

“Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας”

Ακαδημαϊκό Έτος 2024-25 (Εαρινό Εξάμηνο)

Εργαστηριακές Ασκήσεις - Μέρος Α΄

ΑΛΕΞΑΚΗ ΒΑΣΙΛΙΚΗ Α.Μ 1097464

Ζητούμενες Επεξεργασίες:

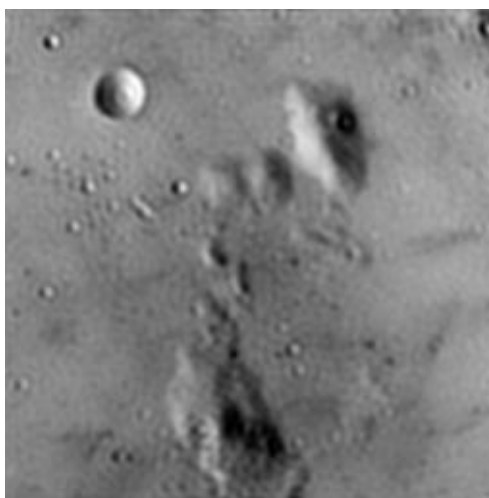
1. Φιλτράρισμα στο πεδίο συχνοτήτων

Η τεχνική που εφαρμόζεται βασίζεται στον **δισδιάστατο διακριτό μετασχηματισμό Fourier**, ο οποίος αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση και επεξεργασία εικόνων στο πεδίο των συχνοτήτων. Μέσω αυτής της αναπαράστασης, κάθε σημείο της εικόνας εκφράζεται ως συνδυασμός συχνοτικών συνιστωσών, αποκαλύπτοντας τη δομή της εικόνας ως προς τις χαμηλές (ομαλές περιοχές) και υψηλές (λεπτομέρειες και θόρυβος) συχνότητες. Αρχικά, η εικόνα υφίσταται **κανονικοποίηση** και **μετατόπιση** του **φάσματος** ώστε το κέντρο του να αντιστοιχεί στη μηδενική συχνότητα. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται το **2D-DFT** μέσω μονοδιάστατων μετασχηματισμών (**DFT**) κατά γραμμές και στήλες. Αφού παραχθεί το φάσμα, επιλέγεται ένα **κατωπερατό φίλτρο $H(u, v)$** που διατηρεί τις χαμηλές συχνότητες και απορρίπτει τις υψηλές, μειώνοντας έτσι τις λεπτομέρειες και εξομαλύνοντας την εικόνα. Τέλος, με τον αντίστροφο μετασχηματισμό (**IDFT**) και την αντιστροφή της αρχικής μετατόπισης, προκύπτει η φιλτραρισμένη εικόνα στο **χωρικό πεδίο**.

Αποτελέσματα:

Αρχική εικόνα :

Ανακατασκευή εικόνας :

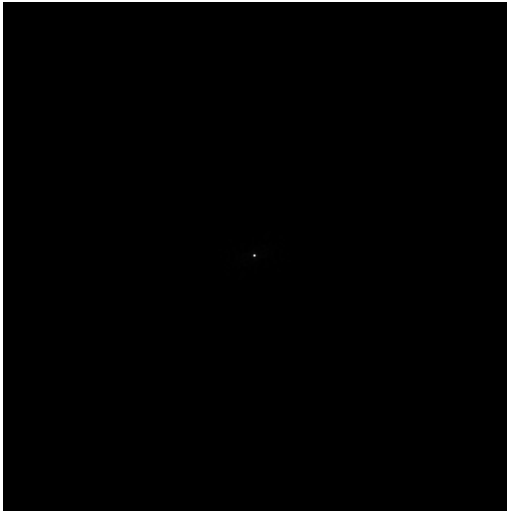


Η εικόνα που προκύπτει μετά το **κατωπερατό φιλτράρισμα** στο πεδίο των συχνοτήτων εμφανίζεται πιο θολή σε σύγκριση με την αρχική. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι ενώ η τελική εικόνα διατηρεί τις βασικές δομές και τις **χαμηλές συχνότητες**, χάνει την ευκρίνεια και τις

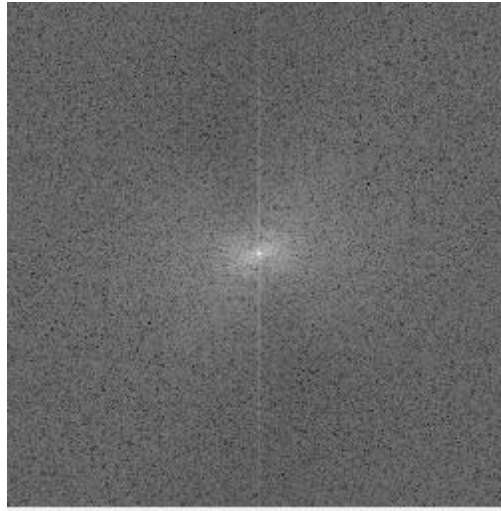
λεπτομέρειες. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς οι **υψηλές συχνότητες**, οι οποίες αντιστοιχούν σε λεπτομέρειες, απότομες μεταβολές φωτεινότητας και ίσως θόρυβο, έχουν κοπεί από το φίλτρο που εφαρμόσαμε.

Εμφανίζουμε επίσης, τις απεικονίσεις του πλάτους του **DFT**:

Γραμμική απεικόνιση του πλάτους DFT :



Λογαριθμική απεικόνιση του πλάτους DFT :



Η **γραμμική απεικόνιση του πλάτους του DFT** παρουσιάζει τα φασματικά δεδομένα όπως είναι, διατηρώντας τις πραγματικές τιμές του μετασχηματισμού. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης διαφοράς έντασης μεταξύ χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων, κυριαρχεί μόνο η φωτεινή κεντρική περιοχή και οι λεπτομέρειες του φάσματος δεν είναι οπτικά ευδιάκριτες. Αντίθετα, η **λογαριθμική απεικόνιση** ενισχύει τις μικρές τιμές του φάσματος, καθιστώντας πιο εμφανείς τις υψηλές συχνότητες, εμφανίζει λεπτομέρειες που δεν φαίνονται στη γραμμική απεικόνιση. Έτσι, έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της κατανομής συχνοτήτων στην εικόνα, και μια καλύτερη ανάλυση της συχνοτικής της δομής.

