001

## Περιεχόμενα

<b>Σύνοψη</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1.Εισαγωγή</b>	<b>4</b>
<b>2.Στοιχεία θεωρίας ασύρματων τηλεπικοινωνιών</b>	<b>6</b>
2.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	6
2.2 Χωρητικότητα καναλιού	8
<b>3.Μετάδοση αναλογικού σήματος video –Κλασσική εκπομπή τηλεόρασης</b>	<b>9</b>
3.1 Ιστορικά στοιχεία	9
3.2 Παγκόσμια πρότυπα	9
3.3 Στοιχεία εκπομπής ασπρόμαυρης τηλεόρασης	10
3.4 Έγχρωμη τηλεόραση	10
<b>4. Μετάδοση ψηφιακού σήματος video – Τεχνικές συμπίεσης</b>	<b>12</b>
4.1 Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για ψηφιακό video	12
4.2 Η ανάγκη για συμπίεση	13
4.3 Κυριότερα πρότυπα κωδικοποίησης	14
4.3.1 H.261	15
4.3.2 H.263	16
4.3.3 MJPEG	16
4.3.4 MPEG-1	17
4.3.5 MPEG-2	18
4.3.6 MPEG-4	18
<b>5. Απαιτήσεις ποιότητας του μεταδιδόμενου σήματος video</b>	<b>19</b>
5.1 Ποιότητα εικόνας	19
5.2 Ορατά λάθη	20
5.3 Καθυστέρηση	20
<b>6. Επίδραση, εκτίμηση και διόρθωση λαθών κατά τη μετάδοση</b>	<b>21</b>
6.1 Επίδραση λαθών σε κωδικοποιημένο σήμα video	21
6.2 PSNR	22
6.3 Διόρθωση και απόκρυψη λαθών	22
<b>7.Το σύγχρονο τοπίο στις ασύρματες video επικοινωνίες – Υπάρχοντα συστήματα και τάσεις</b>	<b>24</b>
7.1 Αναλογικά συστήματα	24
7.2 Μετάδοση ψηφιακού video μέσα από συστήματα κινητής τηλεφωνίας	24
<b>8.Επίλογος</b>	<b>26</b>
<b>9.Βιβλιογραφία</b>	<b>27</b>
9.1 Βιβλία	27
9.2 Πηγές στο διαδίκτυο	27

## Σύνοψη

Το σήμα *video*, είτε στην αναλογική είτε στην ψηφιακή μορφή του, είναι ίσως η απαιτητικότερη μορφή πληροφορίας σε ότι αφορά τους όρους μετάδοσης της. Η μετάδοσή του μέσα από ασύρματα κανάλια, είναι ένα σημαντικό θέμα, ιδιαίτερα στην εποχή μας, και στα πλαίσια μιας ευρύτερης προσπάθειας για τη μελέτη και ανάπτυξη ασύρματων πολυμεσικών επικοινωνιών. Οι πιθανές εφαρμογές είναι πάρα πολλές.

Η εργασία αυτή θα πρέπει να θεωρηθεί σαν μια μικρή και μόνο εισαγωγή σε ένα μεγάλο πλήθος θεμάτων που έχουν σχέση με τις ασύρματες *video* επικοινωνίες. Αφού συζητηθούν τα θέματα της διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, του μέσου δηλαδή με το οποίο πραγματοποιούνται οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες, και της χωρητικότητας ενός καναλιού επικοινωνίας, γίνεται αναφορά στην τηλεοπτική εκπομπή, η οποία αποτελεί το πρώτο ιστορικά παράδειγμα ασύρματης μετάδοσης αναλογικού σήματος *video*. Κατόπιν, η συζήτηση στρέφεται προς την μετάδοση του ψηφιακού σήματος *video*, που είναι και το πιο ενδιαφέρον θέμα, σε ότι αφορά τις σύγχρονες και τις μελλοντικές κατευθύνσεις της έρευνας, αλλά και της αγοράς.

Η μετατροπή του κατ' αρχήν αναλογικού σήματος *video* σε ψηφιακό, δημιουργεί μια υπερβολικά μεγάλη, για μετάδοση μέσα από οποιαδήποτε κανάλια, ποσότητα δεδομένων. Παρουσιάζονται, λοιπόν, τα πιο διαδεδομένα πρότυπα συμπίεσης του ψηφιακού σήματος *video*. Συζητούνται κατόπιν οι απαιτήσεις ποιότητας για το μεταδιδόμενο σήμα *video*, η επίδραση των λαθών, τα οποία λόγω θορύβου και παρεμβολών είναι συνήθη σε ασύρματα περιβάλλοντα, καθώς και η ανάλυση όπως και οι διάφοροι μέθοδοι διόρθωσης ή απόκρυψής τους.

Τέλος, παρουσιάζονται οι σύγχρονες τάσεις γύρω από τις ασύρματες *video* επικοινωνίες, τόσο στην έρευνα όσο και στην αγορά, η κυριότερη από τις οποίες είναι η προσπάθεια για μετάδοση *video* μέσω των υπό ανάπτυξη συστημάτων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς.

## Abstract

*Video signal, either in its analog or digital form, is perhaps the most demanding form of information, in terms of its transmission requirements. Its transmission through wireless channels, is an important issue, especially in our age, and in the context of a broader effort of research and development of wireless multimedia communications. The possible applications are many.*

*This essay should only be considered as a brief introduction to a wide range of issues, related to the subject of wireless video communications. After the issues of the propagation of the electromagnetic wave, that is the medium through which wireless telecommunications are realized, and of the capacity of a communication channel are discussed, reference is made to television broadcasting, the first, historically, example of wireless video signal transmission. Then, the discussion is turned towards digital video signal transmission, which is the most interesting issue, in terms of current and future developments in the field of research, and also of the market.*

*The transformation of the initial analog video signal into the digital domain, is creating a bit rate that is too high to be transmitted through whatever channels. Therefore, the most prevalent compression standards are presented. Then, quality requirements of the transmitted video signal, the effect of errors, which are common in wireless environments due to noise or interference, their analysis and also the various methods of their correction or concealment, are discussed.*

*Finally, the current trends, of the research and the market, concerning wireless video communications are presented, the most important of them being the effort of transmitting video through the emerging third generation systems of cellular telephony.*

## 1. Εισαγωγή

Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όταν οι Hertz και Marconi επέδειξαν τη δυνατότητα πραγματοποίησης ραδιοεκπομπών, η ανθρωπότητα έχει προσπαθήσει να πραγματοποιήσει το όνειρο των ασύρματων πολυμεσικών προσωπικών επικοινωνιών, επιτρέποντας στους ανθρώπους να επικοινωνούν με οποιονδήποτε, οπουδήποτε, και σε κάθε στιγμή χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα πολυμεσικών υπηρεσιών [13]. Η πρόοδος που έχει συντελεστεί από τότε μέχρι σήμερα προς αυτήν την κατεύθυνση, αλλά και στο γενικότερο πεδίο των τηλεπικοινωνιών, ασύρματων και ενσύρματων, είναι σίγουρα πάρα πολύ σημαντική.

Ένα αναπόσπαστο κομμάτι των πολυμεσικών υπηρεσιών που προαναφέρθηκαν, είναι αναμφίβολα και η μετάδοση του σήματος video, το οποίο, εκτός των άλλων, αποτελεί ίσως την, από πολλές απόψεις, απαιτητικότερη μορφή πληροφορίας σε ό,τι αφορά τους όρους επικοινωνίας της – διάδοσης της μέσα από οποιοδήποτε τηλεπικοινωνιακό δίαυλο.

Ιστορικά, το πρώτο παράδειγμα ασύρματης επικοινωνίας σήματος video, ήταν η πρώτη εκπομπή ασπρόμαυρης τηλεόρασης το 1936 στη Μεγάλη Βρετανία [3]. Το τοπίο από τότε έχει αλλάξει δραματικά. Η τηλεόραση, με την τεράστια διείσδυση της στα σπίτια σε όλο τον κόσμο, έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις ζωές των ανθρώπων ανά τον πλανήτη, παρέχοντας ενημέρωση και ψυχαγωγία, διαμορφώνοντας προσωπικότητες ή ακόμα και την ίδια τη σύγχρονη ιστορία. Αλλά και η ίδια η μορφή της τηλεόρασης άλλαξε μέσα σ' αυτά τα χρόνια. Κάποια στιγμή έγινε έγχρωμη και πλέον η τάση είναι προς την ψηφιακή τηλεόραση (Digital Television – DTV), την τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (High Definition Television – HDTV), ακόμα και προς την διαδραστική (interactive) τηλεόραση.

Η τηλεόραση, και πιο συγκεκριμένα η εκπομπή και λήψη του τηλεοπτικού σήματος αποτελούν ένα κομμάτι μόνο του αντικειμένου αυτής εδώ της εργασίας. Η ασύρματη μετάδοση του σήματος video εμπλέκεται σήμερα σε μια πληθώρα από άλλες εφαρμογές, πλην της τηλεόρασης. Συστήματα επιτήρησης, εφαρμογές βιντεοδιάσκεψης (videoconferencing), βιντεοτηλεφωνία (videotelephony),

ρομποτική, μαγνητοσκόπηση αθλητικών γεγονότων, τηλεϊατρική, εκπαίδευση είναι μερικά μόνο από τα πεδία εφαρμογών των όσων θα αναπτυχθούν.

