

ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΕΓΓΡΑΦΩΝ

Η Διπλωματική Εργασία
παρουσιάστηκε ενώπιον
του Διδακτικού Προσωπικού του
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Σε Μερική Εκ πλήρωση
των Απαιτήσεων για το Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης (ΜΔΕ)
στις "Τεχνολογίες και Διοίκηση Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων"

του
ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ
ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2007

Η ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΩΝ ΕΠΙΚΥΡΩΝΕΙ
ΤΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ:

Καβαλλιεράτου Εργίνα, Επιβλέπουσα 15/10/2007

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

Σταματάτος Ευστάθιος, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

Τζουραμάνης Θεόδωρος, Μέλος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΕΑΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει μια μέθοδο ισχυρής μη ορατής υδατογράφησης η οποία εξελίσσοντας τις υπάρχουσες τεχνικές θα έχει βέλτιστη συμπεριφορά σε εικόνες εγγράφων και θα έχει ως στόχο την διασφάλιση των πνευματικών δικαιωμάτων του δημιουργού, την προσθήκη υποσημείωσης σχετικά με το περιεχόμενο της εικόνας, τον εντοπισμό παραχάραξης της και την αυθεντικοποίηση.

Στο πρώτο κεφάλαιο ορίζεται η διαδικασία της υδατογράφησης με την αναλυτική παρουσίαση των βημάτων της, περιγράφεται η χρησιμότητά της σε εφαρμογές διαφορετικού τύπου, μελετώνται τα χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις των συστημάτων υδατογράφησης εικόνων, τα προβλήματα που μπορεί να αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή της, ενώ δίνεται έμφαση στην ιδιαιτερότητα των εικόνων εγγράφων σε σχέση με διαφορετικά είδη εικόνων.

Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το τεχνικό υπόβαθρο της θεωρίας υδατογράφησης εικόνων μέσα από την ανάλυση των βασικών τεχνικών εφαρμογής και ανάκτησης υδατογραφήματος. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στη σχετική δουλειά που έχει γίνει στο συγκεκριμένο αντικείμενο από διάφορους επιστήμονες.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αφού εντρυφήσουμε στη λειτουργικότητα της μεθόδου ένθεσης και ανάκτησης υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο κάθε εικονοστοιχείου εικόνας εγγράφου, καταλήγουμε στην παρουσίαση του προτεινόμενου αλγόριθμου. Αναφέρονται παραστατικά τα βήματά του, οι δυνατότητες προσαρμογής του ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται, όπως και η συμπεριφορά του στις διάφορες επιθέσεις.

Το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρει τα πλεονεκτήματα και τις καινοτομίες που εισάγει ο προτεινόμενος αλγόριθμος στην θεωρία υδατογράφησης εικόνων εγγράφων, ενώ δεν παραλείπονται και τα μειονεκτήματά του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιούνται πειράματα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του προτεινόμενου αλγόριθμου σε εικόνες διαφορετικού τύπου και μεγέθους και στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις άλλες τεχνικές, έτσι ώστε να δούμε εμπράκτως σε ποια σημεία υπερέχει σε σχέση με άλλες τεχνικές και σε ποια υστερεί.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά την εκπόνηση της εργασίας.

© 2007

του

ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ABSTRACT

In this project we propose a secure high capacity robust invisible watermarking algorithm for grayscale document images. The proposed algorithm evolves the existing “least significant bit substitution” method, in order to optimize its performance for document images. It can be used with slight modifications in authentication, copyright protection, annotation, and tamper detection.

In the first chapter, a definition of watermarking procedure is presented. Furthermore, we describe its stages, its use for various scopes, the characteristics and demands of image watermarking systems, all the problems that it may confront. Meanwhile we don’t miss to emphasize at the specialty of document images relatively to different types of images.

In the second chapter we present the technical background of image watermarking theory, analyzing the basic watermark embedding and recovering techniques. Moreover, former work by other scientists and implemented watermarking methods are mentioned.

Third chapter introduces a new watermarking technique, which evolves the least significant bit substitution technique. We analytically present all the steps of watermark embed and recover algorithms, its flexibility for use in different applications, and its reactions when it faces various image processing attacks.

In the fourth chapter, conclusions are drawn from the advantages and innovations of the proposed algorithm, as much as from its problems and disadvantages.

Analysis and experimental results of the proposed algorithm are given in chapter five, with the use of images of various types and sizes. These results are compared with respective results of other techniques, and so we present observed remarks.

The conclusions drawn from the present project are stated in the eighth chapter.

© 2007

PAPAGEORGIU GEORGIOS

Department of Information and Communication Systems Engineering

UNIVERSITY OF THE AEGEAN

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Ο άνθρωπος που με βοήθησε με τις γνώσεις της σε κάθε εμπόδιο που προέκυψε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και ανέχτηκε σε μεγάλο βαθμό τα προσωπικά προβλήματα που αντιμετώπισα τον τελευταίο χρόνο είναι η επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Καβαλλιεράτου Εργίνα. Θεωρώ χρέος μου να την ευχαριστήσω, όπως και τους υπόλοιπους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος, που με το επιστημονικό τους κύρος και την βοήθειά τους απέκτησα αρκετές γνώσεις και εμπλούτισα την επιστημονική μου κατάρτιση στο χώρο της «Διαχείρισης Πληροφορίας» και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Ελπίζω τα εφόδια που αποκόμισα με την παρακολούθηση του προγράμματος του μεταπτυχιακού να είναι η απαρχή για μελλοντική συνεργασία.

Θα ήταν παράληψη να μην αφιερώσω το παρόν σύγγραμμα στην οικογένειά μου. Στους γονείς μου που με στήριξαν σε όλη την προσπάθειά μου και στον αδερφό μου, που με βοήθησε όσο μπορούσε ακόμα και σε επιστημονικά θέματα κατά την εκπόνηση της εργασίας και την υλοποίηση του προτεινόμενου αλγορίθμου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ABSTRACT	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εισαγωγικοί ορισμοί	1
1.2 Χρησιμότητα υδατογράφησης	2
1.3 Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις συστημάτων υδατογράφησης εικόνων	3
1.3.1 Ανθεκτικότητα	4
1.3.2 Διαφάνεια	4
1.3.3 Ακεραιότητα	4
1.3.4 Ασφάλεια	4
1.3.5 Πολυπλοκότητα	5
1.3.6 Χωρητικότητα	5
1.4 Είδη παραποίησης και επιθέσεις	5
1.4.1 Είδη Παραποίησης	5
1.4.2 Κατηγορίες Επιθέσεων	6
1.5 Χαρακτηριστικά εικόνων εγγράφων	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ	10
2.1 Τεχνικές Εφαρμογής Υδατογραφήματος	10
2.1.1 Κατηγοριοποίηση τεχνικών	10

2.1.2	Στάδια ψηφιακής υδατογράφησης.....	10
2.1.3	Τύποι Υδατογραφήματων.....	12
2.1.4	Τεχνικές Ένθεσης Υδατογραφήματος.....	12
2.2	Επιλογή του Υδατογραφήματος.....	16
2.3	PSNR (peak signal-to-noise ratio).....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΕΧΝΙΚΗ		18
3.1	Εισαγωγικά.....	18
3.2	Μετατροπή λιγότερο σημαντικού ψηφίου (Least Significant Bit Modification).....	19
3.2.1	Αλγόριθμοι LSB υδατογράφησης	20
3.2.2	Ανάλυση LSB υδατογράφησης	21
3.2.3	Απλή Εφαρμογή αλγορίθμου	21
3.2.4	Συμπεριφορά του αλγορίθμου LSB σε επιθέσεις.....	29
3.3	Προτεινόμενος αλγόριθμος	40
3.3.1	Σκοπιμότητα προτεινόμενου αλγορίθμου.....	40
3.3.2	Χαρακτηριστικά προτεινόμενου αλγορίθμου.....	42
3.3.3	Βήματα προτεινόμενου αλγορίθμου ένθεσης.....	43
3.3.4	Βήματα προτεινόμενου αλγορίθμου ανάκτησης	52
3.4	Συμπεριφορά του προτεινόμενου αλγορίθμου σε επιθέσεις.....	56
3.4.1	Όμοια μεταβολή λιγότερο σημαντικού ψηφίου	56
3.4.2	Κατάτμηση	57
3.4.3	Περιστροφή	59
3.4.4	Μεταβολή μεγέθους	60
3.4.5	Συμπίεση.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ		62

4.1 Πλεονεκτήματα προτεινόμενου αλγόριθμου	62
4.1.1 Βέλτιστη συμπεριφορά σε εικόνες εγγράφων	63
4.1.2 Ανθεκτικότητα σε επιθέσεις επεξεργασίας εικόνας	63
4.1.3 Δυσκολία αποκρυπτογράφησης αλγόριθμου ένθεσης.....	63
4.1.4 Αντιμετώπιση LSB επιθέσεων	64
4.1.5 Καλύτερα αποτελέσματα σε συμπίεση JPEG.....	64
4.1.6 Αορατότητα υδατογραφήματος.....	65
4.1.7 Μεγάλη χωρητικότητα σε πληροφορία – υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών....	65
4.1.8 Χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές.....	66
4.1.9 Σχετικά μικρή πολυπλοκότητα	66
4.1.10 Αυξημένα περιθώρια βελτιστοποίησης για υψηλή ασφάλεια	66
4.1.11 Μικροί χρόνοι ανάκτησης πληροφορίας υδατογραφήματος	67
4.2 Μειονεκτήματα προτεινόμενου αλγόριθμου	67
4.2.1 Αύξηση πολυπλοκότητας	67
4.2.2 Αύξηση χρόνου ένθεσης και ανάκτησης	68
4.2.3 Σύνθετη ανάκτηση επιρρεπής σε επιθέσεις	68
4.2.4 Μείωση διαφάνειας	68
4.2.5 Εξειδίκευση σε εικόνες οκτώ ψηφίων στην κλίμακα του γκρι.....	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	70
5.1 Πειραματική μελέτη προτεινόμενης τεχνικής	70
5.1.1 Εφαρμογή αλγόριθμου ένθεσης υδατογραφήματος	70
5.1.2 Εφαρμογή απλού αλγόριθμου ανάκτησης υδατογραφήματος.....	76
5.1.3 Εφαρμογή σύνθετου αλγόριθμου ανάκτησης υδατογραφήματος.....	78
5.2 Σύγκριση με τη μέθοδο LSB	81

5.3 Σύγκριση με άλλες τεχνικές	83
5.3.1 Σύγκριση με τεχνικές που βασίζονται στη συσχέτιση.....	83
5.3.2 Σύγκριση με τεχνικές CDMA εύρους φάσματος.....	85
5.3.3 Σύγκριση με τεχνικές στο πεδίο της συχνότητας	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	89
6.1 Συμπεράσματα.....	89
6.2 Μελλοντική Μελέτη.....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - ΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤLAB.....	94
ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3-1 Χαρακτηριστικά υδατογράφησης εικόνων με διαφορετικές διαστάσεις.....	23
Πίνακας 3-2 Χαρακτηριστικά υδατογράφησης με υδατογραφήματα διαφορετικού μεγέθους.....	24
Πίνακας 3-3 Ανάκτηση υδατογραφημάτων διαφορετικού μεγέθους από την ίδια εικόνα	24
Πίνακας 3-4 Σύγκριση PSNR για υδατογραφήματα με αντεστραμμένα χρώματα	25
Πίνακας 3-5 Ένθεση υδατογραφήματος σε διαφορετικά ψηφία	27
Πίνακας 3-6 Σύγκριση υδατογράφησης LSR σε εικόνα εγγράφου και φωτογραφία	28
Πίνακας 5-1 Πειραματικά αποτελέσματα ένθεσης υδατογραφήματος για την εικόνα με το μεταβαλλόμενο μέγεθος.....	72
Πίνακας 5-2 Πειραματικά αποτελέσματα για υδατογραφήματα μεταβαλλόμενων μεγεθών	74
Πίνακας 5-3 Πειραματικά αποτελέσματα για υδατογραφήματα με αντεστραμμένα χρώματα	75
Πίνακας 5-4 Σύγκριση χρόνων ένθεσης και ανάκτησης για διαφορετικά μεγέθη εικόνων	77
Πίνακας 5-5 Συγκριτικά αποτελέσματα γρήγορης και σύνθετης ανάκτησης.....	78
Πίνακας 5-6 Χρόνος ανάκτησης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφημάτων	79
Πίνακας 5-7 Σύγκριση ένθεσης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο και την LSB	81
Πίνακας 5-8 Σύγκριση ανάκτησης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο και την LSB.....	82
Πίνακας 5-9 Σύγκριση ένθεσης προτεινόμενης μεθόδου και LSB για διαφορετικά υδατογραφήματα.....	82
Πίνακας 5-10 Σύγκριση ανάκτησης προτεινόμενης μεθόδου και LSB για διαφορετικά υδατογραφήματα.....	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1 Διαδικασία ένθεσης και εξαγωγής υδατογραφήματος.....	2
Σχήμα 1-2 Αποτέλεσμα αλλαγής τιμών εικονοστοχείων σε δυαδική εικόνα εγγράφου	7
Σχήμα 2-1 Γενική μορφή υδατογραφήματος.....	11
Σχήμα 2-2 Λειτουργία Κωδικοποιητή στη διαδικασία της υδατογράφησης.....	11
Σχήμα 2-3 Λειτουργία Αποκωδικοποιητή στη διαδικασία της υδατογράφησης.....	12
Σχήμα 2-4 Ιδανικό υδατογράφημα	17
Σχήμα 2-5 Υδατογράφημα με 25% Gaussian θόρυβο.....	17
Σχήμα 3-1 Ιστόγραμμα εικόνας εγγράφου A4.....	18
Σχήμα 3-2 Ανάκτηση υδατογραφήματος από την υδατογραφημένη εικόνα.....	19
Σχήμα 3-3 Παράδειγμα δυαδικού υδατογραφήματος.....	20
Σχήμα 3-5 Υδατογράφημα μετά την ανάκτηση από την παραπάνω αρχική εικόνα.....	22
Σχήμα 3-4 Πριν και μετά την εφαρμογή LSB υδατογράφησης.....	22
Σχήμα 3-6 Υδατογράφημα μεγέθους 151x20 pixels	23
Σχήμα 3-7 Υδατογράφημα μεγέθους 50x20 pixels	23
Σχήμα 3-8 Υδατογράφημα μεγέθους 22x20 pixels	24
Σχήμα 3-9 Υδατογραφήματα με αντεστραμμένα «αρνητικά» χρώματα	25
Σχήμα 3-10 Εισαγωγή του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο	26
Σχήμα 3-11 Εισαγωγή του υδατογραφήματος στο πιο σημαντικό ψηφίο	26
Σχήμα 3-12 Μεταβολή του PSNR για ένθεση υδατογραφήματος σε διαφορετικά ψηφία	27
Σχήμα 3-13 Η γνωστή σε εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας "Λένα"	28
Σχήμα 3-14 Γράφημα μεταβολής PSNR για ένθεση σε διαφορετικά ψηφία σε εικόνα εγγράφου και φωτογραφία.....	29
Σχήμα 3-15 Ανακτημένο υδατογράφημα χωρίς συμπίεση και μετά από συμπίεση JPEG	29
Σχήμα 3-16 Αποτέλεσμα ανάκτησης μετά την κατάτμηση της εικόνας	30

Σχήμα 3-18 Γνήσια εικόνα (αριστερά) και υδατογραφημένη εικόνα με τη μέθοδο "εκ περιτροπής" (δεξιά).....	31
Σχήμα 3-17 Η υδατογραφημένη εικόνα και οι εικόνες με την μετατροπή όλων των λιγότερο σημαντικών ψηφίων σε μηδέν και σε ένα.....	31
Σχήμα 3-19 Ανάκτηση υδατογραφήματος με τη μέθοδο «εκ περιτροπής».....	32
Σχήμα 3-20 Λανθασμένο ανακτημένο υδατογράφημα από τη μέθοδο "εκ περιτροπής" .	33
Σχήμα 3-21 Σωστό ανακτημένο υδατογράφημα από τη μέθοδο "εκ περιτροπής"	33
Σχήμα 3-22 Ανακτημένο υδατογράφημα μετά από μεγέθυνση 2×	34
Σχήμα 3-23 Ανακτημένο υδατογράφημα μετά από μεγέθυνση 1,5×	34
Σχήμα 3-24 Μεταβολή του χρόνου ανάκτησης υδατογραφήματος για εικόνες με μεταβαλλόμενο μέγεθος.....	35
Σχήμα 3-25 Τα δύο υδατογραφήματα που προκύπτουν από την αύξηση μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας σε συνδυασμό με την επίθεση αλλαγής των λιγότερο σημαντικών ψηφίων.....	36
Σχήμα 3-26 Αποτέλεσμα αύξησης μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας σε συνδυασμό με την επίθεση αλλαγής των λιγότερο σημαντικών ψηφίων μετά τη συνένωση των δύο ανακτημένων υδατογραφημάτων.....	37
Σχήμα 3-27 Τμήματα ανακτημένων υδατογραφημάτων από την ίδια υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%	38
Σχήμα 3-28 Ανάκτηση υδατογραφήματος 302x40 pixels από υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%	38
Σχήμα 3-29 Ανάκτηση υδατογραφήματος 151x20 pixels από υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%	38
Σχήμα 3-30 Υδατογραφημένη εικόνα χωρίς περιστροφή και με μικρή περιστροφή	39
Σχήμα 3-31 Υδατογράφημα που προκύπτει από την εικόνα με περιστροφή	39
Σχήμα 3-32 Ένθεση υδατογραφήματος με την προτεινόμενη τεχνική.....	44
Σχήμα 3-33 Βήματα ένθεσης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο	45
Σχήμα 3-35 Σειρά με την οποία επιλέγουμε τα εικονοστοιχεία για την μετατροπή της εικόνας σε μονοδιάστατο διάνυσμα.....	46
Σχήμα 3-34 Μετατροπή εικόνας σε μονοδιάστατο διάνυσμα	46
Σχήμα 3-36 Δημιουργία πίνακα ψηφίων που θα μεταβληθούν	47
Σχήμα 3-37 Ανακατανομή των ψηφίων για βελτίωση του PSNR.....	48

Σχήμα 3-38 Αναπροσαρμογή μεγέθους υδατογραφήματος σε αυτό της αρχικής εικόνας	50
Σχήμα 3-39 Η εικόνα του υδατογραφήματος αποκτά τις διαστάσεις της εικόνας του εγγράφου	51
Σχήμα 3-40 Εισαγωγή του υδατογραφήματος.....	51
Σχήμα 3-41 Εικόνα πριν και μετά την ένθεση του υδατογραφήματος.....	53
Σχήμα 3-42 Ανάκτηση υδατογραφήματος με μετατροπή των τεσσάρων πρώτων ψηφίων σε ένα	54
Σχήμα 3-43 Ανάκτηση υδατογραφήματος με μετατροπή των τεσσάρων πρώτων ψηφίων σε μηδέν	54
Σχήμα 3-44 Τεχνική ανάκτησης με τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης.....	55
Σχήμα 3-45 Ανακτημένα υδατογραφήματα με τη μέθοδο ανάκτησης χωρίς τη γνώση του υδατογραφήματος (αριστερά) και με τη γνώση του υδατογραφήματος (δεξιά).....	56
Σχήμα 3-46 Προσθήκη θορύβου στο υδατογράφημα για να εξισορροπηθεί το λευκό με το μαύρο στοιχείο	57
Σχήμα 3-47 Ανακτημένο υδατογράφημα με τη σύνθετη μέθοδο ανάκτησης έπειτα από επίθεση κατάτμησης	58
Σχήμα 3-48 Ανακτημένο υδατογράφημα με την απλή μέθοδο ανάκτησης έπειτα από επίθεση κατάτμησης	59
Σχήμα 3-49 Ανάκτηση με την απλή μέθοδο χωρίς διόρθωση περιστροφής και με διόρθωση περιστροφής	59
Σχήμα 3-50 Ανακτημένο υδατογράφημα με την απλή μέθοδο σε περίπτωση αύξησης μεγέθους κατά 1,5×.....	60
Σχήμα 3-51 Ανάκτηση υδατογραφήματος μετά από συμπίεση JPEG.....	61
Σχήμα 5-1 Εικόνα πριν την υδατογράφηση	Σχήμα 5-2 Εικόνα μετά την υδατογράφηση
.....	70
Σχήμα 5-3 Ανακτημένο υδατογράφημα.....	71
Σχήμα 5-4 Η ίδια εικόνα με το μέγεθός της μεταβαλλόμενο έως και πέντε φορές.....	72
Σχήμα 5-5 Γράφημα χρόνου ένθεσης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη εικόνων	73
Σχήμα 5-6 Υδατογραφήματα με μεταβαλλόμενο μέγεθος	73

Σχήμα 5-7 Γράφημα χρόνου ένθεσης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφημάτων	74
Σχήμα 5-8 Υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών με αντεστραμμένα χρώματα	75
Σχήμα 5-9 Γράφημα σύγκρισης λευκών και μαύρων υδατογραφημάτων	76
Σχήμα 5-10 Γράφημα σύγκρισης χρόνων ένθεσης και γρήγορης ανάκτησης υδατογραφήματος	77
Σχήμα 5-11 Γράφημα σύγκρισης χρόνων ένθεσης και γρήγορης ανάκτησης υδατογραφήματος	79
Σχήμα 5-12 Γράφημα χρόνου ανάκτησης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφημάτων	80
Σχήμα 5-13 Εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με gain=5 (αριστερά) και gain=50 δεξιά	84
Σχήμα 5-14 Ιστόγραμμα φωτογραφίας Σχήμα 5-15 Ιστόγραμμα εικόνας εγγράφου	85
Σχήμα 5-16 Υδατογραφημένη εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με gain=13	86
Σχήμα 5-17 Υδατογραφημένη εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με gain=1	87
Σχήμα 5-18 Αποτέλεσμα ένθεσης και ανάκτησης υδατογραφήματος στο πεδίο των συχνοτήτων	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γιατί είναι τόσο δύσκολο να βρει κανείς βελόνα στα άχυρα; Εξαιτίας του μεγέθους της βελόνας σε σχέση με το μέγεθος του αχυρώνα. Επίσης επειδή εφόσον η βελόνα πέσει από τα χέρια μας δεν μπορούμε να προβλέψουμε που θα πέσει στον αχυρώνα. Οι δύο αυτές αρχές, η σχετικότητα και η τυχειότητα, μας βοηθούν να κρύψουμε πληροφορία με τα ψηφιακά υδατογραφήματα.

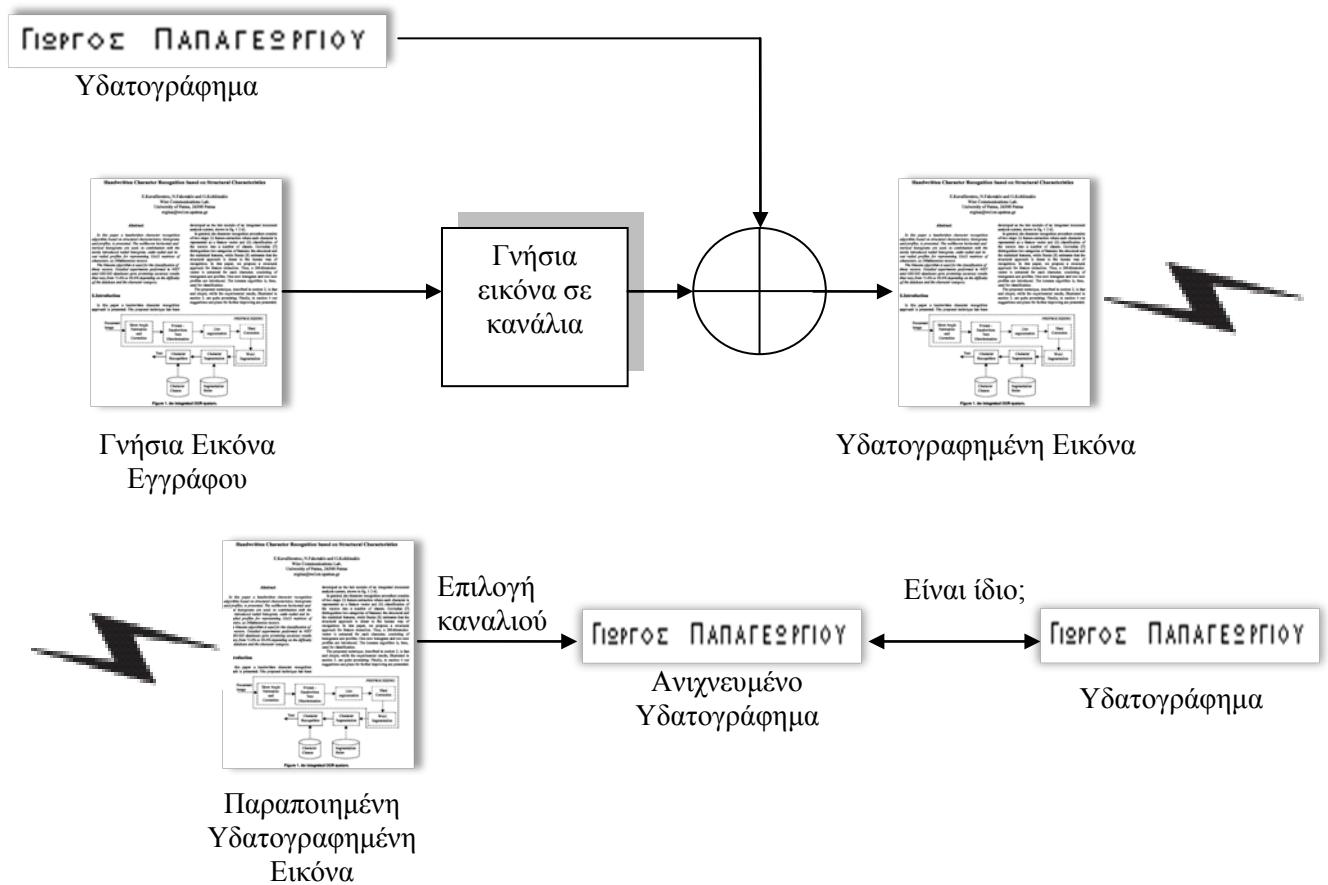
1.1 Εισαγωγικοί ορισμοί

Στην Ιστορία του Ηροδότου (486-425 πΧ), ο Ιστιαίος της Μιλήτου, αιχμάλωτος του Δαρείου, γράφει ένα μήνυμα στο ξυρισμένο κεφάλι ενός έμπιστου σκλάβου και αφού φυτρώσουν τα νέα μαλλιά τον στέλνει στον Αρισταγόρα της Μιλήτου με την οδηγία να τον ξυρίσει πάλι. Επίσης ο Ηρόδοτος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ο Δημάρατος, ένας Έλληνας που βρισκόταν στην πλευρά των Περσών, προειδοποίησε τη Σπάρτη για την επερχόμενη εισβολή του Ξέρξη. Για να μη γίνει αντιληπτός έγραψε το μήνυμα σε ένα πίνακα, αφού πρώτα αφαίρεσε το κερί από αυτόν. Στη συνέχεια κάλυψε πάλι τον πίνακα με κερί. Ο πίνακας έδειχνε ακριβώς όπως ένας κενός και ξεγέλασε με αυτό τον τρόπο τους Πέρσες. Προφανώς, το εύρος του καναλιού επικοινωνίας (bandwidth) δεν αποτελούσε εκείνη την εποχή μείζον πρόβλημα, ωστόσο οι μέθοδοι εκείνης της εποχής δεν απέχουν πολύ από τις σύγχρονες τεχνικές της ψηφιακής υδατογράφησης (digital watermarking). [1]

Υδατογράφηση είναι η διαδικασία της ένθεσης δεδομένων, με τη μορφή υδατογραφήματος (watermark) σε κάποιο πολυμεσικό αντικείμενο, έτσι ώστε το υδατογράφημα να μπορεί έπειτα να εντοπιστεί και να εξαχθεί, οδηγώντας μας σε συγκεκριμένους ισχυρισμούς για το αντικείμενο. Το αντικείμενο αυτό μπορεί να είναι ήχος, εικόνα ή βίντεο, ωστόσο στην παρούσα εργασία εξετάζεται μόνο η ακίνητη εικόνα και συγκεκριμένα η οκτώ ψηφίων (8-bit) εικόνα ενός εγγράφου που βρίσκεται στην κλίμακα του γκρι (grayscale) .

Ένα απλό παράδειγμα ψηφιακής υδατογράφησης εικόνας είναι η ένθεση μίας ορατής σφραγίδας πάνω σε μια εικόνα για τη διασφάλιση των πνευματικών δικαιωμάτων του δημιουργού της. Επιπλέον ένα υδατογράφημα μπορεί να περιέχει πληροφορίες όπως η ταυτότητα του ατόμου που αγοράζει ένα συγκεκριμένο αντίγραφο της. Ανάλογα με τη σκοπιμότητα του υδατογραφήματος, μπορεί αυτό να είναι ορατό ή αόρατο στο χρήστη δια γυμνο ή ο φαλμού. Παρακάτω θα περιοριστούμε στη μελέτη τεχνικών αόρατης υδατογράφησης εικόνας. [2]

Σε ένα σύστημα ψηφιακής υδατογράφησης εικόνας, η πληροφορία του υδατογραφήματος ενσωματώνεται στην γνήσια εικόνα. Έπειτα η υδατογραφημένη εικόνα μεταδίδεται ή αποθηκεύεται. Κατά τη μετάδοσή της είναι πιθανόν να υποστεί κάποιου είδους παραποίηση, εσκεμμένα ή ακούσια. Το υδατογράφημα θα πρέπει να μπορεί να εξαχθεί ακόμα και σε αυτή την περίπτωση. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα. [3]



Σχήμα 1-1 Διαδικασία ένθεσης και εξαγωγής υδατογραφήματος

1.2 Χρησιμότητα υδατογράφησης

Η ραγδαία εξέλιξη του διαδικτύου και οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς της επεξεργασίας εικόνας και των συστημάτων αποθήκευσης ψηφιακών δεδομένων έχει συμβάλει στην ευρεία έκδοση, αποθήκευση και διανομή εγγράφων με τη μορφή ψηφιακών εικόνων. Με αυτό τον τρόπο, η ψηφιοποίηση των βιβλιοθηκών πολυμέσων και η διανομή των εκθεμάτων μουσείων σε ψηφιακή μορφή καθιστούν τα αντίστοιχα αγαθά διαθέσιμα συνεχώς σε ευρύτερο κοινό.

Οι τεχνολογικές όμως εξελίξεις εκτός από τα οφέλη, προκαλούν και κάποια σημαντικά εμπόδια στην ηλεκτρονική αποθήκευση και διανομή των παραπάνω αγαθών. Ένα τέτοιο εμπόδιο που προκύπτει είναι η ευκολία με την οποία οι ηλεκτρονικές εικόνες και τα κείμενα μπορούν να πλαστογραφηθούν, να αντιγραφούν και να αναδιανεμηθούν στην γνήσια μορφή τους, χωρίς την έγκριση των κατόχων και των δημιουργών τους.

Έτσι, για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω φαινόμενο ακολουθείται η τήρηση κάποιας συγκεκριμένης πολιτικής ασφαλείας για τον χειρισμό, την έκδοση, και την αναπαραγωγή των

αγαθών. Στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιηθεί συστήματα κρυπτογράφησης δημόσιου κλειδιού, όπως ο RSA αλγόριθμος, τα οποία όμως δεν λύνουν απολύτως το πρόβλημα της μη εξουσιοδοτημένης αντιγραφής εξαιτίας της ευκολίας με την οποία οι εικόνες των εγγράφων μπορούν να αναπαραχθούν από προηγουμένως τυπωμένα έγγραφα και να εμπλουτιστούν με προγράμματα επεξεργασίας εικόνας, που είναι σήμερα ευρέως διαδεδομένα, όπως το Corel Draw ή το Adobe Photoshop. Όλα τα κρυπτογραφημένα έγγραφα πρέπει να αποκρυπτογραφηθούν προτού εξεταστούν ή χρησιμοποιηθούν. Εφόσον η κρυπτογράφηση απενεργοποιηθεί το έγγραφο μπορεί να διαδοθεί σε ηλεκτρονική μορφή και όταν οι παραλήπτες του εγγράφου είναι περισσότεροι από ένας, δεν μπορεί να αποδειχθεί ότι κάποιος συγκεκριμένος παραλήπτης ευθύνεται για τη διανομή του εγγράφου σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Συνεπώς προκύπτει η ανάγκη χρήσης ενός μη ορατού ψηφιακού υδατογραφήματος, το οποίο να χαρακτηρίζει μονοσήμαντα τόσο την πηγή μίας εικόνας, όσο και τον κάθε παραλήπτη. Ο σκοπός ενός τέτοιου υδατογραφήματος είναι να κρύψει στην εικόνα ενός εγγράφου αόρατο κείμενο, ανθεκτικό σε κάθε μορφής ψηφιακή επεξεργασία.

Επιπρόσθετα, η ένθεση ενός ισχυρού υδατογραφήματος με υψηλή ανθεκτικότητα σε συγκεκριμένες επιθέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διασφάλιση της πνευματικής ιδιοκτησίας του κατόχου ή δημιουργού της εικόνας ενός εγγράφου. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να εισάγουμε το υδατογράφημα που παριστάνει την πληροφορία που συνδέεται με τον κάτοχο των πνευματικών δικαιωμάτων της εικόνας, με μία μέθοδο υδατογράφησης, η οποία να εμποδίζει την αφαίρεση και αντικατάσταση του υδατογραφήματος με κάποιο διαφορετικό με τα στοιχεία κάποιου δήθεν κατόχου ή δημιουργού. Παράλληλα, επιθυμούμε το υδατογράφημα να είναι ανθεκτικό σε μία σειρά επιθέσεων, ενώ η αφαίρεσή του πρέπει να προκαλεί σημαντική ζημιά στην ποιότητα της εικόνας.

Παράλληλα μεγάλη χρησιμότητα παρουσιάζει η χρήση υδατογραφήματων για την προσθήκη «υποσημείωσης» στην εικόνα, δηλαδή πληροφοριών σχετικά με το δημιουργό της, το όνομα της εικόνας εγγράφου, το βιβλίο στο οποίο ανήκει ή οτιδήποτε μπορεί να χαρακτηρίζει την εικόνα, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία τη χρησιμοποιούμε. Τέτοιες εφαρμογές κάνουν την εμφάνισή τους για παράδειγμα σε ηλεκτρονικά μουσεία ή σε εκθέσεις σπάνιων εγγράφων.

Η τεχνολογία υδατογράφησης εικόνων εγγράφων μάλιστα έχει εφαρμογή και σε μεγάλη ποικιλία εικόνων εγγράφων στις οποίες το κείμενο και το φόντο αναπαρίστανται σε δύο διαφορετικά χρώματα, όπως τραπεζικές επιταγές, οικονομικά και νομικά έγγραφα, διπλώματα οδήγησης, πιστοποιητικά γεννήσεως, ψηφιακά βιβλία, ηλεκτρονικούς χάρτες, αρχιτεκτονικά σχέδια, οδικούς χάρτες κτλ. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης αυθεντικοποιείται με τη χρήση της υδατογράφησης των εικόνων και έχει τη δυνατότητα να επαληθεύσει ότι δεν έχει πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε αλλαγή στην εικόνα του εγγράφου από μη εξουσιοδοτημένο χρήστη.

1.3 Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις συστημάτων υδατογράφησης εικόνων

Όπως είδαμε παραπάνω, τα υδατογραφήματα χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες ιδιότητες και απαιτήσεις ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία απευθύνονται. Αυτές οι ιδιότητες αφορούν τη δυσκολία να τα εντοπίσουμε, την αντίστασή τους σε διάφορες μορφές αλλοίωσης της εικόνας, στην ποσότητα των δεδομένων που περιέχουν και την πολυπλοκότητα της μεθοδολογίας

υδατογράφησης. Πολλοί αλγόριθμοι υδατογράφησης στοχεύουν στη βελτιστοποίηση περισσότερων από μία ή ακόμα και όλων των ιδιοτήτων αυτών, ωστόσο είναι αδύνατο να επιτευχθεί αυτό, καθώς συνήθως η βελτίωση της μίας ιδιότητας προϋποθέτει την αδυναμία βελτίωσης ή ακόμα και φθοράς κάποιας άλλης. [4]

1.3.1 Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα του υδατογραφήματος σχετίζεται με το αν θέλουμε να υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης του υδατογραφήματος χωρίς τη χρήση κάποιου μυστικού κλειδιού. Επίσης αναφέρεται στην αντοχή της πληροφορίας του υδατογραφήματος κατά τη μετάλλαξη της γνήσιας εικόνας. Κυρίως τα υδατογραφήματα θα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε κοινές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε εικόνες όπως κάποιες μορφές συμπίεσης. Άλλα παραδείγματα είναι γραμμικά ή μη φίλτρα, η ρύθμιση της αντίθεσης, διόρθωση gamma, αναχρωματισμός, αυξομείωση, περιστροφή, μικρή μη γραμμική παραμόρφωση, αύξηση θορύβου. Με τη χρήση της έννοιας «ανθεκτικότητα» δεν εννοούμε τις επιθέσεις που βασίζονται στη γνώση του αλγορίθμου ή στη διαθεσιμότητα της συνάρτησης εντοπισμού, αλλά την αντοχή σε κοινές διεργασίες που πραγματοποιούμε σε κάποια εικόνα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το υδατογράφημα πρέπει να μη μπορεί να αφαιρεθεί από πιθανό παραχαράκτη. Αν ο παραχαράκτης έχει μερική γνώση της τεχνικής υδατογράφησης και του υδατογραφήματος τότε η αφαίρεση του θα πρέπει να συνεπάγεται εντυπωσιακή υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας.

1.3.2 Διαφάνεια

Το υδατογράφημα πρέπει να είναι στατιστικά και διαισθητικά αόρατο με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υποβαθμίζεται η ποιότητα της εικόνας, ενώ και οι πιθανοί παραχαράκτες δεν πρέπει να είναι σε θέση να το ανιχνεύσουν και να το αφαιρέσουν.

1.3.3 Ακεραιότητα

Το υδατογράφημα πρέπει να είναι αδιαμφισβήτητο και η εξαγωγή του πρέπει να προσδιορίζει με μοναδικό τρόπο τον κάτοχο των πνευματικών δικαιωμάτων. Η διαδικασία ένθεσης υδατογραφήματος, κατά συνέπεια, θα πρέπει να εγγυάται ότι η πιθανότητα ανίχνευσης υδατογραφήματος άλλου φορέα εκτός από αυτόν ο οποίος έχει τα πνευματικά δικαιώματα, είναι μηδαμινή.

1.3.4 Ασφάλεια

Υποθέτουμε ότι οι επιτιθέμενοι γνωρίζουν πλήρως τη διαδικασία υδατογράφησης που εφαρμόζουμε, ωστόσο δεν είναι γνωστό το μυστικό κλειδί. Έτσι ο επιτιθέμενος θα προσπαθήσει να παρέμβει στα δεδομένα για να καταστρέψει το υδατογράφημα και να αντιγράψει την εικόνα χωρίς την ύπαρξη του υδατογραφήματος. Από την άλλη, για συγκεκριμένες εφαρμογές και άτομα, το υδατογράφημα πρέπει να είναι ανιχνεύσιμο. Οπότε εξακολουθεί να υπάρχει το πρόβλημα της ασφαλούς ανταλλαγής των κλειδιών.

1.3.5 Πολυπλοκότητα

Η πολυπλοκότητα αναφέρεται στο κόστος που έχουμε για την ανίχνευση και κωδικοποίηση της πληροφορίας του υδατογραφήματος. Μία τεχνική μπορεί να είναι η μέτρηση του απαιτούμενου χρόνου. Συνίσταται να σχεδιάζουμε την διαδικασία υδατογράφησης με μεγάλη πολυπλοκότητα, ώστε να μπορούν να ενσωματώνονται και διαφορετικά υδατογραφήματα.

1.3.6 Χωρητικότητα

Πρόκειται για την ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να περιέχονται σε ένα υδατογράφημα. Για παράδειγμα σε εφαρμογές, που επιτρέπουν ή απαγορεύουν το δικαίωμα αντιγραφής μιας εικόνας, αρκεί ένα ψηφίο (ένα = επιτρέπεται / μηδέν = απαγορεύεται). Αντίθετα εφαρμογές πνευματικής ιδιοκτησίας που αποθηκεύουν πληροφορία σχετικά με το συγγραφέα, άλλα χαρακτηριστικά ή περιορισμούς απαιτείται πληροφορία τουλάχιστον 60 με 70 bit.