2. Συμπίεση Εικόνας με χρήση μετασχηματισμού DCT

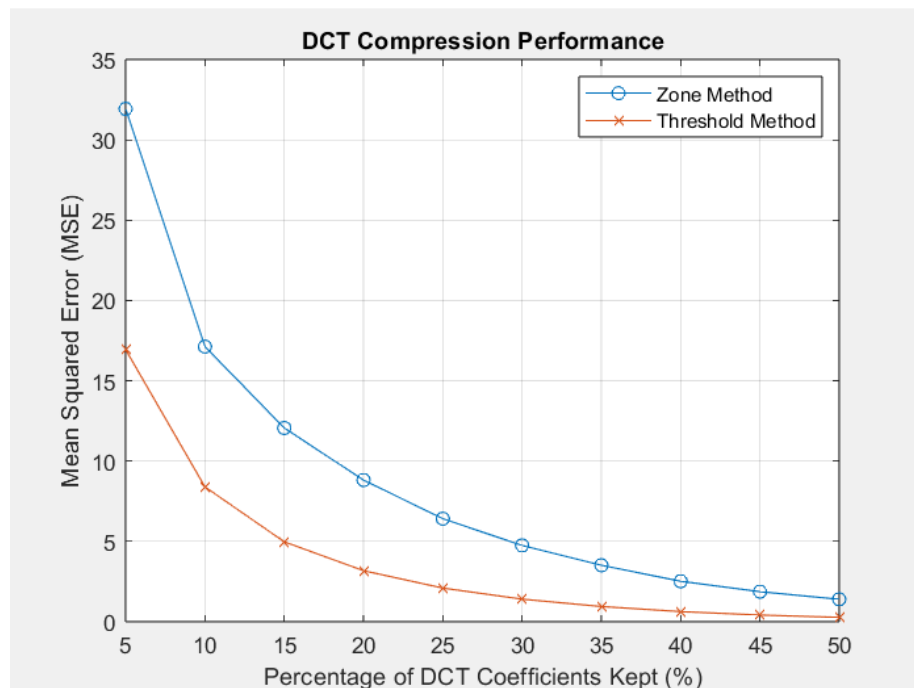
▪ Μέθοδος Ζώνης:

Η τεχνική αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι οι σημαντικότερες πληροφορίες μιας εικόνας, μετά τον μετασχηματισμό **DCT**, βρίσκονται στους συντελεστές χαμηλών συχνοτήτων, δηλαδή στην πάνω αριστερή περιοχή του πίνακα **DCT**. Οι συντελεστές με την **μέγιστη διακύμανση**, συνήθως εντοπίζονται γύρω από την αρχή του μετασχηματισμού της εικόνας οδηγώντας έτσι στην κατασκευή μιας μάσκας ζώνης. Για να επιτευχθεί **συμπίεση**, διατηρείται ένα συγκεκριμένο ποσοστό αυτών των συντελεστών, ενώ οι υπόλοιποι συντελεστές μηδενίζονται. Η μέθοδος αυτή είναι απλή υλοποιητική, αλλά μπορεί να μην καταφέρει καλή ποιότητα ανακατασκευής, αφού αγνοεί την περίπτωση οι σημαντική πληροφορία να βρίσκεται σε συντελεστές υψηλότερων συχνοτήτων.

▪ Μέθοδος Κατωφλίου:

Σε αντίθεση με τη μέθοδο ζώνης, η **θέση των συντελεστών** που διατηρούνται για κάθε υπο-εικόνα **μεταβάλλεται** από τη μία υπο-εικόνα στην άλλη, καθώς εξαρτάται από τις συγκεκριμένες τιμές των συντελεστών του **DCT** σε κάθε μπλοκ. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή διατηρεί υπολογιστική απλότητα και είναι πιο αποτελεσματική στην ελαχιστοποίηση του σφάλματος ανακατασκευής για δεδομένο λόγο συμπίεσης, καθώς διατηρεί τις πληροφορίες που συνεισφέρουν περισσότερο στην ποιότητα της εικόνας.

Αποτελέσματα:



```
r = 0.05 --> MSE (ζώνης): 31.93, MSE (Κατωφλίου): 16.94
r = 0.10 --> MSE (ζώνης): 17.13, MSE (Κατωφλίου): 8.39
r = 0.15 --> MSE (ζώνης): 12.06, MSE (Κατωφλίου): 4.98
r = 0.20 --> MSE (ζώνης): 8.82, MSE (Κατωφλίου): 3.18
r = 0.25 --> MSE (ζώνης): 6.41, MSE (Κατωφλίου): 2.10
r = 0.30 --> MSE (ζώνης): 4.75, MSE (Κατωφλίου): 1.41
r = 0.35 --> MSE (ζώνης): 3.52, MSE (Κατωφλίου): 0.95
r = 0.40 --> MSE (ζώνης): 2.52, MSE (Κατωφλίου): 0.63
r = 0.45 --> MSE (ζώνης): 1.87, MSE (Κατωφλίου): 0.42
r = 0.50 --> MSE (ζώνης): 1.40, MSE (Κατωφλίου): 0.27
```

