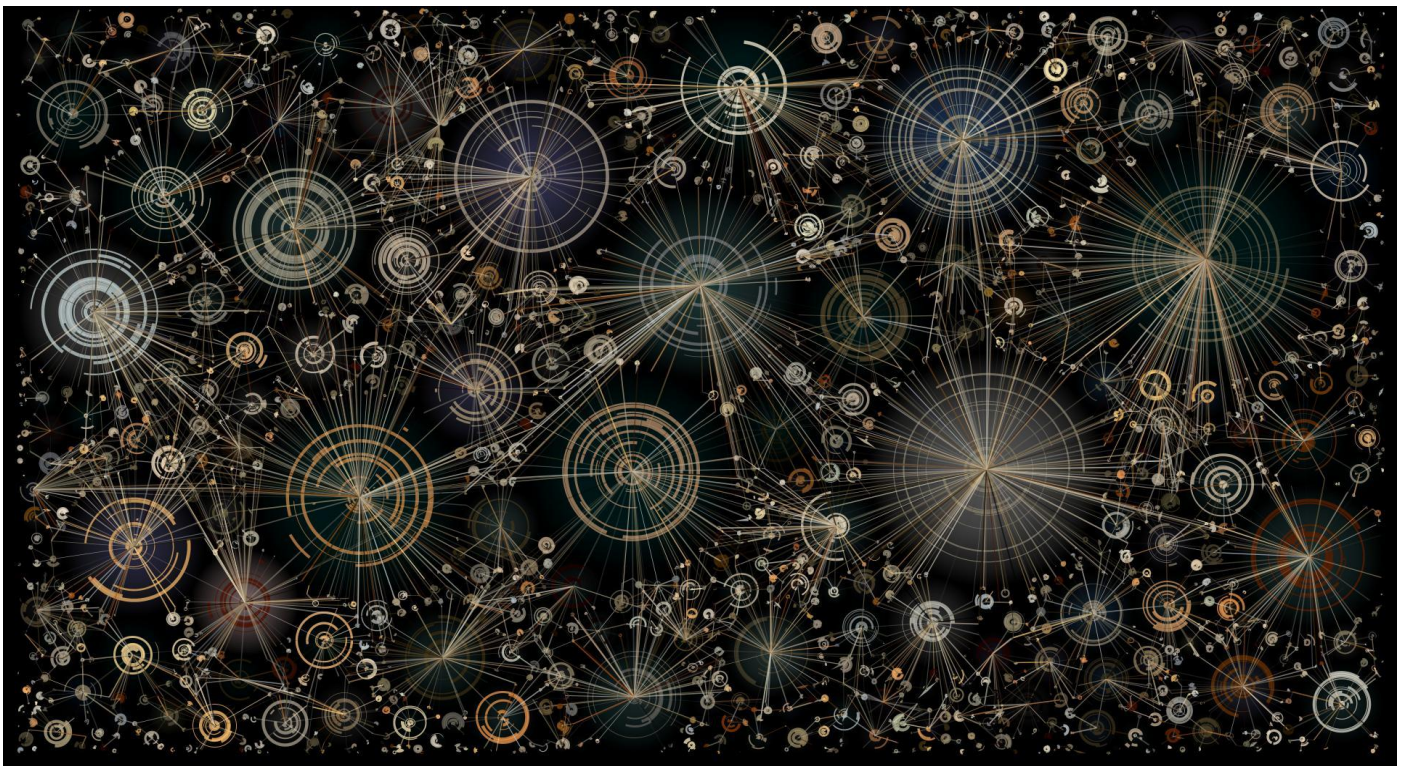




Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Αριστείδης Ανδρουτσόπουλος

AM: 1054274



82848 packing arc 03 | lumicon @ 14:06 24/05/2013

Ακαδημαϊκό Έτος 2022-2023

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	3
1.1. Περιγραφή Άσκησης.....	3
2. Ασκήσεις.....	3
2.1. Φιλτράρισμα στο πεδίο συχνοτήτων.....	3
2.2. Εικόνας με χρήση Μετασχηματισμού DCT.....	6
2.3. Βελτίωση Εικόνας – Φιλτράρισμα Θορύβου.....	8
2.4. Βελτίωση Εικόνας – Εξίσωση Ιστογράμματος.....	9
2.5. Αποκατάσταση Εικόνας (Wiener Deconvolution)	12
2.6. Ανίχνευση Ακμών	14
3. Κώδικες Υλοποίησης.....	16

1. Εισαγωγή

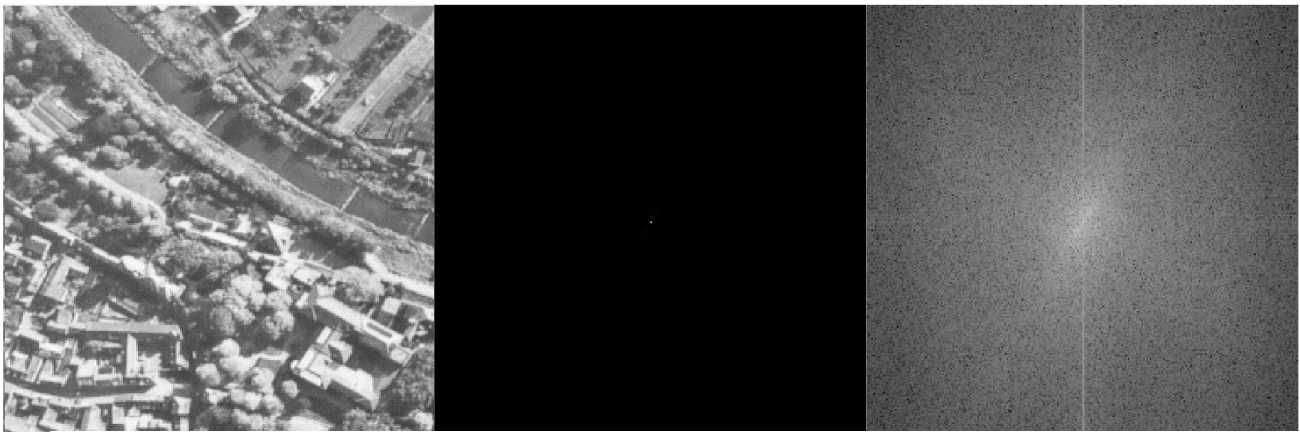
1.1. Περιγραφή Άσκησης

Στο παρόν Μέρος Α των εργαστηριακών ασκήσεων ζητείται η εφαρμογή τεχνικών ανάλυσης και επεξεργασίας εικόνας για την καλύτερη κατανόηση των τεχνικών αυτών. Για την υλοποίηση των αλγορίθμων επιλέχθηκε ο χώρος εργασίας και το εργαλείο MATLAB με τους αντίστοιχους κώδικες για κάθε ερώτημα να βρίσκονται ανεβασμένα στο εργαλείο GitHub - [Σελίδα GitHub](#).

2. Ασκήσεις

2.1. Φιλτράρισμα στο πεδίο συχνοτήτων

Για την υλοποίηση τεχνικής φιλτραρίσματος στο πεδίο συχνοτήτων χρησιμοποιήθηκε η εικόνα «aerial.tiff». Η γραμμική και λογαριθμική απεικόνιση του πλάτους του δισδιάστατου μετασχηματισμού Fourier της εικόνας δίνεται παρακάτω:



Εικόνα 1: Αρχική εικόνα, Κεντριοποιημένος γραμμικός Fourier, Κεντριοποιημένος λογαριθμικός Fourier.

Είναι φανερό πως η γραμμική απεικόνιση του μετασχηματισμού Fourier δεν δίνει καλή απεικόνιση του συχνοτικού περιεχομένου της εικόνας και για τον λόγο αυτό γίνεται απεικόνισή του και σε λογαριθμική κλίμακα, στην οποία παρατηρείται πως η εικόνα αποτελείται κυρίως από χαμηλές συχνότητες. Οι εικόνες που δίνονται περιέχουν τον κεντραρισμένο μετασχηματισμό για καλύτερη απεικόνιση του συχνοτικού φαινομένου.