1.4 Είδη παραποίησης και επιθέσεις

Στην πράξη μία υδατογραφημένη εικόνα μπορεί να μεταβληθεί είτε εσκεμμένα ή χωρίς πρόθεση. Και στις δύο περιπτώσεις, το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να ανιχνεύει και να εξάγει το υδατογράφημα. Προφανώς, δεν μας ενδιαφέρουν οι εικόνες, που έχουν υποστεί παραποίηση σε τέτοιο βαθμό ώστε η εικόνα να έχει αλλοιωθεί αισθητά, καθώς τότε η εικόνα μας είναι άχρηστη. Αυτές οι μεταβολές προκαλούν σημαντικές καθυστερήσεις και στην απόδοση του συστήματος. Για τις εσκεμμένες επιθέσεις, ο σκοπός του επιτιθέμενου είναι να ελαχιστοποιήσει τόσο αυτές τις καθυστερήσεις, όσο και την επίδραση του μετασχηματισμού στην εικόνα. Αυτό θα πρέπει να γίνει χωρίς τη γνώση της τιμής του μυστικού κλειδιού, που χρησιμοποιείται κατά την τοποθέτηση του υδατογραφήματος, αφού σε αυτό βασίζεται η ασφάλεια του αλγορίθμου. [5]

1.4.1 Είδη Παραποίησης

Επιπρόσθετος θόρυβος (Additive Noise)

Εμφανίζεται ενδεχομένως σε συγκεκριμένες εφαρμογές από τη χρήση μετατροπών σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα, όπως και από λάθη στην μετάδοση.

Φιλτράρισμα (Filtering)

Το φιλτράρισμα από χαμηλοπερατό φίλτρο (Low-pass filtering) δεν προκαλεί σημαντική παραμόρφωση στις υδατογραφημένες εικόνες, αλλά μπορεί να επηρεάσει την απόδοσή τους, καθώς τα υδατογραφήματα διασποράς φάσματος (spread-spectrum-like) έχουν μη αμελητέο φασματικό περιεχόμενο στις υψηλές συχνότητες.

Κατάτμηση (Cropping)

Πρόκειται για ένα συνηθισμένο πρόβλημα, καθώς ο χρήστης σε πολλές περιπτώσεις ενδιαφέρεται μόνο για ένα τμήμα της υδατογραφημένης εικόνας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το υδατογράφημα θα πρέπει να βρίσκεται στις διαστάσεις, στις οποίες λαμβάνει χώρα η επίθεση.

Συμπίεση (Compression)

Είναι γενικά μια μη εσκεμμένη επίθεση, που λαμβάνει χώρα σε πολυμεσικές εφαρμογές. Ουσιαστικά όλες οι εικόνες που διακινούνται μέσω του Διαδικτύου έχουν συμπιεστεί. Αν η υδατογραφημένη εικόνα πρόκειται να συμπιεστεί με διαφορετικές τεχνικές συμπίεσης, είναι προτιμότερο να εισαχθεί το υδατογράφημα στο ίδιο πεδίο, στο οποίο πραγματοποιείται η συμπίεση. Για παράδειγμα, η υδατογράφιση εικόνας με τη χρήση διακριτού μετασχηματισμού συνημιτόνου είναι περισσότερο αξιόπιστη όσον αφορά τη συμπίεση JPEG, σε σχέση με την υδατογράφιση χωρικού πεδίου.

Περιστροφή (Rotation)

Πρόκειται για το μεγαλύτερο πρόβλημα της ψηφιακής υδατογράφησης, καθώς έχει ιδιαίτερη επιτυχία στις ακίνητες εικόνες. Ο εντοπισμός βάσει συσχέτισης αποτυγχάνει όταν επιχειρείται περιστροφή της υδατογραφημένης εικόνας, γιατί το περιεχόμενο υδατογράφημα και η μεταλλαγμένη έκδοση δεν έχουν το ίδιο χωρικό σχέδιο πια. Προφανώς θα μπορούσε να γίνει εξαντλητικός έλεγχος σε κάθε γωνία περιστροφής, μέχρι να βρεθεί μία κορυφή στην καμπύλη συσχέτισης, αλλά αυτό είναι απαγορευτικά πολύπλοκο. Βέβαια ο υπολογισμός της παραμέτρου γίνεται απλώς στην περίπτωση που γνωρίζουμε την αρχική εικόνα, κάτι που ωστόσο δεν είναι απαραίτητο.

Αυξομείωση (Scaling)

Αντίστοιχο πρόβλημα με την περιστροφή της υδατογραφημένης εικόνας προκαλεί και η αυξομείωση του μεγέθους της. Πράγματι, στην περίπτωση που αυξάνουμε το μέγεθος της εικόνας αλλοιώνεται η ακολουθία των εικονοστοιχείων με την προσθήκη νέων ενδιάμεσα και είναι περισσότερο πολύπλοκη η ανάκτηση του υδατογραφήματος. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται εξαντλητικός έλεγχος σε κάθε βαθμίδα μεγέθους, κάτι που απαιτεί πολλαπλάσιο χρόνο και επεξεργαστική ισχύ. Μάλιστα, όταν έχουμε μείωση του μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας, αφαιρούνται κάποια εικονοστοιχεία με αποτέλεσμα να υπάρχει απώλεια μέρους της πληροφορίας του υδατογραφήματος. Ακόμα και αν γνωρίζουμε τις ακριβείς διαστάσεις της αρχικής εικόνας και επαναφέρουμε την υδατογραφημένη εικόνα στο μέγεθός της, το υδατογράφημα που ανακτάται είναι πιθανόν να έχει υποστεί σημαντική παραμόρφωση.

1.4.2 Κατηγορίες Επιθέσεων

Απλές Επιθέσεις

Οι απλές επιθέσεις επιχειρούν να αφαιρέσουν την πληροφορία του υδατογραφήματος μεταλλάσσοντας ολόκληρη την εικόνα και το περιεχόμενό της. Η επίθεση δεν απομονώνει ή αναγνωρίζει την πληροφορία του υδατογραφήματος. Ο επιτιθέμενος έχει πετύχει το σκοπό του όταν η πληροφορία του υδατογραφήματος δεν είναι δυνατόν να εξαχθεί ή να αναγνωριστεί, χωρίς

να έχει επηρεαστεί αισθητά η εικόνα και η γενικότερη χρησιμότητά της. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί όπως είδαμε και παραπάνω με λειτουργίες απλής επεξεργασίας σήματος, όπως γραμμικό φιλτράρισμα χαμηλών ή υψηλών συχνοτήτων, μη γραμμικό φιλτράρισμα (μείωση χρωμάτων), μετασχηματισμούς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό και αντίστροφα, επαναδειγματοληψία, κβαντισμό και παραμόρφωση τύπου τρεμουλιάσματος.

Επιθέσεις Απενεργοποίησης Εντοπισμού

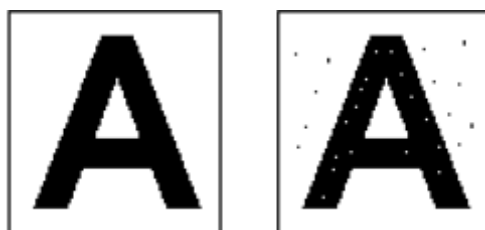
Οι συγκεκριμένες επιθέσεις απευθείας καταστρέφουν την πληροφορία του υδατογραφήματος παρεμποδίζοντας, για παράδειγμα, την διαδικασία συσχέτισης. Μία τέτοια επίθεση συνήθως βασίζεται σε στην αλλοίωση της θέσης των εικονοστοιχείων, σε αλλαγή μπλοκ ή σε απευθείας τροποποιήσεις. Παραδείγματα είναι η αυξομείωση, η περιστροφή, η κατάτμηση και η εισαγωγή. Μία από τις πιο γνωστές επιθέσεις βασίζεται στον εξομοιωτή StriMark, ο οποίος καταστρέφει την πληροφορία του υδατογραφήματος χρησιμοποιώντας τυχαία επιλεγμένες χωρικές μετατροπές ή ένα συνδυασμό άλλων επιθέσεων.

Επιθέσεις Ασάφειας και Αφαίρεσης

Οι επιθέσεις ασάφειας απενεργοποιούν το υδατογράφημα εισάγοντας ένα νέο υδατογράφημα, πάνω από αυτό της αρχικής εικόνας. Με την εισαγωγή πολλαπλών υδατογραφημάτων, μπορεί να επηρεαστεί η χρήση του υδατογραφήματος σε εφαρμογές αναγνώρισης πνευματικής ιδιοκτησίας. Έτσι στην περίπτωση που έχουμε μία εικόνα υδατογραφημένη από τον Bob και έπειτα και από την Alice, μας είναι αδύνατο να εντοπίσουμε τον πραγματικό δικαιούχο της εικόνας. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση χρονοσφραγίδας σε κάθε υδατογράφημα. Οι επιθέσεις αφαίρεσης αναλύουν το υδατογράφημα, εκτιμούν την τεχνική ή το υδατογράφημα και επιχειρούν να το αποσπάσουν, ώστε να το αφαιρέσουν. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται εφαρμογές στατιστικής για την ανάλυση της αρχικής εικόνας.

1.5 Χαρακτηριστικά εικόνων εγγράφων

Οι περισσότερες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί στη σύγχρονη επιστήμη όσον αφορά την ψηφιακή υδατογράφιση έχουν σχέση με διαβαθμίσεις στην κλίμακα του γκρι (grayscale) ή με έγχρωμες εικόνες, στις οποίες αλλάζουμε σε κάποιο μικρό βαθμό την τιμή του χρώματος ή του γκρι σε μία επιλεγμένη περιοχή εικονοστοιχείων, χωρίς αυτό να είναι αισθητό στο γυμνό μάτι. Ωστόσο αυτές οι τεχνικές δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμες σε δυαδικές εικόνες εγγράφων, όπου τα εικονοστοιχεία έχουν είτε την τιμή μηδέν ή ένα. Και αυτό γιατί η αλλαγή εικονοστοιχείων σε αυτή την περίπτωση γίνεται οπτικά αισθητή σε αρκετές περιπτώσεις όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα. [6]



Σχήμα 1-2 Αποτέλεσμα αλλαγής τιμών εικονοστοιχείων σε δυαδική εικόνα εγγράφου

Έως και τα τελευταία χρόνια της προηγούμενης χιλιετίας είχε γίνει λίγη δουλειά στον τομέα της υδατογράφησης δυαδικών εικόνων εγγράφων. [7], [8] Τα τελευταία ωστόσο χρόνια συγγράφηκαν αρκετά επιστημονικά έγγραφα τα οποία πρότειναν νέες τεχνικές για την υδατογράφηση εικόνων και την ενσωμάτωση πληροφορίας σε αυτές. [9], [10], [11]

Όταν αναφερόμαστε σε εικόνες εγγράφων συνήθως εννοούμε δυαδικές εικόνες στις οποίες το προσκήνιο (μπροστινό μέρος) και το παρασκήνιο (φόντο) είναι διαφορετικού χρώματος. Το προσκήνιο μπορεί να είναι τυπωμένοι χαρακτήρες διαφορετικών γραμματοσειρών και μεγεθών σε διάφορα έντυπα, γράμματα γραμμένα με το χέρι και αριθμοί σε τραπεζικές επιταγές, ή γραμμές και σύμβολα σε αρχιτεκτονικά σχέδια.

Μερικά κείμενα έχουν πολλαπλά επίπεδα του γκρι ή χρώματα, αλλά ο αριθμός των επιπέδων του γκρι και των χρωμάτων είναι συνήθως μικρός και συνήθως κάθε περιοχή της εικόνας έχει ένα ομοιόμορφο επίπεδο του γκρι ή του χρώματος σε αντίθεση με τα διαφορετικά επίπεδα του γκρι και των χρωμάτων που παρατηρούνται σε σύνθετες εικόνες.

Μερικά δυαδικά κείμενα περιέχουν επίσης εικόνες σε κλίμακα του γκρι όπως half-tone εικόνες (πχ σε εφημερίδες). Σε αυτές τις εικόνες χρησιμοποιούνται δυαδικά σχέδια $n \times n$ για να προσδιορίσουν την κλίμακα του γκρι μιας εικόνας, όπου το n συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του 2 και του 4. Το σύστημα της ανθρώπινης όρασης πραγματοποιεί χωρική ενοποίηση (spatial integration) των δυαδικών σχεδίων σε μικρές περιοχές της εικόνας με αποτέλεσμα να τις αντιλαμβάνεται ως διαφορετικές εντάσεις. [11]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι εικόνες εγγράφων παρουσιάζουν συγκεκριμένες ιδιότητες: τη δυαδική φύση (αν πρόκειται για δυαδικές εικόνες), τη συγκεκριμένη δομή (παράγραφοι/γραμμές/λέξεις) και ξεκάθαρο διαχωρισμό μεταξύ του προσκήνιου και του παρασκήνιου. Συνεπώς απαιτούνται εξειδικευμένοι αλγόριθμοι για να ρυθμίσουν τις παραπάνω ιδιότητες.

Σύμφωνα με καταμετρήσεις η επιστημονική έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στον τομέα της υδατογράφησης κειμένου είναι αισθητά μικρότερη σε σχέση με αυτό της εικόνας και του βίντεο. Ωστόσο νέες εφαρμογές όπως οι ψηφιακές βιβλιοθήκες, τα ηλεκτρονικά βιβλία (e-books) και η εμπορική διαχείριση εγγράφων κερδίζουν συνεχώς δημοσιότητα. Συνεπώς η υδατογράφηση εικόνων εγγράφων θα είναι σημαντική μελλοντικά στον άξονα της προστασίας των πνευματικών δικαιωμάτων.

Μία εικόνα ενός κειμένου μπορούμε να πούμε ότι έχει κάποια ιεραρχική δομή. Η εικόνα μιας σελίδας μπορεί να αναλυθεί σε παραγράφους, γραμμές, λέξεις, χαρακτήρες, γραμμές σχηματισμού γράμματος και εικονοστοιχεία. Εξαιτίας αυτού, μπορούμε να κρύψουμε πληροφορία μέσα σε μια εικόνα εγγράφου σε διαφορετικά επίπεδα: το επίπεδο χαρακτήρων, το επίπεδο σχηματισμού γραμμών και το επίπεδο εικονοστοιχείων.

Το επίπεδο χαρακτήρων έχει να κάνει με τις γραμμές, τις λέξεις ή με τους χαρακτήρες ως οντότητες. Ο Brassil το 1999 πρότεινε αλγόριθμους μετακίνησης γραμμών και λέξεων. [12] Ο αλγόριθμος μετακίνησης γραμμών ή λέξεων μετακινεί μια γραμμή ή μια λέξη πάνω-κάτω ή δεξιά-αριστερά ανάλογα με το δυαδικό σήμα που πρέπει να εισαχθεί. Οι Huang και Yun το 2001 ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο μετακίνησης λέξεων, ο οποίος τροποποιεί τις αποστάσεις μεταξύ των

λέξεων με τέτοιο τρόπο, ώστε τα κενά να σχηματίζουν ένα ημιτονοειδές κύμα. [9] Τα σήματα κωδικοποιούνται στη φάση, το μήκος κύματος και τη συχνότητα των ημιτονοειδών κυμάτων. Για την εισαγωγή σήματος έπρεπε να προσαρμοστούν επίσης και οι αποστάσεις των γραμμάτων.

Σύμφωνα με τους αλγόριθμους επιπέδου σχηματισμού γραμμάτων το κείμενο υδατογραφείται μεταβάλλοντας χαρακτηριστικά όπως το πάχος της γραμμής ενός γράμματος ή την καμπύλη της. (Amano, Misaki, 1999) Ένας άλλος αλγόριθμος προσαρμόζει το ύψος των κάθετων γραμμών των χαρακτήρων όπως b, d και h (Brassil, 1994) Ο εντοπισμός τους απαιτεί ακριβή εξαγωγή των γραμμών που σχηματίζουν τους χαρακτήρες.

Οι αλγόριθμοι επιπέδου εικονοστοιχείων οι οποίοι είναι αποτελεσματικοί σε εικόνες σε κλίμακα του γκρι έκαναν την εμφάνισή τους το 1999 [13]. Σύμφωνα με την τεχνική που εισήγαγαν οι Bhattacharjya, Ancin μία εικόνα χωρίζεται σε 3×3 τμήματα και ένα ψηφίο εισάγεται κάθε 2 τμήματα. Αυτή η τεχνική παρέχει μεγάλη περιεκτικότητα σε κείμενο. Ωστόσο είναι ευαίσθητη ακόμα και σε χαμηλού επιπέδου επιθέσεις, καθώς αλλάζει ελαφρά τη φωτεινότητα των περιοχών. Στη συνέχεια εμφανίστηκαν πλήθος εργασιών και υλοποιήσεων που λειτουργούν σε επίπεδο εικονοστοιχείων για εικόνες στην κλίμακα του γκρι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ

2.1 Τεχνικές Εφαρμογής Υδατογραφήματος

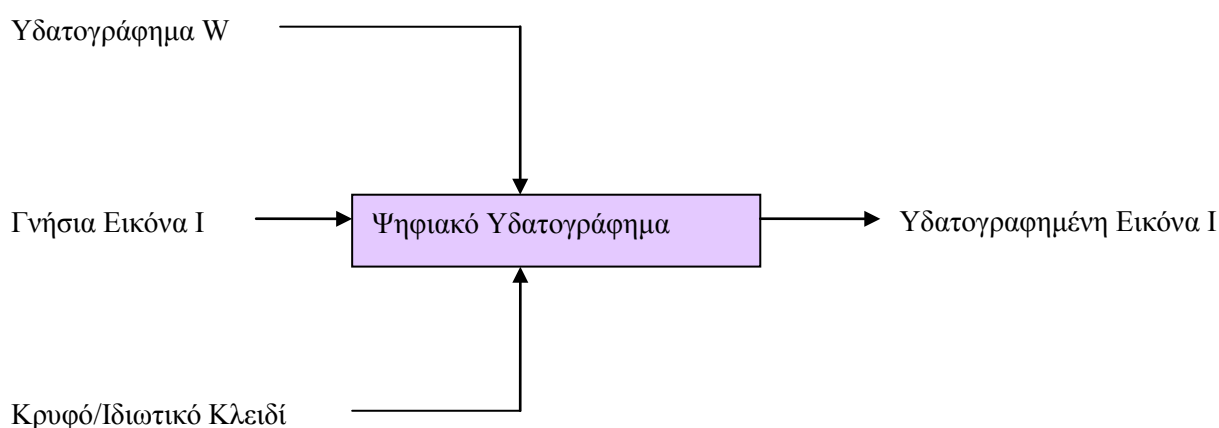
2.1.1 Κατηγοριοποίηση τεχνικών

Οι τεχνικές εφαρμογής ψηφιακών υδατογραφημάτων μπορούν να διαιρεθούν σε διάφορες κατηγορίες. Για παράδειγμα μπορεί να χωριστούν σύμφωνα με την εφαρμογή τους, τον τύπο δεδομένων στον οποίο εφαρμόζονται, την ανθρώπινη αντίληψη ή την τεχνική που χρησιμοποιούν. Εφόσον τα υδατογραφήματα μπορούν να εφαρμοστούν στο χωρικό πεδίο, ή στο πεδίο συχνοτήτων (κεφ. 2.1.3, σελ. 12), μπορούμε να αναφερθούμε σε διαφορετικές τεχνικές, όπως το διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT), το διακριτό μετασχηματισμό συνημιτόνου (DCT), τον μετασχηματισμό wavelet, ή ακόμα στην επέμβαση στο χώρο των χρωμάτων και στην προσθήκη θορύβου. Επίσης, όπως αναφέρθηκε ήδη παραπάνω μπορεί να είναι ορατά ή αόρατα σύμφωνα με την ανθρώπινη αντίληψη, και ανθεκτικά ή ευαίσθητα ανάλογα με το αν χρησιμοποιούνται για έλεγχο αντιγραφής ή εφαρμογές αυθεντικοποίησης.

Τέλος τα ψηφιακά υδατογραφήματα μπορεί να χωριστούν σύμφωνα με τις τυφλές ή μη τυφλές τεχνικές εντοπισμού τους, που σχετίζονται άμεσα με τη διαδικασία αποκωδικοποίησης. Τυφλές λέγονται οι τεχνικές εντοπισμού όταν η ανίχνευση του ψηφιακού υδατογραφήματος γίνεται χωρίς τη χρήση της γνήσιας εικόνας. Απλά επεξεργαζόμαστε κατάλληλα την υδατογραφημένη εικόνα και εξάγουμε το υδατογράφημα. Αντίθετα στις μη τυφλές τεχνικές χρησιμοποιούμε τη γνήσια εικόνα και εξάγουμε το υδατογράφημα με διαδικασίες απλής σύγκρισης και συσχέτισης. Οι τυφλές τεχνικές αποδεικνύεται ότι είναι λιγότερο ασφαλείς από τις μη τυφλές.

2.1.2 Στάδια ψηφιακής υδατογράφησης

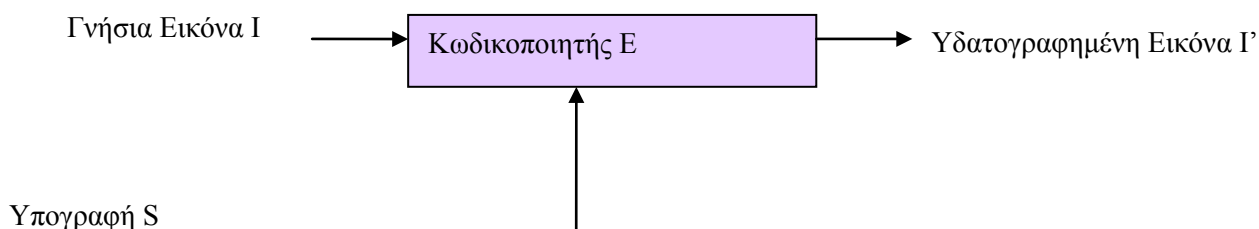
Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους της κρυπτογραφίας, η υδατογράφηση δεν αλλάζει τη βασική λειτουργικότητα του αρχείου. Έτσι, το υδατογράφημα πρέπει να εισαχθεί στη δομή των δεδομένων ανεπαίσθητα. Κάθε μέθοδος υδατογράφησης αποτελείται από έναν αλγόριθμο ένθεσης του υδατογραφήματος και έναν αλγόριθμο εξαγωγής. Ο πρώτος εισάγει στην εικόνα την πληροφορία του υδατογραφήματος και ο δεύτερος αποκωδικοποιεί την πληροφορία αυτή. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη γενική μορφή των υδατογραφημάτων, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η διαδικασία κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης. [14]



Σχήμα 2-1 Γενική μορφή υδατογραφήματος

A. Κωδικοποίηση

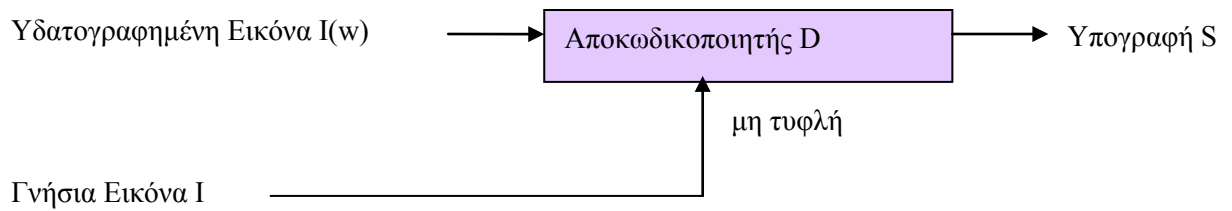
Για την ένθεση ενός υδατογραφήματος σε μία εικόνα, χρειαζόμαστε μία εικόνα (I), μία υπογραφή ($S = s_1, s_2, s_n$), που περιέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος και έναν αλγόριθμο κωδικοποίησης για τη δημιουργία της υδατογραφημένης εικόνας, όπως φαίνεται στο πάνω σχήμα. Ο κωδικοποιητής παίρνει ως είσοδο την υπογραφή και την εικόνα και δημιουργεί την υδατογραφημένη εικόνα. Η συνάρτηση $E(I, S) = I'$ περιγράφει αυτή τη λειτουργία. Κρυφά και δημόσια κλειδιά, όπως και άλλοι παράμετροι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση του κωδικοποιητή υδατογράφησης.



Σχήμα 2-2 Λειτουργία Κωδικοποιητή στη διαδικασία της υδατογράφησης

B. Αποκωδικοποίηση

Στη διαδικασία αποκωδικοποίησης το υδατογράφημα εξάγεται με τη χρήση κάποιας συνάρτησης αποκωδικοποιητή. Σε αυτή την περίπτωση ο αποκωδικοποιητής D δέχεται ως είσοδο την υδατογραφημένη μεταλλαγμένη εικόνα $I(w)$ και εξάγει την κρυμμένη υπογραφή S. Σε τεχνικές μη τυφλής υδατογράφησης, ο αποκωδικοποιητής D φορτώνει επιπλέον την εικόνα I, η οποία συνήθως είναι η γνήσια εικόνα και εξάγει την πληροφορία του υδατογραφήματος με συσχέτιση. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται με τον τύπο $D(I, I(w)) = S$.



Σχήμα 2-3 Λειτουργία Αποκωδικοποιητή στη διαδικασία της υδατογράφησης

2.1.3 Τύποι Υδατογραφημάτων

Οι παραπάνω τεχνικές και οι αντίστοιχοι αλγόριθμοι ένθεσης και εξαγωγής των υδατογραφημάτων διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του υδατογραφήματος. Συγκεκριμένα, ένα υδατογράφημα μπορεί να είναι:

- ✓ Μια επιλεγμένη συμβολοσειρά από ψηφία
- ✓ Μία εικόνα
- ✓ Ακολουθίες από αριθμούς κινητής υποδιαστολής με συγκεκριμένες ιδιότητες

Στην πρώτη περίπτωση για την ένθεση ενός μηνύματος χρησιμοποιείται μια συμβολοσειρά από ψηφία ASCII ή άλλου κώδικα. Επίσης χρησιμοποιούνται κώδικες διόρθωσης σφάλματος (error correction codes) για να αυξηθούν οι πιθανότητες σωστού εντοπισμού του υδατογραφήματος μετά από επίθεση. Οι εικόνες χρησιμοποιούνται κυρίως σε ορατά υδατογραφήματα, ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε αόρατα. Τέλος οι ακολουθίες αριθμών κινητής υποδιαστολής χρησιμοποιούνται συχνά εξαιτίας της ομοιότητάς τους με το θόρυβο. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι μοναδικός ο τρόπος που θα κωδικοποιηθεί η πληροφορία σε ένα τέτοιο σήμα, αλλά χρησιμοποιούνται αρκετοί διαφορετικοί αλγόριθμοι.

2.1.4 Τεχνικές Ένθεσης Υδατογραφήματος

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι τεχνικές υδατογράφησης μπορεί να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Μία γενική κατηγοριοποίηση είναι σε αυτές που βασίζονται στη συσχέτιση και σε αυτές που χρησιμοποιούν άλλες μεθόδους. Οι αλγόριθμοι της πρώτης κατηγορίας ενθέτουν ψηφιακά υδατογραφήματα προσθέτοντας ψευδοτυχαίο θόρυβο στα συστατικά της εικόνας, ενώ εντοπίζονται στη συνέχεια συσχετίζοντας το θόρυβο της εικόνας με τα συστατικά της εικόνας. Η δεύτερη κατηγορία μπορεί να χωριστεί στις μεθόδους που χρησιμοποιούν το λιγότερο σημαντικό ψηφίο και σε αυτές που χρησιμοποιούν τεχνικές

γεωμετρικής συσχέτισης. Περισσότερο χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι υδατογράφησης της πρώτης κατηγορίας, ωστόσο η έρευνα προχωράει συνεχώς σε νέες τεχνικές πολλαπλής πολυπλοκότητας.

Το μοντέλο του θορύβου, είτε Gaussian ή κανονικά κατανομημένος, είναι εξαιρετικό μέσο για αναπαράσταση πληροφορίας. Επίσης είναι ένα στοιχείο που υφίσταται στη ζωή και πολλές φορές δεν είναι προβλέψιμο από τους ανθρώπους. Εφόσον φυσικά μοντέλα θορύβου εισάγονται στην εικόνα τις περισσότερες φορές δεν είναι αναγνωρίσιμα. Έτσι πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη την εικόνα όταν σχεδιάζουμε την γεννήτρια του θορύβου, ώστε να ενσωματώσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Άλλες τεχνικές χρησιμοποιούν τον μετασχηματισμό της εικόνας και συγκεκριμένων πεδίων. Οι περισσότερες τεχνικές υδατογράφησης χρησιμοποιούν το πεδίο των συχνοτήτων ή το χωρικό για να εισάγουν την πληροφορία του υδατογραφήματος. Τέτοιοι αλγόριθμοι βασίζονται για παράδειγμα στον διακριτό μετασχηματισμό Fourier, στο διακριτό μετασχηματισμό συνημιτόνου, στο μετασχηματισμό wavelet ή σε κλασματικές προσεγγίσεις των ψηφιακών εικόνων.

A. LSB Τεχνική Υδατογράφησης

B. Υδατογράφηση Χωρικού Πεδίου (Spatial Domain Watermarking)

Οι τεχνικές ψηφιακής υδατογράφησης στο χωρικό πεδίο χρησιμοποιούν τιμές των καναλιών των χρωμάτων και τη φωτεινότητα μίας ψηφιακής εικόνας και ενθέτουν το υδατογράφημα στις χωρικές συντεταγμένες της εικόνας.

Η τεχνική υδατογράφησης LSB (Least Significant Bit) είναι μια απλή, στοιχειώδης τεχνική για την ενσωμάτωση της πληροφορίας του υδατογραφήματος στο χωρικό πεδίο εικόνων εγγράφων. Θεωρώντας ότι έχουμε μία εικόνα στην κλίμακα του γκρι, τα εικονοστοιχεία και οι τιμές τους μπορεί να μεταβληθούν σε συγκεκριμένα επίπεδα. Επειδή τα ενδεικτικά επίπεδα απλά αντιπροσωπεύουν ένα μοντέλο ψηφιακού θορύβου, μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί σε ψηφιακά υδατογραφήματα. Αν μάλιστα μεταβάλλουμε τις επιλεγμένες τιμές των εικονοστοιχείων του μοντέλου θορύβου χρησιμοποιώντας έναν εξειδικευμένο αλγόριθμο που βασίζεται σε κλειδί, η πληροφορία του υδατογραφήματος μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα. Ωστόσο η συγκεκριμένη τεχνική είναι ελάχιστα ασφαλής, καθώς το υδατογράφημα μπορεί να καταστραφεί εύκολα. Αντίθετα, είναι μια χρήσιμη τεχνική σε εφαρμογές ελέγχου αντιγραφής και αυθεντικοποίησης.

Μία απλή και γρήγορη μέθοδος βασίζεται στην αρχή δημιουργίας ενός ψευδοτυχαίου μοντέλου θορύβου και τον ενσωματώνει σε εικονοστοιχεία με συγκεκριμένες τιμές χρωμάτων ή φωτεινότητας. Τέτοια ψευδοτυχαία μοντέλα θορύβου αποτελούνται από τις τιμές μαύρο (1), λευκό("1) , ή ουδέτερο(0). Ο ψευδοθόρυβος δημιουργείται με ένα μυστικό κλειδί και αλγόριθμο. Επιπλέον, η διαδικασία μπορεί να προσαρμοστεί στα συστατικά της εικόνας ή σε διανύσματα χαρακτηριστικών για να επιτευχθεί αορατότητα υψηλότερου επιπέδου. Σε γενικές γραμμές, το υδατογράφημα $W(x, y)$ ενσωματώνεται στα συστατικά της εικόνας $I(x, y)$ με έναν παράγοντα που επιτρέπει την ενίσχυση των υδατογραφημένων τιμών, ώστε να επιτυγχάνονται τα καλύτερα αποτελέσματα.

$$I_w(x, y) = I(x, y) + k * W(x, y)$$

Η ανίχνευση του υδατογραφήματος βασίζεται στις αρχές της συσχέτισης. Σε αυτή την περίπτωση ένας ειδικός ανιχνευτής συγκρίνει την υδατογραφημένη εικόνα $I_w(x, y)$ με τη γνήσια εικόνα και αυτόματα αποφασίζει, βασισμένος σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο συσχέτισης, αν το υδατογράφημα υφίσταται. Τέτοιες τεχνικές συγκεκριμένα επιτρέπουν την ενσωμάτωση πληροφορίας υδατογραφήματος μεγέθους ενός ψηφίου. Για την ενσωμάτωση πληροφορίας μεγαλύτερου μεγέθους έχουν ανακαλυφθεί διάφορες τεχνικές. Τέτοιες τεχνικές έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν έως και 500 ψηφία σε μια εικόνα 512 x 512. Στη συγκεκριμένη διαδικασία η γνήσια εικόνα χωρίζεται σε μικρά τμήματα. Τα επιλεγμένα τμήματα υδατογραφούνται ή όχι και δημιουργούν μια ακολουθία από ψηφία στη διαδικασία ανίχνευσης. Σε αυτή την περίπτωση ο ανιχνευτής υδατογραφήματος σαρώνει την εικόνα και δημιουργεί την ακολουθία από ψηφία σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο επίπεδο συσχέτισης. Με τη χρήση μεθόδων ανίχνευσης σφαλμάτων CRC μπορούμε να μειώσουμε τις περιπτώσεις που καταλήγουμε σε σφάλματα [15].

Άλλος αλγόριθμοι που χρησιμοποιεί αυτή την τεχνική είναι αυτός του Van Schydel [16], που προτείνει LSB μεθόδους κωδικοποίησης κάνοντας χρήση m ακολουθιών για να ενσωματώνουν αόρατα υδατογραφήματα με μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με την απλή LSB μέθοδο. Επίσης αξιοσημείωτη είναι η τεχνική που προτείνουν οι Mitsui και Tanaka [18], όπως και οι αλγόριθμοι των Bruyndonckx [18], Kutter [19], Langelaar [20], Pitas [21], [22], [23], Rongen [24], Voyatzis [25]. Ο αλγόριθμος του Βογιατζή περιγράφει μια μέθοδο για την τυχαιοποίηση της εικόνας που χρησιμοποιείται ως υδατογράφημα. Ο αλγόριθμος Kutter είναι ένας αλγόριθμος για έγχρωμες εικόνες και επεμβαίνει μόνο στο μπλε κανάλι. Οι υπόλοιποι αλγόριθμοι επεμβαίνουν στις τιμές της ανάκλασης της φωτεινότητας (luminance). Όλοι οι παραπάνω αλγόριθμοι δεν προϋποθέτουν την ύπαρξη της αρχικής εικόνας για την εξαγωγή του υδατογραφήματος. Ο αλγόριθμος Langelaar, όπως και αυτός του Πίττα προσπαθούν να ασφαλισουν το υδατογράφημα από τις συνέπειες της JPEG συμπίεσης.

Γ. Υδατογράφιση Πεδίου Συχνότητας (Frequency Domain Watermarking)

Οι βασικές αρχές της πρόσθεσης ή αλλαγής συστατικών μιας ψηφιακής εικόνας μπορούν να μεταφερθούν και σε άλλα επίπεδα τιμών. Για να ενσωματώσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος σε συστατικά συχνότητας, η εικόνα θα πρέπει να μετασχηματιστεί στα συστατικά των συχνοτήτων της με τη χρήση διακριτού μετασχηματισμού Fourier, διακριτού μετασχηματισμού συνημιτόνου, ή μετασχηματισμών Hadamard. Εφόσον τέτοιοι μετασχηματισμοί χρησιμοποιούνται σε τεχνικές συμπίεσης όπως στην τεχνική JPEG, το υδατογράφημα είναι πολύ ανθεκτικό στις συνήθεις επιθέσεις. Επιπλέον αν ενσωματώσουμε το υδατογράφημα στις πιο σημαντικές συνιστώσες συχνοτήτων, βελτιώνουμε την ασφάλεια και την αντοχή, καθώς κάθε αλλαγή, αλλάζει σημαντικά την ποιότητα της εικόνας. Έτσι, είναι σημαντικό να εντοπίσουμε τους συντελεστές του μετασχηματισμού που είναι λιγότερο ευάλωτοι στις επιθέσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα ψηφιακά υδατογραφήματα εισάγονται στις μεσαίες συχνότητες. Η έρευνα έχει αποδείξει σημαντική ευαισθησία σε υψηλές συχνότητες εξαιτίας φίλτρων, συμπίεσης και εισαγωγής θορύβου, ενώ ο μετασχηματισμός στις χαμηλές συχνότητες προκαλεί πολλές φορές ορατό αποτέλεσμα, που δεν είναι επιθυμητό.

Παράδειγμα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η πρόταση του Cox, που είναι από τους πρωτοπόρους στην ανάπτυξη τεχνικών υδατογράφισης. [3] Σύμφωνα με αυτή χρειάζομαστε

τη γνήσια αρχική εικόνα για να εντοπίσουμε το υδατογράφημα. Ο αλγόριθμος ένθεσης ακολουθεί τα παρακάτω τέσσερα απλά βήματα:

1. Εφαρμογή DCT (διακριτού μετασχηματισμού συνημιτόνου) στη γνήσια εικόνα και επιλογή σημαντικών περιοχών στην εικόνα για την ένθεση υδατογραφήματος. Οι συντελεστές του DCT, που επιλέγονται είναι οι μεγαλύτεροι, ώστε να παρέχουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Η ενσωμάτωση υδατογραφήματος στους μεγαλύτερους συντελεστές του DCT αντιστοιχεί στην αλλαγή της εικόνας στην επιλεγμένη περιοχή.
2. Κατασκευή του υδατογραφήματος $X = x_1, x_2, \dots, x_n$, όπου x_i μια Gaussian τυχαία μεταβλητή $N(0, 1)$.
3. Ένθεση του υδατογραφήματος στο τελευταίο βήμα στους συντελεστές που επιλέξαμε $v_i \leftarrow v_i(1 + x_i a_i)$, όπου a_i ένα διάνυσμα.
4. Υπολογισμός του αντιστρόφου DCT στους αλλαγμένους συντελεστές από το τελευταίο βήμα.

Ο αλγόριθμος εξαγωγής του υδατογραφήματος αποτελείται από τα παρακάτω τέσσερα βήματα:

1. Υπολογισμός του DCT της υδατογραφημένης εικόνας.
2. Υπολογισμός του DCT της γνήσιας εικόνας.
3. Αφαίρεση του DCT της υδατογραφημένης εικόνας από το DCT της γνήσιας εικόνας για να καταλήξουμε στο πιθανό υδατογράφημα X^* .
4. Σύγκριση του πιθανού υδατογραφήματος X^* με το πραγματικό X με τον τύπο:

$$sim(X, X^*) = \frac{X^* \cdot X}{\sqrt{X^* \cdot X^*}}$$

Άλλες γνωστές εφαρμογές της συγκεκριμένης τεχνικής είναι αυτές που προτείνει ο O Ruanaidh και οι Hsu και Wu, ενώ άλλοι γνωστοί αλγόριθμοι είναι οι Benham, Koch, Podilchuk, Tao, Barni, Fridrich-2. [26]

Δ. Υδατογράφιση Διασποράς Φάσματος (Spread Spectrum Watermarking)

Η βασική ιδέα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι να διαδώσει τα δεδομένα του υδατογραφήματος σε μια μεγάλη μπάνα συχνοτήτων. Στην περίπτωση των εικόνων αναφερόμαστε σε ολόκληρο το ορατό φάσμα. Η διασπορά φάσματος είναι μια στρατιωτική τεχνολογία σχεδιασμένη για να χειρίζεται παράσιτα και διαταραχές. Η πληροφορία ενσωματώνεται στην εικόνα με τη χρήση ενός μυστικού κλειδιού ή μιας διαδικασίας ένθεσης. [27]

E. Άλλες Προσεγγίσεις (Other Approaches)

Άλλες σχετικές μέθοδοι υδατογράφησης για εικόνες χρησιμοποιούν τμηματικό μετασχηματισμό (fractal transformation), όπως οι περιπτώσεις των αλγορίθμων Baas, Davern και Puate για να ενσωματώσουν πληροφορία bit στη δομή της εικόνας. [28] Επίσης, σημαντική εφαρμογή παρουσιάζει η περίπτωση της υδατογράφησης εικόνας με μεθόδους που βασίζονται στη φάση. [29] Τέλος υπάρχει μεγάλος αριθμός νέων τεχνικών που συνδυάζουν κάποιες από τις παραπάνω καταλήγοντας σε υβριδικά μοντέλα.