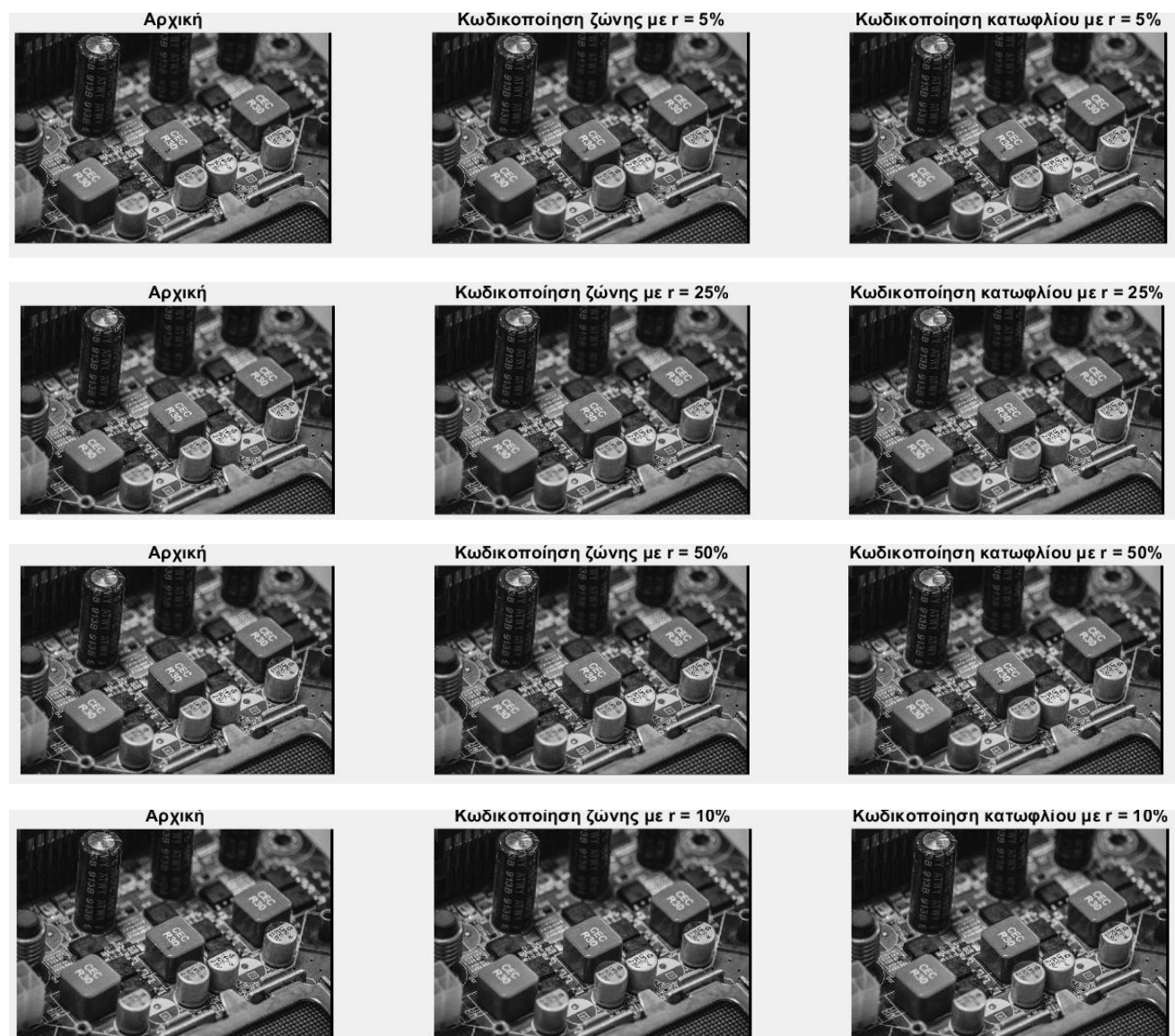
Για τις τιμές του ποσοστού διατήρησης συντελεστών **r** από **5%** έως **50%**, παρατηρούμε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (**MSE**) μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται το **r**, όπως είναι αναμενόμενο, αφού διατηρείται μεγαλύτερο ποσοστό πληροφορίας από τον μετασχηματισμό **DCT**. Συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους επιλογής συντελεστών, η **μέθοδος του κατωφλίου** επιτυγχάνει σημαντικά μικρότερες τιμές **MSE** σε όλες τις τιμές του **r** σε σχέση με τη **μέθοδο ζώνης**. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η **μέθοδος κατωφλίου** επιλέγει τους ισχυρότερους

συντελεστές **ανεξαρτήτως θέσης**, με αποτέλεσμα πιο αποδοτική ανακατασκευή της εικόνας. Για παράδειγμα, όταν $r=0.1$, η μέθοδος κατωφλίου έχει **MSE = 8.39**, ενώ η μέθοδος ζώνης έχει **17.13**.

Ενδεικτικά βάζουμε τα **αποτελέσματα της συμπίεσης** :

(Για να παρατηρηθεί με το μάτι η βελτίωση χρειάζεται μεγέθυνση σε μεγάλο βαθμό)

Οι οπτικές συγκρίσεις των εικόνων σε διάφορα επίπεδα συμπίεσης επιβεβαιώνουν αυτή την ποιοτική διαφορά, με τις εικόνες που ανακατασκευάζονται μέσω της **Μεθόδου Κατωφλίου** να διατηρούν περισσότερη λεπτομέρεια και λιγότερο οπτικό θόρυβο.



3. Βελτίωση εικόνας - Φιλτράρισμα Θορύβου

- Ο **Gaussian θόρυβος** είναι ένας τυχαίος θόρυβος που ακολουθεί την κατανομή Gaussian. Είναι ο πιο κοινός τύπος θορύβου σε ψηφιακές εικόνες και συχνά οφείλεται σε ηλεκτρονικό θόρυβο του αισθητήρα, θόρυβο φωτισμού ή θόρυβο θερμοκρασίας. ΧΦΝ Είναι συνεχής και κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την εικόνα.
- Ο **κρουστικός θόρυβος**, γνωστός και ως θόρυβος "αλατιού και πιπεριού" (salt & pepper), εμφανίζεται ως φωτεινά (λευκά) και σκοτεινά (μαύρα) pixel που είναι διάσπαρτα στην εικόνα. Οφείλεται συνήθως σε δυσλειτουργίες αισθητήρων, προβλήματα μετάδοσης δεδομένων ή σφάλματα στη μνήμη.
- **Φίλτρο Κινούμενου Μέσου (Moving Average Filter):** Είναι ένα γραμμικό φίλτρο που αντικαθιστά την τιμή κάθε pixel με τον μέσο όρο των τιμών των γειτονικών του pixel (συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του pixel). Λειτουργεί ως ένας εξομαλυντής που μειώνει τις απότομες μεταβολές στην ένταση των pixel, άρα και τον Gaussian θόρυβο.
- **Φίλτρο Διαμέσου (Median Filter):** Είναι ένα μη γραμμικό φίλτρο που αντικαθιστά την τιμή κάθε pixel με τη διάμεση τιμή των γειτονικών του pixel. Η διάμεση τιμή είναι η μεσαία τιμή σε μια ταξινομημένη σειρά τιμών. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην αφαίρεση κρουστικού (salt & pepper) θορύβου, αλλά μπορεί να μειώσει και κάποιο μέρος του Gaussian θορύβου, αν και όχι τόσο αποτελεσματικά όσο το φίλτρο κινούμενου μέσου.
- **Συνδυασμός φίλτρων** με διαφορετική σειρά για να διαπιστωθεί ποια σειρά είναι η βέλτιστη για την ανάκτηση της αρχικής εικόνας.
- **Median → Moving Average Filter:** Εφαρμογή του φίλτρου διαμέσου πρώτα για την αφαίρεση του κρουστικού θορύβου, ακολουθούμενη από το φίλτρο κινούμενου μέσου για την εξομάλυνση του Gaussian θορύβου.
- **Moving Average Filter → Median:** Εφαρμογή του φίλτρου κινούμενου μέσου πρώτα για την εξομάλυνση του Gaussian θορύβου, ακολουθούμενη από το φίλτρο διαμέσου για την αφαίρεση του κρουστικού θορύβου.

