

Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Ακαδημαϊκό Έτος 2017-2018 (Εαρινό Εξάμηνο)

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ – ΜΕΡΟΣ Β

Θέμα 3 - Ψηφιακή Υδατογράφηση Εικόνων

Αθανασίου Φανουρία
ΑΜ : 1003926

Πάτρα 11/06/2018

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	3
2	Χωρικό Πεδίο	3
2.1	Τροποποίηση των λιγότερο σημαντικών ψηφίων.....	3
2.2	Εισαγωγή υδατογραφήματος με συντελεστή κέρδους.....	5
2.3	Ανίχνευση υδατογραφήματος μετά από αλλοιώσεις	6
2.3.1	Προσθήκη Γκαουσιανού Θορύβου	6
2.3.2	Εφαρμογή γεωμετρικού μετασχηματισμού	7
3	Πεδίο Συχνότητων.....	9
3.1	Ανίχνευση υδατογραφήματος μετά από αλλοιώσεις	12
3.1.1	Προσθήκη Γκαουσιανού Θορύβου	12
3.1.2	Εφαρμογή γεωμετρικού μετασχηματισμού	12
4	Βιβλιογραφία	14

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδατογράφιση εικόνων είναι μία τεχνική που στόχο έχει την ασφάλεια και την διαφύλαξη των δικαιωμάτων του ιδιοκτήτη μιας εικόνας. Ουσιαστικά, πρόκειται για την προσθήκη δεδομένων σε μια εικόνα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται η ποιότητα της ενώ παράλληλα με κατάλληλη εξόρυξη του υδατογραφήματος μπορούμε να βεβαιωθούμε για την ακεραιότητα της.

Σε αυτή την εργασία υλοποιήθηκαν δύο συστήματα εισαγωγής προσθετικού υδατογραφήματος σε μια εικόνα στο χωρικό πεδίο και σε αυτό των συντελεστών του μετασχηματισμού DCT της εικόνας. Το υδατογράφημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένας ψευδοτυχαίο σήμα, συγκεκριμένης ισχύος και ίδιων διαστάσεων με την εικόνα. Ακόμη επειδή τα υδατογραφήματα που χρησιμοποιούνται δεν είναι ορατά στο μάτι, η ανάκτηση τους γίνεται με κατάλληλους αλγορίθμους αποκωδικοποίησης. Εδώ η ανίχνευση τους, γίνεται και στις δύο περιπτώσεις με την τεχνική της γραμμικής συσχέτισης και με τη χρήση κατωφλίου.

Στη συνέχεια, γίνεται αξιολόγηση της ανίχνευσης του υδατογραφήματος στις περιπτώσεις που στην υδατογραφημένη εικόνα προστίθεται λευκός θόρυβος ή εφαρμόζεται ένας γεωμετρικός μετασχηματισμός (πχ scaling, cropping, rotation).

2 ΧΩΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Αρχικά επιχειρήθηκε η προσθήκη υδατογραφήματος στο χωρικό πεδίο, με την προσθήκη ενός ψευδοτυχαίου σήματος στις τιμές της φωτεινότητας της εικόνας. Το ψευδοτυχαίο σήμα που χρησιμοποιήσαμε αποτελείται από τους ακεραίους $\{0,1\}$. Το συγκεκριμένο σήμα δημιουργήθηκε με την χρήση ενός κλειδιού και πιο συγκεκριμένα με τις συναρτήσεις `rng()` και `randi()` της MATLAB και είχε τις ίδιες διαστάσεις με την εικόνα.

2.1 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΨΗΦΙΩΝ

Αρχικά, επειδή τα λιγότερο σημαντικά bits σε μία 8-bit εικόνα έχουν πολύ μικρό αποτέλεσμα στο οπτικό αποτέλεσμα. Έτσι, προσθέτουμε το υδατογράφημα στα δύο λιγότερο πιο σημαντικά ψηφία της εικόνας χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο:

$$I_w = 4 \left(\frac{I}{4} \right) + \frac{w}{64}$$

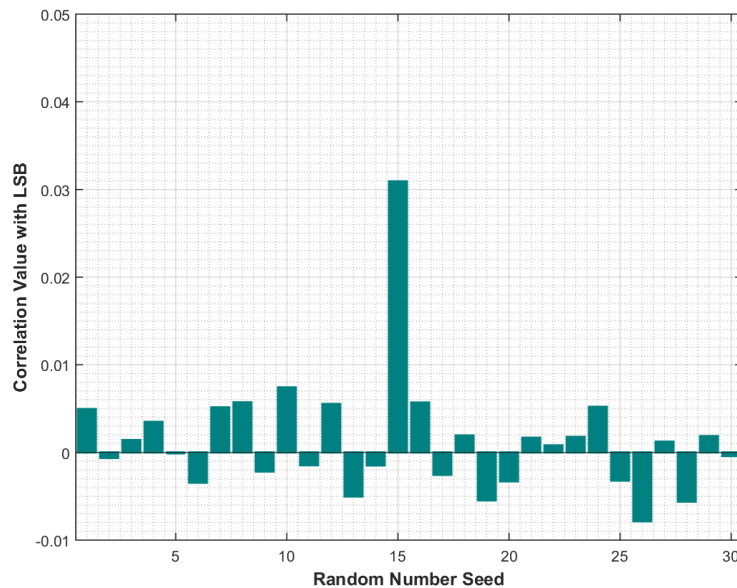
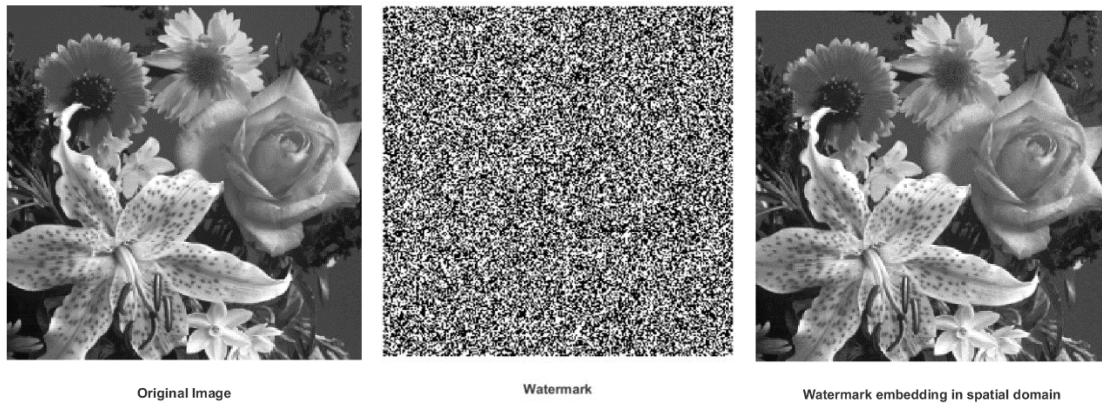
όπου I η αρχική εικόνα, w το ψευδοτυχαίο σήμα και I_w η εικόνα με το υδατογράφημα.