2.2 Επιλογή του Υδατογραφήματος

Μια απόφαση που πρέπει να ληφθεί εξαρχής είναι το είδος του υδατογραφήματος που θα ενσωματωθεί στην εικόνα, δηλαδή ο τύπος των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Μια πρώτη σκέψη θα ήταν να εισαχθεί στην εικόνα απλό κείμενο ASCII με πληροφορίες όπως το συγγραφέα, τον εκδότη, τίτλο, ημερομηνία ή άλλα. Κάθε γράμμα αναπαρίσταται από μια συγκεκριμένη σειρά από ψηφία σύμφωνα με τον κώδικα ASCII. Ωστόσο αυτή η μέθοδος εμφανίζεται ιδιαίτερα ευάλωτη σε κάθε τύπου συμπίεση του υδατογραφήματος πριν την εισαγωγή του στην εικόνα. Αυτό οφείλεται στη φύση του κώδικα ASCII, όπου κάθε σφάλμα ενός ψηφίου εξαιτίας κάποιας επίθεσης μπορεί να αλλοιώσει το νόημα του κάθε χαρακτήρα και συνεπώς και του μηνύματος. Ακόμα και για μία απλή συμπίεση τύπου JPEG μπορεί να παραμορφώσει ένα υδατογράφημα, που φυλάσσει τα στοιχεία του δημιουργού, σε ένα τυχαίο σύνολο χαρακτήρων με αποτέλεσμα να χάνεται η δυνατότητα εξασφάλισης των πνευματικών δικαιωμάτων του δημιουργού.

Συνεπώς προκύπτει η ανάγκη χρήσης ενός υδατογραφήματος που θα έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε τέτοιες απλές επιθέσεις όπως η συμπίεση. Μία απλή και σχετικά εύκολη ιδέα που παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια σε επιθέσεις συμπίεσης είναι η ενσωμάτωση της πληροφορίας σε μία μορφή που είναι από μόνη της ανθεκτική στη συμπίεση. Έτσι αντί να χρησιμοποιούμε απλούς χαρακτήρες μπορούμε να την απεικονίσουμε σε μία υπάρχουσα εικόνα, δηλαδή το αντικείμενο του υδατογραφήματος να είναι μια εικόνα που θα απεικονίζει τις πληροφορίες που επιθυμούμε. Σε αυτή την περίπτωση, ακόμα και όταν προστίθεται θόρυβος στο υδατογράφημα εξαιτίας συμπίεσης ή άλλων διεργασιών μπορούμε να διαβάσουμε το υδατογράφημα που εξάγαμε σχετικά εύκολα. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε ότι παρά το θόρυβο που προστίθεται στο ανακτημένο υδατογράφημα, μπορούμε ακόμα να αναγνωρίσουμε σχετικά εύκολα τους χαρακτήρες.

Watermark

Σχήμα 2-4 Ιδανικό υδατογράφημα



Σχήμα 2-5 Υδατογράφημα με 25% Gaussian θόρυβο

2.3 PSNR (peak signal-to-noise ratio)

Για την εξαγωγή πειραματικών αποτελεσμάτων κατά τη λειτουργία των αλγορίθμων υδατογράφησης υπολογίζουμε τη χρονική διάρκεια της υδατογράφησης καθώς και το συντελεστή PSNR (peak signal-to-noise ratio) μεταξύ της αρχικής και της υδατογραφημένης εικόνας. Ο συντελεστής PSNR, που μετράται σε decibel (dB) χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αναλογία μεταξύ της μέγιστης πιθανής ισχύος ενός σήματος και της ισχύος του θορύβου, που επηρεάζει την πιστότητα της αναπαράστασης του σήματος. Στην προκειμένη περίπτωση εκφράζει τον βαθμό στον οποίο παραμορφώνεται η αρχική εικόνα κατά τη διαδικασία υδατογράφησης της.

Ένας τρόπος για να οριστεί ο συντελεστής PSNR είναι με τη βοήθεια του μέσου τετραγωνισμένου σφάλματος (mean squared error (MSE)), το οποίο για δύο $m \times n$ μονόχρωμες εικόνες I και K , όπου μία από τις εικόνες θεωρείται θορυβώδης προσέγγιση της άλλης, μπορεί να ορισθεί ως εξής:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2$$

Με τη χρήση του MSE το PSNR ορίζεται ως εξής:

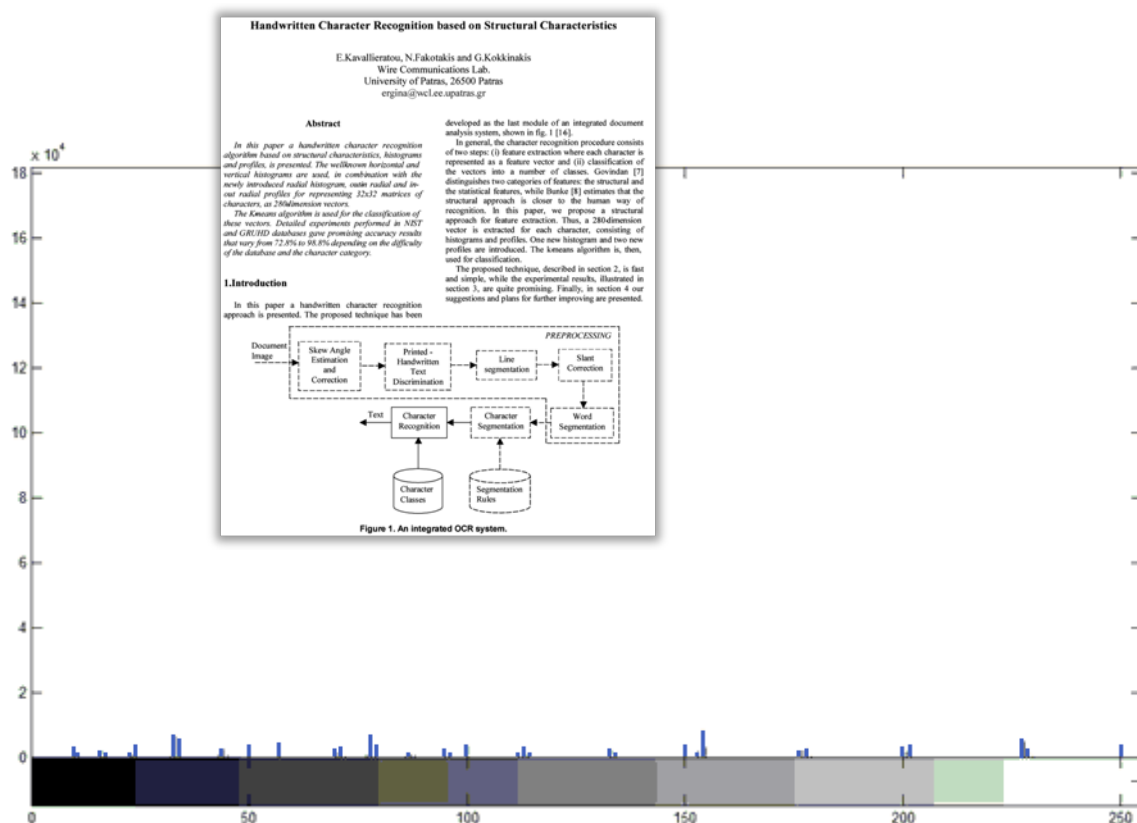
$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

Όπου MAX_I είναι η μέγιστη τιμή εικονοστοιχείου της εικόνας. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο συντελεστής PSNR, τόσο λιγότερη παραμόρφωση δέχεται κατά την ένθεση του υδατογραφήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

3.1 Εισαγωγικά

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την υδατογράφηση εικόνων κινούνται σε πολλά διαφορετικά πεδία προσπαθώντας να εκμεταλλευτούν κάθε φορά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των εικόνων, όπως τη πληροφορία στο χωρικό πεδίο, στο πεδίο συχνοτήτων, το εύρος του φάσματος ή και συνδυασμό των παραπάνω. Όταν όμως αναφερόμαστε στην εικόνα ενός εγγράφου, συνήθως μιλάμε για εικόνες χωρίς χρώματα, στην απλούστερη μορφή τους σε κλίμακα του γκρι, με τη συντριπτική πλειοψηφία των εικονοστοιχείων να έχουν την τιμή μηδέν. Αυτό φαίνεται καθαρά στο ιστόγραμμα που προκύπτει από την εικόνα ενός εγγράφου, στην κλίμακα του γκρι, διαστάσεων A4.

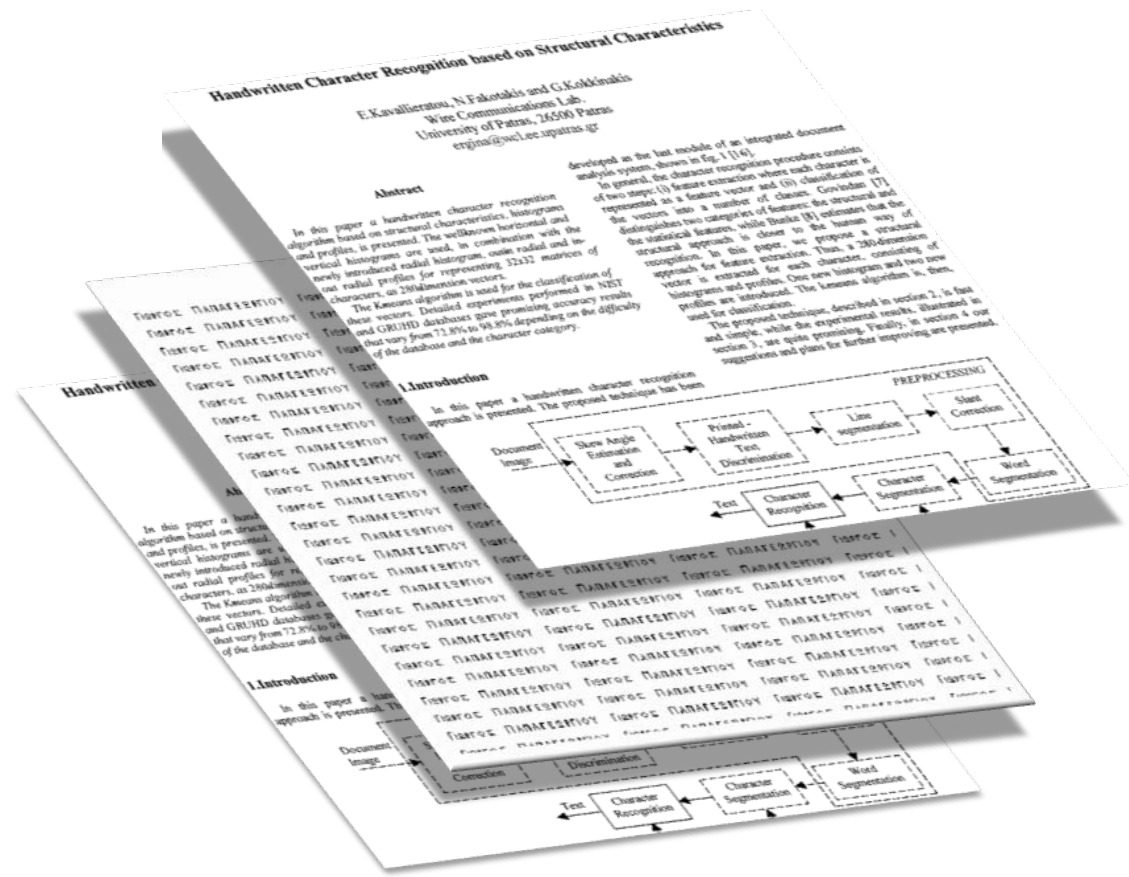


Σχήμα 3-1 Ιστόγραμμα εικόνας εγγράφου A4

Συνεπώς, ένας αλγόριθμος υδατογράφησης που χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως η συχνότητα και το εύρος φάσματος δεν έχει μεγάλη χρησιμότητα στην περίπτωση της υδατογράφησης εικόνας εγγράφου. Αντίθετα, το γεγονός ότι μεγάλα τμήματα της εικόνας είναι ομοιόχρωμα, ευνοεί σε κάποιο βαθμό την υλοποίηση του αλγορίθμου που παρουσιάζεται στο κεφάλαιο αυτό.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται λειτουργεί στο χωρικό πεδίο και αποτελεί εξέλιξη του αλγορίθμου ένθεσης υδατογραφήματος με την αντικατάσταση του λιγότερο σημαντικού ψηφίου

του κάθε εικονοστοιχείου (αλγόριθμος LSB). Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος LSB, βλέπουμε τη μεθοδολογία που ακολουθεί, μελετάται η συμπεριφορά του σε διαφορετικές εικόνες εγγράφων και υδατογραφήματα, και η ανθεκτικότητά του σε διαφορετικού τύπου επιθέσεις. Παρατηρώντας τα θετικά στοιχεία και τις αδυναμίες του οδηγούμαστε σε μία τροποποίηση του αλγορίθμου που εισάγει νέα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα στον ήδη υπάρχοντα αλγόριθμο.



Σχήμα 3-2 Ανάκτηση υδατογραφήματος από την υδατογραφημένη εικόνα

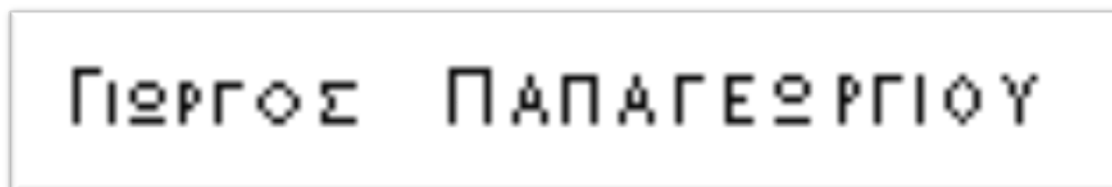
3.2 Μετατροπή λιγότερο σημαντικού ψηφίου (Least Significant Bit Modification)

Η πιο απλή ίσως μέθοδος ενσωμάτωσης υδατογραφήματος είναι η εισαγωγή του στο «λιγότερο σημαντικό ψηφίο» της αρχικής εικόνας. Μάλιστα σε αυτή την περίπτωση δεδομένου του μεγάλου μεγέθους της αρχικής εικόνας σε σχέση με του υδατογραφήματος μπορούμε να εισάγουμε το υδατογράφημα πολλές φορές. Έτσι ακόμα αν και σε κάποιες περιπτώσεις είναι αδύνατο να το ανακτήσουμε εξαιτίας θορύβου ή άλλων επιθέσεων, έστω και μία σωστή ανάκτηση καθιστά το υδατογράφημα επιτυχημένο.

Η αντικατάσταση του λιγότερου σημαντικού ψηφίου είναι εύκολη στην εφαρμογή της, αλλά έχει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα σε σχέση με πιο σύνθετες τεχνικές. Συγκεκριμένα, αν και μπορεί να αντιμετωπίσει επιθέσεις κατάτμησης, οποιαδήποτε προσθήκη θορύβου στην εικόνα, ή η συμπίεση της υδατογραφημένης εικόνας με μεγάλη απώλεια δεδομένων μπορεί να καταστρέψει το υδατογράφημα. Μία ακόμα πιο αποτελεσματική επίθεση στη συγκεκριμένη τεχνική είναι να θέσουμε το λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου σε 1. Έτσι το υδατογράφημα καταστρέφεται ολοσχερώς, χωρίς να έχουμε σημαντική παραμόρφωση στην αρχική εικόνα. Επιπλέον, εφόσον ο αλγόριθμος ανακαλυφθεί, το ενσωματωμένο υδατογράφημα μπορεί εύκολα να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο.

Μία βελτίωση στη βασική αντικατάσταση του λιγότερου σημαντικού ψηφίου είναι η χρήση μιας γεννήτριας ψευδοτυχαίων αριθμών που ορίζει τα εικονοστοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση, βασισμένη σε ένα κλειδί. Η ασφάλεια του υδατογραφήματος βελτιώνεται αισθητά εφόσον δεν μπορεί κάποιος τρίτος να διαβάσει το υδατογράφημα. Ωστόσο και πάλι ο αλγόριθμος είναι ευαίσθητος στην αλλαγή του λιγότερου σημαντικού ψηφίου με μία σταθερά, που όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν είναι ορατή στον χρήστη και θεωρείται αμελητέα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί μία απλή και ισχυρή μέθοδο υδατογράφησης, που ωστόσο υστερεί στην ανθεκτικότητα, η οποία είναι απαραίτητη σε πολλές εφαρμογές υδατογράφησης.

Για την εφαρμογή της υδατογράφησης με τη μέθοδο «Μετατροπής του λιγότερο σημαντικού bit» χρησιμοποιείται μία εικόνα η οποία απεικονίζει το ονοματεπώνυμο του συγγραφέα, ενώ βέβαια στις περισσότερες εφαρμογές θα μπορούσε να περιέχει κάποιο κωδικό, που να χαρακτηρίζει μονοσήμαντα το συγγραφέα ή τον ιδιοκτήτη του εγγράφου.



Σχήμα 3-3 Παράδειγμα δυαδικού υδατογραφήματος

Το κάθε εικονοστοιχείο του υδατογραφήματος που χρησιμοποιούμε μπορεί να είναι λευκό ή μαύρο. Δεν χρησιμοποιούνται αποχρώσεις του γκρι ή πιο σύνθετα στοιχεία, καθώς δεν μας ενδιαφέρει τόσο η ποιότητα της εικόνας που απεικονίζει το υδατογράφημα, όσο ο βαθμός αναγνωσιμότητας της πληροφορίας που περιέχει και η δυνατότητα εύκολης ανάκτησης του υδατογραφήματος από την υδατογραφημένη εικόνα.

3.2.1 Αλγόριθμοι LSB υδατογράφησης

Για τη λειτουργία της συγκεκριμένης τεχνικής υδατογράφησης, όπως και κάθε άλλης τεχνικής συμμετέχουν δύο διαφορετικοί αλγόριθμοι. Ο αλγόριθμος ένθεσης του υδατογραφήματος (embed algorithm) και ο αλγόριθμος ανάκτησης του υδατογραφήματος από την αρχική εικόνα (recover

algorithm). Η διαδικασία που ακολουθείται από τη λειτουργία του αλγόριθμου ένθεσης είναι η εξής:

- Επιλέγουμε την αρχική εικόνα και την εικόνα του υδατογραφήματος.
- Μετατρέπουμε το υδατογράφημα στο μέγεθος της αρχικής εικόνας, έτσι ώστε να το ενσωματώσουμε σε αυτή.
- Ορίζουμε το λιγότερο σημαντικό ψηφίο της αρχικής εικόνας στην αντίστοιχη τιμή του υδατογραφήματος.
- Εξάγουμε την υδατογραφημένη εικόνα σε ένα αρχείο εικόνας.

Ο αλγόριθμος ανάκτησης του υδατογραφήματος ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Επιλέγουμε την υδατογραφημένη εικόνα.
- Αποθηκεύουμε το λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου σε ένα διάνυσμα.
- Εξάγουμε το υδατογράφημα σε αρχείο εικόνας.

3.2.2 Ανάλυση LSB υδατογράφησης

Για να γίνει καλύτερα κατανοητή η υδατογράφηση με τη μετατροπή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, πάνω στην οποία βασίζεται η προτεινόμενη τεχνική, είναι σκόπιμο να γίνει αναλυτική αναφορά

- ✓ στον τρόπο λειτουργίας της, ώστε να κατανοήσουμε τη λειτουργικότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου
- ✓ στις αντιστάσεις της στις διάφορες επιθέσεις, για να δούμε τη σκοπιμότητα ενός πιο σύνθετου αλγορίθμου
- ✓ στην εξέλιξή της με διάφορες παραλλαγές, οι οποίες θα μας οδηγήσουν βήμα βήμα στην κατασκευή του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Θα μελετήσουμε την απλή εφαρμογή του παραπάνω αλγορίθμου σε εικόνες εγγράφων διαφορετικών διαστάσεων, την εισαγωγή μικρότερων ή μεγαλύτερων υδατογραφημάτων και θα παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά του αλγορίθμου και των παραλλαγών του στις επιθέσεις απλής επεξεργασίας εικόνας, στις οποίες έγινε αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

3.2.3 Απλή Εφαρμογή αλγορίθμου

Σε πρώτη φάση εφαρμόζουμε τη μέθοδο ένθεσης με τη μετατροπή του λιγότερου σημαντικού ψηφίου στην παρακάτω εικόνα 512x512. Αν και πρόκειται για εικόνα χωρίς εμφανή θόρυβο και μικρή ποσότητα πληροφορίας βλέπουμε ότι η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου μένει απαρατήρητη στον παρατηρητή. Το PSNR είναι της τάξης των 56 dB και η διαδικασία ολοκληρώθηκε σε 0.4992 δευτερόλεπτα.

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 3-4 Πριν και μετά την εφαρμογή LSB υδατογράφησης

Στη συνέχεια στην εικόνα του αποτελέσματος εφαρμόζουμε την αντίστροφη διαδικασία της ανάκτησης του υδατογραφήματος από την αυθεντική υδατογραφημένη εικόνα χωρίς αυτή να έχει υποστεί κάποια επεξεργασία. Είναι προφανές ότι το υδατογράφημα ανακτάται σε άριστη κατάσταση.



Σχήμα 3-5 Υδατογράφημα μετά την ανάκτηση από την παραπάνω αρχική εικόνα

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία σε εικόνα από το ίδιο δείγμα, αλλά διπλάσιων διαστάσεων, δηλαδή τετραπλάσιου μεγέθους, βλέπουμε ότι το PSNR είναι της ίδιας τάξης. Ο χρόνος που διήρκησε η υδατογράφιση είναι περίπου τετραπλάσιος (2.3556 δευτερόλεπτα), γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ο χρόνος που διήρκησε η εφαρμογή της μεθόδου μεταβάλλεται σε αναλογία με το μέγεθος της αρχικής εικόνας, ενώ το PSNR μεταβάλλεται με το περιεχόμενο της εικόνας. Για παράδειγμα σε δύο διαφορετικά τμήματα της ίδιας εικόνας, ή ακόμα και μεταβάλλοντας τις διαστάσεις της ίδιας εικόνας καταλήγο με κάθε φορά σε διαφορετικό PSNR.

Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
512x512 (τμήμα)	56.0477	0.4992
512x512 (resized)	56.9340	0.4992
1024x1024 (τμήμα)	56.1701	2.3556
1024x1024 (resized)	56.4888	2.2932

Πίνακας 3-1 Χαρακτηριστικά υδατογράφισης εικόνων με διαφορετικές διαστάσεις

Ένα άλλο πείραμα που έχει ενδιαφέρον είναι η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου υδατογράφισης για υδατογραφήματα διαφορετικού μεγέθους. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τρία υδατογραφήματα διαφορετικού μεγέθους, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 3-6 Υδατογράφημα μεγέθους 151x20 pixels



Σχήμα 3-7 Υδατογράφημα μεγέθους 50x20 pixels



Σχήμα 3-8 Υδατογράφημα μεγέθους 22x20 pixels

Τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου πειράματος απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Παρότι το τρίτο υδατογράφημα σε σχέση με το πρώτο είναι έως και 7 φορές μικρότερο, τόσο το PSNR όσο και ο χρόνος της εφαρμογής μένουν στα ίδια επίπεδα.

Διαστάσεις Υδατογραφήματος (pixels)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
151x20	57.0239	3.1668
50x20	57.0134	3.3072
22x20	57.3555	3.2136

Πίνακας 3-2 Χαρακτηριστικά υδατογράφησης με υδατογραφήματα διαφορετικού μεγέθους

Αντίστοιχα συμπεράσματα βγάζουμε και κατά την ανάκτηση των τριών διαφορετικών υδατογραφημάτων στην ίδια εικόνα. Συγκεκριμένα ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία ανάκτησης είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος του εφαρμοζόμενου υδατογραφήματος.

Διαστάσεις Υδατογραφήματος (pixels)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
151x20	0.2028
50x20	0.2184
22x20	0.2028

Πίνακας 3-3 Ανάκτηση υδατογραφημάτων διαφορετικού μεγέθους από την ίδια εικόνα

Αντίθετα, σημαντική είναι η μεταβολή του PSNR όταν χρησιμοποιήσουμε υδατογράφημα με αντεστραμμένα τα χρώματα λευκό και μαύρο. Όπως φαίνεται από τον πίνακα η νέα υδατογραφημένη εικόνα έχει απώλεια στο συντελεστή PSNR της τάξης των 8 dB για υδατογραφήματα του ίδιου μεγέθους. Συνεπώς τα υδατογραφήματα στα οποία το λευκό στοιχείο επικρατεί σε σχέση με το μαύρο είναι δυσκολότερο να εντοπιστούν με το ανθρώπινο μάτι.



Σχήμα 3-9 Υδατογραφήματα με αντεστραμμένα «αρνητικά» χρώματα

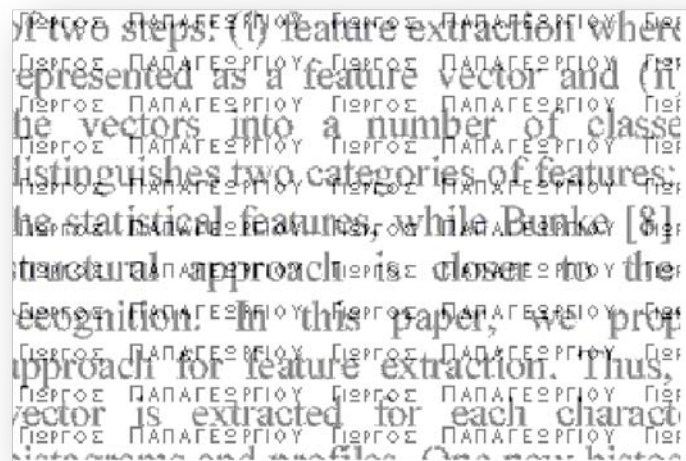
Διαστάσεις Υδατογραφήματος (pixels)	Λευκό υδατογράφημα PSNR (dB)	Μαύρο υδατογράφημα PSNR (dB)
151x20	57.0239	48.7308
50x20	57.0134	48.7323
22x20	57.3555	48.6837

Πίνακας 3-4 Σύγκριση PSNR για υδατογραφήματα με αντεστραμμένα χρώματα

Ένα άλλο πείραμα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι η επιλογή διαφορετικών ψηφίων για την ένθεση του υδατογραφήματος εκτός από το τελευταίο. Ο λόγος που η παραπάνω μέθοδος εφαρμόζεται στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο και όχι σε κάποιο άλλο είναι το γεγονός ότι η μετατροπή του λιγότερου σημαντικού ψηφίου γίνεται λιγότερο αισθητή στον παρατηρητή. Έτσι λοιπόν αν πραγματοποιήσουμε την ένθεση του υδατογραφήματος μεταβάλλοντας το πιο σημαντικό ψηφίο και όχι στο λιγότερο σημαντικό παρατηρούμε τα εξής αποτελέσματα:

of two steps: (i) feature extraction where represented as a feature vector and (ii) he vectors into a number of classe distinguishes two categories of features: he statistical features, while Bunke [8] structural approach is closer to the ecognition. In this paper, we prop approach for feature extraction. Thus, vector is extracted for each charact histograms and profiles. One new histo

Σχήμα 3-10 Εισαγωγή του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο

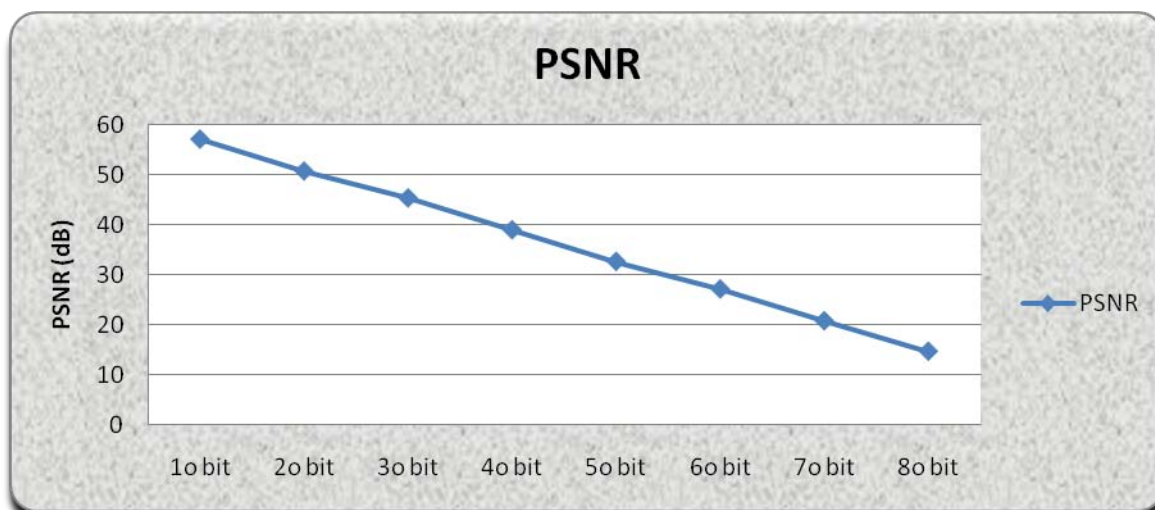


Σχήμα 3-11 Εισαγωγή του υδατογραφήματος στο πιο σημαντικό ψηφίο

Όπως βλέπουμε ενώ στην πρώτη περίπτωση η εισαγωγή του υδατογραφήματος δεν γίνεται καν αισθητή στον παρατηρητή, στη δεύτερη περίπτωση η εικόνα παραμορφώνεται αισθητά και πλέον είναι ορατό το υδατογράφημα. Στον παρακάτω πίνακα, αλλά και στο γράφημα βλέπουμε τη μετατροπή του PSNR κατά την επιλογή διαφορετικών ψηφίων για την εισαγωγή του υδατογραφήματος. Το PSNR μειώνεται αισθητά, με αποτέλεσμα να παραμορφώνεται η υδατογραφημένη εικόνα μετά τα 3 πρώτα ψηφία και να γίνεται ορατό το υδατογράφημα.

Ψηφίο που μεταβάλλουμε	PSNR (dB)	Χρονική διάρκεια υδατογράφησης (δευτερόλεπτα)
1 ^ο bit	57.0239	3.1356
2 ^ο bit	50.6525	3.2604
3 ^ο bit	45.2809	3.1200
4 ^ο bit	38.9290	3.2292
5 ^ο bit	32.6109	3.2604
6 ^ο bit	27.1126	3.4788
7 ^ο bit	20.7627	3.1356
8 ^ο bit	14.6787	3.3852

Πίνακας 3-5 Ένθεση υδατογραφήματος σε διαφορετικά ψηφία



Σχήμα 3-12 Μεταβολή του PSNR για ένθεση υδατογραφήματος σε διαφορετικά ψηφία

Τα πειράματα που έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα αφορούν εικόνα εγγράφου, χωρίς ιδιαίτερη πολυπλοκότητα. Επαναλαμβάνοντας τα ίδια πειράματα σε μία εικόνα ίδιων διαστάσεων, που δεν περιέχει κείμενο, όπως η παρακάτω, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζουν εμφανείς διαφορές στις δύο περιπτώσεις.



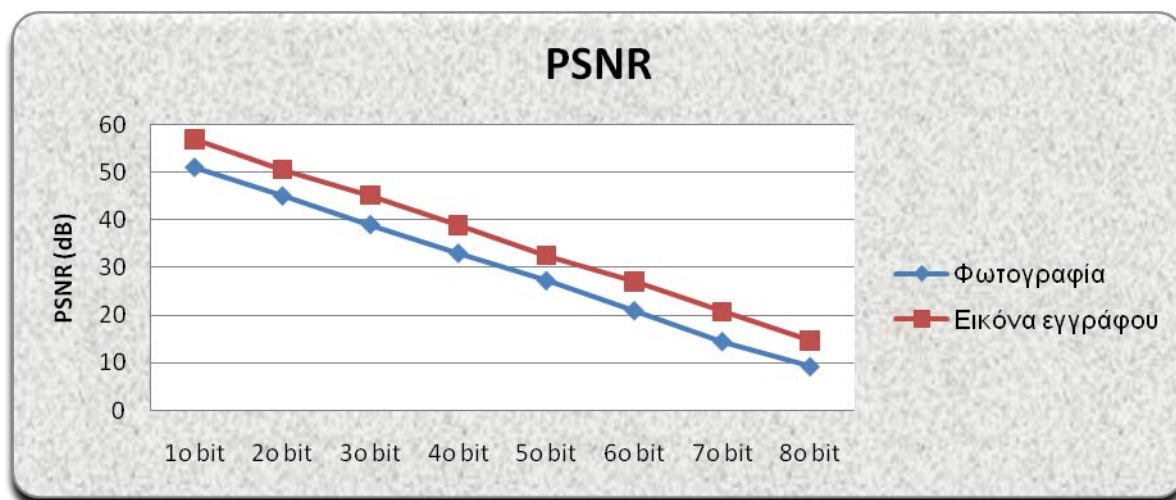
Σχήμα 3-13 Η γνωστή σε εφαρμογές επεξεργασίας εικόνας "Λένα"

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την αντιπαράβολή του PSNR στην περίπτωση της εικόνας εγγράφου και της φωτογραφίας. Οι τιμές του συντελεστή δεν είναι όμοιες, αλλά παρουσιάζουν ανεπαίσθητες διαφορές.

Ψηφίο που μεταβάλλουμε	PSNR (dB) σε εικόνα εγγράφου	PSNR (dB) σε φωτογραφία
1 ^ο bit	57.0239	51.1509
2 ^ο bit	50.6525	45.1190
3 ^ο bit	45.2809	39.0875
4 ^ο bit	38.9290	33.0600
5 ^ο bit	32.6109	27.2833
6 ^ο bit	27.1126	20.9469
7 ^ο bit	20.7627	14.4561
8 ^ο bit	14.6787	9.1806

Πίνακας 3-6 Σύγκριση υδατογράφησης LSR σε εικόνα εγγράφου και φωτογραφία

Στο γράφημα βλέπουμε την ομοιότητα του ρυθμού μεταβολής του PSNR στις δύο περιπτώσεις. Επίσης παρατηρούμε τη διαφορά του συντελεστή PSNR για την ένθεση του ίδιου υδατογραφήματος στο ίδιο ψηφίο στις δύο εικόνες ίδιων διαστάσεων. Αυτό οφείλεται στο ότι ο συντελεστής PSNR εξαρτάται από την ποιότητα της εικόνας που υδατογραφούμε.



Σχήμα 3-14 Γράφημα μεταβολής PSNR για ένθεση σε διαφορετικά ψηφία σε εικόνα εγγράφου και φωτογραφία

3.2.4 Συμπεριφορά του αλγορίθμου LSB σε επιθέσεις

Η τεχνική της μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, όπως είδαμε στα παραπάνω πειράματα, στην ιδανική περίπτωση, όπου η εικόνα που φτάνει στον τελικό χρήστη δεν έχει υποστεί κάποια επεξεργασία, έχει αξιοσημείωτα καλά αποτελέσματα και παρουσιάζει μεγάλη χωρητικότητα ως προς το υδατογράφημα που ενθέτουμε. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε την ανθεκτικότητά της σε συγκεκριμένες γνωστές επιθέσεις, όπως τη συμπίεση και την κατάτμηση.

Καταρχήν στη συμπίεση μπορούμε να πειραματιστούμε με τον αλγόριθμο JPEG, που χρησιμοποιείται ευρέως. Όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα η εφαρμογή του αλγορίθμου συμπίεσης δεν αφήνει περιθώρια για την ανάκτηση του υδατογραφήματος.



Σχήμα 3-15 Ανακτημένο υδατογράφημα χωρίς συμπίεση και μετά από συμπίεση JPEG

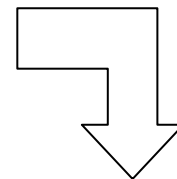
Μια άλλη επίθεση στην οποία αυτή τη φορά μπορεί να ανταπεξέλθει η παραπάνω μέθοδος υδατογράφησης είναι η κατάτμηση της αρχικής εικόνας. Έτσι λοιπόν, ακόμα και αν αφαιρέσουμε ένα μικρό κομμάτι της υδατογραφημένης εικόνας και εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο ανάκτησης, μπορούμε ακόμα να δούμε ανέπαφο το τμήμα του υδατογραφήματος που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας.

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, out radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments and GRUHD databases gave promises that vary from 72.8% to 98.8% depending of the database and the character category.

radial histogram, out radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors. The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed



1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕ
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕ
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕ
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕ
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕ

Σχήμα 3-16 Αποτέλεσμα ανάκτησης μετά την κατάτμηση της εικόνας

Όπως είδαμε παραπάνω η συμπίεση της υδατογραφημένης εικόνας μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του υδατογραφήματος. Βέβαια σε εικόνες BMP υψηλού επιπέδου η συμπίεσή τους με αλγορίθμους όπως ο JPEG μπορούν να προκαλέσουν ελαφρά απώλεια πληροφορίας, ελάχιστα αισθητή στην ανθρώπινη όραση. Υπάρχει όμως ένας τρόπος επίθεσης σε εικόνες υδατογραφημένες με τη μέθοδο μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί απλά αλλάζοντας σε όλα τα εικονοστοιχεία την τιμή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου σε μηδέν ή ένα. Με αυτόν τον τρόπο χάνεται πλήρως η πληροφορία του υδατογραφήματος και είναι αδύνατο να το ανακτήσουμε, ούτε καν εν μέρει.

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outer radial and inner radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outer radial and inner radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outer radial and inner radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 3-17 Η υδατογραφημένη εικόνα και οι εικόνες με την μετατροπή όλων των λιγότερο σημαντικών ψηφίων σε μηδέν και σε ένα

Βλέπουμε στις παραπάνω εικόνες την υδατογραφημένη εικόνα και τις εικόνες με την μετατροπή όλων των λιγότερο σημαντικών ψηφίων σε μηδέν και σε ένα. Και στις τρεις περιπτώσεις είναι αδύνατο να εντοπίσουμε τις μετατροπές με γυμνό μάτι.

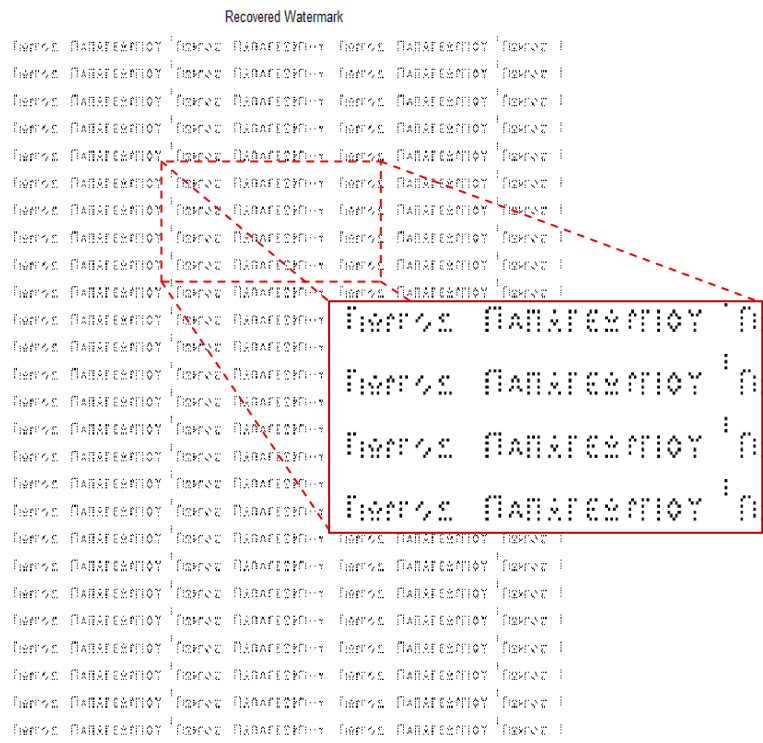
Μία παραλλαγή του αλγορίθμου που μπορεί να εφαρμοστεί με ευεργετικά αποτελέσματα στη συγκεκριμένη επίθεση είναι αν αντί να μετατρέψουμε το λιγότερο σημαντικό ψηφίο σε κάθε εικονοστοιχείο στις τιμές του υδατογραφήματος, μετατρέψουμε εκ περιτροπής το πρώτο ή το δεύτερο ψηφίο. Όπως μπορούμε να δούμε στο παράδειγμα της παρακάτω εικόνας, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μεθόδου δεν είναι εύκολα αντιληπτά από τον παρατηρητή. Για την ανάκτηση του υδατογραφήματος στην παραπάνω περίπτωση απαιτείται και ο ειδικά προσαρμοσμένος αλγόριθμος ανάκτησης. Μάλιστα για να διατηρεί η συγκεκριμένη μέθοδος την ανθεκτικότητά της στις επιθέσεις κατάτμησης, θα πρέπει κάθε φορά να ανακτούμε 2 υποψήφια υδατογραφήματα, από τα οποία το ένα θα είναι το σωστό.

of two steps: (i) feature extraction where represented as a feature vector and (ii) the vectors into a number of classes distinguishes two categories of features: the statistical features, while Bunke [8] structural approach is closer to the recognition. In this paper, we propose approach for feature extraction. Thus, vector is extracted for each character histograms and profiles. One new histo

of two steps: (i) feature extraction where represented as a feature vector and (ii) the vectors into a number of classes distinguishes two categories of features: the statistical features, while Bunke [8] structural approach is closer to the recognition. In this paper, we propose approach for feature extraction. Thus, vector is extracted for each character histograms and profiles. One new histo

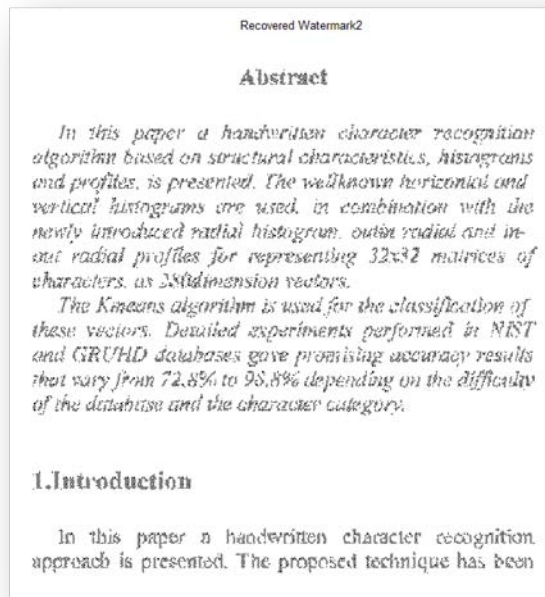
Σχήμα 3-18 Γνήσια εικόνα (αριστερά) και υδατογραφημένη εικόνα με τη μέθοδο "εκ περιτροπής" (δεξιά)

Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, όπως βλέπουμε στην εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε το περιεχόμενο του υδατογραφήματος ακόμα και αν δεν είναι σε τέλεια κατάσταση.