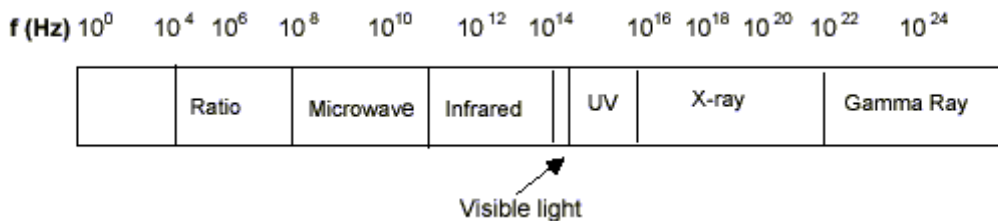
Η δομή των κεφαλαίων που ακολουθούν έχει ως εξής: Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται τα θέματα της διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος και της χωρητικότητας καναλιού. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά σε κάποιες από τις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αφού εξηγηθεί η ανάγκη συμπίεσης των δεδομένων που προκύπτουν από τη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος video σε ψηφιακό, παρουσιάζονται τα βασικότερα πρότυπα συμπίεσης. Το πέμπτο και έκτο κεφάλαιο ασχολούνται με θέματα που έχουν να κάνουν με την ποιότητα του μεταδιδόμενου σήματος και την επίδραση των λαθών μετάδοσης σε αυτό. Προσπαθούμε κυρίως να εστιάσουμε σε λάθη που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση μέσα από ασύρματα κανάλια. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση των κυριότερων τάσεων που υπάρχουν, τόσο στην έρευνα όσο και στην αγορά, σε σχέση με τις ασύρματες video επικοινωνίες, ενώ το όγδοο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της εργασίας.

Ορισμένα από τα θέματα τα οποία αναλύονται θα ήταν τα ίδια ακόμα και αν μιλούσαμε για μετάδοση video μέσα από ενσύρματα κανάλια, κάτι τέτοιο όμως κρίνεται αναπόφευκτο.

## 2.Στοιχεία θεωρίας ασύρματων τηλεπικοινωνιών

### 2.1 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το μέσο μετάδοσης για τις ασύρματες τηλεπικοινωνίες είναι το *ηλεκτρομαγνητικό φάσμα* [10]. Το υποψήφιο για μετάδοση σήμα μεταφέρεται στον πομπό μέσω μιας διαδικασίας *διαμόρφωσης* (modulation) σε μια υψηλότερη συχνότητα κατάλληλη για μετάδοση. Στο δέκτη γίνεται *αποδιαμόρφωση* για την ανάκτηση του αρχικού σήματος. Μια απεικόνισή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος φαίνεται στο σχήμα 2.1.



Σχήμα 2. 1 : Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στον ελεύθερο χώρο (στο κενό) είναι σταθερή και ανεξάρτητη της συχνότητας και ισούται με  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Το μήκος κύματος  $\lambda$  ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος συχνότητας  $f$  δίνεται από τη σχέση  $\lambda = c/f = 3 \times 10^8 / f$  σε μέτρα, όταν η συχνότητα  $f$  μετριέται σε Hertz.

Η συμπεριφορά των υψηλότερων ραδιοσυχνοτήτων είναι παρόμοια με εκείνη του φωτός, όσον αφορά τη διάδοσή τους. Έτσι, οι υψηλότερες συχνότητες χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις οπτικής επαφής. Για μεγαλύτερα μήκη κύματος ο περιορισμός της οπτικής επαφής έχει μικρότερη σημασία καθ' ότι τα σήματα αυτά εισχωρούν, μέσω του φαινομένου της *περιθλάσεως* (diffraction), σε εκείνες τις περιοχές οι οποίες θα βρισκόταν υπό «σκιά», εάν χρησιμοποιούνταν οπτικά κύματα. Το φαινόμενο της περιθλάσεως παίζει σημαντικό ρόλο στη ραδιοφωνία, αφού με αυτό είναι δυνατή η ραδιοφωνική κάλυψη περιοχών που βρίσκονται υπό τη «σκιά» βουνών, κτιρίων κλπ. Άλλα φαινόμενα, όπως *ανάκλαση* (reflection), *διάχυση* (diffusion), *διάθλαση* (refraction) και *απορρόφηση* (absorption) επιδρούν επί της

τροχιάς των ραδιοηλεκτρικών ακτίνων κατά τρόπο που εξαρτάται από τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες.

Συνάρτηση της χρησιμοποιούμενης συχνότητας είναι και η *εξασθένηση* (attenuation) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που οφείλεται στα συστατικά της ατμόσφαιρας. Τα αέρια της ατμόσφαιρας δεν παράγουν εξασθένηση των κυμάτων συχνότητας μικρότερης των 3 GHz περίπου. Όμως για συχνότητες μεγαλύτερες από 3 GHz, η εξασθένηση, που οφείλεται στους υδρατμούς γίνεται ήδη αισθητή. Η εξασθένηση αυτή αυξάνει, αυξανομένης της συχνότητας. Επιπλέον και άλλοι παράγοντες όπως η βροχή, το χαλάζι, η ομίχλη και η νέφωση προκαλούν ισχυρές εξασθενήσεις στην περιοχή των μικροκυμάτων.

Η *ιονόσφαιρα*, δηλαδή η περιοχή εκείνη της ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε ύψος μεταξύ περίπου 80 και 1000 Km, παίζει σημαντικό ρόλο σε ραδιοζεύξεις μεταξύ λίαν απομακρυσμένων σημείων στην επιφάνεια της γης, της τάξεως μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων. Για συχνότητες μέχρι περίπου 30 MHz, η ιονόσφαιρα δρα σαν ένα κάτοπτρο ή ακριβέστερα σαν μέσο το οποίο προκαλεί διάθλαση των ραδιοηλεκτρικών ακτίνων, δηλαδή προοδευτική κάμψη τους προς τα κάτω ώστε οι ακτίνες να επιστρέφουν στη γη. Το ύψος στο οποίο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα υφίσταται ανάκλαση είναι συνάρτηση της συχνότητας του ραδιοκύματος και της ηλεκτρονικής πυκνότητας της ιονόσφαιρας. Η ηλεκτρονική πυκνότητα εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια η ιονοσφαιρική διάδοση είναι συνάρτηση της ώρας της ημέρας και της εποχής του έτους.

Από τα παραπάνω βγαίνει το συμπέρασμα ότι για έναν ορισμένο τύπο τηλεπικοινωνιακού συστήματος, η εκλογή της συχνότητας είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ των διαφόρων προαναφερθέντων παραγόντων. Είναι φανερό ότι απαιτείται αυστηρός έλεγχος των πρακτικά χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές μεταξύ των διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων [1].

Το έργο αυτό, του ελέγχου δηλαδή των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων και της χορήγησης αδειών για χρήση κάποιων από αυτές, έχουν αναλάβει διάφοροι ανά τον κόσμο οργανισμοί, όπως η *FCC* (Federal Communications Committee) [23]. Η FCC έχει απελευθερώσει ορισμένες «μπάντες» συχνοτήτων, στις οποίες μπορεί κάποιος να εκπέμψει χωρίς να χρειάζεται σχετική άδεια. Οι μπάντες αυτές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως *ISM-bands* (Industrial, Scientific and Medical bands) είναι στα 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5725-5875 MHz και 24 GHz [25]. Περιορισμός



υπάρχει στην ισχύ του σήματος που μπορεί κάποιος να εκπέμψει, προς αποφυγή παρεμβολών. Για την Ευρώπη η μέγιστη εκπεμπόμενη ισχύς είναι 10 mW στα 2400-2483.5 MHz και 25 mW στα 5725-5875 MHz. [28].

## 2.2 Χωρητικότητα καναλιού

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος στη μελέτη των συστημάτων ασύρματης, και όχι μόνο, επικοινωνίας είναι η *χωρητικότητα* του καναλιού επικοινωνίας. Σύμφωνα με το νόμο των Shannon-Hartley η χωρητικότητα ενός περιορισμένου εύρους ζώνης (band-limited) καναλιού με *προσθετικό λευκό κανονικό θόρυβο* (Additive White Gaussian Noise – AWGN) δίνεται από τη σχέση  $C = B \cdot \log_2(1 + \gamma)$ , όπου B είναι το *εύρος ζώνης* (bandwidth) του καναλιού, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην υψηλότερη και τη χαμηλότερη συχνότητα στο κανάλι,  $\gamma$  είναι η *σηματοθορυβική σχέση* (signal to noise ratio – SNR). Ο SNR  $\gamma$  ορίζεται σαν  $\gamma = S/N$ , όπου S είναι η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος και N η ισχύς του AWGN μέσα στο εύρος ζώνης του καναλιού [2, 8].

Η ισχύς S του λαμβανόμενου στο δέκτη σήματος εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής, την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη και τα κέρδη των κεραιών πομπού και δέκτη [1].