Με τον τύπο αυτό, θέτουμε τα δύο λιγότερο σημαντικά ψηφία της εικόνας σε 0 και σε αυτά προσθέτουμε το υδατογράφημα έχοντας κάνει σε αυτό μια διαίρεση με το 64 ώστε τα δύο πιο σημαντικά του ψηφία να μούνε στις δύο τελευταίες θέσεις. Επειδή ο ψευδοτυχαίος θόρυβος που προσθέτουμε, θα μπορούσε να εισέλθει και μόνο στο τελευταίο bit, αλλά ύστερα από δοκιμές τα αποτελέσματα ήταν χειρότερα.

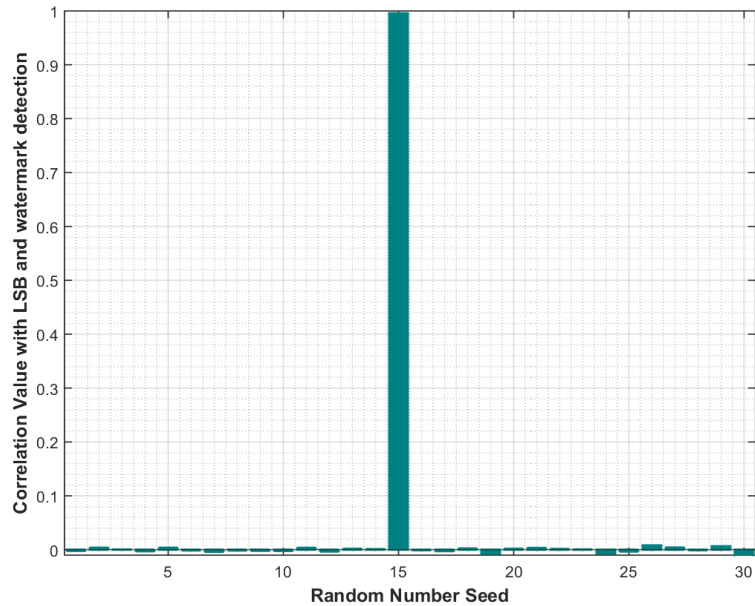
Για την ανίχνευση του υδατογραφήματος κάνουμε έναν υπολογισμό της συσχέτισης της εικόνας I'_w και του ψευδοτυχαίου σήματος W . Γενικά οι ψευδοτυχαίες ακολουθίες δημιουργούνται με την χρήση διαφορετικών κλειδιών και έχουν μικρή συσχέτιση μεταξύ τους. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης η τιμή της συσχέτισης θα

είναι πολύ μεγαλύτερη για την ακολουθία που δημιουργήθηκε με το σωστό κλειδί και πολύ χαμηλό για τις υπόλοιπες. Το κατώφλι που αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε αποφασίστηκε πειραματικά και είναι ίσο με $T = 0.02$. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, εκτός από αυτόν τον τρόπο ανίχνευσης έγινε και δοκιμή με αρχική εξόρυξη του υδατογραφήματος από τα τελευταία δύο bits της εικόνας και στην συνέχεια υπολογισμός της συσχέτισης των δύο αυτών και με ακόμη καλύτερα αποτελέσματα.

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδους είναι ότι το υδατογράφημα εισάγεται στα λιγότερο σημαντικά ψηφία μιας εικόνας. Με την αλλαγή όλων αυτών σε 1 ή 0, ο επιτιθέμενος μπορεί να εξαφανίσει το υδατογράφημα χωρίς να επηρεάσει την ποιότητα της εικόνας. Ακόμη αυτή η τεχνική είναι ευάλωτη στο φιλτράρισμα και σε άλλες επιθέσεις Επεξεργασίας Εικόνας.



Σχήμα 1 Τιμές συσχέτισης του I' που περιέχει σαν υδατογράφημα το ψευδοτυχαίο σήμα που δημιουργήθηκε με $seed=15$ με ψευδοτυχαία σήματα που δημιουργήθηκαν με $seed=[1,30]$.



Σχήμα 2 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος που δημιουργήθηκε με seed=15 με ψευδοτυχαία σήματα που δημιουργήθηκαν με seed=[1,30].

