Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«Σχεδίαση Συστημάτων Αυθεντικότητας Πολυμεσικών Δεδομένων»

Ζυγομήτρος Αθανάσιος (Α.Μ. 159)

Επιβλέπων Καθηγητής: Ψαράκης Εμμανουήλ

Πάτρα

Ιούνιος 2004

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	7039

Περιεχόμενα

Δομή της Εργασίας

Η παρούσα εργασία μελετά το πρόβλημα του ελέγχου αυθεντικότητας και των πνευματικών δικαιωμάτων στα πολυμέσα. Η μέθοδος της υδατογράφησης είναι μια λύση που προτείνεται από πολλούς ερευνητές διότι ενσωματώνει την ασφάλεια πάνω στα πολυμέσα και παραμένει εκεί (σε αντίθεση για παράδειγμα με την κρυπτογραφία όπου η ασφάλεια χάνεται μετά την αποκρυπτογράφηση). Η εργασία πρέπει να αντιμετωπισθεί σαν εισαγωγή στα πολυμέσα και την ψηφιακή υδατογράφηση. Ειδικότερα αυτή η εργασία ασχολείται με τον έλεγχο αυθεντικότητας και τα πνευματικά δικαιώματα στις εικόνες.

Η παρούσα εργασία περιέχει τα εξής:

Το Πρώτο Κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή στα πολυμέσα όπου ο αναγνώστης θα έρθει σε επαφή με τις βασικές έννοιες των πολυμέσων που είναι απαραίτητες για την καλύτερη κατανόηση της εργασίας. Το Δεύτερο Κεφάλαιο αρχικά περιγράφει το νομικό πλαίσιο που ισχύει για τα πνευματικά δικαιώματα και συνεχίζει με την ιστορία του υδατογραφήματος και το πώς αυτό εξελίχθηκε σε ψηφιακό υδατογράφημα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η τυπική δομή ενός συστήματος υδατογράφησης και αναλύονται οι ιδιότητές του. Στο Τρίτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι παραμορφώσεις και οι επιθέσεις που συνήθως δέχεται μια υδατογραφημένη εικόνα είτε ακούσια είτε εκούσια. Στο Τέταρτο Κεφάλαιο υπάρχει ο αλγόριθμος ενσωμάτωσης και εξαγωγής υδατογραφήματος ενός συστήματος υδατογράφησης καθώς και τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση επιθέσεων στο σύστημα αυτό. Τέλος το Παράρτημα της εργασίας περιέχει τον κώδικα του αλγορίθμου σε MATLAB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΠΟΛΥΜΕΣΑ

1. ΠΟΛΥΜΕΣΑ

1.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη εισαγωγή στον κόσμο των πολυμέσων. Το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκαν στο κεφάλαιο αυτό προέρχονται από το δικτυακό τόπο [Δ1] και από το [29].

Τα πολυμέσα είναι μία από τις πιο πολυσυζητημένες τεχνολογίες των αρχών της δεκαετίας του '90. Το ενδιαφέρον αυτό είναι απόλυτα δικαιολογημένο, αφού αποτελούν το σημείο συνάντησης πέντε μεγάλων κλάδων: της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών, των ηλεκτρονικών εκδόσεων, της μουσικής βιομηχανίας καθώς και της βιομηχανίας της τηλεόρασης και του κινηματογράφου. Μια ανάλογη αναστάτωση επέφερε και η εμφάνιση της επιστήμης των δικτύων υπολογιστών στη δεκαετία του '70, φέρνοντας πιο κοντά την πληροφορική με τις τηλεπικοινωνίες. Αυτή η προσέγγιση οδήγησε σε προϊόντα που στόχευαν κυρίως την αγορά των επιχειρήσεων. Τα πολυμέσα έκαναν κάτι περισσότερο, διεύρυναν την αγορά των προϊόντων των παραπάνω βιομηχανιών που πλέον στοχεύουν και στους καταναλωτές.

Η πληθώρα και η ποικιλία των νέων προϊόντων καθώς και η προσπάθεια εκμετάλλευσης του ενδιαφέροντος που επέδειξε το αγοραστικό κοινό για την τεχνολογία των πολυμέσων συνετέλεσαν στη σύγχυση που υπάρχει ακόμα και σήμερα όσον αφορά στο τι είναι και τι δεν είναι ένα σύστημα πολυμέσων.

Μια καλή αρχή για τον καθορισμό του όρου είναι η ανάλυση της ετυμολογίας του.

1.1.1. Ετυμολογία

Ο αγγλικός όρος, που εδώ έχει αποδοθεί ως *πολυμέσα*, είναι *multimedia*. Ο όρος αυτός αποτελείται από δύο μέρη: το πρόθεμα *multi* και τη ρίζα *media*.

Multi: προέρχεται από τη λατινική λέξη *multus* και σημαίνει "πολυάριθμος", "πολλαπλός".

Media: είναι ο πληθυντικός αριθμός της επίσης λατινικής λέξης *medium* που σημαίνει "μέσο", "κέντρο". Πιο πρόσφατα η λέξη *medium* άρχισε να χρησιμοποιείται και ως "ενδιάμεσος", "μεσολαβητής".

Κατά συνέπεια ο ορισμός που προκύπτει είναι: Multimedia σημαίνει "πολλαπλοί μεσολαβητές" ή "πολλαπλά μέσα" και χρησιμοποιείται είτε ως ουσιαστικό είτε ως επίθετο.

1.1.2. Ορισμός

Η πρώτη προσέγγιση του ορισμού δεν μας λέει και πολλά πράγματα. Μπορούμε όμως να τον βελτιώσουμε αναλογιζόμενοι τον τρόπο χρήσης των όρων multi και media. Ο αγγλικός όρος media χρησιμοποιείται σε πολλούς οικονομικούς, τεχνικούς και επιστημονικούς τομείς με διαφορετικές σημασίες. Το κοινό σημείο αυτών των χρήσεων είναι ότι σχετίζονται πάντοτε με κάποιο είδος χειρισμού πληροφορίας:

- *Αποθήκευση και επεξεργασία* στην πληροφορική
- *Παραγωγή* στο χώρο των εκδόσεων
- *Διανομή* στο χώρο των μαζικών μέσων επικοινωνίας

- *Μετάδοση* στις τηλεπικοινωνίες
- *Αντίληψη* κατά την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το περιβάλλον του.

Κατά συνέπεια μπορούμε να βελτιώσουμε τον ορισμό ως εξής:

Πολυμέσα στο πεδίο της τεχνολογίας πληροφορίας (information technology field) σημαίνει "πολλαπλοί μεσολαβητές" μεταξύ της πηγής και του παραλήπτη της πληροφορίας ή "πολλαπλά μέσα" μέσω των οποίων η πληροφορία αποθηκεύεται, μεταδίδεται, παρουσιάζεται ή γίνεται αντιληπτή.

Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό ένα σύστημα που συνδυάζει, για παράδειγμα, τον έλεγχο βιντεοκασέτας και οπτικών μέσων αποθήκευσης μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολυμεσικό σύστημα. Επίσης συστήματα πολυμέσων θα είναι η εφημερίδα, που συνδυάζει κείμενο και εικόνα, και η τηλεόραση, που συνδυάζει ήχο και κινούμενη εικόνα. Εδώ δεν αναφερόμαστε σε τόσο ευρύ φάσμα συστημάτων. Περιοριζόμαστε σε αυτά στα οποία η πληροφορία είναι *ψηφιακή* (ή ψηφιοποιημένη - digitized) και *ελέγχεται από υπολογιστή*. Ενδιαφερόμαστε δηλαδή για *ψηφιακά πολυμέσα* τα οποία και ορίζουμε ως εξής:

Ψηφιακά πολυμέσα είναι ο τομέας που ασχολείται με την ελεγχόμενη από υπολογιστή ολοκλήρωση κειμένου, γραφικών, ακίνητης και κινούμενης εικόνας, animation, ήχου και οποιουδήποτε άλλου μέσου ψηφιακής αναπαράστασης, αποθήκευσης, μετάδοσης και επεξεργασίας της πληροφορίας.

Επειδή στη συνέχεια θα ασχοληθούμε μόνο με τα ψηφιακά πολυμέσα, θα χρησιμοποιούμε τον όρο *πολυμέσα* εννοώντας τα *ψηφιακά πολυμέσα*. Επίσης ως *μέσο* θα εννοούμε τους διαφορετικούς *τύπους* πληροφορίας που αναφέρει ο παραπάνω ορισμός.

Διαβάζοντας αυτόν τον ορισμό, δημιουργείται το ερώτημα: ποιους και πόσους τύπους πληροφορίας πρέπει να συνδυάζει ένα σύστημα, για να μπορεί δίκαια να χαρακτηρίζεται ως σύστημα πολυμέσων; Όπως είναι φανερό, η απάντηση σε αυτό το ερώτημα δεν μπορεί να είναι αυστηρή, γιατί δεν έχει γίνει κάποια συμφωνία πάνω στον ορισμό των πολυμέσων. Όμως στην πράξη έχουν δημιουργηθεί κάποιοι de facto κανόνες που καθορίζουν τί πρέπει να περιλαμβάνει ένα σύστημα πολυμέσων ανάλογα με το είδος της εφαρμογής. Σαν κατευθυντήρια γραμμή μπορούμε να δώσουμε τον παρακάτω ορισμό:

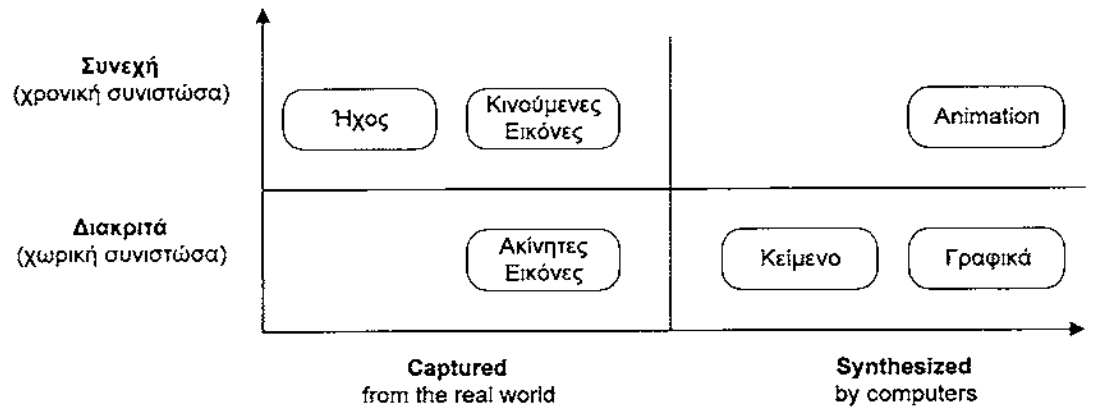
Στην πράξη, *ο όρος πολυμέσα υπονοεί την "ολοκλήρωση" ενός τουλάχιστον "διακριτού" τύπου πληροφορίας και ενός "συνεχούς".*

Στον παραπάνω ορισμό έχει γίνει διαχωρισμός των τύπων πληροφορίας σε διακριτό και συνεχή. Ένας άλλος διαχωρισμός είναι σε captured και synthesized μέσα. Ας δούμε τι σημαίνουν αυτοί οι διαχωρισμοί (Σχήμα 1.1):

- Captured versus synthesized media
  - Αυτός ο διαχωρισμός αναφέρεται στον τρόπο μεταφοράς της πληροφορίας, στη μορφή που υπαγορεύει ο κάθε τύπος. Αν η πληροφορία συλλαμβάνεται απευθείας από τον πραγματικό κόσμο μιλάμε για captured media, ενώ αν δημιουργείται από τον άνθρωπο μέσω κάποιων εργαλείων έχουμε τα συνθετικά μέσα. Για παράδειγμα, μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή ή ένας scanner μεταφέρει αυτόματα την εικόνα ενός αντικειμένου σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για χρήση στον υπολογιστή. Δηλαδή οι εικόνες είναι captured media. Το κείμενο από την άλλη μεριά, όταν αυτό πληκτρολογείται στον υπολογιστή είναι συνθετικό μέσο. Αν όμως λαμβάνεται μέσω scanner και προγράμματος OCR πρέπει να θεωρηθεί ως captured.

- Discrete versus continuous media

Όταν ένας τύπος πληροφορίας έχει μόνο χωρική διάσταση ονομάζεται διακριτός (discrete). Αν υπάρχει και η συνιστώσα του χρόνου ονομάζεται συνεχής (continuous). Για παράδειγμα, οι εικόνες, το κείμενο και τα γραφικά είναι διακριτά, ενώ το βίντεο, ο ήχος και το animation είναι συνεχή.



Σχήμα 1.1 Ταξινόμηση ειδών πληροφορίας

Όλα αυτά τα μέσα που έχουν αναφερθεί ως τώρα απευθύνονται σχεδόν αποκλειστικά στην όραση και στην ακοή του ανθρώπου. Ένα σύστημα πολυμέσων δεν περιέχει απαραίτητα πληροφορίες για παραπάνω από μια αισθήσεις, παρόλο που κάτι τέτοιο είναι γενικά επιθυμητό.

1.2. Πολυμέσα

Τα **πολυμέσα (multimedia)** είναι μια τεχνολογία της πληροφορικής που πολυσυζητήθηκε στη δεκαετία του 90. Ο όρος πολυμέσα σχετίζεται με τη συνύπαρξη και τη χρήση περισσότερων των δύο βασικών μέσων αναπαράστασης της πληροφορίας, όπως είναι το κείμενο, ο ήχος, η εικόνα, η κινούμενη εικόνα και το βίντεο, τα οποία συνδυάζονται στις εφαρμογές με κανόνες της αισθητικής, της ψυχολογίας και γενικώς της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Στο παρελθόν, οι εφαρμογές πολυμέσων απαιτούσαν εξειδικευμένο και κατά κανόνα ακριβό υλικό, το οποίο ήταν ειδικά σχεδιασμένο και είχε δυσκολίες εγκατάστασης. Οι μεγάλες όμως εξελίξεις στο χώρο του υλικού και του λογισμικού συντέλεσαν, ώστε όλοι οι υπολογιστές σήμερα να μπορούν να εκμεταλλεύονται τα προτερήματα της τεχνολογίας πολυμέσων. Τα πολυμέσα έδωσαν νέα πνοή στα υπολογιστικά συστήματα και τα μετέτρεψαν από ψυχρά υπολογιστικά εργαλεία σε μέσα ψυχαγωγίας, μέσα διασκέδασης με εκπαιδευτικούς και επιμορφωτικούς στόχους, μέσα παροχής κάθε μορφής πληροφορίας και μέσα επικοινωνίας. Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία, ότι ο συνδυασμός διαφορετικών μέσων επικοινωνίας είναι αποδοτικότερος και ότι όσο περισσότερες από τις αισθήσεις μας χρησιμοποιούνται τόσο περισσότερη πληροφορία μπορεί να αφομοιωθεί.

1.2.1. Αλληλεπιδραστικότητα - Διαλογικά πολυμέσα

Οι περισσότερες εφαρμογές πολυμέσων έχουν ως βασική προδιαγραφή τη διευκόλυνση της επικοινωνίας με το χρήστη και γι' αυτό χαρακτηρίζονται από **διαλογικότητα ή αλληλεπιδραστικότητα (interactivity).** Η ύπαρξη αυτού του χαρακτηριστικού σε μια εφαρμογή σημαίνει ότι ο χρήστης δεν είναι απλός παρατηρητής της πληροφορίας που του παρέχεται, αλλά ενεργό στοιχείο που του δίνεται η δυνατότητα να παρεμβαίνει στη ροή της πληροφορίας, να επιλέγει ποια πληροφορία θα παρακολουθήσει, να θέτει ερωτήματα στην εφαρμογή και να παίρνει απαντήσεις, να απαντάει σε ερωτήματα που του θέτει η εφαρμογή κ.ά. Η πληροφορία μπορεί να παρουσιαστεί σε ένα χρήστη:

- **Παθητικά:** Στην παθητική παρουσίαση η σειρά προβολής της πληροφορίας είναι προκαθορισμένη και συνεχής. Ο χρήστης, στην καλύτερη των περιπτώσεων, έχει τον έλεγχο εκκίνησης ή τερματισμού της εφαρμογής.
- **Αλληλεπιδραστικά:** Στην αλληλεπιδραστική παρουσίαση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίζει την ταχύτητα, τη μορφή παρουσίασης της πληροφορίας, τη διαδρομή του μέσα στην εφαρμογή και να επεμβαίνει δυναμικά προσθέτοντας ή αφαιρώντας δομικά στοιχεία πολυμέσων.

Ο βασικός στόχος εισαγωγής αλληλεπιδραστικότητας στις εφαρμογές είναι η δυνατότητα προσαρμογής της παρουσίασης της πληροφορίας στις ατομικές ανάγκες του κάθε χρήστη. Απώτερος σκοπός της αλληλεπιδραστικότητας είναι να καταστήσει τα πληροφοριακά συστήματα περισσότερο φιλικά στο χρήστη.

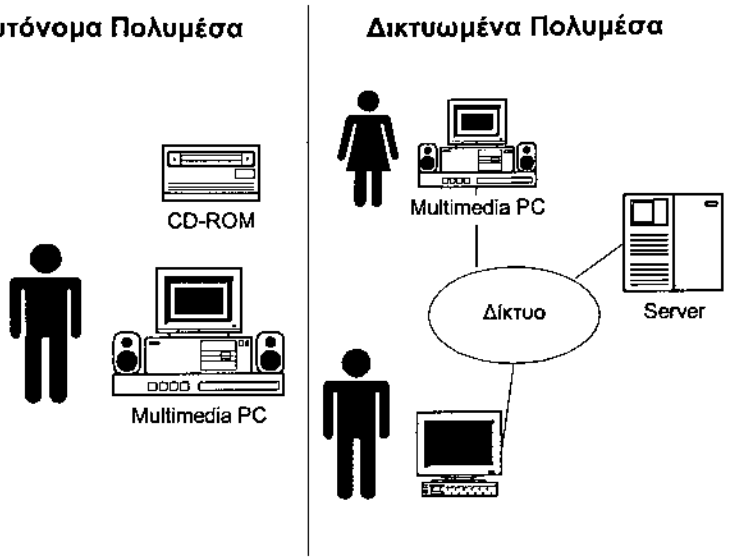
1.2.2. Αυτόνομα και Δικτυωμένα Πολυμέσα

Ο όρος αυτόνομα ή τοπικά πολυμέσα αναφέρεται σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν μόνο τον υπολογιστή στον οποίο τρέχουν. Κατά συνέπεια, ο υπολογιστής αυτός πρέπει να έχει όλες τις απαραίτητες υπομονάδες όπως:

- επεξεργαστή (όχι τερματικό δηλαδή)
- καλής ποιότητας σύστημα γραφικών και ήχου (ηχεία, μικρόφωνο)
- αρκετά αποθηκευτικά μέσα (κάποιας μορφής οπτικό δίσκο, συνήθως CD-ROM)

Πολλές όμως φορές είναι επιθυμητό οι εφαρμογές πολυμέσων να επικοινωνούν μέσω δικτύου με άλλους υπολογιστές για δύο λόγους:

- Την υποστήριξη εφαρμογών οι οποίες είναι εγγενώς δικτυακές. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο πολυμέσων και η τηλεδιάσκεψη.
- Την υλοποίηση του μοντέλου πελάτη-εξυπηρετητή (client-server). Πολλές φορές αν και μια εφαρμογή πολυμέσων μπορεί κάλλιστα να υλοποιηθεί σε έναν υπολογιστή μόνο, για λόγους οικονομίας του υλικού, είναι επιθυμητό να μπορεί να αξιοποιεί και υποσυστήματα που ανήκουν σε άλλους υπολογιστές. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η ύπαρξη ενός υπολογιστή με μεγάλα αποθηκευτικά μέσα (εξυπηρετητής), προσπελάσιμα μέσω δικτύου και από άλλους υπολογιστές με περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης (πελάτες).



Σχήμα 1.2 Αυτόνομα και δικτυωμένα πολυμέσα

1.3. Δομικά στοιχεία εφαρμογών πολυμέσων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, τα πολυμέσα έχουν σαν κύριο χαρακτηριστικό τους την αρμονική συνύπαρξη διαφορετικών τύπων πληροφοριών. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιασθούν τα πολυμεσικά στοιχεία ή αλλιώς τα δομικά στοιχεία των πολυμέσων: το κείμενο, ο ήχος, η εικόνα, η κινούμενη εικόνα και το βίντεο.[23]

1.3.1. Κείμενο

Το κείμενο ήταν ο πρώτος τρόπος απεικόνισης της πληροφορίας σε υπολογιστή και παραμένει μέχρι σήμερα ο βασικός φορέας μεταφοράς της πληροφορίας. Αν και ο ήχος, η εικόνα και το βίντεο χρησιμοποιούνται πλέον συνδυασμένα στις εφαρμογές πολυμέσων, συνεισφέροντας το καθένα με το δικό του τρόπο στη μετάδοση μηνυμάτων, το κείμενο συνεχίζει να παίζει σημαντικό ρόλο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους τίτλους, στις επικεφαλίδες, στις επιλογές, στην πλοήγηση και φυσικά στο περιεχόμενο της εφαρμογής. Σημαντικό στοιχείο στην εμφάνιση ενός κειμένου αποτελεί η μορφοποίησή του. Η μορφοποίηση του κειμένου καθορίζεται από τη γραμματοσειρά (font), τη μορφή και το στυλ. Μερικές τυπικές οικογένειες γραμματοσειρών είναι οι Helvetica,Times, Courier, Arial, κ.ά. Τυπικά στυλ (styles) γραμματοσειρών είναι: το έντονο (boldface), το πλάγιο (italic), το υπογραμμισμένο (underlining), το περιγεγραμμένο (outlining). Τα μεγέθη (sizes) των γραμματοσειρών καθορίζονται σε στιγμές (points). Μια στιγμή είναι ίση με το 1/72 της ίντσας ή περίπου 0.0138 ίντσες.

Εικόνα 1.3: Απεικόνιση χαρακτήρα με διαφορετικές γραμματοσειρές.

Τέλος, οι γραμματοσειρές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες

- **Ψηφιογραφικές (bitmap fonts)** - είναι ο πρώτος τύπος γραμματοσειρών που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογιστές. Βασικό πλεονέκτημα των γραμματοσειρών αυτού του τύπου είναι η γρήγορη επεξεργασία και απεικόνιση. Μειονεκτήματά τους είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε χώρο αποθήκευσης, η χαμηλή ποιότητα μετά από κάποιο μετασχηματισμό (μεγέθυνση, περιστροφή) και η εξάρτηση από τη συσκευή εξόδου. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι γραμματοσειρές System των Windows.

Σχήμα 1.4 Ψηφιογραφική Γραμματοσειρά

- **Διανυσματικές (vector fonts)** - είναι οι ορισμένες με μαθηματικό τρόπο γραμματοσειρές. Χαρακτηριστικό τους πλεονέκτημα είναι ότι δεν παρουσιάζουν ατέλειες κατά τους μετασχηματισμούς τους. Μειονέκτημά τους είναι ο αυξημένος χρόνος αναπαράστασης. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλες οι γραμματοσειρές τεχνολογίας Postscript Type 1 της Adobe και της τεχνολογίας TrueType των Microsoft και Apple.

Σχήμα 1.5 Διανυσματική Γραμματοσειρά

1.3.2. Ήχος

Ο ήχος είναι το στοιχείο των πολυμέσων το οποίο μπορεί να μεταδώσει μεγάλο όγκο πληροφορίας στη μονάδα του χρόνου. Μέχρι σήμερα, δεν έχει δοθεί η απαραίτητη σημασία στον ήχο από τους παραγωγούς πολυμέσων. Εντούτοις, ο συνδυασμός του ήχου με εικόνες, βίντεο και κινούμενη εικόνα μπορεί να δώσει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Ο ήχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκφώνηση οδηγιών, αφήγηση κειμένου, υποβλητική μουσική επένδυση, εντυπωσιακή χροιά με ειδικά εφέ κ.α. Ιδιαίτερα σε εκπαιδευτικές εφαρμογές και σε περίπτερα πληροφοριών (info kiosks), η αφήγηση και ο σχολιασμός όσων παρουσιάζονται στην οθόνη βοηθά σημαντικά στην κατανόηση του μηνύματος, ενώ η κατάλληλη ηχητική υπόκρουση προδιαθέτει ευχάριστα το χρήστη.

Ο ήχος βελτιώνει αισθητά τις εικόνες και ειδικά τις κινούμενες. Για δεκαετίες η βιομηχανία του θεάματος εκμεταλλεύτηκε τις δυνατότητες του ήχου για να δημιουργήσει μια συγκεκριμένη ατμόσφαιρα και να χειριστεί τη διάθεση των θεατών με τη μουσική περιβάλλοντος και τα ειδικά εφέ. Ένας πολύ καλός ήχος χρησιμοποιείται συχνά για να βελτιώσει ένα κατά τα άλλα μέτριο οπτικό αποτέλεσμα, χωρίς να μπορεί να συμβεί το αντίθετο, καθώς καμία εντυπωσιακή σκηνή δεν μπορεί να αντισταθμίσει έναν φτωχό σε ποιότητα ήχο (ασυντόνιστος διάλογος, κακοτοποθετημένα ηχητικά εφέ).

Ηχητική επένδυση εφαρμογών πολυμέσων

Οι ήχοι που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές πολυμέσων υπάγονται σε δύο βασικές κατηγορίες: **ήχοι περιεχομένου** και **ήχοι περιβάλλοντος.** Οι ήχοι περιεχομένου παρέχουν πληροφορία στο κοινό και είναι ισοδύναμοι με τους διαλόγους που υπάρχουν στο θέατρο ή στον κινηματογράφο. Ο ήχος περιεχομένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως:

- **Αφήγηση:** Ο όρος αναφέρεται σε ήχους στους οποίους μια φωνή περιγράφει κάποια πληροφορία που σχετίζεται με το θέμα της παρουσίασης. Οι αφηγήσεις είναι πολύ χρήσιμες, όταν προσθέτουν πληροφορία σε σχέση με μία κινούμενη εικόνα, που παίζεται στην οθόνη.
- **Μαρτυρία:** Η μαρτυρία κάποιων ανθρώπων, είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με ένα βίντεο, μπορεί να τονίσει ένα σημείο μέσα σε μια παρουσίαση.
- **Εκφώνηση:** Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις στις οποίες χρειάζεται να δοθούν οδηγίες στο χρήστη για να κινηθεί σωστά μέσα σε μια εφαρμογή ή σε εξηγήσεις του τι θα ακολουθήσει σε μια παρουσίαση.
- **Μουσική:** Παίζει το ρόλο ήχου περιεχομένου όταν αποτελεί μέρος του θέματος της εφαρμογής που παρουσιάζεται (για παράδειγμα σε περιπτώσεις μουσικής εκπαίδευσης).

Οι ήχοι περιβάλλοντος δεν παρέχουν ουσιώδη πληροφορία περιεχομένου, αλλά θα πρέπει να τυγχάνουν της ίδιας προσοχής επειδή μπορούν να βελτιώσουν μια εφαρμογή, όπως μπορούν και να την υποβαθμίσουν. Οι ήχοι περιβάλλοντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- **Ενίσχυση μηνύματος:** Όταν, για παράδειγμα, γίνεται αναφορά σε θέματα σχετικά με τη φύση, τότε ήχοι πουλιών ή κυμάτων και γενικά φυσικοί ήχοι ενισχύουν το συνολικό μήνυμα και προσδίδουν στην εφαρμογή μια αίσθηση ρεαλισμού.
- **Μουσική επένδυση:** Το ξεκίνημα και το τελείωμα μιας παρουσίασης με μουσική συμβάλλει στη δημιουργία της σωστής ατμόσφαιρας, ώστε το κοινό να δεχτεί και να επεξεργαστεί πληρέστερα την πληροφορία.

• **Ηχητικά εφέ:** Είναι διαθέσιμη μια πλούσια γκάμα τέτοιων εφέ τα οποία όταν χρησιμοποιούνται στα σωστά σημεία και με τη σωστή συχνότητα προσδίδουν ζωντάνια στην εφαρμογή.

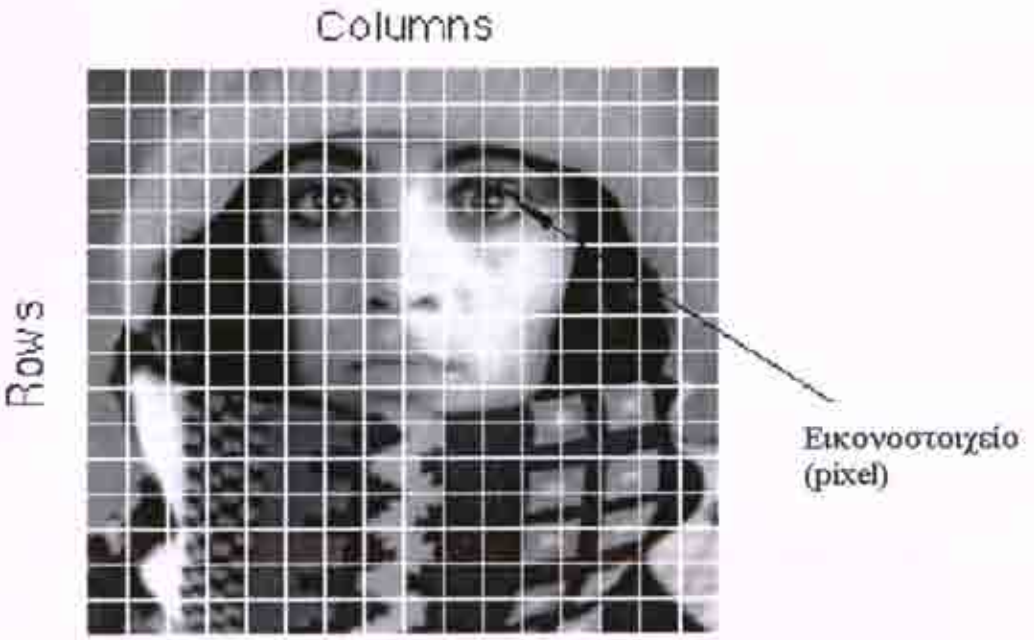
1.3.3. Γραφικά και στατική εικόνα

Η εικόνα έχει γίνει απαραίτητο στοιχείο κάθε σύγχρονης εφαρμογής ανεξάρτητα από το αν η ίδια αποτελεί ή όχι θεματικό αντικείμενο της εφαρμογής. Άλλωστε, αποτελεί πλέον κοινοτυπία ότι μια εικόνα αξίζει όσο χίλιες λέξεις.

Στους υπολογιστές οι εικόνες, τα εικονίδια, τα σχήματα, τα σχέδια και τα διαγράμματα χαρακτηρίζονται με τον όρο γραφικά (graphics). Τα γραφικά στοιχεία στην οθόνη μπορούν συνήθως να αλλάζουν μέγεθος κλιμακωτά, να χρωματίζονται, να γίνονται διαφανή, να τοποθετούνται μπροστά ή πίσω από άλλα αντικείμενα, ακόμα και να καθορίζεται το αν είναι ορατά ή αόρατα.