Σχήμα 3-19 Ανάκτηση υδατογραφήματος με τη μέθοδο «εκ περιτροπής»

Για να διατηρεί η συγκεκριμένη μέθοδος την ανθεκτικότητά της στις επιθέσεις κατάμησης, θα πρέπει κάθε φορά να ανακτούμε 2 υποψήφια υδατογραφήματα, από τα οποία το ένα θα είναι το σωστό. Αυτό γιατί όταν επιλέγουμε το τμήμα της υδατογραφημένης εικόνας που θα χρησιμοποιηθεί από τον αλγόριθμο ανάκτησης υπάρχει το ενδεχόμενο να επιλέξουμε ως πρώτο εικονοστοιχείο κάποιο που βρίσκεται σε άρτια ή σε περιττή θέση. Έτσι ανακτούμε δύο διαφορετικά υδατογραφήματα μετατοπισμένα κατά ένα εικονοστοιχείο, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Σχήμα 3-20 Λανθασμένο ανακτημένο υδατογράφημα από τη μέθοδο "εκ περιτροπής"

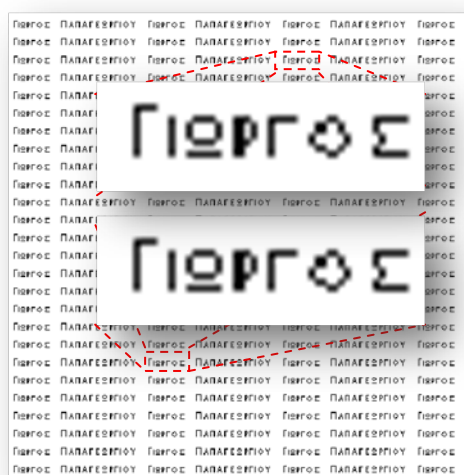


Σχήμα 3-21 Σωστό ανακτημένο υδατογράφημα από τη μέθοδο "εκ περιτροπής"

Μία ακόμα επίθεση που αντιμετωπίζει η υδατογράφηση εικόνων είναι η επίθεση μεταβολής μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας. Σε αυτή την περίπτωση ο επιθέμενος έχει τη δυνατότητα είτε να αυξήσει το μέγεθος της εικόνας, κάτι που ωστόσο ελαττώνει την ποιότητα της νέας εικόνας χωρίς να έχουμε απώλεια πληροφορίας, ή να μειώσει τις διαστάσεις της, κάτι που προκαλεί απώλεια πληροφορίας. Πειραματικά μελετάμε κυρίως μεταβολές μικρότερες της τάξης

του 20% επί της αρχικής εικόνας, καθώς μεγαλύτερο ποσοστό μεταβολής μπορεί να προκαλέσει σημαντική ζημιά στην πληροφορία της εικόνας και πλέον δεν θα μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένη επίθεση.

Στην απλή εφαρμογή της μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, έστω ότι αυξάνουμε το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας κατά 1.2 επί του αρχικού μεγέθους. Στη συνέχεια δοκιμάζουμε την αύξηση της εικόνας 5 φορές σε σχέση με την αρχική. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μεταβολή της εικόνας δεν επηρεάζει σημαντικά την πληροφορία του υδατογραφήματος, ακόμα και αν η αύξηση πολλαπλασιάζει το μέγεθος της εικόνας. Ωστόσο, στις περιπτώσεις που πολλαπλασιάζουμε το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας με ακέραιο αριθμό, ανακτούμε το υδατογράφημα σε άψογη κατάσταση, ενώ στην περίπτωση της αύξησης του μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας σε δεκαδική κλίμακα το ανακτημένο υδατογράφημα έχει κάποια ανεπαίσθητη παραμόρφωση σε επίπεδο χαρακτήρων εξαιτίας της τυχαίας - ως προς το υδατογράφημα - κατανομής των προστιθέμενων εικονοστοιχείων. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανές στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 3-22 Ανακτημένο υδατογράφημα μετά από μεγέθυνση 2x



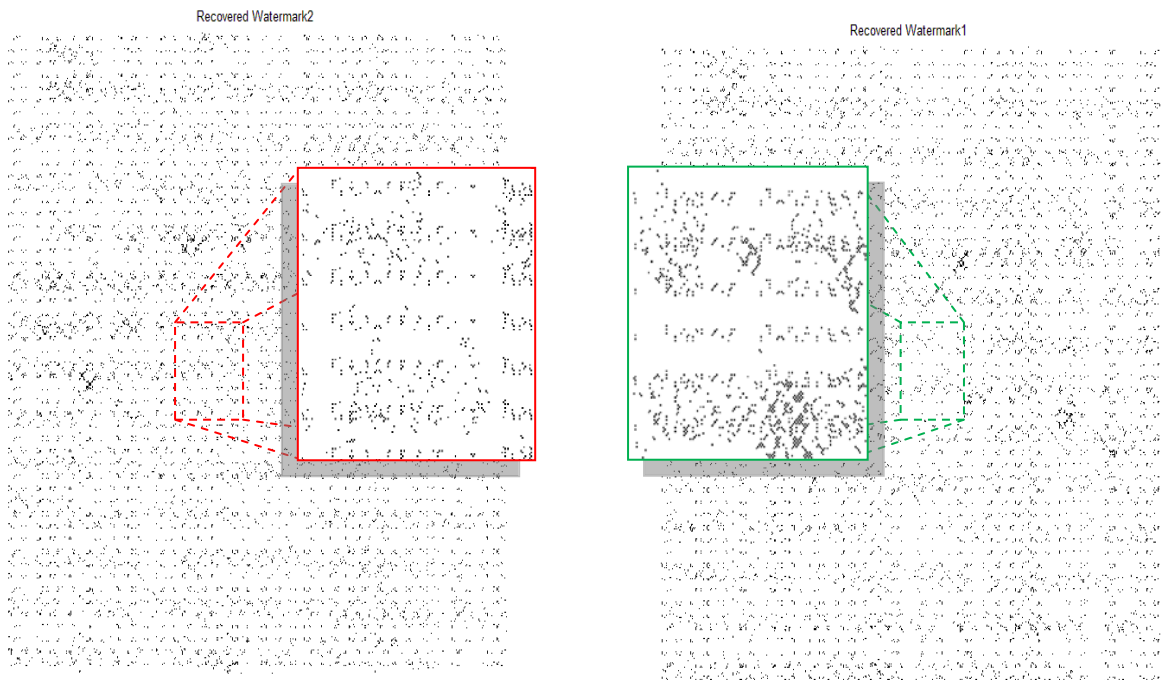
Σχήμα 3-23 Ανακτημένο υδατογράφημα μετά από μεγέθυνση 1,5x

Βέβαια το γεγονός ότι αυξάνουμε το μέγεθος της εικόνας έχει ως επακόλουθο την αύξηση του χρόνου ανάκτησης του υδατογραφήματος. Στο γράφημα μπορούμε να δούμε την αύξηση του χρόνου για μεταβολές μεγαλύτερης κλίμακας, όταν πολλαπλασιάζουμε το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας.



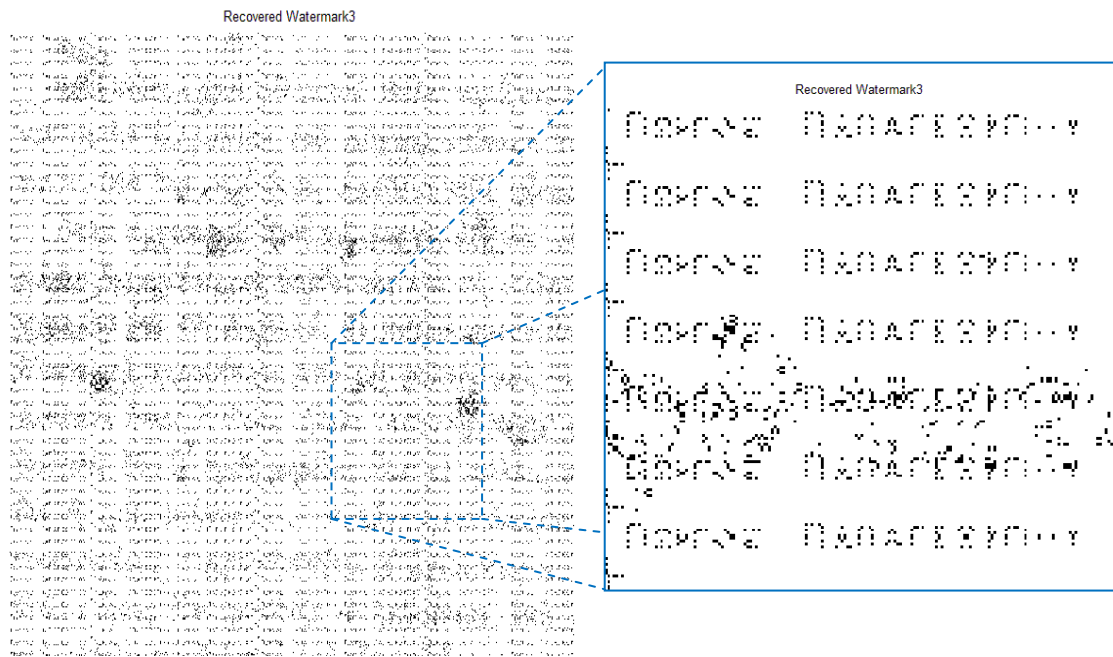
Σχήμα 3-24 Μεταβολή του χρόνου ανάκτησης υδατογραφήματος για εικόνες με μεταβαλλόμενο μέγεθος

Όπως συμπεράναμε η αύξηση της υδατογραφημένης εικόνας δεν επηρεάζει αισθητά την ποιότητα του υδατογραφήματος που ανακτάται. Αν ωστόσο η συγκεκριμένη επίθεση συνδυαστεί με την επίθεση αλλαγής των λιγότερο σημαντικών ψηφίων της μπορεί να επιφέρει καταστροφικά για το υδατογράφημα αποτελέσματα. Έτσι λοιπόν, υδατογραφείται η εικόνα του εγγράφου 1024x1024 εικονοστοιχείων με τον αλγόριθμο «εκ περιτροπής», που είδαμε παραπάνω ότι μπορεί να αντιμετωπίσει την επίθεση της μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Αν στη συνέχεια ο επιτιθέμενος αυξήσει κατά 20% το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας και μετατρέψει τα λιγότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου σε 1, μπορούμε να δούμε από τις παρακάτω εικόνες ότι προκαλεί σημαντική φθορά και στα δύο ανακτώμενα υδατογραφήματα της συγκεκριμένης μεθόδου.



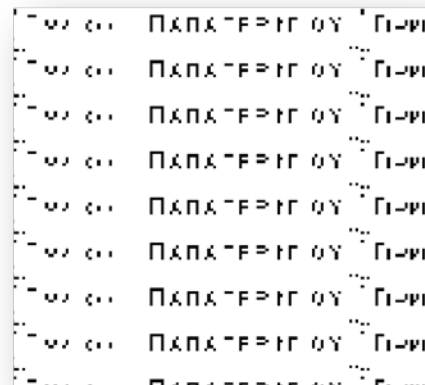
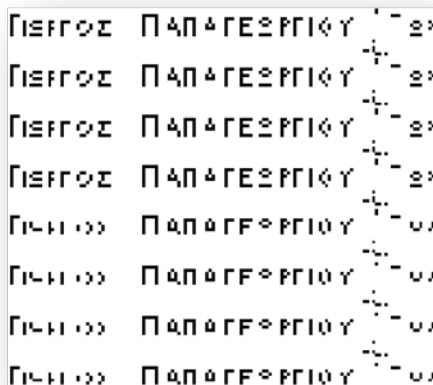
Σχήμα 3-25 Τα δύο υδατογραφήματα που προκύπτουν από την αύξηση μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας σε συνδυασμό με την επίθεση αλλαγής των λιγότερο σημαντικών ψηφίων

Τα αποτελέσματα είναι αισθητά καλύτερα αν εκτός από τα δύο «υποψήφια» υδατογραφήματα που ανακτούμε, ανακτήσουμε και ένα τρίτο, που προκύπτει από τη συνένωση των δύο παραπάνω. Στο ίδιο παράδειγμα έχουμε το αποτέλεσμα όπως φαίνεται στην εικόνα, όπου μπορούμε πλέον να διακρίνουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος.



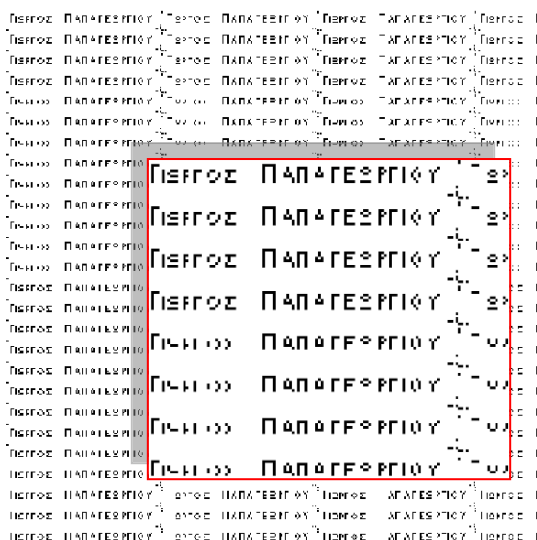
Σχήμα 3-26 Αποτέλεσμα αύξησης μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας σε συνδυασμό με την επίθεση αλλαγής των λιγότερο σημαντικών ψηφίων μετά τη συνένωση των δύο ανακτημένων υδατογραφημάτων

Όταν κάποιος επιχειρήσει να ελαττώσει τις διαστάσεις της υδατογραφημένης εικόνας διαγράφεται πλήρως ποσοστό των εικονοστοιχείων ίσο με το ποσοστό της μεταβολής της εικόνας. Έτσι αν μεταβάλουμε την παραπάνω εικόνα κατά 20%, ναι μεν μπορούμε να διακρίνουμε την πληροφορία από το εμφανώς παραποιημένο ανακτημένο υδατογράφημα, αλλά σε αρκετά σημεία του υδατογραφήματος αυτό είναι αδύνατον.

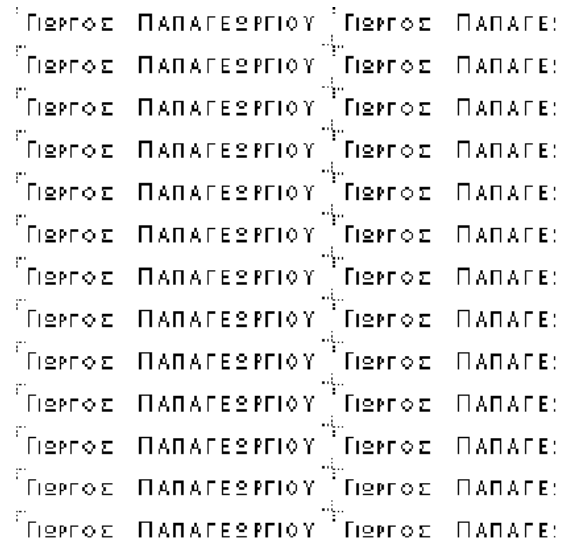


Σχήμα 3-27 Τμήματα ανακτημένων υδατογραφημάτων από την ίδια υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί η επίθεση της ελάττωσης των διαστάσεων της εικόνας είναι η χρήση ενός μεγαλύτερου σε μέγεθος υδατογραφήματος. Το PSNR είναι το ίδιο, ενώ και ο χρόνος που διαρκεί η ένθεση και ανάκτηση του υδατογραφήματος επίσης δεν μεταβάλλεται.



Σχήμα 3-29 Ανάκτηση υδατογραφήματος 151x20 pixels από υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%



Σχήμα 3-28 Ανάκτηση υδατογραφήματος 302x40 pixels από υδατογραφημένη εικόνα ελαττωμένη κατά 20%

Παραπάνω έγινε αναφορά τόσο στην αλλαγή του μεγέθους, όσο και στην παράλειψη κάποιου τμήματος της εικόνας. Αυτό που δεν αναφέραμε είναι η ενδεχόμενη περιστροφική απόκλιση της νέας εικόνας σε σχέση με την αρχική. Θεωρούμε δεδομένο ότι από την περιστροφή της υδατογραφημένης εικόνας προκύπτει εικόνα ίδιων διαστάσεων με την αρχική. Σε περίπτωση που

η πηγαία και η τελική εικόνα έχουν διαφορετικές διαστάσεις μπορούμε απλά να προσαρμόσουμε τη δεύτερη στις διαστάσεις της πρώτης.

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Abstract

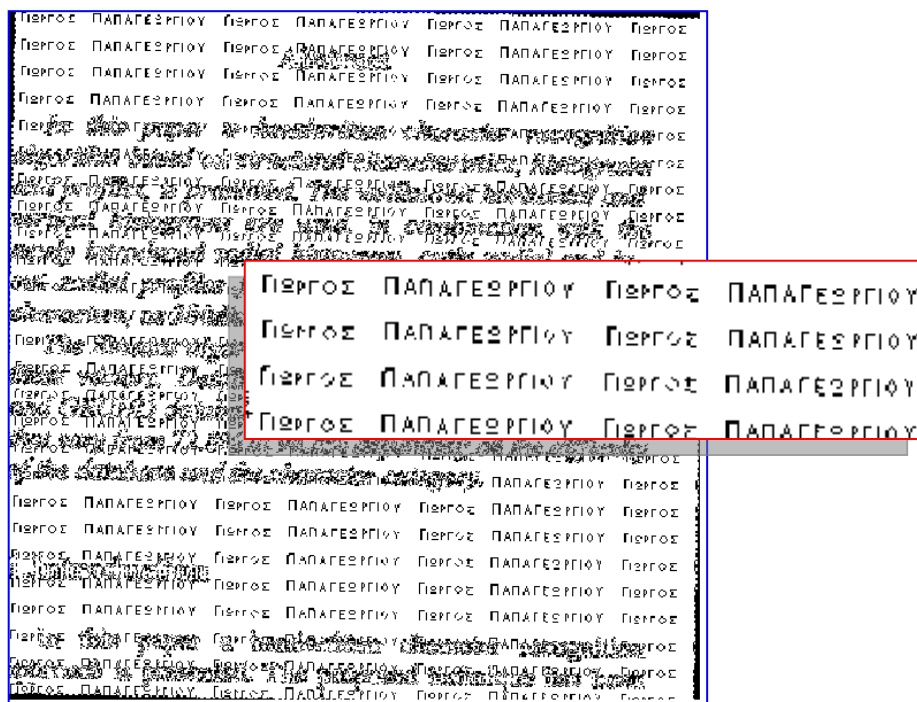
In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 3-30 Υδατογραφημένη εικόνα χωρίς περιστροφή και με μικρή περιστροφή



Σχήμα 3-31 Υδατογράφημα που προκύπτει από την εικόνα με περιστροφή

Μία μικρή περιστροφή της υδατογραφημένης εικόνας δεν καταστρέφει πλήρως την πληροφορία του υδατογραφήματος, αλλά μπορούμε εύκολα να την ανακτήσουμε. Από τη μελέτη της εικόνας του υδατογραφήματος που προκύπτει διαπιστώνουμε ότι με την περιστροφή εισάγεται θόρυβος

στο υδατογράφημα στα σημεία που υπήρχαν χαρακτήρες. Στις λευκές περιοχές της εικόνας του εγγράφου το υδατογράφημα ανακτάται σχεδόν ανέπαφο. Μάλιστα αν το υδατογράφημα που χρησιμοποιούμε έχει μεγαλύτερο μέγεθος η πληροφορία του υδατογραφήματος είναι περισσότερο εμφανής μετά την ανάκτησή του. Ένας τρόπος να βελτιωθεί ακόμα περισσότερο η ανακτημένη εικόνα είναι αν επιχειρήσουμε να μειώσουμε τη γωνία στρέψης του υδατογραφήματος στρέφοντάς το στην αντίθετη φορά. Δεν μεταβάλλεται η ποιότητα της εικόνας, αλλά το ανακτημένο υδατογράφημα έχει μεγαλύτερη ομοιότητα με το γνήσιο.

3.3 Προτεινόμενος αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που προτείνεται αποτελεί μια εξέλιξη του αλγόριθμου μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου της υδατογραφημένης εικόνας. Στόχος του είναι να εκμεταλλευτεί όλα τα πλεονεκτήματα της μεθόδου και παράλληλα να γίνει ανθεκτικός στις αδυναμίες της.

Όπως είδαμε παραπάνω η υλοποίηση του απλού αλγορίθμου έχει πολλά μειονεκτήματα εξαιτίας των μονοδιάστατων μεθόδων που εφαρμόζει. Η μεταβολή μόνο ενός ψηφίου σε μία συγκεκριμένη θέση σε κάθε εικονοστοιχείο καθιστά τον αλγόριθμο ευάλωτο σε επιθέσεις μεταβολής του συγκεκριμένου ψηφίου. Στην περίπτωση που ο επιτιθέμενος μετατρέψει το λιγότερο σημαντικό ψηφίο σε κάθε εικονοστοιχείο σε μία συγκεκριμένη τιμή, όχι μόνο το υδατογράφημα χάνεται πλήρως, αλλά ο επιτιθέμενος έχει τη δυνατότητα να εισάγει το δικό του υδατογράφημα. Έτσι, σε εφαρμογές όπου το υδατογράφημα ανακτάται με σκοπό την απόδειξη των πνευματικών δικαιωμάτων του συγγραφέα, αρκεί ο οποιοσδήποτε επιτιθέμενος να διαγράψει το γνήσιο υδατογράφημα μετατρέποντας όλα τα λιγότερο σημαντικά ψηφία της εικόνας του εγγράφου σε μονάδες ή μηδενικά και στη συνέχεια να εισάγει ένα δικό του υδατογράφημα που αναγράφει ως συγγραφέα κάποιον άλλο.

Ακόμα όμως και ο εναλλακτικός αλγόριθμος που προτάθηκε παραπάνω με τη μεταβολή των δύο τελευταίων ψηφίων εκ περιτροπής είναι επίσης αρκετά ευάλωτος σε επιθέσεις όπως η παραπάνω. Εύκολα μπορεί κάποιος να προβλέψει τη μέθοδο υδατογράφησης ανακτώντας το τμήμα του υδατογραφήματος που προκύπτει από τα λιγότερο σημαντικά ψηφία της υδατογραφημένης εικόνας και να το καταστρέψει ή να το αντικαταστήσει με κάποιο διαφορετικό.

3.3.1 Σκοπιμότητα προτεινόμενου αλγορίθμου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι στόχοι μίας εφαρμογής υδατογράφησης είναι η ανθεκτικότητα της υδατογραφημένης εικόνας, η διαφάνεια του υδατογραφήματος, η ακεραιότητα κατά την ανάκτησή του, η χωρητικότητά του σε πληροφορία και ένας συγκεκριμένος βαθμός ασφάλειας και πολυπλοκότητας. Όλα αυτά βέβαια εξαρτώνται από την σκοπιμότητα που έχει η εφαρμογή της τεχνικής υδατογράφησης και καθορίζονται σύμφωνα με αυτή. Η τεχνική που προτείνεται στην εργασία στοχεύει στα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Ανθεκτικότητα

Η ανθεκτικότητα όπως διαπιστώθηκε αποτελεί την «αχίλλειο πτέρνα» της τεχνικής υδατογράφησης με τη μέθοδο μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Ενώ παρουσιάζεται ιδιαίτερα ανθεκτική σε επιθέσεις που στοχεύουν τη χωρική διάσταση της υδατογραφημένης εικόνας, όπως η μεταβολή μεγέθους ή η κατάτμηση της εικόνας, είναι συνήθως αδύνατο να ανταπεξέλθει σε επιθέσεις που μεταβάλλουν την υφή της εικόνας και την ποιότητά της.

Ο σκοπός της προτεινόμενης εφαρμογής είναι να μη μπορεί οποιοσδήποτε επιτιθέμενος να αφαιρέσει το υδατογράφημα από την εικόνα με σκοπό να το αντικαταστήσει με κάποιο διαφορετικό εξυπηρετώντας δική του σκοπιμότητα. Παράλληλα η εφαρμογή στοχεύει στην αντιμετώπιση σε κάποιο βαθμό των επιθέσεων συμπίεσης. Βέβαια εξαιτίας της φύσης της τεχνικής που χρησιμοποιείται δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν ακραίες μεταβολές στην υδατογραφημένη εικόνα, αλλά θεωρούμε δεδομένο ότι η καταστροφή του υδατογραφήματος συνεπάγεται τη φθορά της εικόνας σε βαθμό που οποιοσδήποτε δεν θα μπορεί να ενθέσει κάποιο υδατογράφημα και να οδηγηθεί σε συγκεκριμένους ισχυρισμούς για την αρχική εικόνα.

Όσον αφορά την ανάκτηση του υδατογραφήματος, δεν προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου ξεχωριστού κλειδιού, καθώς το ίδιο το υδατογράφημα αποτελεί «κλειδί» για την πλήρη ανάκτησή του. Παράλληλα, όμως είναι δυνατόν να μπορούμε να διαβάσουμε την πληροφορία που περιέχει το υδατογράφημα, χωρίς να χρειάζεται να έχουμε γνώση του ίδιου του υδατογραφήματος. Σκοπός της τεχνικής είναι να μπορεί ο οποιοσδήποτε χρήστης να διαβάζει το περιεχόμενο του υδατογραφήματος χωρίς να προαπαιτείται κάποια ιδιαίτερη γνώση, ενώ όταν επιθυμεί κάποιος την πλήρη ανάκτηση του υδατογραφήματος θα πρέπει να έχει στην κατοχή του κάποιο αντίγραφο του.

Διαφάνεια

Η διαφάνεια αποτελεί έναν ακόμα στόχο της προτεινόμενης τεχνικής. Εφόσον μιλάμε για αόρατη υδατογράφιση θα πρέπει το υδατογράφημα σε κάθε περίπτωση να είναι διαισθητικά αόρατο χωρίς να υποβαθμίζεται η ποιότητα της εικόνας. Το βαθμό στον οποίο επιτυγχάνεται αυτό τον μετράμε με το συντελεστή PSNR και βασικός μας στόχος είναι να παραμένει όσο το δυνατόν υψηλότερος.

Αντίθετα, όχι μόνο δεν αποτελεί πρόβλημα η δυνατότητα κάποιας οντότητας με μερική χρήση του αλγορίθμου να μπορεί να αναγνώσει την πληροφορία του υδατογραφήματος, αλλά είναι ένας από τους βασικούς μας στόχους.

Ακεραιότητα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πλήρης ανάκτηση του υδατογραφήματος πρέπει να είναι αδύνατη για οποιονδήποτε χρήστη χωρίς να έχει στην κατοχή του το ίδιο το υδατογράφημα.

Ασφάλεια

Η ασφάλεια αποτελεί τον άξονα γύρω από τον οποίο περιστρέφεται και μεταλλάσσεται η προτεινόμενη τεχνική, καθώς λειτουργεί σε δύο διαφορετικά επίπεδα ασφαλείας. Στο πρώτο επίπεδο βρίσκεται ο απλός χρήστης που μπορεί με συγκεκριμένη επεξεργασία της εικόνας να διαβάσει το υδατογράφημα χωρίς όμως να έχει τη δυνατότητα διαγραφής ή ένθεσης νέου υδατογραφήματος. Στο δεύτερο επίπεδο βρίσκεται ο εξουσιοδοτημένος χρήστης, ο οποίος είτε είναι αυτός που δημιούργησε το υδατογράφημα και έχοντάς το στην κατοχή του μπορεί να το ανακτήσει από την εικόνα για να διατυπώσει συγκεκριμένους ισχυρισμούς, ή κάποιος που εξασφαλίζει την ιδιοκτησία της εικόνας του εγγράφου και με τη χρήση του υδατογραφήματος ως κλειδιού επαληθεύει τη γνησιότητα του αποστολέα της εικόνας.

Θεωρούμε ότι ο μη εξουσιοδοτημένος χρήστης δεν έχει πλήρη γνώση του κώδικα της προτεινόμενης εφαρμογής. Βέβαια είναι εφικτό μετά από σειρά πειραμάτων στην υδατογραφημένη εικόνα να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα για κάποιες από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται, αλλά και πάλι θα είναι αδύνατο να αφαιρέσει το υδατογράφημα και να το αντικαταστήσει με κάποιο διαφορετικό.

Πολυπλοκότητα

Η τεχνική που χρησιμοποιούμε για τη μέτρηση της πολυπλοκότητας της προτεινόμενης μεθόδου είναι η μέτρηση του χρόνου που διαρκούν οι διαδικασίες ένθεσης και ανάκτησης των υδατογραφημάτων. Στόχος της τεχνικής που παρουσιάζουμε είναι ο χρόνος που διαρκεί η ανάκτηση της πληροφορίας του υδατογραφήματος να είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με το χρόνο που διαρκεί η υδατογράφιση και η πλήρης ανάκτηση του γνήσιου υδατογραφήματος.

Χωρητικότητα

Η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να περιέχονται σε ένα υδατογράφημα είναι το βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής υδατογράφισης με τη μέθοδο αντικατάστασης του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Αυτή την ιδιότητα επιθυμούμε να διατηρήσουμε και στην προτεινόμενη εφαρμογή.

3.3.2 Χαρακτηριστικά προτεινόμενου αλγορίθμου

Κατά την πειραματική μελέτη του αλγορίθμου μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου και των διάφορων παραλλαγών του, καταλήξαμε σε κάποιες διαπιστώσεις σχετικά με τη λειτουργικότητά του. Καταρχήν είδαμε ότι οι μετατροπές των τεσσάρων από τα οκτώ λιγότερο σημαντικά ψηφία είναι ανεπαίσθητη στο γυμνό μάτι. Παράλληλα είδαμε ότι η μεγαλύτερη απειλή στον αλγόριθμο πραγματοποιείται με την ομοιόμορφη σε όλα τα εικονοστοιχεία αλλαγή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου ή και του δεύτερου λιγότερο σημαντικού.

Η χρήση ενός αλγορίθμου όπως ο αλγόριθμος «εκ περιτροπής» μεταβολής των δύο τελευταίων ψηφίων, που παρουσιάστηκε παραπάνω, ενώ είναι ανθεκτικός στην απλή μορφή των

περισσότερων επιθέσεων, ένας απλός χρήστης μπορεί πειραματικά να αποκρυπτογραφήσει τον αλγόριθμο και στη συνέχεια έχει τη δυνατότητα ακόμα και να προσθέτει δικά του υδατογραφήματα χωρίς να γίνεται καν αντιληπτός.

Αυτό που χρειαζόμαστε συνεπώς είναι ένας αλγόριθμος ισχυρός σε επιθέσεις μετατροπής των δύο τελευταίων ψηφίων, απλής επεξεργασίας εικόνας, όπως μετατροπής μεγέθους, περιστροφής, κατάτμησης, που να είναι αδύνατο στο χρήστη να τον αποκρυπτογραφήσει, χωρίς να απαιτούνται πολύπλοκες επεξεργαστικές δυνατότητες και σύνθετες διεργασίες. Ο αλγόριθμος που προτείνεται πραγματοποιεί όλα τα παραπάνω σε μεγάλο βαθμό, ενώ έχει πολλές δυνατότητες εξέλιξης και αναπροσαρμογής, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος βασίζεται στην ιδιότητα των τεσσάρων λιγότερο σημαντικών ψηφίων να μην επηρεάζουν σημαντικά το οπτικό αποτέλεσμα του κάθε εικονοστοιχείου. Συγκεκριμένα μεταβάλλουμε σύμφωνα με κάποια σειρά που προκύπτει από το υδατογράφημα ένα από τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου, με σκοπό να ενσωματώσουμε χωρικά στην εικόνα το υδατογράφημα πολλαπλές φορές.

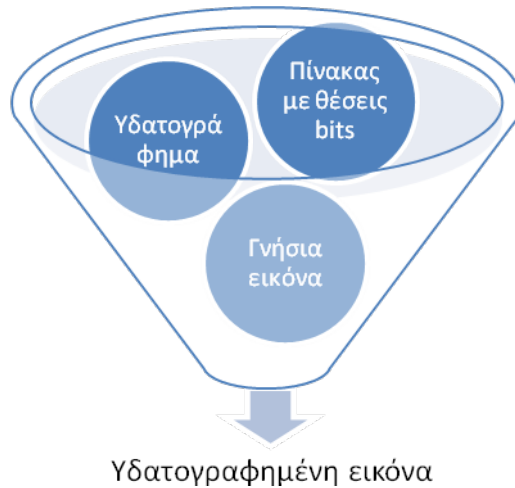
Αν υπολογίσουμε με απλά μαθηματικά η μετατροπή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου μπορεί να προκαλέσει μεταβολή του χρώματος σε ένα εικονοστοιχείο περίπου κατά 0,4%, η μετατροπή του τέταρτου λιγότερο σημαντικού ψηφίου μεταβάλλει το χρώμα κατά 6,25%, ενώ τα δύο ενδιάμεσα ψηφία βρίσκονται στο 0,78% και στο 1,56%. Έτσι λοιπόν στην κλίμακα των 256 αποχρώσεων του γκρι μία μέση μεταβολή της τάξης του 2,24% που προκύπτει από τα παραπάνω, μετακινεί περίπου κατά 6 θέσεις στις 256 την απόχρωση του κάθε εικονοστοιχείου. Αν μάλιστα δώσουμε επιπλέον βαρύτητα στα δύο ενδιάμεσα ψηφία, δηλαδή στο δεύτερο και στο τρίτο λιγότερο σημαντικά, ο αριθμός αυτός μπορεί να μειωθεί σε πέντε ή και τέσσερις θέσεις κατά μέσο όρο, κάτι που μακροσκοπικά δεν είναι εύκολα αντιληπτό στο γυμνό ανθρώπινο μάτι.

Όπως ο απλός αλγόριθμος μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, έτσι και ο προτεινόμενος αλγόριθμος λειτουργεί σε δύο διαφορετικά στάδια. Το στάδιο της ένθεσης του υδατογραφήματος και σε αυτό της ανάκτησής του από την υδατογραφημένη εικόνα. Στη συνέχεια θα αναλυθεί το κάθε στάδιο ξεχωριστά και θα παρουσιαστεί η πειραματική λειτουργία του αλγορίθμου για διαφορετικά μεγέθη και είδη εικόνων εγγράφων.

3.3.3 Βήματα προτεινόμενου αλγορίθμου ένθεσης

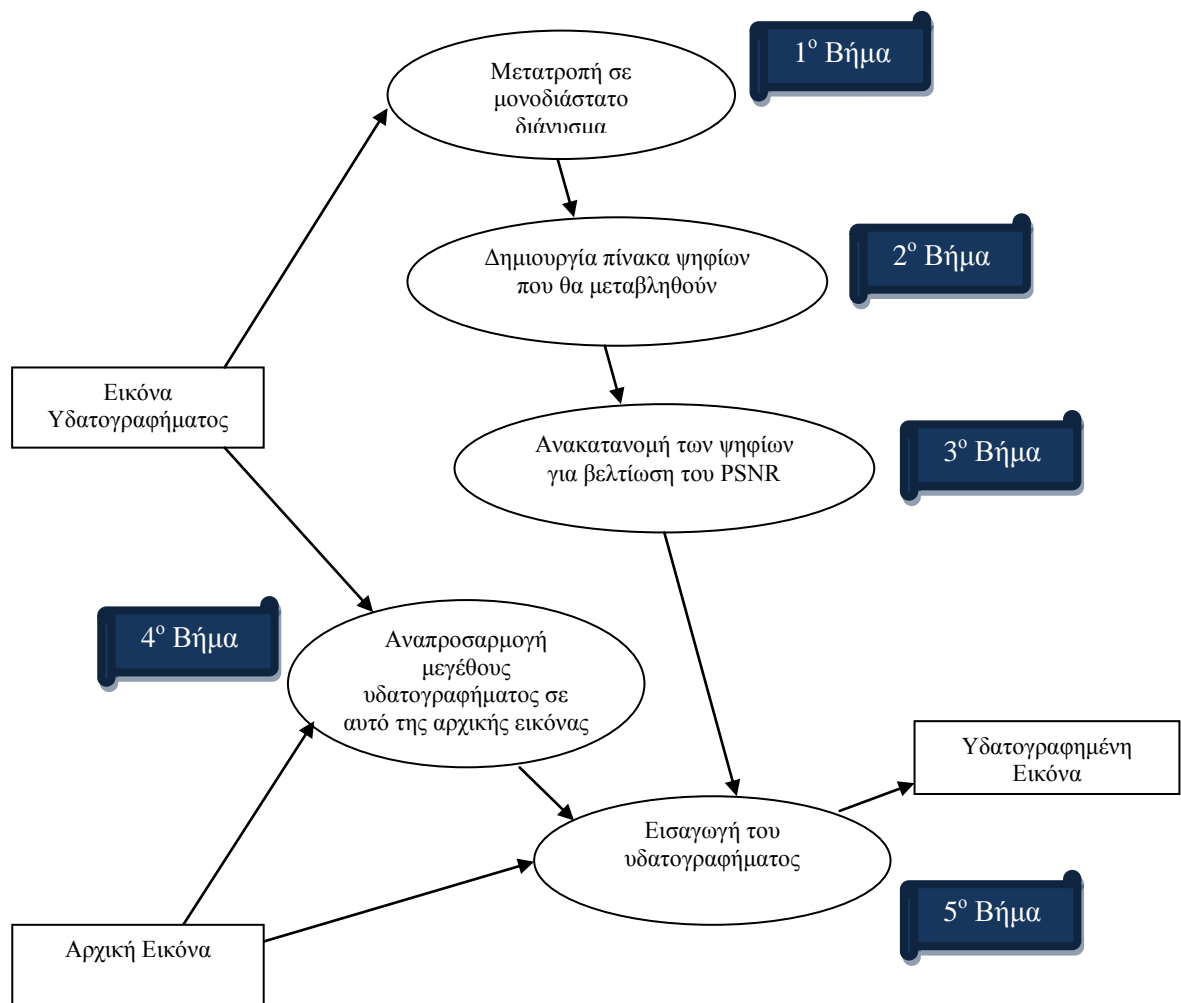
Ο αλγόριθμος ένθεσης του υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο λειτουργεί έχοντας ως είσοδο:

- την αρχική γνήσια εικόνα του εγγράφου
- μία εικόνα μικρότερων διαστάσεων που περιέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος και
- έναν πίνακα με τις θέσεις των ψηφίων που μεταβάλλουμε σε κάθε εικονοστοιχείο



Σχήμα 3-32 Ένθεση υδατογραφήματος με την προτεινόμενη τεχνική

Η εικόνα του εγγράφου βρίσκεται στην κλίμακα του γκρι και έχει βάθος χρώματος οκτώ ψηφίων. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου δεν επηρεάζεται σημαντικά αν μεταβάλλουμε διάφορα χαρακτηριστικά της εικόνας, όπως τις διαστάσεις της ή την κατανομή των χρωμάτων στα διάφορα εικονοστοιχεία. Δηλαδή, είτε χρησιμοποιήσουμε εικόνα 512x512 εικονοστοιχείων ή σελίδα A4, εφόσον το υδατογράφημα είναι μικρότερο από τις διαστάσεις της εικόνας μπορεί να ανακτηθεί, ακόμα και μετά από διάφορες παραποιήσεις της υδατογραφημένης εικόνας. Αντίθετα μεταβάλλονται χαρακτηριστικά της διαδικασίας όπως ο χρόνος που διαρκεί ή ο βαθμός που το αποτέλεσμα είναι ορατό στο χρήστη.