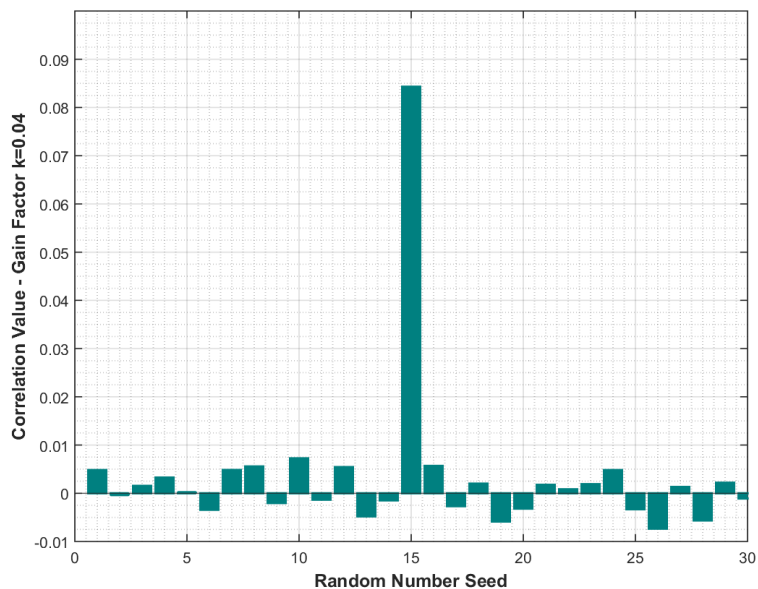
2.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΕΡΔΟΥΣ

Σε αυτή τη μέθοδο προσθέτουμε το ψευδοτυχαίο σήμα μας στην αρχική εικόνα ενώ το έχουμε πολλαπλασιάσει με ένα συντελεστή κέρδους κ , όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$I_w = I + \kappa * w$$

όπου κ ο συντελεστής κέρδους.

Τον συντελεστή κ ($\kappa=0.04$) που χρησιμοποιήσαμε τον βρήκαμε πειραματικά αφού για μεγαλύτερες τιμές του, αλλοιώνονταν η εικόνα ενώ για πολύ μικρότερες δεν ήταν δυνατή η ανίχνευση του watermark.

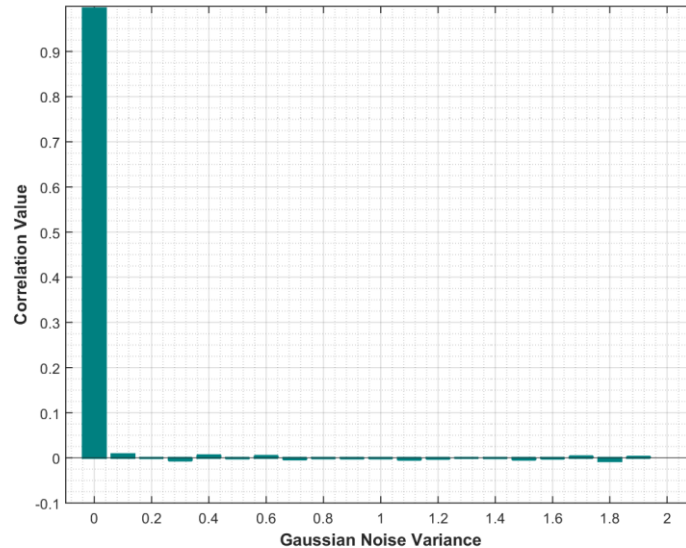


Σχήμα 3 Τιμές συσχέτισης του I' που περιέχει σαν υδατογράφημα το ψευδοτυχαίο σήμα που δημιουργήθηκε με seed=15 με ψευδοτυχαία σήματα που δημιουργήθηκαν με seed=[1,30].

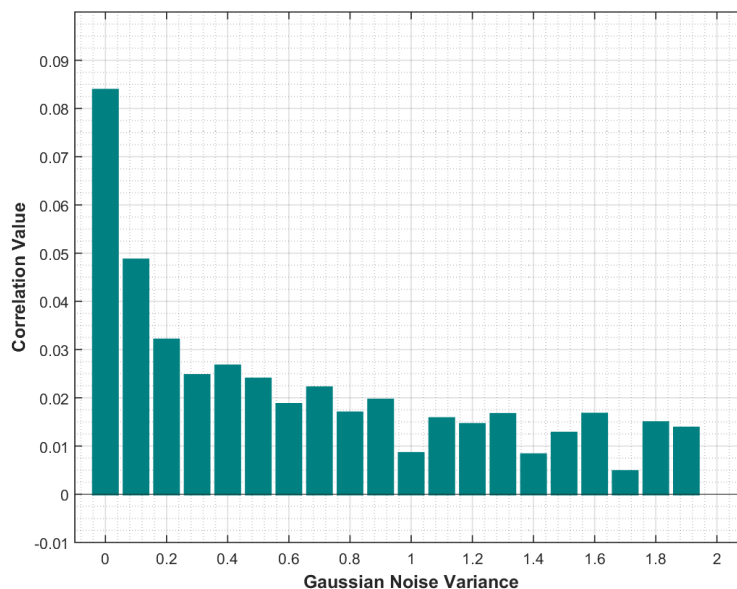
2.3 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

2.3.1 Προσθήκη Γκαουσιανού Θορύβου

Σε αυτή την επίθεση προσθέτουμε γκαουσιανό θόρυβο μεταβλητής διασποράς και παρατηρούμε ότι η ανίχνευση του υδατογραφήματος με την μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε και για τις δύο μεθόδους είναι αδύνατη.