Σε ασύρματα κανάλια μπορεί να περιληφθεί στον υπολογισμό της χωρητικότητας και η επίδραση της *διακαναλικής παρεμβολής* (co-channel interference). Τότε ο ορισμός του  $\gamma$  πρέπει να μεταβληθεί αντικαθιστώντας τον SNR με το λόγο του σήματος προς θόρυβο συν την παρεμβολή (SINR). Αν S και N όπως προηγουμένως και I η λαμβανόμενη ισχύς παρεμβολής, τότε ο SINR ορίζεται σαν

$$\gamma = \frac{S}{I + N} . \text{ Έτσι η χωρητικότητα γίνεται } C = B \cdot \log_2 \left( \frac{S + I + N}{I + N} \right) [12].$$

### **3. Μετάδοση αναλογικού σήματος video – Κλασσική εκπομπή τηλεόρασης.**

Κλασσικό παράδειγμα αναλογικής ασύρματης μετάδοσης σήματος video, αποτελεί η τηλεοπτική εκπομπή. Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μια σύντομη παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της. Κάποια από τα στοιχεία που παρατίθενται μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμα για την περαιτέρω μελέτη των πιο σύγχρονων τεχνικών για την μετάδοση ψηφιακού video σήματος.

#### **3.1 Ιστορικά στοιχεία**

Η δυνατότητα πραγματοποίησης ασπρόμαυρης τηλεόρασης με φωνή, πρωτοδείχτηκε το 1930 και η μετάδοση ασπρόμαυρης εκπομπής τηλεόρασης άρχισε το 1936. Η δυνατότητα πραγματοποίησης έγχρωμης τηλεόρασης αποδείχθηκε το 1940 και η FCC επέτρεψε την έγχρωμη εκπομπή το 1941. Εντούτοις, μόλις το 1965 άρχισε η λειτουργία μεγάλων εμπορικών έγχρωμων δικτύων. [3, 7]

#### **3.2 Παγκόσμια πρότυπα**

Ανά την υφήλιο έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα για την τηλεοπτική εκπομπή. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία ισχύει το πρότυπο NTSC (National Television Systems Committee, εθνική επιτροπή τηλεοπτικών συστημάτων) που χρησιμοποιεί 525 γραμμές σάρωσης της εικόνας και ρυθμό μετάδοσης 30 εικόνων ανά δευτερόλεπτο. Ο ρυθμός μετάδοσης εικόνων επιλέγεται έτσι γιατί προκύπτει εύκολα από τη συχνότητα παροχής εναλλασσόμενου ρεύματος στις χώρες αυτές, που είναι 60 Hz. Ο λόγος πλευρών πλαισίου (πλάτος/ύψος) είναι ίσος με 4/3. Στις Γαλλία, Ελλάδα, Ιράν και Ανατολική Ευρώπη ισχύει το SECAM (Sequence de Couleurs Avec Memoire, διαδοχή χρωμάτων με μνήμη) ενώ στην υπόλοιπη Δυτική Ευρώπη καθώς και σε πολλές άλλες χώρες όπως η Κίνα, η Βραζιλία και η Αργεντινή το πρότυπο PAL (Phase Alternating Line, μεταλλαγή φάσης από γραμμή σε γραμμή). Τα δύο τελευταία πρότυπα χρησιμοποιούν 625 γραμμές σάρωσης της εικόνας, ρυθμό μετάδοσης 25 εικόνες ανά δευτερόλεπτο και λόγο πλευρών πλαισίου 4/3 [3].

Η ανάλυση που ακολουθεί αναφέρεται στο πρότυπο NTSC.

### 3.3 Στοιχεία εκπομπής ασπρόμαυρης τηλεόρασης

Για την μετατροπή της πληροφορίας της εικόνας σε ηλεκτρική κυματομορφή χρησιμοποιείται μια τεχνική σάρωσης κατά την οποία η εικόνα σαρώνεται σε δύο πλέγματα (περιττές και άρτιες γραμμές) τα οποία ονομάζονται *πρώτο και δεύτερο πεδίο* και αποτελούν και τα δυο μαζί το *πλαίσιο* (frame). Για να εξαιρεθεί κάθε πιθανό τρεμοσβήσιμο, η εναλλαγή των δύο πεδίων στέλνεται με ρυθμό 60 πεδίων ανά δευτερόλεπτο (ή 30 frames/sec).

Το εύρος ζώνης του οπτικού σήματος μπορεί να υπολογισθεί ως εξής: Η εικόνα μπορεί να θεωρηθεί σαν μια διάταξη από 525 γραμμές επί  $(525)(4/3)$  στήλες που δίνει ένα σύνολο από 367500 στοιχεία εικόνας ανά πλαίσιο. Επομένως κατά τη διάρκεια της σάρωσης ενός πλαισίου θα πρέπει να μεταδώσουμε 367500 δείγματα έντασης ανά πλαίσιο δηλαδή 11 εκατομμύρια δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Αν δεχόμασταν ότι τα δείγματα αυτά είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους τότε θα χρειαζόταν ένα εύρος ζώνης 5,5 MHz για τη μετάδοση του σήματος εικόνας. Στις πραγματικές εικόνες οι εντάσεις των γειτονικών στοιχείων εικόνας είναι έντονα εξαρτημένες μεταξύ τους (*πλεονασμός*) και έτσι το πραγματικό εύρος του σήματος εικόνας είναι μικρότερο. Στις εκπομπές τηλεόρασης το εύρος ζώνης εικόνας παίρνεται ίσο με 4,2 MHz. Το σύνολο σήμα ήχου είναι πολυπλεγμένο με το σήμα εικόνας πράγμα που οδηγεί σε ένα σύνθετο σήμα μηνύματος με εύρος ζώνης περίπου 4,5 MHz.

Με κατάλληλη διαμόρφωση το σήμα μπορεί να περάσει μέσα από το παραχωρημένο, από την FCC, για τηλεοπτικές εκπομπές, εύρος ζώνης των 6 MHz [7].

### 3.4 Έγχρωμη τηλεόραση

Όλα τα χρώματα που συναντάμε στη φύση μπορούμε να τα προσεγγίσουμε με μια κατάλληλη ανάμιξη τριών βασικών χρωμάτων: του κόκκινου (R), του πράσινου (G) και του βαθυγάλανου (B). Έτσι, οι πρώτες προσπάθειες για έγχρωμη μετάδοση τηλεόρασης περιλάμβαναν τη διαδοχική μετάδοση τριών σημάτων εικόνας – ένα για κάθε βασικό χρώμα. Η μέθοδος αυτή όμως δε συμβιβαζόταν με τα ήδη υπάρχοντα μονοχρωματικά συστήματα. Επιπλέον, το εύρος ζώνης που θα χρειαζόταν είναι πολύ μεγαλύτερο. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950 σχηματίστηκε η NTSC για να καθορίσει τα πρότυπα ενός συστήματος έγχρωμης τηλεόρασης που να είναι συμβιβαστό με τους υπάρχοντες δέκτες και να μπορεί να προσαρμόζεται στα μονοχρωματικά κανάλια με βάση κάποια χαρακτηριστικά της ανθρώπινης

υποκειμενικής αντίληψης των χρωμάτων. Το σύστημα που σχεδιάστηκε από την NTSC έγινε αποδεκτό από την FCC το 1953.

Η ανάλυση του συστήματος αρχίζει με την παρατήρηση ότι τα τρία σήματα των βασικών χρωμάτων μπορούν να παρασταθούν από οποιαδήποτε τρία άλλα σήματα που να είναι ανεξάρτητοι γραμμικοί συνδυασμοί των τριών πρώτων. Ένας απ' αυτούς τους γραμμικούς συνδυασμούς μπορεί να γίνει έτσι ώστε να παραχθεί το σήμα έντασης ή φωτεινότητας (luminance), που είναι όμοιο με το σήμα της συμβατικής ασπρόμαυρης τηλεόρασης. Τα υπόλοιπα δύο σήματα, που ονομάζονται σήματα χρωμικότητας (chrominance) περιέχουν πρόσθετη πληροφορία που μπορεί να χρησιμεύσει για την ανασύσταση στο δέκτη των τριών σημάτων των βασικών χρωμάτων, από την οποία μπορεί να ανασυσταθεί το αρχικό χρώμα.

Με κατάλληλη πολυπλεξία και διαμόρφωση τα τρία σήματα που προκύπτουν, μαζί με το σήμα ήχου, οδηγούν σε ένα σήμα με εύρος ζώνης μικρότερο των 6MHz, κατάλληλο δηλαδή για εκπομπή [7].

## 4. Μετάδοση ψηφιακού σήματος video – Τεχνικές συμπίεσης.

### 4.1 Απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων για ψηφιακό video

Προκειμένου να επεξεργαστούμε και να εκπέμψουμε πληροφορία video χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνικές, είναι απαραίτητη η μετατροπή του αναλογικού σήματος video στο ψηφιακό πεδίο. Αναλογικά σήματα τηλεόρασης και video δειγματοληπτούνται και μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή. Η επιλογή του ρυθμού δειγματοληψίας και της ανάλυσης έχει σημαντική επίδραση στη ποιότητα του ψηφιακού σήματος video. Το πρότυπο CCIR 601 παρέχει μια πρότυπη μέθοδο για την κωδικοποίηση της τηλεοπτικής πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή.