Αποτελέσματα:

- **Gaussian θόρυβος:**



Η αρχική εικόνα είναι εμφανώς επηρεασμένη από λευκό θόρυβο που της δίνει μια "κοκκώδη" υφή. Οι λεπτομέρειες είναι δυσδιάκριτες, αλλά η γενική μορφή της τίγρης παραμένει αναγνωρίσιμη.

Μετά την εφαρμογή φίλτρου **κινούμενου μέσου** η εικόνα δείχνει σημαντική μείωση του **Gaussian** θορύβου. Η "κοκκώδης" υφή έχει μειωθεί αισθητά και η εικόνα φαίνεται πιο ομαλή. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μια μικρή θόλωση στις ακμές και τις λεπτομέρειες, κάτι που είναι αναμενόμενο με τα φίλτρα μέσου, καθώς "απλώνουν" τις τιμές των pixel.

Μετά την εφαρμογή **φίλτρου διαμέσου** (median filter) ενώ έχει μειωθεί κάποιος θόρυβος, η εικόνα εξακολουθεί να φαίνεται πιο θορυβώδης από αυτήν που φιλτραρίστηκε με το **φίλτρο μέσου** καθώς τείνει να εξομαλύνει περιοχές έντονων διαβαθμίσεων πιο επιθετικά.

- **Κρουστικός θόρυβος:**

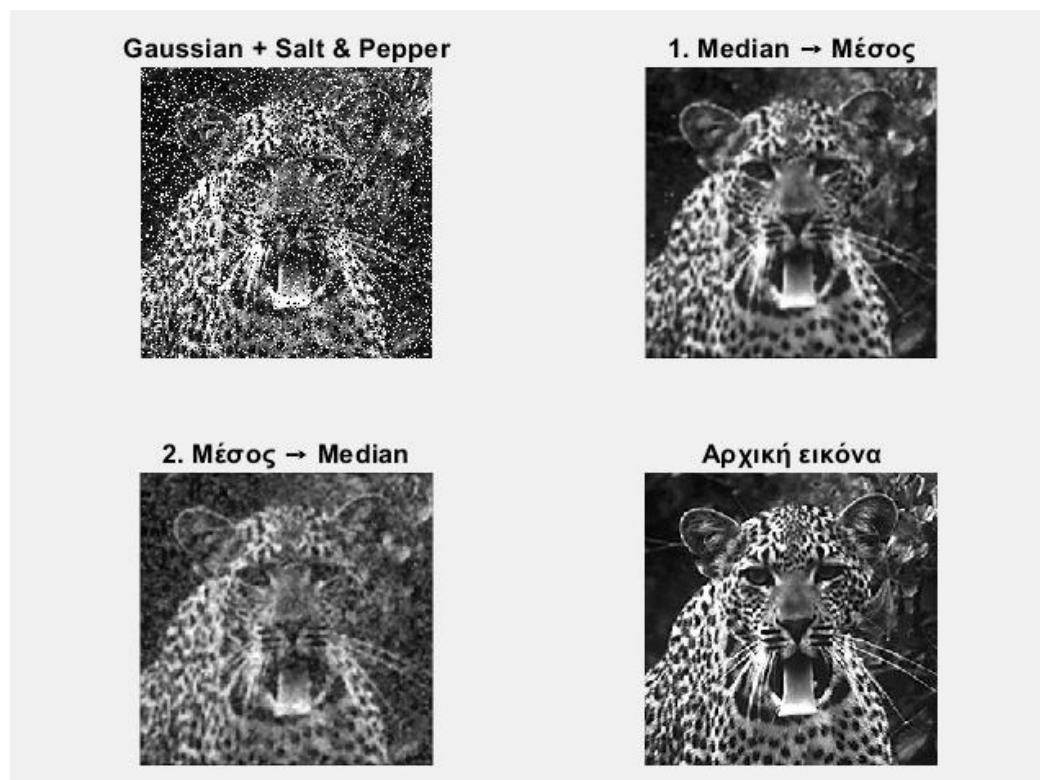


Η αρχική εικόνα είναι έντονα "μολυσμένη" με μαύρα και λευκά pixel που είναι διάσπαρτα σε όλη την επιφάνεια. Η δομή της τίγρης είναι δύσκολα διακριτή λόγω του υψηλού ποσοστού θορύβου (20%).

Μετά την εφαρμογή φίλτρου **κινούμενου μέσου** η εικόνα έχει βελτιωθεί. Όμως, τα μαύρα και λευκά pixel δεν έχουν αφαιρεθεί, αλλά έχουν "απλωθεί" και έχουν μετατραπεί σε γκρι κηλίδες, δημιουργώντας μια έντονα θολή εικόνα. Αυτό οφείλεται στο ότι το φίλτρο μέσου "μαλακώνει" την επίδραση των ακραίων τιμών, αλλά δεν τις εξαλείφει. Δεν είναι αποτελεσματικό λοιπόν για αυτόν τον τύπο θορύβου.

Με την εφαρμογή **φίλτρου διαμέσου** το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακά καλύτερο. Ο **κρουστικός θόρυβος** έχει σχεδόν εξαλειφθεί πλήρως, και η εικόνα της τίγρης έχει αποκατασταθεί με σαφήνεια. Οι ακμές και οι λεπτομέρειες διατηρούνται πολύ καλά, καθώς το **φίλτρο διάμεσης** δεν θολώνει τις περιοχές που δεν έχουν θόρυβο. Αυτό επιβεβαιώνει ότι το **φίλτρο διαμέσου** είναι η ιδανική επιλογή για την αφαίρεση του κρουστικού θορύβου.