Σχήμα 4 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος με την προσθήκη γκαουσιανό θόρυβο μεταβλητής διασποράς σε σχέση με το αρχικό υδατογράφημα (μέθοδος LSB)



Σχήμα 5 Τιμές συσχέτισης του I'w που περιέχει σαν υδατογράφημα το ψευδοτυχαίο σήμα που δημιουργήθηκε με seed=15 και γκαουσιανό θόρυβο μεταβλητής διασποράς, με το αρχικό υδατογράφημα (μέθοδος συντελεστή κέρδους)

Εδώ προσθέτουμε Γκαουσιανό θόρυβο στην εικόνα που προέκυψε από τη δεύτερη μέθοδο. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται αυτή τόσο πιο δύσκολη είναι η ανίχνευση του υδατογραφήματος. Πρέπει να τονιστεί ότι η συσχέτιση παίρνει διαφορετικής τάξης μεγέθους τιμές στην περίπτωση που κάνουμε συσχέτιση του εξορυγμένου υδατογραφήματος με το αρχικό και όταν κάνουμε της τελική εικόνας με το ίδιο. Αυτό είναι λογικό αφού μιλάμε για

πολύ μικρότερες τιμές συσχέτισης με την τελική εικόνα, αφού οι τιμές αυτής μεταβάλλονται λιγότερο λόγω της ίδιας προσθήκης θορύβου σε σχέση με το εξορυγμένο υδατογράφημα που αποτελείται από 0 και 1.

2.3.2 Εφαρμογή Γεωμετρικού Μετασχηματισμού

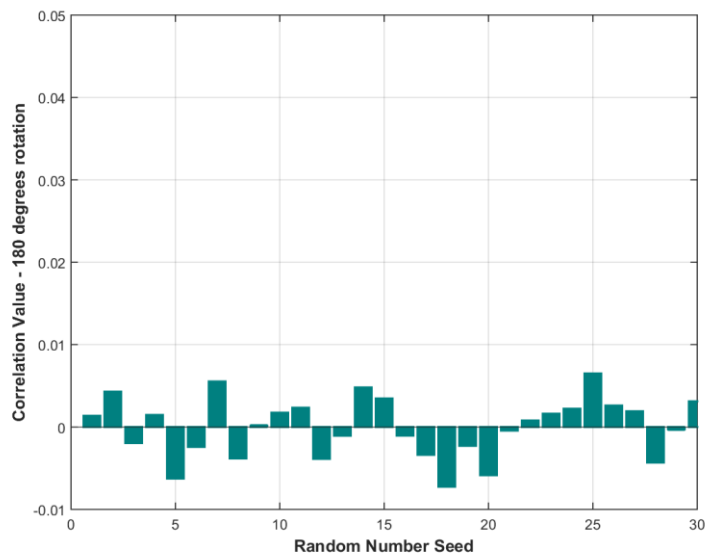
Σε αυτή την επίθεση περιστρέφουμε την εικόνα κατά 180 μοίρες και παρατηρούμε ότι η ανίχνευση του υδατογραφήματος με την μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε και για τις δύο μεθόδους είναι αδύνατη. Ακόμη και αν περιστρέψουμε μόνο μία μοίρα την εικόνα, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια. Σε περίπτωση που γνωρίζαμε την εφαρμοζόμενη επίθεση θα μπορούσαμε να ανιχνεύσουμε το υδατογράφημα, όμως επειδή στην περίπτωση μας κάνουμε blind watermarking detection είναι αδύνατη η ανίχνευση του με αυτού του είδους τον μετασχηματισμό.



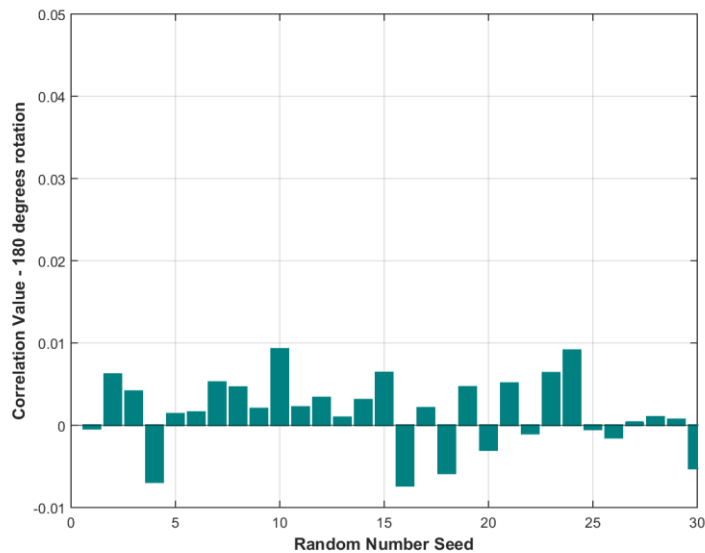
180 degrees Rotated Attacked Image



Original Image



Σχήμα 6 Τιμές συσχέτισης του I_w που περιέχει σαν υδατογράφημα το ψευδοτυχαίο σήμα που δημιουργήθηκε με $seed=15$ και περιστροφή αυτής κατά 180 μοίρες, σε σχέση με με το αρχικό υδατογράφημα (μέθοδος συντελεστή κέρδους)



Σχήμα 7 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος με περιστροφή 180 μοιρών σε σχέση με το αρχικό υδατογράφημα (μέθοδος LSB)

Σε αυτό το σημείο δοκιμάστηκε ακόμη μία επίθεση. Εδώ αλλάζουμε το μέγεθος της εικόνας με την `imresize()` της MATLAB και στη συνέχεια να ανιχνεύσουμε το υδατογράφημα. Μετά από αυτή την επίθεση η εικόνα εκτός από τις αλλαγές στο μέγεθος, γίνεται και πιο θολή.