Τα σήματα φωτεινότητας και χρωμικότητας δειγματοληπτούνται με ακρίβεια 8 bits. Ο ρυθμός δειγματοληψίας επιλέγεται έτσι ώστε να δίνει αποδεκτή ποιότητα συγκρινόμενη με αυτή του αρχικού αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Το σήμα φωτεινότητας ενός πλαισίου NTSC δειγματοληπτείται για να παράγει μια εικόνα 525 γραμμών, η κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει 858 δείγματα. Η ενεργός περιοχή του ψηφιοποιημένου πλαισίου είναι  $720 \times 486$  εικονοστοιχεία (pixels). Το σήμα φωτεινότητας ενός πλαισίου PAL ή SECAM δειγματοληπτείται για να δώσει μια εικόνα  $625 \times 486$  δειγμάτων και η ενεργός περιοχή σ' αυτήν την περίπτωση είναι  $720 \times 576$  εικονοστοιχεία. Τα σήματα χρωμικότητας δειγματοληπτούνται σε μικρότερο ρυθμό: η κάθετη ανάλυση είναι η ίδια, αλλά η οριζόντια είναι η μισή. Αυτό σημαίνει ότι μόνο τα περιττά αριθμημένα εικονοστοιχεία σε κάθε γραμμή περιέχουν πληροφορία χρωμικότητας.

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bit rate) όπως προκύπτει από τις παραπάνω παραδοχές είναι περίπου 216 Mbps και υπολογίζεται ως εξής: για το πρότυπο NTSC έχουμε 30 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο,  $858 \times 525$  δείγματα φωτεινότητας (ανά πλαίσιο),  $429 \times 525 \times 2$  δείγματα χρωμικότητας, 8 bits ανά δείγμα, οπότε προκύπτει:

$$\text{Bit rate} = 30 \times 8 \times ((858 \times 525) + (429 \times 525 \times 2)) = 216.216 \text{ Mbps.}$$

Αντίστοιχα, για τα πρότυπα PAL ή SECAM έχουμε 25 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο,  $864 \times 625$  δείγματα φωτεινότητας,  $432 \times 625 \times 2$  δείγματα χρωμικότητας, 8 bits ανά δείγμα, οπότε:

$$\text{Bit rate} = 25 \times 8 \times ((864 \times 625) + (432 \times 625 \times 2)) = 216.0 \text{ Mbps.}$$

Αυτός ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μπορεί να είναι διαχειρίσιμος μέσα σε ένα τηλεοπτικό στούντιο, είναι όμως υπερβολικά μεγάλος για μετάδοση πάνω από πρακτικά, ασύρματα ή ενσύρματα, δίκτυα [4].

#### 4.2 Η ανάγκη για συμπίεση

Όπως δείχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, ένα ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα με τη μορφοποίηση (format) του προτύπου CCIR 601 απαιτεί ένα ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 216 Mbps, που είναι απαράδεκτα υψηλός για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές. Ένα αναλογικό τηλεοπτικό σήμα ανάλογης οπτικής ποιότητας καταλαμβάνει ένα εύρος ζώνης της τάξης των 6 με 8 MHz, ανάλογα με το πρότυπο εκπομπής [6]. Η ψηφιακή τηλεόραση σε αυτή τη μορφοποίηση δεν μπορεί να συγκριθεί με την αναλογική σε όρους απαιτήσεων εκπομπής. Αυτός ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι υπερβολικά υψηλός για όλα σχεδόν τα υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Τα περισσότερα τοπικά δίκτυα (LANs), για παράδειγμα, προσφέρουν ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι και μερικές δεκάδες megabits ανά δευτερόλεπτο, και τα περισσότερα δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs) υποστηρίζουν πολύ χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Τα αναπτυσσόμενα ATM δίκτυα είναι ικανά να μεταδίδουν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Παρ' όλα αυτά η διανομή ενός ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος με τη μορφοποίηση CCIR 601, είναι και πάλι απαγορευτικά «ακριβή».

Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη μείωσης αυτού του ρυθμού δεδομένων για να μπορέσει το ψηφιακό σήμα τηλεόρασης ή video να μεταδοθεί μέσα από τα υπάρχοντα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, ασύρματα ή ενσύρματα. Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία του ψηφιακού σήματος video πρέπει να συμπιεσθεί (ή κωδικοποιηθεί) πριν τη μετάδοσή της και να αποσυμπιεσθεί (αποκωδικοποιηθεί) μετά τη μετάδοσή της, στο δέκτη. Ένα πλήθος τεχνικών και προτύπων κωδικοποίησης έχουν αναπτυχθεί μέσα στα τελευταία χρόνια, που εκμεταλλεύονται κάποιον από τον υπάρχον πλεονασμό (redundancy) στις ακίνητες εικόνες και τις κινούμενες ακολουθίες (sequences) video ώστε να παρέχουν σημαντική συμπίεση των δεδομένων [4].

Ευτυχώς, τα δεδομένα του ψηφιακού video περιέχουν ένα μεγάλο βαθμό πλεονασμού. Κάποια συμπίεση μπορεί να επιτευχθεί, αν εκμεταλλευτούμε τον πλεονασμό που οφείλεται στις στατιστικές ιδιότητες του σήματος video. Για παράδειγμα, τα video δεδομένα είναι συχνά σε υψηλό βαθμό συσχετισμένα, τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Αυτός ο πλεονασμός μπορεί να αφαιρεθεί με την κωδικοποίηση των δεδομένων με έναν πιο αποδοτικό τρόπο. Η συμπίεση αυτού του είδους δεν καταστρέφει κανένα από τα αρχικά δεδομένα και είναι μια αναστρέψιμη διαδικασία. Χαρακτηρίζεται ως *συμπίεση χωρίς απώλειες* (lossless compression). Αντίθετα, στη *συμπίεση με απώλειες* (lossy compression) μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός συμπίεσης με την αφαίρεση *υποκειμενικά πλεονασματικής πληροφορίας*. Έτσι χαρακτηρίζεται η πληροφορία που δεν είναι οπτικά προφανής στον θεατή και μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς δραματική ελάττωση της ποιότητας του σήματος. Αυτού του είδους η συμπίεση έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή κάποιων από τα δεδομένα του αρχικού σήματος, τα οποία δεν μπορούν κατόπιν να ανακτηθούν [4, 29].

Οι τεχνικές κωδικοποίησης μπορούν να διαχωριστούν επίσης σε δύο τάξεις: *κωδικοποίηση ακίνητης εικόνας* και *κωδικοποίηση κινούμενου video*. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται εκμετάλλευση του *χωρικού* (spatial) πλεονασμού μέσα στις εικόνες, ενώ στη δεύτερη λαμβάνεται υπ' όψιν και ο *χρονικός* (temporal) πλεονασμός.

### 4.3 Κυριότερα πρότυπα κωδικοποίησης

Τα συστήματα συμπίεσης αναφέρονται συχνά και ως *CODECs* (COmpressor-DECompressor). Η συμπίεση αναφέρεται και ως *κωδικοποίηση πηγής* (source coding) σε αντιδιαστολή με την *κωδικοποίηση καναλιού* (channel coding), η οποία έχει να κάνει με την διαμόρφωση του προς μετάδοση σήματος. Η αλλιώς [30], η κωδικοποίηση πηγής απαντά στο πρόβλημα του «τι πληροφορία πρέπει να σταλεί», ενώ η κωδικοποίηση καναλιού στο πρόβλημα του «πώς πρέπει να σταλεί».

Τα κυριότερα υπάρχοντα πρότυπα κωδικοποίησης είναι τα H.261, H.263, MJPEG, MPEG-1, MPEG-2 και MPEG-4. Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίασή τους.

### 4.3.1 H.261

Το H.261 είναι γνωστό και ως P\*64, όπου P είναι ένας ακεραίος αριθμός που αντιπροσωπεύει πολλαπλάσια των 64 Kbps. Αναπτύχθηκε με στόχο τις εφαρμογές βιντεοδιάσκεψης και βιντεοτηλεφωνίας πάνω από δίκτυα ISDN. Αποτελεί κομμάτι της ομάδας προτύπων H.320, τα οποία περιγράφουν τα συστατικά ενός συστήματος βιντεοδιάσκεψης.

Το πρότυπο H.261 δεν υποστηρίζει οποιαδήποτε ανάλυση εικόνας. Οι μόνες αναλύσεις που υποστηρίζονται είναι οι *CIF* (Common Intermediate Format) και *QCIF* (Quarter CIF), που αντιστοιχούν σε ανάλυση του σήματος φωτεινότητας  $352 \times 288$  και  $176 \times 144$  εικονοστοιχεία αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις τα δύο σήματα χρωμικότητας έχουν ακριβώς τη μισή οριζόντια και κάθετη ανάλυση του σήματος φωτεινότητας. Έτσι, ένα δείγμα καθενός από τα δύο σήματα χρωμικότητας αποθηκεύεται για κάθε τέσσερα δείγματα του σήματος φωτεινότητας. Ο μέγιστος ρυθμός εικόνας που υποστηρίζεται είναι 29.97 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, ο οποίος όμως μπορεί να ελαττωθεί, αν αυτό είναι απαραίτητο, απορρίπτοντας μέχρι και τρία πλαίσια ανάμεσα σε κάθε ζευγάρι κωδικοποιημένων και μεταδιδόμενων πλαισίων.