Στην συνέχεια φιλτράρουμε την εικόνα με χρήση ενός κατωπερατού και ενός ανωπερατού φίλτρου. Για την αποφυγή φαινομένων αναδίπλωσης επιλέχθηκε η χρήση Padding τύπου Replication στην εικόνα ενώ για το φίλτρο, έγινε επιλογή του Butterworth Φίλτρου για την ανωπερατή και κατωπερατή περίπτωση. Η συνάρτηση μεταφοράς του κατωπερατού φίλτρου είναι η εξής:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D(u, v)/D_0]^{2n}}$$

Όπου το n είναι η τάξη του φίλτρου και D0 η συχνότητα αποκοπής. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο φίλτρο καθώς δεν περιέχει έντονη ασυνέχεια κοντά στο D0. Αντίστοιχα το ανωπερατό φίλτρο είναι 1 – «κατωπερατό φίλτρο».

Το τελικό αποτέλεσμα της διαδικασίας Padding φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2: Η αρχική εικόνα μετά την πρόσθεση Padding τύπου Επανάληψης

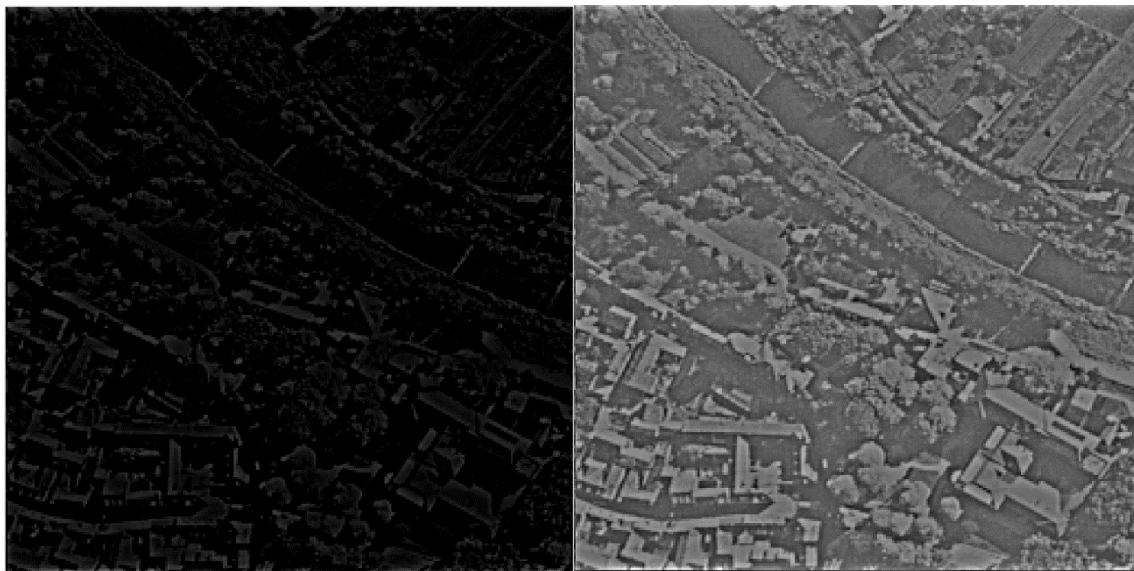
Παράλληλα το αποτέλεσμα του κατωπερατού φίλτρου με δοσμένη την εικόνα με Padding και πολλαπλασιάζοντας τον Fourier της με την συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου περιμένουμε να είναι μια μείωση της σχετικής οξύτητας της εικόνας με οπτικό αποτέλεσμα την θόλωση της. Όντως το αποτέλεσμα είναι το εξής:



Εικόνα 3: Αποτέλεσμα του χαμηλοπερατού Butterworth

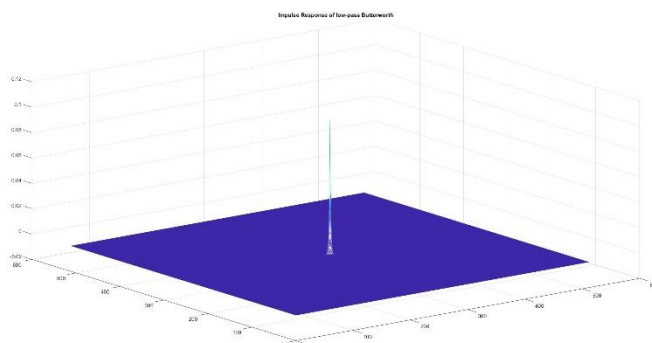
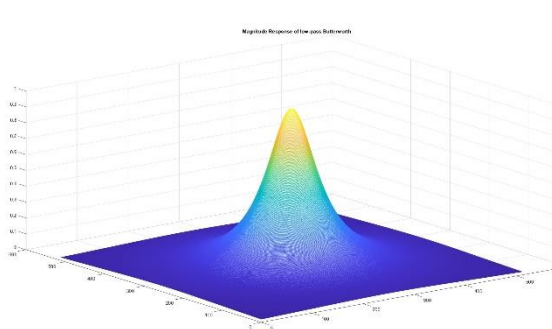
Παρατηρούμε την θόλωση και την έλλειψη λεπτομερειών στο τελικό αποτέλεσμα. Αντίστοιχα στην χρήση του υψηλοπερατού φίλτρου με τον ίδιο τρόπο, στην ίδια εικόνα εισαγωγής με Padding, θα πρέπει να παρατηρήσουμε την μείωση της εντονότητας των διαφορών των στοιχείων της εικόνας με οπτικό αποτέλεσμα την μείωση του επιπέδου των σκούρων περιοχών της εικόνας δηλαδή τη μείωση της αντίθεσης της. Πράγματι το αποτέλεσμα

της φίλτρωσης είναι το εξής, το οποίο συνοδεύεται από την κλιμάκωση της έντασης για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα:

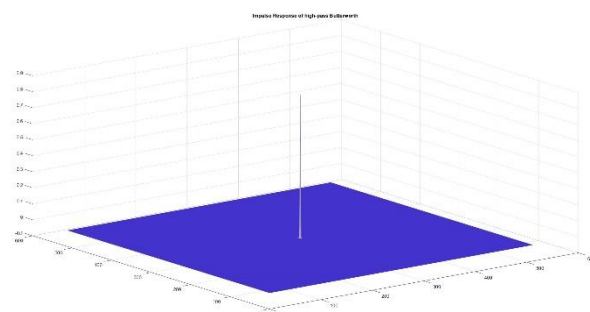
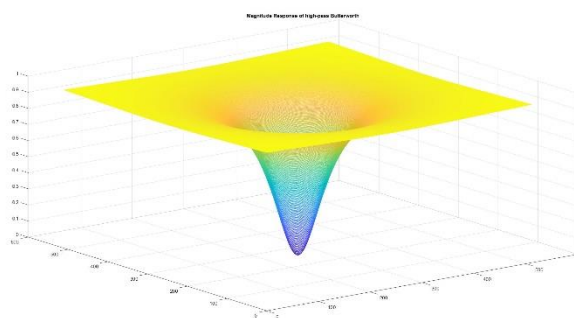


Εικόνα 4: Αποτέλεσμα του ανωπερατού Butterworth, Κλιμάκωση της έντασης για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα

Έγιναν παράλληλα δοκιμές με Υψηλής Συχνότητας Φίλτρο Έμφασης το οποίο μπορεί να βρεθεί στον κώδικα στο τέλος της αναφοράς. Η Απόκριση Πλάτους καθώς και η Χροστική Απόκριση των δύο φίλτρων δίνεται παρακάτω:



Εικόνα 5: Απόκριση Πλάτους και Χροστική Χαμηλοπερατού Butterworth



Εικόνα 6: Απόκριση Πλάτους και Χροστική Υψηλοπερατού Butterworth

2.2. Εικόνας με χρήση Μετασχηματισμού DCT

Για την συμπίεση της εικόνας lenna.jpg μέσω 2D-DCT επιλέχθηκε η χρήση της εντολής Blockproc της Matlab. Μέσω αυτής η εικόνα χωρίζεται σε 32x32 pixels και εφαρμόζεται ο αντίστοιχος μετασχηματισμός DCT σε κάθε περιοχή. Για την συμπίεση της εικόνας απαιτείται η αφαίρεση ενός ποσοστού του συχνοτικού της περιεχομένου και συγκεκριμένα την αφαίρεση τους με βάση την μέθοδο Ζώνης ή την Μέθοδο Κατωφλιού.