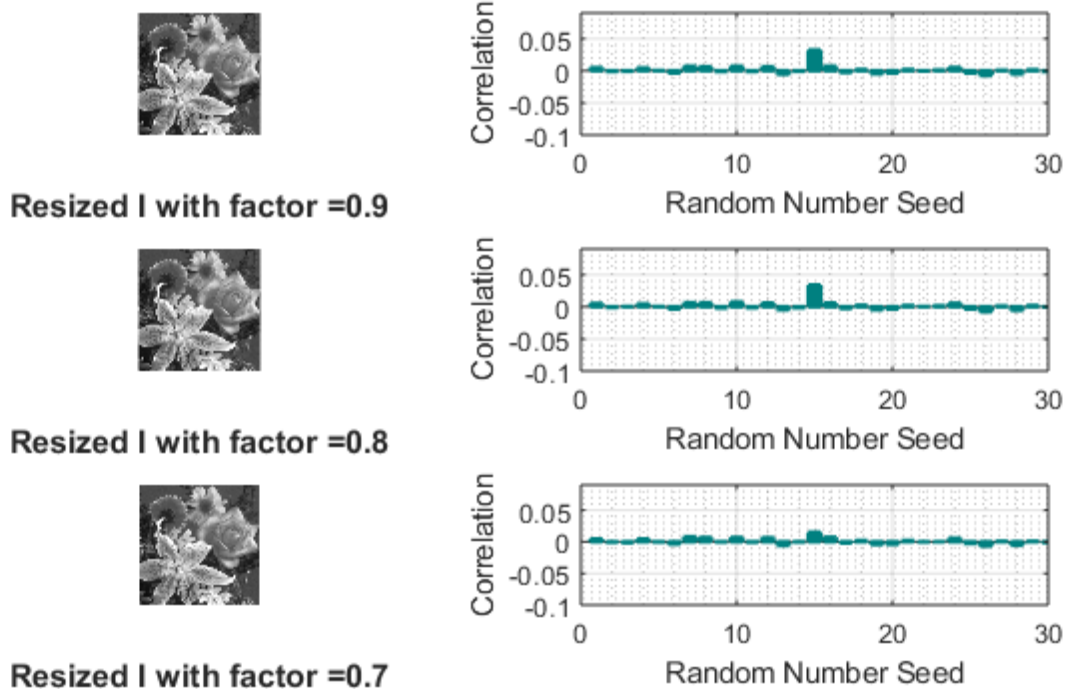
Resized Image with factor =0.7



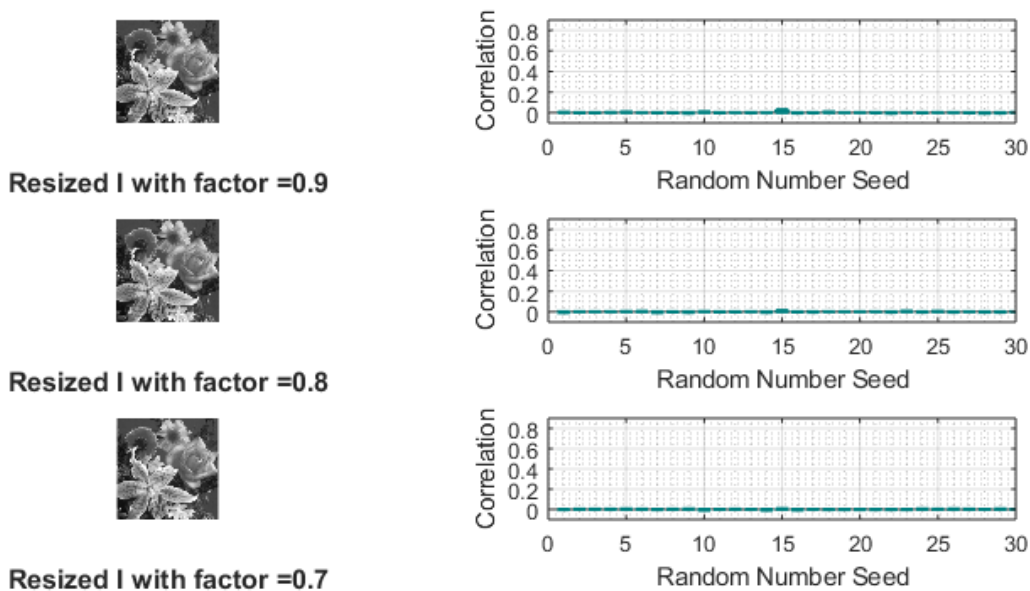
Original Image

Εικόνα 2-1 Εφαρμογή *scaling* στην αρχική εικόνα

Γίνεται αντιληπτό από τα παρακάτω σχήματα ότι η μέθοδος με συντελεστή κέρδους έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τη μέθοδο LSB, με την οποία δεν μπορούμε να ανιχνεύσουμε σε καμία περίπτωση το υδατογράφημα μας.