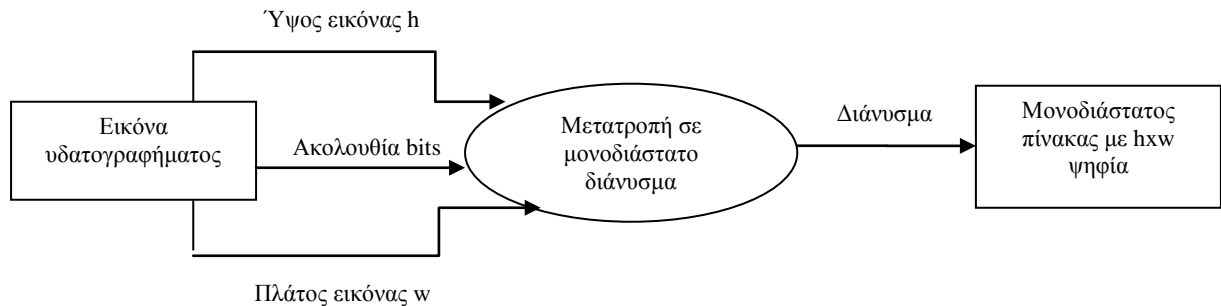
Σχήμα 3-33 Βήματα ένθεσης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο

Η εικόνα που περιέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος είναι μία δυαδική εικόνα, δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο έχει δύο μόνο τιμές μηδέν ή ένα, που μεταφράζονται σε λευκό ή μαύρο. Δεν μας ενδιαφέρει η χρήση μίας περισσότερο σύνθετης εικόνας ως υδατογράφημα, καθώς σε κάθε περίπτωση αυτό που επιθυμούμε είναι η ανάκτηση της πληροφορίας που απεικονίζει. Όπως θα δούμε και παρακάτω η εικόνα του υδατογραφήματος έχει βέλτιστη συμπεριφορά και μεγαλύτερη αντοχή σε επιθέσεις, όταν στο σύνολο των εικονοστοιχείων της δεν επικρατεί συντριπτικά κάποιο από τα δύο χρώματα. Έτσι κατά τη δημιουργία του υδατογραφήματος προτιμάμε τα λευκά και τα μαύρα εικονοστοιχεία της εικόνας να είναι μοιρασμένα.

Έξοδος του αλγορίθμου ένθεσης είναι μία εικόνα εγγράφου, που έχει τις ίδιες διαστάσεις με την αρχική εικόνα, και στα τέσσερα τελευταία εικονοστοιχεία του κάθε εικονοστοιχείου εμπεριέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος χωρίς να είναι αισθητή σε κάποιο παρατηρήτη με γυμνό μάτι.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα διάφορα στάδια του αλγορίθμου και η σειρά με την οποία εφαρμόζονται μέχρι την εξαγωγή της υδατογραφημένης εικόνας.

Βήμα 1^ο : Μετατροπή εικόνας σε μονοδιάστατο διάνυσμα



Σχήμα 3-34 Μετατροπή εικόνας σε μονοδιάστατο διάνυσμα

Στο πρώτο στάδιο του αλγορίθμου πραγματοποιείται κάποια επεξεργασία στην εικόνα που περιέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος. Καταρχήν, αφού λάβουμε τις διαστάσεις της εικόνας την μετατρέπουμε σε ένα μονοδιάστατο διάνυσμα. Αν δηλαδή ότι έχουμε μία εικόνα 20x50 εικονοστοιχείων, τότε ο πίνακας που θα προκύψει είναι ένας μονοδιάστατος δυαδικός πίνακας με χίλια ψηφία. Κατά την μετατροπή της εικόνας σε διάνυσμα διαβάζονται τα εικονοστοιχεία κατά στήλες, ξεκινώντας από το πρώτο εικονοστοιχείο που βρίσκεται πάνω αριστερά στην εικόνα, όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3-35 Σειρά με την οποία επιλέγουμε τα εικονοστοιχεία για την μετατροπή της εικόνας σε μονοδιάστατο διάνυσμα

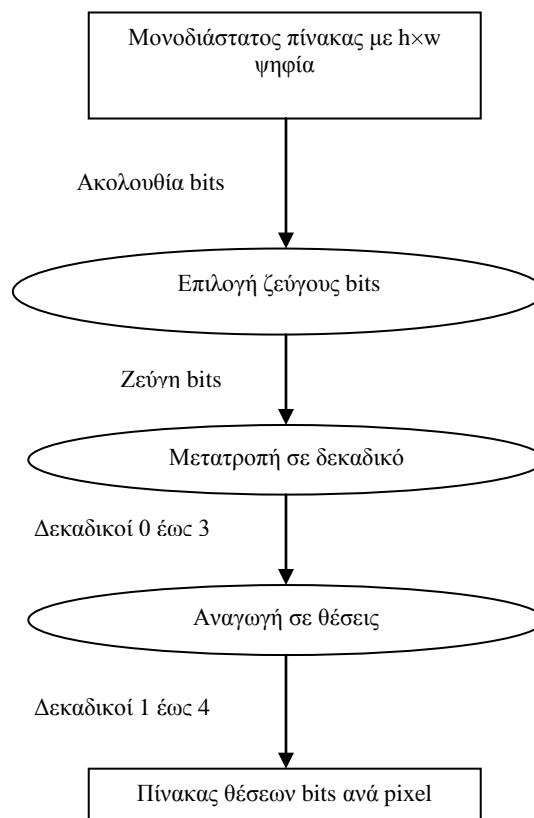
Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε ένα υδατογράφημα χωρίς σύνθετη πληροφορία, αλλά μας βοηθάει στην κατανόηση της μεθοδολογίας που ακολουθείται. Έτσι έχουμε ένα υδατογράφημα 4x4 εικονοστοιχείων, στο οποίο οκτώ εικονοστοιχεία είναι μαύρα και οκτώ λευκά. Όταν

εισάγουμε την εικόνα του στον προτεινόμενο αλγόριθμο, σε πρώτη φάση θα αποθηκεύσει σε μεταβλητές τις δύο διαστάσεις, ύψος και πλάτος. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει η μετατροπή της εικόνας σε έναν μονοδιάστατο πίνακα $4 \times 4 = 16$ ψηφίων, ο οποίος θα έχει την ακόλουθη μορφή:

Πίνακας_υδατογραφήματος = [1,0,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1,0,0,1,0]

Πλέον έχουμε τη δυνατότητα να επεξεργαστούμε τα συγκεκριμένα ψηφία με τέτοιον τρόπο, ώστε να δημιουργήσουμε κάποιο κλειδί που θα προσδιορίζει το συγκεκριμένο υδατογράφημα μονοσήμαντα. Υπάρχουν πολλοί ήδη υλοποιημένοι αλγόριθμοι κωδικοποίησης που θα μπορούσαν να επεξεργαστούν τα ψηφία του συγκεκριμένου πίνακα και η χρήση τους είναι επιτακτική σε εφαρμογές που επιθυμούμε μεγάλο επίπεδο ασφάλειας, ωστόσο στην προκειμένη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε έναν πολύ απλό αλγόριθμο, έτσι ώστε να μην αυξηθεί η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου.

Βήμα 2^ο : Δημιουργία πίνακα ψηφίων που θα μεταβληθούν



Σχήμα 3-36 Δημιουργία πίνακα ψηφίων που θα μεταβληθούν

Αφού έχουμε δημιουργήσει το μονοδιάστατο δυαδικό πίνακα, χρησιμοποιούμε την παραγόμενη πληροφορία για να επιλέξουμε σε ποιο από τα τέσσερα τελευταία ψηφία θα ενσωματώσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω δεν επιλέγουμε μια σύνθετη

μέθοδο κωδικοποίησης των ψηφίων του πίνακα για λόγους πολυπλοκότητας, αλλά απλά λαμβάνουμε ανά δύο τα ψηφία με τη σειρά που τα συναντάμε στον πίνακα. Κάθε ζευγάρι δυαδικών αριθμών αρκεί για να απεικονίσει μία από τις τέσσερις θέσεις στην ο $\pi\acute{\alpha}$ θα ενσωματώσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος σε κάθε εικονοστοιχείο. Ο πίνακας που δημιουργείται είναι επίσης μονοδιάστατος, αλλά πλέον το μέγεθός του είναι το μισό από πριν, δηλαδή: $size = \frac{h \times w}{2}$, όπου h είναι το ύψος της εικόνας του υδατογραφήματος και w το πλάτος της.

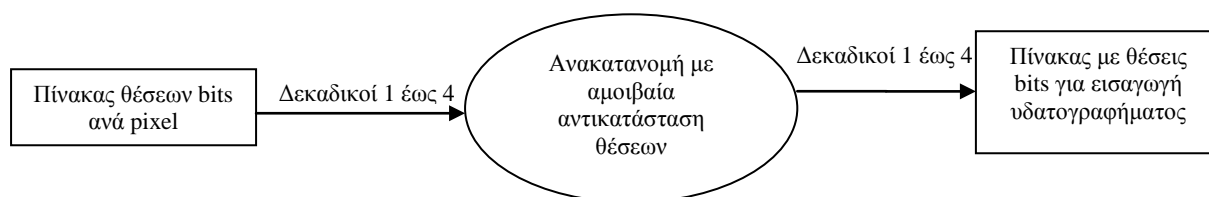
Στην περίπτωση του παραπάνω παραδείγματος, ο πίνακας μπορεί να χωριστεί στα παρακάτω ζευγάρια:

$$\begin{aligned} \text{Πίνακας_υδατογραφήματος} &= [1,0,1,1,0,1,0,0,1,1,0,1,0,0,1,0] = \\ &= (1,0),(1,1),(0,1),(0,0),(1,1),(0,1),(0,0),(1,0) = \\ &= 10,11,01,00,11,01,00,10 = 2, 3, 1, 0, 3, 1, 0, 2 \end{aligned}$$

Δεδομένου ότι οι θέσεις στις οποίες ενθέτουμε το υδατογράφημα αναφέρονται στα ψηφία στις θέσεις 1,2,3 και 4, ανάγουμε τις τιμές που προέκυψαν από τον πίνακα στις επιθυμητές τιμές. Αυτό θα μπορούσε να υλοποιηθεί αν προσθέταμε μία μονάδα σε κάθε στοιχείο του πίνακα. Εμείς ωστόσο επιλέγουμε να αφαιρέσουμε την τιμή που προκύπτει από το τέσσερα, περιπλέοντας σε κάποιο βαθμό τον αλγόριθμο χωρίς να αυξάνουμε καθόλου την πολυπλοκότητά του. Έτσι, μετά την αφαίρεση προκύπτει ο πίνακας με τις θέσεις των ψηφίων που θα μετατρέψουμε στην αρχική εικόνα σύμφωνα με τις τιμές των ψηφίων του υδατογραφήματος. Ο πίνακας στον οποίο καταλήγουμε είναι ο παρακάτω:

$$\text{Πίνακας_υδατογραφήματος} = 4 - [2, 3, 1, 0, 3, 1, 0, 2] = [2, 1, 3, 4, 1, 3, 4, 2]$$

Βήμα 3^ο: Ανακατανομή των ψηφίων για βελτίωση του PSNR



Σχήμα 3-37 Ανακατανομή των ψηφίων για βελτίωση του PSNR

Στο προηγούμενο βήμα καταλήξαμε σε έναν πίνακα που θα μπορούσε να είναι ο τελικός πίνακας που χρησιμοποιούμε για την ένθεση του υδατογραφήματος. Ωστόσο, έπειτα από πειραματική μελέτη, εμφανίζεται ένα εμπόδιο, το οποίο σχετίζεται με τη φύση της εικόνας του υδατογραφήματος. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω βλέπουμε ότι τα ψηφία στα οποία έχουμε καταλήξει έχουν την ιδανική ομοιόμορφη κατανομή, καθώς έχουμε δύο εμφανίσεις

και για τις τέσσερις θέσεις ψηφίων. Σε ένα υδατογράφημα όμως που περιέχει κείμενο η πλειοψηφία των εικονοστοιχείων απεικονίζει το μονόχρωμο φόντο, ενώ επίσης μεγάλος αριθμός εικονοστοιχείων έχουν διαδοχικά ίδιο χρώμα απεικονίζοντας το κείμενο. Έτσι προκύπτει ένα αρχικό μονοδιάστατο δυαδικό διάνυσμα που περιέχει μεγάλο αριθμό από διαδοχικές μονάδες και μηδενικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα με την υλοποίηση της παραπάνω τεχνικής να οδηγηθούμε στην ένθεση των περισσότερων ψηφίων του υδατογραφήματος στο πρώτο και στο τέταρτο εικονοστοιχείο. Αυτό το γεγονός καθιστά το υδατογράφημα περισσότερο ευάλωτο στις συνήθεις επιθέσεις μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, ενώ εξαιτίας των αυξημένων εικονοστοιχείων που έχουν υποστεί μεταβολή στο τέταρτο λιγότερο σημαντικό ψηφίο, μειώνεται αρκετά ο συντελεστής PSNR, η ένθεση του υδατογραφήματος επηρεάζει περισσότερο την εικόνα και πλέον μπορεί να είναι αισθητή η μεταβολή.

Για το σκοπό αυτό προτείνεται η ανακατανομή των ψηφίων που θα μετατραπούν με τέτοιο τρόπο, ώστε τα περισσότερα εικονοστοιχεία που θα μεταβληθούν να βρίσκονται στη δεύτερη και στην τρίτη λιγότερο σημαντική θέση. Η παραπάνω κατανομή μπορεί να γίνει με σύνθετες πράξεις, αφού μετρήσουμε το σύνολο των διαφορετικών θέσεων. Ωστόσο, πρόκειται για μία διαδικασία που επίσης αυξάνει την πολυπλοκότητα και προτείνεται να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις χρήσης του αλγορίθμου για εφαρμογές αυξημένης ασφάλειας. Ένας απλός τρόπος για να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα είναι η αμοιβαία αντικατάσταση της θέσης του λιγότερο σημαντικού ψηφίου με αυτή του τρίτου λιγότερο σημαντικού, και αντίστοιχα της θέσης του δεύτερου λιγότερο σημαντικού ψηφίου με αυτή του τέταρτου.

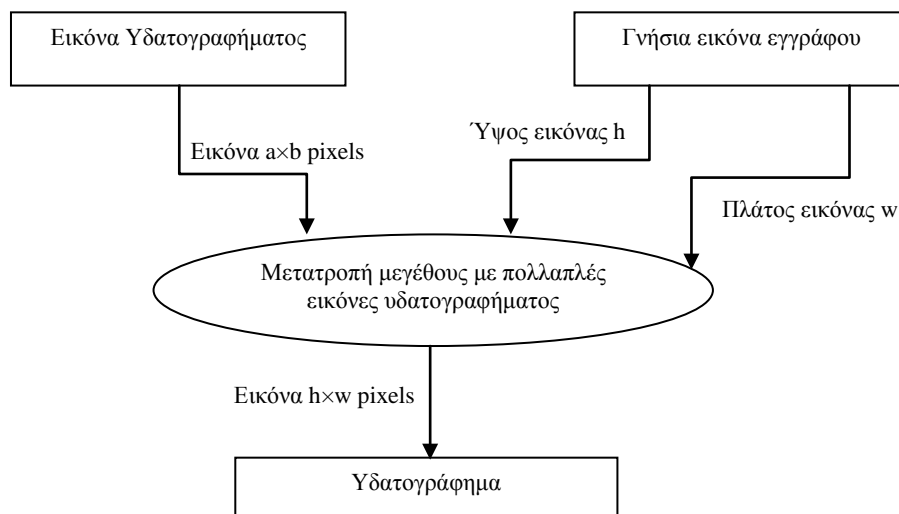
Έτσι αν για παράδειγμα από το δεύτερο βήμα είχαμε οδηγηθεί στον παρακάτω πίνακα,

$$\text{Πίνακας_υδατογραφήματος} = [1, 1, 3, 4, 4, 4, 4, 2]$$

όπου έχουμε τέσσερις τέταρτες θέσεις, δύο πρώτες και από μία δεύτερη και τρίτη, θα καταλήξουμε σε έναν πίνακα, που θα έχουμε τέσσερις δεύτερες θέσεις, δύο τρίτες και από μία πρώτη και τέταρτη, όπως ο πίνακας που ακολουθεί:

$$\text{Πίνακας_υδατογραφήματος} = [3, 3, 1, 2, 2, 2, 2, 4]$$

Βήμα 4^ο: Αναπροσαρμογή μεγέθους υδατογραφήματος σε αυτό της αρχικής εικόνας



Σχήμα 3-38 Αναπροσαρμογή μεγέθους υδατογραφήματος σε αυτό της αρχικής εικόνας

Με την ολοκλήρωση του τρίτου βήματος του προτεινόμενου αλγορίθμου κλείνει ο κύκλος επεξεργασίας του αρχικού υδατογραφήματος με σκοπό τον προσδιορισμό των θέσεων των ψηφίων στα οποία θα εισάγουμε το υδατογράφημα σε κάθε εικονοστοιχείο. Τα επόμενα βήματα έχουν να κάνουν με την επεξεργασία της εικόνας που περιέχει την πληροφορία του υδατογραφήματος, της αρχικής εικόνας του εγγράφου και την ενσωμάτωση της πρώτης στη δεύτερη βάσει όσων έχουν πραγματοποιηθεί στα προηγούμενα βήματα.

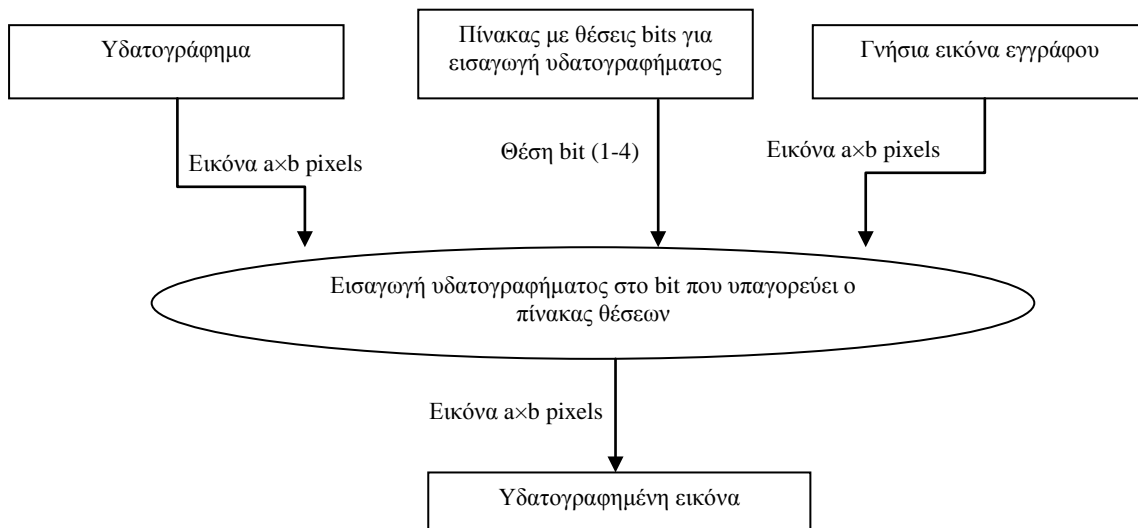
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εικόνα του εγγράφου πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του υδατογραφήματος. Βέβαια, ένας αλγόριθμος μετατροπής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου μπορεί να εισάγει στην εικόνα ένα δυαδικό υδατογράφημα μεγέθους έως και ίδιου με την εικόνα. Ωστόσο αυτό έχει ως συνέπεια την απώλεια του υδατογραφήματος σε περίπτωση οποιασδήποτε μεταβολής στα χαρακτηριστικά της εικόνας και βέβαια αυξάνονται οι πιθανότητες να είναι ορατό. Αντίθετα η χρήση ενός υδατογραφήματος πολύ μικρότερων διαστάσεων από αυτές της εικόνας καθιστά τη μέθοδο πιο ανθεκτική σε επιθέσεις και ευνοεί την αορατότητά του.

Σκοπός του τέταρτου βήματος του αλγορίθμου είναι να μετατρέψει το υδατογράφημα που εισάγουμε με τέτοιο τρόπο, ώστε να «απλωθεί» στην επιφάνεια της αρχικής εικόνας του εγγράφου. Για να γίνει αυτό πρέπει το υδατογράφημα που εισάγουμε να αποκτήσει τις ίδιες διαστάσεις με την αρχική εικόνα, αντιγράφοντας τον εαυτό του πολλαπλές φορές, με τον τρόπο που βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3-39 Η εικόνα του υδατογραφήματος αποκτά τις διαστάσεις της εικόνας του εγγράφου

Βήμα 5^ο: Εισαγωγή του υδατογραφήματος



Σχήμα 3-40 Εισαγωγή του υδατογραφήματος

Στα τρία πρώτα βήματα του αλγόριθμου ένθεσης του υδατογραφήματος με την προτεινόμενη τεχνική δημιουργήσαμε έναν χάρτη, ο οποίος καταδεικνύει σε ποιο ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου θα προσθέσουμε το υδατογράφημα. Στο τέταρτο βήμα δημιουργήσαμε το υδατογράφημα το οποίο θα ενθέσουμε στην εικόνα του εγγράφου με τη βοήθεια αυτού του χάρτη. Στο πέμπτο και τελευταίο βήμα του αλγόριθμου χρησιμοποιούμε τα παράγωγα που έχουμε

έως τώρα από τα προηγουμένα βήματα για να συνθέσουμε μία εικόνα, η οποία ενώ δεν θα διαφέρει από την αρχική, θα μπορούμε να εξάγουμε από αυτή την πληροφορία του υδατογραφήματος.

Ως είσοδο στο τελευταίο αυτό βήμα του αλγορίθμου έχουμε τη γνήσια εικόνα του εγγράφου, την εικόνα του υδατογραφήματος επεξεργασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχει τις ίδιες διαστάσεις με την εικόνα, καθώς και τον πίνακα με τις θέσεις των ψηφίων του κάθε εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας, στις οποίες θα ενθέσουμε το υδατογράφημα.

Ενώ όμως οι διαστάσεις του υδατογραφήματος και της εικόνας του εγγράφου είναι όμοιες, ο πίνακας με τις θέσεις των ψηφίων για την εισαγωγή του υδατογραφήματος δεν αρκεί για να καλύψει το αριθμό των εικονοστοιχείων της κάθε εικόνας. Για παράδειγμα, έστω ότι επιχειρούμε να ενθέσουμε ένα υδατογράφημα διαστάσεων 400×20 εικονοστοιχείων σε μία εικόνα 1200×1600 εικονοστοιχείων. Σε αυτή την περίπτωση το μέγεθος του πίνακα που σχηματίζεται ισούται με:

$$\text{Μέγεθος_πίνακα} = \frac{400 \times 20}{2} = 4000, \text{ δηλαδή περιέχει τις θέσεις στις οποίες θα ενθέσουμε}$$

4000 εικονοστοιχεία του υδατογραφήματος, ενώ η συνολική εικόνα περιέχει $1.200 \cdot 1.600 = 1.920.000$ εικονοστοιχεία.

Συνεπώς εμφανίζεται άλλη μία ιδιαιτερότητα του προτεινόμενου αλγορίθμου, που έχει να κάνει με τον τρόπο που θα ακολουθείται ο πίνακας με τις θέσεις των ψηφίων. Μία ιδέα που θα μπορούσε εύκολα να εφαρμοστεί, αυξάνοντας όμως σε κάποιο βαθμό την πολυπλοκότητα, είναι να αντιστρέφουμε κάθε φορά τον τρόπο με τον οποίο διαβάζουμε τον πίνακα. Δηλαδή αν στο παραπάνω παράδειγμα φτάσουμε στο 4000° εικονοστοιχείο που συμπίπτει με το τελευταίο αριθμό του πίνακα, μπορούμε στο 4001° να πάμε στο 3999° του πίνακα και ούτω καθεξής μέχρι να φτάσουμε ξανά στο πρώτο στοιχείο του πίνακα, οπότε και να ξεκινήσουμε πάλι την αρίθμηση από την αρχή. Πρόκειται για μια λύση σχετικά αυξημένης πολυπλοκότητας, η οποία όμως προσδίδει μεγαλύτερη ασφάλεια στην εφαρμογή. Στον αλγόριθμο που παρουσιάζουμε παρακάτω μόλις φτάσουμε στο τελευταίο αριθμό του πίνακα με τις θέσεις των ψηφίων απλά μηδενίζουμε κάποιο μετρητή και ξεκινάμε πάλι να διαβάζουμε τον πίνακα από την αρχή.

Αφού λοιπόν έχουμε καθορίσει τον τρόπο που «διαβάζουμε» τον πίνακα με τις θέσεις μπορούμε να καταλήξουμε στον τρόπο που λειτουργεί ο αλγόριθμος, χρησιμοποιώντας τις τρεις εισόδους. Καταρχήν διαβάζει το πρώτο εικονοστοιχείο του υδατογραφήματος που είναι μηδέν ή ένα. Στη συνέχεια διαβάζει το πρώτο στοιχείο του πίνακα που είναι ένας αριθμός n από το ένα έως το τέσσερα. Τέλος διαβάζει το πρώτο εικονοστοιχείο της εικόνας του εγγράφου που είναι ένας δψήφιος δυαδικός αριθμός και μεταβάλλει το n -οστό λιγότερο σημαντικό ψηφίο του αριθμού στην τιμή του αντίστοιχου ψηφίου του υδατογραφήματος που διάβασε προηγουμένως. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να φτάσουμε στο τελευταίο εικονοστοιχείο της εικόνας, οπότε και ολοκληρώνεται η διαδικασία ένθεσης του υδατογραφήματος στην εικόνα του εγγράφου. Σαν έξοδο στον αλγόριθμο ένθεσης έχουμε μια νέα εικόνα ίδιων διαστάσεων με την αρχική, η οποία δεν διαφέρει εμφανισιακά από την αρχική εικόνα.

3.3.4 Βήματα προτεινόμενου αλγορίθμου ανάκτησης

Για την ανάκτηση της πληροφορίας του υδατογραφήματος από την υδατογραφημένη εικόνα του εγγράφου προτείνονται δύο διαφορετικές τεχνικές, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία

χρησιμοποιείται ο προτεινόμενος αλγόριθμος. Όπως είδαμε παραπάνω, κατά την ένθεση του υδατογραφήματος, χρησιμοποιούμε το ίδιο το υδατογράφημα ως «κλειδί» για την επιλογή των ψηφίων του κάθε εικονοστοιχείου που θα μετατρέψουμε σύμφωνα με το υδατογράφημα. Αντίστοιχα, έχοντας γνώση του ίδιου κλειδιού μπορούμε να ανακτήσουμε αυτούσιο το αρχικό υδατογράφημα.

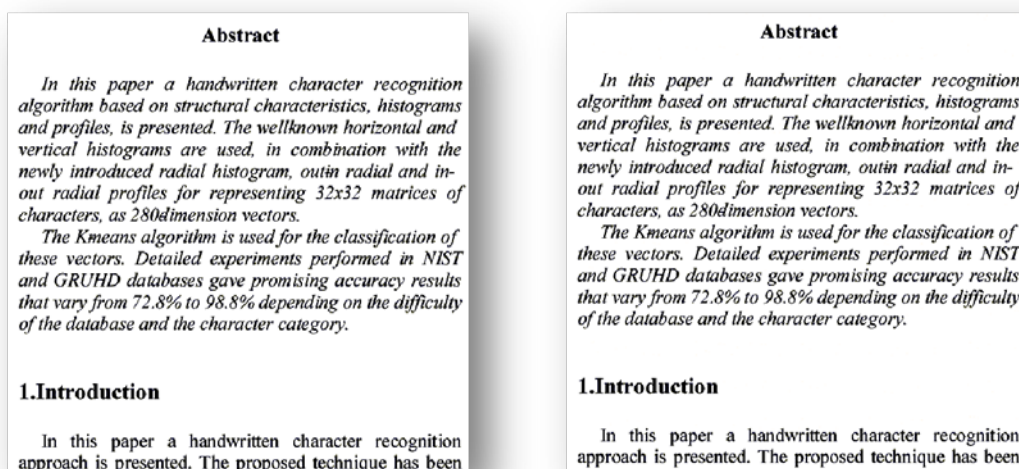
Ωστόσο, σε πολλές εφαρμογές υδατογράφησης, επιθυμούμε ο απλός χρήστης να μπορεί να διαβάσει την πληροφορία του υδατογραφήματος χωρίς να έχει προηγούμενη γνώση του υδατογραφήματος ή να έχει στην κατοχή του τη γνήσια εικόνα. Για το σκοπό αυτό προτείνεται και μία δεύτερη τεχνική ανάκτησης που πληροί τις προϋποθέσεις αυτές.

Τεχνική ανάκτησης χωρίς τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, ένας απλός χρήστης μπορεί να ανακτήσει την πληροφορία του υδατογραφήματος από μία υδατογραφημένη εικόνα εγγράφου χωρίς να έχει προηγούμενη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσής του. Ο αλγόριθμος αυτός είναι πολύ απλός και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι κατά την ένθεση επεξεργαζόμαστε τα 4 λιγότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου, καθώς και ότι κάθε εικόνα εγγράφου περιέχει στο φόντο μεγάλα τμήματα στα οποία δεν μεταβάλλονται σημαντικά οι αποχρώσεις.

Συγκεκριμένα, μεταβάλλουμε ομοίμορφα τα τέσσερα περισσότερο σημαντικά ψηφία της υδατογραφημένης εικόνας. Δηλαδή, ένα εικονοστοιχείο που έχει την τιμή 01001100 μετατρέπεται είτε σε 11111100 αν μετατρέψουμε τα τέσσερα περισσότερο σημαντικά ψηφία σε 1 ή 00001100 αν τα μετατρέψουμε σε μηδέν. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα εικονοστοιχεία στα οποία υπάρχει κείμενο εξακολουθούν να είναι ορατά στην εικόνα, ενώ στα λευκά σημεία της εικόνας το υδατογράφημα είναι ορατό και μπορούμε να διαβάσουμε την πληροφορία που περιέχει.

Έτσι αν ενθέσουμε το υδατογράφημα σε εικόνα μεγέθους A4 και διαστάσεων 1042x242 και στη συνέχεια επιχειρήσουμε την ανάκτηση του υδατογραφήματος με τη μέθοδο που περιγράφεται παραπάνω έχουμε το αποτέλεσμα που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:



Σχήμα 3-41 Εικόνα πριν και μετά την ένθεση του υδατογραφήματος

Στις πάνω εικόνες βλέπουμε την ίδια εικόνα πριν και μετά την ένθεση του υδατογραφήματος με τον προτεινόμενο αλγόριθμο, ενώ στις εικόνες κάτω βλέπουμε την αποκάλυψη του υδατογραφήματος όταν μετατρέψουμε ομοιόμορφα τα τέσσερα περισσότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας.

ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
Abstract
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
 In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outer radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.
 The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1. Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 3-43 Ανάκτηση υδατογραφήματος με μετατροπή των τεσσάρων πρώτων ψηφίων σε μηδέν

ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
Abstract
 ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ
 In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outer radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.
 The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1. Introduction

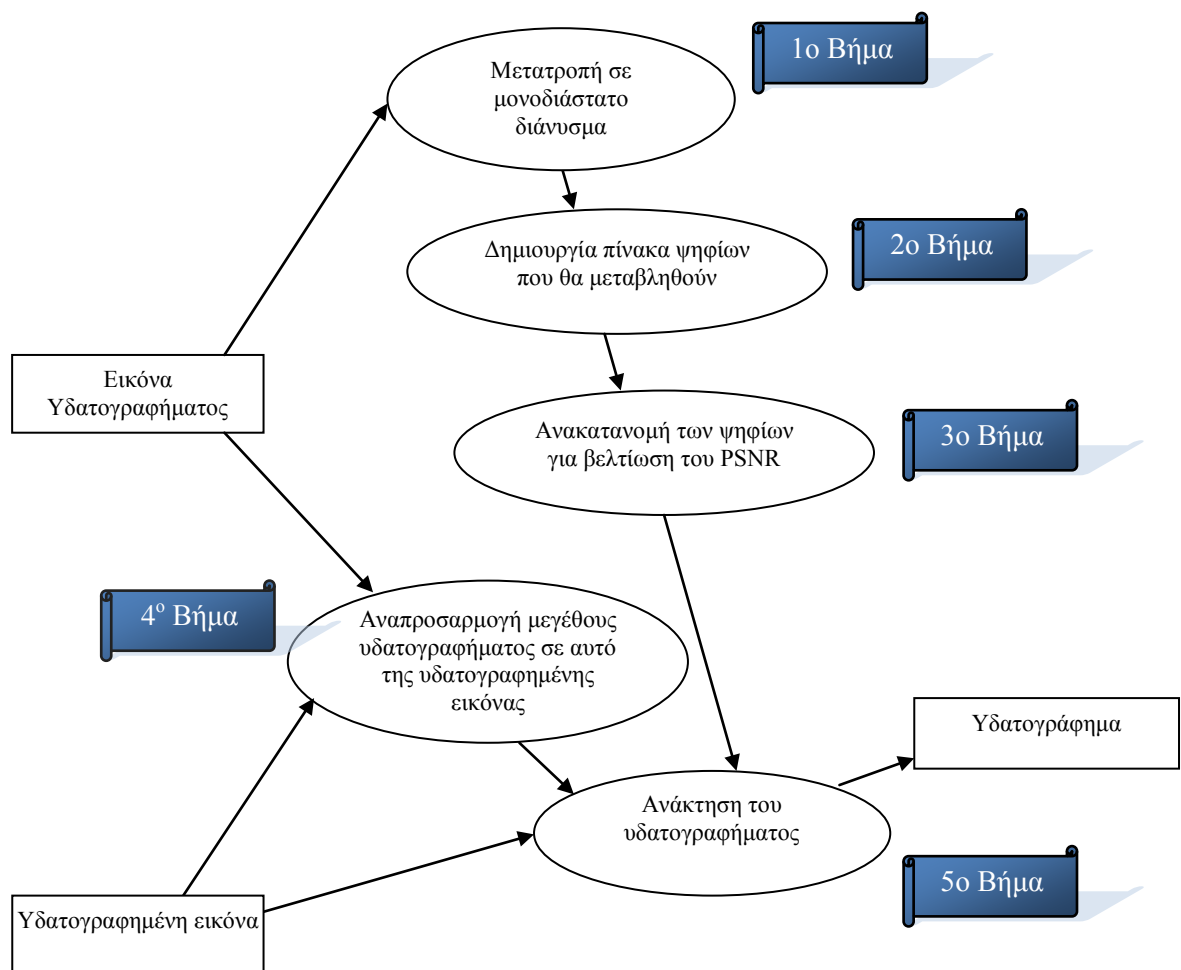
In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 3-42 Ανάκτηση υδατογραφήματος με μετατροπή των τεσσάρων πρώτων ψηφίων σε ένα

Τεχνική ανάκτησης με τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης

Σε εφαρμογές διαφορετικού τύπου, όπου πέρα από την ανάκτηση της πληροφορίας του υδατογραφήματος από τους απλούς χρήστες, επιθυμούμε και την ανάκτηση όλων των λεπτομερειών του υδατογραφήματος για να προβούμε σε συγκεκριμένους ισχυρισμούς, μπορούμε να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο που προτείνεται παρακάτω και ουσιαστικά αποτελεί τον αντίστροφο αλγόριθμο από αυτόν που χρησιμοποιούμε κατά την ένθεση του υδατογραφήματος. Ως είσοδο έχει την εικόνα του υδατογραφήματος, που αποτελεί «το κλειδί» της κρυπτογράφησης, και την υδατογραφημένη εικόνα στην οποία θα εφαρμόσουμε το κλειδί για να εξάγουμε το υδατογράφημα.

Όσον αφορά την εικόνα του υδατογραφήματος η επεξεργασία που υφίσταται είναι ακριβώς η ίδια με αυτή στην ένθεση του υδατογραφήματος έως ότου καταλήξουμε πάλι στον πίνακα με τις θέσεις στις οποίες έχει εισαχθεί το υδατογράφημα. Δηλαδή τα τέσσερα πρώτα βήματα του αλγορίθμου ανάκτησης δεν διαφέρουν σε τίποτα από αυτά του αλγορίθμου ένθεσης. Εισάγουμε την εικόνα του υδατογραφήματος, παίρνουμε τις διαστάσεις της εικόνας, δημιουργούμε ένα μονοδιάστατο δυαδικό διάνυσμα, δημιουργούμε έναν πίνακα των ψηφίων που θα μεταβληθούν, ανακατανέμουμε τα ψηφία για τη βελτίωση του PSNR και αναπροσαρμόζουμε το μέγεθος του υδατογραφήματος σε αυτό της υδατογραφημένης εικόνας.



Σχήμα 3-44 Τεχνική ανάκτησης με τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης

Εκεί που διαφέρει ο αλγόριθμος ανάκτησης είναι στο πέμπτο του βήμα, όπου έχει ως είσοδο:

- την εικόνα τον πίνακα με τις τελικές θέσεις των ψηφίων στα οποία έχουμε εισάγει το υδατογράφημα, και
- την υδατογραφημένη εικόνα,

και με την κατάλληλη επεξεργασία εξάγει το υδατογράφημα, από το οποίο μπορούμε να διαβάσουμε την πληροφορία που απεικονίζει.



Σχήμα 3-45 Ανακτημένα υδατογραφήματα με τη μέθοδο ανάκτησης χωρίς τη γνώση του υδατογραφήματος (αριστερά) και με τη γνώση του υδατογραφήματος (δεξιά)

3.4 Συμπεριφορά του προτεινόμενου αλγόριθμου σε επιθέσεις

Αφού αναπτύξαμε πλήρως τη λειτουργία του προτεινόμενου αλγορίθμου υδατογράφησης και πριν οδηγηθούμε σε συμπεράσματα σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, είναι χρήσιμο να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των αλγόριθμων ένθεσης και ανάκτησης του υδατογραφήματος στις επιθέσεις που μπορεί να δεχτεί η υδατογραφημένη εικόνα.

3.4.1 Όμοια μεταβολή λιγότερο σημαντικού ψηφίου

Η επίθεση η οποία προκαλεί τη μεγαλύτερη ζημιά στον απλό αλγόριθμο μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου κάθε εικονοστοιχείου για την ένθεση του υδατογραφήματος είναι η ομοιόμορφη μεταβολή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου σε μηδέν ή ένα. Αυτό γιατί στην προκειμένη περίπτωση χάνεται εξολοκλήρου η πληροφορία του υδατογραφήματος και είναι αδύνατον να ανακτηθεί ακόμα και με σύνθετη επεξεργασία.

Με τον προτεινόμενο αλγόριθμο επιχειρούμε να αντιμετωπίσουμε τη συγκεκριμένη απειλή ενσωματώνοντας το υδατογράφημα όχι σε ένα συγκεκριμένο ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου, αλλά σε ένα από τα τέσσερα, ανάλογα πάντα με το υδατογράφημα που ενθέτουμε. Παράλληλα, κατανέμοντας την περισσότερη πληροφορία του υδατογραφήματος μεταξύ του δεύτερου και τρίτου λιγότερο σημαντικού ψηφίου, ο αλγόριθμος μπορεί να ανταπεξέλθει και σε επιθέσεις μεταβολής δύο ψηφίων. Όταν ο επιτιθέμενος μετατρέψει ομοιόμορφα ταυτόχρονα περισσότερα από 2 ψηφία αρχίζει να παραμορφώνει την εικόνα, οπότε δεν μας απασχολεί η συγκεκριμένη περίπτωση.

Για παράδειγμα ας ενθέσουμε ένα υδατογράφημα 4B5 εικονοστοιχείων σε μία εικόνα εγγράφου A4 1042×1243 εικονοστοιχείων. Στη συνέχεια μετατρέπουμε κάθε φορά ένα από τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία της εικόνας σε μηδέν και επιχειρούμε να ανακτήσουμε το υδατογράφημα.