Ο αλγόριθμος κωδικοποίησης του προτύπου H.261 βασίζεται στην συμπίεση της εικόνας με *μετασχηματισμό διακριτού συνημιτόνου* (Discrete Cosine Transform – DCT), ο οποίος είναι ένας μετασχηματισμός ανάλογος του μετασχηματισμού Fourier [9] με τη διαφορά ότι οδηγεί σε πραγματικούς – και όχι μιγαδικούς – συντελεστές, καθώς και στην *πρόβλεψη μεταξύ πλαισίων με αντιστάθμιση κίνησης* (motion-compensated interframe prediction). Τα δεδομένα κάθε εικόνας υφίστανται επεξεργασία σε *μακροομάδες* (macroblocks), όπου η κάθε μακροομάδα αποτελείται από τέσσερις ομάδες των  $8 \times 8$  δειγμάτων φωτεινότητας και μια ομάδα  $8 \times 8$  δειγμάτων από κάθε σήμα χρωμικότητας. Υπάρχουν δύο τρόποι κωδικοποίησης: η *ενδοκωδικοποίηση* (intra-coding), όπου δε χρησιμοποιείται πρόβλεψη κίνησης, και η *μεσοκωδικοποίηση* (inter-coding), όπου χρησιμοποιείται πρόβλεψη κίνησης. Εννοείται ότι όλες οι μακροομάδες του πρώτου πλαισίου σε μια ακολουθία εικόνων κωδικοποιημένων κατά H.261 πρέπει να είναι ενδοκωδικοποιημένες, εφόσον δεν υπάρχουν προηγούμενα πλαίσια από τα οποία να γίνει πρόβλεψη.

Ο αλγόριθμος του H.261 περιέχει ένα μηχανισμό, ο οποίος βελτιστοποιεί τη χρήση του εύρους ζώνης, κάνοντας μια ανταλλαγή μεταξύ ποιότητας εικόνας και κίνησης. Έτσι ώστε μια γρήγορα μεταβαλλόμενη εικόνα να έχει χαμηλότερη ποιότητα από μια σχετικά στατική εικόνα. Έτσι, το H.261 είναι μια κωδικοποίηση με σταθερό



ρυθμό δεδομένων (constant bit rate), και όχι μια κωδικοποίηση με σταθερή ποιότητα εικόνας αλλά μεταβαλλόμενο ρυθμό δεδομένων (variable bit rate) [16].

Ο βαθμός συμπίεσης που μπορεί να επιτευχθεί με την κωδικοποίηση H.261 είναι από 100:1 μέχρι και 2000:1 [29]. Το κυριότερο μειονέκτημα της είναι η φτωχή ποιότητα του αποκωδικοποιημένου video, ειδικά σε χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων [4].

#### 4.3.2 H.263

Το πρότυπο H.263 αποτελεί την μετεξέλιξη του H.261 και σαν στόχο είχε αρχικά την μεταφορά video μέσω του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN – public switched telephone network) δηλαδή με ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μικρότερων των 30 Kbps.

Το H.263 υποστηρίζει και άλλες αναλύσεις πέραν των CIF και QCIF. Συγκεκριμένα, υποστηρίζονται οι αναλύσεις *SQCIF* (Sub-QCIF), *4CIF* και *16CIF* που αντιστοιχούν σε  $128 \times 96$ ,  $704 \times 576$  και  $1408 \times 1152$  εικονοστοιχεία, αντίστοιχα [5].

Η βασική φιλοσοφία του προτύπου H.263 είναι ίδια με αυτή του H.261. Υπάρχουν βέβαια ορισμένα επιπλέον στοιχεία και βελτιώσεις για τη βελτίωση της απόδοσης, όπως η δυνατότητα χρήσης πρόβλεψης μισού εικονοστοιχείου για αντιστάθμιση κίνησης, η χρήση ανεξέλεγκτων (unrestricted) διανυσμάτων κίνησης, η δυνατότητα χρήσης αριθμητικής κωδικοποίησης και η χρήση πλαισίων που προβλέπονται από δύο κατευθύνσεις (bidirectional), δηλαδή από προηγούμενα και επόμενα πλαίσια. [16, 4]

Έχει αποδειχθεί [5] ότι το σύστημα H.263 υπερτερεί του H.261 με έναν λόγο 2,5 προς 1. Δηλαδή για ίδια ποιότητα εικόνας, ο ρυθμός δεδομένων του H.263 είναι 2,5 φορές μικρότερος αυτού του H.261.

#### 4.3.3 MJPEG

Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει πρότυπο Motion JPEG (Joined Photographic Experts Group) ή MJPEG [16]. Ωστόσο, πολλοί προμηθευτές έχουν εφαρμόσει το πρότυπο JPEG σε ανεξάρτητες εικόνες μιας αλληλουχίας video και έχουν αποκαλέσει το αποτέλεσμα MJPEG. Το JPEG σχεδιάστηκε για τη συμπίεση έγχρωμων ή ασπρόμαυρων εικόνων που αναπαριστούν φυσικές σκηνές. Λειτουργεί καλά για φωτογραφίες και παρόμοιο υλικό, και όχι τόσο καλά για σχεδίαση

γραμμάτων και σκίτσα. Το JPEG είναι ένας αλγόριθμος συμπίεσης με απώλειες που χρησιμοποιεί κωδικοποίηση βασισμένη στο μετασχηματισμό διακριτού συνημιτόνου. Μπορεί να επιτύχει συμπίεση 10:1 ή 20:1 χωρίς ορατές απώλειες, συμπίεση 30:1 ή 50:1 είναι δυνατή με μικρές ως μέτριες παραμορφώσεις, ενώ συμπίεση της τάξης του 100:1 είναι εφικτή, για εφαρμογές που αρκούνται σε πολύ χαμηλή ποιότητα εικόνας. Πλεονεκτήματα για τη χρήση του είναι η σταθερή ποιότητα πλαισίου, η ιδιότητα ότι η αποκωδικοποίηση μπορεί να αρχίσει από οποιοδήποτε πλαίσιο, και η μη ύπαρξη λαθών που να διαδίδονται σε περισσότερα του ενός πλαίσια.

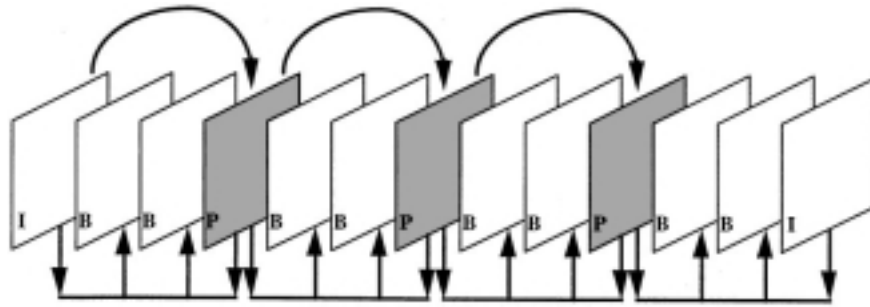
#### 4.3.4 MPEG-1

Το πρότυπο κωδικοποίησης MPEG-1 (Motion Pictures Experts Group) αναπτύχθηκε αρχικά για την αποθήκευση video δεδομένων σε CD-ROM. Οι αναλύσεις που υποστηρίζει δεν είναι περιορισμένες, όμως η βέλτιστη απόδοση του συγκεκριμένου προτύπου κωδικοποίησης πετυχαίνεται με τη χρήση ανάλυσης CIF με ρυθμό μετάδοσης 30 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, οπότε και πετυχαίνεται ένας ρυθμός δεδομένων 1 με 1.5 Mbps. Η ποιότητα της εικόνας σε αυτήν την περίπτωση είναι σε γενικές γραμμές ανάλογη με αυτήν ενός συστήματος VHS.

Το MPEG-1 χωρίζει τα πλαίσια σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες υφίστανται διαφορετικού είδους κωδικοποίηση. Έτσι, υπάρχουν *εικόνες τύπου I* (intra pictures) οι οποίες κωδικοποιούνται χωρίς τη χρήση κάποιας μορφής πρόβλεψης, με ανάλογο τρόπο με την ενδοκωδικοποίηση του προτύπου H.261, *εικόνες τύπου P* (forward predicted pictures) οι οποίες κωδικοποιούνται με πρόβλεψη κίνησης από τις αμέσως προηγούμενες I ή P εικόνες και, τέλος, *εικόνες τύπου B* (bidirectionally predicted pictures) που προκύπτουν με παρεμβαλλόμενη πρόβλεψη κίνησης από την αμέσως προηγούμενη και την αμέσως επόμενη I ή P εικόνα.

Οι εικόνες σχηματίζουν ομάδες εικόνων (GOPs – Groups Of Pictures) οι οποίες αποτελούνται από μια I εικόνα ακολουθούμενη από ένα πλήθος P ή B εικόνων. Το πρότυπο δίνει ελευθερία επιλογής όσον αφορά το πλήθος των εικόνων που απαρτίζουν ένα GOP. Η τυπική δομή ενός GOP φαίνεται στο σχήμα 4.1. Προφανώς, οι εικόνες τύπου I έχουν το μικρότερο βαθμό συμπίεσης εφόσον δε χρησιμοποιείται πρόβλεψη κατά την κωδικοποίησή τους, οι εικόνες τύπου P έχουν υψηλότερο βαθμό συμπίεσης, και οι εικόνες τύπου B έχουν την υψηλότερη συμπίεση απ' όλες. Έτσι, σε γενικές γραμμές η χρήση μεγάλων GOPs, οδηγεί σε μεγαλύτερο βαθμό συμπίεσης συνολικά, εφόσον κωδικοποιούνται λιγότερες εικόνες τύπου I.