Εικόνα 2-2 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος μετά από επίθεση *scaling* με διαφορετικούς συντελεστές((μέθοδος συντελεστή κέρδους)



Εικόνα 2-3 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος μετά από επίθεση *scaling* με διαφορετικούς συντελεστές((μέθοδος LSB)

3 ΠΕΔΙΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Στην προσπάθεια να γίνει το υδατογράφημα πιο ισχυρό έναντι στις επιθέσεις, άρχισε να χρησιμοποιείται το πεδίο των συχνοτήτων, ώστε να γίνει απόκρυψη των θέσεων στις οποίες εισάγεται το υδατογράφημα. Το πεδίο αυτό είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο λόγω των ενεργειακών ιδιοτήτων του και της μεγαλύτερης ανθεκτικότητας που

επιδεικνύει σε επιθέσεις. Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός DCT(Discrete Cosine Transform) . Εδώ, μικρές αλλαγές εφαρμόζονται στους συντελεστές αυτού , όπου εισάγουμε και το υδατογράφημα μας με μικρές αλλοιώσεις στην τελική εικόνα.

ΜΕΘΟΔΟΣ Α

Η πρώτη προσέγγιση που χρησιμοποιείται εδώ είναι η εισαγωγή του υδατογραφήματος στη θέση του λιγότερο σημαντικού ψηφίου σε κάποιον συντελεστή του DCT. Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι εισάγουμε ένα bit σε κάθε 64 pixels, διατηρώντας το επίπεδο του ορατού θορύβου σε χαμηλά επίπεδα. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητη σε γεωμετρικές επιθέσεις.

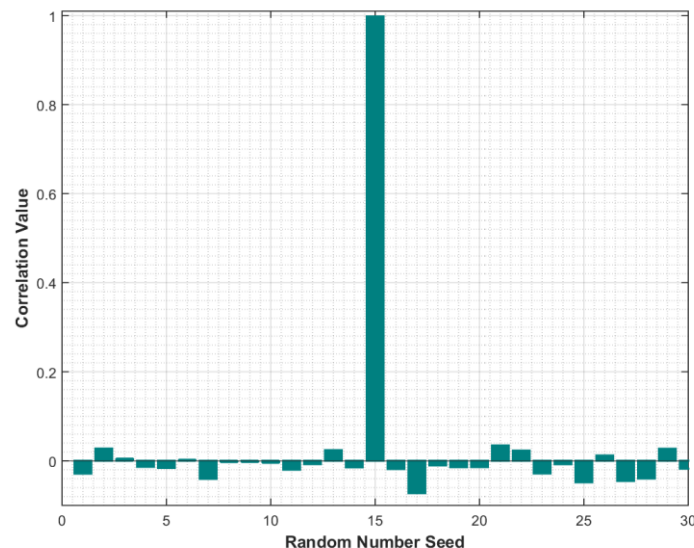
ΒΗΜΑ 1. Χωρίζουμε την εικόνα (256 x 256) σε 1024 μη επικαλυπτόμενα 8x8 blocks.

ΒΗΜΑ 2. Εφαρμόζουμε δισδιάστατο μετασχηματισμό DCT ανεξάρτητα στο κάθε μπλοκ.

ΒΗΜΑ 3. Εισάγουμε σε κάθε ένα από τα 1024 μπλοκ μεγέθους 8x8 από ένα bit του watermark μεγέθους 32x32 (αν το υδατογράφημα έχει το μέγεθος της εικόνας μπορούμε να το κάνουμε resize, χωρίς ιδιαίτερη διαφορά στα αποτελέσματα).

ΒΗΜΑ 4. Εφαρμόζουμε αντίστροφο μετασχηματισμό DCT σε κάθε μπλοκ.

ΒΗΜΑ 5. Ανασυνθέτουμε την εικόνα.



Σχήμα 8 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος που δημιουργήθηκε με seed=15 με ψευδοτυχαία σήματα που δημιουργήθηκαν με seed=[1,30]. (Μέθοδος Α)



Image with embedded watermark-A



Original Image

ΜΕΘΟΔΟΣ Β

Η δεύτερη και πιο απλή στην υλοποίηση προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι η εισαγωγή του υδατογραφήματος στους συντελεστές DCT ολόκληρης της εικόνας.

ΒΗΜΑ 1. Εφαρμόζουμε δισδιάστατο μετασχηματισμό DCT σε όλη την εικόνα.

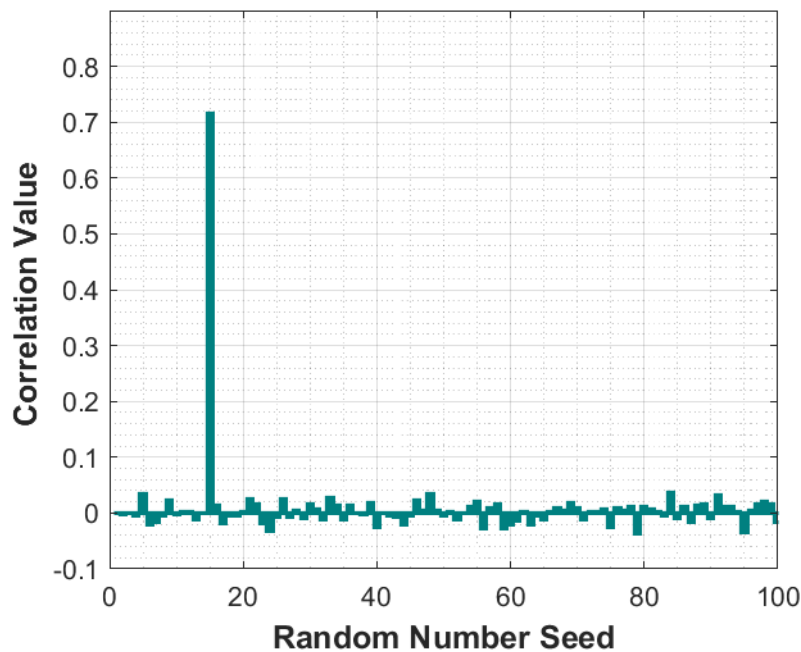
ΒΗΜΑ 2. Σκανάρουμε τον πίνακα με τη μέθοδο zigzag.