- Μέθοδο ζώνης. Για την μέθοδο αυτή έγινε υλοποίηση δύο περιπτώσεων ζώνης:
 - Περίπτωση δημιουργίας ζώνης χωρίς μετρική διασποράς.
 - Περίπτωση δημιουργίας καθολικής ζώνης με τον υπολογισμό της διασποράς της τιμής κάθε κελιού για όλα τα blocks.

Σε κάθε περίπτωση η αφαίρεση της μάσκας από τον μετασχηματισμό DCT μηδένιζε κάποιες τιμές βάσεων με αποτέλεσμα την συμπίεση της.

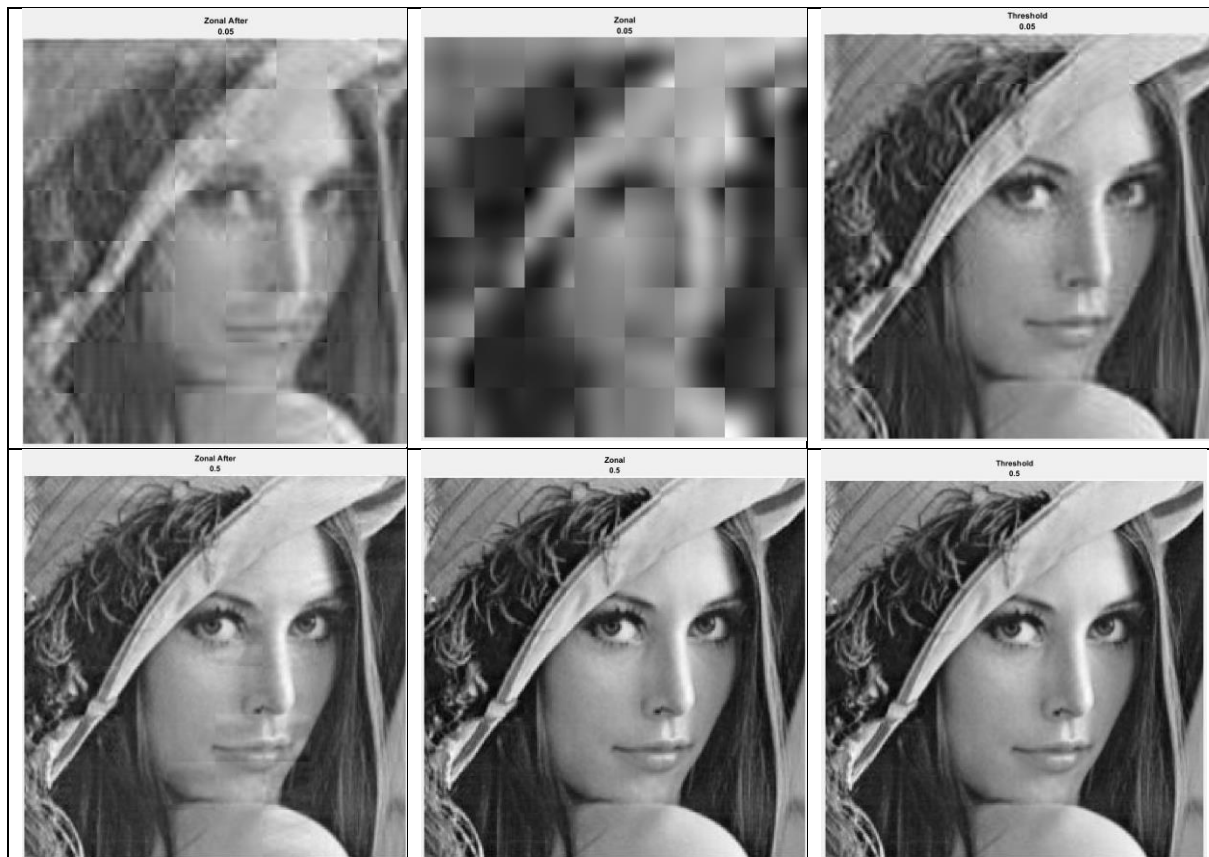
- Μέθοδος Κατωφλιού. Για την μέθοδο αυτή έγινε αφαίρεση των συντελεστών του μετασχηματισμού που ήταν κάτω από ένα κατώφλι.

Δίνεται η αρχική εικόνα για λόγους σύγκρισης:

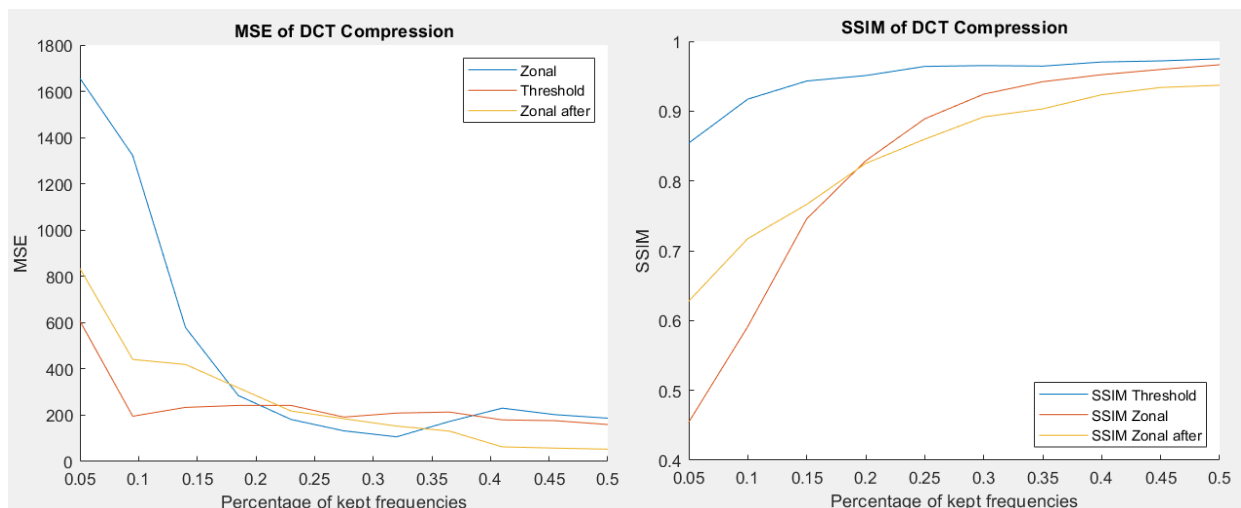


Εικόνα 7: Αρχική Εικόνα

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας για ποσοστό συγκράτησης p από 5% έως και 50% μπορούν να δοθούν από τον αντίστοιχο κώδικα. Για πληρότητα δίνονται οι εικόνες στα άκρα του κλειστού συνόλου συγκράτησης για την Μέθοδο ζώνης (Zonal Coding) μετά τον υπολογισμό διασποράς και πριν τον υπολογισμό διασποράς καθώς και για την μέθοδο Κατωφλιού (Threshold Coding):



Παράλληλα δίνονται και οι καμπύλες τετραγωνικού σφάλματος για την κάθε μία από τις τρεις μεθόδους που αναφέρθηκαν καθώς και η μετρική Structural Similarity Index (SSIM) που δείχνει την αξία της οπτικής αντίληψης της εικόνας.