1.3.3.1. Βασικές έννοιες της ψηφιακής εικόνας

Μια ψηφιακή εικόνα I[m, n] είναι ορισμένη σε ένα *διακριτό* χώρο δύο διαστάσεων και τις περισσότερες φορές παράγεται από την ψηφιοποίηση μιας αναλογικής εικόνας I[x,y] που ορίζεται σε ένα *συνεχή* δισδιάστατο χώρο. Κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης η συνεχής εικόνα διαιρείται σε M γραμμές και N στήλες. Τα σημεία τομής των σειρών με τις στήλες είναι τα εικονοστοιχεία (pixels). Οι τιμές πληροφορίας που εκχωρούνται στα σημεία αυτά δημιουργούν την ψηφιακή εικόνα I[m, n] όπου m = 0, 1, 2,..., M-1 και n = 0, 1, 2,..., N-1.



Σχήμα 1.6 Εικονοστοιχεία

Η εικόνα του σχήματος 1.6 έχει διαιρεθεί σε N=16 σειρές και M=16 στήλες και η τιμή που εκχωρείται σε κάθε εικονοστοιχείο είναι η μέση τιμή της φωτεινότητας στο εικονοστοιχείο στρογγυλοποιημένη στον πλησιέστερο ακέραιο.

Ανάλυση εικόνας (image resolution)

Το πλήθος των *pixels μιας ψηφιακής εικόνας στη μονάδα του μήκους* λέγεται "**ανάλυση εικόνας**" (image resolution) και συνήθως μετριέται σε ppi (pixels per inch). Είναι προφανές ότι η ανάλυση της εικόνας είναι στενά συνδεδεμένη με τη συχνότητα δειγματοληψίας αφού δηλώνει τον αριθμό των δειγμάτων στη μονάδα του μήκους που δημιουργούν τη ψηφιακή εικόνα.

Βάθος χρώματος (color depth)

Το **βάθος χρώματος** δηλώνεται από το πλήθος των *bit που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της πληροφορίας χρώματος του κάθε εικονοστοιχείου* και αντιστοιχεί στο "μέγεθος δείγματος" (sampling size) κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας που δημιουργεί την ψηφιακή εικόνα. Οι συνηθέστερες τιμές βάθους χρώματος που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι αυτές των 8, 16 και 24 bit.

- Βάθος χρώματος 8 bit. Στο χρώμα 8 bit χρησιμοποιούμε 8 bit (1 Byte) για κάθε pixel και επομένως μπορούμε να έχουμε $2^8 = 256$ διαφορετικά χρώματα στην απεικόνισή μας. Η ομάδα αυτών των 256 χρωμάτων αναφέρεται συνήθως σαν «παλέτα» της εικόνας.

- Βάθος χρώματος 24 bit. Πραγματικό χρώμα (true color). Απεικόνιση με 2^{24}=16.777.216 (16,7 M) χρώματα. Για κάθε pixel χρησιμοποιείται μνήμη 24 bit ή 3 Byte (ένα byte για κάθε πρωτεύον χρώμα του μοντέλου RGB).

Η ανάλυση και το βάθος χρώματος καθορίζουν το μέγεθος του αρχείου αφού είναι εύκολο να αποδείξουμε ότι

Μέγεθος αρχείου = [Αριθμός pixels] x [Βάθος χρώματος]

όπου ο Αριθμός pixels δίνεται από τη σχέση:

Αριθμός pixels = [pixels κατά πλάτος] x [pixels κατά ύψος] = [ανάλυση] x [πλάτος] x [ανάλυση] x [ύψος]

Για παράδειγμα, για μια εικόνα διαστάσεων 6 x 3 ιντσών που ψηφιοποιήθηκε στα 100 dpi και με 8 bit βάθος χρώματος, το μέγεθος του αρχείου που θα προκύψει είναι:

- 100 x 6 x 100 x 3 x 8 = 1.440.000 bit = 180.000 bytes = 176 KB.

Αν την ίδια εικόνα την ψηφιοποιήσουμε σε ανάλυση 300 dpi και πραγματικό χρώμα (24 bit) το μέγεθος του αρχείου θα είναι:

- 300 x 6 x 300 x 3 x 24 = 38.880.000 bit = 4.860.000 bytes = 4746.1 KB.

1.3.3.2. Είδη ψηφιακών εικόνων

Ανάλογα με το βάθος χρώματος μιας εικόνας και τον τρόπο διαβάθμισης του χρώματος διακρίνουμε τα παρακάτω είδη εικόνων:

- **Δυαδική (binary image)**
  - βάθος χρώματος 1 bit
  - Χρησιμοποιεί δύο χρωματικούς τόνους (πχ. άσπρο και μαύρο) για κάθε εικονοστοιχείο.

- **Μονόχρωμη (Grayscale)**
  - Τόνοι του γκρί (από απόλυτο μαύρο μέχρι απόλυτο λευκό)
  - έχουν βάθος χρώματος 8 bit (δηλ. εμφανίζουν 256 τόνους του γκρι).

- **Δεικτοδοτημένου χρώματος (Indexed Color images)**
  - Έγχρωμες εικόνες που χρησιμοποιούν 8 bit βάθος χρώματος, δηλ. 256 διαφορετικά χρώματα (παλέτα)
  - Κάθε κωδικός είναι δείκτης (index) προς ένα από τα 256 χρώματα της παλέτας.

- **Έγχρωμη (Colour image)**
  - η πληροφορία χρώματος του κάθε pixel αναλύεται σε τρεις συνιστώσεις δηλ. πληροφορία για καθένα από τα τρία πρωτεύοντα χρώματα του μοντέλου RGB (**R**ed, **G**reen, **B**lue).

- **Συνεχούς τόνου (Continuous tone images) & Halftone images**
  - εικόνες συνεχούς τόνου:
    - εικονοστοιχεία όπου η αλλαγή του γκρι ή του χρώματος είναι συνεχής.

  - εικόνες halftone:
    - κουκίδες μόνον ενός τόνου (πχ. μαύρες)
    - οι διάφορες αποχρώσεις του γκρι αποδίδονται ρυθμίζοντας την πυκνότητα ή το σχήμα των κουκίδων.
    - Η τεχνική αυτή ονομάζεται halftoning (ή dithering)

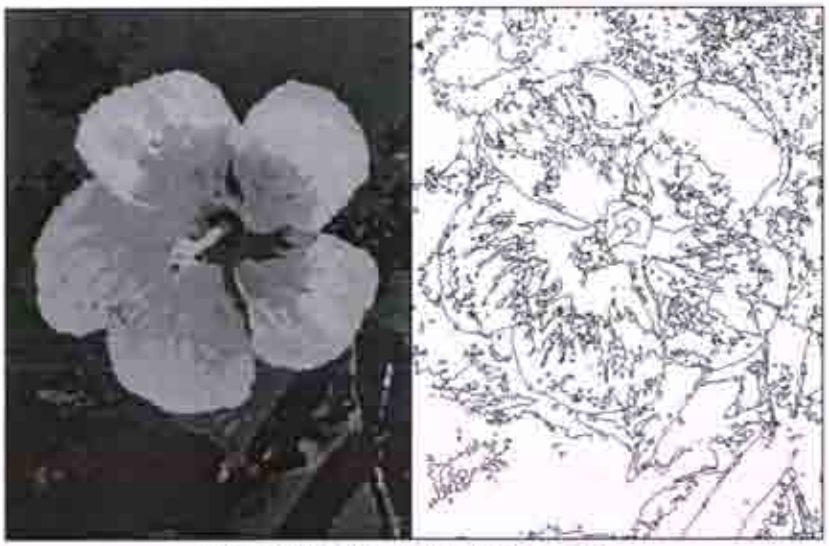
Χαρτογραφική (Bitmap) & Διανυσματική (Vector) Εικόνα

- **Χαρτογραφικές εικόνες**

- αποτελούνται από μια σειρά τιμών που παριστάνουν την πληροφορία χρώματος για το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας.

Σχήμα 1.7 Ψηφιογραφική εικόνα

- **Διανυσματικές εικόνες**
  - αποθηκεύουν στο αρχείο μαθηματικές εκφράσεις που περιγράφουν τα γεωμετρικά αντικείμενα (πχ. ευθείες, κύκλους, ελλείψεις, κλπ.) που δημιουργούν την εικόνα.



Σχήμα 1.8 Διανυσματική εικόνα

Είδος εικόνας	Συνηθισμένες χρήσεις	Πλεονεκτήματα
Χαρτογραφικές	Εικόνες συνεχούς τόνου, πχ. φωτογραφίες Εκτεταμένη χρήση σε ιστοσελίδες	Υψηλός βαθμός φωτορεαλισμού στην απόδοση της εικόνας
Διανυσματικές	Σε περιπτώσεις εικόνων με λίγα σχετικά χρώματα που χρειάζεται να παρουσιαστούν σωστά σε διάφορες αναλύσεις (πχ. λογότυπα, σχεδιαγράμματα, γραμματοσειρές) Προγράμματα 3D & CAD (Computer Adided Design)	Ανεξάρτητες από την ανάλυση Ομαλή αναπαράσταση καμπυλών Μικρό μέγεθος αρχείου

Μορφοποιήσεις (formats) αρχείων εικόνας

Η πληροφορία σε κάθε αρχείο εικόνας χωρίζεται σε δύο τμήματα:
- το πρώτο "επικεφαλίδα αρχείου" (file header) που περιλαμβάνει πληροφορίες για τον τύπο της εικόνας τα χρώματα και τις διαστάσεις,
- το δεύτερο περιέχει συμπιεσμένη (συνήθως) την πληροφορία της εικόνας.

Στη συνέχεια αναφέρονται μερικές από τις πιο γνωστές μορφοποιήσεις:

- **TIFF (Tagged Image File)**
  - χαρτογραφικού τύπου
  - χρησιμοποιείται συνήθως για εικόνες που προκύπτουν από σαρωτές (scanners) καθώς η πληροφορία από τη σάρωση της εικόνας αποθηκεύεται στο αρχείο χωρίς συμπίεση και απώλεια.
  - συνήθως δημιουργεί αρχεία ασυμπίεστης εικόνας με προφανές μειονέκτημα το μεγάλο τους μέγεθος.
  - χρησιμοποιείται ακόμα για μεταφορά αρχείων εικόνας από μια εφαρμογή σε άλλη καθώς έχει σχεδιαστεί να είναι ανεξάρτητη από οποιοδήποτε υλικό ή λογισμικό.
  - ιδανική χρήση τους είναι για αρχειοθέτηση εικόνων ώστε να είναι πάντα διαθέσιμες με όλη τους την αρχική πληροφορία για επεξεργασία και μετατροπή σε άλλες μορφές κωδικοποίησης.

- **GIF (Compuserve Graphics Interface Format)**
  - χαρτογραφικός τύπος (δημιουργήθηκε από την CompuServe)
  - συμπιέζει την πληροφορία του αρχείου χωρίς απώλειες (αλγόριθμος LZW)
  - περιορίζεται σε βάθος χρώματος 8 bit
  - για εικόνες με ποικιλία χρωμάτων η μορφή GIF δεν αποτελεί την κατάλληλη κωδικοποίηση.
  - αν καθορίσετε να είναι τύπου interlaced (διαπλεκόμενη) τότε θα κατεβεί βαθμιαία μεταφέροντας σταδιακά όλο και περισσότερη πληροφορία.
  - μπορεί ακόμη να περιλαμβάνει πολλές εικόνες σε ένα μόνον αρχείο.
  - οι εικόνες εναλλάσσονται στην οθόνη με γρήγορο ρυθμό και δημιουργούν την ψευδαίσθηση της κίνησης (animated gif).

- **JPEG (Joint Photographics Expert Group)**
  - χρησιμοποιείται για παρουσίαση και μεταφορά εικόνων συνεχούς τόνου (continuous tone)
  - διατηρεί όλη την ποικιλία των RGB χρωμάτων
  - προσφέρει ταυτόχρονα μικρό μέγεθος αρχείου (μεγαλύτερο από ένα αντίστοιχο gif με 256 μόνον χρώματα).
  - αλγόριθμος συμπίεσης:
    1. αφαιρεί την πληροφορία που δεν είναι απαραίτητη για την ποιοτική παρουσίαση της εικόνας (απωλεστική συμπίεση).
    2. μπορεί να συμπιεστεί σε διάφορους βαθμούς συμπίεσης.

- **BMP (Standard Windows Bitmap)**
  - Σχεδιασμένο από την Microsoft για το λειτουργικό DOS και τα Windows. Υποστηρίζει βάθος χρώματος από 1 μέχρι και 24 bit.
  - Σε βάθος χρώματος 4 ή 8 bit μπορεί να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος συμπίεσης RLE (Run Length Encoding) που είναι χωρίς απώλειες.
  - Το μέγεθος του τελικού αρχείου εξαρτάται προφανώς από το βάθος χρώματος που θα επιλεγεί.

1.3.4. Κινούμενο σχέδιο και κινούμενη εικόνα

Το κινούμενο σχέδιο και η κινούμενη εικόνα, σε αντίθεση με το βίντεο που προκύπτει άμεσα από τον πραγματικό κόσμο, συντίθεται εξ ολοκλήρου στον υπολογιστή. Βασικό πλεονέκτημα του κινούμενου σχεδίου και της κινούμενης εικόνας είναι η δυνατότητα παρεμβάσεων σε επίπεδο αντικειμένων σε κάθε ένα από τα πλαίσια (καρέ) από τα οποία αποτελείται. Υπάρχει η δυνατότητα είτε να αλλαχθούν τα ίδια τα αντικείμενα είτε να καθοριστεί διαφορετικά η τροχιά τους. Η κινούμενη εικόνα σε σχέση με το βίντεο διαφέρει όπως και τα διανυσματικά γραφικά από τα ψηφιογραφικά. Η εντύπωση της κίνησης ενός αντικειμένου μιας εικόνας, δημιουργείται από τη γρήγορη μετακίνησή του μέσα στην εικόνα. Οφείλεται σε ένα βιολογικό φαινόμενο σχετικό με τη λειτουργία της όρασης, το μετείκασμα. Συγκεκριμένα, ένα αντικείμενο που "συλλαμβάνεται" από το ανθρώπινο μάτι παραμένει αποτυπωμένο για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι, αν μια σειρά

εικόνων, οι οποίες έχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους, εναλλάσσονται γρήγορα και διαδοχικά, αναμιγνύονται και προκαλούν στο μάτι την εντύπωση της ομαλής, συνεχούς κίνησης. Πάνω σε αυτό το φαινόμενο βασίστηκε ολόκληρη η βιομηχανία των κινούμενων σχεδίων.

1.3.5. Βίντεο

Το βίντεο, στην κλασική του μορφή, υπάρχει εδώ και αρκετές δεκαετίες και είναι πλέον μια πλήρως ενοποιημένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον εργασιακό χώρο, στην εκπαίδευση αλλά και σε άλλες πτυχές της καθημερινότητας. Αντίθετα, η σχέση μεταξύ του βίντεο και του υπολογιστή είναι πολύ πρόσφατη και το ψηφιοποιημένο βίντεο είναι μία από τις πιο πρόσφατες προσθήκες στην τεχνολογία πολυμέσων. Το βίντεο βελτιώνει, εμπλουτίζει και γενικά προσδίδει μεγαλύτερη έμφαση στις εφαρμογές πολυμέσων. Ωστόσο, η φύση της τεχνολογίας ψηφιοποίησης καθιστά αναγκαία τη χρήση ισχυρών υπολογιστών και μεγάλων αποθηκευτικών χώρων. Και ενώ τα πρότυπα για ψηφιοποιημένο κείμενο, εικόνες και ήχο είναι αναγνωρισμένα και κατοχυρωμένα, δε συμβαίνει κάτι παρόμοιο και με το βίντεο. Στην περίπτωση του βίντεο, ακόμα γίνονται προσπάθειες για βελτιώσεις στις τεχνολογίες μετάδοσης, αποθήκευσης, συμπίεσης και παρουσίασης τόσο σε εργαστηριακό επίπεδο όσο και στο χώρο της αγοράς.

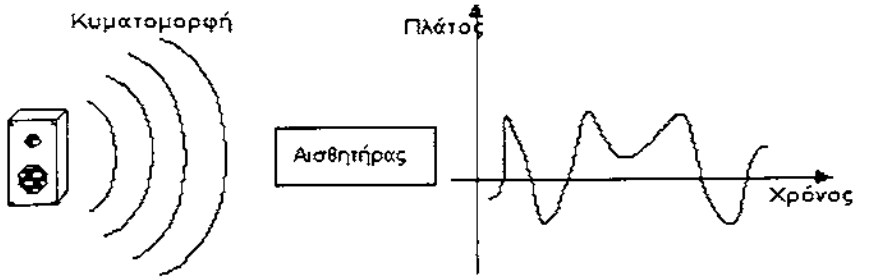
Το βίντεο μπορεί να βελτιώσει σημαντικά μια παρουσίαση πολυμέσων συμπληρώνοντας τις στατικές και τις κινούμενες εικόνες.

1.4. Ψηφιακή Αναπαράσταση

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές απαιτούν την αναπαράσταση της πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή. Πώς όμως φτάνουμε σε αυτήν την ψηφιακή αναπαράσταση και ποια είναι τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά της;.

1.4.1. Η Πληροφορία ως Σήμα

Η πληροφορία που αντιλαμβανόμαστε μέσω των αισθήσεών μας και επεξεργάζεται ο εγκέφαλός μας μπορεί να περιγραφεί ως μια ή περισσότερες *φυσικές μεταβλητές* η τιμή των οποίων είναι μια συνάρτηση του χρόνου και / ή του χώρου. Να σημειωθεί ότι ως πληροφορία εννοούμε τη μορφή της διέγερσης που λαμβάνουμε και όχι το σημασιολογικό περιεχόμενο που αυτή μεταφέρει. Για παράδειγμα, όταν αναφερόμαστε σε ηχητική πληροφορία, η φυσική μεταβλητή περιγράφει την πίεση του αέρα στη θέση ενός παρατηρητή ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτή η ηχητική πληροφορία έχει συνήθως και κάποια ερμηνεία, σημασιολογικό περιεχόμενο. Αν ακούμε μια ομιλία, οι λέξεις και οι ιδέες είναι το σημασιολογικό περιεχόμενο του ήχου. Το πως μπορούμε να παραστήσουμε τη σημασιολογική πληροφορία δεν θα μας απασχολήσει εδώ. Αυτή η φυσική μεταβλητή που περιγράφει ένα φαινόμενο μπορεί να μετρηθεί με κάποιο ειδικά κατασκευασμένο όργανο που ονομάζεται *αισθητήρας*. Ένας αισθητήρας μετατρέπει αυτή τη φυσική ποσότητα, στην περίπτωση του ήχου την πίεση του αέρα, σε μια άλλη ποσότητα, όπως μια ηλεκτρική τιμή, που ονομάζεται *σήμα*. Αυτό το σήμα είναι τέτοιο ώστε να παριστά το φυσικό μέγεθος με πιστότητα και μπορεί εύκολα να μετρηθεί. Τα σήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:



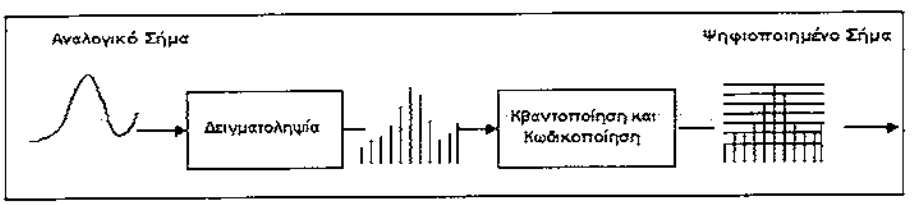
Σχήμα 1.9 Η πληροφορία ως σήμα

- *Αναλογικό* ονομάζεται ένα σήμα το οποίο είναι συνεχής συνάρτηση του χρόνου και / ή του χώρου. Τότε λέμε επίσης ότι το σήμα είναι ανάλογο της φυσικής μεταβλητής που περιγράφει.
- *Ψηφιακό* ονομάζεται ένα σήμα το οποίο αποτελείται από μια ακολουθία διακριτών τιμών που είναι κωδικοποιημένες στο δυαδικό σύστημα και εξαρτώνται από το χρόνο ή το χώρο.

1.4.2. Δειγματοληψία, Κβαντοποίηση και Κωδικοποίηση

Το αποτέλεσμα της *ψηφιοποίησης* (ή αλλιώς της Αναλογικής / Ψηφιακής μετατροπής ή πιο απλά Α/Ψ) είναι ένα σύνολο λέξεων υπολογιστή (*Λέξη* ονομάζεται μια ακολουθία bits σταθερού μήκους. Συνήθως εννοείται ένα πλήθος 8 bits) που περιγράφουν το αναλογικό σήμα που παρέχει ο αισθητήρας. Η ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος γίνεται σε τρία βήματα. Πρώτα, γίνεται *δειγματοληψία* του σήματος. Αυτό σημαίνει ότι από το άπειρο πλήθος τιμών του συνεχούς σήματος, κρατάμε μόνο ένα σύνολο διακριτών τιμών, που συνήθως διαφέρουν κατά κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα.

Οι τιμές ενός αναλογικού σήματος μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα από το πεδίο τιμών του. Αφού το πεδίο αυτό είναι γενικά συνεχές, οι τιμές αυτές είναι άπειρες. Μια λέξη μήκους ν bits μπορεί να περιγράψει 2^{ν} στάθμες μέσα από το πεδίο τιμών του σήματος. Δηλαδή, δεν γίνεται να περιγραφούν όλες οι δυνατές τιμές του σήματος, αλλά μόνο κάποιο πεπερασμένο υποσύνολο αυτών. Οι τιμές που θα περιγραφούν επιλέγονται ανάλογα με την ακρίβεια και το μήκος του διαστήματος που θέλουμε να καλύψουμε. Είναι φανερό ότι αυτές οι δύο απαιτήσεις είναι αντικρουόμενες και ότι πρέπει να γίνει απαραίτητα κάποιος συμβιβασμός. Αφού επιλεχθούν οι στάθμες, αντιστοιχίζεται σε κάθε μια από αυτές μια λέξη, γίνεται δηλαδή η *κωδικοποίηση*. Το επόμενο βήμα είναι η *κβαντοποίηση*. Στην κβαντοποίηση, βρίσκουμε την πλησιέστερη στάθμη κάθε τιμής που προέκυψε από τη δειγματοληψία.



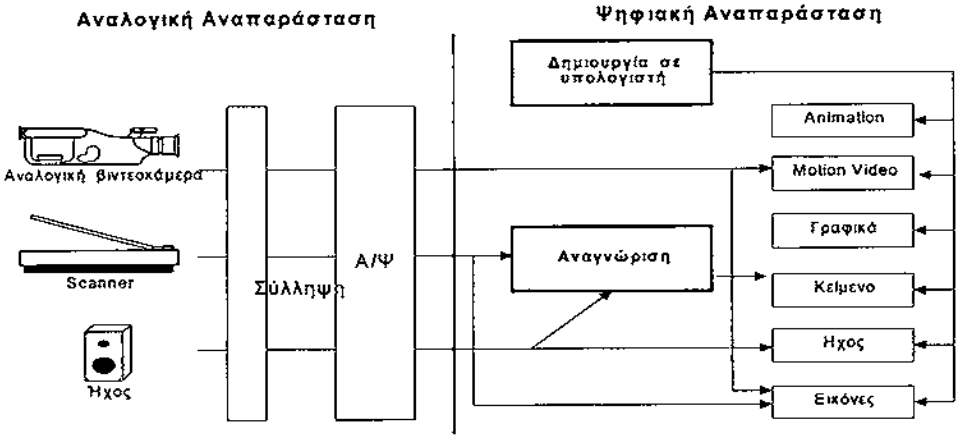
Σχήμα 1.10 Ψηφιοποίηση ενός αναλογικού σήματος

Η ψηφιοποίηση έχει πλέον ολοκληρωθεί αφού κάθε τιμή μπορεί να παρασταθεί με τη λέξη που έχουμε αντιστοιχήσει στην πλησιέστερη στάθμη αυτής.

1.4.3. Αναλογική/Ψηφιακή και Ψηφιακή/Αναλογική Μετατροπή

Η ψηφιακή αναπαράσταση της πληροφορίας είναι απόλυτα κατανοητή από τον υπολογιστή αλλά δεν είναι καθόλου χρήσιμη στον άνθρωπο. Αυτό σημαίνει ότι για να γίνει η παρουσίασή της από ένα σύστημα πολυμέσων πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε αναλογική. Η διαδικασία αυτή είναι η αντίστροφη της Α/Ψ και συμβολίζεται ως Ψ/Α. Κάθε τύπος πληροφορίας έχει διαφορετικές ανάγκες Α/Ψ και Ψ/Α μετατροπής:

Το κείμενο, τα γραφικά, γενικά όλα τα μέσα που έχουν συντεθεί σε υπολογιστή δεν χρειάζονται Α/Ψ μετατροπή αφού δημιουργούνται εξ αρχής σε δυαδική μορφή. Για να τα δούμε όμως στην οθόνη, πρέπει να γίνει κατάλληλη Ψ/Α μετατροπή. Αντίθετα ο ηχογραφημένος ήχος, το χειρόγραφο κείμενο και γενικά όλα τα captured media απαιτούν Α/Ψ και Ψ/Α.



Σχήμα 1.11 Μέθοδοι δημιουργίας και μετατροπής διαφόρων ειδών πληροφορίας

1.4.4. Πλεονεκτήματα της Ψηφιακής Αναπαράστασης

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της ψηφιακής αναπαράστασης είναι η ομοιομορφία. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, όλα τα είδη πληροφορίας μπορούν να έρθουν σε ψηφιακή μορφή και να αντιμετωπισθούν με τον ίδιο τρόπο και από το ίδιο υλικό (ίδια μέσα αποθήκευσης, ίδια δίκτυα...). Αυτό έχει ως συνέπεια τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των ίδιων μέσων αποθήκευσης και μετάδοσης δηλαδή την επίτευξη μεγαλύτερου βαθμού ολοκλήρωσης. Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι στην πράξη οι διαφορετικές απαιτήσεις μεγέθους αποθήκευσης και ταχύτητας μετάδοσης των διαφόρων μέσων διαταράσσουν αυτή την ομοιομορφία. Υπάρχουν όμως και άλλα πλεονεκτήματα.

Η μετάδοση ψηφιακών σημάτων αντί για αναλογικά έχει πολλά ακόμα πλεονεκτήματα πέραν της ολοκλήρωσης. Είναι λιγότερο ευαίσθητη στον θόρυβο, η διαδικασία αναγέννησης του μεταδιδόμενου σήματος είναι πιο εύκολη, μπορεί να υλοποιηθεί διαδικασία ανίχνευσης και διόρθωσης λαθών και, τέλος, η κρυπτογράφηση της πληροφορίας είναι επίσης πιο εύκολη.

Η πληροφορία που βρίσκεται αποθηκευμένη στον υπολογιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

- να υποστεί επεξεργασία με στόχο την ανάλυση της σημασιολογίας της ή τη βελτίωση της ποιότητας της
- να δημιουργηθούν δομές δεδομένων που επιταχύνουν και διευκολύνουν την αναζήτηση
- να χρησιμοποιηθεί εύκολα για τη δημιουργία νέων πολυμεσικών εγγράφων

1.4.5. Μειονεκτήματα της Ψηφιακής Αναπαράστασης

Το κύριο μειονέκτημα της ψηφιακής αναπαράστασης συνεχών μέσων είναι η παραμόρφωση που εισάγει η διαδικασία δειγματοληψίας και κβαντοποίησης. Αφενός, αγνοώντας κάποιες τιμές του αναλογικού σήματος χάνουμε πληροφορία και αφετέρου, η προσέγγιση της πραγματικής τιμής του σήματος με μια από τις διαθέσιμες στάθμες περιέχει πάντοτε κάποιο ποσοστό λάθους. Αυτή η παραμόρφωση ελαττώνεται όσο αυξάνεται η συχνότητα δειγματοληψίας και το μήκος της λέξης. Τότε όμως αυξάνεται και ο όγκος που καταλαμβάνει η πληροφορία και κατά συνέπεια απαιτούνται μεγαλύτερα αποθηκευτικά μέσα, πιο γρήγορα μέσα μετάδοσης και ταχύτερες μονάδες επεξεργασίας. Η σημερινή τεχνολογία και οι προβλέψεις για το μέλλον δείχνουν ότι αυτό το μειονέκτημα θα ξεπεραστεί ακόμα και για τους πιο απαιτητικούς τύπους πληροφορίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑ

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2. ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑ

Η γρήγορη ανάπτυξη της προσιτής ευρυζωνικής πρόσβασης στο Διαδίκτυο και η διάδοση των υπηρεσιών ανταλλαγής αρχείων (file sharing), όπως το Kazaa και το Emule, σε Peer-to-Peer (P2P) δίκτυα [Δ16] έχουν αυξήσει τη δυνατότητα για την κακή χρήση και την κλοπή στα ψηφιακά στοιχεία πολυμέσων. Μια περιοχή όπου αυτό το πρόβλημα είναι οξύτερο είναι στις ψηφιακές εικόνες. Τα προβλήματα της κακής χρήσης και της κλοπής υπάρχουν λόγω της ίδιας της φύσης των πολυμέσων διότι μια αναπαραγωγή είναι ίδια με το αρχικό με κάθε τρόπο. Η ευκολία με την οποία μπορεί να αντιγραφεί και η ταχύτητα με την οποία μπορεί να διανεμηθεί παράνομα κάνουν πιο επιτακτική την προστασία των πνευματικών δικαιωμάτων πολυμέσων στο χώρο του σημερινού Διαδικτύου. Αυτό το πρόβλημα αποτρέπει τους δημιουργούς πολυμέσων από τη διανομή της εργασίας τους. Αυτό που απαιτείται είναι μια ανθεκτική, ασφαλής και αξιόπιστη τεχνολογία προστασίας δικαιωμάτων πολυμέσων.

2.1. Ο νόμος

Η ύπαρξη του προβλήματος αναγνωρίστηκε και από την κυβέρνηση των Η.Π.Α και από την Commission της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι οποίες αντέδρασαν στο παραπάνω πρόβλημα με τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων και τη θέσπιση νέων νόμων περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Στις ΗΠΑ ο νόμος Digital Millennium Copyright Act (DMCA 1998) και στην ΕΕ η οδηγία πνευματικών δικαιωμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EUCD 2001) και οι δύο στοχεύουν να αντικαταστήσουν τον ατελή νόμο πνευματικών δικαιωμάτων πολυμέσων στις αντίστοιχες χώρες τους. Και οι δύο καθιστούν παράνομο το να παρακαμφθεί οποιοδήποτε μέτρο προστασίας πνευματικών δικαιωμάτων, εντούτοις το EUCD πηγαίνει περαιτέρω, καθιστώντας παράνομη την παραγωγή εργαλείων ή υπηρεσιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να παρακάμψουν την προστασία πνευματικών δικαιωμάτων.[Δ10]

Η προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας στην Ελλάδα προβλέπεται από το νόμο 2121/1993.