ΒΗΜΑ 3. Περίπου στη μέση του διανύσματος που δημιουργήθηκε από το προηγούμενο βήμα προσθέτουμε το υδατογράφημα σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$I_w = I + \kappa * w$$

όπου κ ο συντελεστής κέρδους.

ΒΗΜΑ 5. Εφαρμόζουμε αντίστροφο μετασχηματισμό DCT στον πίνακα των συντελεστών και έχουμε την εικόνα με το υδατογράφημα.



Εικόνα 3-1 Τιμές συσχέτισης των συντελεστών DCT όπου έχει προστεθεί το υδατογραφήμα που δημιουργήθηκε με $seed=15$ σε σχέση με ψευδοτυχαία σήματα που δημιουργήθηκαν με $seed=[1,100]$. (Μέθοδος Β)



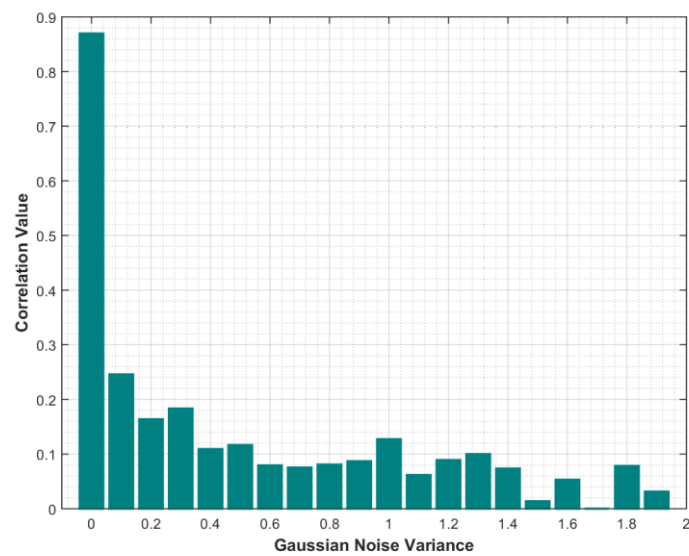
Image with embedded watermark-B



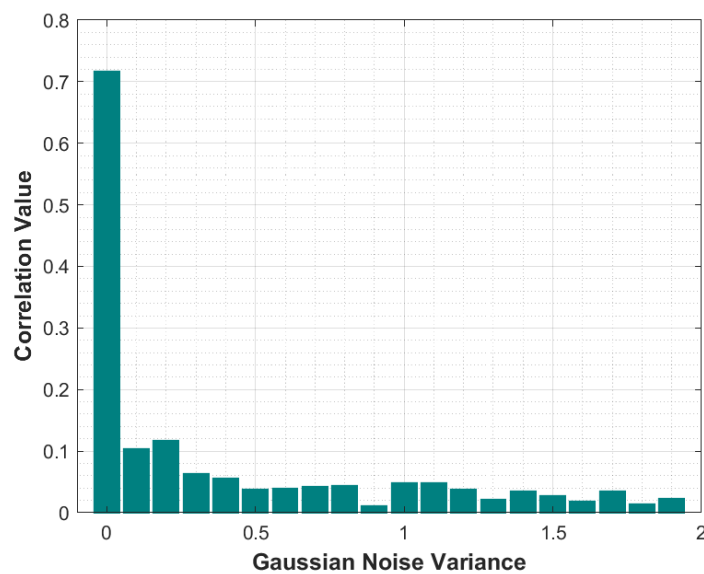
Original Image

3.1 ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΥΔΑΤΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

3.1.1 Προσθήκη Γκαουσιανού Θορύβου



Εικόνα 3-2 Τιμές συσχέτισης του εξοργυμένου υδατογραφήματος με την προσθήκη γκαουσιανού θορύβου μεταβλητής διασποράς σε σχέση με το αρχικό υδατογράφημα (Μέθοδος Α)



Εικόνα 3-3 4 Τιμές συσχέτισης των συντελεστών DCT όπου έχει προστεθεί το υδατογραφήμα με την προσθήκη γκαουσιανού θορύβου μεταβλητής διασποράς σε σχέση με το αρχικό υδατογράφημα (Μέθοδος Β)

Όπως βλέπουμε οι τιμές συσχέτισης του εξοργυμένου υδατογραφήματος στο πεδίο των συχνοτήτων είναι πολύ καλύτερες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στις γραφικές που αναφέρονται στο χωρικό πεδίο. Ακόμη όσο αυξάνεται η διασπορά του θορύβου τόσο πιο δύσκολη είναι και η ανίχνευση του υδατογραφήματος μας.

3.1.2 Εφαρμογή Γεωμετρικού Μετασχηματισμού

Σε αυτό το κομμάτι δοκιμάσαμε το πως ανταπεξέρχονται οι μέθοδοι που υλοποιήσαμε παραπάνω σε μία επίθεση scaling, τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παρακάτω.