Πρέπει τέλος να σημειωθεί σαν παρατήρηση ότι η ύπαρξη των εικόνων τύπου B εισάγει κάποια καθυστέρηση στην διαδικασία της κωδικοποίησης.



Σχήμα 4. 1: Δομή ενός GOP

#### 4.3.5 MPEG-2

Το πρότυπο MPEG-2 αποτελεί μετεξέλιξη του MPEG-1, εστιάζοντας κυρίως στην εκπομπή ψηφιακής τηλεόρασης. Υποστηρίζει ένα μεγαλύτερο εύρος αναλύσεων φτάνοντας μέχρι και τα  $1920 \times 1080$  εικονοστοιχεία. Στηρίζεται βασικά στις ίδιες τεχνικές με το MPEG-1 με κάποιες επιπλέον προσθήκες, όπως τη χρήση περισσότερων δειγμάτων χρωμικότητας. Για σήμα ψηφιακής τηλεόρασης,  $720 \times 486$  εικονοστοιχείων, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που προκύπτει είναι γύρω στα 5 με 10 Mbps [4, 16].

#### 4.3.6 MPEG-4

Το MPEG-4 είναι ένα νέο πρότυπο, υπό συζήτηση μέχρι ακόμα και πρόσφατα. Ο στόχος του είναι η επίτευξη ρυθμών δεδομένων της τάξης των 5 με 64 Kbps για κινητές εφαρμογές και μέχρι 4 Mbps για τηλεοπτικές εφαρμογές [30]. Η φιλοσοφία του βασίζεται στην ιδέα του τεμαχισμού της οπτικοακουστικής πληροφορίας σε *οπτικοακουστικά αντικείμενα* (AVOs – Audio Visual Objects) τα οποία μπορούν να πολυπλεχθούν και να μεταδοθούν πάνω από ετερογενή δίκτυα [16].

## 5. Απαιτήσεις ποιότητας του μεταδιδόμενου σήματος video

Είναι χρήσιμο να εξεταστούν τα ιδανικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το μεταδιδόμενο, μέσα από ασύρματα αλλά και ενσύρματα κανάλια, σήμα video, ή, με άλλα λόγια τα χαρακτηριστικά ποιότητας στα οποία ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα μεταφοράς σήματος video πρέπει να στοχεύει. Έχει ήδη αναφερθεί ότι το σήμα video είναι η πιο απαιτητική ίσως μορφή πληροφορίας σε ότι αφορά αυτά ακριβώς τα χαρακτηριστικά.

Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ιδανικά αυτά χαρακτηριστικά δεν συναντώνται στην πράξη. Απαιτείται λοιπόν ένας συμβιβασμός μεταξύ της επιθυμίας για υψηλής ποιότητας video επικοινωνίες και τους περιορισμούς που θέτει ένα πραγματικό σύστημα επικοινωνίας. Τίθεται έτσι και το θέμα της *ποιότητας υπηρεσίας* (Quality of Service – QoS), του βαθμού δηλαδή της ικανοποίησης του χρήστη από την προσφερόμενη από το τηλεπικοινωνιακό σύστημα υπηρεσία [29], όταν αυτή η υπηρεσία είναι η μετάδοση video.

### 5.1 Ποιότητα εικόνας

Σε ένα ιδανικό σύστημα επικοινωνίας, η ποιότητα της πληροφορίας video η αντιλαμβανόμενη από το θεατή δε θα έπρεπε να περιορίζεται από το σύστημα κωδικοποίησης ή το μέσο μετάδοσης. Αυτό δεν είναι εφικτό στην πράξη, αφού τα υπάρχοντα συστήματα κωδικοποίησης και μετάδοσης εισάγουν, σε κάποιο βαθμό, μια *υποβάθμιση* (degradation) της ποιότητας του σήματος video.

Αν υποθέσουμε ότι ένα πραγματικό σύστημα παρέχει video σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας, τότε αυτό το επίπεδο θα πρέπει ιδανικά να είναι σταθερό από πλαίσιο σε πλαίσιο. Η ποιότητα της επιδεικνυόμενης στο δέκτη αλληλουχίας video θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από το οπτικό περιεχόμενο της αλληλουχίας ή από τη συγκεκριμένη κατάσταση του συστήματος μετάδοσης. Στην πραγματικότητα, το περιεχόμενο μιας σκηνής μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά των κωδικοποιημένων video δεδομένων και στην ποιότητα του

αποκωδικοποιημένου σήματος. Ακόμα, η ποιότητα του σήματος που μεταδίδεται μέσα από ένα πραγματικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μπορεί να επηρεαστεί από ένα πλήθος παραγόντων, όπως η κίνηση του δικτύου [4].

## 5.2 Ορατά λάθη

Στην ιδανική περίπτωση, σε μια αποκωδικοποιημένη αλληλουχία video, δεν πρέπει να εμφανίζεται υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας που να οφείλεται σε λάθη στο τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Στην πράξη, η ψηφιακή μετάδοση video μέσω ραδιοκυμάτων, επηρεάζεται από λάθη που οφείλονται στο θόρυβο και τις παρεμβολές.

Ένα λάθος σε ένα αποκωδικοποιημένο πλαίσιο θα είναι ορατό μόνο για ένα μικρό κλάσμα του δευτερολέπτου και έτσι δε θα έχει σημαντική επίδραση στο θεατή εκτός αν επηρεάζει μια πολύ μεγάλη περιοχή του πλαισίου. Ένα λάθος που επιμένει για αρκετά πλαίσια θα είναι πιο εμφανές στο θεατή και επομένως πιο ανεπιθύμητο.

Στην πράξη, μια κωδικοποιημένη αλληλουχία video είναι επιρρεπής σε τέτοια λάθη καθώς, με την εξάλειψη του χωρικού πλεονασμού, ένα μοναδικό λάθος στην ακολουθία των bits, μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση μιας μεγάλης περιοχής της αποκωδικοποιημένης εικόνας, ενώ και η ύπαρξη πλαισίων που προβλέπονται από άλλα, έχει σαν αποτέλεσμα τη διάδοση στο χρόνο ορισμένων λαθών [4].

## 5.3 Καθυστέρηση

Η καθυστέρηση είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε επικοινωνιακές εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time) όπως το ψηφιακό video. Σε αμφίδρομες εφαρμογές όπως οι εφαρμογές βιντεοδιάσκεψης, ιδανικά δε θα έπρεπε να υπάρχει καθυστέρηση σε κανένα από τα δύο άκρα της σύνδεσης. Όποια καθυστέρηση οδηγεί σε εκνευριστικές δυσκολίες στην επικοινωνία. Για παράδειγμα μια συζήτηση γίνεται δύσκολη ή και ανέφικτη αν η καθυστέρηση ξεπερνά τα μερικές εκατοντάδες milliseconds.

Σε μονόδρομες εφαρμογές όπως η ψηφιακή τηλεόραση, σημαντικότερη επίδραση έχει, όχι τόσο η συνολική καθυστέρηση, όσο η μεταβλητότητά της. Τα πλαίσια μιας αλληλουχίας video, όπως και ο ήχος που τη συνοδεύει πρέπει να παρουσιάζονται στο θεατή με ένα σταθερό ρυθμό. Είναι απαραίτητο οι μεταβολές στην καθυστέρηση να εξαλείφονται πριν την παρουσίαση των αποκωδικοποιημένων πλαισίων [4].

## 6. Επίδραση, εκτίμηση και διόρθωση λαθών κατά τη μετάδοση

Η απώλεια δεδομένων είναι ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα για τη μετάδοση ψηφιακού σήματος video, μέσα από ασύρματα κανάλια. Θόρυβος και παρεμβολές μπορούν να έχουν σαν αποτέλεσμα τη λανθασμένη στο δέκτη εκτίμηση της τιμής κάποιων bits, γεγονός που και πάλι αναφέρεται σαν απώλεια δεδομένων.

Σε γενικές γραμμές, ρυθμοί απώλειας bits (bit error rates – BERs) της τάξης του  $10^{-5}$  (δηλαδή ένα λανθασμένο bit σε κάθε  $10^5$  bits) είναι παραδεκτοί για τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης δεδομένων (data). Ωστόσο, το κωδικοποιημένο σήμα video είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στις απώλειες bits, με αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ μικρότεροι ρυθμοί απώλειας δεδομένων για ικανοποιητική ποιότητα του αποκωδικοποιημένου σήματος στο δέκτη. Σαν ένα παραδεκτό όριο αναφέρεται η τιμή ρυθμού απώλειας bits  $10^{-6}$ , αυτό όμως είναι αρκετά υποκειμενικό.

Στην πράξη, σε ασύρματα, και ιδίως σε κινητά, περιβάλλοντα ρυθμοί απώλειας bits της τάξης των  $10^{-3}$ - $10^{-2}$ , μπορούν να εμφανιστούν για αρκετά μεγάλες χρονικές περιόδους (σχεδόν εκατοντάδες milliseconds). Η απώλεια bits μπορεί ως έναν βαθμό να αντιμετωπιστεί με χρήση κωδικών διόρθωσης λάθους, όπως τα σχήματα εμπρόσθιας διόρθωσης λάθους (Forward Error Correction – FEC), ωστόσο με αυξημένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα καναλιού. Τα λάθη συνήθως εμφανίζονται σε εκρήξεις (bursts), γεγονός που κάνει τα πράγματα ακόμα χειρότερα σε ότι αφορά την ποιότητα του αποκωδικοποιημένου σήματος video [31].