Καταρχήν εφαρμόζουμε τη σύνθετη μέθοδο ανάκτησης με τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγορίθμου ένθεσης. Πειραματικά διαπιστώνουμε ότι στο πρώτο και στο τέταρτο ψηφίο το υδατογράφημα ανακτάται με ελάχιστο θόρυβο, ο οποίος με την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να αφαιρεθεί. Η ομοιόμορφη μετατροπή του δεύτερου ή του τρίτου λιγότερο σημαντικού ψηφίου προκαλεί σημαντική φθορά στο υδατογράφημα ανάλογα με την κατανομή του λευκού και του μαύρου στην εικόνα του υδατογραφήματος. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που το λευκό στοιχείο υπερτερεί σημαντικά, η μεταβολή του τρίτου λιγότερο σημαντικού ψηφίου σχεδόν καταστρέφει το υδατογράφημα, ενώ αντίστοιχα αν τα μαύρα εικονοστοιχεία είναι περισσότερα, το υδατογράφημα φθείρεται περισσότερο από την ομοιόμορφη μεταβολή του δεύτερου λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Στην περίπτωση όμως που κάποιο από τα δύο χρώματα δεν υπερτερεί σημαντικά, είναι εφικτό και στις τέσσερις περιπτώσεις να ανακτήσουμε εξολοκλήρου το αρχικό υδατογράφημα.

Στα ίδια συμπεράσματα οδηγούμαστε και από την απλή μέθοδο ανάκτησης που δεν προϋποθέτει τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγορίθμου ένθεσης. Εφόσον χρησιμοποιούμε ένα υδατογράφημα με μοιρασμένα λευκά και μαύρα εικονοστοιχεία, είναι εφικτό να διαβάσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος παρά την ομοιόμορφη μεταβολή οποιουδήποτε από τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία της υδατογραφημένης εικόνας. Περισσότερο ευδιάκριτη είναι η πληροφορία του υδατογραφήματος στη μετατροπή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου και του τέταρτου λιγότερο σημαντικού, ενώ λιγότερο ευδιάκριτη στου δεύτερου και στου τρίτου.

Ένας τρόπος για να επεξεργαστούμε ένα υδατογράφημα στο οποίο υπερτερεί η παρουσία του ενός χρώματος, έτσι ώστε να εξισορροπηθεί η διαφορά, είναι να προσθέσουμε τεχνητό θόρυβο χωρίς να παραμορφώσουμε την πληροφορία της εικόνας του υδατογραφήματος. Διαφορετικά μπορούμε απλά να χρησιμοποιήσουμε διαφορετική γραμματοσειρά με πυκνούς κεφαλαίους χαρακτήρες.

Production of © S&C Production of © S&C

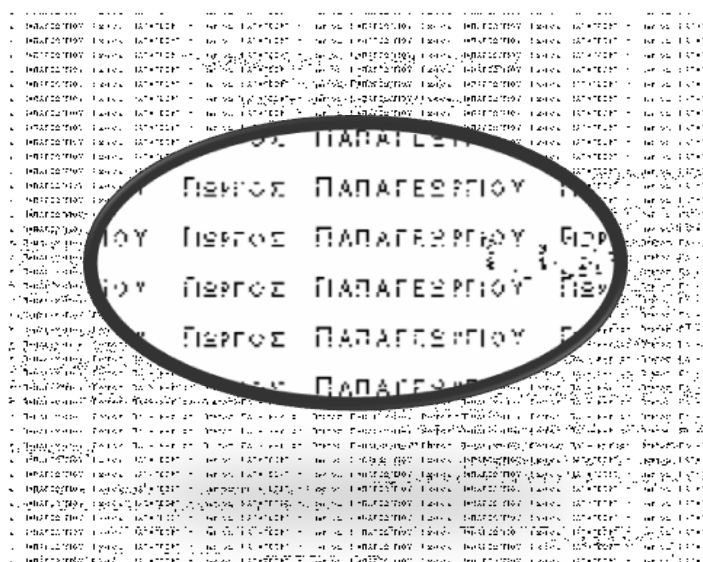
Σχήμα 3-46 Προσθήκη θορύβου στο υδατογράφημα για να εξισορροπηθεί το λευκό με το μαύρο στοιχείο

3.4.2 Κατάτμηση

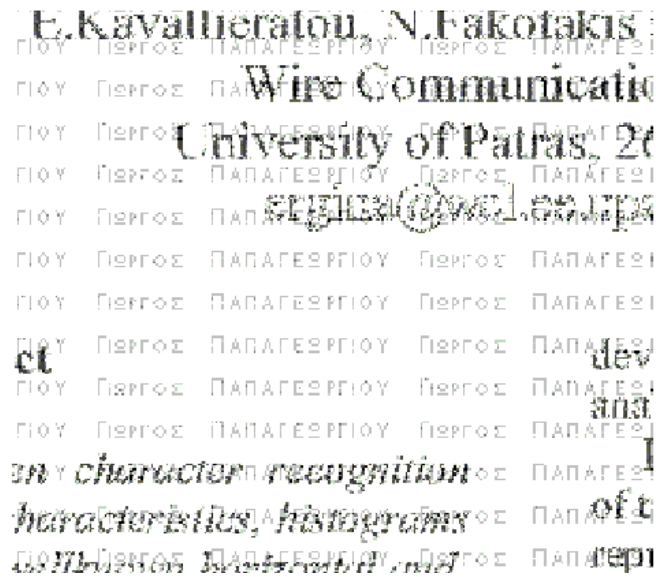
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η επίθεση κατάτμησης έχει ως στόχο την καταστροφή του υδατογραφήματος με την αποκοπή τμήματος της εικόνας. Για το σκοπό αυτό εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο ένθεσης ενός απλού υδατογραφήματος διαστάσεων 15×20 εικονοστοιχείων σε μία εικόνα εγγράφου μεγέθους A4, 1042×1242. Στη συνέχεια αφαιρούμε ένα τμήμα της εικόνας και επιχειρούμε την διαδικασία ανάκτησης του υδατογραφήματος.

Στην περίπτωση της σύνθετης ανάκτησης με τη γνώση του αλγορίθμου και του υδατογραφήματος, ανακτούμε το υδατογράφημα με προβλήματα και αυξημένο θόρυβο, με αποτέλεσμα να απαιτείται ειδική επεξεργασία για την επαλήθευση της ποιότητας του υδατογραφήματος. Παρόλα αυτά το υδατογράφημα εξακολουθεί να υφίσταται. Αν επιχειρήσουμε τον απλό αλγόριθμο ανάκτησης χωρίς γνώση του αλγορίθμου και του υδατογραφήματος, το υδατογράφημα είναι και πάλι ορατό.

Το υδατογράφημα συνεπώς μπορεί να ανακτηθεί έπειτα από την κατάτμηση της υδατογραφημένης εικόνας. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε το σύνθετο αλγόριθμο ανάκτησης για την εξακρίβωση της ιδιοκτησίας των πνευματικών δικαιωμάτων της εικόνας, μπορούμε, εφόσον έχουμε στην κατοχή μας την υδατογραφημένη εικόνα, να εντοπίσουμε το ακριβές σημείο που έχει κοπεί η εικόνα και να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο ανάκτησης παραλλαγμένο έτσι ώστε να αναγνωρίζει το τμήμα της εικόνας που έχει αφαιρεθεί. Σε αυτή την περίπτωση το υδατογράφημα που ανακτάται είναι αμεγάδιαστο.



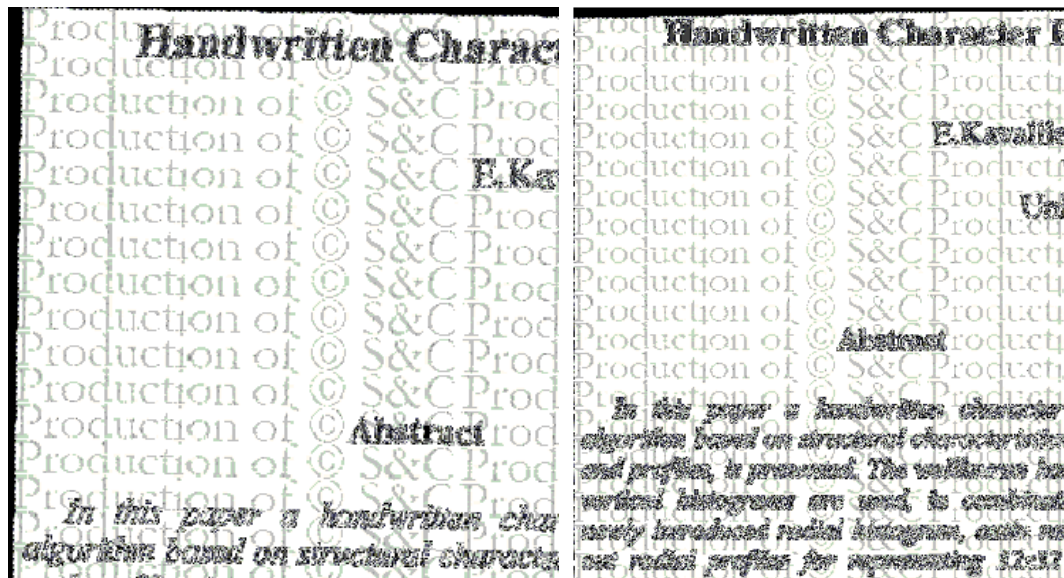
Σχήμα 3-47 Ανακτημένο υδατογράφημα με τη σύνθετη μέθοδο ανάκτησης έπειτα από επίθεση κατάτμησης



Σχήμα 3-48 Ανακτημένο υδατογράφημα με την απλή μέθοδο ανάκτησης έπειτα από επίθεση κατάτμησης

3.4.3 Περιστροφή

Κατά την περιστροφή της εικόνας, ο προτεινόμενος αλγόριθμος δεν διαφέρει σε σχέση με τον απλό αλγόριθμο LSB. Αφού εισάγουμε το υδατογράφημα περιστρέφουμε ελαφρά την εικόνα. Εφαρμόζοντας τον απλό αλγόριθμο ανάκτησης έχουμε αρχικά τη δυνατότητα να περιστρέψουμε την υδατογραφημένη εικόνα στην αντίθετη φορά, ώστε το ανακτημένο υδατογράφημα να έχει τη βέλτιστη μορφή. Και στις δύο περιπτώσεις βέβαια, όπως βλέπουμε και στις παρακάτω εικόνες, είναι εύκολο να διακρίνουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος.



Σχήμα 3-49 Ανάκτηση με την απλή μέθοδο χωρίς διόρθωση περιστροφής και με διόρθωση περιστροφής

Στην περίπτωση της χρήσης του αλγόριθμου ανάκτησης με τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης, είναι περισσότερο σημαντικό να επαναφέρουμε την

υδατογραφημένη εικόνα στον προσανατολισμό της αρχικής εικόνας. Το υδατογράφημα που ανακτούμε δεν είναι σε τέλεια κατάσταση, αφού κατά την περιστροφή, όταν θέλουμε να διατηρήσουμε τις διαστάσεις της εικόνας έχουμε απώλεια πληροφορίας. Ακόμα και στην περίπτωση που επιλέξουμε την περιστροφή χωρίς απώλεια είναι πρακτικά αδύνατο να ανακτήσουμε αυτούσιο το υδατογράφημα. Παρόλα αυτά έχουμε ακόμα τη δυνατότητα να διαβάσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος.

3.4.4 Μεταβολή μεγέθους

Όπως στην κατάτμηση, έτσι και στη μεταβολή μεγέθους ο προτεινόμενος αλγόριθμος δεν εισάγει κάποια καινοτομία σε σχέση με τον απλό αλγόριθμο LSB. Μία επίθεση αύξησης μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας δεν επηρεάζει σημαντικά την ανάκτηση της πληροφορίας του υδατογραφήματος με τη απλή μέθοδο της ομοιόμορφης μετατροπής των τεσσάρων περισσότερο σημαντικών ψηφίων του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας.

Το ίδιο ισχύει και για τη μείωση μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας. Ο βαθμός της μείωσης στον οποίο μπορούμε ακόμα να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος εξαρτάται και από το μέγεθος του υδατογραφήματος που έχει εισαχθεί στην εικόνα. Όσο μεγαλύτερο είναι το υδατογράφημα, τόσο μεγαλύτερο περιθώριο έχουμε να μειώσουμε το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας χωρίς να κινδυνεύουμε να χάσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Μεγαλύτερη μείωση μεγέθους από κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο συνεπάγεται απώλεια της πληροφορίας.

Όσον αφορά τον αλγόριθμο σύνθετης ανάκτησης που παρουσιάστηκε παραπάνω, δεν μπορεί να επιζήσει από επιθέσεις μείωσης μεγέθους, καθώς όταν μειώνουμε το μέγεθος της εικόνας, συγχωνεύονται κάποια εικονοστοιχεία της, με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος ανάκτησης να χάνει τη σειρά μετατροπής των θέσεων των ψηφίων και πλέον να είναι άχρηστη η γνώση του αρχικού υδατογραφήματος. Αντίθετα στην αύξηση ανακτάται άθικτο το υδατογράφημα σε περίπτωση ακεραίου πολλαπλασιασμού του μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας.

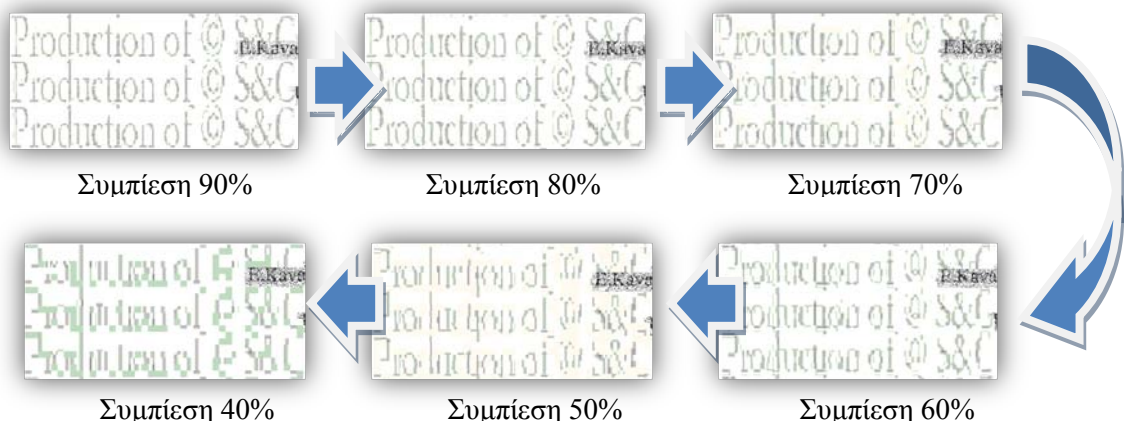


Σχήμα 3-50 Ανακτημένο υδατογράφημα με την απλή μέθοδο σε περίπτωση αύξησης μεγέθους κατά 1,5×

3.4.5 Συμπίεση

Τέλος σε επιθέσεις συμπίεσης, όπως η συμπίεση JPEG, ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει αντίστοιχη συμπεριφορά με τον αλγόριθμο LSB, ωστόσο βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την ανθεκτικότητα του υδατογραφήματος κατά τη συμπίεση. Ο αλγόριθμος συμπίεσης JPEG μεταβάλλει τις τιμές των εικονοστοιχείων και κυρίως των λιγότερο σημαντικών ψηφίων, με αποτέλεσμα να είναι ανέφικτη η πλήρης ανάκτηση του υδατογραφήματος. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας σχετικά μεγάλα υδατογραφήματα και εκμεταλλευόμενοι τη φύση της εικόνας των εγγράφων να έχει μεγάλα ομοιόμορφα και ομοιόχρωμα τμήματα στο φόντο και μάλιστα στο χρώμα του λευκού, έχουμε τη δυνατότητα να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος σε συμπιέσεις JPEG συγκεκριμένου βαθμού.

Κατά τη συμπίεση με τον αλγόριθμο JPEG χρησιμοποιείται μια κλίμακα από το μηδέν έως το εκατό που συμβολίζει την ποιότητα της συμπιεσμένης εικόνας σε σχέση με την πρωτότυπη. Όσο μικρότερος είναι αυτός ο αριθμός, τόσο μεγαλύτερη συμπίεση πραγματοποιούμε στην εικόνα, μειώνοντας το μέγεθός της και έχοντας μεγαλύτερες απώλειες στην ποιότητα της εικόνας. Πειραματικά ενθέτουμε σε εικόνα 1,23 MB μεγέθους 1241×142 εικονοστοιχείων υδατογράφημα μεγέθους 350×56 εικονοστοιχείων. Στη συνέχεια συμπιέζουμε τη συγκεκριμένη εικόνα και εφαρμόζουμε για διαφορετικές τιμές της ποιότητας τον απλό αλγόριθμο ανάκτησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πληροφορία του υδατογραφήματος ανακτάται ακόμα και σε ισχυρές συμπιέσεις κλίμακας 50%, ενώ από το 40% και κάτω ανακτάται μόνο τμηματικά.



Σχήμα 3-51 Ανάκτηση υδατογραφήματος μετά από συμπίεση JPEG

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Η υλοποίηση του προτεινόμενου αλγόριθμου έχει ως βασικό στόχο την εξέλιξη του απλού αλγόριθμου ένθεσης του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας, έτσι ώστε να έχει βέλτιστη απόδοση στην περίπτωση εικόνων εγγράφων αυξάνοντας την ανθεκτικότητά τους. Παράλληλα με αυτό ανοίγονται νέες προοπτικές σχετικά με τη χρήση του προτεινόμενου αλγόριθμου σε εφαρμογές διαφορετικού τύπου. Βέβαια για να εισάγουμε κάποιες καινοτομίες εύλογα πληρώνουμε κάποιο τίμημα, όσον αφορά την πολυπλοκότητα του αλγόριθμου, ή ακόμα και τη λειτουργικότητά του σε επιθέσεις συγκεκριμένου τύπου. Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετήσουμε τα θετικά στοιχεία που εισάγει ο προτεινόμενος αλγόριθμος, καθώς και τα μειονεκτήματα στην εφαρμογή του.

4.1 Πλεονεκτήματα προτεινόμενου αλγόριθμου

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποτελεί μία εξέλιξη του αλγόριθμου ένθεσης του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου, που παρουσιάστηκε παραπάνω και όπως είναι φυσικό διατηρεί τα περισσότερα πλεονεκτήματά του, ενώ παράλληλα επιχειρεί να αντιμετωπίσει όσο αυτό είναι εφικτό κάποια από τα μειονεκτήματά του. Μελετώντας πειραματικά τον προτεινόμενο αλγόριθμο και συγκρίνοντας τα παραγόμενα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα διαφορετικών προσεγγίσεων καταλήγουμε σε κάποια από τα πλεονεκτήματά του:

- ☞ Βέλτιστη συμπεριφορά σε εικόνες εγγράφων
- ☞ Ανθεκτικότητα σε επιθέσεις επεξεργασίας εικόνας
- ☞ Δυσκολία αποκρυπτογράφησης αλγόριθμου ένθεσης
- ☞ Αντιμετώπιση LSB επιθέσεων
- ☞ Καλύτερα αποτελέσματα σε συμπίεση JPEG
- ☞ Αορατότητα υδατογραφήματος
- ☞ Μεγάλη χωρητικότητα σε πληροφορία – υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών
- ☞ Χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές
- ☞ Αυξημένα περιθώρια βελτιστοποίησης για υψηλή ασφάλεια
- ☞ Σχετικά μικρή πολυπλοκότητα
- ☞ Μικροί χρόνοι ανάκτησης πληροφορίας υδατογραφήματος

4.1.1 Βέλτιστη συμπεριφορά σε εικόνες εγγράφων

Από τη μελέτη του ιστογράμματος της εικόνας ενός εγγράφου, εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε την ιδιαιτερότητά της σε σχέση με οποιαδήποτε φωτογραφία. Το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό των εικονοστοιχείων έχουν λευκό χρώμα, ενώ η συχνότητα με την οποία μεταβάλλονται οι αποχρώσεις των χρωμάτων στην εικόνα είναι πολύ μικρή. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τη λειτουργία αλγορίθμων, που λειτουργούν στο πεδίο των συχνοτήτων και του εύρους φάσματος. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος όχι μόνο δεν επηρεάζεται από το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό των εικόνων των εγγράφων, αλλά σε περιπτώσεις συγκεκριμένων επιθέσεων τα λευκά σημεία της εικόνας μας βοηθούν να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Αυτή η ιδιαιτερότητα των εικόνων εγγράφων καθιστούν τον αλγόριθμο που προτείνουμε βέλτιστο σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε το συγκεκριμένο πλεονέκτημα του προτεινόμενου αλγορίθμου και πειραματικά.

4.1.2 Ανθεκτικότητα σε επιθέσεις επεξεργασίας εικόνας

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο αλγόριθμος LSB είναι εξαιρετικά ανθεκτικός στις επιθέσεις χωρικής επεξεργασίας της εικόνας και συγκεκριμένα, σε επιθέσεις κατάτμησης, περιστροφής και αύξησης ή μείωσης του μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας. Σε κάθε περίπτωση και δεδομένου ότι η μεταβολή δεν ξεπερνά κάποια όρια, έχουμε τη δυνατότητα να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Αυτά τα πλεονεκτήματα κληρονομεί ο προτεινόμενος αλγόριθμος και σε κάποιες περιπτώσεις τα βελτιστοποιεί εκμεταλλευόμενος την ιδιότητα των εικόνων των εγγράφων να έχουν μεγάλα τμήματα με λευκό στην επιφάνειά τους.

Στην περίπτωση της κατάτμησης θεωρούμε ότι το τμήμα της εικόνας που αφαιρείται είναι συνήθως η άκρη της σελίδας, ή ακόμα και κάποιο εσωτερικό της τμήμα. Ωστόσο, ακόμα και αν κόψουμε ένα μικρό κομμάτι της εικόνας μπορούμε να ανακτήσουμε το υδατογράφημα, αρκεί αυτό το κομμάτι να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το μέγεθος του υδατογραφήματος.

Κατά την περιστροφή της υδατογραφημένης εικόνας μέχρι κάποιο βαθμό, ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει την πληροφορία του υδατογραφήματος. Για να βελτιστοποιήσουμε την ποιότητα του ανακτώμενου υδατογραφήματος μάλιστα επαναφέρουμε την υδατογραφημένη εικόνα στον προσανατολισμό της αρχικής εικόνας του εγγράφου.

Όσον αφορά την αλλαγή μεγέθους της υδατογραφημένης εικόνας αποτελεί απειλή μόνο όταν πρόκειται για σμίκρυνση της εικόνας. Όταν το ποσοστό ελάττωσης των διαστάσεων της εικόνας ξεπεράσει κάποιο σημείο, η απώλεια των εικονοστοιχείων δεν μας επιτρέπει να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος. Διαφορετικά, όταν έχουμε μικρή ελάττωση των διαστάσεων της εικόνας μπορούμε να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος.

4.1.3 Δυσκολία αποκρυπτογράφησης αλγορίθμου ένθεσης

Ο αλγόριθμος ένθεσης και κυρίως τα βήματα που ακολουθεί έως τη δημιουργία του πίνακα με τις θέσεις των ψηφίων που θα μεταβληθούν είναι εξαιρετικά δύσκολο να αποκρυπτογραφηθούν δεδομένου ότι ο χρήστης δεν έχει γνώση της θεωρίας του αλγορίθμου. Δηλαδή, αν κάποιος

μελετήσει την παραγόμενη υδατογραφημένη εικόνα, και το ίδιο το υδατογράφημα, που εμφανίζεται με τη μέθοδο της μετατροπής των τεσσάρων περισσότερο σημαντικών ψηφίων του κάθε εικονοστοιχείου σε μηδέν, είναι πρακτικά αδύνατο να σχηματίσει βάσιμες υποψίες για τα αναλυτικά βήματα του αλγορίθμου.

Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία σε εφαρμογές, όπου κάποιος διανέμει αντίγραφα μιας συγκεκριμένης εικόνας σε ορισμένους χρήστες και επιθυμεί να βάλει την προσωπική του σφραγίδα στην εικόνα χωρίς να παραμορφώσει την ποιότητα της εικόνας. Προφανώς αν κάποιος τρίτος μπορούσε να αποκρυπτογραφήσει τον αλγόριθμο, θα είχε τη δυνατότητα να εισάγει με τον ίδιο αλγόριθμο τα δικά του στοιχεία και να ισχυριστεί ότι είναι ο ίδιος ο δημιουργός της εικόνας. Με την προτεινόμενη μέθοδο δεν μπορεί να το κάνει αυτό, αν δεν παραποιήσει σημαντικά την υδατογραφημένη εικόνα, σε τέτοιο βαθμό ώστε να είναι εμφανής η παραχάραξη.

4.1.4 Αντιμετώπιση LSB επιθέσεων

Όπως αναλύσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μεγαλύτερο ίσως ελάττωμα του αλγορίθμου αντικατάστασης του λιγότερο σημαντικού ψηφίου είναι η ομοιόμορφη μεταβολή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας του εγγράφου σε μηδέν ή ένα. Μια τέτοια μεταβολή, όχι μόνο καταστρέφει πλήρως την πληροφορία του υδατογραφήματος, αλλά δεν είναι ορατή στο γυμνό μάτι.

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αντιμετωπίζει σε μεγάλο βαθμό, όχι μόνο τη συγκεκριμένη επίθεση, αλλά και ενδεχόμενες παρόμοιες επιθέσεις στο δεύτερο, στο τρίτο και στο τέταρτο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου. Δεδομένου, βέβαια ότι οι περισσότερες επιθέσεις πραγματοποιούνται στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο, ο αλγόριθμος φροντίζει το λιγότερο σημαντικό ψηφία να έχει μικρότερη βαρύτητα στο σχηματισμό του υδατογραφήματος σε σχέση με το δεύτερο και το τρίτο λιγότερο σημαντικό.

Μάλιστα, για τη βελτιστοποίηση της κατανομής του υδατογραφήματος στα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου χρησιμοποιούμε υδατογράφημα στο οποίο ο αριθμός των λευκών και των μαύρων εικονοστοιχείων δεν έχει μεγάλη απόκλιση. Έτσι, ακόμα και αν η επίθεση γίνει στο δεύτερο ή στο τρίτο ψηφίο, μπορούμε να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος.

4.1.5 Καλύτερα αποτελέσματα σε συμπίεση JPEG

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα, που εισάγει η προτεινόμενη μέθοδος, είναι η βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του αλγορίθμου σε υδατογραφημένες εικόνες, που έχουν υποστεί συμπίεση JPEG. Ο απλός αλγόριθμος μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου δεν είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε συμπίεσεις στις οποίες η ποιότητα της εικόνας πέφτει κάτω από 90%. Αντίθετα ο προτεινόμενος αλγόριθμος με τη χρήση του ίδιου υδατογραφήματος στην ίδια εικόνα παράγει υδατογραφήματα με ομοιότητα την πληροφορία που εμπεριέχουν ακόμα και σε συμπίεσεις που η ποιότητα της εικόνας φτάνει στο 50%.

Για τη βελτιστοποίηση μάλιστα της συμπεριφοράς του αλγορίθμου στην παραπάνω επίθεση, συνίσταται η χρήση υδατογραφήματων σχετικά μεγάλων διαστάσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος JPEG επεμβαίνει μετατρέποντας τα γειτονικά εικονοστοιχεία, ανάλογα με τη μεταβολή της απόχρωσής τους. Όσο περισσότερα εικονοστοιχεία καταλαμβάνει η πληροφορία του υδατογραφήματος, τόσο περισσότερες πιθανότητες έχει να διατηρηθεί σε συμπίεσεις μεγαλύτερης κλίμακας.

4.1.6 Αορατότητα υδατογραφήματος

Σημαντικό προτέρημα της μεθόδου που προτείνεται είναι το γεγονός ότι η υδατογραφημένη εικόνα δεν διαφέρει οπτικά από την γνήσια εικόνα του εγγράφου. Η ένθεση του υδατογραφήματος δεν προκαλεί φθορά στην εικόνα και δεν είναι ορατή στο γυμνό ανθρώπινο μάτι, γεγονός που αυξάνει τη χρηστικότητα της μεθόδου σε μεγάλο αριθμό εφαρμογών.

Βέβαια, συγκρίνοντας την παραγόμενη υδατογραφημένη εικόνα της συγκεκριμένης μεθόδου με την αντίστοιχη της απλής μεθόδου LSB, διαπιστώνουμε ότι το PSNR στην πρώτη περίπτωση είναι αισθητά μικρότερο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εισαγωγή του υδατογραφήματος γίνεται κατά μέσο όρο μεταξύ του δεύτερου και του τρίτου λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Όπως είχαμε δει και σε σχετικό γράφημα στο προηγούμενο κεφάλαιο το PSNR μειώνεται όσο η ένθεση του υδατογραφήματος γίνεται σε περισσότερο σημαντικά ψηφία. Παρόλα αυτά και στην προτεινόμενη μέθοδο το υδατογράφημα παραμένει αόρατο.

Μάλιστα, στην περίπτωση που επιθυμούμε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό αορατότητας, έχουμε τη δυνατότητα να μεταλλάξουμε τον προτεινόμενο αλγόριθμο έτσι ώστε για παράδειγμα να δέχεται την πληροφορία του υδατογραφήματος στο δεύτερο λιγότερο σημαντικό ψηφίο. Επίσης ανάλογα με την εφαρμογή που επιθυμούμε μπορούμε να κρυπτογραφήσουμε την εισαγόμενη πληροφορία χάνοντας έτσι βέβαια τη δυνατότητα εύκολης ανάκτησης της πληροφορίας του υδατογραφήματος και μειώνοντας την ανθεκτικότητα του αλγορίθμου σε επιθέσεις.

4.1.7 Μεγάλη χωρητικότητα σε πληροφορία – υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών

Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου ένθεσης του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο είναι το γεγονός ότι υποστηρίζει υδατογραφήματα μεγάλου μεγέθους, με αποτέλεσμα να μπορούμε να ενσωματώσουμε στο υδατογράφημα μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας. Αυτή την ιδιότητα κληρονομεί και η προτεινόμενη μέθοδος, και όπως μπορούμε να δούμε στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιούμε υδατογραφήματα διαφορετικών διαστάσεων ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία τα χρησιμοποιούμε. Αντίθετα αλγόριθμοι που λειτουργούν στο πεδίο συχνοτήτων, ή ακόμα και στο χωρικό με τη μέθοδο συσχετισμών, δεν είναι σε θέση να ενσωματώσουν μεγάλα υδατογραφήματα στην εικόνα του εγγράφου.

4.1.8 Χρήση σε διαφορετικές εφαρμογές

Μία ακόμη καινοτομία που εισάγει η προτεινόμενη μέθοδος είναι η δυνατότητα χρήσης της σε εφαρμογές διαφορετικού τύπου. Η απλή μέθοδος ένθεσης του υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε εφαρμογές συγκεκριμένου τύπου, καθώς εύκολα αφαιρείται και αντικαθίσταται από διαφορετικά υδατογραφήματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο καθένας μπορεί να αποκρυπτογραφήσει εύκολα τον αλγόριθμο ένθεσης και να υλοποιήσει κάτι αντίστοιχο. Αντίθετα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι σχεδόν αδύνατο να αποκρυπτογραφηθεί, αυξάνοντας σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια της μεθόδου.

Παράλληλα, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο προτείνονται δύο διαφορετικοί αλγόριθμοι ανάκτησης του υδατογραφήματος από την υδατογραφήμενη εικόνα. Ο πρώτος σύνθετος αλγόριθμος, που προϋποθέτει τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγόριθμου ένθεσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την οντότητα που εισήγαγε το υδατογράφημα για να αποδείξει ότι κάποια εικόνα έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως για παράδειγμα ότι της ανήκουν τα πνευματικά δικαιώματα της εικόνας. Ταυτόχρονα όμως με τη χρήση του πρώτου αλγορίθμου υπάρχει η δυνατότητα σε απλούς χρήστες, χωρίς αυξημένα δικαιώματα ασφάλειας, να ανακτήσουν την πληροφορία του υδατογραφήματος με την απλή μέθοδο της αντικατάστασης των τεσσάρων περισσότερο σημαντικών ψηφίων σε μηδέν ή ένα.

4.1.9 Σχετικά μικρή πολυπλοκότητα

Αυτό που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την προτεινόμενη μέθοδος είναι το γεγονός ότι παρά τη συνθετότητα του αλγορίθμου και την δυσκολία αποκρυπτογράφησης του, όλα αυτά επιτυγχάνονται χωρίς να αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου σε σχέση με την απλή μέθοδο μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου. Το γεγονός αυτό αφήνει αρκετά περιθώρια αύξησης της πολυπλοκότητας ανάλογα με την εφαρμογή στον οποία θα χρησιμοποιηθεί η προτεινόμενη μέθοδος. Για παράδειγμα μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε τον αλγόριθμο μεταβάλλοντας τον τρόπο κατανομής των θέσεων των ψηφίων που θα μεταβληθούν. Αντί για την αμοιβαία αντικατάσταση πρώτου – τρίτου και δεύτερου - τέταρτου ψηφίου μπορούμε να υπολογίσουμε την κατανομή του υδατογραφήματος στα τέσσερα ψηφία και να ενεργήσουμε ανάλογα.

4.1.10 Αυξημένα περιθώρια βελτιστοποίησης για υψηλή ασφάλεια

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η προτεινόμενη μέθοδος έχει τη δυνατότητα εξέλιξης με την αύξηση της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου ανάλογα με την εφαρμογή την οποία χρησιμοποιείται. Πολλές φορές αυτό γίνεται για να πετύχουμε μεγαλύτερη βαθμό ασφάλειας. Συγκεκριμένα, μπορεί να υπάρχει απαίτηση της εφαρμογής να μη μπορεί να ανακτηθεί η πληροφορία του υδατογραφήματος από χρήστες χωρίς τη γνώση του αλγορίθμου και του υδατογραφήματος. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε τη δυνατότητα να κρυπτογραφήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος με κάποιο συγκεκριμένο αλγόριθμο κρυπτογράφησης.

4.1.11 Μικροί χρόνοι ανάκτησης πληροφορίας υδατογραφήματος

Τέλος, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου που προτείνεται είναι το γεγονός, ότι οι χρόνοι που απαιτούνται για την ένθεση και ανάκτηση των υδατογραφημάτων είναι αρκετά μικροί και εξαρτώνται από το μέγεθος της εικόνας που κρυπτογραφούμε. Μία εικόνα διαστάσεων A4 1042×1242 εικονοστοιχείων δεν χρειάζεται περισσότερα από 4 δευτερόλεπτα για την ένθεση του υδατογραφήματος, ανάλογα πάντα και με το μέγεθός του, ενώ υπάρχουν περιθώρια βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου χρόνου.

Όσον αφορά την ανάκτηση, στην περίπτωση που επιθυμούμε πλήρη ανάκτηση του υδατογραφήματος ο χρόνος είναι στα ίδια επίπεδα, ενώ έχουμε τη δυνατότητα να ανακτήσουμε το υδατογράφημα σε δέκατα του δευτερολέπτου με τη μέθοδο μετατροπής των τεσσάρων περισσότερο σημαντικών ψηφίων σε μηδέν ή ένα.

4.2 Μειονεκτήματα προτεινόμενου αλγόριθμου

Πέρα από τις καινοτομίες που εισάγει η χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου στις ήδη υπάρχουσες τεχνικές, μοιραία κάνουν την εμφάνισή τους κάποια μειονεκτήματα. Το γεγονός ότι ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία σε κάθε εικονοστοιχείο και όχι το λιγότερο σημαντικό, ναι μεν μας λύνει τα χέρια σε πολλά προβλήματα, αλλά θυσιάζουμε κάποια άλλα πράγματα που έχουν να κάνουν με την απόδοση του αλγορίθμου κάτω από συγκεκριμένες περιστάσεις. Κάποια από τα μειονεκτήματα του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι τα εξής:

- ↪ Αύξηση πολυπλοκότητας
- ↪ Αύξηση χρόνου ένθεσης και ανάκτησης
- ↪ Σύνθετη ανάκτηση επιρρεπής σε επιθέσεις
- ↪ Μείωση διαφάνειας
- ↪ Εξειδίκευση σε εικόνες οκτώ ψηφίων στην κλίμακα του γκρι

4.2.1 Αύξηση πολυπλοκότητας

Όπως είναι λογικό η υλοποίηση ενός αλγορίθμου, όπως ο προτεινόμενος, που εξελίσσει τον απλό αλγόριθμο μεταβολής του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, εισάγει ένα νέο επίπεδο πολυπλοκότητας, το οποίο μάλιστα μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο αν κάνουμε συγκεκριμένες προσθήκες στον αλγόριθμό μας. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι από τα πέντε βήματα του αλγορίθμου που προτείνουμε, τα τέσσερα πρώτα δεν υπάρχουν καν στον απλό αλγόριθμο.

4.2.2 Αύξηση χρόνου ένθεσης και ανάκτησης

Αποτέλεσμα της αυξημένης πολυπλοκότητας της προτεινόμενης μεθόδου είναι και η αύξηση του χρόνου ένθεσης και ανάκτησης του υδατογραφήματος στην εικόνα του εγγράφου. Έτσι, η ένθεση του ίδιου υδατογραφήματος στην ίδια εικόνα απαιτεί περισσότερο χρόνο στην προτεινόμενη μέθοδο σε σχέση με την απλή μέθοδο LSB. Για παράδειγμα η ένθεση ενός υδατογραφήματος 272x22 εικονοστοιχείων σε μία εικόνα εγγράφου μεγέθους A4 104x242 εικονοστοιχείων στην περίπτωση της προτεινόμενης τεχνικής διαρκεί 18% περισσότερο χρόνο σε σχέση με την απλή μέθοδο LSB. Μάλιστα αν αυξήσουμε το μέγεθος του υδατογραφήματος, η αύξηση του χρόνου ένθεσης είναι ακόμα μεγαλύτερη εξαιτίας της επιπλέον επεξεργασίας που πραγματοποιεί η προτεινόμενη μέθοδος στην εικόνα του υδατογραφήματος.

Στην ανάκτηση το πρόβλημα αυτό είναι ακόμα πιο έντονο, καθώς η διαδικασία ανάκτησης της μεθόδου LSB είναι εξαιρετικά απλή, ενώ στη περίπτωση του προτεινόμενου αλγόριθμου η σύνθετη ανάκτηση πραγματοποιεί επεξεργασία στο υδατογράφημα προτού προχωρήσει στην ανάκτησή του από την υδατογραφημένη εικόνα. Αντίθετα η απλή ανάκτηση με τη μέθοδο ομοιόμορφης μετατροπής των τεσσάρων ψηφίων έχει αύξηση χρόνου ανάκτησης μεγαλύτερο από αυτόν της μεθόδου LSB της τάξης εκατοστών του δευτερολέπτου.

4.2.3 Σύνθετη ανάκτηση επιρρεπής σε επιθέσεις

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρατηρήσαμε ότι σε αρκετές επιθέσεις είναι εφικτό να ανακτήσουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου. Παρόλα αυτά στο μεγαλύτερο αριθμό επιθέσεων είναι πρακτικά αδύνατο να εφαρμόσουμε το σύνθετο αλγόριθμο ανάκτησης. Ο αλγόριθμος αυτός λειτουργεί ουσιαστικά χρησιμοποιώντας το ίδιο το υδατογράφημα ως κλειδί με στόχο η οντότητα που έχει ενθέσει το υδατογράφημα να είναι σε θέση να αποδείξει ότι η εικόνα ανήκει σε αυτή ή ότι κατέχει τα πνευματικά της δικαιώματα. Η ένθεση και η ανάκτηση πραγματοποιούνται με οδηγό τον μονοδιάστατο πίνακα με τις θέσεις που έχουμε δημιουργήσει, επεμβαίνοντας στα διαδοχικά εικονοστοιχεία της εικόνας με συγκεκριμένη σειρά. Όταν η εικόνα υποστεί κάποια μεταβολή μεγέθους ή παραμόρφωση, η σειρά διαδοχής των εικονοστοιχείων μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα να είναι εξαιρετικά δύσκολο έως αδύνατο να την επανακτήσουμε προτού κάνουμε χρήση του πίνακα για την ανάκτηση του υδατογραφήματος.