Resized Image with factor =0.7

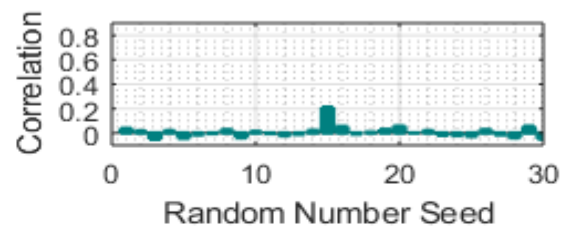


Original Image

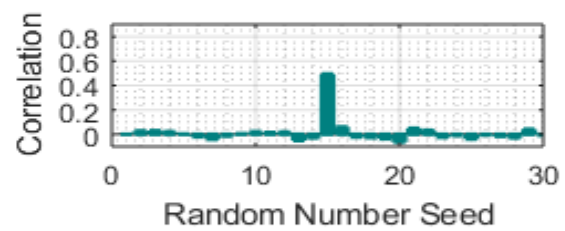
Εικόνα 3-5 Εφαρμογή scaling



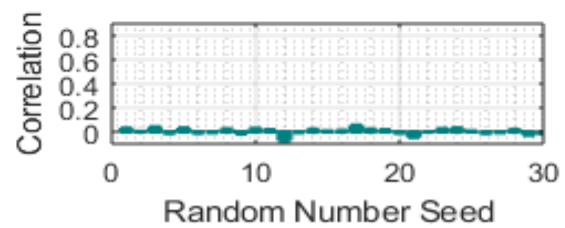
Resized I with factor =0.9



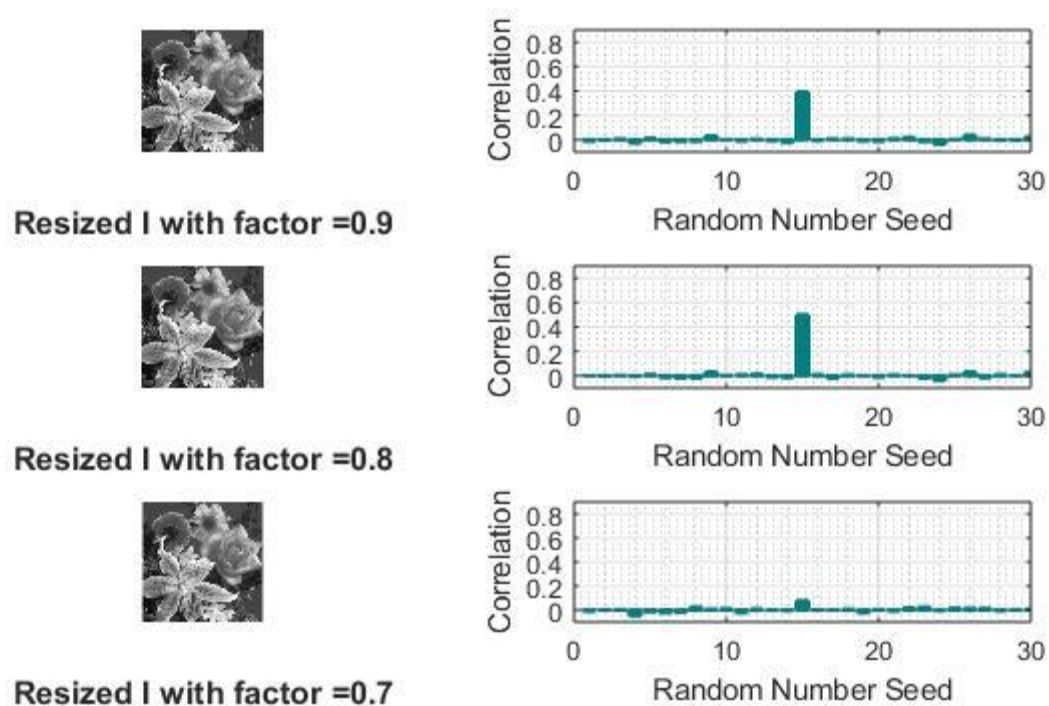
Resized I with factor =0.8



Resized I with factor =0.7



Εικόνα 3-6 Τιμές συσχέτισης του εξορυγμένου υδατογραφήματος μετά από επίθεση scaling με διαφορετικούς συντελεστές (Μέθοδος A)



Εικόνα 3-7 Τιμές συσχέτισης των συντελεστών DCT όπου έχει προστεθεί το υδατογραφήμας μετά από επίθεση *scaling* με διαφορετικούς συντελεστές (Μέθοδος Β)

Όπως παρατηρούμε όσο μειώνεται το μέγεθος μιας εικόνας με την εντολή `imresize()` της MATLAB τόσο πιο δύσκολη γίνεται η ανίχνευση του υδατογραφήματος. Και οι δύο μέθοδοι εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και καλύτερα αποτελέσματα στον συγκεκριμένο τύπο επίθεσης σε σχέση με τις μεθόδους στο χωρικό πεδίο. Εν τέλει, η Μέθοδος Α παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα στο πρώτο τύπο επίθεσης ενώ η Μέθοδος Β στο δεύτερο.

Γενικότερα όπως αποδείχθηκε και πειραματικά, οι μέθοδοι εισαγωγής του υδατογραφήματος στο πεδίο των συχνοτήτων είναι πολύ πιο ανθεκτικές έναντι των ειδών επιθέσεων που δοκιμάσαμε σε σχέση με τις αντίστοιχες μεθόδους στο χωρικό πεδίο.

4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [3.1] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, “Digital Image Processing”, 3rd edition 2007.
- [3.2] [G.C. Langelaar](#), I. Setyawan, R. L. Lagendijk, “Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview”, IEEE Signal Processing Magazine, vol. 17, no. 5, 2000. pp. 20-46, Sept. 2000. 6
- [3.3] Shinfeng D. Lin and Chin-Feng Chen, “A Robust DCT-Based Watermarking For Copyright Protection”, IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000.