Ελληνική Νομοθεσία, (ν. 2121 /1993, άρθρο 2, παράγραφοι 1 και 2):

Πνευματικό δικαίωμα ή πνευματική ιδιοκτησία αποκτά ο πνευματικός δημιουργός ενός έργου πάνω στο πρωτότυπο έργο αυτό, που είναι: "... πνευματικό δημιούργημα λόγου, τέχνης ή επιστήμης, που εκφράζεται με οποιαδήποτε μορφή, ιδίως τα γραπτά ή προφορικά κείμενα, οι μουσικές συνθέσεις, με κείμενο ή χωρίς, τα θεατρικά έργα, με μουσική ή χωρίς, οι χορογραφίες και οι παντομίμες, τα οπτικοακουστικά έργα, τα έργα των εικαστικών τεχνών, στα οποία περιλαμβάνονται τα σχέδια, τα έργα ζωγραφικής και γλυπτικής, τα χαρακτικά έργα και οι λιθογραφίες, τα αρχιτεκτονικά έργα, οι φωτογραφίες, τα έργα των εφαρμοσμένων τεχνών, οι εικονογραφήσεις, οι χάρτες, τα τρισδιάστατα έργα που αναφέρονται στη γεωγραφία, την τοπογραφία, την αρχιτεκτονική ή την επιστήμη." [Δ2]

Ο Νόμος αυτός παρέχει ικανή προστασία. Δίκες περί προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας διεξάγονται καθημερινώς στην Ελλάδα και είναι όλες καταδικαστικές και ποτέ αθωωτικές για εκείνον που διέπραξε αντίστοιχη παράβαση. Εκδίδονται περίπου 1000 καταδικαστικές αποφάσεις ετησίως.

Για την κατοχύρωση και την προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι, τους οποίους είτε προβλέπει ο νόμος, είτε μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε εμείς οι ίδιοι. Κατ' αρχήν δεν είναι ποτέ δυνατόν να υπάρξει δημόσια υπηρεσία, στην οποίαν να κατατίθενται τα πνευματικά ή καλλιτεχνικά έργα. Τούτο διότι η Διεθνής Σύμβαση της Βέρνης περί πνευματικής ιδιοκτησίας (που κυρώθηκε στην Ελλάδα δια του νόμου 100/1975) ρητώς αναφέρει, ότι τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας "αποκτώνται χωρίς διατυπώσεις". Και αυτό είναι πολύ σωστό, διότι πολύ συχνά ο (μη γνωρίζων νομικά) εκάστοτε πνευματικός δημιουργός θα αμελούσε να κατοχυρώσει την πνευματική του ιδιοκτησία και θα έμενε απροστάτευτος [Δ3]

Ειδικότερα για την προστασία του copyright στην ηλεκτρονική επεξεργασία εικόνας

Πέρα από την προστασία των φωτογραφιών ως αυτοτελών έργων τέχνης που εκφράζονται με ορισμένη μορφή, προκύπτει σαφώς από τις διατάξεις του νόμου 2121/93 η προστασία των φωτογραφιών και στην εξελισσόμενη τεχνολογία της ψηφιακής εικόνας.

Πράγματι τελευταία παρατηρείται το φαινόμενο της επέμβασης σε φωτογραφικά έργα μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας είτε με την άδεια του δημιουργού είτε πολλές φορές τελείως αυθαίρετα. Αυτό πιθανόν συμβαίνει διοτι δεν έχει εμπεδωθεί σε ευρύτερα πλαίσια η έννοια του φωτογραφικού copyright ενώ για παράδειγμα για τους μουσικούς, τους συγγραφείς κλπ. ελάχιστοι διανοούνται να κάνουν κασετοπειρατεία ή να θέσουν σε κυκλοφορία κλεψίτυπα βιβλία.

Όπως συνάγεται ευθέως από το γράμμα του νόμου, η προστασία του έργου είναι καθολική ανεξάρτητα από το μέσο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μετάδοση, επεξεργασία ή μεταβολή του έργου. Έτσι βάσει των διατάξεων των άρθρων 3 και 4 ο δημιουργός οπλίζεται με ένα πλέγμα δικαιωμάτων που τον προστατεύουν αποτελεσματικά ως προς την εκδοχή της ψηφιοποίησης της φωτογραφικής εικόνας.

Η προσεκτική μελέτη των παραπάνω άρθρων τεκμηριώνει οριστικά αυτή την πεποίθηση. Ο δημιουργός (στο προκείμενο ο φωτογράφος) δικαιούται να απαγορεύσει την:

- εγγραφή και αναπαραγωγή του έργου με κάθε μέσο, όπως ... ηλεκτρονικά μέσα (άρθρο 3 παρ. 1 εδάφιο α')
- διασκευή, προσαρμογή ή άλλες μετατροπές του έργου (άρθρο 3 παρ. 1 εδάφιο γ')
- τη μετάδοση ή αναμετάδοση με ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή καλώδια ή οποιονδήποτε άλλο τρόπο... (άρθρο 3 παρ. 1 εδάφιο ζ')

Επιπλέον στα πλαίσια της άσκησης του ηθικού δικαιώματος ο δημιουργός έχει το δικαίωμα να απαγορεύει κάθε παραμόρφωση, περικοπή ή άλλη τροποποίηση του έργου όπως και κάθε προσβολή οφειλόμενη στις συνθήκες παρουσίασης (άρθρο 4 παρ. 1 εδάφιο γ').

Οφείλουμε να διακρίνουμε λοιπόν τις δύο περιπτώσεις όταν υπάρχει και όταν ελλείπει τελείως η άδεια του δημιουργού και τί προβλέπει ο νόμος. Από τις παραπάνω διατάξεις είναι σαφές ότι: Ακόμη και αν η χρήση της φωτογραφίας έχει παραχωρηθεί νόμιμα αλλά δεν υπάρχει ειδική ρητή πρόβλεψη στην γραπτή (όπως επιβάλλει το άρθρο 14 του ιδίου νόμου) συμφωνία μεταξύ του φωτογράφου και του πελάτη στον οποίο εκχωρεί μέρος ή ακόμη και το σύνολο των δικαιωμάτων του πάνω σε ένα φωτογραφικό έργο, ο πελάτης (ο αντισυμβαλλόμενος του φωτογράφου) δεν έχει το δικαίωμα να αλλοιώνει το έργο στο ελάχιστο, με ηλεκτρονικό ή άλλο τρόπο. Ακόμη και ένα απλό κόψιμο της εικόνας (cropping) πρέπει να γίνεται με σύμφωνη γνώμη του δημιουργού. Δηλ. το να γίνει μια σύνθεση ένα απλό "κεφαλάκι" (όπως είναι η σχετική ορολογία στη γλώσσα των φωτορεπόρτερ) απαγορεύεται ρητά. Πολύ περισσότερο απαγορεύονται, χωρίς τη σύμφωνη γνώμη του φωτογράφου, οι δραστικές επεμβάσεις που "κάνουν αγνώριστη" τη φωτογραφία.

Αν βέβαια δεν υπάρχει καν άδεια, αλλά αυθαίρετα, κακόπιστα και παράνομα επεμβαίνει τρίτος σε φωτογραφικά έργα μέσω προγράμματος επεξεργασίας εικόνας, ανεξάρτητα από τον τρόπο που περιήλθαν στην κατοχή του, ο δημιουργός φωτογράφος προστατεύεται πλήρως από τις διατάξεις των άρθρων 3 και 4 που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η έκταση της προστασίας είναι ευρύτατη γιατί, εκτός από την αγωγή προς αποζημίωση, ο δημιουργός που τα δικαιώματά του προσβλήθηκαν μπορεί να αξιώσει την ποινική δίωξη που επισύρει ιδιαίτερα αυστηρές ποινές.[Δ4].

2.2. Στεγανογραφία - Υδατογράφηση - Απόκρυψη Πληροφοριών

Η τεχνική του υδατογραφήματος (watermarking) είναι στενά συνδεδεμένη με τις τεχνικές της στεγανογραφίας (steganografy) και της απόκρυψης πληροφοριών (information hiding). Αυτές οι τρεις τεχνικές μοιράζονται πολλά κοινά στοιχεία όμως έχουν και θεμελιώδεις διαφορές.

Η απόκρυψη πληροφοριών είναι ένας γενικός όρος που περικλείει ένα μεγάλο εύρος από προβλήματα πέρα από την ενσωμάτωση μηνυμάτων στο περιεχόμενο ενός έργου. Ο όρος απόκρυψη αναφέρεται είτε στο ότι κάνει την ενσωματωμένη πληροφορία μη εμφανή είτε στο ότι κρατάει κρυφή την ύπαρξη της.

Η Στεγανογραφία, η τέχνη της απόκρυψης της πληροφορίας, είναι μία λέξη με ελληνικές ρίζες (στεγανός + γράφειν). Η γενική ιδέα της στεγανογραφίας βασίζεται στην απόκρυψη πολύτιμων δεδομένων μέσα σε άλλα, με «αθώο» περιεχόμενο.[Δ3]

Θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι η ιδέα για μυστική επικοινωνία είναι τόσο παλιά όσο και η επικοινωνία η ίδια. Γύρω στο 440 π.Χ. αναφέρεται στον Ηρόδοτο, ότι κάποιος ξύρισε το κεφάλι ενός από τους πιο έμπιστους σκλάβους του και έγραψε πάνω σε αυτό ένα μήνυμα. Τα μαλλιά του σκλάβου μεγάλωσαν και, με τον τρόπο αυτό, πέρασε απαρατήρητος από τους Πέρσες, ενώ το μήνυμα έφτασε στον

προορισμό του! Πιο πρόσφατο παράδειγμα είναι η μέθοδος που χρησιμοποίησαν οι Γερμανοί κατάσκοποι, στην αρχή του 20ού αιώνα. Κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, μηνύματα σε σμίκρυνση στο μέγεθος μιας τελείας, αποστέλλονταν από κατασκόπους σε περιοδικά. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα με τον σκλάβο μπορούμε να τονίσουμε τη διαφορά μεταξύ στεγανογραφίας και υδατογράφησης. Αν υποτεθεί ότι το μήνυμα στο κεφάλι του σκλάβου έγραφε «Αυτός ο σκλάβος ανήκει στον Αριστάγορα», αυτό το μήνυμα αναφέρεται στο σκλάβο και ίσως ο μόνος λόγος για να το κρύψουμε να ήταν αισθητικός. Αν όμως κάποιος άλλος ισχυριζόταν ότι ο σκλάβος ήταν δικός του ο Αριστάγορας θα μπορούσε να του ξυρίσει το κεφάλι και να αποδείξει ότι του ανήκει. Σε αυτή την περίπτωση ο σκλάβος είναι αυτό που έχει αξία και το μήνυμα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για αυτόν.

Τα συστήματα για την ενσωμάτωση μηνυμάτων σε έργα μπορούν να χωριστούν σε:

- συστήματα υδατογράφησης όπου το μήνυμα που ενσωματώνεται είναι σχετικό με το έργο
- συστήματα μη-υδατογράφησης όπου το μήνυμα είναι άσχετο με το έργο.

Επίσης χωρίζονται σε:

- στεγανογραφικά συστήματα όπου η ύπαρξη του μηνύματος παραμένει κρυφή
- μη-στεγανογραφικά συστήματα όπου η ύπαρξη του μηνύματος δεν χρειάζεται να είναι κρυφή.

2.3. Ιστορία

Υδατογράφημα

Υδατογραφήματα πάνω σε χαρτί εμφανίστηκαν στον τομέα του χειροποίητου χαρτιού πριν από περίπου 700 χρόνια. Το παλιότερο υδατογραφημένο χαρτί βρέθηκε το 1292 και προερχόταν από το Fabriano στην Ιταλία [Δ5] που θεωρείται ο τόπος γέννησης του υδατόσημου που δεν άργησε να εξαπλωθεί σε ολόκληρη την Ιταλία και λίγο αργότερα σε όλη την Ευρώπη. Παρόλο που αρχικά το υδατογράφημα είχε χρησιμοποιηθεί για να υποδηλώνει τον κατασκευαστή του χαρτιού αργότερα χρησιμοποιήθηκε σαν ένδειξη για την ποιότητα και την αντοχή του χαρτιού αλλά επίσης και για τη χρονολόγηση και πιστοποίηση εγγράφων καθώς και στα χαρτονομίσματα ως μέτρο ασφάλειας κατά των πλαστογραφιών. Δεν άργησαν βέβαια να εμφανιστούν πλαστογράφοι που με διάφορες μεθόδους πλαστογραφούσαν τα υδατογραφήματα που χρησιμοποιούνταν να προστατεύουν τα χαρτονομίσματα. Το 1779 το περιοδικό Gentleman's Magazine αναφέρει ότι ο John Mathison «... έχει ανακαλύψει μια μέθοδο, να πλαστογραφεί το υδατογράφημα των χαρτονομισμάτων, που θεωρούνταν η κατ' εξοχήν προστασία ενάντια στην πλαστογραφία. Αυτή την ανακάλυψη έκανε μια προσφορά να την αποκαλύψει και να διδάξει τη μέθοδο για να εντοπίζουν τα πλαστογραφημένα χαρτονομίσματα, υπό τον όρο της συγχώρεσης, η οποία μέθοδος όμως δεν είχε σημασία για την τράπεζα». Ο John Mathison κρεμάστηκε.

Το 1954, ο Emil Hembrooke της εταιρίας Muzac κατέθεσε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που τιτλοφορήθηκε "Identification of sound and like signals" (ταυτοποίηση του ήχου και ομοίων σημάτων ") [Δ6] στο οποίο περιγράφεται μια

μέθοδος για ανεπαίσθητη εισαγωγή ενός κώδικα στη μουσική με σκοπό την απόδειξη ιδιοκτησίας. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας δηλώνει ότι "η παρούσα εφεύρεση καθιστά δυνατό το θετικό προσδιορισμό προέλευσης μιας μουσικής παράστασης και με αυτόν τον τρόπο αποτελεί αποτελεσματικό μέσο για την πρόληψη της πειρατείας, δηλ. μπορεί να παρομοιαστεί με ένα υδατόσημο στο έγγραφο". Το ηλεκτρονικό υδατογράφημα είχε εφευρεθεί. Από τότε, διάφορες τεχνολογίες υδατογράφησης εμφανίστηκαν και εφαρμόστηκαν σε μια ποικιλία από προβλήματα. Το ηλεκτρονικό ψηφιακό υδατογράφημα δεν συγκέντρωσε το ενδιαφέρον των ερευνητών μέχρι τη δεκαετία του '90. Στο πρώτο μισό εκείνης της δεκαετίας, το ερευνητικό ενδιαφέρον για το θέμα έγινε έντονο γρήγορα. Χρειάστηκαν λίγα χρόνια (1995-1996) πριν το ψηφιακό υδατογράφημα συγκεντρώσει αξιόλογη προσοχή από την επιστημονική κοινότητα και από τότε εξελίχθηκε και εξακολουθεί να εξελίσσεται ραγδαία.

Η ιδέα για ψηφιακό υδατογράφημα σε εικόνες πρωτοεμφανίστηκε το 1990 και το 1993 Tirkel et al. επινόησαν τον όρο "water mark" που αργότερα συνενώθηκαν οι λέξεις και αναφέρεται ως "watermark".

2.4. Τι είναι ψηφιακό υδατογράφημα;

Α: Η τεχνολογία ψηφιακού υδατογραφήματος είναι ένας τρόπος να ενθυλακωθούν δεδομένα σε ψηφιακό περιεχόμενο προκειμένου να αναγνωριστεί (identify), να παρακολουθηθεί (tracking), να ρυθμιστεί και να ενισχυθεί η χρησιμότητα τέτοιου περιεχομένου.

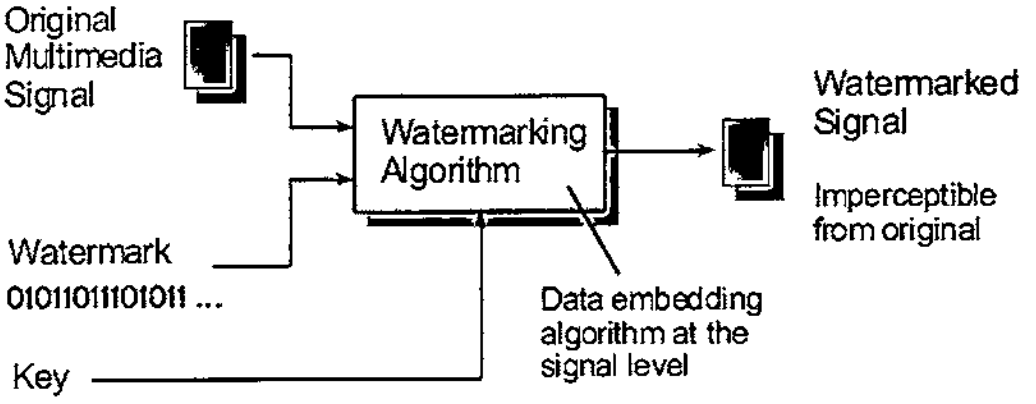
Τα ψηφιακά υδατόσημα είναι γενικά μη-αντιληπτά στο ανθρώπινο μάτι και το αυτί, αλλά μπορούν να είναι εύκολα ανιχνεύσιμα από τις μηχανές όπως τα συστήματα αναπαραγωγής DVD, τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, τους υπολογιστές ή άλλες συσκευές που διαθέτουν το κατάλληλο λογισμικό. Τα ψηφιακά υδατογραφήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα σε βίντεο, ήχο, τυπωμένη ύλη και ψηφιακές εικόνες για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών όπως την πιστοποίηση αυθεντικότητας πολυμέσων, τον έλεγχο αντιγράφων και το ηλεκτρονικό αποτύπωμα.[Δ7]

2.5. Τυπική Δομή ενός Συστήματος Ψηφιακής Υδατογράφησης

Κάθε σύστημα υδατογράφησης αποτελείται τουλάχιστον από δύο διαφορετικά μέρη:

- τη μονάδα που ενσωματώνει το υδατογράφημα
- τη μονάδα ανίχνευσης και εξαγωγής υδατογραφημάτων.

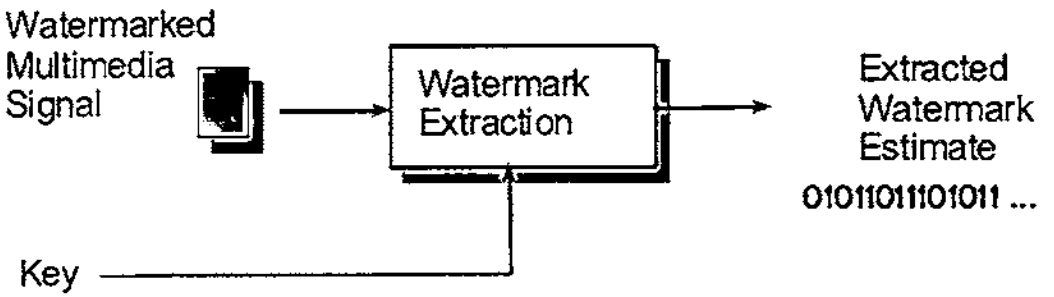
Το σχήμα 2.1 παρουσιάζει ένα παράδειγμα για τη μονάδα ενσωμάτωσης υδατογραφήματος σε εικόνες.



Σχήμα 2.1: *Τυπικό Σύστημα Εισαγωγής Υδατογραφήματος*

Ο αλγόριθμος εισαγωγής ενσωματώνει στην αρχική εικόνα το υδατογράφημα σε επίπεδο σήματος με τέτοιο τρόπο ώστε η νέα υδατογραφημένη εικόνα να μην έχει αισθητές διαφορές από την αρχική. Στη διαδικασία εισαγωγής χρησιμοποιείται ένα κλειδί έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάκτηση του υδατογραφήματος μόνο στους κατόχους του κλειδιού.

Στη μονάδα ανίχνευσης και εξαγωγής υδατογραφημάτων εισάγουμε την προς εξέταση εικόνα και δίνουμε το κλειδί. Το αποτέλεσμα θα είναι να ανακατασκευαστεί το υδατογράφημα και οι πληροφορίες που αυτό περιλαμβάνει. Το υδατογράφημα θα έχει απόκλιση από το αρχικό όταν η υδατογραφημένη εικόνα δεχθεί κάποια επίθεση. Μερικές από τις πιο διαδεδομένες επιθέσεις αναλύονται στο τρίτο κεφάλαιο.



Σχήμα 2.2: *Τυπικό Σύστημα Εξαγωγής Υδατογραφήματος*

Οι αλγόριθμοι υδατογράφησης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο το υδατογράφημα εξάγεται από την εικόνα. Όταν η αρχική εικόνα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια του σταδίου εξαγωγής, ο αλγόριθμος λέγεται ότι είναι *μη-τυφλός (non-blind)*. Όταν μόνο μερικές λεπτομέρειες από την αρχική εικόνα απαιτούνται ο αλγόριθμος λέγεται ότι είναι *ημι-τυφλός (semi-blind)*. Τέλος, όταν δεν απαιτείται καμία αναφορά στην αρχική εικόνα ο αλγόριθμος αναφέρεται σαν *τυφλός (blind)*.

2.6. Επισκόπηση Βιβλιογραφίας Υδατογραφήματος

Ποικίλες τεχνικές υδατογράφησης έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές τα τελευταία έτη.[21] Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κλάσεις βάσει της χρησιμοποίησης της αρχικής εικόνας κατά τη διάρκεια της φάσης ανίχνευσης. Οι προτεινόμενοι αλγόριθμοι στις αναφορές [9 ..10 ..11 ..12 ..13 ..20] δεν απαιτούν την αρχική εικόνα ενώ σε εκείνους των [7 ..16 ..17 ..18] η αρχική εικόνα εισάγεται στον αλγόριθμο ανίχνευσης μαζί με την υδατογραφημένη εικόνα. Οι ανιχνευτές του δεύτερου τύπου έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να ανιχνεύσουν τα υδατογραφήματα σε εικόνες που έχουν υποστεί τροποποιήσεις με διάφορους τρόπους. Βασικό μειονέκτημα των ανιχνευτών αυτού του είδους είναι ότι δεν μπορούν να συνδυαστούν με το web crawling και γενικότερα σε αυτοματοποιημένο σύστημα ανάκτησης και έλεγχου του υδατογραφήματος σε μια ψηφιακή βιβλιοθήκη.

Η ενσωμάτωση υδατογραφημάτων μπορεί να γίνει είτε στο χωρικό πεδίο (spartial domain) είτε σε κατάλληλο μετασχηματισμένο πεδίο (transform domain) όπως DCT [7 ..13 ..15 ..19], wavelet [17 ..18] και Fourier Mellin [20]. Ορισμένοι αλγόριθμοι επίσης, στις αλλαγές που πραγματοποιούν λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά της εικόνας και τις ιδιότητες του ανθρώπινου οπτικού συστήματος ώστε τα υδατογραφήματα να είναι αποτελεσματικότερα αόρατα [12 ..13 ..15 ..17].

Μια γενική εικόνα για τις τεχνικές που εφαρμόζονται και για το πώς αυτές λειτουργούν περιγράφονται στη μελέτη «Hidden Bits: A Survey of Techniques for Digital Watermarking» του Chris Shoemaker που είναι διαθέσιμη στην εξής ιστοσελίδα http://www.vu.union.edu/~shoemakc/watermarking/watermarking.html [Δ8] καθώς επίσης και στην ιστοσελίδα http://www.cs.unr.edu/~rakhi/reportwm.html [Δ9].

Τέλος η Ελληνική εταιρεία Alpha Tec LTD παρουσίασε μια αξιόλογη συλλογή από προγράμματα για υδατογράφηση διαθέτοντας και δοκιμαστικές εκδόσεις (demo versions) στην ιστοσελίδα της. [Δ18]

2.7. Εφαρμογές του υδατογραφήματος

Αν και το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι το ψηφιακό υδατογράφημα εικόνας ως μέθοδος για να προστατεύσει τα πνευματικά δικαιώματα πολυμέσων του δημιουργού, το ψηφιακό υδατογράφημα έχει και άλλες εφαρμογές. Η πιστοποίηση αυθεντικότητας πολυμέσων, ο έλεγχος αντιγράφων και το fingerprinting είναι μερικές από τις εφαρμογές που έχουν ωφεληθεί από το ψηφιακό υδατογράφημα.

2.7.1. Προστασία πνευματικής ιδιοκτησίας (Copyright ©)

Τίθεται το εξής ερώτημα: αν η ιδιοκτησία μας μπορεί να αναπαραχθεί και στιγμιαία να διαδοθεί σε όλον τον πλανήτη χωρίς κόστος, χωρίς τη δική μας συγκατάθεση και χωρίς καν να φεύγει από την κατοχή μας, πώς εμείς μπορούμε να την προστατέψουμε; Πώς θα πληρωθούμε για την πνευματική μας εργασία; Και αν δεν μπορούμε να πληρωθούμε, τότε τι θα είναι αυτό που θα εξασφαλίσει τη συνέχιση αυτής της εργασίας και τη διάδοσή της;

Ένα από τα κυριότερα πράγματα που απασχολούν τους περισσότερους καλλιτέχνες και δημιουργούς είναι η προστασία την έργων τους από την αθέμιτη εμπορική εκμετάλλευσή τους. Η πλειονότητα των δημιουργικών επαγγελμάτων

παραμένουν απροστάτευτα από οικονομικά συμφέροντα ειδικά στον οπτικοακουστικό τομέα, τις νέες τεχνολογίες και τα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

Με την εισαγωγή των ηλεκτρονικών υπολογιστών στη ζωή μας, βιβλία, μουσική, φωτογραφίες υπάρχουν και διακινούνται σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα η αντιγραφή και αναπαραγωγή τους να γίνεται χωρίς απώλειες στην ποιότητα τους όπως συμβαίνει με την αντιγραφή σε αναλογική μορφή. Για το λόγο αυτό είναι ανάγκη να υπάρξουν τεχνολογικές λύσεις που να διασφαλίζουν τα πνευματικά δικαιώματα του περιεχομένου, το οποίο διατίθεται σε ψηφιακή μορφή.

Εδώ και αρκετά χρόνια, η νομοθεσία περί πνευματικών δικαιωμάτων και copyright προστατεύει τα λογοτεχνικά, καλλιτεχνικά και επιστημονικά έργα ατόμων και εταιρειών. Εξασφαλίζει στους δημιουργούς τους ότι τα έργα τους δεν θα αντιγραφούν ή τροποποιηθούν χωρίς την προηγούμενη έγκρισή τους. Οι νόμοι αυτοί βασίζονται σε ορισμένες βασικές προϋποθέσεις: **Ο δημιουργός πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντικρούσει τον ισχυρισμό κάποιου, που δηλώνει ότι το έργο είναι δικό του.** Οι κάτοχοι του copyright πρέπει να μπορούν να ελέγξουν κατά πόσο η διανομή και η αντιγραφή του έργου τους γίνεται νόμιμα. Για να γίνει αυτό, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα να διαπιστωθεί η παράνομη διανομή, μετατροπή ή αντιγραφή του έργου.

2.7.2. Πιστοποίηση αυθεντικότητας πολυμέσων

Είναι γεγονός ότι με τη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών γίνεται όλο και πιο εύκολη η επεξεργασία ψηφιακών έργων και συνεχώς πιο δύσκολη η ανίχνευση αυτών των αλλαγών πάνω στα έργα. Για παράδειγμα σε μια εικόνα μπορούμε να προσθαφαιρέσουμε διάφορα αντικείμενα χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό. Αν αυτή η εικόνα είναι στοιχείο για την ενοχή ή απόδειξη της αθωότητας κάποιου είναι εύκολα αντιληπτό πόσο σημαντικό είναι να γνωρίζουμε αν η εικόνα είναι αυθεντική ή έχει υποστεί επεξεργασία.

Το πρόβλημα της πιστοποίησης μηνυμάτων έχει μελετηθεί εκτενώς στην κρυπτογραφία. Μια συνήθης προσέγγιση της κρυπτογραφίας σε αυτό το πρόβλημα είναι η δημιουργία Ψηφιακής Υπογραφής η όποια είναι ουσιαστικά μια κρυπτογραφημένη περίληψη του μηνύματος. Ένας αλγόριθμος κρυπτογράφησης με ασυμμετρικό κλειδί χρησιμοποιείται, ώστε το κλειδί που χρειάζεται για να κρυπτογραφήσει την υπογραφή να είναι διαφορετικό από αυτό που χρειάζεται για να αποκωδικοποιήσει την υπογραφή. Μόνο η εξουσιοδοτημένη πηγή του μηνύματος γνωρίζει το κλειδί που είναι απαραίτητο για τη δημιουργία της υπογραφής. Έτσι αν κάποιος επιτήδειος προσπαθήσει να αλλάξει το μήνυμα δεν μπορεί να δημιουργήσει την ψηφιακή υπογραφή. Εάν κάποιος συγκρίνει στη συνέχεια το αλλαγμένο μήνυμα με την αυθεντική υπογραφή θα διαπιστώσει ότι η υπογραφή δεν ταιριάζει και θα ξέρει ότι το μήνυμα έχει υποστεί αλλαγές. Η τεχνολογία των ψηφιακών υπογραφών έχει εφαρμοστεί στις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές από τον Friedman που πρότεινε την κατασκευή μιας «αξιόπιστης φωτογραφικής μηχανής» με την δημιουργία μιας υπογραφής μέσα στην μηχανή η οποία μόνο αυτή θα είχε το κλειδί που χρειάζεται για τη δημιουργία της ψηφιακής υπογραφής. Γι' αυτό εάν ένα αντίγραφο μιας φωτογραφίας ταίριαζε με την ψηφιακή υπογραφή μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι είναι bit προς bit όμοια με την αυθεντική. Αυτές οι υπογραφές είναι metadata που πρέπει να μεταδοθούν μαζί με την εικόνα που πιστοποιούν. Είναι εύκολο όμως να

χαθεί η υπογραφή κάτω από «κανονικές» συνθήκες (τροποποιήσεις που δεν επηρεάζουν το περιεχόμενο της εικόνας). Για παράδειγμα ένα σύστημα πιστοποίησης αυθεντικότητας αποθηκεύει τα μετα-δεδομένα (metadata) στην επικεφαλίδα (header) μιας JPEG εικόνας. Αν η εικόνα μετατραπεί σε διαφορετικό format που δεν έχει χώρο (ή ίσως αρκετό χώρο) για τα μετα-δεδομένα στην επικεφαλίδα τα μετά-δεδομένα θα χαθούν (και κατ' επέκταση και η ψηφιακή υπογραφή) με συνέπεια η εικόνα αν και το περιεχόμενο της δεν έχει αλλάξει να μην μπορεί να πιστοποιηθεί η αυθεντικότητά της. Μια λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να ενσωματωθεί η υπογραφή απ' ευθείας στην εικόνα με τη χρήση υδατογραφήματος. Σε αυτή την περίπτωση το υδατογράφημα είναι άκυρο με την παραμικρή τροποποίηση της εικόνας. Αυτής της μορφής τα υδατογραφήματα καλούνται «εύθραυστα». Αν ένα έργο που περιέχει ένα εύθραυστο υδατογράφημα τροποποιηθεί, τότε το υδατογράφημα αλλάζει μαζί με το έργο. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να μάθουμε περισσότερα για το πώς τροποποιήθηκε το έργο. Αυτό επιτυγχάνεται αν το έργο χωριστεί σε blocks και κάθε block έχει το δικό του υδατογράφημα ενσωματωμένο. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να γνωρίζουμε ποια block έχουν τροποποιηθεί και ποια παραμένουν αμετάβλητα και κατά συνέπεια αυθεντικά.