- **Συνδυασμένος θόρυβος:**



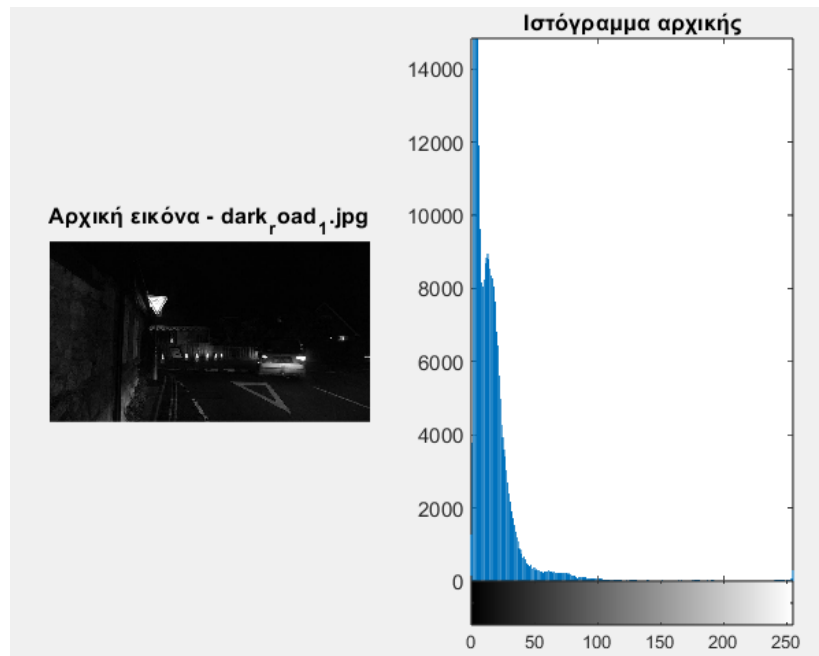
- **Φίλτρο Διαμέσου και μετά Φίλτρο Κινούμενου Μέσου:** Αυτό το αποτέλεσμα είναι σαφώς το καλύτερο. Το φίλτρο διαμέσου αρχικά αφαιρεί σχεδόν πλήρως τον **κρουστικό θόρυβο**, καθαρίζοντας την εικόνα από τις ακραίες τιμές. Στη συνέχεια, το φίλτρο μέσου εξομαλύνει αποτελεσματικά τον υπόλοιπο **Gaussian θόρυβο**. Το αποτέλεσμα είναι μια αρκετά καθαρή εικόνα, με ορατές λεπτομέρειες, πολύ κοντά στην αρχική εικόνα. Αυτή η σειρά είναι η **καταλληλότερη** για συνδυασμένο θόρυβο.
- **Φίλτρο Κινούμενου Μέσου και μετά Φίλτρο Διαμέσου:** Το αποτέλεσμα είναι πολύ χειρότερο από την προηγούμενη σειρά. Το **φίλτρο κινούμενου μέσου**, εφαρμοσμένο πρώτο, δεν μπορεί να αφαιρέσει τον **κρουστικό θόρυβο**. Αντίθετα, "απλώνει" τις ακραίες τιμές των pixels, μετατρέποντας τα φωτεινά/σκοτεινά σημεία σε θολές, γκριζες κηλίδες. Αν και το **φίλτρο διαμέσου** εφαρμόζεται στη συνέχεια, δυσκολεύεται να διορθώσει το ήδη "αλλοιωμένο" σήμα. Η εικόνα παραμένει θολή και με υπολειπόμενα θορύβου. Αυτή η σειρά είναι **ακατάλληλη** για συνδυασμένο θόρυβο.

4. Βελτίωση Εικόνας – Εξίσωση Ιστογράμματος

- Το **ιστόγραμμα** μιας εικόνας αναπαριστά τη στατιστική κατανομή των εντάσεων των pixel. Για μια **grayscale** εικόνα, δείχνει πόσα pixel έχουν κάθε συγκεκριμένη τιμή έντασης (από 0 έως 255). Ένα **ιστόγραμμα** που είναι συγκεντρωμένο στις χαμηλές τιμές υποδηλώνει μια σκοτεινή εικόνα με χαμηλή αντίθεση, ενώ ένα ιστόγραμμα που καλύπτει όλο το εύρος των τιμών υποδηλώνει μια εικόνα με καλή αντίθεση.
- Η **ολική εξίσωση ιστογράμματος** είναι μια τεχνική βελτίωσης της αντίθεσης που προσπαθεί να απλώσει τις τιμές των **pixel** σε ολόκληρο το διαθέσιμο εύρος εντάσεων (0-255). Αυτό γίνεται εφαρμόζοντας μια συνάρτηση μετασχηματισμού που βασίζεται στη **αθροιστική συνάρτηση κατανομής (Cumulative Distribution Function - CDF)** του ιστογράμματος της αρχικής εικόνας. Σκοπός είναι να αποκτήσει η τελική εικόνα ένα **ιστόγραμμα** με μια πιο ομοιόμορφη κατανομή των εντάσεων, αυξάνοντας έτσι την αντίθεση.
- Η **τοπική εξίσωση ιστογράμματος (Local Histogram Equalization)**, και πιο συγκεκριμένα η **Προσαρμοστική Εξίσωση Ιστογράμματος με Περιορισμό Αντίθεσης (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization - CLAHE)**, είναι μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση. Αντί να εφαρμόζει την εξίσωση σε ολόκληρη την εικόνα, η **CLAHE** διαιρεί την εικόνα σε μικρά, μη επικαλυπτόμενα πλακίδια. Για κάθε πλακίδιο, υπολογίζει το **ιστόγραμμα** και εφαρμόζει εξίσωση ανεξάρτητα. Για να αποφευχθεί η υπερβολική ενίσχυση του θορύβου, εφαρμόζεται ένα **όριο περικοπής** στο ιστόγραμμα πριν την εξίσωση, περιορίζοντας τις αιχμές του ιστογράμματος. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται **bilinear interpolation** για την ομαλοποίηση των μεταβάσεων στα όρια των πλακιδίων.