4.2.4 Μείωση διαφάνειας

Ένα ακόμα μειονέκτημα, απόρροια της λειτουργίας της μεθόδου, είναι το γεγονός ότι η υδατογραφημένη εικόνα δεν έχει τον ίδιο βαθμό διαφάνειας με την απλή μέθοδο LSB. Αυτό οφείλεται στο ότι η προτεινόμενη τεχνική δεν επεμβαίνει μόνο στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου, αλλά στα τέσσερα λιγότερο σημαντικά. Το συγκεκριμένο φαινόμενο διαπιστώνεται πειραματικά με τη μέτρηση του συντελεστή PSNR. Για την ένθεση του ίδιου υδατογραφήματος στην ίδια εικόνα, ο συντελεστής PSNR στην προτεινόμενη μέθοδο είναι έως και 15 dB μικρότερος από την απλή μέθοδο LSB. Έτσι, κάποιος χρήστης μπορεί πιο εύκολα να παρατηρήσει το υδατογράφημα μεταβάλλοντας τη φωτεινότητα της εικόνας. Συνεπώς, η προτεινόμενη τεχνική δεν είναι συμβατή με εφαρμογές που απαιτούν απόλυτη διαφάνεια του υδατογραφήματος.

4.2.5 Εξειδίκευση σε εικόνες οκτώ ψηφίων στην κλίμακα του γκρι

Η υλοποίηση του προτεινόμενου αλγορίθμου έχει εφαρμογή σε εικόνες τουλάχιστον οκτώ ψηφίων, που βρίσκονται στην κλίμακα του γκρι. Βέβαια η πλειοψηφία των εγγράφων καλύπτουν τη συγκεκριμένη προδιαγραφή, αλλά στις περιπτώσεις όπου τα έγγραφα εμπεριέχουν έγχρωμες φωτογραφίες, ή χαρακτήρες είναι αδύνατο να εφαρμοστεί αυτούσια.

Ωστόσο, πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι μια 8-bit εικόνα στην κλίμακα του γκρι έχει λιγότερες δυνατότητες μεταβολής κατά την ένθεση του υδατογραφήματος σε σχέση με μια έγχρωμη εικόνα. Αν μάλιστα η εικόνα του εγγράφου είναι δυαδική το πρόβλημα είναι ακόμα πιο έντονο, και οι αλγόριθμοι για την ένθεση του υδατογραφήματος είναι ακόμα λιγότερο αποτελεσματικοί. Στην περίπτωση που κάποιος επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τον προτεινόμενο αλγόριθμο για έγχρωμες εικόνες εγγράφων ή για 16 ή 32-bit εικόνες έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει αναλόγως τον αλγόριθμο βελτιώνοντας τις αποδόσεις του, να περιπλέξει τον αλγόριθμο εισάγοντας νέα στοιχεία και να βελτιστοποιήσει την απόδοσή του ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία προορίζεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Σε αρκετά σημεία παραπάνω για την καλύτερη κατανόηση της τεχνικής που παρουσιάστηκε αναφέρονται πειραματικά αποτελέσματα. Στο παρόν κεφάλαιο θα προχωρήσουμε σε μια πιο ενδελεχή μελέτη της προτεινόμενης τεχνικής, θα δούμε τη συμπεριφορά της σε διαφορετικές εικόνες εγγράφων και με υδατογραφήματα διαφορετικού μεγέθους και χρώματος. Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε σε σύγκριση των αποτελεσμάτων με αντίστοιχα αποτελέσματα από άλλες τεχνικές υδατογράφησης που έχουν ήδη υλοποιηθεί και χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους και ιδιότητες.

5.1 Πειραματική μελέτη προτεινόμενης τεχνικής

5.1.1 Εφαρμογή αλγόριθμου ένθεσης υδατογραφήματος

Σε πρώτη φάση εφαρμόζουμε την προτεινόμενη μέθοδο ένθεσης με τη μετατροπή ενός από τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία του κάθε εικονοστοιχείου στην τιμή του αντίστοιχου εικονοστοιχείου του υδατογραφήματος στην παρακάτω εικόνα 512×512. Βλέπουμε ότι το υδατογράφημα είναι αόρατο στο γυμνό μάτι του παρατηρητή. Το PSNR είναι της τάξης των 44 dB και η διαδικασία ολοκληρώνεται σε 1,5132 δευτερόλεπτα.

Prin

Meta

Abstract

Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

Σχήμα 5-1 Εικόνα πριν την υδατογράφηση

Σχήμα 5-2 Εικόνα μετά την υδατογράφηση

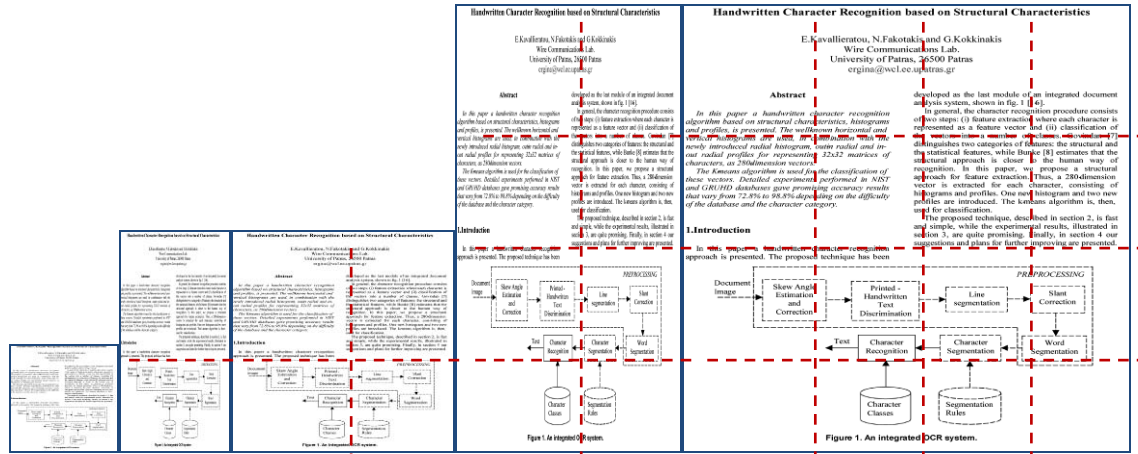
Στη συνέχεια στην εικόνα του αποτελέσματος εφαρμόζουμε την αντίστροφη διαδικασία της σύνθετης ανάκτησης του υδατογραφήματος από την αυθεντική υδατογραφημένη εικόνα χωρίς αυτή να έχει υποστεί κάποια επεξεργασία. Είναι προφανές ότι το υδατογράφημα ανακτάται σε άριστη κατάσταση.



Σχήμα 5-3 Ανακτημένο υδατογράφημα

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία σε εικόνα από το ίδιο δείγμα, αλλά διπλάσιων διαστάσεων, δηλαδή τετραπλάσιου μεγέθους, βλέπουμε ότι το PSNR είναι της ίδιας τάξης. Ο χρόνος που διήρκεσε η υδατογράφιση είναι 2.9484 δευτερόλεπτα, γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι ο χρόνος που διήρκεσε η εφαρμογή της μεθόδου δεν μεταβάλλεται σε ακριβή αναλογία με το μέγεθος της αρχικής εικόνας.

Στη συνέχεια δοκιμάζουμε την υδατογράφιση της ίδιας εικόνας μεταβάλλοντας το μέγεθός της σε πέντε διαφορετικές διαστάσεις, όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα. Η μεγαλύτερη από τις εικόνες είναι δεκαέξι φορές μεγαλύτερη από τη μικρότερη εικόνα.



Σχήμα 5-4 Η ίδια εικόνα με το μέγεθος της μεταβαλλόμενο έως και πέντε φορές

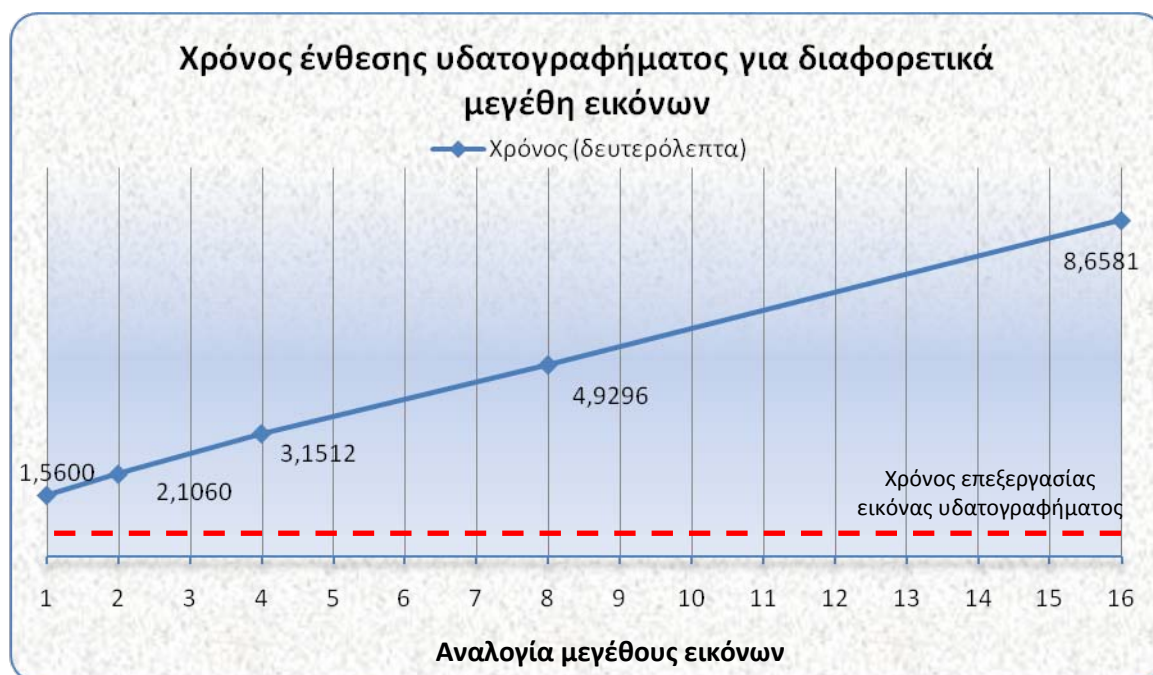
Στον πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Αυτό που είναι ξεκάθαρο είναι ότι ο συντελεστής PSNR μένει σχεδόν αμετάβλητος, δηλαδή η ποιότητα της υδατογραφημένης εικόνας μεταβάλλεται το ίδιο ανεξάρτητα από το μέγεθος της εικόνας εγγράφου που χρησιμοποιούμε.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
1x	512x512	45.0138	1.5600
2x	1024x512	45.0622	2.1060
4x	1024x1024	45.0395	3.1512
8x	1024x2048	45.0384	4.9296
16x	2048x2048	45.0469	8.6581

Πίνακας 5-1 Πειραματικά αποτελέσματα ένθεσης υδατογραφήματος για την εικόνα με το μεταβαλλόμενο μέγεθος

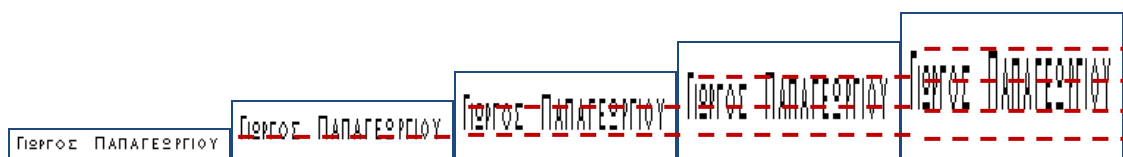
Το γράφημα που ακολουθεί μας βοηθάει να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το χρόνο που διαρκεί η υδατογράφιση για τα διαφορετικά μεγέθη της ίδιας εικόνας. Συγκεκριμένα βλέπουμε ότι η διάρκεια της υδατογράφισης αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με τη μεταβολή του μεγέθους της εικόνας του εγγράφου. Ωστόσο είναι εμφανές ότι υπάρχει κάποιο χρονικό διάστημα σε κάθε απόπειρα υδατογράφισης, που είναι σταθερό σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτό το χρονικό διάστημα, που παραμένει αμετάβλητο παρά τη χρήση εικόνων διαφορετικών μεγεθών, οφείλεται στην επεξεργασία της εικόνας του υδατογραφήματος που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος για να δημιουργήσει τον πίνακα με τις θέσεις των ψηφίων, στις οποίες εισάγει το υδατογράφημα.

Δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε την ίδια εικόνα υδατογραφήματος, αυτός ο χρόνος παραμένει σταθερός. Υπολογίζοντας το ρυθμό μεταβολής του χρόνου, βλέπουμε ότι ο χρόνος που διαρκεί αυτή η επεξεργασία είναι περίπου 1,1 δευτερόλεπτα. Στην περίπτωση της μεγάλης εικόνας 2048×2048 εικονοστοιχείων επιβαρύνει τη λειτουργία του αλγορίθμου κατά 15%, ενώ στην περίπτωση της μικρότερης εικόνας 512×512 εικονοστοιχείων ο αλγόριθμος επιβαρύνεται χρονικά κατά 239%, δηλαδή υπερτριπλασιάζεται η διάρκειά του.



Σχήμα 5-5 Γράφημα χρόνου ένθεσης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη εικόνων

Στη συνέχεια διατηρούμε σταθερό το μέγεθος της εικόνας (A4 1042×1242 εικονοστοιχείων) και μεταβάλλουμε το μέγεθος του υδατογραφήματος όπως παρακάτω:



Σχήμα 5-6 Υδατογραφήματα με μεταβαλλόμενο μέγεθος

Σε αυτή την περίπτωση δημιουργούμε τον παρακάτω πίνακα. Το χρήσιμο συμπέρασμα που εξάγουμε από τη μελέτη των αποτελεσμάτων είναι ότι ο συντελεστής PSNR δεν μειώνεται με τη χρήση μεγαλύτερου υδατογραφήματος, αλλά παραμένει στα ίδια επίπεδα.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Υδατογραφήματος (pixels)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
1×	150x20	44.7239	3.1356
2×	150x40	44.9866	3.8844
3×	150x60	45.0266	4.4460
4×	150x80	45.0230	5.1168
5×	150x100	45.0625	5.7252

Πίνακας 5-2 Πειραματικά αποτελέσματα για υδατογραφήματα μεταβαλλόμενων μεγεθών

Αντίθετα, όπως είναι εμφανές στο γράφημα που ακολουθεί η διάρκεια της υδατογράφησης αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του μεγέθους του υδατογραφήματος. Αυτή η αύξηση οφείλεται αποκλειστικά στην επεξεργασία της εικόνας του υδατογραφήματος για τη δημιουργία του πίνακα των θέσεων στις οποίες εισάγουμε το υδατογράφημα.



Σχήμα 5-7 Γράφημα χρόνου ένθεσης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφήματος

Ένα άλλο πείραμα που μας βοηθάει να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα είναι αν εκτός από υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών επιχειρήσουμε να ενθέσουμε υδατογραφήματα αντεστραμμένων χρωμάτων. Για το πείραμα αυτό χρησιμοποιούμε τα υδατογραφήματα που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα και τα εισάγουμε σε εικόνα μεγέθους A4 και διαστάσεων 1042×1242 εικονοστοιχείων.



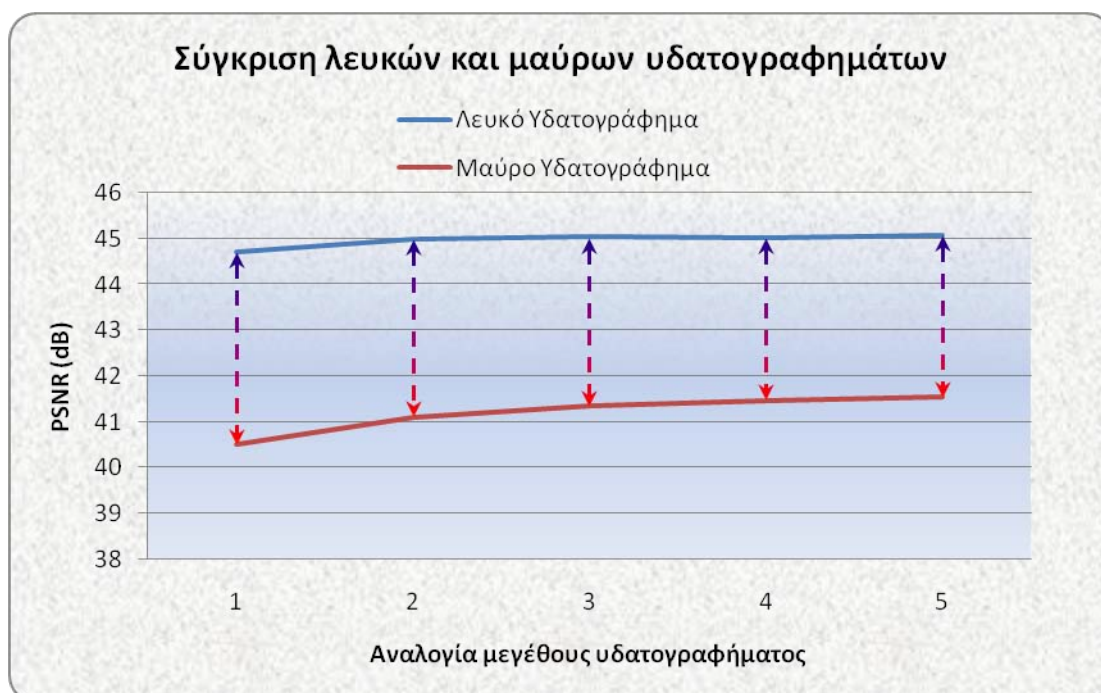
Σχήμα 5-8 Υδατογραφήματα διαφορετικών μεγεθών με αντεστραμμένα χρώματα

Σε αυτή την περίπτωση είναι προφανές στον πίνακα των αποτελεσμάτων ότι ο χρόνος που διαρκεί η ένθεση του υδατογραφήματος παραμένει σταθερός στις δύο περιπτώσεις. Συνεπώς, ο χρόνος της υδατογράφησης είναι ανεξάρτητος από την περιεκτικότητα του υδατογραφήματος σε λευκά ή μαύρα εικονοστοιχεία.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Υδατογρα- φήματος (pixels)	Λευκό Υδατογράφημα		Μαύρο Υδατογράφημα	
		PSNR (dB)	Χρόνος (sec)	PSNR (dB)	Χρόνος (sec)
1×	150x20	44.7239	3.1356	40.5173	3.1980
2×	150x40	44.9866	3.8844	41.1132	3.8220
3×	150x60	45.0266	4.4460	41.3562	4.5084
4×	150x80	45.0230	5.1168	41.4777	5.0076
5×	150x100	45.0625	5.7252	41.5574	5.7564

Πίνακας 5-3 Πειραματικά αποτελέσματα για υδατογραφήματα με αντεστραμμένα χρώματα

Δεν ισχύει όμως το ίδιο όσον αφορά το συντελεστή PSNR. Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, ο συντελεστής PSNR έχει πολύ μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση ένθεσης των λευκών υδατογραφήματων σε σχέση με των μαύρων.



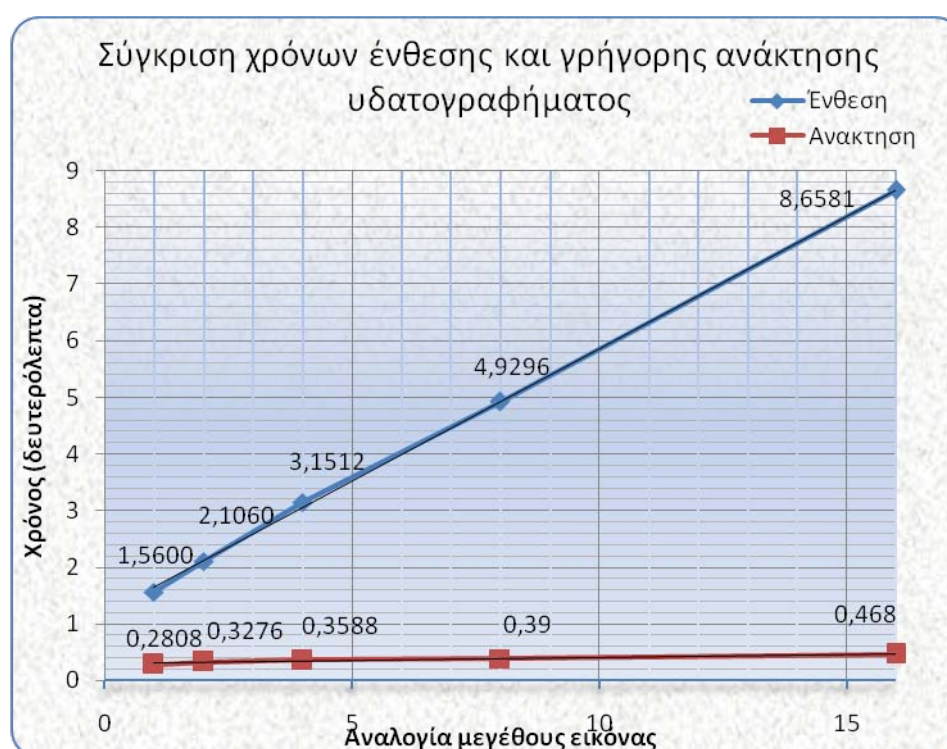
Σχήμα 5-9 Γράφημα σύγκρισης λευκών και μαύρων υδατογραφήματων

5.1.2 Εφαρμογή απλού αλγόριθμου ανάκτησης υδατογραφήματος

Ο απλός αλγόριθμος ανάκτησης του υδατογραφήματος λειτουργεί μετατρέποντας τα τέσσερα περισσότερο σημαντικά ψηφία της υδατογραφημένης εικόνας σε μηδέν ή ένα, αποκαλύπτοντας έτσι την πληροφορία του υδατογραφήματος. Εύκολα επαληθεύουμε πειραματικά ότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος είναι ανεξάρτητος τόσο από το μέγεθος, όσο και από την πληροφορία του υδατογραφήματος, καθώς επεμβαίνει μόνο στην υδατογραφημένη εικόνα. Παρακάτω θα διαπιστώσουμε με κάποια σειρά πειραμάτων τη σχέση που έχει ο αλγόριθμος με το μέγεθος της εικόνας.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Χρόνος ένθεσης (δευτερόλεπτα)	Χρόνος ανάκτησης (δευτερόλεπτα)
1x	512x512	1.5600	0.2808
2x	1024x512	2.1060	0.3276
4x	1024x1024	3.1512	0.3588
8x	1024x2048	4.9296	0.3900
16x	2048x2048	8.6581	0.4680

Πίνακας 5-4 Σύγκριση χρόνων ένθεσης και ανάκτησης για διαφορετικά μεγέθη εικόνων



Σχήμα 5-10 Γράφημα σύγκρισης χρόνων ένθεσης και γρήγορης ανάκτησης υδατογραφήματος

Από τον πίνακα και το γράφημα που σχηματίζεται με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, μπορούμε να καταλήξουμε σε δύο συμπεράσματα σχετικά με την ανάκτηση των υδατογραφημάτων με την απλή μέθοδο. Πρώτον, βλέπουμε ότι ο χρόνος ανάκτησης με την μέθοδο που περιγράψαμε αυξάνεται σε εικόνες μεγαλύτερων διαστάσεων. Και δεύτερον, παρατηρούμε τη σημαντική διαφορά στους χρόνους ένθεσης και ανάκτησης των υδατογραφημάτων. Ειδικά σε περιπτώσεις μεγάλων εικόνων ο ρυθμός αύξησης του χρόνου ένθεσης είναι πολλαπλάσιος του χρόνου ανάκτησης.

5.1.3 Εφαρμογή σύνθετου αλγόριθμου ανάκτησης υδατογραφήματος

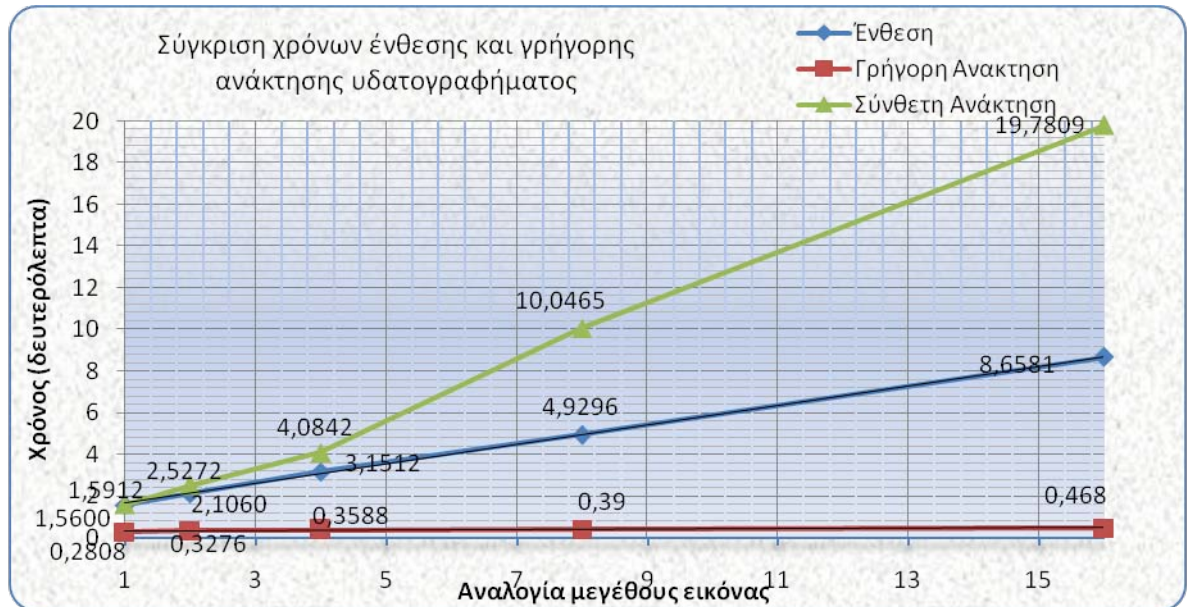
Αντίθετα με τον αλγόριθμο γρήγορης ανάκτησης, η μέθοδος εξαγωγής του υδατογραφήματος με τη γνώση του αλγόριθμου ένθεσης και της εικόνας του υδατογραφήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εικόνα του υδατογραφήματος και συγκεκριμένα από το μέγεθός της.

Πράγματι, επαναλαμβάνοντας το πείραμα του προηγούμενου υποκεφαλαίου με το απλό υδατογράφημα μεγέθους 151×20 εικονοστοιχείων έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα:

			Γρήγορη ανάκτηση	Σύνθετη ανάκτηση
Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Χρόνος ένθεσης (δευτερόλεπτα)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
1×	512×512	1.5600	0.2808	1.5912
2×	1024×512	2.1060	0.3276	2.5272
4×	1024×1024	3.1512	0.3588	3.8844
8×	1024×2048	4.9296	0.3900	10.0465
16×	2048×2048	8.6581	0.4680	19.7809

Πίνακας 5-5 Συγκριτικά αποτελέσματα γρήγορης και σύνθετης ανάκτησης

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση μεγαλύτερων εικόνων προκαλεί μεγάλη καθυστέρηση στη λειτουργία του αλγόριθμου ανάκτησης με τη χρήση του υδατογραφήματος. Πράγματι σε εικόνες μεγάλων διαστάσεων ο χρόνος ανάκτησης μπορεί να αυξηθεί έως και δεκατρείς φορές, όταν με την απλή μέθοδο ο χρόνος ανάκτησης είναι ογδόντα φορές μικρότερος.



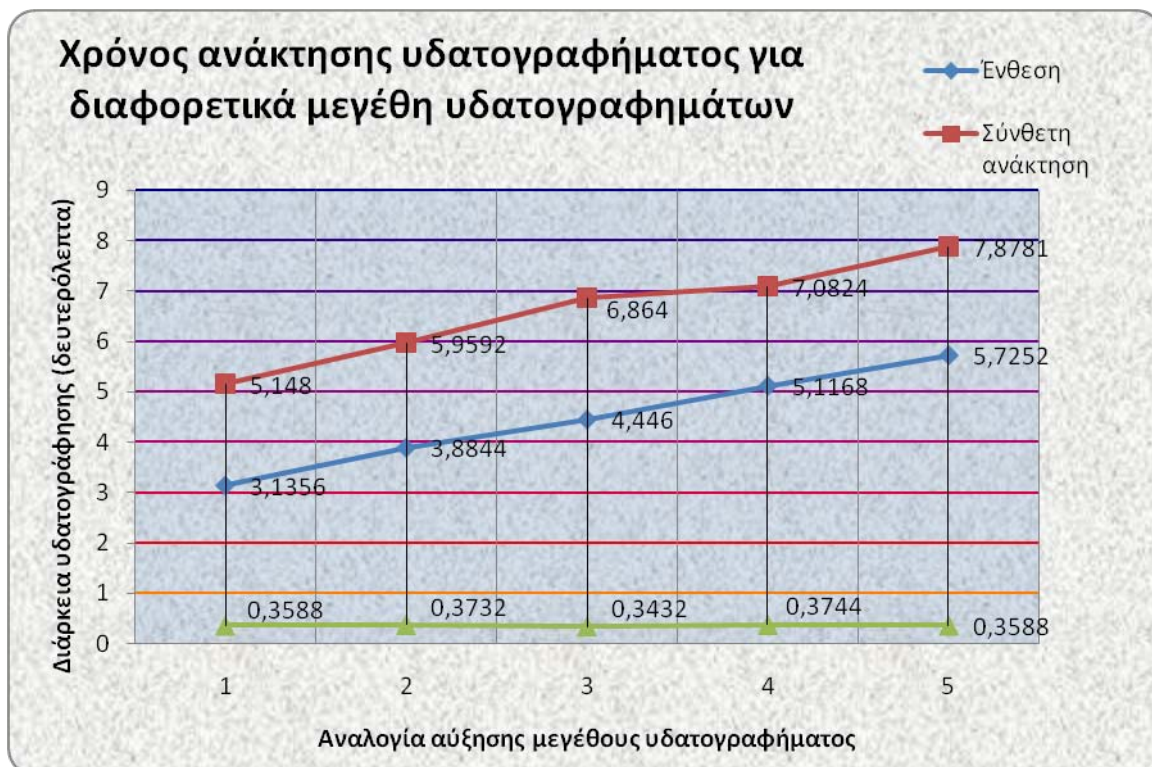
Σχήμα 5-11 Γράφημα σύγκρισης χρόνων ένθεσης και γρήγορης ανάκτησης υδατογραφήματος

Εκτός από το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας, η σύνθετη ανάκτηση επηρεάζεται και από το μέγεθος του υδατογραφήματος που ενθέτουμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος αυτή πραγματοποιεί επεξεργασία στο υδατογράφημα για να εντοπίσει τις θέσεις των ψηφίων κάθε εικονοστοιχείου, από τις οποίες θα ανακτήσει το υδατογράφημα.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Χρόνος ένθεσης (δευτερόλεπτα)	Γρήγορη ανάκτηση (δευτερόλεπτα)	Σύνθετη ανάκτηση (δευτερόλεπτα)
1x	150x20	3.1356	0.3588	5.1480
2x	150x40	3.8844	0.3732	5.9592
3x	150x60	4.4460	0.3432	6.8640
4x	150x80	5.1168	0.3744	7.0824
5x	150x100	5.7252	0.3588	7.8781

Πίνακας 5-6 Χρόνος ανάκτησης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφημάτων

Έτσι στο γράφημα που σχηματίζεται από τα αποτελέσματα των πειραμάτων βλέπουμε ότι ο χρόνος ανάκτησης με τη σύνθετη μέθοδο είναι μεγαλύτερος από το χρόνο ένθεσης, ενώ ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται είναι ίδιος στις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 5-12 Γράφημα χρόνου ανάκτησης υδατογραφήματος για διαφορετικά μεγέθη υδατογραφήματων

5.2 Σύγκριση με τη μέθοδο LSB

Αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθόδου, με αυτά της μεθόδου αντικατάστασης του λιγότερο σημαντικού ψηφίου, μπορούμε να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα.

Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Προτεινόμενη μέθοδος		Μέθοδος LSB	
		PSNR (dB)	Χρόνος (sec)	PSNR (dB)	Χρόνος (sec)
1×	512×512	45.0138	1.5600	57.0278	0.3276
2×	1024×512	45.0622	2.1060	57.0839	0.3432
4×	1024×1024	45.0395	3.1512	57.0571	0.3276
8×	1024×2048	45.0384	4.9296	0.2496	0.3744
16×	2048×2048	45.0469	8.6581	57.0798	0.4368

Πίνακας 5-7 Σύγκριση ένθεσης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο και την LSB

Καταρχήν διαπιστώνουμε ότι εξαιτίας της πολυπλοκότητας της προτεινόμενης μεθόδου αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος ένθεσης του υδατογραφήματος ειδικά σε μεγάλες εικόνες. Παράλληλα μειώθηκε ο συντελεστής PSNR εξαιτίας της λειτουργίας του προτεινόμενου αλγόριθμου όχι μόνο στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου, αλλά στα τέσσερα λιγότερο σημαντικά.

Όσον αφορά την ανάκτηση του υδατογραφήματος, ενώ η προτεινόμενη απλή μέθοδος είναι εκατοστά του δευτερολέπτου πιο αργή από τη μέθοδο LSB, η σύνθετη μέθοδος στις μεγαλύτερες εικόνες είναι αρκετά δευτερόλεπτα πιο αργή.

		Προτεινόμενη σύνθετη μέθοδος	Προτεινόμενη απλή μέθοδος	Μέθοδος LSB
Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Χρόνος ανάκτησης (δευτερόλεπτα)	Χρόνος ανάκτησης (δευτερόλεπτα)	Χρόνος ανάκτησης (δευτερόλεπτα)
1×	512×512	1.5912	0.2808	0.2340
2×	1024×512	2.5272	0.3276	0.2028
4×	1024×1024	3.8844	0.3588	0.2184
8×	1024×2048	10.0465	0.3900	0.2184
16×	2048×2048	19.7809	0.4680	0.2652

Πίνακας 5-8 Σύγκριση ανάκτησης υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο και την LSB

Στην περίπτωση της χρήσης υδατογραφήματων διαφορετικού μεγέθους, αυτό που αξίζει αναφοράς είναι ότι η προτεινόμενη μέθοδος είναι εξαρτώμενη από το μέγεθος του υδατογραφήματος που εισάγουμε, καθώς ο χρόνος έκθεσης και ανάκτησης αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση του υδατογραφήματος, ενώ ο αλγόριθμος LSB δείχνει να μην επηρεάζεται από το μέγεθος των εικόνων που εφαρμόζεται.

		Προτεινόμενη μέθοδος		Μέθοδος LSB	
Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Υδατογραφήματος (pixels)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)	PSNR (dB)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
1×	150x20	44.7239	3.1356	56.9517	0.3588
2×	150x40	44.9866	3.8844	56.9879	0.3120
3×	150x60	45.0266	4.4460	56.9784	0.3588
4×	150x80	45.0230	5.1168	56.9194	0.3276
5×	150x100	45.0625	5.7252	56.9445	0.3900

Πίνακας 5-9 Σύγκριση ένθεσης προτεινόμενης μεθόδου και LSB για διαφορετικά υδατογραφήματα

			Γρήγορη ανάκτηση	Σύνθετη ανάκτηση	Ανάκτηση με μέθοδο LSB
Αναλογία μεγέθους	Διαστάσεις Εικόνας (pixels)	Χρόνος ένθεσης (δευτερόλεπτα)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)	Χρόνος (δευτερόλεπτα)
1×	150x20	3.1356	0.3588	5.1480	0.2340
2×	150x40	3.8844	0.3732	5.9592	0.2184
3×	150x60	4.4460	0.3432	6.8640	0.2340
4×	150x80	5.1168	0.3744	7.0824	0.2184
5×	150x100	5.7252	0.3588	7.8781	0.2028

Πίνακας 5-10 Σύγκριση ανάκτησης προτεινόμενης μεθόδου και LSB για διαφορετικά υδατογραφήματα

5.3 Σύγκριση με άλλες τεχνικές

5.3.1 Σύγκριση με τεχνικές που βασίζονται στη συσχέτιση

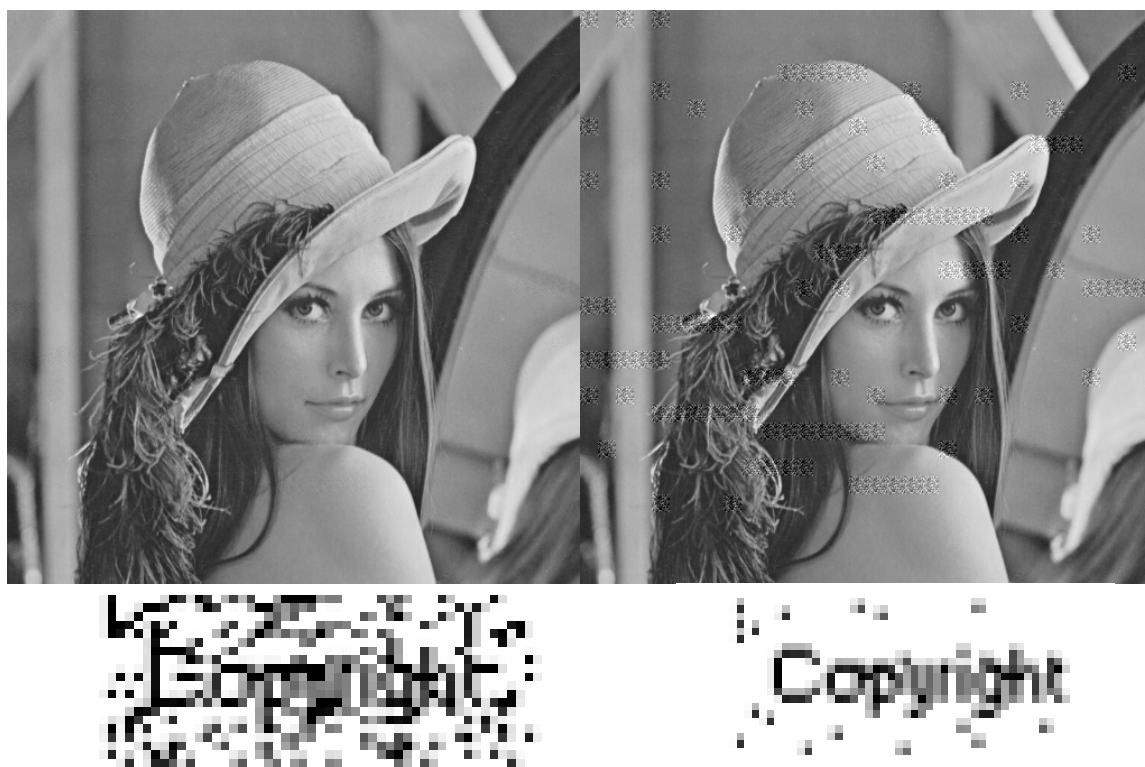
Εφαρμόζοντας τη μέθοδο υδατογράφησης με συσχέτιση με τη χρήση ορόσημου (threshold) [30], [31], σε φωτογραφία στην κλίμακα του γκρι, όπως αυτή που είχαμε χρησιμοποιήσει σε προηγούμενο κεφάλαιο, οδηγούμαστε σε καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά την ανθεκτικότητα του υδατογραφήματος σε διάφορες επιθέσεις όπως η επίθεση συμπίεσης.

Η μέθοδος αυτή λειτουργεί χωρίζοντας την εικόνα σε τμήματα (blocks) συγκεκριμένων διαστάσεων. Κάθε τμήμα από αυτά θεωρούμε ότι απεικονίζει ένα ψηφίο του υδατογραφήματος. Εισάγουμε το υδατογράφημα με τη χρήση μιας γεννήτριας ψευδοτυχαίου θορύβου και ορίζουμε ένα ορόσημο. Όταν επιχειρούμε να ανακτήσουμε το υδατογράφημα, το κάθε τμήμα παίρνει την τιμή μηδέν ή ένα ανάλογα με το ορόσημο που έχουμε ορίσει προηγουμένως.

Για την εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγορίθμου ρυθμίζουμε κάποιες παραμέτρους. Τον παράγοντα gain, ο οποίος όταν μειώνεται χάνουμε σε ανθεκτικότητα και κερδίζουμε σε αορατότητα, το ορόσημο που χρησιμοποιούμε για τον εντοπισμό του υδατογραφήματος και το

μέγεθος του υδατογραφήματος. Όσο μικρότερο είναι το υδατογράφημα που χρησιμοποιούμε, τόσο βελτιώνεται η ποιότητα του ανακτώμενου υδατογραφήματος. Συνεπώς, στην περίπτωση της φωτογραφίας με τη χρήση του παραπάνω αλγορίθμου, ο οποίος προϋποθέτει τη γνώση του υδατογραφήματος και του αλγορίθμου ένθεσης από την οντότητα που πραγματοποιεί την ανάκτηση, βελτιώνουμε την ανθεκτικότητα του υδατογραφήματος κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

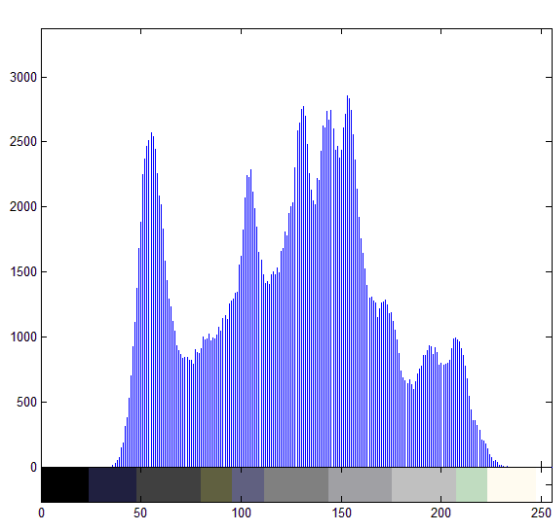
Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε ότι με $gain=5$ και μεν το υδατογράφημα είναι αόρατο, αλλά το υδατογράφημα ανακτάται σε κακή κατάσταση. Με $gain=50$ ανακτάμε υδατογράφημα καλύτερης ποιότητας, αλλά η υδατογραφημένη εικόνα σε κάποια σημεία είναι εμφανώς παραμορφωμένη μετά την ένθεση του υδατογραφήματος.