2.7.3. Ο έλεγχος αντιγράφων

Στις εφαρμογές του ελέγχου αντιγράφων ο σκοπός είναι να εμποδίσουμε την αναπαραγωγή παράνομων αντιγράφων του έργου. Η πρωταρχική και πιο δυνατή άμυνα ενάντια στην παράνομη αντιγραφή είναι η κρυπτογράφηση. Κρυπτογραφώντας το έργο με ένα μοναδικό κλειδί, το έργο γίνεται απροσπέλαστο προς χρήση σε όποιον δεν έχει το κλειδί. Το κλειδί παρέχεται στους νόμιμους χρήστες σε τέτοια μορφή ώστε να είναι δύσκολη η αντιγραφή του και η επαναδιανομή του από τους χρήστες. Για παράδειγμα πολλά τηλεοπτικά δορυφορικά προγράμματα είναι κρυπτογραφημένα. Το κλειδί που αποκρυπτογραφεί το δορυφορικό σήμα παρέχεται σε κάθε νόμιμο πελάτη σε μορφή «smart card» η οποία εισέρχεται μέσα στη συσκευή αποκρυπτογράφησης της τηλεόρασης. Οποιοσδήποτε προσπαθήσει να δει την τηλεοπτική μετάδοση χωρίς την «smart card» δεν θα μπορέσει να δει την πραγματική μετάδοση αλλά μια εικόνα γεμάτη παράσιτα.

Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι με τις οποίες κάποιος επιτήδειος μπορεί να ξεπεράσει ένα σύστημα κρυπτογράφησης. Ο πρώτος και πιο δύσκολος είναι να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα χωρίς να αποκτήσει με κάποιο τρόπο το κλειδί αλλά δοκιμάζοντας εκατομμύρια κλειδιά ώσπου να βρει το σωστό που αποκρυπτογραφεί το σήμα. Αν το κρυπτογραφικό σύστημα είναι καλά σχεδιασμένο ο επιτιθέμενος στο σύστημα θα πρέπει να δοκιμάσει όλα τα πιθανά κλειδιά. Κάτι που γίνεται σχεδόν ανέφικτο αν το μέγεθος του κλειδιού είναι μεγαλύτερο από 50 bits.

Μια πιο εύκολη προσέγγιση είναι ο επιτιθέμενος στο σύστημα να προσπαθήσει να αποκτήσει ένα έγκυρο κλειδί. Αυτό μπορεί να γίνει με reverse-engineering στο υλικό (hardware) ή στο λογισμικό (software). Ένα παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι το γνωστό DeCSS πρόγραμμα που υλοποιήθηκε από τον Jon Johansen και δυο Γερμανούς συνεργάτες του. Το CSS (Content Scrambling System) είναι το κρυπτογραφικό σύστημα που χρησιμοποιείται για να προστατέψει τα DVD video από την παράνομη αντιγραφή. Ο Johansen μπόρεσε να αντιστρέψει (reverse-engineering) μια συσκευή αναπαραγωγής DVD και να βρει τα κλειδιά αποκρυπτογράφησης. Διαθέτοντας αυτά τα κλειδιά μπόρεσε να υλοποιήσει το DeCSS το οποίο αποκρυπτογραφεί οποιοδήποτε CSS κρυπτογραφημένο βίντεο.

Η τρίτη και πιο εύκολη μέθοδος για να προσπεραστεί η κρυπτογράφηση είναι η απόκτηση νομίμως ενός κλειδιού και η πειρατεία του έργου αφού γίνει η

αποκρυπτογράφηση με το νόμιμο κλειδί. Αυτό είναι και η μεγαλύτερη αδυναμία του κρυπτογραφικού συστήματος, το γεγονός ότι το περιεχόμενο του έργου πρέπει να αποκρυπτογραφηθεί πριν χρησιμοποιηθεί αλλά μετά την αποκρυπτογράφηση του η προστασία του έργου χάνεται.

Επειδή το υδατογράφημα ενσωματώνεται στο έργο, είναι παρόν σε κάθε αναπαράστασή του και για αυτό το λόγο ίσως είναι μια μέθοδος που προσφέρει καλύτερη προστασία αντιγράφων. Αν κάθε συσκευή που μπορεί να κάνει αντίγραφα ενός έργου ήταν εφοδιασμένη με ένα ανιχνευτή υδατογραφημάτων, η συσκευή θα μπορούσε να απαγορεύσει την εγγραφή όποτε ένα «never-copy» υδατογράφημα εντοπιζόταν πάνω στο έργο. Υπάρχει βέβαια ένα τεχνικό πρόβλημα για την υλοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου ελέγχου αντιγράφων βασισμένο σε υδατογράφημα. Το πώς θα εξασφαλίσουμε ότι κάθε συσκευή με δυνατότητα εγγραφής έχει και τον απαραίτητο ανιχνευτή υδατογραφήματος. Υπάρχει ένα σοβαρό εμπόδιο, από την άποψη του καταναλωτή μια συσκευή με ανιχνευτή υδατογραφήματος μειώνει την αξία της συσκευής αφού ο καταναλωτής θα προτιμούσε μια συσκευή που να κάνει και παράνομα αντίγραφα. Η μόνη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να απαιτείται ανιχνευτής υδατογραφήματος με νόμο. Όμως τέτοιος νόμος δεν υπάρχει και η θέσπισή του θα είναι τουλάχιστον δύσκολη. Επίσης θα πρέπει η ισχύς του νόμου να είναι παγκόσμια για να παρέχει και παγκόσμια προστασία στα έργα.

Ένας τρόπος για να υποχρεωθούν οι κατασκευαστές να συμπεριλάβουν τον ανιχνευτή υδατογραφήματος είναι να συμπεριληφθούν οι ανιχνευτές σαν απαίτηση στην άδεια διπλώματος ευρεσιτεχνίας για την τεχνολογία που θέλουν να ενσωματώσουν στη συσκευή οι κατασκευαστές. Για παράδειγμα υπάρχει απαίτηση για ένα ανιχνευτή υδατογραφήματος στην άδεια διπλώματος ευρεσιτεχνίας του CSS. Έτσι αν ένας κατασκευαστής θέλει να παράγει μια συσκευή αναπαραγωγής DVD που να μπορεί να αναπαράγει κρυπτογραφημένους με CSS δίσκους DVD θα πρέπει να συμπεριλάβουν λόγω της πατέντας και ανιχνευτές υδατογραφήματος. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι βασίζεται σε ήδη υπάρχοντες νόμους που ισχύουν στις περισσότερες χώρες. Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει στους κατασκευαστές να παράγουν συσκευές εγγραφής που δεν συμπεριλαμβάνουν ανιχνευτές υδατογραφημάτων αρκεί να μην περιέχουν και τις ανάλογες τεχνολογίες που προστατεύονται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Έτσι μπορούν να υπάρχουν 100% νόμιμες συσκευές αντιγραφής DVD που δεν περιέχουν ούτε ανιχνευτή υδατογραφήματος ούτε αποκρυπτογράφηση CSS. Τέτοιες συσκευές αναφέρονται ως non-compliant. Η ύπαρξη non-compliant αντιγραφικών συσκευών σημαίνει ότι το υδατογράφημα δεν θα εμποδίσει την αντιγραφή του έργου. Για την αντιμετώπιση αυτού μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ιδέα για «έλεγχο αναπαραγωγής» (playback control). Όταν μια non-compliant αντιγραφική συσκευή παράγει ένα αντίγραφο ενός υδατογραφημένου έργου, το αντίγραφο θα περιέχει το υδατογράφημα. Οι compliant συσκευές όταν εντοπίσουν ένα «never-copy» υδατογράφημα ελέγχουν αν το μέσο που μεταφέρει το έργο είναι αυθεντικό ή είναι αντιγραφή. Αυτό γίνεται με διάφορους τρόπους, όπως ο έλεγχος αν το έργο είναι σωστά κρυπτογραφημένο ή ανιχνεύοντας μια ειδική υπογραφή πάνω στο μέσο που περιέχει το έργο. Αν είναι αντίγραφο η συσκευή μπορεί να αρνηθεί να το αναπαράγει.

2.7.4. Έλεγχος συσκευών

Ο έλεγχος αντιγράφων είναι μια από τις πολλές εφαρμογές υδατογραφημάτων που καλούνται «Έλεγχος συσκευών» (Device Control). Υπάρχουν αρκετές άλλες

εφαρμογές στις οποίες η συσκευή αντιδρά όταν ανιχνεύσει ένα υδατογράφημα στο έργο. Από την άποψη του χρήστη αυτά τα υδατογραφήματα, σε αντίθεση με αυτά που προορίζονται για έλεγχο αντιγράφων, προσθέτουν αξία στο έργο.

2.7.5. Το ηλεκτρονικό «αποτύπωμα» (Fingerprinting)

Στην περίπτωση του «δακτυλικού αποτυπώματος», με την τεχνολογία του ηλεκτρονικού υδατοσήμου, εμφυτεύονται στο ψηφιακό περιεχόμενο σειριακοί αριθμοί, οι οποίοι δίνουν τη δυνατότητα στον ιδιοκτήτη να ελέγχει τη διανομή του έργου του. Για παράδειγμα, εάν το έργο έχει πουληθεί νόμιμα σε κάποιον και εντοπιστεί αντίγραφό του στην κατοχή τρίτου, το παράνομο αντίγραφο θα φέρει το «δακτυλικό αποτύπωμα» -σειριακό αριθμό- του νόμιμου αντίγραφου και επομένως μπορεί να ανιχνευθεί από που προέρχεται αυτό.

2.7.6. Μυστική επικοινωνία (Secret communication)

Το ενσωματωμένο υδατογράφημα χρησιμοποιείται για να διαβιβάσει τη μυστική πληροφορία από τον ένα χρήστη (υπολογιστή) σε κάποιον άλλο χωρίς κανένας ενδιάμεσα να γνωρίζει ότι στέλνεται αυτή η πληροφορία. Αυτό είναι κλασσική εφαρμογή της στεγανογραφίας – το κρύψιμο μιας πληροφορίας μέσα σε μια άλλη. [22]

2.7.7. Ετικέτες Χαρακτηριστικών (Feature Tagging):

Τίτλοι, σχολιασμοί, time-stamps και άλλα περιγραφικά στοιχεία μπορούν να ενσωματωθούν μέσα σε μια εικόνα, όπως τα ονόματα των ατόμων σε μια φωτογραφία ή θέσεις σε έναν χάρτη. Η αντιγραφή της εικόνας αντιγράφει επίσης όλα τα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και μόνο όποιοι κατέχουν το κατάλληλο κλειδί θα είναι σε θέση να εξαγάγει και να δει αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Σε μια βάση δεδομένων με εικόνες, οι λέξεις κλειδιά μπορούν να ενσωματωθούν για να διευκολύνουν τις μηχανές αναζήτησης. Εάν η εικόνα είναι ένα πλαίσιο (frame) από μια ακολουθία εικόνων, δείκτες συγχρονισμού μπορεί να ενσωματωθούν στην εικόνα για το συγχρονισμό με τον ήχο. Ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές έχει χρησιμοποιηθεί μια εικόνα να ενσωματωθεί για τις "pay-per-view " εφαρμογές. [23]

2.8. Ιδιότητες του υδατογραφήματος

Μερικές από τις ιδιότητες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία είναι η ανθεκτικότητα (robustness), η αντίσταση πλαστογραφήσεων (tamper resistance), η πιστότητα (fidelity), το ωφέλιμο φορτίο (data payload), το ποσοστό λάθους αναγνώρισης (false positive rate). Στην πράξη, είναι μάλλον αδύνατο να σχεδιαστεί ένα σύστημα υδατογράφησης που να υπερέχει σε όλους τους τομείς. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να γίνει ένα είδος παζαριού μεταξύ των ιδιοτήτων μετά την προσεκτική ανάλυση της εφαρμογής.

Στις ακόλουθες υποενότητες, εξετάζουμε κάθε μια από τις πέντε ιδιότητες που απαριθμούνται ανωτέρω, και συζητάμε πώς η σημασία και ο καθορισμός της ποικίλουν με την εφαρμογή.

2.8.1. Ανθεκτικότητα (Robustness)

Ένα υδατογράφημα λέγεται ότι είναι ανθεκτικό εάν διατηρείται των κοινών διαδικασιών επεξεργασίας σήματος όπως οι digital-to-analog, analog -to-digital μετατροπές και η με απώλειες συμπίεση. Πιό πρόσφατα, έχει υπάρξει μια αυξανόμενη ανησυχία ότι το υδατογράφημα σε βίντεο και σε εικόνες πρέπει να είναι επίσης ανθεκτικό στους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς.

Η ανθεκτικότητα θεωρείται συχνά ως μονοδιάστατη τιμή, αλλά αυτό είναι ανακριβές. Ένα υδατογράφημα που είναι ανθεκτικό σε μια διαδικασία μπορεί να είναι πολύ εύθραυστο σε μια άλλη. Σε πολλές εφαρμογές, η ανθεκτικότητα σε όλες τις πιθανές επεξεργασίες είναι υπερβολική και περιττή.

Συνήθως, ένα υδατογράφημα πρέπει να διατηρηθεί στην κοινή επεξεργασία σήματος (common signal processing) μόνο μεταξύ του χρόνου της ενσωμάτωσης και του χρόνου της ανίχνευσης του υδατογραφήματος. Παραδείγματος χάριν, μια εφαρμογή υδατογραφήματος στην τηλεόραση και το ραδιόφωνο, ο έλεγχος μετάδοσης διαφημίσεων, η ανάγκη για υδατογράφημα υπάρχει μόνο κατά την διαδικασία της μετάδοσης. Για την τηλεόραση, αυτό σημαίνει τη με απώλειες συμπίεση και την αναλογική μετάδοση. Δεν χρειάζεται να επιζήσει της περιστροφής (rotation), της αλλαγής κλίμακας (scaling), του υψηλοπερατού φιλτραρίσματος (high-pass filtering) ή οποιασδήποτε από μια ευρεία ποικιλία των διαστρεβλώσεων που δεν εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Σε μερικές περιπτώσεις, η ανθεκτικότητα μπορεί να είναι απολύτως άσχετη, ή ακόμα και ανεπιθύμητη. Τα υδατόσημα που χρησιμοποιούνται για το συγκεκαλυμμένη επικοινωνία δεν χρειάζονται να είναι καθόλου ανθεκτικά, εάν το μέσο κάλυψης (cover media) του υδατογραφήματος διαβιβαστεί ψηφιακά χωρίς συμπίεση. Ένα υδατογράφημα για την πιστοποίηση αυθεντικότητας, που ακριβώς δείχνει εάν τα μέσα έχουν αλλάξει, πρέπει να είναι εύθραυστο.

Αφ' ετέρου, όταν η επεξεργασία σήματος μεταξύ της ενσωμάτωσης και της ανίχνευσης είναι απρόβλεπτη, το υδατόσημο μπορεί να πρέπει να είναι ανθεκτικό σε κάθε αναμενόμενη διαστρέβλωση. Αυτό συμβαίνει για την απόδειξη της ιδιοκτησίας, το ηλεκτρονικό «μαρκάρισμα» (Fingerprinting), και τον έλεγχο αντιγράφων. Ισχύει επίσης για οποιαδήποτε εφαρμογή στην οποία οι χάκερ θελήσουν να αφαιρέσουν το υδατογράφημα.

2.8.2. Αντίσταση πλαστογραφήσεων

Η αντίσταση πλαστογραφήσεων αναφέρεται στην αντίσταση που διαθέτει ένα σύστημα υδατογράφησης σε εχθρικές επιθέσεις. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αντίστασης. Ανάλογα με την εφαρμογή, ορισμένοι τύποι επιθέσεων είναι σημαντικότεροι από άλλους. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν διάφορες εφαρμογές στις οποίες το υδατογράφημα δεν έχει κανέναν εχθρό και η αντίσταση πλαστογραφήσεων είναι άσχετη. Μερικοί βασικοί τύποι επιθέσεων είναι οι ακόλουθοι:

- *ενεργές* επιθέσεις. Εδώ ο χάκερ προσπαθεί να αφαιρέσει το υδατογράφημα ή να το καταστήσει μη ανιχνεύσιμο. Αυτός ο τύπος επίθεσης είναι κρίσιμος για πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων της απόδειξης της ιδιοκτησίας, του ηλεκτρονικού «αποτυπώματος» και του ελέγχου αντιγράφων, στις οποίες ο σκοπός του υδατογραφήματος αποτυγχάνει όταν δεν μπορεί να ανιχνευθεί. Εντούτοις, δεν είναι ένα σοβαρό πρόβλημα για τη συγκεκαλυμμένη επικοινωνία.

- *παθητικές* επιθέσεις. Σε αυτήν την περίπτωση, ο χάκερ δεν προσπαθεί να αφαιρέσει το υδατογράφημα, αλλά προσπαθεί απλά να καθορίσει εάν είναι παρόν, δηλ. προσπαθεί να προσδιορίσει μια συγκεκαλυμμένη επικοινωνία. Τα περισσότερα από τα σενάρια δεν ενδιαφέρονται ανωτέρω για αυτόν τον τύπο επίθεσης αφού στην πραγματικότητα διαφημίζεται η παρουσία του υδατογραφήματος έτσι ώστε μπορεί να χρησιμεύσει ως ένας αποτρεπτικός παράγοντας. Αλλά για τη συγκεκαλυμμένη επικοινωνία, το αρχικό ενδιαφέρον μας είναι να αποτρέψουμε το υδατογράφημα από την παρατήρηση.

- επιθέσεις *συνεργίας*. Αυτές είναι μια ειδική περίπτωση των ενεργών επιθέσεων, στις οποίες ο χάκερ χρησιμοποιεί διαφορετικά αντίγραφα ενός κομματιού των υδατογραφημένων μέσων, το κάθε ένα με ένα διαφορετικό υδατογράφημα, για να κατασκευάσει ένα αντίγραφο χωρίς το υδατογράφημα. Η αντίσταση στις επιθέσεις συνεργίας μπορεί να είναι κρίσιμη σε μια εφαρμογή fingerprinting, η οποία συνεπάγεται ένα διαφορετικό υδατογράφημα σε κάθε αντίγραφο ενός κομματιού των μέσων. Εντούτοις, ο αριθμός των αντιγράφων που μπορεί να λάβει ο χάκερ ποικίλει πολύ από εφαρμογή σε εφαρμογή. Μια επίθεση συνεργίας προϋποθέτει ότι διάφοροι υπάλληλοι συνωμοτούν να κλέψουν το υλικό, το οποίο είναι μια απίθανη προοπτική.

- επιθέσεις *παραποίησης*. Εδώ, ο χάκερ προσπαθεί να ενσωματώσει ένα έγκυρο υδατογράφημα, παρά να αφαιρέσει ένα. Αυτή είναι η κύρια ανησυχία ασφάλειας στις εφαρμογές πιστοποίησης αυθεντικότητας, δεδομένου ότι, εάν ο χάκερ μπορέσει να ενσωματώσει ένα υδατογράφημα που να προκαλέσει στον ανιχνευτή λανθασμένη έγκυρη αναγνώριση υδατογραφήματος μπορεί οποιαδήποτε εικόνα να θεωρηθεί ως αυθεντική. Επιπλέον, όπως επισημαίνεται από τον Craver [24], αυτός ο τύπος επίθεσης είναι μια σοβαρή ανησυχία και στην απόδειξη της ιδιοκτησίας.

2.8.3. Πιστότητα (Fidelity)

Ένα υδατογράφημα λέγεται ότι την υψηλή πιστότητα εάν η αλλοίωση που επιφέρει στην εικόνα είναι πολύ δύσκολο να γίνει αντιληπτή. Εάν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι τα μέσα θα υποβιβαστούν σοβαρά πριν εμφανιστούν, μπορούμε να στηριχθούμε σε αυτή την υποβάθμιση για να βοηθήσουμε να καλύψουμε το υδατογράφημα. Μια τέτοια περίπτωση εμφανίζεται όταν για παράδειγμα ο ήχος μεταδοθεί μέσω ραδιόφωνου AM. Η ποιότητα μερικών τεχνολογιών μετάδοσης είναι τόσο χαμηλή ώστε η αρχική πιστότητα δεν χρειάζεται να είναι πολύ καλή. Αντιθέτως, στο βίντεο HDTV και DVD, τα σήματα είναι πολύ υψηλής ποιότητας και απαιτούν υδατογράφημα πολύ μεγάλης πιστότητας. Σε μερικές εφαρμογές, μπορούμε να δεχτούμε ελαφρώς αντιληπτά υδατογραφήματα σε αντάλλαγμα της υψηλότερης ανθεκτικότητας ή του χαμηλότερου κόστους. Για παράδειγμα, τα Hollywood dailies, που δεν είναι ολοκληρωμένα προϊόντα αλλά τα αποτελέσματα των φτωχών μεταφορών από την ταινία στο βίντεο με μόνο σκοπό να παρουσιάσουν σε εκείνους που εμπλέκονται στην παραγωγή της ταινίας την πρόοδο των γυρισμάτων μέχρι τώρα.

2.8.4. Ωφέλιμο φορτίο του υδατογραφήματος (Data Payload)

Το ποσό πληροφοριών που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα υδατογράφημα εξαρτάται από την εφαρμογή. Παραδείγματος χάριν, στις εφαρμογές προστασίας αντιγράφων ένα ωφέλιμο φορτίο ενός bit μπορεί να είναι ικανοποιητικό. Για τα πνευματικά δικαιώματα όπως το ISBN ένα μήκος 60-70 bits θα ήταν ικανοποιητικό. Η "κοκκοποίηση υδατογραφήματος" (Watermarking granularity) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στον αριθμό bits που απαιτούνται για να αναπαρασταθεί ολόκληρο το υδατογράφημα στην εικόνα. Γενικά για το βίντεο οι πληροφορίες του υδατογραφήματος μπορεί να εξαπλώνεται σε μερικά πλαίσια. Αν και αυτό μειώνει την ανθεκτικότητα, αυτή η προσέγγιση έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις περισσότερες εφαρμογές.

2.8.5. Ποσοστό λανθασμένης αναγνώρισης (False positive rate)

Η λανθασμένη αναγνώριση είναι μια ανίχνευση ενός υδατογραφήματος σε ένα έργο πολυμέσων που δεν το περιέχει. Το ποσοστό λάθους αναγνώρισης αναφέρεται στον αριθμό εσφαλμένων θετικών αναγνωρίσεων υδατογραφημάτων που αναμένεται να εμφανιστούν σε έναν δεδομένο αριθμό τρεξιμάτων του ανιχνευτή. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι να καθοριστεί αυτό το ποσοστό, οι οποίοι είναι συχνά συγκεχυμένοι στη βιβλιογραφία υδατογραφήματος. Διαφέρουν στο εάν το υδατογράφημα ή το έργο πολυμέσων θεωρείται ως τυχαία μεταβλητή.

Στην πρώτη περίπτωση, το ποσοστό μιας λανθασμένης αναγνώρισης λαμβάνοντας υπόψη ένα δεδομένο έργο πολυμέσων και ενός τυχαία-επιλεγμένου υδατογραφήματος είναι η πιθανότητα ο ανιχνευτής να αναφέρει ότι το υδατογράφημα είναι στο έργο. Τα υδατογραφήματα επιλέγονται από μια κατανομή που καθορίζεται από το μοντέλο του συστήματος παραγωγής υδατογραφημάτων. Η πιθανότητα των λανθασμένων αναγνωρίσεων, σύμφωνα με αυτόν τον πρώτο ορισμό, είναι πραγματικά ανεξάρτητη από το έργο πολυμέσων και εξαρτάται *μόνο* από τη μέθοδο παραγωγής υδατογραφημάτων.

Στη δεύτερη περίπτωση, το ποσοστό μιας λανθασμένης αναγνώρισης λαμβάνοντας υπόψη ένα σταθερό *υδατογράφημα* και ένα τυχαία-επιλεγμένο *έργο πολυμέσων* είναι η πιθανότητα ο ανιχνευτής θα ανιχνεύσει το υδατογράφημα στο έργο. Τα έργα επιλέγονται από μια κατανομή ήδη υπαρχόντων έργων πολυμέσων. Αυτή η κατανομή είναι πολύ διαφορετική από αυτήν που καθορίζεται από το σύστημα παραγωγής υδατογραφημάτων και έτσι οι πιθανότητες που βασίζονται σε αυτόν τον καθορισμό μπορούν να είναι αρκετά διαφορετικές από εκείνες που βασίζονται στην πρώτη περίπτωση.

Στις περισσότερες εφαρμογές, ενδιαφερόμαστε για τη δεύτερη περίπτωση του ποσοστού λανθασμένης αναγνώρισης. Ωστόσο σε μερικές περιπτώσεις, η πρώτη περίπτωση είναι επίσης σημαντική, όπως στην περίπτωση του fingerprinting, όπου η ανίχνευση ενός τυχαίου υδατογραφήματος σε μια δεδομένη εικόνα μπορεί να οδηγήσει στο να κατηγορηθεί άδικα κάποιος.

Το ελάχιστο ποσοστό λανθασμένης αναγνώρισης που απαιτείται εξαρτάται από την εφαρμογή. Στην περίπτωση της απόδειξης της ιδιοκτησίας, ο ανιχνευτής χρησιμοποιείται πολύ σπάνια που μια πιθανότητα 10^{-6} είναι αρκετή να καταστήσει το ποσοστό λανθασμένης αναγνώρισης ουσιαστικά ανύπαρκτο. Στην εφαρμογή ελέγχου αντιγράφων, όμως, τα εκατομμύρια ανιχνευτές υδατογραφημάτων ανιχνεύουν συνεχώς τα εκατομμύρια των έργων πολυμέσων σε όλο τον κόσμο. Εάν ένα μη-υδατογραφημένο έργο πολυμέσων παράγει με συνέπεια λανθασμένη θετική

αναγνώριση, θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρό πρόβλημα. Για αυτόν τον λόγο, το ποσοστό λάθους αναγνώρισης πρέπει να είναι απειροελάχιστο. Για παράδειγμα, κοινά αποδεκτό ποσοστό λάθους για τους ανιχνευτές υδατογραφημάτων DVD πρέπει να είναι 1 σε κάθε 10^{12} πλαίσια (frames) [6].

2.8.6. Επιλογή του υδατογραφήματος

Η πρώτη ερώτηση σε ένα στενογραφικό σύστημα ή σύστημα υδατογράφησης, είναι ποια θα είναι η μορφή που θα πάρει το ενσωματωμένο μήνυμα; Η απλούστερη προσέγγιση θα ήταν να ενσωματωθούν οι σειρές κειμένων (text strings) σε μια εικόνα, που επιτρέπει σε μια εικόνα να φέρει άμεσα τις πληροφορίες όπως ο συντάκτης, τίτλος, ημερομηνία κ.τ.λ. Το μειονέκτημα εντούτοις σε αυτήν την προσέγγιση είναι ότι το κείμενο ASCII με έναν τρόπο μπορεί να θεωρηθεί μια μορφή συμπίεσης LZW, η οποία αντιπροσωπεύει το κάθε γράμμα με μια ορισμένη ακολουθία από bits. Με τη συμπίεση του υδατογραφήματος-αντικειμένου πριν από την εισαγωγή, η ανθεκτικότητα χάνεται. Λόγω της φύσης των κωδίκων ASCII, ένα λάθος στα bits λόγω μιας επίθεσης μπορεί εξ ολοκλήρου να αλλάξει την έννοια εκείνου του χαρακτήρα και έτσι το μήνυμα. Θα ήταν αρκετά εύκολο για έναν απλό σκοπό όπως η συμπίεση JPEG να μετατρέψει μια σειρά κειμένου πνευματικών δικαιωμάτων σε μια τυχαία συλλογή χαρακτήρων. Αντί για χαρακτήρες, μπορεί να ενσωματωθούν οι πληροφορίες σε μια εικόνα αφού οι ιδιότητες του ανθρώπινου οπτικού συστήματος (Human Visual System, HVS) μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν σε αναγνώριση ενός υδατογραφήματος που έχει δεχθεί επίθεση. Εξετάστε το Σχήμα 2.3:

Σχήμα 2.3 - Αρχικό υδατογράφημα σε αντίθεση με υδατογράφημα με 25% πρόσθετο γκαουσσιανό θόρυβο (25% Additive Gaussian Noise)

Σημειώστε ότι παρά τον υψηλό αριθμό λαθών που γίνονται στην ανίχνευση υδατογραφημάτων, το ανακτημένο υδατογράφημα είναι ακόμα ιδιαίτερα αναγνωρίσιμο.[Δ8]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΨΗΦΙΑΚΟ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑ

ΕΠΙΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

3. ΕΠΙΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Στην πράξη, ένα υδατογραφημένο αντικείμενο μπορεί να τροποποιηθεί είτε εσκεμμένα είτε τυχαία, έτσι το σύστημα υδατογράφησης θα πρέπει ακόμα να είναι σε θέση να ανιχνεύσει και να εξαγάγει το υδατογράφημα. Προφανώς, οι παραμορφώσεις περιορίζονται σε εκείνες που δεν παράγουν υπερβολικές υποβαθμίσεις, δεδομένου ότι ειδάλλως το μετασχηματισμένο αντικείμενο θα ήταν ακατάλληλο προς χρήση. Αυτές οι παραμορφώσεις εισάγουν επίσης μια υποβάθμιση στην απόδοση του συστήματος. Για τις σκόπιμες επιθέσεις, ο στόχος του επιτιθεμένου είναι να μεγιστοποιήσει την απώλεια του υδατογραφήματος ελαχιστοποιώντας τον αντίκτυπο που ο μετασχηματισμός του παράγει στο αντικείμενο, αυτό πρέπει να γίνει χωρίς γνώση της τιμής του μυστικού κλειδιού που χρησιμοποιείται στη διαδικασία εισαγωγής υδατογραφήματος, στην οποία τιμή βρίσκεται όλη η ασφάλεια του αλγορίθμου.