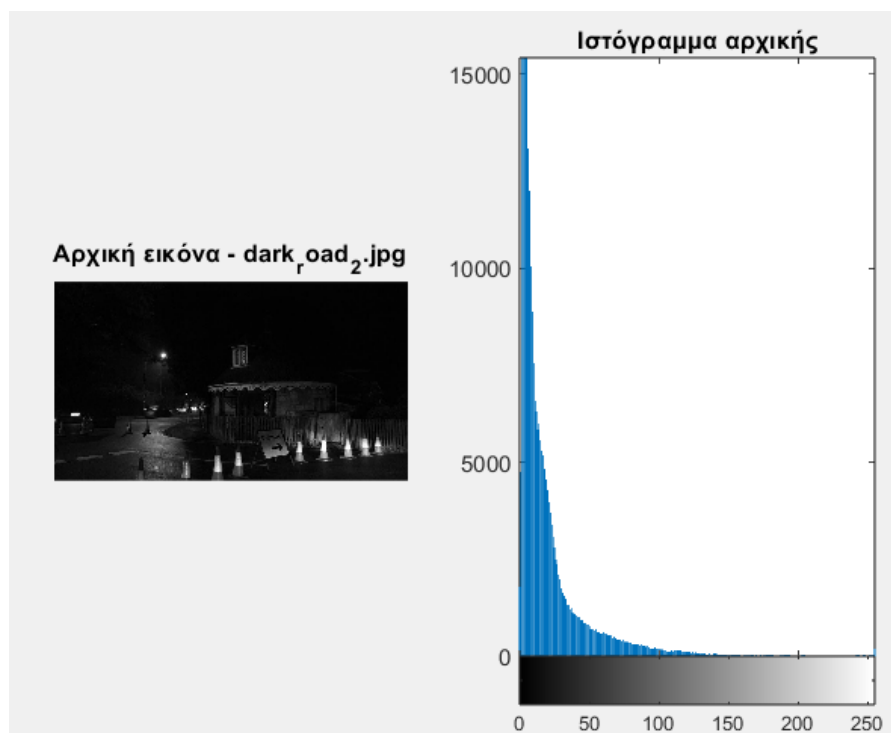
Αποτελέσματα:

- Ιστογράμματα αρχικών εικόνων:



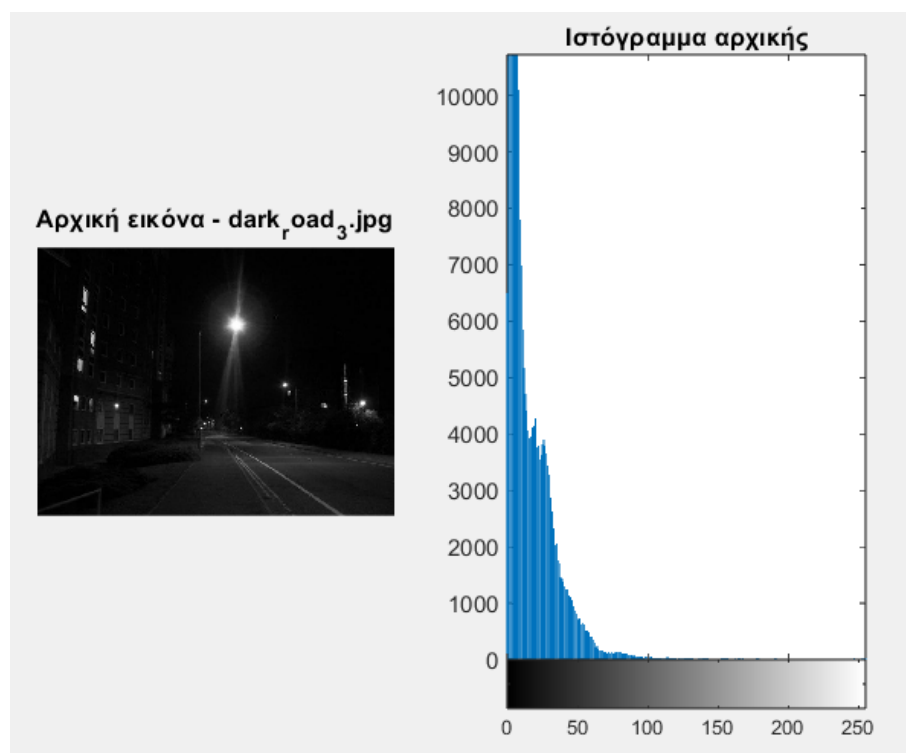
dark_road_1.jpg : Η εικόνα δείχνει έναν δρόμο με ένα αυτοκίνητο και κάποια φώτα στο βάθος. Παρόλο που υπάρχουν πηγές φωτός, γενικά είναι πολύ σκοτεινή. Το **ιστόγραμμα** το επιβεβαιώνει καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των **pixel** είναι κάτω από την τιμή **50**. Υπάρχουν ελάχιστα **pixel** σε υψηλότερες τιμές, πιθανόν αυτά να αντιστοιχούν στις λίγες φωτεινές πηγές. Ωστόσο, ακόμα και αυτές δεν είναι αρκετά φωτεινές ώστε να μετακινήσουν

σημαντικό αριθμό **pixel** προς το δεξιό άκρο του ιστογράμματος, πράγμα που δείχνει ότι η εικόνα είναι γενικά **υποεκτεθειμένη**.



dark_road_2.jpg: Αυτή η εικόνα φαίνεται να έχει κάποια φώτα στο έδαφος και ένα κτίριο, αλλά και πάλι, η συνολική εικόνα είναι πολύ σκοτεινή. Οι λεπτομέρειες του εδάφους και του κτιρίου είναι δύσκολα ορατές. Το **ιστόγραμμα** είναι ακόμα πιο συγκεντρωμένο προς το **0**, με μια πολύ απότομη πτώση. Αυτό υποδηλώνει ότι η εικόνα είναι ίσως η πιο σκοτεινή από τις τρεις, με τις λιγότερες φωτεινές περιοχές.

Η αντίθεση είναι εξαιρετικά χαμηλή.