Είναι προφανές πως για χαμηλά ποσοστά διατήρησης συχνοτήτων η ανακατασκευή έχει χάσει λεπτομέρεια ενώ επειδή η επεξεργασία γίνεται ανά μπλόκ, είναι εμφανείς οι περιοχές των μπλόκ στις εικόνες. Όσο αυξάνεται το ποσοστό διατήρησης η ποιότητα της εικόνας καλυτερεύει αισθητά ενώ το φαινόμενο της παραθύρωσης μειώνεται όλο και περισσότερο. Παράλληλα γίνεται αισθητό πως η μέθοδος κατωφλίωσης παράγει έντονα καλύτερα αποτελέσματα λόγω της δυναμικής φύσης της αφαίρεσης συχνωτικών βάσεων ανά περιοχή. Στο ποσοστό συγκράτησης 50% η εικόνα με την μέθοδο κατωφλίωσης έχει σχεδόν το ίδιο οπτικό αποτέλεσμα με

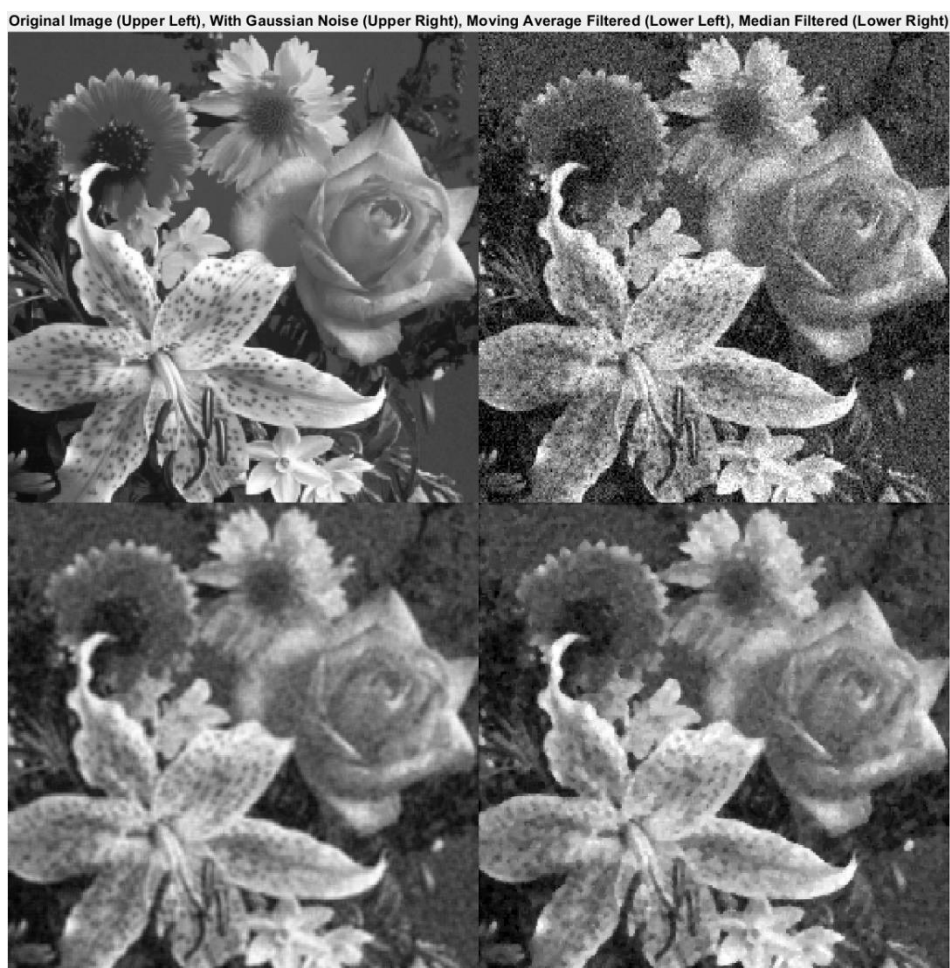
την αρχική εικόνα, όπως φαίνεται και από την μετρική SSIM στην οποία φαίνεται η οπτική καλυτέρευση της διαδικασίας συμπίεσης.

2.3. Βελτίωση Εικόνας – Φιλτράρισμα Θορύβου

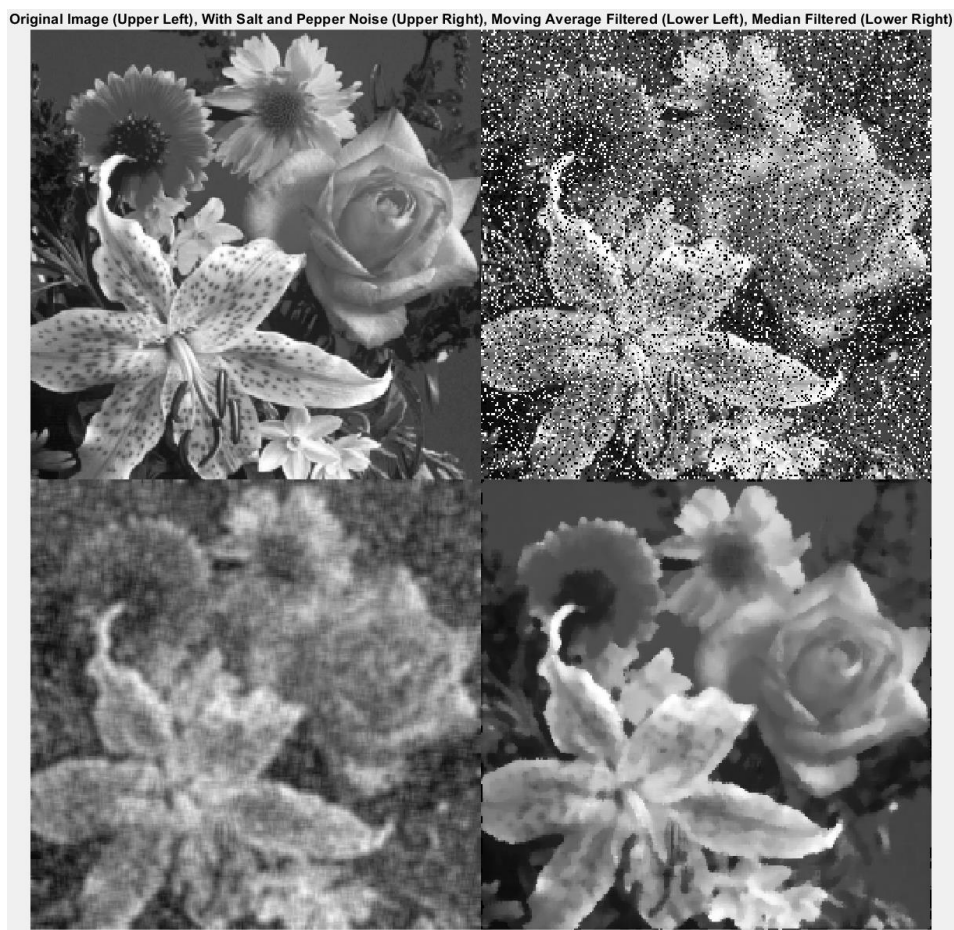
Για το τρίτο ερώτημα γίνεται η χρήση της εικόνας flower.png στην οποία προστέθηκε Gaussian θόρυβος μηδενικής μέσης τιμής και διασποράς με SNR 15dB και μη παράλληλα κρουστικό θόρυβο (Salt and Pepper Noise) σε ποσοστό 25%. Για την διαδικασία του φιλτραρίσματος χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα κινούμενου μέσου όρου και αριθμητικού μεσαίου.

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα δύο είδη θορύβου καθώς και για τα δύο φίλτρα για την κάθε περίπτωση. Δοκιμάστηκαν παράθυρα από 3x3 έως 11x11 με τα καλύτερα αποτελέσματα να δίνονται παρακάτω.