Εδώ αναφέρονται περιληπτικά μερικές από τις πιο διαδεδομένες επιθέσεις, μερικές από τις οποίες μπορεί να είναι σκόπιμες ή ακούσιες, ανάλογα με την εφαρμογή.

3.1. Προσθετικός θόρυβος.

Ο προσθετικός θόρυβος μπορεί να προέλθει σε ορισμένες εφαρμογές από τη χρήση των μετατροπών από Ψηφιακό σε Αναλογικό (D/A) και από Αναλογικό σε Ψηφιακό (A/D) ή από τα λάθη μετάδοσης. Ωστόσο ένας επιτιθέμενος μπορεί να προσθέσει ένα μη οπτικά αναγνωρίσιμο θόρυβο αυξάνοντας με αυτό το τρόπο την μέση ισχύ του και εμποδίζοντας τον συσχετιστή να αποφασίζει σωστά.[Δ11]

Ο θόρυβος είναι μια στοχαστική διαδικασία ανεξάρτητη ή εξαρτώμενη από το περιεχόμενο της εικόνας.

Αν ο θόρυβος εικόνας συχνά περιγραφεί από ένα πρόσθετο μοντέλο θορύβου, όπου η καταγεγραμμένη εικόνα *f(i, j)* είναι το ποσό της χωρίς θόρυβο εικόνας *s(i, j)* και του θορύβου *n(i, j)*:

$$f(i,j) = s(i,j) + n(i,j)$$

Ο θόρυβος *n(i, j)* είναι συχνά μηδενικής μέσης τιμής (*zero-mean)* και περιγράφεται από τη διακύμανσή του σ_n^2. Ο αντίκτυπος του θορύβου στην εικόνα περιγράφεται συχνά από το λόγο *σήματος προς θόρυβο* (*signal to noise ratio,* SNR), η οποία δίνεται από την σχέση:

$$SNR = \frac{\sigma_s}{\sigma_n} = \sqrt{\frac{\sigma_f^2}{\sigma_n^2} - 1}$$

όπου σ_n^2 και σ_f^2 είναι η διακύμανση της αρχικής εικόνας (πριν την εισαγωγή θορύβου) και της εικόνας αφού εισήχθη ο θόρυβος, αντίστοιχα.Στην περίπτωση αυτή εξαιτίας του ότι ο θόρυβος κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το πεδίο της συχνότητας, όπου μια εικόνα περιέχει συνήθως τις πληροφορίες χαμηλής συχνότητας. Ως εκ τούτου, ο θόρυβος επηρεάζει περισσότερο τις υψηλές συχνότητες και τα

αποτελέσματά του μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας κάποιο χαμηλής διέλευσης φίλτρο. Αυτό μπορεί να γίνει είτε στο χώρο των συχνοτήτων είτε στο χωρικό χώρο

Στη δεύτερη περίπτωση κατά την οποία, όπως αναφέραμε, ο θόρυβος εξαρτάται από το περιεχόμενο της εικόνας (*data-dependent noise)*, είναι πιθανό να μοντελοποιηθεί ο θόρυβος με ένα πολλαπλασιαστικό ή μη γραμμικό μοντέλο. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των παραπάνω μοντέλων, συχνά καταλήγουμε στην υπόθεση του ανεξάρτητου θορύβου.

3.2. Φιλτράρισμα

Σαν φιλτράρισμα μπορούμε να ορίσουμε τη γραμμική ή μη γραμμική δράση μιας δισδιάστατης ακολουθίας K(m,n), η οποία συνήθως ονομάζεται πυρήνας (kernel), πάνω στην εικόνα και περιγράφεται μαθηματικά από τη σχέση:

$$y(n_1, n_2) = J\{K(n,m), I(n_1, n_2)\} \qquad (1)$$

Στην γραμμική περίπτωση η σχέση (1) εκφράζεται από την δισδιάστατη γραμμική διακριτή συνέλιξη (discrete convolution) και ο πυρήνας αποτελεί την κρουστική απόκριση (impluse respond) του φίλτρου και γράφεται ως

$$y(n_1, n_2) = \sum_n \sum_m h(n,m), I(n_1 - n, n_2 - n)\} \qquad (A)$$

ή ισοδύναμα,

$$y(n_1, n_2) = h(n,m) \times\times I(n_1, n_2) \qquad (2)$$

Από τη σχέση (A) είναι φανερό ότι η διακριτή συνέλιξη είναι μια διαδικασία *«μετατόπισης και πολλαπλασιασμού»*, κατά την οποία μετατοπίζουμε τον πυρήνα πάνω στην εικόνα και πολλαπλασιάζουμε την τιμή του με τις αντίστοιχες τιμές των εικονοστοιχείου της εικόνας.

Μια εικόνα μπορεί να φιλτραριστεί είτε στο πεδίο της συχνότητας είτε στο χωρικό πεδίο.

3.2.1. Χωρικές επεξεργασίες

Οι χωρικές επεξεργασίες αποτελούν ίσως την ευρύτερα χρησιμοποιούμενη κατηγορία τεχνικών για βελτίωση εικόνας. Το κοινό τους γνώρισμα είναι ότι η επεξεργασία γίνεται κατ' ευθείαν στο πεδίο της εικόνας με εφαρμογή γραμμικών ή μη γραμμικών τελεστών μέσω των οποίων η εικόνα-είσοδος $f(x,y)$ μετατρέπεται στην εικόνα-έξοδο $g(x,y)$, δηλαδή

$$g(x,y) = T\,[f(x,y)]$$

όπου $T(\cdot)$ είναι ο τελεστής ο οποίος επενεργεί πάνω στη *γειτονιά* του κάθε εικονοστοιχείου. Έτσι η τιμή π.χ. του εικονοστοιχείου $g(x_1,y_1)$ εξαρτάται, μέσω

φυσικά του τελεστή $T(\cdot)$, από την τιμή του εικονοστοιχείου $f(x_1,y_1)$ καθώς και τις τιμές των εικονοστοιχείων μιας προκαθορισμένης γειτονιάς αυτού. Οι τελεστές ονομάζονται και *χωρικές μάσκες* ή *χωρικά φίλτρα*. Το μέγεθος και η γεωμετρία της μάσκας ποικίλουν, συνηθίζονται πάντως οι τετραγωνικές μάσκες μικρών σχετικά διαστάσεων. Μερικοί κοινοί και αρκετά αποτελεσματικοί τύποι χωρικών φίλτρων είναι οι παρακάτω:

3.2.1.1. Χωρικά Φίλτρα Εξομάλυνσης και Χαμηλοπερατά Φίλτρα

Η πιο συνηθισμένη (και εύκολη στην υλοποίηση) περίπτωση φίλτρου εξομάλυνσης είναι αυτή του *μέσου όρου* ή *κινουμένου μέσου*, όπου κάθε εικονοστοιχείο αντικαθίσταται από το μέσο όρο των εικονοστοιχείων της γειτονιάς του. Στο Σχήμα 3.1(α) βλέπουμε μία μάσκα διαστάσεων 3x3 που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εξομάλυνση.

Ουσιαστικά η διαδικασία της εξομάλυνσης με τη μέθοδο του μέσου όρου αποτελεί μία ειδική περίπτωση χαμηλοπερατού φιλτραρίσματος (επιτρέπει δηλαδή τις χαμηλές χωρικές συχνότητες και αποδυναμώνει τις υψηλές που αντιστοιχούν σε απότομες εναλλαγές του επιπέδου του γκρί). Τα χαμηλοπερατά χωρικά φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ελάττωση προσθετικού gaussian θορύβου. Στα χωρικά χαμηλοπερατά φίλτρα, κάθε εικονοστοιχείο αντικαθίσταται από έναν κατάλληλα επιλεγμένο γραμμικό συνδυασμό των εικονοστοιχείων της γειτονιάς του.

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

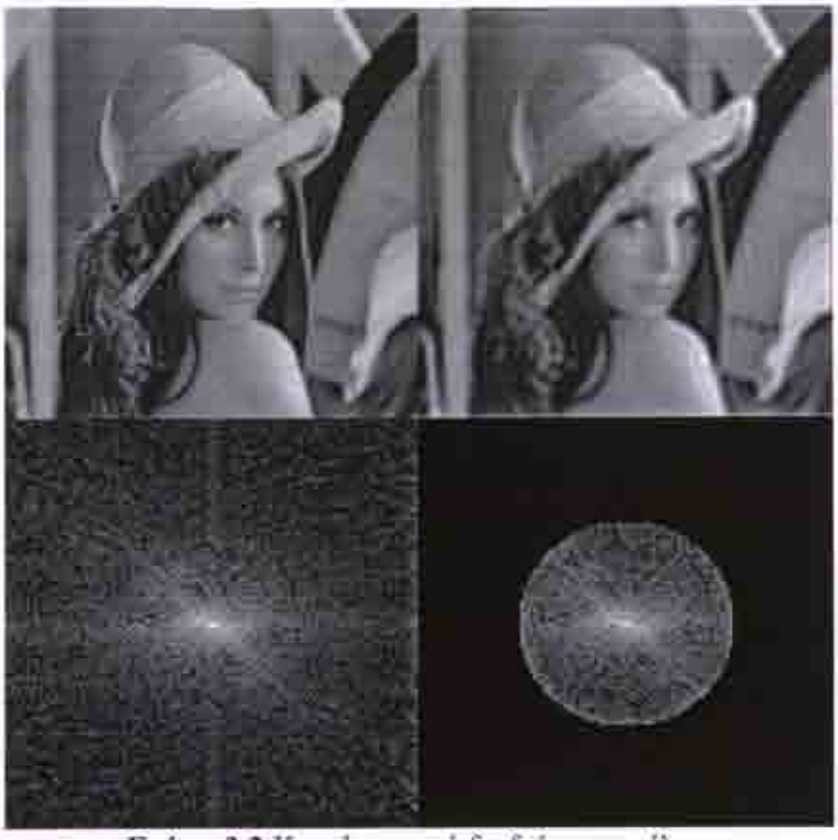
(α)

-1/9	-1/9	-1/9
-1/9	8/9	-1/9
-1/9	-1/9	-1/9

(β)

Σχήμα 3.1

Ένα παράδειγμα χαμηλοπερατού δισδιάστατου φίλτρου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Σχήμα 3.2 Χαμηλοπερατό δισδιάστατο φίλτρο

Το χαμηλοπερατό φιλτράρισμα δεν εισάγει ιδιαίτερη υποβάθμιση στις υδατογραφημένες εικόνες ή τον ήχο, αλλά μπορεί εντυπωσιακά να επηρεάσει την απόδοση του συστήματος υδατογράφησης, δεδομένου ότι τα spread-spectrum υδατογραφήματα έχουν μη αμελητέο υψηλής συχνότητας φασματικό περιεχόμενο [Δ12]

3.2.1.2. Χωρικά Υψηπερατά Φίλτρα

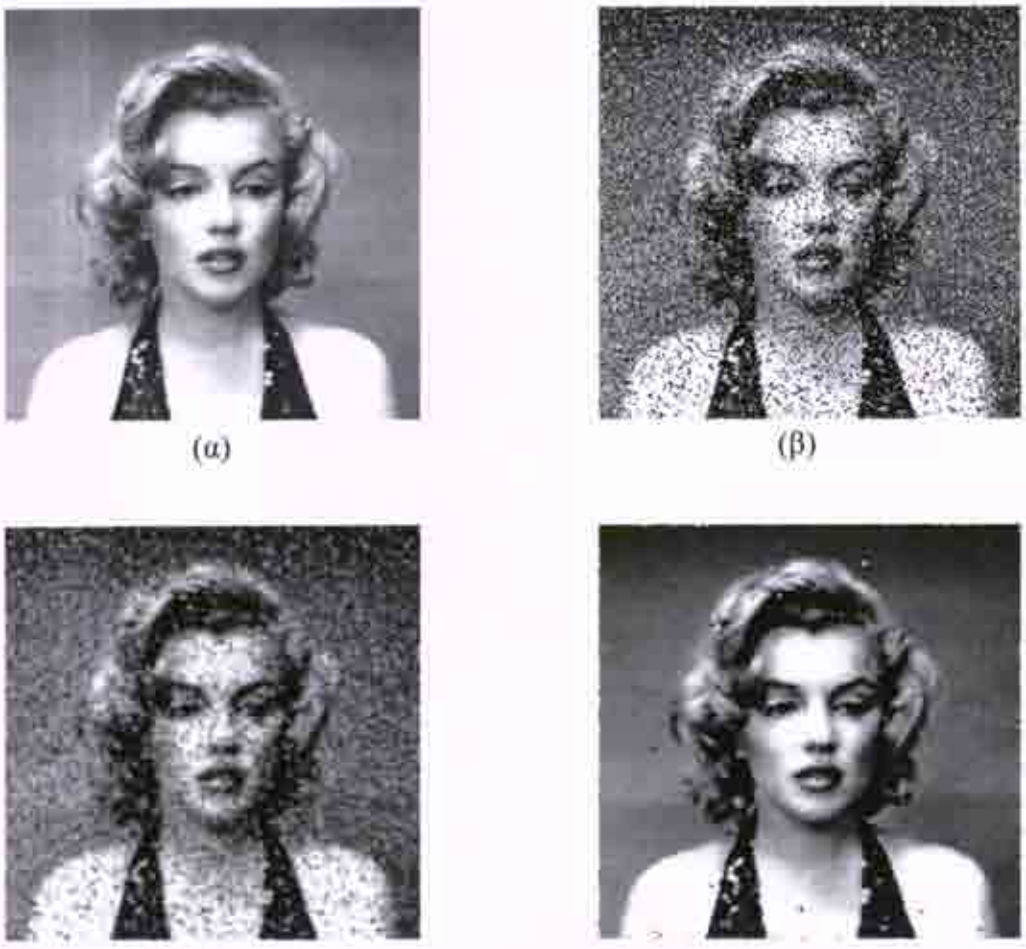
Τα φίλτρα αυτά χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν έμφαση στις λεπτομέρειες της εικόνας και να βελτιώσουν τη σαφήνειά της. Οι μάσκες που χρησιμοποιούνται θυμίζουν στη μορφή την κρουστική απόκριση δισδιάστατων υψηπερατών ψηφιακών φίλτρων. Ένα παράδειγμα τέτοιας μάσκας φαίνεται στο Σχήμα 3.1(β). Μια άλλη κατηγορία φίλτρων που επιτυγχάνουν βελτίωση της σαφήνειας είναι αυτά που βασίζονται σε διαφορικούς τελεστές. Η διαδικασία της διαφόρισης δίνει έμφαση στα περιγράμματα (*edges*) της εικόνας.

3.2.1.3. Χωρικά Φίλτρα Μεσαίου

Στα φίλτρα αυτού του τύπου το κάθε εικονοστοιχείο της αρχικής εικόνας αντικαθίσταται από τον μεσαίο (*median*) των εικονοστοιχείων της γειτονιάς του. Για να βρεθεί φυσικά ο μεσαίος της εκάστοτε γειτονιάς θα πρέπει πρώτα να προηγηθεί η διάταξη των εικονοστοιχείων ανάλογα με την τιμή τους (gray level). Τα φίλτρα μεσαίου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην αφαίρεση του λεγόμενου κρουστικού θορύβου ή θορύβου αλατοπίπερου *(salt & pepper)*. Να σημειώσουμε ότι επιτυγχάνουν τη δραστική μείωση του θορύβου χωρίς να θολώνουν ιδιαίτερα την εικόνα (κάτι που δεν μπορούν να το αποφύγουν τα χαμηλοπερατά φίλτρα). Στο Σχήμα 3.3(α) βλέπουμε την εικόνα "Marylin" στην αρχική της μορφή, στο 3.3(β) την ίδια εικόνα με κρουστικό θόρυβο που έχει "προσβάλει" το 20% περίπου των

εικονοστοιχείων, στο 3.3(γ) την εφαρμογή φίλτρου μέσου όρου με μάσκα 3x3 και τέλος στο 3.3(δ) την εφαρμογή φίλτρου μεσαίου με μάσκα 3x3. Να σημειωθεί ότι μία ακόμα εφαρμογή του φίλτρου μεσαίου στην εικόνα του σχήματος (δ) μπορεί να εξαλείψει σχεδόν τελείως τα εναπομείναντα στίγματα.

Τα φίλτρα μεσαίου είναι μία ειδική μόνο περίπτωση των λεγόμενων φίλτρων στατιστικής διάταξης (*order statistics*) που σχεδιάζονται έτσι ώστε να πληρούν διάφορες προδιαγραφές, όπως π.χ. ελάττωση θορύβων διάφορων κατανομών, διατήρηση περιγραμμάτων και λεπτομερειών κλπ.



(α) (β)

(γ) (δ)

Σχήμα 3.3

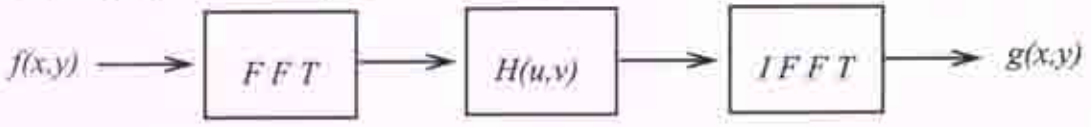
3.2.2. Επεξεργασίες στο πεδίο των χωρικών συχνοτήτων

Η ανάπτυξη τεχνικών βελτίωσης στο πεδίο των χωρικών συχνοτήτων στηρίχτηκε στα ισχυρά μαθηματικά εργαλεία της Θεωρίας Σημάτων και Συστημάτων δύο διαστάσεων. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, απαραίτητο συστατικό στοιχείο στην υλοποίηση των τεχνικών αυτών είναι ο πασίγνωστος αλγόριθμος *FFT* (*Fast Fourier Transform*) ο οποίος υπολογίζει τον *DFT* (*Discrete Fourier Transform*) με

θεαματικά χαμηλή υπολογιστική πολυπλοκότητα. Παρακάτω θα δούμε δύο γενικά σχήματα που καλύπτουν την πλειοψηφία των επεξεργασιών αυτού του τύπου.

3.2.2.1. Γραμμικά Φίλτρα στο Πεδίο Συχνοτήτων

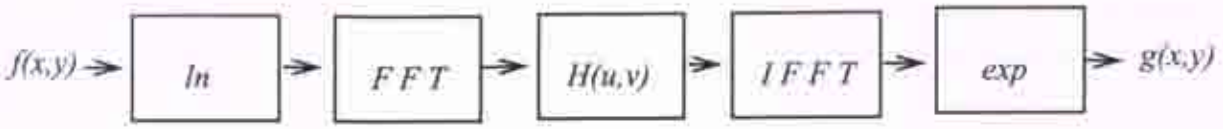
Όπως και στην περίπτωση των χωρικών φίλτρων έτσι κι εδώ έχουμε δύο βασικές κατηγορίες φίλτρων, τα χαμηλοπερατά και τα υψηπερατά με χρήσεις αντίστοιχες με αυτές που έχουν ήδη περιγραφεί. Μια κατηγορία φίλτρων που χρησιμοποιούνται ευρέως στο πεδίο συχνοτήτων είναι τα λεγόμενα φίλτρα *Butterworth* τα οποία λόγω της ελεγχόμενα ομαλής μετάβασής τους από τη ζώνη διέλευσης στη ζώνη αποκοπής υλοποιούν το απαιτούμενο φιλτράρισμα χωρίς τα προβλήματα που θα δημιουργούσε η απότομη μετάβαση (φαινόμενο δακτυλίων, πλήρης απώλεια πληροφορίας από ορισμένες περιοχές συχνοτήτων κλπ). Δοθέντος ενός γραμμικού φίλτρου στο πεδίο των *u, v*, η διαδικασία υλοποίησής του είναι πολύ απλή και φαίνεται στο Σχήμα 3.4. Πρώτα εφαρμόζουμε τον *FFT* στην αρχική εικόνα *f(x,y)* και λαμβάνουμε την *F(u,v)* (διαστάσεων επίσης NxN). Στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε σημείο-προς-σημείο την *F(u,v)* με την απόκριση συχνότητας *H(u,v)* του φίλτρου και, τέλος, στο αποτέλεσμα εφαρμόζουμε τον αντίστροφο *FFT* (*IFFT*).



Σχήμα 3.4

3.2.2.2. Ομοιομορφικά Φίλτρα

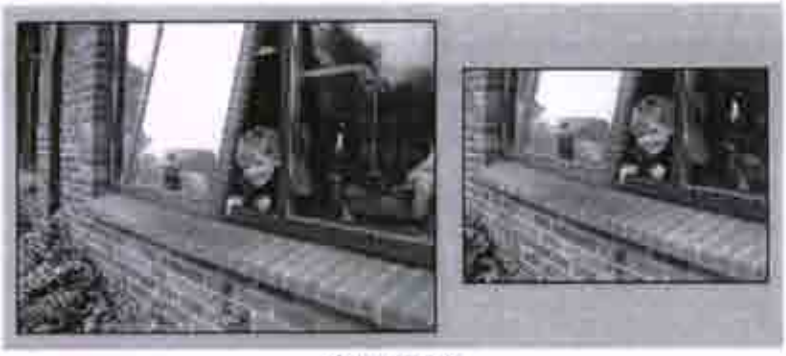
Σύμφωνα με ένα γενικά παραδεκτό μοντέλο, η εικόνα μπορεί να γραφεί ως *f(x,y)=i(x,y)r(x,y)*, δηλαδή ως γινόμενο δύο διδιάστατων συναρτήσεων εκ των οποίων η *i(x,y)* είναι η συνάρτηση φωτεινής έντασης και η *r(x,y)* είναι η συνάρτηση ανακλαστικότητας. Στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων η *i(x,y)* είναι μία αργά μεταβαλλόμενη (στο χώρο) συνάρτηση, ενώ η *r(x,y)* είναι γρήγορα μεταβαλλόμενη. Εάν μπορούσε κανείς να επιδράσει ξεχωριστά πάνω στην κάθε μία συνάρτηση με κάποιο φίλτρο, τότε θα μπορούσε να επιτύχει ταυτόχρονα τη μείωση της δυναμικής περιοχής τιμών φωτεινής έντασης και την αύξηση της αντίθεσης. Αυτή ακριβώς την ιδέα υλοποιούν τα ομοιομορφικά φίλτρα. Η διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στο Σχήμα 3.5. Όπως βλέπουμε, το κεντρικό μέρος της διαδικασίας είναι ίδιο με αυτό του προηγουμένου σχήματος. Η βασική διαφορά έγκειται στην εφαρμογή της συνάρτησης του λογαρίθμου στο πρώτο στάδιο (για τη μετατροπή του γινομένου των συναρτήσεων *i(x,y)* και *r(x,y)* σε άθροισμα). Στο τελευταίο στάδιο έχουμε εφαρμογή της αντίστροφης συνάρτησης *exp(·)*.



Σχήμα 3.5

3.3. Κοπή (Cropping)

Αυτό είναι μια πολύ κοινή επίθεση δεδομένου ότι σε πολλές περιπτώσεις τον επιτιθέμενο τον ενδιαφέρει ένα μικρό τμήμα του υδατογραφημένου αντικειμένου, όπως τα μέρη μιας ορισμένης εικόνας ή των πλαισίων (frames) ενός βίντεο. Έτσι προκειμένου να επιζήσει το υδατογράφημα χρειάζεται να διαδοθεί σε όλες τις διαστάσεις όπου αυτή η επίθεση μπορεί να πραγματοποιηθεί [Δ13]



Σχήμα 3.6

3.4. Συμπίεση (Compression)

Αυτό είναι γενικά μια ακούσια επίθεση που εμφανίζεται πολύ συχνά στις εφαρμογές πολυμέσων. Σχεδόν όλα τα πολυμέσα (ήχος, video και εικόνες) που διανέμονται μέσω Διαδικτύου έχουν συμπιεστεί. Εάν το υδατογράφημα απαιτείται να αντισταθεί στα διαφορετικά επίπεδα συμπίεσης, είναι συνήθως ενδεδειγμένο να εκτελεσθεί η στοιχειώδης εργασία εισαγωγής υδατογραφήματος στο ίδιο πεδίο (domain) όπου η συμπίεση πραγματοποιείται. Παραδείγματος χάριν, ένα σύστημα υδατογράφησης βασισμένο στο DTC είναι πιο ανθεκτικό στη συμπίεση JPEG από ένα σύστημα υδατογράφησης σε χωρικό πεδίο (spatial domain). [Δ14]

Στόχος της συμπίεσης είναι ο περιορισμός του μεγέθους που καταλαμβάνει ένα ποσό πληροφορίας εις βάρος βέβαια της διαθεσιμότητάς του, της υπολογιστικής ισχύος και πολύ συχνά και της ακρίβειας του περιεχομένου του.

Διακρίνουμε δύο τύπους αλγορίθμων συμπίεσης:

- Αλγόριθμοι συμπίεσης χωρίς απώλειες ή αντιστρεπτοί (lossless compression). Αυτό το είδος αλγορίθμων έχει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι η διαδικασία συμπίεσης δεν αλλοιώνει καθόλου την πληροφορία. Δηλαδή, μετά την αποσυμπίεση, η πληροφορία επανέρχεται ακριβώς στη μορφή που είχε πριν. Συνήθως, αυτοί οι αλγόριθμοι εφαρμόζονται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει

κανένα περιθώριο απωλειών. Για παράδειγμα, αν η πληροφορία που μεταφέρεται είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή, ένα και μόνο αλλοιωμένο bit μπορεί να είναι αρκετό να καταστήσει το πρόγραμμα άχρηστο.

- Αλγόριθμοι συμπίεσης με απώλειες ή μη αντιστρεπτοί (lossy compression). Για παράδειγμα, σε μια φωτογραφία, είναι δυνατόν να επιτύχουμε καλύτερη συμπίεση κάνοντας μερικές υποχωρήσεις όσον αφορά στην πιστότητα του συμπιεσμένου σήματος. Είναι φανερό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις το σημασιολογικό περιεχόμενο ουσιαστικά δεν μεταβάλλεται αλλά υπεισέρχεται η έννοια της μείωσης της ποιότητας. Το ψηφιακό σήμα ως ακολουθία bits σαφώς και μεταβάλλεται.

Κωδικοποίηση εντροπίας και πηγής

Μια απλοποιημένη ταξινόμηση των τεχνικών συμπίεσης είναι η εξής: κωδικοποίηση εντροπίας (entropy encoding) και κωδικοποίηση πηγής (source encoding).

Κωδικοποίηση Εντροπίας	Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων ακολουθιών
	Στατιστική Κωδικοποίηση
Κωδικοποίηση Πηγής	Κωδικοποίηση μετασχηματισμού (π.χ. DCT, DFT)
	Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση
	Διανυσματική κβαντοποίηση

3.4.1. Κωδικοποίηση εντροπίας

Η κωδικοποίηση εντροπίας αναφέρεται σε τεχνικές, οι οποίες δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους το είδος της πληροφορίας που πρόκειται να συμπιεστεί. Με άλλα λόγια, αυτές οι τεχνικές αντιμετωπίζουν την πληροφορία ως μια απλή ακολουθία bits. Γι' αυτό το λόγο, η κωδικοποίηση εντροπίας μπορεί να εφαρμοσθεί ανεξάρτητα από το είδος της πληροφορίας. Επιπλέον, οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας προσφέρουν κωδικοποίηση χωρίς απώλειες. Ας δούμε ένα παράδειγμα. Μπορούμε να αντικαθιστούμε κάθε ακολουθία 10 διαδοχικών μηδενικών που βρίσκουμε με ένα ειδικό χαρακτήρα ακολουθούμενο από τον αριθμό 10. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνουμε το μήκος της ακολουθίας χωρίς να κάνουμε καμία υπόθεση για τη σημασία των μηδενικών, αλλά και χωρίς να αλλοιώνεται το σήμα.

Οι τεχνικές κωδικοποίησης εντροπίας διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Περιορισμός των επαναλαμβανόμενων ακολουθιών (Suppression of repetitive sequences)
- Στατιστική Κωδικοποίηση (Statistical encoding)

3.4.1.1. Περιορισμός των ακολουθιών επαναλαμβανόμενων χαρακτήρων

Αυτή η μέθοδος κωδικοποίησης εντροπίας είναι από τις παλαιότερες και πιο απλές που χρησιμοποιούνται. Η ιδέα είναι ότι σε μια τυχαία ακολουθία από bits είναι πιθανό να εμφανιστούν κάποια τμήματα που αποτελούνται από κάποιο επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα. Αυτά τα τμήματα μπορούν να αντικατασταθούν από ειδικό χαρακτήρα, που ονομάζεται σημαία, και το πλήθος των επαναλήψεων του χαρακτήρα σε αυτά. Η κωδικοποίηση αυτή έχει την παρακάτω σημασία: Κάθε φορά που συναντάται η σημαία, ο χαρακτήρας που προηγείται αυτής πρέπει να επαναληφθεί όσες φορές υποδεικνύει ο αριθμός που ακολουθεί τη σημαία. Αυτή η μορφή που περιγράψαμε μπορεί να γίνει πιο αποδοτική, αν έχουμε συχνά εμφανιζόμενες ακολουθίες μηδενικών. Σ' αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται απλώς μια σημαία (που θα σημαίνει "επαναλαμβανόμενα μηδενικά") και ο αριθμός των επαναλήψεων. Και στις δύο περιπτώσεις, το μήκος των ακολουθιών πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να υπάρχει ουσιαστικό όφελος από αυτήν την αντικατάσταση.

3.4.1.2. Στατιστική Κωδικοποίηση

Μία ευρεία κατηγορία lossless τεχνικών είναι οι λεγόμενες *μέθοθοι στατιστικής κωδικοποίησης* στις οποίες βρίσκουν εφαρμογή βασικές αρχές της Θεωρίας Πληροφοριών. Αυτές οι μέθοδοι λαμβάνουν υπόψη τους τη συχνότητα εμφάνισης των συμβόλων στην προς συμπίεση ακολουθία και αναπαριστούν με μικρές δυαδικές λέξεις τα συχνότερα εμφανιζόμενα σύμβολα και με μεγαλύτερες λέξεις τα σπανιότερα σύμβολα (θυμίζουμε ότι με τον ίδιο τρόπο κωδικοποιήθηκε το αγγλικό αλφάβητο στο γνωστό κώδικα *Morse*). Είναι φανερό ότι η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη λεξικού, όπου αποθηκεύονται οι ακολουθίες που αντιστοιχούν σε κάθε κωδικό για να μπορεί να γίνει η αποσυμπίεση. Καθοριστικής σημασίας για την απόδοση του αλγορίθμου είναι η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, για την ανεύρεση των ακολουθιών που θα κωδικοποιηθούν με μικρούς κωδικούς. Στην απλούστερη περίπτωση, το λεξικό είναι σταθερό, ενώ στην πιο σύνθετη το βρίσκουμε κάθε φορά που γίνεται η συμπίεση κάποιας ποσότητας δεδομένων.

Η στατιστική κωδικοποίηση παίρνει δύο μορφές: αντικατάσταση προτύπων (pattern substitution) και κωδικοποίηση Huffman (Huffman encoding).