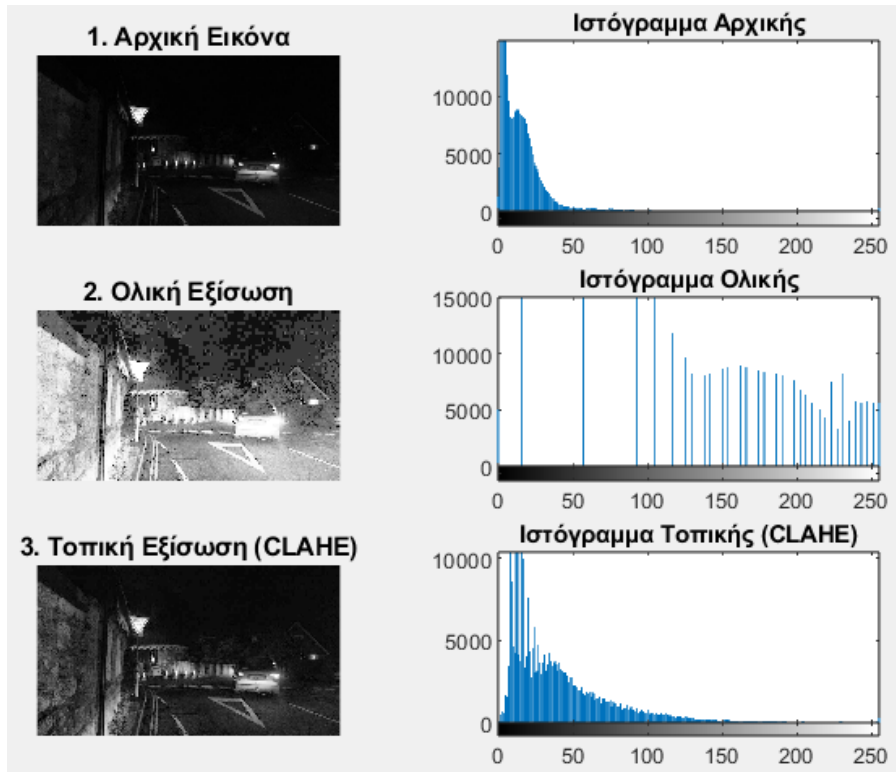


dark_road_3.jpg: Η εικόνα περιλαμβάνει έναν δρόμο με έναν στύλο φωτισμού και κάποια κτίρια. Ο στύλος φωτισμού είναι μια εμφανής πηγή φωτός, η οποία όμως φωτίζει μόνο ένα μικρό μέρος του τοπίου. Το **ιστόγραμμα** παρουσιάζει παρόμοια συμπίεση στις χαμηλές τιμές, αλλά ίσως με μια ελαφρώς πιο "απλωμένη" ουρά προς τις μέσες τιμές (περίπου **50-100**) και λιγότερα απότομη πτώση, πιθανόν λόγω της

παρουσίας του στύλου και της περιοχής που φωτίζεται. Ωστόσο, εξακολουθεί να μην έχει σημαντική παρουσία **pixel** στις υψηλές τιμές, επιβεβαιώνοντας τη συνολική σκοτεινότητα και χαμηλή αντίθεση της εικόνας.

- **Ολική και τοπική εξίσωση ιστογράμματος:**

- Για την **dark_road_1.jpg**:



- **Ολική Εξίσωση Ιστογράμματος (Global Histogram Equalization - GHE):**

Παρατηρείται μια δραματική αύξηση της συνολικής φωτεινότητας και αντίθεσης. Ο δρόμος, το αυτοκίνητο και τα γύρω αντικείμενα γίνονται πολύ πιο ευδιάκριτα.

Η **ολική εξίσωση**, απλώνει τις τιμές των pixel σε όλο το διαθέσιμο δυναμικό εύρος, κάνοντας τις σκοτεινές περιοχές πιο φωτεινές. Ωστόσο, γίνεται υπερβολική ενίσχυση του θορύβου: οι αρχικά πολύ σκοτεινές περιοχές της εικόνας γίνονται "κοκκώδεις" και μειώνουν την ποιότητα και την ευκρίνεια. Επίσης, τα φώτα του αυτοκινήτου και άλλες φωτεινές πηγές γίνονται υπερβολικά φωτεινές, χάνοντας έτσι κάθε λεπτομέρεια που μπορεί να υπήρχε σε αυτές.

Το **ιστόγραμμα** πλέον εκτείνεται σε όλο το εύρος από 0 έως 255. Ωστόσο, αντί να είναι ομοιόμορφο, παρουσιάζει συχνά μεγάλες κορυφές, υποδηλώνοντας ότι πολλές αρχικές τιμές συμπιέστηκαν σε λιγότερες, πιο έντονες, τιμές.

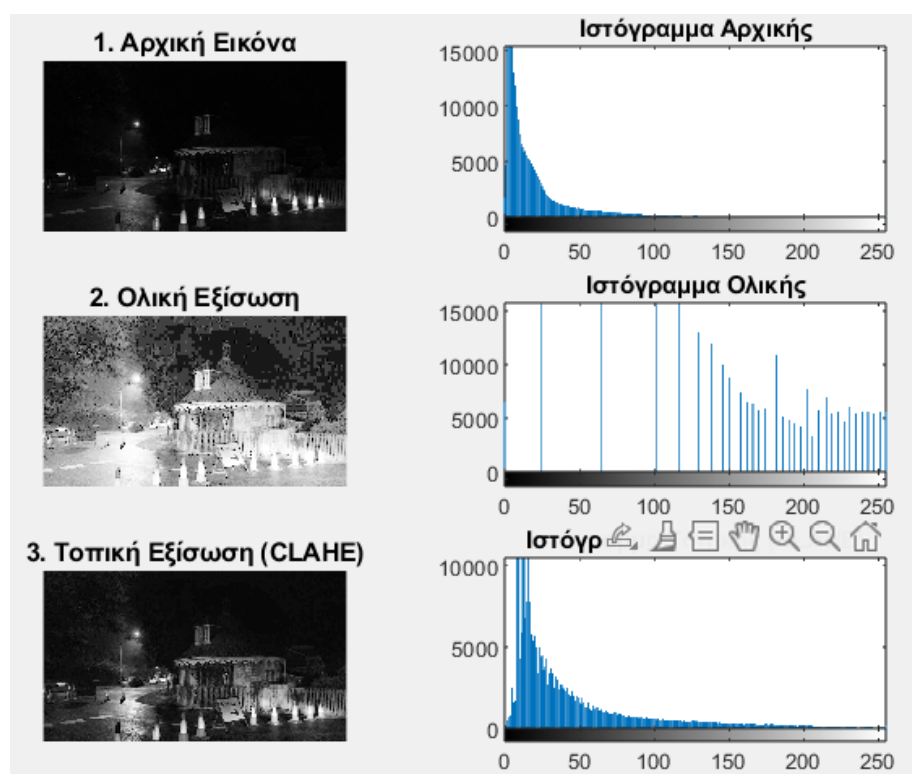
- **Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος (CLAHE):**