Πρώτα για τον Λευκό Θόρυβο με τα παράθυρα 4x4 Moving Average και 3x3 Median:



Έπειτα για τον Κρουστικό Θόρυβο με παράθυρο 5x5 και για τα δύο φίλτρα:

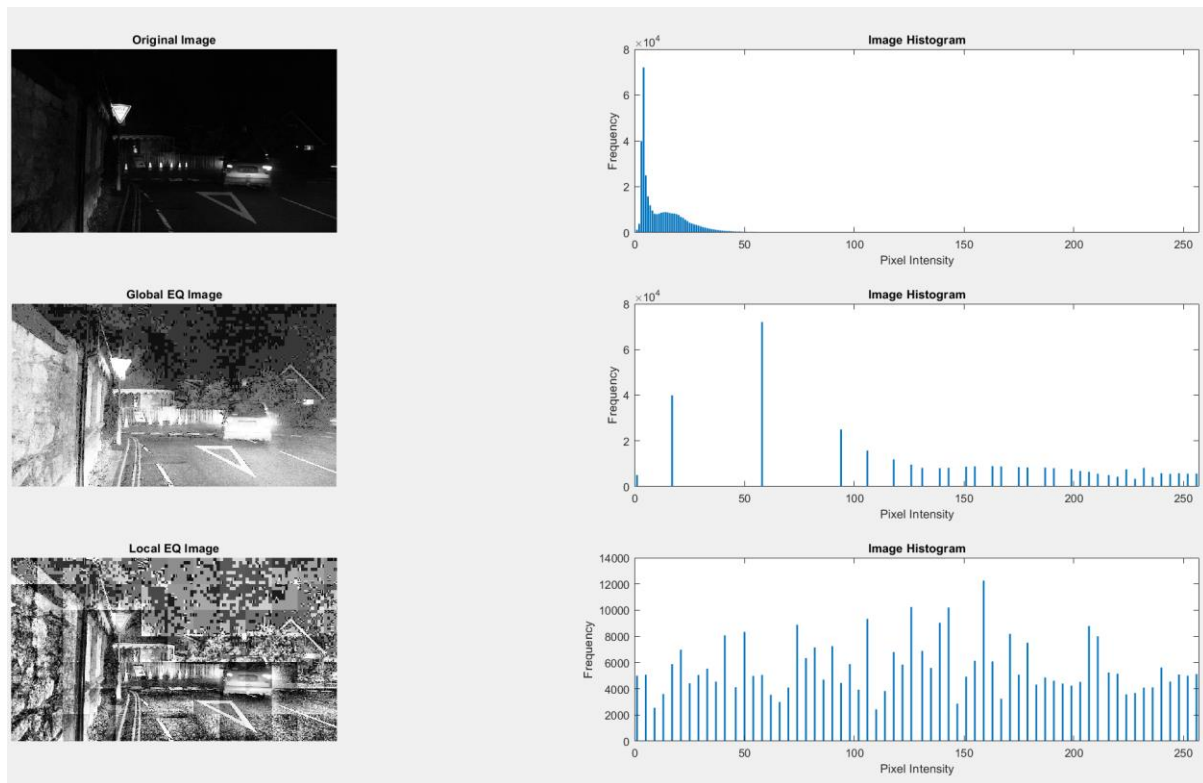


Από τα αποτελέσματα είναι εμφανής η αναμενόμενη επεξεργασία από το κάθε φίλτρο. Για τον λευκό θόρυβο το φίλτρο κινητού μέσου όρου είχε πολύ καλύτερα αποτελέσματα από το φίλτρο μεσαίου. Αντίστοιχα για τον κρουστικό θόρυβο το φίλτρο μεσαίου τον αφαίρεσε εντελώς, αν και αφαίρεσε και όλες τις σχετικές λεπτομέρειες στο μέγεθος των σημείων του κρουστικού, ενώ ο κινούμενος μέσος δεν κατάφερε να αφαιρέσει σχεδόν καθόλου από τον θόρυβο, ενισχύοντας τον μάλιστα σε βαθμό που η εικόνα είναι η χειρότερη από τα αποτελέσματα.

2.4. Βελτίωση Εικόνας – Εξίσωση Ιστογράμματος

Για το παρόν ερώτημα ζητείται να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Ιστογράμματος για την βελτίωση των σκοτεινών εικόνων `dark_road_x.jpg`.

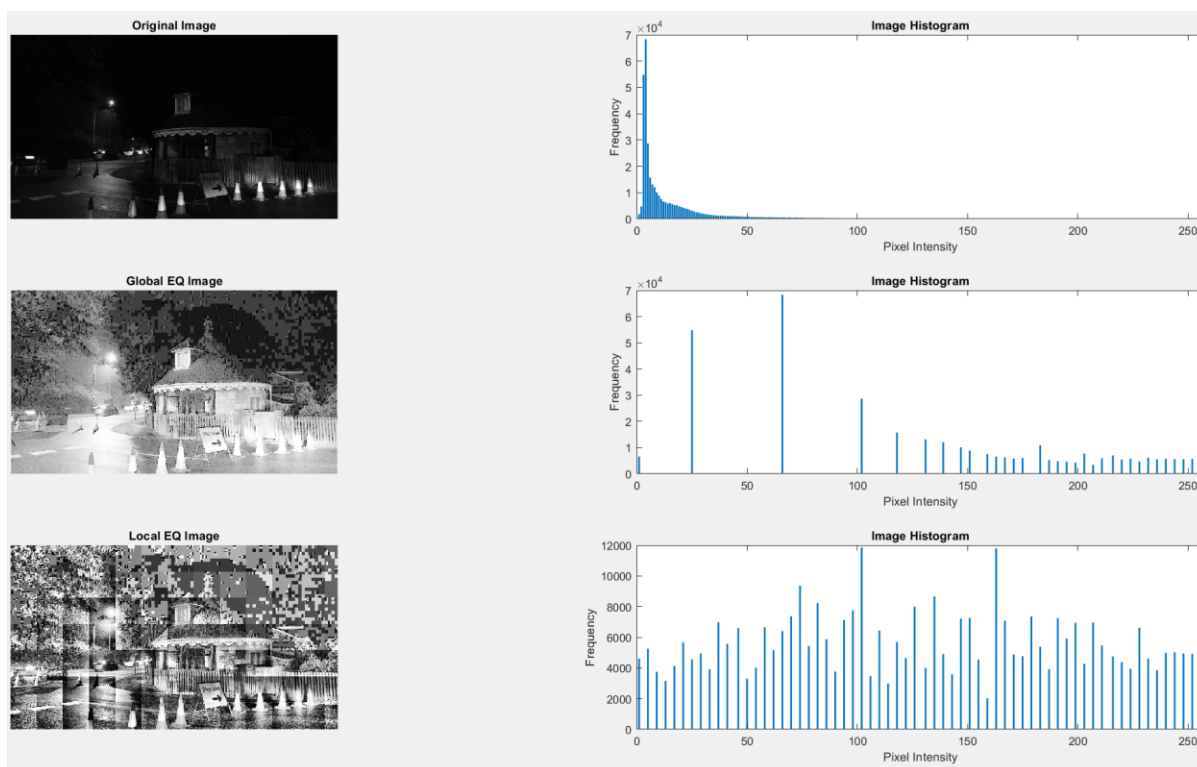
Τα αποτελέσματα υλοποίησης της Ολικής Εξίσωσης Ιστογράμματος καθώς και της Τοπικής Εξίσωσης Ιστογράμματος για την πρώτη εικόνα είναι τα παρακάτω:



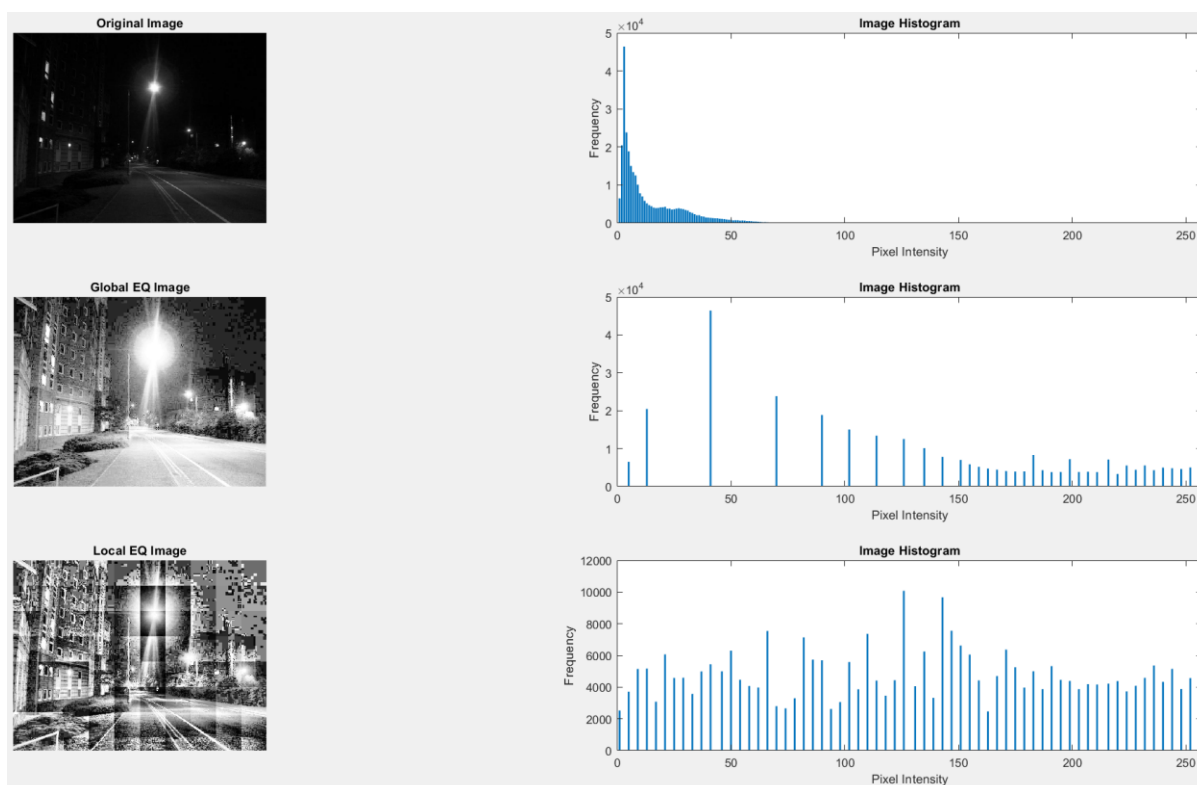
Η αρχική εικόνα περιέχει σε μεγάλη συχνότητα pixel με χαμηλή ένταση όπως φαίνεται από το αρχικό ιστόγραμμα που σημαίνει ότι η εικόνα είναι έντονα σκοτεινή. Με την χρήση της Ολικής Εξίσωσης Ιστογράμματος η συχνότητα εμφάνισης των εντάσεων εξομαλύνεται σε όλο το πεδίο ορισμού της έντασης με σχετική βαρύτητα στις χαμηλές εντάσεις (μεγαλύτερη συχνότητα) με αποτέλεσμα η εικόνα να φαίνεται φωτεινότερη. Τα σημεία με την μεγαλύτερη ένταση όμως έχουν πλέον γίνει τόσο φωτεινά που δεν είναι πλέον ευδιάκριτα.

Σε αντίθετη περίπτωση, η τοπική εξίσωση ιστογράμματος επιτρέπει την εξομάλυνση των εντάσεων χωρίς ολική βαρύτητα συχνότητας εμφάνισης όπως φαίνεται στο αντίστοιχο ιστόγραμμα. Η εικόνα είναι πλέον δυσκολότερα κατανοητή αλλά στις μικρές περιοχές που εμφανίζονται, οι λεπτομέρειες της εικόνας εμφανίζονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια. Τα φώτα του αυτοκινήτου επιτρέπουν πλέον την εμφάνιση της πινακίδας του, η ταμπέλα πλέον διαβάζεται εύκολα και ούτω καθεξής.

Τα αποτελέσματα των υπολοίπων εικόνων είναι παρόμοια. Για συνοχή εμφανίζονται τα αποτελέσματα παρακάτω:



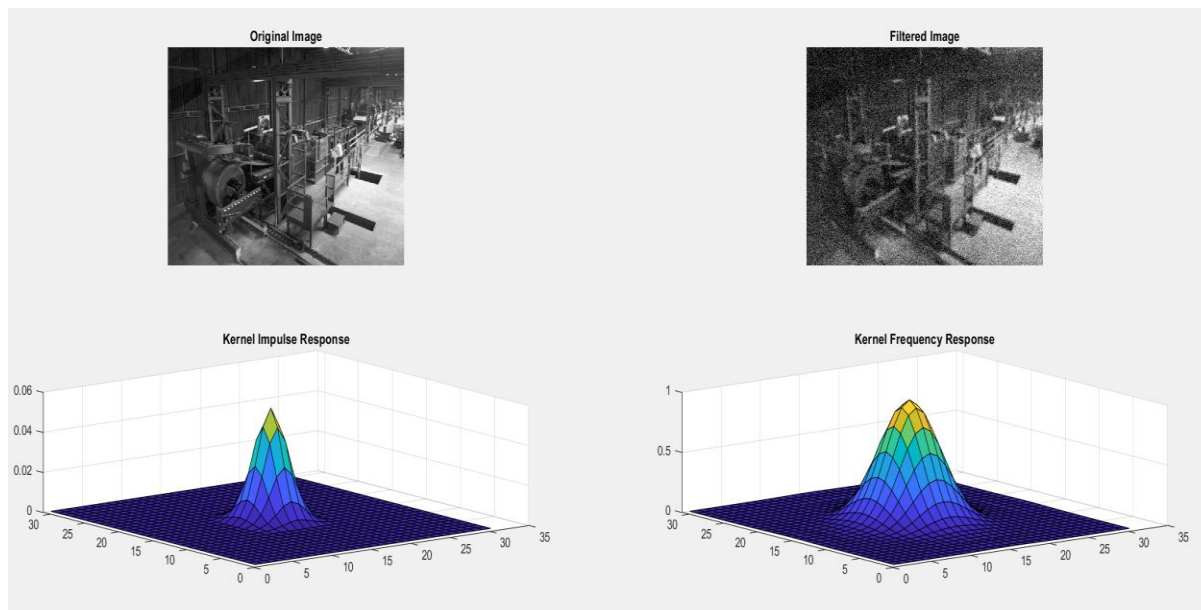
Παρατηρείται η ίδια κατάσταση στις άλλες δύο εικόνες οι οποίες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά συχνότητας εμφάνισης εντάσεων με την πρώτη εικόνα.



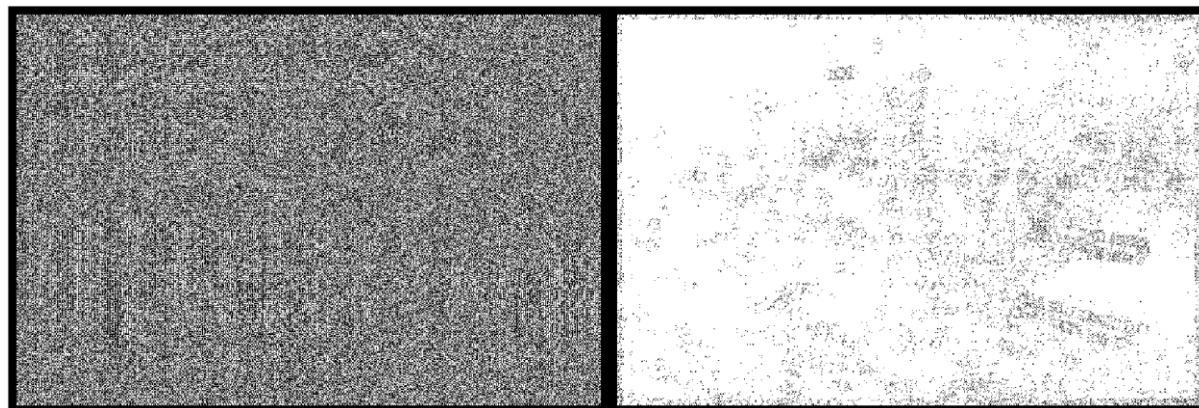
Στην τρίτη εικόνα εμφανίζεται μία πηγή φωτός που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του βραδινού ουρανού. Εδώ βλέπουμε πως η τοπική εξίσωση ιστογράμματος κατάφερε να περιορίσει τον φωτιστικό θόρυβο στις περιοχές ακριβώς απάνω στην περιοχή του φωτός αλλά οι γύρω περιοχές δεν κατάφεραν να ελαχιστοποιήσουν την μόλυνση του θορύβου.