3.4.1.2.1. Αντικατάσταση προτύπων

Η μέθοδος της αντικατάστασης προτύπων χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κείμενα. Συχνά εμφανιζόμενα πρότυπα (ακολουθίες χαρακτήρων, λέξεις) αντικαθιστώνται με λίγους χαρακτήρες. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να κωδικοποιήσουμε αυτές τις σημειώσεις αντικαθιστώντας τη λέξη "πολυμέσα" με τους χαρακτήρες "*π". Σε μια τέτοια περίπτωση, το λεξικό προκύπτει από ανάλυση του κειμένου, ενώ κάποιες λέξεις είναι εκ των προτέρων γνωστό ότι θα εμφανιστούν σίγουρα.

3.4.1.2.2. Κωδικοποίηση Huffman

Η κωδικοποίηση Huffman αποτελεί μια γενίκευση της στατιστικής κωδικοποίησης. Ο κώδικας αυτός, εκτός από το ότι είναι *μεταβλητού μήκους*, ανήκει στην κατηγορία των *προθεματικών κωδίκων* (*prefix codes*). Σ' έναν προθεματικό κώδικα, καμία κωδική δυαδική λέξη δεν μπορεί να είναι πρόθεμα κάποιας άλλης μεγαλύτερης λέξης του ίδιου κώδικα. Εκτός από τον κλασικό στατικό κώδικα *Huffman*, που κωδικοποιεί αφού έχει στη διάθεση του όλη την ακολουθία (εικόνα), υπάρχουν και δυναμικές τεχνικές κωδικοποίησης *Huffman* που κατασκευάζουν τον κώδικα στη διάρκεια της διαδικασίας συμπίεσης. Η μέθοδος του Huffman χρησιμοποιείται στη συμπίεση ακίνητης και κινούμενης εικόνας. Ανάλογα με τις λεπτομέρειες τις υλοποίησης, δημιουργείται ένα νέο λεξικό για κάθε εικόνα ή ομάδα εικόνων. Στην περίπτωση της κινούμενης εικόνας, το λεξικό μπορεί να επαναδημιουργείται για κάθε πλαίσιο ή σειρά πλαισίων. Σε κάθε περίπτωση, η διαδικασία συμπίεσης πρέπει να αποθηκεύει το λεξικό για να είναι δυνατή η αποσυμπίεση.

Για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου ακολουθεί ένα παράδειγμα. Δοθέντων των χαρακτήρων που πρόκειται να κωδικοποιηθούν και της αντίστοιχης πιθανότητας εμφάνισής τους, ο αλγόριθμος Huffman προσδιορίζει τον βέλτιστο κώδικα, αυτόν δηλαδή που χρησιμοποιεί τον μικρότερο αριθμό από δυαδικά ψηφία. Για την καλύτερη κατανόηση της κωδικοποίησης Huffman είναι χρήσιμη η κατασκευή ενός δυαδικού δέντρου (Σχημα 3.7). Τα φύλλα του δέντρου παριστάνουν τους προς κωδικοποίηση χαρακτήρες (A, B, C, D, E). Κάθε κόμβος περιέχει την πιθανότητα εμφάνισης καθενός απ' τους χαρακτήρες που ανήκουν στο αντίστοιχο υπο-δέντρο. Για τους αρχικούς χαρακτήρες οι πιθανότητες είναι:

$p(A)=0.16, p(B)=0.51, p(C)=0.09, p(D)=0.13, p(E)=0.11$

Πρώτα συνδυάζονται οι χαρακτήρες με τις μικρότερες πιθανότητες, δηλ. οι C και E. Η πιθανότητα εμφάνισης του ενός ή του άλλου είναι p(C) + p(E)=0.20=p(CE). Απομένουν οι κόμβοι:

$p(A)=0.16, p(B)=0.51, p(CE)=0.20, p(D)=0.13$

Ομοίως, συνδυάζουμε τους χαρακτήρες A και D με p(AD)=0.29. Απομένουν οι κόμβοι:

$p(AD)=0.29, p(B)=0.51, p(CE)=0.20$

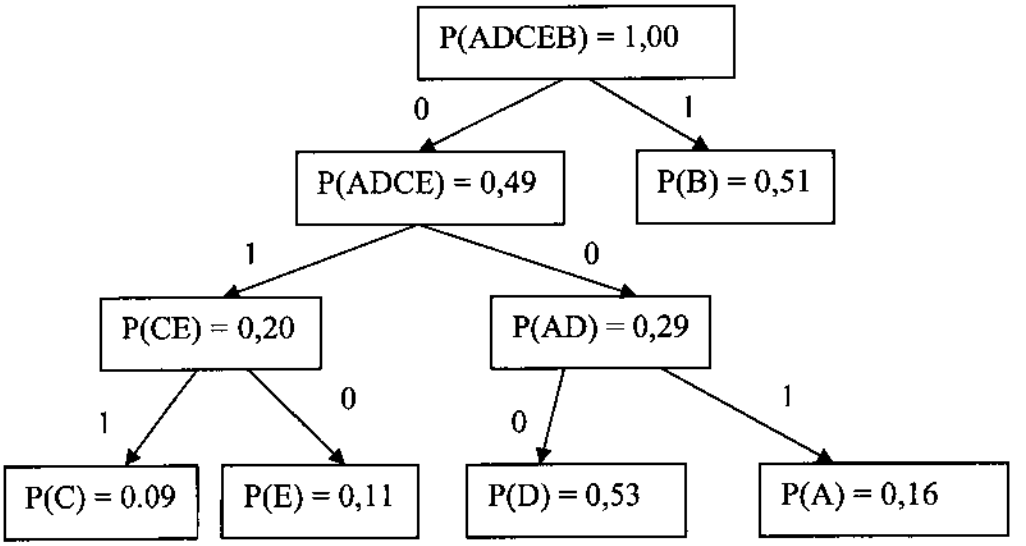
Τις μικρότερες πιθανότητες έχουν οι κόμβοι AD και CE, οι οποίοι συνδυαζόμενοι δίνουν τον κόμβο ADCE με πιθανότητα 0.49. Απομένουν οι κόμβοι:

$p(ADCE)=0.49, p(B)=0.51$

οι οποίοι συνδυάζονται στη ρίζα του δέντρου.

Σημειωτέον πως η καταχώρηση του 0 ή 1 σε κάθε ακμή είναι αυθαίρετη. Έτσι τα δεδομένα μπορούν να δώσουν διαφορετικούς Huffman κώδικες. Το αποτέλεσμα είναι ο παρακάτω κώδικας, ο οποίος αποθηκεύεται σε κάποιον πίνακα:

w(A)=001, w(B)=1, w(C)=011, w(D)=000, w(E)=010



Σχήμα 3.7: Παράδειγμα κωδικοποίησης Huffman

3.4.2. Κωδικοποίηση Πηγής

Η διαφορά αυτής της τεχνικής είναι ότι οι μετασχηματισμοί τους οποίους υφίσταται το αρχικό σήμα εξαρτώνται άμεσα από τον τύπο του. Για παράδειγμα, ο λόγος χαρακτηρίζεται από συχνά διαστήματα σιωπής, που μπορούν να περιγραφούν με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Δηλαδή, οι μετασχηματισμοί του σήματος κάνουν χρήση των ιδιαίτερων σημασιολογικών χαρακτηριστικών που μεταφέρει το σήμα.

Γενικά, αυτές οι τεχνικές μπορούν να παράγουν μεγαλύτερα ποσοστά συμπίεσης σε σχέση με την κωδικοποίηση εντροπίας. Μειονεκτούν όμως στη σταθερότητα, γιατί το ποσοστό συμπίεσης που επιτυγχάνουν διαφοροποιείται ανάλογα με το αντικείμενο που συμπιέζεται. Πάντως, η κωδικοποίηση πηγής μπορεί να λειτουργήσει και με απώλειες και χωρίς απώλειες.

Οι τεχνικές κωδικοποίησης πηγής διακρίνονται σε τρεις τύπους:

- Κωδικοποίηση μετασχηματισμού (transform encoding)
- Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση (differential or predictive encoding).
- Διανυσματική κβαντοποίηση (vector quantization)

Να σημειωθεί ότι οι δύο παραπάνω κατηγορίες κωδικοποίησης δεν αποκλείουν η μία την άλλη. Υπάρχουν αλγόριθμοι που συνδυάζουν τεχνικές και των δύο κατηγοριών για να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα.

3.4.2.1. Κωδικοποίηση μετασχηματισμού

Η κωδικοποίηση μετασχηματισμού είναι ένας τύπος κωδικοποίησης πηγής που εξετάζουμε. Όπως έχουμε εξηγήσει, η κωδικοποίηση πηγής λαμβάνει υπ' όψη και τις ιδιότητες του σήματος που πρόκειται να συμπιεστεί. Η κωδικοποίηση μετασχηματισμού χρησιμοποιείται συνήθως στη συμπίεση εικόνων. Η βασική της αρχή είναι η εξής:

Στην κωδικοποίηση μετασχηματισμού, το σήμα υφίσταται ένα μαθηματικό μετασχηματισμό από το αρχικό πεδίο του χρόνου ή του χώρου σε ένα αφηρημένο πεδίο το οποίο είναι πιο κατάλληλο για συμπίεση. Αυτή η διαδικασία είναι αντιστρεπτή, δηλαδή υπάρχει ο αντίστροφος μετασχηματισμός που θα επαναφέρει το σήμα στην αρχική του μορφή.

Ένας τέτοιος μετασχηματισμός είναι ο μετασχηματισμός Fourier. Μέσω του μετασχηματισμού Fourier μια συνάρτηση του χρόνου f(t) μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια g(λ) στο πεδίο των συχνοτήτων. Η νέα αυτή συνάρτηση παρέχει το πλάτος (ή συντελεστή) g των συχνοτήτων λ που απαρτίζουν την αρχική συνάρτηση. Στην περίπτωση των εικόνων χρησιμοποιείται μια ειδική μορφή του μετασχηματισμού Fourier, ο διακριτός συνημιτονικός μετασχηματισμός Fourier (DFT) και το σημαντικό σημείο που εκμεταλλευόμαστε είναι το εξής:

Στη φασματική (στο πεδίο των συχνοτήτων) αναπαράσταση των εικόνων, οι συχνότητες περιγράφουν πόσο γρήγορα μεταβάλλονται τα χρώματα και η απόλυτη φωτεινότητα.

Εκτός από τον μετασχηματισμό Fourier υπάρχουν και άλλοι, όπως οι μετασχηματισμοί Hadamard, Haar, DCT και Karhunen-Loeve. Ανάλογα με τις ιδιότητες του τύπου της πληροφορίας που θέλουμε να συμπιέσουμε, επιλέγουμε και τον καταλληλότερο μετασχηματισμό. Μεταξύ όλων αυτών ο *Μετασχηματισμός Karhunen-Loeve (KLT)* είναι ο βέλτιστος, με την έννοια ότι επιτυγχάνει το υψηλότερο ποσοστό συμπίεσης για το ίδιο *Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error)*. Δυστυχώς όμως είναι δύσκολος σε υλοποίηση διότι απαιτεί υπολογισμό του πίνακα αυτοσυσχέτισης της εικόνας και εν συνεχεία επίλυση ενός προβλήματος ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων. Μια πολύ καλή εναλλακτική λύση η οποία προσεγγίζει ικανοποιητικά τον KLT είναι ο *Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου (DCT - Discrete Cosine Transform)*. Ο DCT παρουσιάζει πολύ υψηλή ενεργειακή συγκέντρωση και επιπλέον ο υπολογισμός του είναι ιδιαίτερα εύκολος. Επίσης ο μετασχηματισμός DCT είναι ευρύτατα διαδεδομένος και είναι συστατικό στοιχείο πολλών εργαλείων συμπίεσης (π.χ. *JPEG, MPEG*).

Στη βιβλιογραφία για τα συστήματα υδατογράφησης, οι μετασχηματισμοί που συναντούμε πιο συχνά είναι ο *Διακριτός μετασχηματισμός Fourier* και ο *Διακριτός Μετασχηματισμός Συνημιτόνου*, οι οποίοι θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια.

3.4.2.1.1. Βασικοί Δισδιάστατοι Μετασχηματισμοί

Η ανάπτυξη της θεωρίας των γραμμικών μετασχηματισμών έχει παίξει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του κλάδου της Πληροφορικής που ονομάζεται ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση εικόνων. Οι βασικοί μετασχηματισμοί, οι οποίοι

θα αναφερθούν σε αυτή την ενότητα, χρησιμοποιούνται ευρέως στη βελτίωση, κωδικοποίηση και ανάλυση των εικόνων.

Αν $g(n_1, n_2)$ είναι ένα δισδιάστατο σήμα με περιοχή υποστήριξης $[0\ N\text{-}1]\times[0\ M\text{-}1]$ τότε ο *ορθός* (*forward*) και ο *αντίστροφος* (*inverse*) γραμμικός μετασχηματισμός του σήματος ορίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$G(k_1,k_2)=\sum_{n_1=0}^{N-1}\sum_{n_2=0}^{M-1} g(n_1,n_2)K_f(n_1,k_1:n_2,k_2)$$

και

$$g(n_1,n_2)=\sum_{k_1=0}^{N-1}\sum_{k_2=0}^{M-1} G(k_1,k_2)K_i(k_1,n_1:k_2,n_2)$$

όπου $K_f(n_1,k_1:n_2,k_2)$ και $K_i(k_1,n_1:k_2,n_2)$ οι *πυρήνες* του ορθού και του αντίστροφου γραμμικού μετασχηματισμού, αντίστοιχα. Η φύση κάθε *γραμμικού* μετασχηματισμού καθορίζεται από τις ιδιότητες του πυρήνα του.

Θα λέμε ότι ένας μετασχηματισμός είναι *ορθομοναδιαίος* (*unitary*), αν οι πυρήνες $K_f(n_1,k_1:n_2,k_2)$ και $K_i(k_1,n_1:k_2,n_2)$ ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες *ορθοκανονικότητας*:

$$\sum_{k_1=0}^{N-1}\sum_{k_2=0}^{M-1} K_f(n_1,k_1:n_2,k_2)K_f^*(l_1,k_1:l_2,k_2)=\delta(n_1-l_1,n_2-l_2)$$

$$\sum_{n_1=0}^{N-1}\sum_{n_2=0}^{M-1} K_i(n_1,k_1:n_2,k_2)K_i^*(n_1,m_1:n_2,m_2)=\delta(k_1-m_1,k_2-m_2)$$

$$\sum_{k_1=0}^{N-1}\sum_{k_2=0}^{M-1} K_i(n_1,k_1:n_2,k_2)K_i^*(l_1,k_1:l_2,k_2)=\delta(n_1-l_1,n_2-l_2)$$

$$\sum_{n_1=0}^{N-1}\sum_{n_2=0}^{M-1} K_f(n_1,k_1:n_2,k_2)K_f^*(n_1,m_1:n_2,m_2)=\delta(k_1-m_1,k_2-m_2)$$

όπου $K^*(\ )$ συμβολίζει τη συζυγή συνάρτηση της $K(\ )$ και $\delta(n_1,n_2)$ η δισδιάστατη ακολουθία Kronecker.

Μερικές από τις βασικές ιδιότητες που έχουν οι περισσότεροι από τους γνωστούς *ορθομοναδιαίους* μετασχηματισμούς και οι οποίες στις περισσότερες εφαρμογές της επεξεργασίας εικόνων είναι επιθυμητές, είναι οι ακόλουθες:

- Διατήρηση της ενέργειας του σήματος.
- Ενσωμάτωση του μεγαλύτερου ποσοστού της ενέργειας του σήματος σε ένα μικρό αριθμό συντελεστών του μετασχηματισμού.
- Μείωση της συσχέτισης των συντελεστών του μετασχηματισμού.
- Η δυνατότητα παραγοντοποίησης του πίνακα του μετασχηματισμού σε βασικούς πίνακες οι οποίοι περιέχουν ένα πολύ μικρό αριθμό μη μηδενικών στοιχείων. Αυτή η ιδιότητα είναι που μας παρέχει τη δυνατότητα γρήγορου υπολογισμού των περισσότερων *ορθομοναδιαίων* μετασχηματισμών.

Ένας πυρήνας είναι *διαχωρίσιμος* αν ικανοποιεί την παρακάτω σχέση:

$$K_f(k_1,n_1:k_2,n_2)=K_{f_1}(k_1,n_1)K_{f_2}(k_2,n_2)$$

Η διαχωρισιμότητα του πυρήνα ενός μετασχηματισμού είναι αυτή που μας παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού των συντελεστών του, χρησιμοποιώντας τεχνικές αποσύνθεσης γραμμών-στηλών (*row-column decomposition techniques*).

Στην περίπτωση *ορθομοναδιαίου* μετασχηματισμού με διαχωρίσιμους πυρήνες ο ορθός και αντίστροφος μετασχηματισμός μπορούν να γραφούν σε μητρική μορφή ως εξής:

$$T=AFA^T$$

$$F=A^{*T}TA^*$$

όπου το A^{*T} συμβολίζει τον ανάστροφο συζυγή πίνακα του A, F είναι πίνακας διάστασης $N\times N$ που αποτελεί την μητρική παράσταση της εικόνας, A είναι ένας $N\times N$ *ορθομοναδιαίος* πίνακας και T ένας πίνακας της ίδιας διάστασης με τους προηγούμενους, ο οποίος περιέχει τους συντελεστές του ορθού μετασχηματισμού.

Τέλος, ένας διαχωρίσιμος πυρήνας είναι *συμμετρικός* αν ικανοποιεί τη σχέση:

$$K_{f_1}(k,n\ ) = K_{f_2}(k,n)$$

Στην περίπτωση ενός τέτοιου πυρήνα, ο ορθός και ο αντίστροφος μετασχηματισμός γράφονται στην ακόλουθη μητρική μορφή:

$$T=AFA$$

$$F=A^*TA^*$$

όπου F είναι πίνακας διάστασης $N\times N$ που αποτελεί τη μητρική παράσταση της εικόνας, A είναι ένας $N\times N$ ερμιτιανός πίνακας με στοιχεία $a_{k1n1} = K_{f1}(k_1,n_1)$ και T ένας πίνακας της ίδιας διάστασης με τους προηγούμενους, ο οποίος περιέχει τους συντελεστές του ορθού μετασχηματισμού.

Έχοντας δώσει τον γενικό ορισμό των ορθομοναδιαίων μετασχηματισμών και ορισμένες ειδικότερες μορφές τους, στην συνέχεια παραθέτουμε μερικούς πολύ γνωστούς στην βιβλιογραφία μετασχηματισμούς.

3.4.2.1.2. Διακριτός μετασχηματισμός Fourier (DFT)

Ο δισδιάστατος διακριτός μετασχηματισμός Fourier είναι ένας από τους πιο γνωστούς *ορθομοναδιαίους* μετασχηματισμούς στην βιβλιογραφία και ο πυρήνας του ορθού μετασχηματισμού ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$K_f(k_1,n_1:k_2,n_2) = \frac{1}{N^2} e^{-j2\pi(\frac{n_1k_1}{N}+\frac{n_2k_2}{N})}$$

Από την παραπάνω σχέση είναι φανερή η διαχωρισιμότητα και η συμμετρικότητα του πυρήνα του. Οι ιδιότητες αυτές του πυρήνα επιτρέπουν την ανάπτυξη γρήγορων αλγορίθμων υπολογισμού του.

Δυνατότητες όπως:

- η γρήγορη εκτίμηση του δισδιάστατου φάσματος
- ο γρήγορος υπολογισμός της δισδιάστατης γραμμικής συνέλιξης στο χώρο των συχνοτήτων
- ο γρήγορος υπολογισμός της Λαπλασιανής δισδιάστατης ακολουθίας

καθιστούν τον DFT ένα αναντικατάστατο εργαλείο στην ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση εικόνων.

3.4.2.1.3. Διακριτός μετασχηματισμός συνημιτόνου (DCT)

Ο μετασχηματισμός συνημιτόνου είναι ένας πολύ χρήσιμος πραγματικός μετασχηματισμός του οποίου ο πυρήνας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_f(k_1,n_1:k_2,n_2) = a(k_1)a(k_2)\cos(\frac{(2n_1+1)k_1\pi}{2N})\cos(\frac{(2n_2+1)k_2\pi}{2N})$$

όπου $a(k)$ ορίζεται από την σχέση:

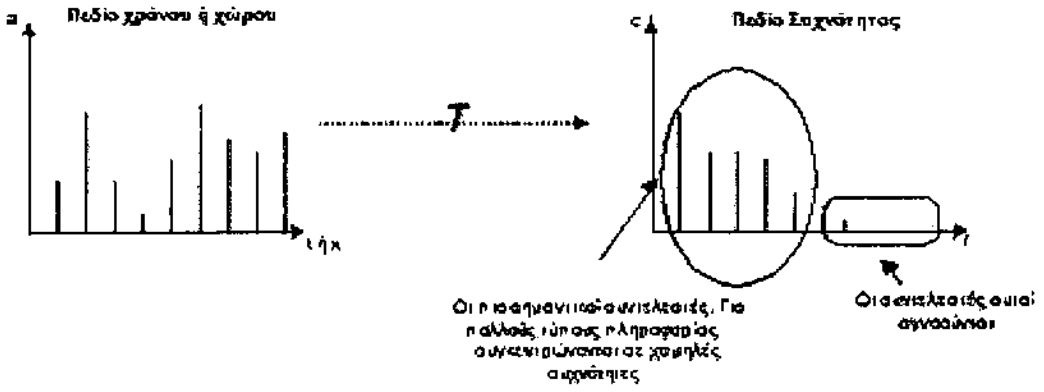
$$a(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} & k_1 = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & k_1 = 1,\ldots,N-1 \end{cases}$$

Εξ αιτίας της διαχωρισιμότητας της συμμετρίας του πυρήνα του οι συντελεστές του μπορούν να υπολογιστούν με χρήση γρήγορων αλγορίθμων.

Δύο από τις βασικότερες ιδιότητες του μετασχηματισμού συνημιτόνου είναι:

- Η ενσωμάτωση του μεγαλύτερου ποσοστού της ενέργειας του σήματος σε ένα μικρό αριθμό συντελεστών του μετασχηματισμού και η
- μείωση της συσχέτισης των συντελεστών του.

Αυτές οι δύο ιδιότητες είναι ο λόγος για τον οποίο ο DCT έχει αποτελέσει το βασικό εργαλείο στην συμπίεση εικόνων.



Σχήμα 3.8 Η βασική αρχή της κωδικοποίησης μετασχηματισμού

Αφού επιλεχθεί και εκτελεστεί ο μετασχηματισμός, βρίσκουμε τους πιο σημαντικούς από τους συντελεστές και τους περιγράφουμε με μεγάλη ακρίβεια. Τους λιγότερο σημαντικούς μπορούμε να τους περιγράψουμε με μικρότερη ακρίβεια ή και να τους αγνοήσουμε τελείως. Κάνοντας κάτι τέτοιο η διαδικασία συμπίεσης έχει απώλειες. Παρ' όλα αυτά, οι μετασχηματισμοί από μόνοι τους είναι αντιστρεπτοί.

3.4.3. Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση

Η διαφορική κωδικοποίηση αποτελεί τη δεύτερη από τις μεθόδους κωδικοποίησης πηγής που θα περιγράψουμε. Η βασική αρχή της είναι η εξής:

> *Μόνο η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή ενός δείγματος και στην προβλεπόμενη τιμή του κωδικοποιείται.*

Αυτή η διαφορά ονομάζεται διαφορά πρόβλεψης ή παράγοντας λάθους. Από αυτήν προκύπτει και η εναλλακτική ονομασία αυτής της τεχνικής που είναι προβλεπτική κωδικοποίηση. Η τεχνική αυτή μπορεί να υλοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των τιμών των δειγμάτων.

Η διαφορική κωδικοποίηση είναι κατάλληλη για σήματα, οι διαδοχικές τιμές των οποίων αναμένεται να διαφέρουν, αλλά όχι πολύ. Κατά συνέπεια, η διαφορική κωδικοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμπίεση κινούμενης εικόνας (όπου μόνο οι διαφορές μεταξύ των διαδοχικών πλαισίων μπορούν να αποστέλλονται) ή ήχου.

Διακρίνουμε τρεις μορφές διαφορικής κωδικοποίησης: απλή διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (differential pulse code modulation - DPCM), δέλτα διαμόρφωση (delta modulation) και προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (adaptive pulse code modulation - ADPCM).

3.4.4. Διανυσματική κβαντοποίηση

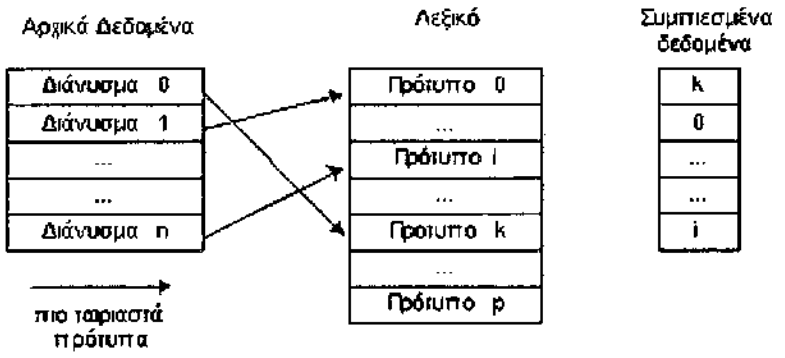
Η διανυσματική κβαντοποίηση αποτελεί ίσως την πιο ελπιδοφόρα τεχνική κωδικοποίησης πηγής. Αποτελεί μια ειδική περίπτωση της μεθόδου αντικατάστασης προτύπων που περιγράψαμε παραπάνω. Τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας της είναι τα ακόλουθα:

- Το ρεύμα δεδομένων χωρίζεται σε τμήματα που ονομάζονται διανύσματα. Για παράδειγμα, αν τα δεδομένα μας αποτελούν μια εικόνα, κάθε διάνυσμα μπορεί να είναι ένα τετράγωνο ή παραλληλόγραμμο τμήμα της εικόνας. Υποθέτουμε ότι όλα τα διανύσματα έχουν το ίδιο μικρό μέγεθος και ότι αποτελούνται από ν οκτάδες.
- Υπάρχει ένας πίνακας που περιέχει ένα σύνολο από πρότυπα διανύσματα. Αυτός ο πίνακας αποτελεί το λεξικό της μεθόδου και πρέπει να είναι διαθέσιμο τόσο κατά την συμπίεση, όσο και την αποσυμπίεση των δεδομένων. Το λεξικό μπορεί να είναι προκαθορισμένο, δηλαδή το ίδιο σε όλες τις διαδικασίες συμπίεσης ή δυναμικό. Στην τελευταία περίπτωση, κάθε φορά που ξεκινά η συμπίεση των δεδομένων, ένα νέο λεξικό δημιουργείται.
- Η συμπίεση έγκειται στην αντικατάσταση κάθε διανύσματος της αρχικής πληροφορίας με το πιο ταιριαστό από τα πρότυπα του λεξικού. Κάνοντας χρήση του λεξικού, αντί για ολόκληρα τα πρότυπα, μόνο η ετικέτα τους ή ο αύξων αριθμός τους στο λεξικό είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί.

Άρα η βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι:

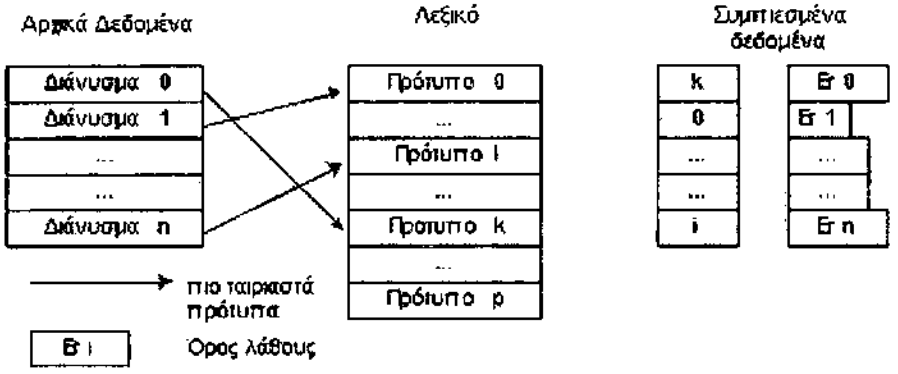
> *Τα δεδομένα χωρίζονται σε διανύσματα. Αντί να μεταδίδεται η πραγματική πληροφορία, μεταδίδεται η ετικέτα των πιο ταιριαστών προτύπων μέσα από ένα λεξικό.*

Η δυσκολία της μεθόδου επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός λεξικού που περιέχει πρότυπα που μοιάζουν όσο το δυνατόν περισσότερο με τα εμφανιζόμενα διανύσματα. Αν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει, θα έχουμε μεγάλη παραμόρφωση των δεδομένων. Πάντως, στη γενική περίπτωση, αναμένεται κάποια, έστω μικρή, απόκλιση από τα αρχικά δεδομένα.



Σχήμα 3.9. *Η βασική αρχή της διανυσματικής κβαντοποίησης*

Για να επιλυθεί το πρόβλημα της ύπαρξης διανυσμάτων που διαφέρουν σημαντικά από όλα τα πρότυπα του λεξικού, υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ αυτών των διανυσμάτων και των αντίστοιχων πιο ταιριαστών προτύπων. Αυτή η διαφορά μεταδίδεται μαζί με την ετικέτα του πιο ταιριαστού προτύπου, οπότε μπορεί να συντεθεί μια ικανοποιητική προσέγγιση των προβληματικών διανυσμάτων. Η ποιότητα της προσέγγισης αυτής μπορεί να είναι όσο καλή θέλουμε και εξαρτάται από τον τρόπο υπολογισμού και μετάδοσης της διαφοράς. Δηλαδή η διανυσματική κβαντοποίηση ανήκει είτε στις μεθόδους συμπίεσης με απώλειες είτε στις μεθόδους χωρίς απώλειες.



Σχήμα 3.10. *Η βασική αρχή της διανυσματικής κβαντοποίησης με μετάδοση όρου λάθους*

Η διανυσματική κβαντοποίηση είναι πολύ αποτελεσματική για την κωδικοποίηση τύπων πληροφορίας, των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι γνωστά και άρα μπορούν να κατασκευαστούν για αυτά ικανοποιητικά λεξικά. Ο λόγος είναι ένα είδος πληροφορίας που έχει αυτήν την ιδιότητα. [Δ1]

3.5. Περιστροφή και Κλιμάκωση (Rotation and Scaling)

Αυτές είναι από τις πιο δύσκολες επιθέσεις στο ψηφιακό υδατογράφημα, ειδικά λόγω της επιτυχίας τους με τις εικόνες. Η ανίχνευση και η εξαγωγή του υδατογραφήματος που είναι βασισμένο σε συσχέτιση (Correlation-based) αποτυγχάνουν όταν εκτελείται η περιστροφή ή το Scaling στην υδατογραφημένη εικόνα επειδή το ενσωματωμένο υδατογράφημα και η τοπικά παραγμένη έκδοση του δεν μοιράζονται πλέον το ίδιο χωρικό πρότυπο (spatial pattern).