### 6.1 Επίδραση λαθών σε κωδικοποιημένο σήμα video.

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, ένα και μόνο λάθος σε μια κωδικοποιημένη αλληλουχία video, λόγω της εξάλειψης του πλεονασμού που λαμβάνει χώρα κατά την κωδικοποίηση, μπορεί να έχει πολύ ενοχλητική επίδραση, καθώς μπορεί να διαδίδεται τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο, υποβαθμίζοντας την ποιότητα του αποκωδικοποιημένου video.

Προφανώς, η αρνητική επίδραση ενός λάθους εξαρτάται από τη θέση μέσα στο κωδικοποιημένο ρεύμα bits (bitstream) στην οποία συμβαίνει το λάθος. Για παράδειγμα, σε ένα σήμα κωδικοποιημένο κατά MPEG-2, τα λάθη που συμβαίνουν σε ένα πλαίσιο τύπου I έχουν καταστρεπτικότερη επίδραση, από λάθη σε πλαίσια τύπου P καθώς διαδίδονται περισσότερο στο χρόνο. Αντίστοιχα, λάθη σε πλαίσια τύπου P έχουν καταστρεπτικότερη επίδραση από λάθη σε πλαίσια τύπου B. Παρόμοια, ένα λάθος που επηρεάζει ένα DCT συντελεστή χαμηλών συχνοτήτων, έχει καταστρεπτικότερη επίδραση από ένα λάθος σε DCT συντελεστή υψηλών συχνοτήτων, καθώς επηρεάζει μια μεγαλύτερη περιοχή της εικόνας [31, 4].

Ανάλογα συμπεράσματα ισχύουν για όλες τις μορφές κωδικοποίησης που έχουν αναφερθεί.

## 6.2 PSNR

Ένα μέτρο εκτίμησης της επίδρασης των λαθών που συμβαίνουν σε ένα σύστημα μετάδοσης σήματος video, αλλά και της συνολικής απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος είναι ο PSNR (peak signal to noise ratio). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της παραμόρφωσης μιας εικόνας ή πλαισίου λόγω των λαθών στην μετάδοση, σε σύγκριση με την αρχική εικόνα η πλαίσιο. Αναφέρονται διάφοροι τρόποι ορισμού του [31, 4], ένας από τους οποίους δίνεται από τη σχέση:

$$PSNR(dB) = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE}$$

όπου  $n$  είναι ο αριθμός των bits που απαιτούνται για την αναπαράσταση ενός εικονοστοιχείου και MSE το μέσο τετραγωνικό λάθος ανάμεσα στο παραμορφωμένο και το αρχικό πλαίσιο.

## 6.3 Διόρθωση και απόκρυψη λαθών

Για την διόρθωση των λαθών σε ένα σύστημα μετάδοσης video χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως η προαναφερθείσα εμπρόσθια διόρθωση λάθους και η αυτόματη αίτηση επανάληψης (Automatic Repeat Request – ARQ).

Η εμπρόσθια διόρθωση λάθους αναφέρεται σε ένα σύνολο τεχνικών οι οποίες στέλνουν κατά τη μετάδοση έναν επιπλέον αριθμό bits, τα οποία και χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό και τη διόρθωση πιθανών λαθών. Τέτοιες τεχνικές είναι οι κωδικοποιήσεις Hamming, Bose Chaudhuri Hocquenhem (BCH) και Reed-Solomon.

Η αυτόματη αίτηση επανάληψης συνίσταται στην αποστολή από τον πομπό στο δέκτη, για δεύτερη φορά, της πληροφορίας που έφτασε στο δέκτη με λάθη, μετά από αίτηση του τελευταίου. Γενικά, δεν προτείνεται για την περίπτωση μετάδοσης πληροφορίας video, εφόσον αυτή πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, ωστόσο έχουν προταθεί ορισμένα συστήματα ασύρματης μετάδοσης video που τη χρησιμοποιούν.

Ένα άλλο σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται αναφέρονται στην απόκρυψη λαθών την οποία εκτελεί ο αποκωδικοποιητής. Στην περίπτωση αυτή η κατεστραμμένη από λάθη περιοχή της εικόνας ανασυντίθεται με χρήση πληροφορίας από τις γειτονικές της, στο χώρο ή το χρόνο, περιοχές. Η χρήση τεχνικών απόκρυψης λαθών γενικά αυξάνει την πολυπλοκότητα του αποκωδικοποιητή [4].



## **7. Το σύγχρονο τοπίο στις ασύρματες video επικοινωνίες – Υπάρχοντα συστήματα και τάσεις**

Στις μέρες μας, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι επικρατούν δύο τάσεις σε ότι αφορά τον ορισμό της έννοιας των ασύρματων video επικοινωνιών. Από τη μια μεριά υπάρχουν ορισμένες εταιρίες οι οποίες κατασκευάζουν και εμπορεύονται αναλογικά συστήματα μετάδοσης video, για τις οποίες ο όρος «ασύρματες video επικοινωνίες» περιγράφει αυτά ακριβώς τα συστήματά τους. Από την άλλη, υπάρχει η άποψη της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας, όπως αυτή εμφανίζεται μέσα από τα διάφορα papers, για την οποία ο όρος περιγράφει ψηφιακά συστήματα, ενώ ο κύριος στόχος της έρευνας είναι η μελέτη τέτοιων συστημάτων με κατεύθυνση προς τη λειτουργία τους σε συνδυασμό με τα υπάρχοντα ή μελλοντικά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών, στα πλαίσια μιας ολοκληρωμένης παροχής πολυμεσικών υπηρεσιών.

Παρακάτω γίνεται αναφορά και στις δύο αυτές τάσεις.

### **7.1 Αναλογικά συστήματα**

Πολλές εταιρίες σήμερα [24, 26, 27] κατασκευάζουν και εμπορεύονται αναλογικά συστήματα μετάδοσης video. Τα τυπικά συστατικά ενός τέτοιου συστήματος είναι κάποια κάμερα, πομπός, δέκτης, κεραίες εκπομπής και λήψης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν τις ISM μπάντες συχνοτήτων, όπως αυτές περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2, ενώ μπορεί να είναι συμβατά με τα συστήματα NTSC και PAL, κατ' επιλογή. Οι πομποί μπορεί να έχουν πολύ μικρό μέγεθος, ακόμα και διαστάσεις σπирτόκουτου, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο, εφόσον το υποσύστημα κάμερας – πομπού μπορεί να είναι κινούμενο, για παράδειγμα να βρίσκεται στο βραχίονα κάποιου ρομπότ.

### **7.2 Μετάδοση ψηφιακού video μέσω δικτύων κινητής τηλεφωνίας**

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας της δεύτερης γενιάς, τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα, σχεδιάστηκαν βασικά για τη μετάδοση φωνής και

κειμένου. Ως εκ τούτου, δεν παρέχουν το απαιτούμενο εύρος φάσματος για τη μετάδοση σήματος video, ακόμα και σε συμπιεσμένη μορφή. Τα συστήματα δεύτερης γενιάς, μαζί με τον ρυθμό μετάδοσης που το καθένα υποστηρίζει, παρουσιάζονται στο σχήμα 7.1

Σύστημα	Προέλευση	Ρυθμός μετάδοσης φωνής
GSM	Ευρώπη	13 Kbps
DCS-1800	Ευρώπη	13 Kbps
Qualcomm CDMA	Η.Π.Α.	1.2 - 9.6 Kbps
IS-54	Η.Π.Α.	7.95 Kbps
JDC	Ιαπωνία	6.7 Kbps
CT2	Μεγάλη Βρετανία	32 Kbps
DECT	Ευρώπη	32 Kbps
PHS	Ιαπωνία	32 Kbps
PACS	Η.Π.Α.	32 Kbps

Σχήμα 7. 1 Συστήματα 2ης γενιάς

Παρά το γεγονός ότι το εύρος φάσματος των καναλιών των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς δεν είναι εν γένει αρκετό για μετάδοση video, έχει γίνει προσπάθεια για την επίτευξη συμπίεσης τέτοιας ώστε να είναι δυνατή μια τέτοια μετάδοση και έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά [12], με τη χρήση μεθόδων κωδικοποίησης διαφορετικών από τα πρότυπα που έχουμε περιγράψει, ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 8.52 και 11.36 Kbps για ανάλυση QCIF και ρυθμό 10 πλαισίων ανά εικόνα. Ωστόσο, είναι αμφίβολο κατά πόσο κάποιος κατασκευαστής θα προχωρούσε στην υλοποίηση κάποιας συσκευής, τύπου PDA (Personal Digital Assistant) η οποία να έχει τη δυνατότητα εκπομπής και λήψης σήματος video κάτω από αυτούς τους περιορισμούς.