2.5. Αποκατάσταση Εικόνας (Wiener Deconvolution)

Για το συγκεκριμένο ερώτημα χρειάστηκε η υποβάθμιση της εικόνας factory.jpg με γραμμικό μοντέλο υποβάθμισης. Συγκεκριμένα με 2D πυρήνα εξομάλυνσης Gauss με τυπική απόκλιση 1.7 καθώς και λευκό θόρυβο τύπου Gauss με SNR 10dB. Το αποτέλεσμα της υποβάθμισης καθώς και η Κρουστική Απόκριση και η Απόκριση Συχνότητα του φίλτρου υποβάθμισης είναι τα εξής:



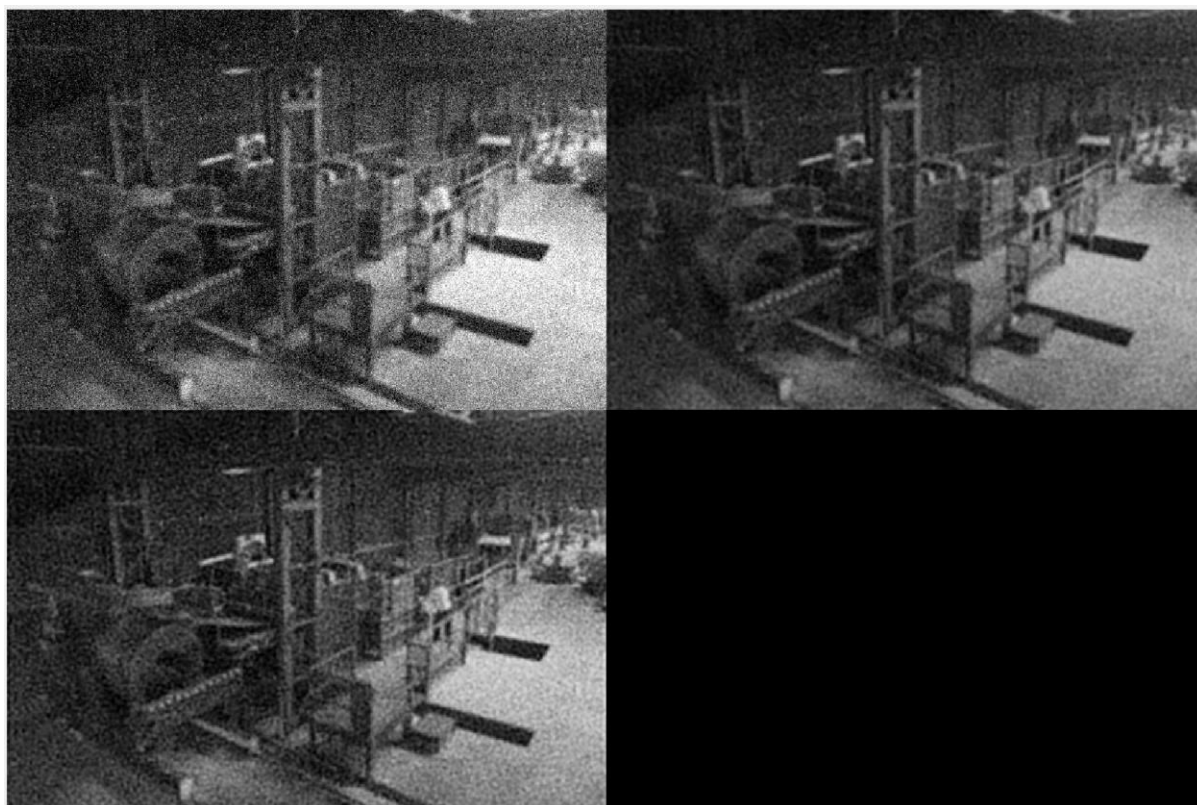
Η εικόνα είναι πλέον θολή και με «χιόνια». Θα χρησιμοποιηθεί αυτή η εικόνα για την προσπάθεια αποκατάστασης. Για την αποκατάσταση γίνεται πρώτα προσπάθεια εφαρμογής φίλτρου Wiener για αποθορυβοποίηση και Inverse φίλτρου για την αφαίρεση της συνελικτικής παραμόρφωσης που δημιουργήσαμε αρχικά. Δίνονται τα αποτελέσματα με και χωρίς κατώφλι για το αντίστροφο φίλτρο:



Εικόνα 8: Το Inverse Φίλτρο με και χωρίς κατώφλι

Είναι προφανές πως η διαδικασία αποκατάστασης ήταν ανεπιτυχής. Ο λόγος είναι πως η αποθορυβοποίηση δεν είναι πλήρης με αποτέλεσμα το αντίστροφο φίλτρο που θεωρεί ότι δεν υπάρχει καθόλου θόρυβος να μην μπορεί να κάνει αποκατάσταση.

Τα αποτελέσματα της Αποσυνέλιξης Wiener είναι εμφανίσιμα. Μέρος του θορύβου έχει αφαιρεθεί και μέρος της θολούρας έχει απομακρυνθεί αν και δεν είναι στον ίδιο βαθμό με την αρχική εικόνα. Εμφανίζονται τα αποτελέσματα με την αρχική θορυβώδη εικόνα, την εικόνα αποκατάστασης με γνωστά στοχαστικά στοιχεία του φίλτρου καθώς και η εικόνα με μια εκτίμηση των στοχαστικών στοιχείων του θορύβου:

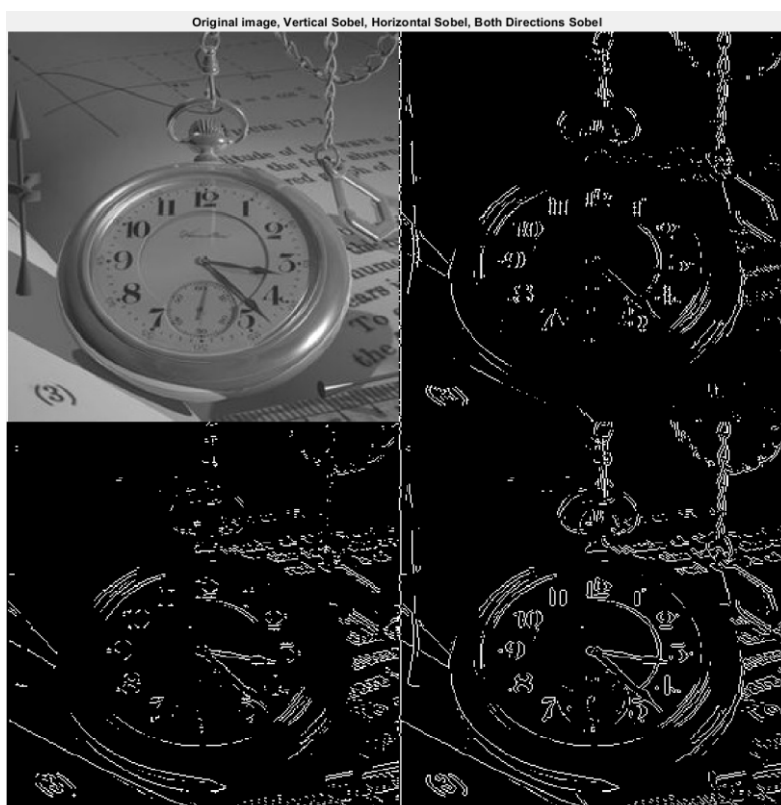


Εικόνα 9: Τα αποτελέσματα της αποκατάστασης

Είναι εμφανές ότι η αποκατάσταση με γνώση του μοντέλου υποβάθμισης έχει το καλύτερο αποτέλεσμα. Αν και δεν είναι πλήρης η αποκατάσταση, τα περισσότερα στοιχεία της εικόνας είναι εμφανή και ευδιάκριτα. Η αποκατάσταση με εκτίμηση είναι κάπως καλύτερη από την θορυβώδη εικόνα αλλά αισθητά χειρότερη από την εικόνα αποκατάστασης με *a priori* γνώση του Noise Power Ratio.