Ένας γεωμετρικός μετασχηματισμός (scaling, rotation) χαρτογραφεί τις πληροφορίες εικονοστοιχείου *δηλαδή* οι τιμές έντασης σε κάθε θέση εικονοστοιχείου (x_1, y_1) από μια εικόνα εισόδου σε μια άλλη θέση (x_2, y_2) σε μια εικόνα εξόδου σύμφωνα με τη σχέση.

$$x' = Ax + b$$

όπου

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} bx \\ by \end{bmatrix}$$

είναι ένας πίνακας περιστροφής και ένα διάνυσμα μετατόπισης αντίστοιχα.

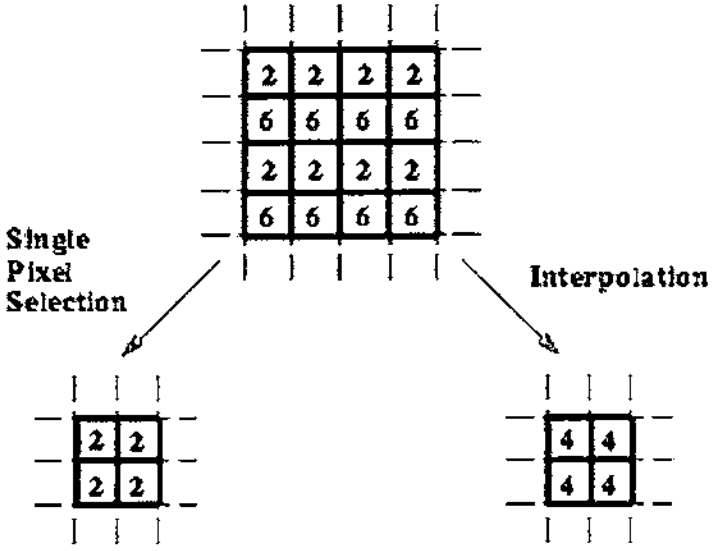
3.5.1. Κλιμάκωση

Η διαδικασία της κλιμάκωσης εκτελεί έναν γεωμετρικό μετασχηματισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σμικρύνει ή να μεγεθύνει το μέγεθος μιας εικόνας (ή μέρος μιας εικόνας). Η μείωση εικόνας, γνωστή συνήθως ως *subsampling*, εκτελείται από την αντικατάσταση (μιας ομάδας τιμών εικονοστοιχείου από μια αυθαίρετα επιλεγμένη τιμή εικονοστοιχείου μέσα από αυτήν την ομάδα) ή με *την παρεμβολή* μεταξύ των τιμών εικονοστοιχείων των τοπικών γειτονιών. Η μεγέθυνση της εικόνας επιτυγχάνεται από *την επανάληψη εικονοστοιχείων* ή από την παρεμβολή τους. Η κλιμάκωση χρησιμοποιείται για να αλλάξει την οπτική εμφάνιση μιας εικόνας και για να αλλάξει την ποσότητα πληροφοριών που περιέχεται σε μια εικόνα.

Σχήμα 3.11 Κλιμάκωση και Περιστροφή

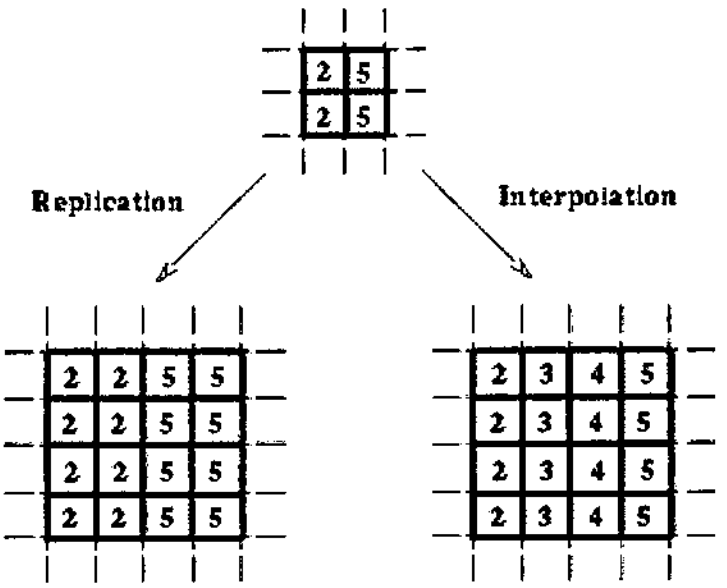
Η κλιμάκωση συμπιέζει ή επεκτείνει μια εικόνα κατά μήκος των συντεταγμένων κατευθύνσεων. Διαφορετικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υποδειγματοληψία και το ζουμ.

Το παρακάτω σχήμα επεξηγεί τις δύο μεθόδους υπο-δειγματοληψίας. Στον πρώτο, η μια τιμή εικονοστοιχείου μέσα σε μια τοπική γειτονιά επιλέγεται (ίσως τυχαία) για να είναι αντιπροσωπευτική των περιχώρων της. (Αυτή η μέθοδος είναι υπολογιστικά απλή, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε πάρα πολύ φτωχά αποτελέσματα εάν οι διαφορές στις γειτονικές τιμές δειγματοληψίας είναι επίσης μεγάλες.) Η δεύτερη μέθοδος παρεμβάλλει μεταξύ των τιμών εικονοστοιχείου μέσα σε μια γειτονιά από τη λήψη ενός στατιστικού δείγματος (όπως ο μέσος) των τοπικών τιμών έντασης.



Σχήμα 3.12 Μέθοδοι.
α) Αντικατάσταση με το ανώτερο αριστερό εικονοστοιχείο, β) Παρεμβολή (Interpolation) που χρησιμοποιεί τη μέση τιμή.

Μια εικόνα (ή περιοχές μιας εικόνας) μπορεί να μεγεθυνθεί είτε μέσω της επανάληψης είτε της παρεμβολής εικονοστοιχείων. Το παρακάτω σχήμα εμφανίζει πώς η επανάληψη εικονοστοιχείων αντικαθιστά κάθε αρχικό εικονοστοιχείο εικόνας από μια ομάδα εικονοστοιχείων με την ίδια τιμή (όπου το μέγεθος ομάδας καθορίζεται από τον παράγοντα κλιμάκωσης). Εναλλακτικά, η παρεμβολή των τιμών των γειτονικών εικονοστοιχείων στην αρχική εικόνα μπορεί να εκτελεσθεί προκειμένου να αντικαταστήσει κάθε εικονοστοιχείο με μια επεκταμένη ομάδα εικονοστοιχείων. [Δ15]



Σχήμα 3.13 Μέθοδοι.
α) Επανάληψη μιας ενιαίας τιμής εικονοστοιχείου. β) Παρεμβολή (Interpolation)

3.6. Στατιστικός υπολογισμός (Statistical Averaging)

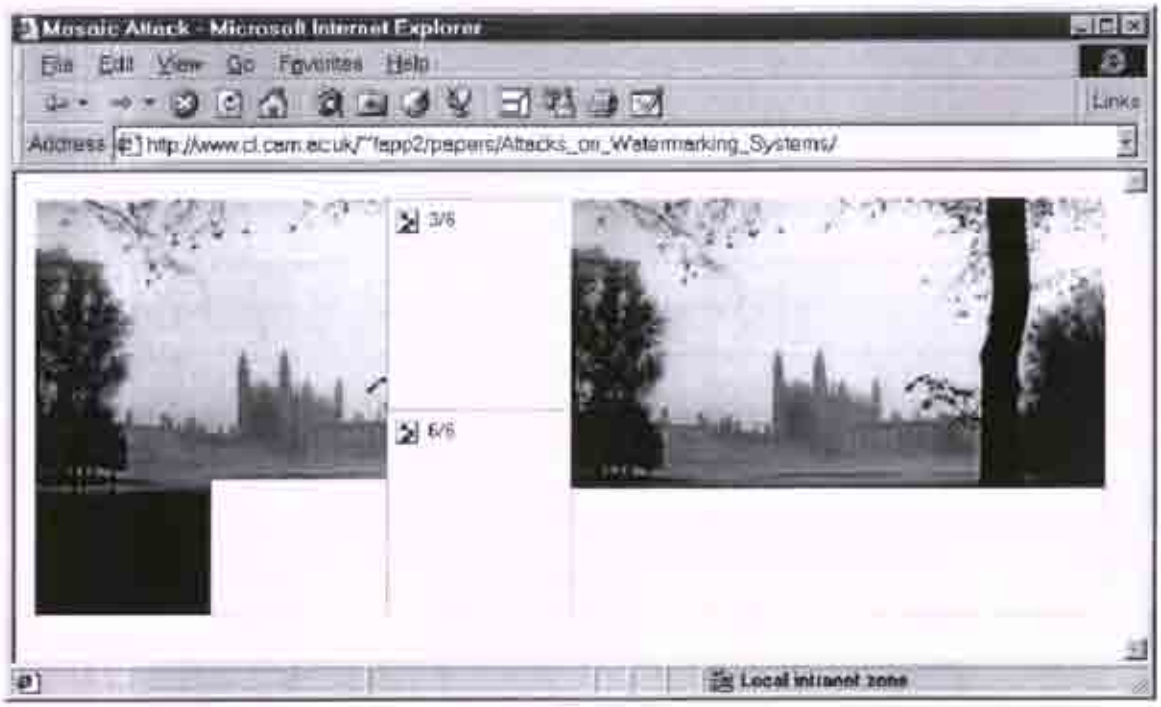
Ένας επιτιθέμενος μπορεί να προσπαθήσει να εκτιμήσει το υδατογράφημα (με διαφορετικά υδατογραφημένα αντικείμενα θα ήταν πιθανό να βελτιωθεί η εκτίμηση με τον απλό υπολογισμό μέσου όρου) και έπειτα να αφαιρέσει την εκτίμησή του από το αντικείμενο ώστε να το εξαλείψει. Αυτό είναι επικίνδυνο εάν το υδατόσημο δεν εξαρτάται ουσιαστικά από τα στοιχεία της κάθε εικόνας.

3.7. Πολλαπλά υδατογραφήματα

Ένας επιτιθέμενος μπορεί να υδατογραφήσει ένα ήδη υδατογραφημένο αντικείμενο και αργότερα να διεκδικήσει την ιδιοκτησία του αντικειμένου. Η ευκολότερη λύση είναι να σημανθεί με ένα timestamp το υδατογράφημα από μια αρχή πιστοποίησης.

3.8. Επιθέσεις σε άλλα επίπεδα

Υπάρχουν διάφορες επιθέσεις που κατευθύνονται στον τρόπο που το υδατόσημο χειρίζεται. Παραδείγματος χάριν, είναι πιθανό να παρακαμφθούν οι μηχανισμοί ελέγχου αντιγράφων ανακατεύοντας τα δεδομένα έτσι ώστε το υδατόσημο χάνεται ή για να εξαπατήσει τα webcrawlers στο Διαδίκτυο που ψάχνουν για ορισμένα υδατογραφήματα με τη δημιουργία ενός στρώματος παρουσίασης που αλλάζει τον τρόπο που τα δεδομένα διατάσσονται. Το τελευταίο καλείται μερικές φορές "επίθεση μωσαϊκών" (mosaic attack), όπου η εικόνα τεμαχίζεται σε μικρότερα κομμάτια και τίθεται μαζί στην ιστοσελίδα πχ. σε έναν πίνακα. [Δ17]



Σχήμα 3.14 Επίθεση μωσαϊκών (mosaic attack)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΕΝΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

4. ΕΝΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

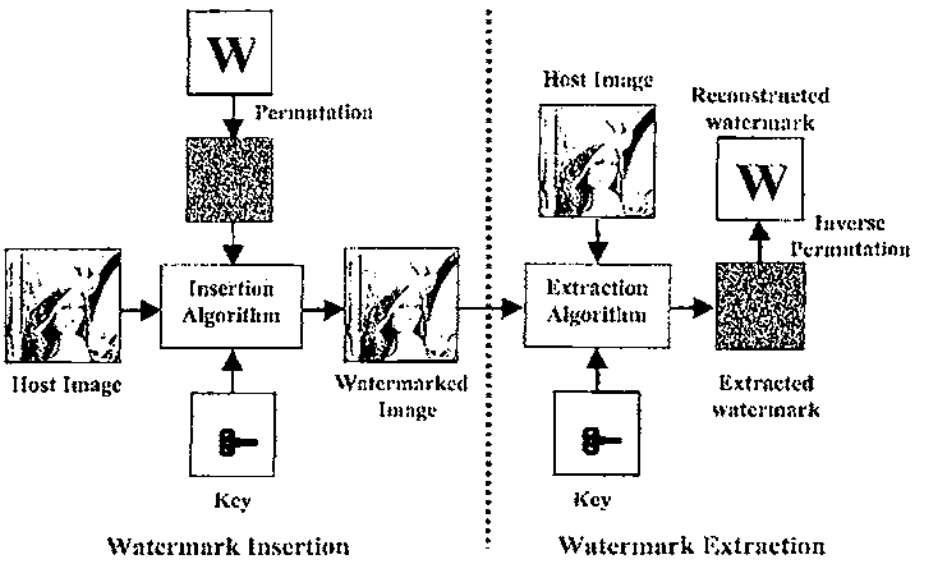
4.1. Εισαγωγή

Ο αλγόριθμος που παρουσιάζεται αναλυτικά σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στο σύστημα υδατογράφησης εικόνας για την προστασία πνευματικών δικαιωμάτων που προτείνεται στο [26]. Ο αλγόριθμος αυτός υλοποιείται στο χωρικό πεδίο (spatial domain) της εικόνας και είναι non-blind αφού απαιτεί την αρχική εικόνα κατά τη διάρκεια της εξαγωγής του υδατογραφήματος.

4.2. Περιγραφή του αλγόριθμου

Η ενσωμάτωση του υδατογραφήματος απαιτεί δύο κύρια βήματα: την τυχαία αναδιάταξη της εικόνας του υδατογραφήματος και την εισαγωγή του στην επιθυμητή εικόνα, με ένα πρόσθετο επίπεδο ανακατέματος. Η ανάκτηση γίνεται έπειτα από την αντιστροφή αυτών των δύο βημάτων.

Στο Σχήμα 4.1 φαίνονται τα βασικά βήματα του αλγορίθμου ενσωμάτωσης και ανάκτησης του υδατογραφήματος.



Σχήμα 4.1 Αλγόριθμος ενσωμάτωσης και ανάκτησης του υδατογραφήματος

4.3. Αλγόριθμος αναδιάταξης του υδατογραφήματος

Για την τυχαία αναδιάταξη του υδατογραφήματος, τα εικονοστοιχεία του (pixels) αναδιατάσσονται με έναν ψευδό-τυχαίο τρόπο για να διαμορφώσουν μια νέα εικόνα υδατογραφήματος. Για το σκοπό αυτό ακολουθούμε τα εξής βήματα:

1. Απεικόνιση του δισδιάστατου πίνακα W μεγέθους $N_w \times M_w$ σε ένα διάνυσμα

W_r μήκους $N_w \times M_w$ σύμφωνα με τη σχέση:

$$W_r(rM_w + c) = W(r,c) \quad , 0 \le r \le N_w - 1, 0 \le c \le M_w - 1 \qquad (1)$$

2. Δημιουργία μιας ακολουθίας τυχαίων ακεραίων αριθμών x(n), $0 \le n \le N_w M_w - 1$.

3. Τυχαία αναδιάταξη των τιμών έντασης (στην περίπτωση δυαδικής εικόνας οι τιμές αυτές είναι 0 και 1) της εικόνας του υδατογραφήματος σύμφωνα με την σχέση:

$$W_{sc}(n) = W_r(x(n)) \quad , 0 \le n \le N_w M_w - 1 \qquad (2)$$

4.4. Διαμέριση της προς υδατογράφηση εικόνας

Έστω **I** ένας πίνακας διαστάσεων $N_I \times M_I$ που περιέχει την εικόνα που επιθυμούμε να υδατογραφήσουμε και έστω $N_B = \frac{N_I}{N_W}$, $M_B = \frac{M_I}{M_W}$ αντίστοιχα. Τότε η ακολουθία πινάκων B_{kl}

$$B_{kl}(r,c) = I(kN_B + r, lM_B + c) \quad , \qquad (3)$$
$$0 \le k \le \frac{N_I}{N_B} - 1 = N_w - 1 \quad , \quad 0 \le l \le \frac{M_I}{M_B} - 1 = M_w - 1$$
$$0 \le r \le N_B - 1 \, , 0 \le c \le M_B - 1$$

αποτελεί μια διαμέριση της προς υδατογράφηση εικόνας σε $N_w \times M_w$ blocks, μεγέθους $N_B \times M_B$.

Πράγματι, από τη σχέση **(3)** για σταθερές τιμές των *k,l* (έστω k_0, l_0), είναι εύκολο να δούμε ότι ο πίνακας $B_{k_0 l_0}$ είναι διαστάσεων $N_B \times M_B$ και περιέχει τις τιμές έντασης ενός block της εικόνας που θέλουμε να υδατογραφήσουμε. Συγκεκριμένα τα στοιχεία του πίνακα $B_{k_0 l_0}(r,c)$ είναι τα στοιχεία της αρχικής εικόνας που περιέχονται από τη γραμμή $k_0 N_B$ έως $(k_0+1)N_B - 1$ και τη στήλη $l_0 M_B$ έως $(l_0+1)M_B - 1$ της προς υδατογράφηση εικόνας και κάθε ένα από τα παραπάνω τμήματα έχει το μέγεθος του υδατογραφήματος.

4.5. Ενσωμάτωση του τυχαία αναδιατεταγμένου υδατογραφήματος στην επιθυμητή εικόνα

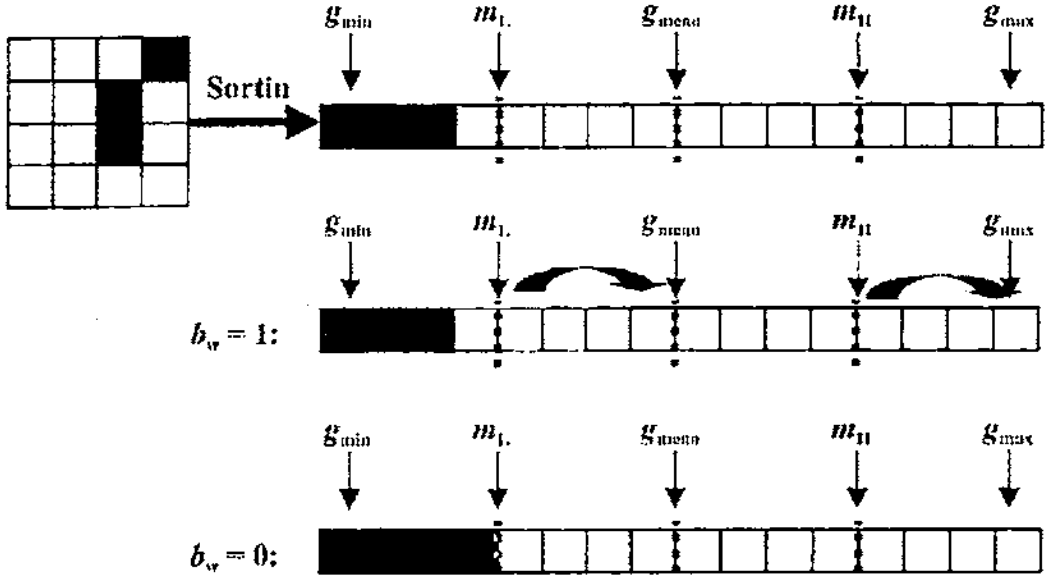
Έστω

$B_{kl}(r,c) = b(rM_b + c)$

και $g(n) = sort(b(rM_b + c))$

Για την ενσωμάτωση του υδατογραφήματος στην επιθυμητή εικόνα εκτελούμε τα ακόλουθα βήματα:

Βήμα 1: Ταξινόμηση κατά αύξουσα σειρά των εικονοστοιχείων μέσα στο block B_{kl} βασισμένη στις τιμές έντασής τους



Σχημα 4.2: Ταξινόμηση κατά αύξουσα σειρά των εικονοστοιχείων

Βήμα 2: Υπολογισμός του μέσου όρου, g_{mean}, του ελάχιστου, g_{min}, και του μέγιστου, g_{max}, από τις εντάσεις των εικονοστοιχείων μέσα στο B_{kl}.

$g_{min} = \min\{g(n)\}$,

$g_{max} = \max\{g(n)\}$,

$g_{mean} = mean\{g(n)\}, 0 \le n \le N_B M_B - 1$

Βήμα 3: Διαμέριση του g σε δύο κλάσεις Z_H και Z_L σύμφωνα με τον κανόνα

$B_{kl}(r,c) \in Z_H$ if $g > g_{mean}$

$$B_{kl}(r,c) \in Z_L \text{ if } g \le g_{mean}$$

όπου Z_H και Z_L είναι οι υψηλές και χαμηλές κατηγορίες έντασης, αντίστοιχα.

Βήμα 4: Υπολογισμός των μέσων, m_L και m_H, των δύο κλάσεων, Z_L και Z_H αντίστοιχα από τις σχέσεις:

$$m_L = mean\{Z_L\}$$

$$m_H = mean\{Z_H\}$$

Βήμα 5: Καθορισμός της τιμής αντίθεσης (contrast value) του block B_{kl}

$$C_B = \max(C_{min}, \alpha(g_{max}-g_{min}))$$

όπου α είναι μια σταθερά και C_{min} είναι μια σταθερά που καθορίζει την ελάχιστη τιμή της έντασης που ένα εικονοστοιχείο μπορεί να τροποποιηθεί.

Βήμα 6: Ανάλογα με την τιμή της Σχέσης (2), το $W_{sc}(n)$ είναι 0 ή 1, τροποποιεί τα εικονοστοιχεία στο τμήμα B_{kl} ως ακολούθως:

if $w_{sc}(n) = 1$,

$g_{new} = g_{max}$	if $g > m_H$
$g_{new} = g_{mean}$	if $m_L \le g < g_{mean}$
$g_{new} = g + \delta$	otherwise

if $w_{sc}(n) = 0$,

$g_{new} = g_{min}$	if $g < m_L$
$g_{new} = g_{mean}$	if $g_{mean} \le g < m_H$
$g_{new} = g - \delta$	otherwise

όπου g_{new} είναι η νέα τιμή έντασης για το εικονοστοιχείο που είχε αρχική ένταση g και δ είναι μια τυχαία τιμή μεταξύ 0 και C_B.

Βήμα 7: Αν B_{kl}^{new} το τροποποιημένο block που προέκυψε από το Βήμα 6 τοποθετείται στην υδατογραφημένη εικόνα στη θέση που κατείχε το block B_{kl}, στην αρχική εικόνα **I**.

Αυτά τα βήματα περιγράφουν τη διαδικασία από την οποία η υδατογραφημένη εικόνα παράγεται από μια εικόνα οικοδεσπότη (host-image) και ένα υδατογράφημα. Οι εντάσεις εικονοστοιχείου τροποποιούνται μέσα σε ένα πεδίο τιμών

που εξαρτάται από την τιμή αντίθεσης για ένα δεδομένο block. Εάν η τιμή αντίθεσης είναι μεγάλη, τα εικονοστοιχεία τροποποιούνται περισσότερο από ότι εάν η τιμή της αντίθεσης είναι μικρή. Κατά συνέπεια, τα εικονοστοιχεία τροποποιούνται με έναν τρόπο που είναι προσαρμοστικός στην τιμή αντίθεσης του τοπικού block των εικονοστοιχείων. Το αποτέλεσμα είναι ότι, εάν ένα 1 ενσωματώνεται σε ένα block, η μέση τιμή έντασης για αυτό το block θα είναι μεγαλύτερη από τη μέση ένταση για το ίδιο block της αρχικής εικόνας οικοδεσπότη. Εάν ένα 0 ενσωματώνεται, η μέση ένταση του νέου block θα είναι χαμηλότερη από αυτή του block της αρχικής εικόνας οικοδεσπότη. Με τη χρησιμοποίηση του δ, εκείνα τα εικονοστοιχεία που τροποποιεί θα έχουν ένα μικρό τυχαίο τμήμα θορύβου, εντούτοις με μια διαφορετική από το μηδέν γενική μέση τιμή. Η τυχαία φύση αυτού του συντονισμού βοηθά να αποτρέψει μια ορατή επίδραση στην υδατογραφημένη εικόνα, συμβάλλοντας παράλληλα στη μετατόπιση του γενικού μέσου όρου του block των εικονοστοιχείων. Αυτό συμβάλλει επίσης στην αντοχή του αλγορίθμου σε μερικές από τις διαδικασίες φιλτραρίσματος εικόνας. Το φιλτράρισμα που θα εκτελεσθεί στην υδατογραφημένη εικόνα μπορεί να μειώσει τη διακύμανση του θορύβου, εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη το διαφορετικό από το μηδέν μέσο όρο του, ο μέσος όρος μπορεί ακόμα να συντηρηθεί σε πιο υψηλό επίπεδο για ένα δεδομένο block.

4.6. Αλγόριθμος εξαγωγής του ενσωματωμένου υδατοσήμου

Ο αλγόριθμος εξαγωγής είναι απλός και απαιτεί την αρχική εικόνα (host image). Ο αλγόριθμος χρειάζεται μόνο να υπολογίζει τον μέσο όρο των τιμών έντασης για τα blocks της αρχικής εικόνας και της υδατογραφημένης εικόνας. Ένα bit αποκωδικοποιείται με τη σύγκριση των δύο επακόλουθων τιμών:

$$\text{if } S_w > S_o, \text{ then } W_{sc}(n) = 1$$
$$\text{if } S_w \leq S_o, \text{ then } W_{sc}(n) = 0$$

Όπου S_w και S_o είναι ο μέσος όρος των blocks από την υδατογραφημένη και την αρχική εικόνα, αντίστοιχα. Τα αποκωδικοποιημένα bits εισάγονται έπειτα στην αντίστροφη μεταλλαγμένη διάταξη όπως τα nxn blocks επιλέχτηκαν με τη χρησιμοποίηση του κλειδιού από την ψευδοτυχαία διαδικασία εισαγωγής. Αυτό ανακτά το ανακατωμένο υδατογράφημα. Κατόπιν, το ανακατωμένο υδατογράφημα επανέρχεται στην κανονική του μορφή σύμφωνα με το κλειδί από την αρχική λειτουργία ανακατώματος. $W_r(n) = W_{sc}\{x^{-1}(n)\}$

Και έπειτα το διάνυσμα $W_r(n)$ το μετατρέπουμε σε δισδιάστατο πίνακα μεγέθους $W(n \bmod(N_w), n \bmod(M_w))$

Η απόφαση ως προς το εάν υπάρχει στην πραγματικότητα ένα υδατογράφημα στην εικόνα είναι έπειτα υποκειμενική. Η απόφαση αφήνεται στο ανθρώπινο μάτι για να καθορίσει εάν υπάρχει μια αναγνωρίσιμη εικόνα στην ανακτημένη εικόνα υδατοσήμου. Λαμβάνοντας υπόψη τα δύο στάδια του ανακατώματος, εάν υπάρχει ένα ορατά ανιχνεύσιμο υδατόσημο, μπορεί με βεβαιότητα να ισχυριστούμε ότι η εικόνα είναι μια υδατογραφημένη εικόνα και τα δικαιώματα ιδιοκτησίας της ανήκουν στο συμβαλλόμενο μέρος που εισήγαγε αρχικά το υδατόσημο.

4.7. Αποτελέσματα Πειραμάτων

4.7.1. Αρχική και υδατογραφημένη εικόνα

Τα πειραματικά αποτελέσματα [26] έγιναν με τη χρησιμοποίηση μιας αρχικής εικόνας μεγέθους 512x512 εικονοστοιχείων και ενός υδατογραφήματος 128x128 εικονοστοιχείων. Στην Εικόνα 3 φαίνεται η αρχική εικόνα ενώ στην εικόνα 4 το υδατογράφημα που χρησιμοποιούμε. Στις Εικόνες 5 και 6 εμφανίζονται η υδατογραφημένη εικόνα και η διαφορά μεταξύ της αρχικής εικόνας και υδατογραφημένης εικόνας

Εικόνα 3 – Αρχική Εικόνα

Εικ.4 Υδατογράφημα

Εικόνα 5 – Υδατογραφημένη εικόνα

Εικ.6 Διαφορά μεταξύ αρχικής και υδατογραφημένης εικόνας

Από την εικόνα διαφοράς είναι ορατές οι διαφορές που προκλήθηκαν λόγω του 4x4 πίνακα που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο. Οι διαφορές είναι πιο εμφανείς στις περιοχές που περιβάλλουν τα πουλιά όπου οι τιμές έντασης κυμαίνονται από πολύ χαμηλές ως πολύ υψηλές

4.7.2. Χαμηλοπερατό Φιλτράρισμα (Lowpass Filtering)

Εικόνα 7 – Low pass φιλτραρισμένη υδατογραφημένη εικόνα (3x3 mask)

Εικόνα 8 - Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 9 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος

Η Εικόνα 7 παρουσιάζει μια low pass φιλτραρισμένη υδατογραφημένη εικόνα χρησιμοποιώντας ένα 3x3 φίλτρο. Τα λάθη στην υδατογραφημένη εικόνα είναι ακόμα ορατά στις άκρες που περιβάλλουν τα πουλιά και επίσης όπου οι τιμές έντασης

των κυμάτων στην εικόνα αλλάζουν από χαμηλή σε υψηλή τιμή έντασης. Η Εικόνα 8 και η Εικόνα 9 παρουσιάζουν το ανακτημένο υδατογράφημα και τη διαφορά μεταξύ του αρχικού και του αναπαραγμένου υδατογραφήματος αντίστοιχα. Τα λάθη παρουσιάζονται στην εικόνα διαφοράς ως φωτεινά εικονοστοιχεία, δηλ. τιμές υψηλής έντασης

4.7.3. Φίλτρο Μεσαίου (Median Filtering)

Εικόνα 10- Υδατογραφημένη εικόνα με φίλτρο Median και 3x3 μάσκα

Εικ11. Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 12 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος

Η εικόνα που προέκυψε μετά την εφαρμογή 3x3 φίλτρου Μεσαίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 10. Η εικόνα είναι πιο θολωμένη από τη χαμηλοπερατή φιλτραρισμένη εικόνα (που είναι θολωμένη επίσης έναντι της αρχικής εικόνας). Το αναδημιουργημένο υδατόσημο έχει τα λιγότερα λάθη από το αναδημιουργημένο υδατόσημο της low pass φιλτραρισμένης εικόνας (Εικόνα 11).