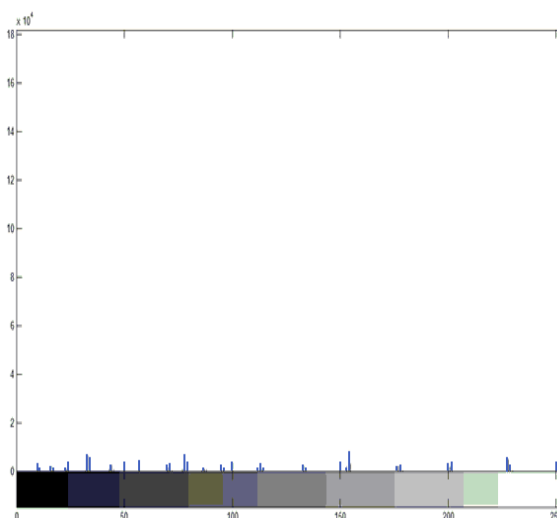
Σχήμα 5-13 Εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με $gain=5$ (αριστερά) και $gain=50$ δεξιά

Εφαρμόζοντας όμως την ίδια μέθοδο για εικόνα εγγράφου ίδιων διαστάσεων με τη φωτογραφία είναι αδύνατο να ανακτήσουμε το υδατογράφημα, ακόμα και για διαφορετικές τιμές των παραπάνω παραμέτρων. Αν συγκρίνουμε τα ιστογράμματα της φωτογραφίας και της εικόνας του εγγράφου βλέπουμε την αισθητή διαφορά στην κατανομή των αποχρώσεων του γκρι μεταξύ των δύο εικόνων. Συνεπώς η συγκεκριμένη τεχνική δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε εικόνα εγγράφου. Ακόμα και σε περίπτωση που κάτι τέτοιο γίνει εφικτό με ειδική προσαρμογή, το μέγεθος του υδατογραφήματος που μπορούμε να ενθέσουμε είναι αρκετά μικρό ερο σε σχέση με τις δυνατότητες του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Συνεπώς, η μέθοδος ανάκτησης του υδατογραφήματος με συσχέτιση δεν μπορεί να εκμεταλλεύεται τις ιδιαιτερότητες των εικόνων των εγγράφων, κάτι που κάνει η προτεινόμενη τεχνική. Παράλληλα δεν μας δίνει τη δυνατότητα ανάκτησης χωρίς τη γνώση του κλειδιού και του υδατογραφήματος, και έχει αρκετά μειωμένη χωρητικότητα σε πληροφορία υδατογραφήματος. Επίσης δεν επιτρέπει την αυτούσια ανάκτηση του υδατογραφήματος σε καμία περίπτωση. Τέλος, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί συγκεκριμένα τμήματα της εικόνας για την ένθεση του υδατογραφήματος, αδυνατεί να ανταπεξέλθει σε επιθέσεις κατάτμησης, περιστροφής και αλλαγής μεγέθους. Η χρησιμότητά της περιορίζεται σε φωτογραφίες με σύνθετα χρώματα και σε εφαρμογές με πολύ συγκεκριμένες προδιαγραφές.



Σχήμα 5-14 Ιστόγραμμα φωτογραφίας



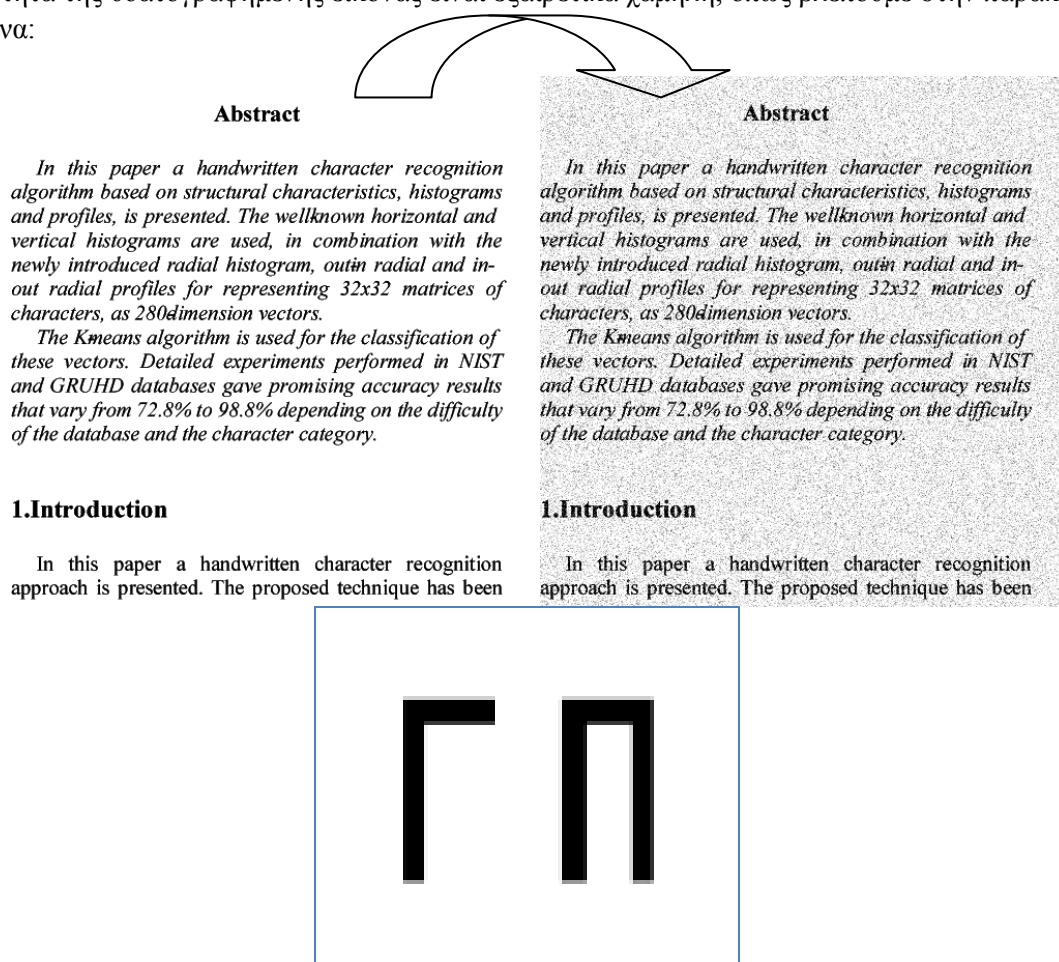
Σχήμα 5-15 Ιστόγραμμα εικόνας εγγράφου

5.3.2 Σύγκριση με τεχνικές CDMA εύρους φάσματος

Στην περίπτωση της τεχνικής CDMA εύρους φάσματος [32], [33], [34] μετατρέπουμε την εικόνα του υδατογραφήματος σε μία συμβολοσειρά από αριθμούς και για κάθε τιμή της συμβολοσειράς δημιουργείται μία ακολουθία ψευδοτυχαίου θορύβου με κάποια συγκεκριμένη είσοδο κάθε φορά. Το άθροισμα όλων αυτών των ακολουθιών δημιουργεί το υδατογράφημα και το προσθέτουμε στην αρχική εικόνα του εγγράφου. Για την ανάκτηση χρησιμοποιούμε τις εισόδους που είχαμε χρησιμοποιήσει και στην ένθεση. Συσχετίζουμε κάθε ακολουθία ψευδοτυχαίου θορύβου με την εικόνα και αν η συσχέτιση είναι υψηλή, τότε το αντίστοιχο ψηφίο του υδατογραφήματος γίνεται ένα, ενώ αν είναι χαμηλή γίνεται μηδέν. Έτσι ανακατασκευάζουμε το υδατογράφημα.

Πραγματοποιώντας πειράματα με την παραπάνω τεχνική σε εικόνες εγγράφων καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα. Καταρχήν εξαρχής βλέπουμε ότι η μέθοδος υποστηρίζει μόνο τα μικρά υδατογραφήματα. Έτσι πειραματιζόμαστε με το υδατογράφημα μεγέθους 22×20 εικονοστοιχείων. Βλέπουμε ότι και πάλι ο παράγοντας gain καθορίζει την καθαρότητα του ανακτώμενου

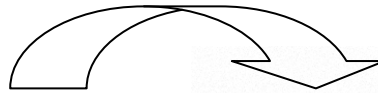
υδατογραφήματος, και την ποιότητα της υδατογραφημένης εικόνας. Αυξάνοντας τον παράγοντα gain βελτιώνουμε το υδατογράφημα, αλλά καταστρέφουμε την υδατογραφημένη εικόνα. Μειώνοντάς τον επιτυγχάνουμε αορατότητα του υδατογραφήματος, αλλά το υδατογράφημα είναι όλο και πιο δύσκολο να ανακτηθεί. Μεταβάλλοντας τον παράγοντα gain διαπιστώνουμε ότι στην τιμή $k=13$ επιτυγχάνουμε για πρώτη φορά πλήρη ανάκτηση του υδατογραφήματος. Ωστόσο η ποιότητα της υδατογραφημένης εικόνας είναι εξαιρετικά χαμηλή, όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 5-16 Υδατογραφημένη εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με $gain=13$

Μειώνοντας τον παράγοντα gain, φτάνουμε σε σχετικά καθαρή υδατογραφημένη εικόνα όταν $gain=1$. Πλέον όμως είναι πολύ δύσκολο έως αδύνατο να ανακτηθεί το υδατογράφημα από την παραγόμενη εικόνα.

Abstract



Abstract

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

In this paper a handwritten character recognition algorithm based on structural characteristics, histograms and profiles, is presented. The wellknown horizontal and vertical histograms are used, in combination with the newly introduced radial histogram, outin radial and in-out radial profiles for representing 32x32 matrices of characters, as 280dimension vectors.

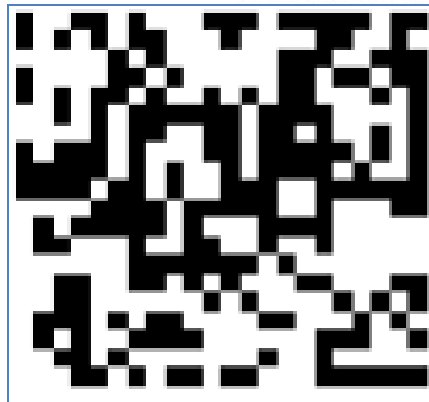
The Kmeans algorithm is used for the classification of these vectors. Detailed experiments performed in NIST and GRUHD databases gave promising accuracy results that vary from 72.8% to 98.8% depending on the difficulty of the database and the character category.

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been

1.Introduction

In this paper a handwritten character recognition approach is presented. The proposed technique has been



Σχήμα 5-17 Υδατογραφημένη εικόνα και ανακτημένο υδατογράφημα με gain=1

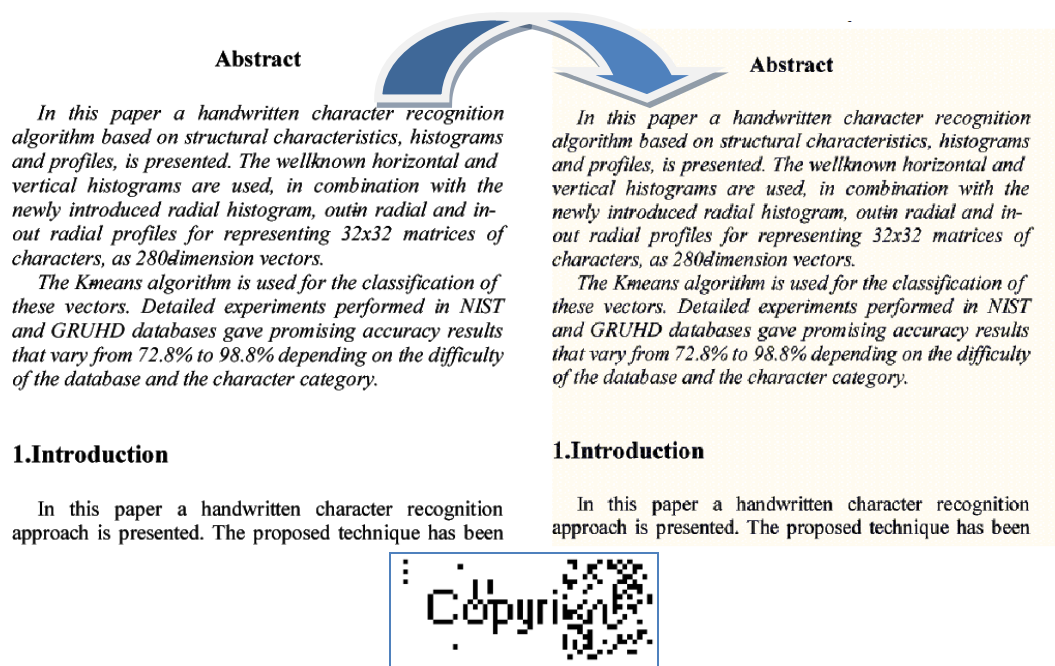
Συμπερασματικά η παραπάνω μέθοδος έχει εφαρμογή μόνο σε μεθόδους που η οντότητα που ανακτά έχει ήδη στην κατοχή της τόσο το κλειδί, όσο και την εικόνα του υδατογραφήματος. Επίσης, τα οπτικά αποτελέσματα είναι εμφανώς χειρότερα από την υδατογραφημένη εικόνα, και μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι δεν είναι ιδανική για εικόνες με μικρή μεταβολή στις αποχρώσεις των χρωμάτων.

5.3.3 Σύγκριση με τεχνικές στο πεδίο της συχνότητας

Η υδατογράφιση στο πεδίο των συχνοτήτων [10] έχει τη σημαντική ιδιότητα να παραμένει ανεπηρέαστη από επιθέσεις συμπίεσης ή από την εισαγωγή θορύβου στην εικόνα. Πράγματι, πειραματιζόμενοι με φωτογραφία στην κλίμακα του γκρι παρατηρούμε ότι το υδατογράφημα ανακτάται σε σχετικά καλή κατάσταση έπειτα από συμπίεση JPEG της τάξεως του 80%, στην οποία η προτεινόμενη τεχνική αδυνατεί να ανταπεξέλθει. Παράλληλα η ποιότητα της υδατογραφημένης εικόνας είναι αρκετά καλή.

Ωστόσο, εφαρμόζοντας τη μέθοδο σύγκρισης των συντελεστών της διακριτού μετασχηματισμού συνημίτονου, σε εικόνα εγγράφου ίδιων διαστάσεων με τη φωτογραφία, βλέπουμε ότι η ένθεση του υδατογραφήματος προκαλεί σημαντική φθορά στην εικόνα, ενώ και η ανάκτηση γίνεται τμηματικά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη τεχνική ενθέτει το υδατογράφημα

σε περιοχές της εικόνας με περισσότερη μεταβολή στην απόχρωση των χρωμάτων, κάτι που σε εικόνες εγγράφων γίνεται σε πολύ μικρό βαθμό σε σχέση με φωτογραφίες.



Σχήμα 5-18 Αποτέλεσμα ένθεσης και ανάκτησης υδατογραφήματος στο πεδίο των συχνοτήτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Συμπεράσματα

Η μέθοδος που προτείνεται επιτυγχάνει την προσθήκη ενός αόρατου και ισχυρού υδατογραφήματος σε εικόνες εγγράφων εξελίσσοντας σε μεγάλο βαθμό τον απλό αλγόριθμο ένθεσης υδατογραφήματος στο λιγότερο σημαντικό ψηφίο του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας. Στα πλαίσια αυτής της εξέλιξης αντιμετωπίζει περισσότερες επιθέσεις καθώς αυξάνει την αντοχή του υδατογραφήματος και παράλληλα διευρύνει τη λειτουργικότητα του αλγόριθμου.

Βασικό συμπέρασμα από την πειραματική μελέτη του αλγόριθμου και από τη σύγκρισή του με άλλους αλγόριθμους υδατογράφησης εικόνων, είναι ότι έχει βέλτιστη συμπεριφορά στην εξειδικευμένη περίπτωση των εικόνων εγγράφων. Όπως είδαμε οι εικόνες εγγράφων διαφέρουν από τις φωτογραφίες στο γεγονός ότι περιέχουν πολύ μικρότερη συγκριτικά ποσότητα πληροφορίας, ενώ εμπεριέχουν μεγάλα ομόχρωμα τμήματα στα οποία οι ενδεχόμενες μεταβολές είναι περισσότερο εμφανείς στο ανθρώπινο μάτι.

Τεχνικές υδατογράφησης που χρησιμοποιούν τη συχνότητα με την οποία μεταβάλλονται οι αποχρώσεις της εικόνας, ή το εύρος του φάσματος των χρωμάτων, μοιραία αδυνατούν να ενσωματώσουν στο συγκεκριμένο τύπο εικόνας μεγάλη ποσότητα πληροφορίας, ενώ όταν το επιχειρούν το οπτικό αποτέλεσμα της υδατογραφημένης εικόνας είναι μη επιθυμητό. Αντίθετα, ο προτεινόμενος αλγόριθμος όχι μόνο δεν επηρεάζεται αρνητικά από αυτή την ομοχρωμία, και την έλλειψη πληροφορίας, αλλά αντιθέτως τη χρησιμοποιεί, ώστε να έχει βέλτιστα αποτελέσματα, καθώς η πληροφορία του υδατογραφήματος ανακτάται πιο εύκολα στα λευκά σημεία της εικόνας. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις η λειτουργία και απόδοσή του επαφίεται στην ύπαρξη ομόχρωμων περιοχών στην εικόνα.

Παράλληλα, η χρήση δύο διαφορετικών τεχνικών ανάκτησης του υδατογραφήματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της λειτουργικότητας του προτεινόμενου αλγορίθμου και τη δυνατότητα χρήσης του σε πληθώρα εφαρμογών. Έτσι, στην περίπτωση που επιθυμούμε με τη χρήση του ίδιου υδατογραφήματος να έχουμε τη δυνατότητα της γνωστοποίησης κάποιας πληροφορίας στο σύνολο των χρηστών, ενώ παράλληλα θέλουμε το ίδιο υδατογράφημα να χρησιμεύει στην ανίχνευση παραποίησης της εικόνας, ή στην αυθεντικοποίηση κάποιου χρήστη, μπορούμε να το εισάγουμε με την προτεινόμενη μέθοδο και ανάλογα με το ρόλο του κάθε χρήστη να επιχειρείται απλή ανάκτηση, χωρίς τη γνώση του υδατογραφήματος ή σύνθετη ανάκτηση με τη γνώση τόσο του υδατογραφήματος, όσο και των αναλυτικών βημάτων του αλγόριθμου ένθεσης.

Ένα ακόμα σημαντικό επίτευγμα του προτεινόμενου αλγόριθμου είναι η ανθεκτικότητα του υδατογραφήματος στις επιθέσεις διαφορετικού τύπου. Αυτό είναι εύλογο στην περίπτωση των επιθέσεων που πραγματοποιούνται στο χωρικό πεδίο, όπως στις επιθέσεις κατάτμησης και μεταβολής μεγέθους. Περισσότερη εντύπωση μας προκαλεί η ανθεκτικότητα της μεθόδου σε επιθέσεις επιπέδου μεταβολής ψηφίων και εικονοστοιχείων. Η υδατογραφημένη από τον προτεινόμενο αλγόριθμο εικόνα μπορεί να παράγει ευανάγνωστο υδατογράφημα, ακόμα και σε περιπτώσεις που έχει συμπιεστεί με τον αλγόριθμο JPEG σε κλίμακα 50%. Μάλιστα αυξάνοντας το μέγεθος της εικόνας του υδατογραφήματος βελτιστοποιούμε τη συγκεκριμένη απόδοση του αλγόριθμου.

Παρό ~~η~~ αυτά η προ ~~θήκη~~ των νέων δυνατο ~~ήτων~~ έχει ως τίμημα την αύξηση της πολυπλοκότητας του αλγόριθμου, σε σχέση πάντα με τον απλό αλγόριθμο LSB, με άμεση συνέπεια την αύξηση της διάρκειας της ένθεσης και ανάκτησης του υδατογραφήματος. Βέβαια, σε σύγκριση με αλγόριθμους που χρησιμοποιούν πιο σύνθετες τεχνικές, επεμβαίνοντας στο χώρο των συχνοτήτων και του εύρους φάσματος, η προτεινόμενη μέθοδος εξακολουθεί να έχει μικρή πολυπλοκότητα και περιορισμένη χρονική διάρκεια επεξεργασίας.

Τέλος, το γεγονός ότι επεμβαίνουμε σε κάποιο από τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία και όχι αποκλειστικά στο λιγότερο σημαντικό, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή PSNR και την μικρότερη αορατότητα του υδατογραφήματος. Αλλά και σε αυτή την περίπτωση, όπως διαπιστώσαμε πειραματικά, το οπτικό αποτέλεσμα ήταν καλύτερο από περισσότερο σύνθετες μεθόδους.

6.2 Μελλοντική Μελέτη

Η προτεινόμενη μέθοδος υδατογράφησης εικόνων εγγράφων έχει πολλά περιθώρια εξέλιξης, όπως αναφέρθηκε σε αρκετά σημεία της παρούσης εργασίας. Καταρχήν, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της ανθεκτικότητας του αλγόριθμου με την προσθήκη χαρακτηριστικών που τυχαioποιούν τη λειτουργία του, καθιστώντας τον έτσι λιγότερο ευάλωτο στην αποκρυπτογράφηση του.

Παράλληλα, υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης της προσαρμοστικότητας του αλγορίθμου σε διαφορετικού τύπου εφαρμογές με τη δημιουργία κάποιου «ευφυούς συστήματος», το οποίο ανάλογα με τις απαιτήσεις που θα λαμβάνει από τους χρήστες, θα μπορεί να προσαρμόζει τη λειτουργία του αλγορίθμου, ώστε να τις ικανοποιεί σε κάποιο επιθυμητό βαθμό.

Επιπρόσθετα, είναι εφικτή και η προσθήκη δυνατοτήτων που θα εξελίξουν τον αλγόριθμο σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Μία τέτοια δυνατότητα είναι η προσθήκη της συσχέτισης της υδατογραφημένης εικόνας με τη γνήσια εικόνα στην περίπτωση που ο χρήστης την έχει στην κατοχή του, γεγονός που μας αυξάνει τα εφόδια για επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

Τέλος, μια σύνθετη διαδικασία, η οποία θα μπορούσε να βελτιώσει τα ποσοστά αποτελεσματικότητας του προτεινόμενου αλγόριθμου σε πολύ υψηλά επίπεδα, είναι η προσθήκη της δυνατότητας συσχέτισης του πλήθους των υδατογραφημάτων που επαναλαμβάνονται στην υδατογραφημένη εικόνα. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να προσεγγίσουμε την ακριβή ανάκτηση του υδατογραφήματος με τη χρήση του απλού αλγόριθμου ανάκτησης, χωρίς να έχουμε προηγούμενη γνώση της πληροφορίας του υδατογραφήματος ή των λεπτομερών βημάτων του αλγόριθμου. Μπορούμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις του υδατογραφήματος από το ρυθμό επανάληψης όμοιων ακολουθιών εικονοστοιχείων και στη συνέχεια να συσχετίσουμε το πλήθος των υδατογραφημάτων ώστε να φτάσουμε σε ένα υδατογράφημα με βέλτιστη μορφή.

Με τη εξέλιξη των παραπάνω στοιχείων του αλγόριθμου και την προσαρμογή του ώστε να είναι συμβατός με περισσότερες μορφές εικόνων, πέρα από εικόνες στην κλίμακα του γκρι, ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει τη δυνατότητα να καθιερωθεί ως βέλτιστος αλγόριθμος υδατογράφησης σε μεγάλη πληθώρα εφαρμογών για την εξειδικευμένη περίπτωση των εικόνων εγγράφων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **Fabien A. P. Petitcolas, Ross J. Anderson and Markus G. Kuhn.** "Information Hiding - A Survey". *Proceedings of the IEEE, special issue on protection of multimedia content*, pp. 87(7):1062-1078, July 1999.
- [2] **Mohanty, Saraju P.** "Watermarking of Digital Images", *A Master Degree's Project Report. Indian Institute of Science, Bangalore - 560 012, India, Jan. 1999.*
- [3] **Chen, Pei-Chun.** "On the Study of Watermarking Application in WWW." *Master Thesis of Department of Electrical Engineering National Tsing Hua University, May 1999.*
- [4] **Frank Hartung, Martin Kutter.** "Multimedia Watermarking Techniques". *Proceedings of the IEEE.* July 1999, Vol. vol. 87, No. 7.,1999.
- [5] **Hernandez, Fernando Perez-Gonzalez and Juan R.** "A Tutorial on Digital Watermarking". 1999.
- [6] **Minya Chen, Edward K. Wong, Nasir Memon and Scott Adams.** "Recent Developments in Document Image Watermarking and Data Hiding". 2001.
- [7] **J. T. Brassil, S. Low, N.F. Maxemchuk, and L O’Gorman.** "Electronic Marking and Identification Techniques to Discourage Document Coping." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* 1995, Vols. vol. 13, , no. 8, p. 1495- 1504., 1995
- [8] **J. T. Brassil, S. Low and N.F., Maxemchuk,** "Copyright Protection for the Electronic Distribution of Text Documents". *Proceeding of the IEEE.* 1999, Vols. vol. 87, no. 7, p.1181-1196., 1999
- [9] **Yan, D. Huang and H.** "Interword Distance Changes Represented by Sine Waves for Watermarking Text Images". *IEEE Trans. On Circuits and Systems for VideoTechnology.* vol. 11, no. 12, p. 1237-1245, 2001.
- [10] **H. Lu, X. Shi, Y. Q. Shi, A. C. Kot and L. Chen.** "Watermark embedding in DC Components of DCT for Binary images". *IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing, p. 300-303.* 2002.
- [11] **Liao, Guoping Tang and Xiaofeng.** "A Neural Network Based Blind Watermarking Scheme for Digital Images." F. Yin, J. Wang, and C. Guo (Eds.): ISBN 2004, LNCS 3174, pp. 645-650 , 2004.
- [12] **Perez-Gonzalez, Juan R Hernandez and Fernando.** "Statistical Analysis of Watermarking Schemes". 1999.

- [13] **Ancin, Anoop K. Bhattacharjya and Hakan.** "Data Embedding In Text For A Copier System". Epson Palo Alto Laboratory 3145 Porter , 1999.
- [14] **M. Kutter, F.A.P. Peticolas.** "A fair benchmark for image watermarking systems". 1999.
- [15] **G., Nikolaides, N., & Pitas.** "Robust Image Watermarking in the Spatial Domain". 1998.
- [16] **al, R.G. Van Schyndel et.** "A digital watermark. Intl. Conf. On Image Processing", Vols. vol. 2, pp. 86-90., 1994.
- [17] **Tanaka, K. Matsui, K.** "Video-steganography". in *Proc. IMA Intellectual Property Project*, Vol. vol. 1, pp. 187–206., Jan. 1994.
- [18] **al., Bruyndonckx et.** "Spatial Method for Copyright Labeling of Digital Images". *Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*. Vols. Jun. 1995, pp. 456-459, 1995.
- [19] **M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen.** "Digital signature of color images using amplitude modulation". in *Proc. Electronic Imaging 1997 (EI 97)*, San Jose, CA, 1997.
- [20] **C. Langelaar, J. C. A. van der Lubbe, and R. L. Legendijk.** "Robust labeling methods for copy protection of images". in *Proc. Electronic Imaging*, San Jose, CA., Vols. vol. 3022, pp. 298–309. Feb. 1997.
- [21] **Pitas, N. Nikolaidis and I.** "Copyright protection of images using robust digital signatures" in *Proc. ICASSP '96*, Atlanta, 1996.
- [22] **Pitas, I.** "A method for signature casting on digital images". in *Proc. Int. Conf. Image Processing (ICIP)*, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.
- [23] **Kaskalis, I. Pitas and T. H.** "Applying signatures on digital images",. in *Proc. IEEE Workshop Nonlinear Image and Signal Processing*, Neos Marmaros, Greece, pp. 460–463, June 1995.
- [24] **Rongen, Peter M., Maes, Maurice J. and van Overveld, Kees W.** "Digital image watermarking by salient point modification: practical results". *Proc. SPIE* Vol. 3657, p. 273-282, Security and Watermarking of Multimedia Contents, Ping Wah Wong; Edward J. Delp; Eds, 1999.
- [25] **G.Voyatzis, I.Pitas.** "Digital Image Watermarking using Mixing Systems." *Computer & Graphics.*, Vols. 22, pp. 405-416, 1998.
- [26] **Jellinek, Brigitte.** "Invisible Watermarking of Digital Images for Copyright Protection." Salzburg Univercity, Jan 2000.
- [27] **Stephane Pateux, Gaetan Le Guelvouit.** "Practical Watermarking scheme based on Wide Spread Spectrum and Game Theory". *Preprint submitted to Elsevier Sciene*, Nov 2002.

- [28] **Juergen Seitz, Tino Jahnke.** "Digital Watermarking: An Introduction." Vol. Chapter 1. 2005.
- [29] **J.J.K. O Ruanaidh, W.J. Dowling, F.M. Boland,, .** "Phase watermarking of digital images." Lausanne, Switzerland : *In Proceedings, 1996 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP' 96)*, pages 239-242, Sep 1996.
- [30] **A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini.** "Threshold Selection for Correlation-Based Watermark Detection". 1998.
- [31] **A. Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini.** "DCT-based Watermark Recovering without Resorting to the Uncorrupted Original Image." *IEEE Signal Processing Society 1997 International Conference on Image Processing (ICIP'97)*, 1997.
- [32] **M.P. Mitrea, F.J. Prêteux, A. Vlad, and N.F. Rougon.** "Spread Spectrum Watermarking Method for Image Databases." *From Proceeding (370) Signal Processing, Pattern Recognition, and Applications .* 2002.
- [33] **T. Kohda, Y. Ookubo, and K. Shinokura.** "Digital Watermarking through CDMA Channels Using Spread Spectrum Techniques." *Department of Computer Science and Communication Engineering, Kyushu University, Japan*, 2000.
- [34] **Mobasserri, R. G.** "Exploring CDMA for Watermarking of Digital Video", *SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents .* 25-27, Vol. Vol 3657, pp 96-102, January, 1999.
- [] **A.H.Taherinia, M.Jamzad,** "Two level DCT based digital watermarking" , *WSSIP06, 13th International Conference on Systems, Signals & Image Processing*, Budapest, Hungary, September 21-23, 2006.
- [] **N.S.Sattari, M.Jamzad,** "A high capacity secure watermarking algorithm for document images", *WSSIP06, 13th International Conference on Systems, Signals & Image Processing*, Budapest, Hungary, September 21-23, 2006.
- [] **A.Shahroudi, M.Jamzad,** "A DWT based watermarking method with high robustness and forgery detection capacity", *WSSIP06, 13th International Conference on Systems, Signals & Image Processing*, Budapest, Hungary, September 21-23, 2006.
- [] **Yingkun, Hou Xiangcai, Zhu Lili, Zhu Mingxia, Liu,** "Image with Less Information Watermarking Algorithm Based on DWT", Taishan College, China, 2007.
- [] **Harsh Vikram Singh, S. P. Singh and Anand Mohan,** "A New Robust Method of Hiding Text Characters for Secure Open Channel Transmission", *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.7 No.7, July 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι - ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

Ένθεση υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο

```
clear all;

% Αποθήκευση του χρόνου εκκίνησης στη μεταβλητή start_time
start_time=cputime;

% Επιλογή της αρχικής εικόνας που θα υδατογραφηθεί
file_name='test_image_ICPR_2048x1024res.bmp';
cover_object=imread(file_name);

% Επιλογή της εικόνας του υδατογραφήματος
file_name='watermark_1.bmp';
message=imread(file_name);

% Ορίζουμε το μέγεθος της αρχικής εικόνας
Mc=size(cover_object,1); %Ύψος
Nc=size(cover_object,2); %Πλάτος

% Ορίζουμε το μέγεθος της εικόνας του υδατογραφήματος
Mm=size(message,1); %Ύψος
Nm=size(message,2); %Πλάτος

%Μετατρέπουμε το υδατογράφημα σε μονοδιάστατο δυαδικό διάνυσμα
v_size = Mm*Nm;
message_vector=reshape(message,v_size,1);

% Λαμβάνουμε δυάδες bit του μονοδιάστατου δυαδικού διανύσματος και τους
% αριθμούς που προκύπτουν τους μετατρέπουμε σε δεκαδικούς και τους
% αποθηκεύουμε σε πίνακα με τίτλο w_rossition, αφού τους αφαιρέσουμε από
% τον αριθμό 4.

for ii = 1:(v_size/2)

    middle_vector=[message_vector(ii),message_vector(ii+1)];

    w_position(ii) = 4-binvec2dec(middle_vector);

end

% Κατανομή θέσεων των ψηφίων έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα του
% αποτελέσματος της διαδικασίας

for ii = 1:(v_size/2)
    if w_position(ii)==1
        w_position(ii)=3; %Εναλλαγή πρώτου με τρίτου bit
```

```

elseif w_position(ii)==3
    w_position(ii)=1;
elseif w_position(ii)==2
    w_position(ii)=4; %Εναλλαγή δεύτερου με τέταρτου bit
else w_position(ii)=2;
end
end
end

% Μετατρέπουμε το υδατογράφημα στο μέγεθος της αρχικής εικόνας

watermark=message(mod(1:Mc,Mm)+1,mod(1:Nc,Nm)+1);

% Εισάγουμε την πληροφορία του υδατογραφήματος στην εικόνα αλλάζοντας σε
% κάθε pixel την τιμή του ψηφίου που βρίσκεται στη θέση που ορίζει ο
% πίνακας w_position
watermarked_image=cover_object;
ch_bit=0;
for ii = 1:Mc
    for jj = 1:Nc
        ch_bit = ch_bit + 1;
        watermarked_image(ii,jj)=bitset(watermarked_image(ii,jj),w_position(ch_bit),watermark(ii,jj));
        if ch_bit >= (v_size/2)
            ch_bit=0;% Όταν φτάσουμε στο τέλος του πίνακα w_position, ξεκινάμε πάλι από την αρχή
        end
    end
end
end

%-----
%Πειράματα για περιστροφή (rotation) εικόνας
%watermarked_image = imrotate (watermarked_image, -1,'bilinear','loose');
%figure(3)
%imshow(watermarked_image,[])
%title('Rotated')

%Πειράματα για αναπροσαρμογή μεγέθους (resize)
%watermarked_image = imresize(watermarked_image,1.1);
%figure(3)
%imshow(watermarked_image,[])
%title('Resized')

%Πειράματα για συμπίεση JPEG
%imwrite(watermarked_image,'lsb_watermarked.jpg','jpg','Quality',70);
%-----

% Εξάγουμε την υδατογραφημένη εικόνα σε ένα αρχείο bmp
imwrite(watermarked_image,'lsb_watermarked.bmp','bmp');

% Απεικόνιση του χρόνου που διήρκησε η υδατογράφιση
elapsed_time=cputime-start_time,

```

```
% Υπολογισμός του PSNR
psnr=psnr(cover_object, watermarked_image),
```

```
% Απεικόνιση της υδατογραφημένης εικόνας
figure(1)
imshow(watermarked_image,[])
title('Meta')
```

```
% Απεικόνιση της αρχικής εικόνας
figure(2)
imshow(cover_object,[])
title('Prin')
```

Σύνθετη ανάκτηση υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο

```
clear all;
```

```
% Αποθήκευση του χρόνου εκκίνησης στη μεταβλητή start_time
start_time=cputime;
```

```
% Επιλογή της υδατογραφημένης εικόνας
file_name='lsb_watermarked.bmp';
watermarked_image=imread(file_name);
```

```
%Έλεγχος για περιστροφή αν χρειαστεί
%watermarked_image = imrotate (watermarked_image, +1,'bilinear','loose');
```

```
% Ορίζουμε το μέγεθος της υδατογραφημένης εικόνας
Mw=size(watermarked_image,1); %Ύψος
Nw=size(watermarked_image,2); %Πλάτος
```

```
% Επιλογή της εικόνας του υδατογραφήματος
file_name='watermark_150x20.bmp';
message=imread(file_name);
```

```
% Ορίζουμε το μέγεθος της εικόνας του υδατογραφήματος
Mm=size(message,1); %Ύψος
Nm=size(message,2); %Πλάτος
```

```
%Μετατρέπουμε το υδατογράφημα σε μονοδιάστατο διάνυσμα
v_size = Mm*Nm;
message_vector=reshape(message,v_size,1);
```

```
for ii = 1:(v_size/2)
    middle_vector=[message_vector(ii),message_vector(ii+1)];
    w_position(ii) = 4-binvec2dec(middle_vector);
end
```

```
for ii = 1:(v_size/2-1)
    if w_position(ii)==1
        w_position(ii)=3;
    elseif w_position(ii)==3
        w_position(ii)=1;
    end
end
```

```

elseif w_position(ii)==2
    w_position(ii)=4;
else w_position(ii)=2;
end
end

% Ανάκτηση

ch_bit=0;
for ii = 1:Mw
    for jj = 1:Nw
        ch_bit = ch_bit + 1;
        watermark(ii,jj)=bitget(watermarked_image(ii,jj),w_position(ch_bit));
        if ch_bit >= (v_size/2)
            ch_bit=0;
        end
    end
end

end
end

% Ο χρόνος που διήρκησε η διαδικασία ανάκτησης
elapsed_time=cputime-start_time,

figure(3)
imshow(watermark,[])
title('Recovered Watermark1')

```

Γρήγορη ανάκτηση υδατογραφήματος με την προτεινόμενη μέθοδο

```

clear all;
% Αποθήκευση του χρόνου εκκίνησης στη μεταβλητή start_time
start_time=cputime;

file_name='lsb_watermarked.bmp';
cover_object=imread(file_name);

% Έλεγχος για περιστροφή αν χρειαστεί
%cover_object = imrotate (cover_object, +1,'bilinear','crop');

% Διαστάσεις υδατογραφημένης εικόνας
Mc=size(cover_object,1); %Height
Nc=size(cover_object,2); %Width

% Μετατρέπουμε τα 4 περισσότερο σημαντικά ψηφία σε ένα (ή μηδέν)
watermarked_image=cover_object;
for kk = 5:8
    watermarked_image=bitset(watermarked_image,kk,1);
end

```

```
imwrite(watermarked_image,'lsb_watermarked.bmp','bmp');
```

```
% Απεικόνιση του χρόνου που διήρκησε η υδατογράφιση  
elapsed_time=cputime-start_time,  
% display watermarked image  
figure(2)  
imshow(watermarked_image,[])  
title('Watermarked Image')
```


ΣΥΝΤΟΜΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ

Γεννήθηκα και πέρασα τα πρώτα χρόνια της ζωής μου στο νησί της Σάμου. Σε ηλικία 9 χρονών μετακόμισα με την οικογένειά μου στην Αθήνα με μοναδικό όνειρο να επιστρέψω στον τόπο καταγωγής μου. Η ίδρυση του τμήματος «Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων» του Πανεπιστημίου Αιγαίου αποτέλεσε εφελτήριο για την επάνοδό μου στο νησί, όπου αποφοίτησα από τη σχολή με τίτλο «Μηχανικός Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων» με βαθμό 7,91, «Λίαν Καλώς». Μετά την ολοκλήρωση των στρατιωτικών μου υποχρεώσεων, εγγράφηκα στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών με τίτλο «Τεχνολογίες και Διοίκηση Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων" και κατεύθυνση «Διαχείριση Πληροφορίας». Τα τελευταία δύο χρόνια παράλληλα εργάζομαι ως εκπαιδευτικός στην πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια και μεταδευτεροβάθμια εκπαίδευση.