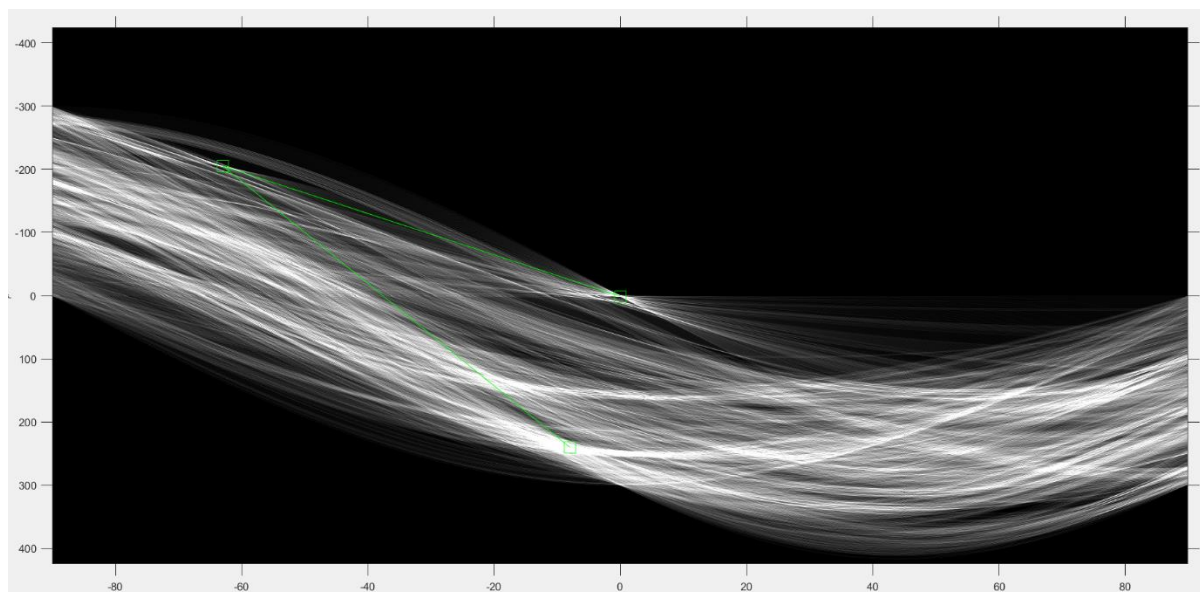
2.6. Ανίχνευση Ακμών

Για το τελευταίο ερώτημα έχουμε την εικόνα clock.jpg και ζητείται να γίνει ανίχνευση ακμών και γραμμών. Για την ανίχνευση ακμών έγινε χρήση των масών Sobel για οριζόντια, κατακόρυφη και ταυτόχρονα και οι άξονες με τις οποίες βγήκαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



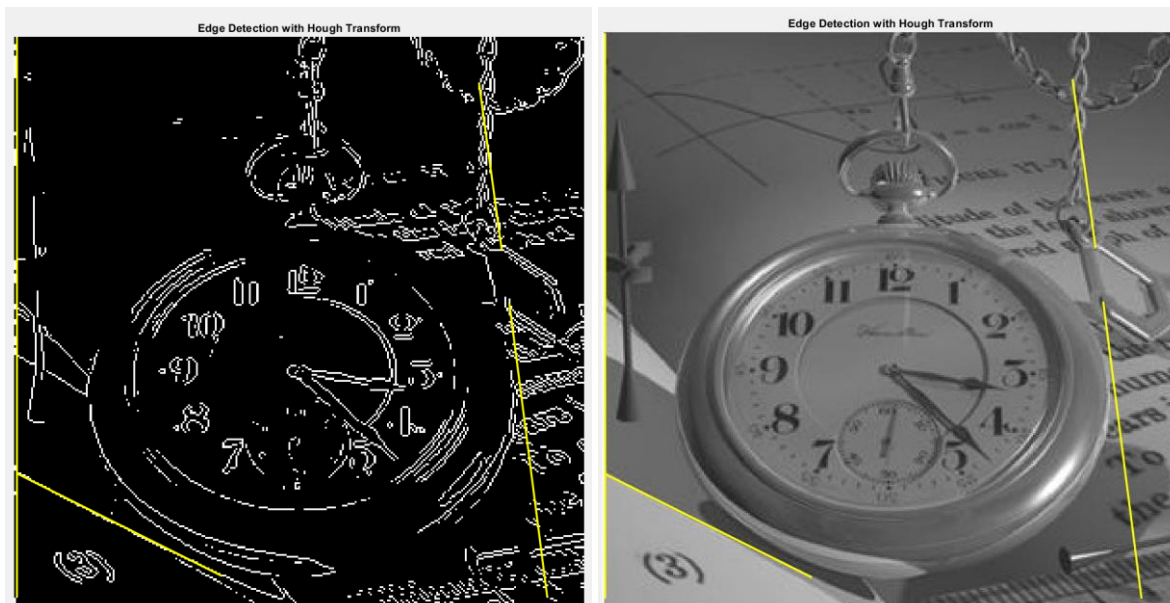
Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι η μάσκα Sobel και με τους δύο άξονες έχει τα καλύτερα αποτελέσματα ανίχνευσης ακμών. Στις περιπτώσεις της οριζόντιας και κατακόρυφης μάσκας, βλέπουμε ενίσχυση των αντίστοιχων γραμμικών μεταφορών των ακμών στις αντίστοιχες εικόνας. Τα γράμματα, η αλυσίδα καθώς και οι αριθμοί εμφανίζονται πολύ καλύτερα στην τελική περίπτωση των δύο αξόνων. Έγινε δοκιμή πολλών τιμών κατωφλίου για τις μάσκες Sobel με το καλύτερο αισθητό αποτέλεσμα να είναι με κατώφλι 0.07 για την διπλή κατεύθυνση, 0,05 και 0,04 για την οριζόντια και κατακόρυφη μάσκα.

Για την ανίχνευση γραμμών στην εικόνα έγινε χρήση του μετασχηματισμού Hough. Για την καλύτερη εμφάνιση των αποτελεσμάτων έγινε επιλογή να κρατηθούν περισσότερα ολικά ακρότατα για την επιλογή γραμμών στην εικόνα καθώς η εικόνα δεν περιέχει χρήσιμες γραμμές που να εμφανίζονται σωστά με τον μετασχηματισμό. Τα αποτελέσματα του μετασχηματισμού φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 10: Ο χώρος παραμέτρων του μετασχηματισμού Hough

Με το δοσμένο κατώφλι του πλήθους των αριθμών κορυφών εμφανίζονται τρεις κυριαρχούσες κορυφές όπως φαίνονται στο παραπάνω γράφημα του μετασχηματισμού με τις αρμονικές καμπύλες του φαινομένου. Οι ευθείες που βρίσκονται στο εύρος γωνιών θ στο διάστημα $[-90, 90]$ είναι εύκολα παρατηρήσιμες. Το τελικό αποτέλεσμα με τις γραμμές που εμφανίστηκαν με τον μετασχηματισμό είναι το εξής:



Είναι εμφανές πως η μία από τις τρεις γραμμές είναι λανθασμένη που σημαίνει ότι θα ήταν προτιμότερο να πάρουμε μικρότερο αριθμών κορυφών του μετασχηματισμού ή να αλλάζαμε το κατώφλι επιλογής συνεχόμενων τιμών γειτονικών pixels.

3. Κώδικες Υλοποίησης

[Σελίδα GitHub](#)