4.7.4. Κλιμάκωση

Εικόνα 13 – Η υδατογραφημένη εικόνα μετά την επεξεργασία της κλιμάκωσης

Εικ14. Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 15 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος

Το πείραμα κλιμάκωσης έγινε με την κλιμάκωση της υδατογραφημένης εικόνας στο ένα τέταρτο του αρχικού μεγέθους της (256x256) και στη συνέχεια την επαναφορά της στο αρχικό μέγεθος (512x512) χρησιμοποιώντας τη διγραμμική παρεμβολή (bilinear interpolation, ενσωματωμένη λειτουργία Matlab). Ο αλγόριθμος απαιτεί τα εικονοστοιχεία στην υδατογραφημένη εικόνα να είναι στην αντίστοιχη θέση με την αρχική εικόνα προκειμένου να εξαχθεί το υδατογράφημα σωστά. Η Εικόνα 13 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα να είναι πιο θολωμένη σε σχέση με την υδατογραφημένη εικόνα της Εικόνας 10. Επίσης, το αναδημιουργημένο υδατογράφημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 14 έχει περισσότερα λάθη από το υδατογράφημα της εικόνας που έχει υποστεί φίλτρο Μεσαίου.

4.7.5. Κοπή Εικόνας (Cropping)

Η Εικόνα 17 παρουσιάζει μια υδατογραφημένη εικόνα που έχει κοπεί με μια μάσκα μεγέθους 225x300 pixels. Το αναδημιουργημένο υδατογράφημα είναι ακόμα αναγνωρίσιμο, αλλά έχει πολλά λάθη στα λευκά εικονοστοιχεία. Ο λόγος για τον οποίο η αναδημιουργημένη εικόνα υπογραφών είναι τόσο μαύρη είναι απλά επειδή η κομμένη εικόνα είναι επίσης μαύρη σε μεγάλες περιοχές μετά το κόψιμο της.

Εικόνα 17 – Κομμένη η υδατογραφημένη εικόνα

Εικόνα 18 - Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 19 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος

Ο λόγος για τον οποίο είναι δυνατό να ανακτηθεί το υδατογράφημα από την κομμένη υδατογραφημένη εικόνα είναι ότι το υδατογράφημα προστίθεται ως μικρός τυχαίος θόρυβος κατανεμημένος τυχαία στα εικονοστοιχεία της εικόνας.

4.7.6. Περιστροφή

Η Εικόνα 20 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα που έχει περιστραφεί. Περιστρέφεται 17 μοίρες προς τα δεξιά και έπειτα πίσω στην αρχική θέση με τη χρησιμοποίηση της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation).

Εικόνα 20 – Περιστροφή 17 μοιρών.

Εικόνα 21 – Αντιστροφή της περιστροφής - bilinear interpolation.

Εικ22.Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικ23.Διαφορά αρχ και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος.

Το ανακτημένο υδατογράφημα από την εικόνα είναι πολύ καλό έναντι του παραδείγματος με το κόψιμο της εικόνας. Οι εικόνες που έχουν κοπεί ή έχουν περιστραφεί έχουν χαμένες τιμές εικονοστοιχείων που παρεμβλήθηκαν στην εικόνα. Η μόνη διαφορά μεταξύ της εικόνας που έχει περιστραφεί και της κομμένης είναι η διγραμμική παρεμβολή που χρησιμοποιείται για να ευθυγραμμίσει εκ νέου τα εικονοστοιχεία αφού περιστραφεί πίσω στην αρχική θέση της. Η διγραμμική παρεμβολή μπορεί να προσεγγιστεί με μια διαδικασία φιλτραρίσματος μέσου όρου.

4.7.7. Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 100

Εικόνα 24 - Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 100.

Εικόνα 25 - Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 26 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος.

Η Εικόνα 24 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα που συμπιέστηκε χρησιμοποιώντας τη με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 100 μέσα στο περιβάλλον της Matlab. Ο δείκτης κυμαίνεται από 0 έως 100, όπου 0 είναι καλύτερη συμπίεση και 100 είναι καλύτερη ποιότητα. Το αναδημιουργημένο υδατογράφημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 25 είναι μια καλή αναπαραγωγή. Η εικόνα διαφοράς (Εικόνα 26) δείχνει ότι ο αριθμός των λαθών είναι σχετικά μικρός.

4.7.8. Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 75

Εικόνα 27 - Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 75.

Εικόνα 28 - Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 29 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος.

Η Εικόνα 27 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα που συμπιέστηκε χρησιμοποιώντας την απωλεστική συμπίεση JPEG με δείκτη 75. Το αποτέλεσμα του αναδημιουργημένου υδατοσήμου είναι ακόμα πολύ καλό. Δεν διαφέρει πολύ από το αποτέλεσμα της αναδημιουργημένης εικόνας υπογραφών από τη συμπιεσμένη JPEG εικόνα με δείκτη 100 (Εικόνα 24).

4.7.9. Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 50

Εικόνα 30 - Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 50

Εικόνα 31 - Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 32 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος.

Η Εικόνα 30 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα που συμπιέστηκε χρησιμοποιώντας την απωλεστική συμπίεση JPEG με δείκτη 50. Η ανακτημένη εικόνα υδατογραφήματος έχει ελαφρώς χειρότερη ποιότητα σε σύγκριση με υδατογράφημα της εικόνας που έχει συμπιεστεί με δείκτη 75 (Εικόνα 31). Η εικόνα διαφοράς (Εικόνα 32) είναι σχεδόν απολύτως μαύρη εκτός από μερικά άσπρα εικονοστοιχεία που υπάρχουν συνήθως στις περιοχές όπου η αρχική εικόνα του υδατογραφήματος είναι άσπρη.

4.7.10. Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 25

Εικόνα 33 - Με απώλειες συμπίεση JPEG με δείκτη 25.

Εικόνα 34 – Ανακατασκευασμένο Υδατογράφημα

Εικόνα 35 - Διαφορά αρχικού και ανακατασκευασμένου Υδατογραφήματος.

Η Εικόνα 33 παρουσιάζει την υδατογραφημένη εικόνα που συμπιέστηκε χρησιμοποιώντας την απωλεστική συμπίεση JPEG με δείκτη 25. Η ανακτημένη εικόνα υδατογραφήματος (Εικόνα 35) συνεχίζει να είναι καλύτερη από τις ανακτημένες εικόνες υδατογραφήματος του χαμηλοπερατού φίλτρου, του μεσαίου φιλτραρίσματος, του κοψίματος, της κλιμάκωσης και της περιστροφής.

4.8. Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος που εφαρμόστηκε είναι ανθεκτικός σε όλες τις επιθέσεις που προσομοιώθηκαν, αφού το ανακτημένο υδατογράφημα παρέμεινε αναγνωρίσιμο σε όλες τις περιπτώσεις. Όπως προκύπτει από τα πειράματα που παρατέθηκαν στο κεφάλαιο αυτό, η απόδοση του αλγορίθμου εξαρτάται από το είδος της επίθεσης που έχει υποστεί η υδατογραφημένη εικόνα. Συγκεκριμένα, η ανθεκτικότητα του αλγορίθμου υδατογράφησης στις διαφορετικές μορφές επίθεσης, που περιγράψαμε, μπορεί να ταξινομηθεί ως ακολούθως: φιλτράρισμα μεσαίου, κλιμάκωση, απωλεστική συμπίεση JPEG, χαμηλοπερατό φίλτρο και ,τέλος, η κοπή της εικόνας.

Μελλοντική προσδοκία είναι να απαλλαχθεί ο αλγόριθμος εξαγωγής του υδατογραφήματος από την ανάγκη χρησιμοποίησης της αρχικής εικόνας, δηλαδή η μετάβαση σε ένα blind σύστημα υδατογράφησης χωρίς αυτό να επηρεάσει κατά πολύ την ανθεκτικότητα του συστήματος στις επιθέσεις.

5. Επίλογος

Το ψηφιακό υδατογράφημα είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την προστασία πολυμεσικών δεδομένων, διότι παρέχει δυνατότητες όπως η ενσωμάτωση πληροφοριών μέσα σε ένα ψηφιακό αντικείμενο έτσι ώστε να είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με αυτό, οι πληροφορίες αυτές να εξασφαλίζουν στον δημιουργό του αντικειμένου την δυνατότητα ελέγχου για την νόμιμη κατοχή και δημόσια χρήση του αντικειμένου από τρίτους, καθώς και την δυνατότητα αναγνώρισης μη "νόμιμων" τροποποιήσεων που έχει υποστεί το υδατογραφημένο αντικείμενο (και σε ορισμένα συστήματα υδατογράφησης και που ακριβώς έχει τροποποιηθεί).

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι δεν υπάρχει ένα σύστημα υδατογράφησης που ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις αλλά το κάθε σύστημα σχεδιάζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία προορίζεται.

Το ψηφιακό υδατογράφημα, παρά τις δυνατότητες που έχει, δεν αποτελεί πανάκεια για την ασφάλεια πολυμεσικών δεδομένων, καθώς έχει να αντιμετωπίσει κάποια σοβαρά προβλήματα όπως την ελλιπή ανθεκτικότητα σε όλες τις δυνατές επιθέσεις (και στον συνδυασμό των επιθέσεων αυτών) ιδίως στα τυφλά συστήματα υδατογράφησης, την ανικανότητα να προσδιορισθεί ο χρόνος ενσωμάτωσης του υδατογραφήματος όταν ένα αντικείμενο έχει πολλαπλά υδατογραφήματα και το περιορισμένο ωφέλιμο φορτίο του υδατογραφήματος. Τα προβλήματα αυτά αποτελούν τροχοπέδη στην υιοθέτηση του υδατογραφήματος αλλά δεν φαντάζουν και αξεπέραστα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα

Το πρόγραμμα για την ενσωμάτωση του υδατογραφήματος σε MATLAB:

```
%encoderf.m
%=========================================================
%VARIABLES:
%alpha: contrast scaling factor, arbitrary
%average:  mean value of intensities in difference image
%bit:  watermark bit to be embedded in 4x4 host block
%blockv:  host target block
%blockvr:  block of modified pixel values to be used to construct hostr
%Cb:  contrast value for host target block
%Cmin:  minimum block change value, arbitrary
%count: counter for number of times minimal Cb is used
%Ctemp:  temporary variable to get the minimum Cb used
%delta: random change value for pixels in embedder algorithm (from paper)
%diff:  difference image for host-hostr
%gmax:  maximum pixel value for host target block
%gmean: mean pixel value for host target block
%gmin:  minimum pixel value for host target block
%host:  host image
%hostr: host image with watermark embedded
%indp:  random permutation of vector indices
%indrow/indcol:  random row/column index vectors for scrambling
%irow/icol: row/column indices based on scrambled indices
%mini/maxi: min/max values of difference image
%mlo/mhi:  mean values for pixels with values below/above the mean for host target
block
%range: value of maxi-mini, gives range of intensity values for difference image
%results:  vector composed of [range average Ctemp count];
%                  informational output, no other purpose (no other purpose = NOP)
%rlo/rhi/clo/chi:  indices for host target blocks
%wmark: watermark image
%wmarks:  scrambled watermark image for embedding
%wmarkv:  raster scan vector of watermark image
%wmarkvs:  scrambled raster watermark vector
%=========================================================

clear;
wmark = imread('kgb','bmp');  %loading the watermark image
wmark = double(wmark);
[M,N] = size(wmark);

%-----------------------------------
%In the following section, the watermark, 'wmark', is scrambled.
%-----------------------------------

%this loop builds a vector of the watermark image pixel values in raster scan form
wmarkv = wmark(1,:);
for i=2:M, wmarkv = [wmarkv wmark(i,:)];end;
rand('state',13);          %setting the seed to the random # generator
indp = randperm(M*N);  %generating a randomly permuted vector of indices
for i = 1:length(indp), wmarkvs(i) = wmarkv(indp(i));end; %scrambling the wmark vector
clear wmarkv indp;
%generating the scrambled watermark image
for i=1:M, wmarks(i,:) = wmarkvs((i-1)*N+1:i*N);end; clear wmarkvs;

%-----------------------------------
%The following section embeds the watermark into the host image.
%-----------------------------------

host = imread('birds','bmp'); %loading the host image
host = host(:,101:612);
imwrite(host,gray(256),'original.jpg','quality',100);
host = double(host);
hostr = zeros(size(host));
count = 0; %count and Ctemp are just some dummy output variables to check values, NOP
Ctemp = 100;
Cmin = 1;%minimum block change; value picked arbitrarily: we can tune here
alpha = 0.1;   %alpha, from the paper; value arbitrary:  we can tune this, too
[O,P] = size(host);
rand('state',11);  %setting the random generator to known state
```

```
indrow = randperm(O/4);   %generating row indices for random embedding of watermark
rand('state',7);   %setting the random generator to known state
indcol = randperm(P/4);   %generating column indices for random embedding of watermark
rand('state',sum(100*clock)); %setting the rand#generator to a random state for delta
for i=1:P/4,
   for j=1:O/4,
      bit = wmarks(i,j);  %the bit to be embedded
      irow = indrow(i)-1; icol = indcol(j)-1;    %row/column indices of host target
block
      rlo=4*irow+1; rhi=4*irow+4; clo=4*icol+1; chi=4*icol+4;
      blockv = [host(rlo,clo:chi) host(rlo+1,clo:chi) host(rlo+2,clo:chi)
host(rlo+3,clo:chi)];
      gmean = sum(blockv)/16; %getting the mean, min, and max for the block
      gmax = max(blockv);
      gmin = min(blockv);
      Cb = max(Cmin,alpha*(gmax-gmin));  %setting the block contrast value
      lo = find(blockv <= gmean); %indices for pixels above and below the mean
      hi = find(blockv > gmean);
      mlo = sum(blockv(lo))/length(blockv(lo)); %getting the upper and lower region
means
      mhi = sum(blockv(hi))/length(blockv(hi));
      blockvr = zeros(size(blockv)); %vector of embedded target block pixels
      for k = 1:length(blockv),   %algorithm for embedding from paper
         delta = rand*Cb; %random bit change value, prescribed in paper
         if bit == 1,
            if blockv(k) > mhi, blockvr(k)=gmax;
            elseif (blockv(k) >= mlo) & (blockv(k) < gmean), blockvr(k)=gmean;
            else blockvr(k) = blockv(k) + delta;
            end;
         end;
         if bit == 0,
            if blockv(k) < mlo, blockvr(k) = gmin;
            elseif (blockv(k) >= gmean) & (blockv(k) < mhi), blockvr(k)=gmean;
            else blockvr(k) = blockv(k) - delta;
            end;
         end;
      end; %next line is the reconstructed host image block with the embedded bit:
      hostr(rlo:rhi,clo:chi) = [blockvr(1:4); blockvr(5:8); blockvr(9:12);
blockvr(13:16)];
   end;
end;
clear indrow indcol irow icol block blockr blockv blockvr gmean gmax gmin mhi mlo;
clear bit Cb Cmin alpha delta hi lo M N O P i j k rlo rhi clo chi wmarks;
%various output plots:
figure(1);clf;
imshow(host,[0 255],'truesize');title('Original');
figure(2);clf;
imshow(hostr,[0,255],'truesize');title('Reconstructed');
diff = hostr-host;
average = mean(mean(diff));
mini = min(min(diff))
maxi = max(max(diff))
range = maxi-mini;
diff = 255*(diff-mini)/range;
results = [range average Ctemp count]
figure(3);clf;
imshow(diff,[0 255],'notruesize');
clear range average Ctemp count mini maxi;

host = uint8(host);
hostr = uint8(hostr);
hdiff = uint8(diff);
wmark = uint8(wmark);

save 'encdata1' host wmark hdiff;
save 'encdata2' hostr;
clear host hostr wmark diff results hdiff;
clear gtemp;
```

Το πρόγραμμα για την πραγματοποίηση επιθέσεων στο υδατογράφημα:

```
%processorf.m
%=========================================
%this file performs the various image processing techniques
%to the watermarked image for robustness testing.
%=========================================

clear;

map = double(gray(256));

base = 75;
width = 4*base-1;
height = 3*base-1;
ymin = 60;
xmin = 40;

load encdata2;
filtr = ones(3,3)/9;
hostrlpf = filter2(filtr,hostr);
hostrmf = medfilt2(hostr);
hostrs = imresize(hostr,[256 256],'bilinear');
hostrsr = imresize(hostrs,[512 512],'bilinear');
imwrite(hostr,map,'hostr100.jpg','quality','100');
imwrite(hostr,map,'hostr75.jpg','quality','75');
imwrite(hostr,map,'hostr50.jpg','quality','50');
imwrite(hostr,map,'hostr25.jpg','quality','25');
hostr100 = rgb2gray(imread('hostr100','jpg'));
hostr75 = rgb2gray(imread('hostr75','jpg'));
hostr50 = rgb2gray(imread('hostr50','jpg'));
hostr25 = rgb2gray(imread('hostr25','jpg'));
hostrc = zeros(size(hostr));
hostrc(xmin:xmin+height,ymin:ymin+width) = hostr(xmin:xmin+height,ymin:ymin+width);
hostrr = imrotate(hostr,-17,'bilinear','crop');
hostrrr = imrotate(hostrr,17,'bilinear','crop');
imwrite(hostrr,map,'hr.jpg','quality','100');

h1 = uint8(hostr);
h2 = uint8(hostrlpf);
h3 = uint8(hostrmf);
h4 = uint8(hostrsr);
h5 = uint8(hostr100);
h6 = uint8(hostr75);
h7 = uint8(hostr50);
h8 = uint8(hostr25);
h9 = uint8(hostrc);
h10 = uint8(hostrrr);

figure(1);clf;imshow(h1,[0 255],'truesize');title('Unprocessed');
figure(2);clf;imshow(h2,[0 255],'truesize');title('Lowpassed');
figure(3);clf;imshow(h3,[0 255],'truesize');title('Median');
figure(4);clf;imshow(hostrs,[0 255]);title('Scaled down');
figure(5);clf;imshow(h4,[0 255],'truesize');title('Scaled (R)');
figure(6);clf;imshow(h5,[0 255],'truesize');title('JPEG100');
figure(7);clf;imshow(h6,[0 255],'truesize');title('JPEG75');
figure(8);clf;imshow(h7,[0 255],'truesize');title('JPEG50');
figure(9);clf;imshow(h8,[0 255],'truesize');title('JPEG25');
figure(10);clf;imshow(h9,[0 255],'truesize');title('Cropped');
figure(11);clf;imshow(hostrr,[0 255],'truesize');title('Rotated');
figure(12);clf;imshow(h10,[0 255],'truesize');title('Rotation Corrected');

h=h1;
save 'ho1' h;
h=h2;
save 'ho2' h;
h=h3;
save 'ho3' h;
h=h4;
save 'ho4' h;
h=h5;
save 'ho5' h;
h=h6;
save 'ho6' h;
h=h7;
save 'ho7' h;
h=h8;
```

```
save 'ho8' h;
h=h9;
save 'ho9' h;
h= h10;
save 'ho10' h;

clear filtr hostrlpf hostrmf hostr hostrsr;
clear hostr100 hostr75 hostr50 hostr25;
clear hostrc xmin ymin width height base;
clear h1 h2 h3 h4 h5 h6 h7 h8 h9;
```

Το πρόγραμμα για την εξαγωγή του υδατογραφήματος:

```
%decoderf.m
%================================================
%VARIABLES:
%blockn:    target block from hostr
%blocko:    target block from host
%host:  host image
%hostr: host image with watermark embedded
%indd:  random permutation of vector indices
%indrow/indcol:     random row/column index vectors for scrambling
%irow/icol: row/column indices based on scrambled indices
%sumn:  sum of pixel intensities for target block from hostr
%sumo:  sum of pixel intensities for target block from host
%wmarkr:    recovered, descrambled watermark
%wmarksr:   recovered scrambled watermark
%wmarkvr:   descrambled watermark vector
%wmarkvrs:  raster scan vector of recovered, scrambled watermark
%================================================

clear;
load encdata1;  %loading host and watermark data
load encdata2;  %loading host and watermark data

clear hdiff;

num = 10;

wmarkr = zeros([size(wmark) num]);
wdiff = zeros(size(wmarkr));
host = double(host);
[O,P] = size(host);
[M,N] = size(wmark);
wmark = double(wmark);

for tiddle=1:num,
   name = ['ho' num2str(tiddle)];
   load(name);
   h = double(h);

   rand('state',11);   %resetting rand#gen to state for decoding of watermark bit
positions in host
   indrow = randperm(O/4);%row/column indices
   rand('state',7);
   indcol = randperm(P/4);
   wmarksr = zeros(O/4,P/4);
   for i=1:P/4,
      for j=1:O/4,
         irow = indrow(i)-1; icol = indcol(j)-1;
         blocko = host( 4*irow+1:4*irow+4,4*icol+1:4*icol+4 );
         blockn = h( 4*irow+1:4*irow+4,4*icol+1:4*icol+4 );
         sumo = sum(sum(blocko));
         sumn = sum(sum(blockn));
         if sumn < sumo, wmarksr(i,j) = 0; %compare blocks to determine 0 or 1
         elseif sumn >= sumo, wmarksr(i,j) = 1;
         end;
      end;
   end;
   clear h blocko blockn i j icol indcol irow indrow sumo sumn;
   wmarkvrs = wmarksr(1,:); %building the recovered, scrambled watermark vector for
descrambling
   for i=2:M, wmarkvrs = [wmarkvrs wmarksr(i,:)];end; clear wmarksr;
   rand('state',13);          %resetting the seed for the random # generator
   indd = randperm(M*N);  %recovering the random index vector for descrambling
   wmarkvr = zeros(size(wmarkvrs));
   for i=1:length(indd), wmarkvr(indd(i)) = wmarkvrs(i);end; %inverse scrambling
operation
   clear wmarkvrs indd;
   %this loop reconstructs the wmark image from the decoded/descrambled wmark vector
   for i=1:M, wmarkr(i,:,tiddle) = wmarkvr((i-1)*N+1:i*N);end;
   clear i wmarkvr;
   diff = wmark-wmarkr(:,:,tiddle);
   wdiff(:,:,tiddle) = abs(diff);
end;
clear host name num M N O P tiddle;

figure(13);clf;
```

```
subplot(5,1,1);imshow(wmark,'notruesize');title('Original');
subplot(5,2,3);imshow(wmarkr(:,:,1),'notruesize');title('Straight');
subplot(5,2,4);imshow(wdiff(:,:,1),'notruesize');title('Diff');
subplot(5,2,5);imshow(wmarkr(:,:,2),'notruesize');title('Lowpass');
subplot(5,2,6);imshow(wdiff(:,:,2),'notruesize');
subplot(5,2,7);imshow(wmarkr(:,:,3),'notruesize');title('Median');
subplot(5,2,8);imshow(wdiff(:,:,3),'notruesize');
subplot(5,2,9);imshow(wmarkr(:,:,4),'notruesize');title('Scaled');
subplot(5,2,10);imshow(wdiff(:,:,4),'notruesize');
figure(14);clf;
subplot(5,1,1);imshow(wmark,'notruesize');title('Original');
subplot(5,2,3);imshow(wmarkr(:,:,5),'notruesize');title('JPEG, 100');
subplot(5,2,4);imshow(wdiff(:,:,5),'notruesize');title('Diff');
subplot(5,2,5);imshow(wmarkr(:,:,6),'notruesize');title('JPEG, 75');
subplot(5,2,6);imshow(wdiff(:,:,6),'notruesize');
subplot(5,2,7);imshow(wmarkr(:,:,7),'notruesize');title('JPEG, 50');
subplot(5,2,8);imshow(wdiff(:,:,7),'notruesize');
subplot(5,2,9);imshow(wmarkr(:,:,8),'notruesize');title('JPEG, 25');
subplot(5,2,10);imshow(wdiff(:,:,8),'notruesize');
figure(15);clf;
subplot(311);imshow(wmark,'notruesize');title('Original');
subplot(323);imshow(wmarkr(:,:,9),'notruesize');title('Cropped');
subplot(324);imshow(wdiff(:,:,9),'notruesize');title('Diff');
subplot(325);imshow(wmarkr(:,:,10),'notruesize');title('Rotated');
subplot(326);imshow(wdiff(:,:,10),'notruesize');

wmarkr = uint8(255*wmarkr);
wdiff = uint8(255*wdiff);

save 'decdata' wmarkr wdiff;
clear wmark wmarkr diff wdiff;
```

Βιβλιογραφία

[1] B.Macq and J.J.Quisquater, ``Cryptology for Digital TV Broadcasting", Proceeding of the IEEE,vol 83, no 6, pp.944-957, 1995.

[2] J.F.Delaigle, J.M.Boucqueau, J.J.Quisquater and B.Macq, ``Digital images protection techniques in a broadcast framework: an overview", Proceedings of ECMAST'96, vol.2, pp 711-727, 1996.

[3] D.R.Stinson, ``Cryptography, theory and practice", CRC Press, 1995.

[4] S.Craver, N.Memon, B.L. Yeo and M.M.Yeung, ``Can invisible watermarks resolve rightful ownerships?", IBM Tech.Report RC20509, 1996.

[5] J.Zhao, "A WWW service to embed and prove digital copyright watermarks", Proceedings of ECMAST'96, vol.2, pp 695-709, 1996.

[6] I.J.Cox and M.L.Miller ``A review of watermarking and the importance of perceptual modeling",Proc. of Electronic Imaging'97, February 1997.

[7] I.J.Cox, J.Kilian, T.Leighton and T.Shammoon ``Secure Spread spectrum Watermarking for Multimedia", Tech. Report, NEC research Institute, no 95-10, 1995.

[8] C.T.Hsu and J.L.Wu, ``Hidden signatures in Images" Proceedings of ICIP'96, vol III, pp 223-226,1996.

[9] G.Voyatzis and I.Pitas, ``Applications of Toral automorphisms in image watermarking", Proceedings of ICIP'96, vol II, pp. 237-240, 1996.

[10] G. Voyatzis and I. Pitas, ``Embedding Robust Logo Watermarks in Digital Images", Proceedingsof DSP'97, vol 1, pp. 213-216, 1997.

[11] I.Pitas, ``A method for signature casting on digital images", Proceedings of ICIP'96, vol III, pp215-218, 1996.

[12] N.Nikolaidis and I.Pitas ``Robust image watermarking in the spatial domain", Signal Proc.special issue on Copyright Protection and Access control, vol 66, no 3, pp. 385-403, 1998.

[13] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, "DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image", Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, USA,October 26-29, 1997, Vol I, pp. 520-523.

[14] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A Watermark for Digital Images," Proceedings of ICIP'96, September 16-19, 1996, Lausanne, Switzerland, pp. 219-222.

[15] Mitchell D. Swanson, Bin Zhu, and Ahmed H. Tewfik, "Transparent Robust Image Watermarking," Proc. of the 1996 IEEE Int. Conf. on Image Processing, Vol. III, PP. 211-214,1996.

[16] J. O'Ruanaidh, W. Dowling, F. Boland, ``Watermarking digital images for copyright protection",IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 143(4), pp 250-256, August 1996.

[17] D. Kundur, D. Hatzinakos, ``A Robust Digital Image Watermarking Method using Wavelet-Based Fusion", Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, USA, October 26-29, 1997, Vol I,pp. 544-547.

[18] X.-G. Xia, C. G. Boncelet, and G. R. Arce, `` A Multiresolution Watermark for Digital Images" Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, USA, October 26-29, 1997, Vol I, pp. 548-551.

[19] J. O'Ruanaidh, W. Dowling, F. Boland, ``Phase watermarking of digital images", Proc. 1996, IEEE Int. Conference on Image Processing (ICIP 96), vol III, pp 239-242.

[20] J. O'Ruanaidh,, T. Pun, ``Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", Proceedings of ICIP'97, Santa Barbara, CA, USA, October 26-29, 1997, Vol I, pp. 536-539.

[21] G. Voyatzis, N. Nikolaidis and I. Pitas, Copyright Protection of Multimedia Documents: From Theory to Application, 4th Hellenic European Conference on Computer Mathematics and its Applications, accepted for publication, 1998

[22] I. Cox, M. Miller, J. Bloom, "Digital Watermarking, Principles and Practice", ISBN 1558607145

[23] E. Lin, E. Delp "A Review of Data Hiding in Digital Images", *Video and Image Processing Laboratory (VIPER),School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University,West Lafayette, Indiana*

[24] Scott Craver, Nasir Memon, Boon-Lock Yeo, and Minerva M. Yeung. Resolving rightful ownerships with invisible watermarking techniques: Limitations, attacks, and implications. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 16(4):573{586, May 1998. Special Issue on Copyright & Privacy Protection. ISSN 0733-8716.

[25] I. J. Cox and J.-P. M. G. Linnartz, "Some general methods for tampering with watermarks," *IEEE J. Select. Areas Commun*, vol. 16, pp. 587–593, May 1998.

[26] G. Gulstad,K. Bruvold, "An Adaptive Digital Image Watermarking Technique For Copyright Protection", ECE 178,University of California, Santa Barbara

[27] F.Harrtung, M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques", Proceedings of the IEEE, vol 87, No. 7, July 1999

[28] Chai Wah Wu, "On the Design of Content-Based Multimedia Authentication Systems", IEEE Transactions on Multimedia, vol. 4,No. 3, September 2002

[29] Γ. Βουτυράς, Γ. Αλεξίου, Ι. Γαροφαλάκης, Ι. Τζήμας "ΠΟΛΥΜΕΣΑ" Αθήνα 2000, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο

[30] Ross J. Anderson and Fabien A. P. Petitcolas, "INFORMATION HIDING NNOTATED BIBLIOGRAPHY", Computer Laboratory, University of Cambridge, Cambridge CB2 3QG, UK

Διαδίκτυο

[Δ1] http://www.mediaiab.ntua.gr/multinew/Default.htm

[Δ2] http://hyperion.math.upatras.gr/courses/soctech/thefoit/erg99/galanis_etal/

[Δ3] http://www.print2print.gr/newspages/news-steganography.html

[Δ4] http://www.greekphotobank.gr/pnevmatika.htm

[Δ5] http://www.museodellacarta.com/ing/tecnfil.html

[Δ6] http://books.elsevier.com/us/bookscat/samples/ 1558607145/1558607145.pdf

[Δ7] www.digimarc.com/docs/analogHole/ DWM%20Facts%20FINAL.pdf

[Δ8] http://www.vu.union.edu/~shoemakc/watermarking/watermarking.html

[Δ9] http://www.cs.unr.edu/~rakhi/reportwm.html

[Δ10] http://digitalrights.uoa.gr/

[Δ11] http://www.dai.ed.ac.uk/HIPR2/noise.htm

[Δ12] http://cobb.ee.psu.edu/users/greg/lowpass.html

[Δ13] http://www.digicamhelp.com/learn/image-editing/image-cropping.htm

[Δ14] http://www.dmst.aueb.gr/dds/pubs/trade/1993-Winmag/fastwin4/html/win4.html

[Δ15] http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/scale.htm

[Δ16] http://www.edb.utexas.edu/multimedia/PDFfolder/PeerComputing.pdf

[Δ17] www.ee.ucl.ac.uk/~icox/papers/1998/jsac98.pdf

[Δ18] http://www.alphatecltd.com/