Η έκρηξη αυτού του είδους των επικοινωνιών αναμένεται να γίνει με την υιοθέτηση των συστημάτων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς, όπως το PCS (Personal Communications System) στις Η.Π.Α., που θα παρέχουν καλύτερες συνθήκες για μετάδοση σήματος video, με τη χρήση προτύπων όπως το H.263. Προς αυτήν την κατεύθυνση εστιάζει την προσοχή της η παγκόσμια ερευνητική κοινότητα ενώ κάποια πρώτα σημάδια ενδιαφέροντος αρχίζουν να φαίνονται και από τον κόσμο των εταιριών, όπως για παράδειγμα με τη συνεργασία των εταιριών PacketVideo και Sprint [22] για την κατασκευή και εμπορία υλικού και λογισμικού για ασύρματη μετάδοση video πάνω από συστήματα τρίτης γενιάς.

## 8. Επίλογος

Το θέμα των ασύρματων video επικοινωνιών είναι πολύ ευρύ και ενσωματώνει ένα μεγάλο πλήθος τεχνολογικών θεμάτων. Τα, χωρικά και χρονικά, πλαίσια μιας εργασίας σαν κι αυτή είναι πολύ στενά για να τα χωρέσουν. Ασχοληθήκαμε με ένα μικρό κομμάτι μόνο από αυτά.

Η αναλογική μετάδοση σήματος video, αποτελεί μια ώριμη πλέον τεχνολογία, μετά από εξήντα και πλέον χρόνια από την πρώτη εκπομπή ασπρόμαυρης τηλεόρασης. Πολλά εμπορικά συστήματα στηρίζονται ακόμη και σήμερα στις ίδιες βασικές αρχές για την επίτευξη ασύρματης μετάδοσης σήματος video, μεταξύ κάποιου πομπού και κάποιου δέκτη.

Η κυριότερη όμως τάση που επικρατεί σήμερα αλλά θα επικρατήσει και στο μέλλον είναι η μετάδοση ψηφιακού σήματος video. Το σήμα αυτό πρέπει να υποστεί κάποιας μορφής συμπίεση πριν τη μετάδοσή του, αλλιώς ο ρυθμός δεδομένων του είναι υπερβολικά μεγάλος για μετάδοσή του πάνω μέσα από τους τηλεπικοινωνιακούς διαύλους που υπάρχουν στην πράξη. Η εξάλειψη των λαθών που συμβαίνουν στο σήμα αυτό όταν μεταδίδεται μέσα από ασύρματα κανάλια είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα που χρίζει ιδιαίτερης προσοχής και έχει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς δεν ευνοούν τη μετάδοση σήματος video μέσω αυτών. Τα υπό ανάπτυξη συστήματα τρίτης γενιάς υπόσχονται αυτήν την δυνατότητα. Το ερευνητικό, αλλά και εμπορικό, ενδιαφέρον προς αυτήν την κατεύθυνση είναι πολύ μεγάλο. Ίσως να μην είμαστε μακριά από τη μέρα που ο καθένας από μας να μπορεί να επικοινωνεί χρησιμοποιώντας και video, μαζί με ήχο, κείμενο και δεδομένα με οποιονδήποτε και από οπουδήποτε.

## 9.Βιβλιογραφία

### 9.1 Βιβλία

- 1) Σταμάτης Κουρής, *Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών και Διαδόσεως Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994
- 2) Δημήτριος Χρυσουλίδης, *Εισαγωγή στη Θεωρία Πληροφοριών*, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1991
- 3) Ronald de Bruin, Jan Smits, *Digital Video Broadcasting: Technology, Standards and Regulations*, Artech House, 1999
- 4) Martyn J. Riley, Iain E.G. Richardson, *Digital Video Communications*, Artech House, 1997
- 5) Richard Schaphorst, *Videoconferencing and Videotelephony, Technology and Standards*, Artech House, 1996
- 6) Charles A. Poynton, *A Technical Introduction to Digital Video*, John Wiley & Sons, Inc., 1996
- 7) K. Sam Shanmugan, *Ψηφιακά και Αναλογικά Συστήματα Επικοινωνίας*, Μετάφραση Κ. Καρούμπαλου, Έκδοση Γ. Πνευματικού, Αθήνα
- 8) Andrew S. Tannenbaum, *Δίκτυα Υπολογιστών*, Δεύτερη έκδοση, Παπασωτηρίου, Prentice Hall International, 1992
- 9) Σταύρος Μ. Πανάς, *Επεξεργασία Αναλογικών Σημάτων*, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1996
- 10) Kenneth C. Laudon, Jane P. Laudon, *Management Information Systems*, Sixth Edition, Prentice Hall, 2000

### 9.2 Πηγές στο διαδίκτυο

- 11) <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk> : Σελίδα σχετική με την έρευνα σε κινητά πολυμέσα (mobile multimedia research) στο πανεπιστήμιο του Southampton. Ασχολείται με πολλά θέματα, ένα από τα οποία είναι και η κωδικοποίηση video.
- 12) <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/hanzo/papers/comms-mag.html> : Περιέχει σε downloadable μορφή ένα paper των L. Hanzo και P.Cherriman με τίτλο *Interactive Cellular and Cordless Video Communications*.

- 13) <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/hanzo/papers/ieee-proc-multimedia.html> : Περιέχει σε downloadable μορφή ένα paper του L. Hanzo με τίτλο *Bandwidth-Efficient Wireless Multimedia Communications*.
- 14) <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/peter/links/work.html> : Εδώ περιέχεται πλήθος από links για θέματα σχετικά με κωδικοποίηση video, αλλά και ευρύτερου περιεχομένου.
- 15) <http://www-mobile.ecs.soton.ac.uk/books/videobook.html> : Εδώ υπάρχουν τα περιεχόμενα ενός βιβλίου των L.Hanzo, P.Cherriman και J.Streit με τίτλο *Wireless Video Communications: Second to Third Generation Systems and Beyond*. Αξιόλογο σαν σημείο αναφοράς.
- 16) <http://archive.dstc.edu.au/RDU/staff/jane-hunter/video-streaming.html> : Άρθρο των Jane Hunter, Varuni Witana και Mark Antoniadis με τίτλο *A Review of Video Streaming over the Internet*.
- 17) <http://projects.elis.org/mpp/players-comparison.htm> : Περιέχει έναν πίνακα σύγκρισης των διφόρων streaming video players για Windows.
- 18) <http://www.terran.com/CodecCentral/Codecs/index.html> : Το site αυτό περιέχει μια, αρκετά γενικευμένη, παρουσίαση των κυριότερων CODECs.
- 19) <http://www.columbia.edu/cu/moment/110195/video.html> : Άρθρο του Vaibhav Mangrulkar με τίτλο *Video Compression*.
- 20) <http://www.crs4.it/HTML/LUIGI/MPEG/mpegfaq.html> : Συλλογή από πληροφορίες που προσπαθούν να απαντήσουν σε συνήθεις ερωτήσεις σχετικές με τα πρότυπα κωδικοποίησης της οικογένειας MPEG.
- 21) <http://computer.org/proceedings/dcc/0096/00960414abs.htm> : Paper σε downloadable μορφή των Leiming Qian, Douglas L Jones, Kennan Ramchadran και Swaroop Appadwelda με τίτλο *A General Joint Source-Channel Matching Method for Wireless Video Transmission*.
- 22) <http://www.pcworld.com/news/article.asp?aid=18634> : Άρθρο στο PCWorld της Laura Rodhe με τίτλο *Sprinting Towards Wireless Video*. Αναφέρεται στη σύναψη συνεργασίας μεταξύ των εταιριών Sprint και PacketVideo για την ανάπτυξη υπηρεσιών ασύρματου ψηφιακού video.
- 23) <http://www.fcc.gov/> : Επίσημο site της FCC (Federal Communications Commission)

- 24) <http://www.premierwirelessinc.com/index.htm> : Δικτυακός τόπος της εταιρίας Premier Wireless, Inc. που κατασκευάζει συστήματα αναλογικής μετάδοσης video.
- 25) [http://www.premierwirelessinc.com/wireless\\_article.htm](http://www.premierwirelessinc.com/wireless_article.htm) : Άρθρο του Michael Long, προέδρου της Premier Wireless Inc., με τίτλο *Wireless Video Communications, Applications and Technology*.
- 26) <http://www.cocom.com/index.htm> : Δικτυακός τόπος της εταιρίας Coherent Communications Inc. κατασκευάστριας συστημάτων αναλογικής μετάδοσης video.
- 27) <http://www.trangosys.com/> : Δικτυακός τόπος της εταιρίας Trango Systems Inc. που επίσης κατασκευάζει συστήματα αναλογικής μετάδοσης video.
- 28) <http://www.sciencedirect.com/> - K. Fazel, P. Robertson, O. Klank, F. Vanselow, *Concept of a Wireless Indoor Video Communications System*, Signal Processing: Image Communication 12 (1998), 193-208.
- 29) <http://www.sciencedirect.com/> - Edson D.S. Moreira, Walter S. Encinas, Alexandre C.B. Ramos, *Bringing Wireless Video into Networked Multimedia Systems*, Displays 17 (1997) 207-215
- 30) <http://www.sciencedirect.com/> - Gwang Hoon Park, Yoon Jin Lee, Steven R. LeClair, *Intelligent Rate Control for MPEG-4 Coders*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 13 (2000) 565-575
- 31) <http://www.sciencedirect.com/> - Pankaj Batra, Shih-Fu Chang, *Effective Algorithms for Video Transmission over Wireless Channels*, Signal Processing: Image Communication 12 (1998) 147-166