Η **Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος (CLAHE)** βελτιώνει αισθητά την αντίθεση αλλά με πιο ομαλό και ισορροπημένο τρόπο. Οι λεπτομέρειες στον δρόμο και στα κτίρια είναι σαφώς πιο ευδιάκριτες από την αρχική εικόνα. Το clip limit (0.01) λειτουργεί αποτελεσματικά: ο θόρυβος

είναι σημαντικά μειωμένος σε σύγκριση με την GHE, και οι φωτεινές περιοχές δεν είναι υπερκορεσμένες. Η εικόνα φαίνεται πιο φυσική και καθαρή.

Το **ιστόγραμμα** είναι πιο απλωμένο από το αρχικό, υποδηλώνοντας βελτιωμένη αντίθεση. Ωστόσο, αντικατοπτρίζει τις τοπικές προσαρμογές. Συνήθως έχει μια κλίση προς τις χαμηλότερες/μεσαίες τιμές, αλλά με σημαντική επέκταση του εύρους.

- Για την **dark_road_2.jpg**:



- **Ολική Εξίσωση Ιστογράμματος (Global Histogram Equalization - GHE):**

Η **ολική εξίσωση** κάνει την εικόνα πολύ φωτεινότερη, αναδεικνύοντας πλήθος λεπτομερειών που ήταν εντελώς αόρατες. Ωστόσο, η ποιότητα είναι πολύ χαμηλή λόγω του υπερβολικού θορύβου. Η εικόνα είναι "χιονισμένη" και τα φωτεινά σημεία "καίγονται" εντελώς.

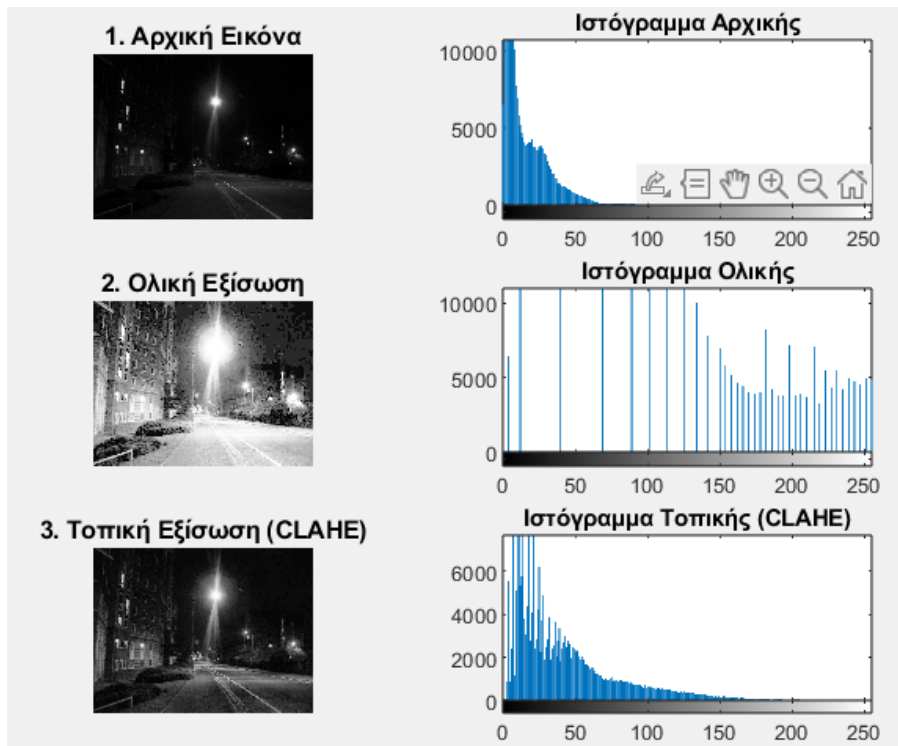
Το **ιστόγραμμα** απλώνεται, αλλά με ακόμη πιο έντονες και ακανόνιστες αιχμές σε σχέση με την προηγούμενη εικόνα, λόγω της αρχικής ακραίας συμπίεσης.

- **Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος (CLAHE):**

Η **Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος (CLAHE)** επιτυγχάνει αξιοσημείωτη βελτίωση χωρίς να καταστρέφει την εικόνα με θόρυβο. Οι δομές των κτιρίων και οι φωτεινές πηγές διακρίνονται πλέον σαφώς. Ο θόρυβος είναι ελάχιστος σε σύγκριση με την GHE. Η εικόνα είναι πλέον λειτουργική για οπτική αναγνώριση.

Το **ιστόγραμμα** είναι πλέον πολύ πιο απλωμένο, καλύπτοντας ένα ευρύτερο φάσμα τιμών, αλλά διατηρώντας μια πιο ομαλή.

- Για την **dark_road_3.jpg**:



- **Ολική Εξίσωση Ιστογράμματος (Global Histogram Equalization - GHE):**

Η **Ολική Εξίσωση** κάνει τον φωτισμό του στύλου υπερβολικά έντονο και "καίγεται", χάνοντας κάθε λεπτομέρεια στην περιοχή του φωτός. Οι σκοτεινές περιοχές γίνονται φωτεινότερες, αλλά εμφανίζεται σημαντικός θόρυβος, ιδιαίτερα στα κτίρια και τις σκιές.

Το **ιστόγραμμα** απλώνεται, αλλά η υπερβολική ενίσχυση των φωτεινών περιοχών οδηγεί σε κορυφές στις υψηλές τιμές, ενώ οι σκοτεινές περιοχές εξακολουθούν να συμβάλλουν σε κορυφές στις χαμηλές-μεσαίες τιμές.

- **Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος (CLAHE):**

Η **Τοπική Εξίσωση** προσφέρει την καλύτερη ισορροπία. Ο στύλος φωτισμού παραμένει φωτεινός αλλά χωρίς να "καεί" πλήρως, διατηρώντας κάποιο περίγραμμα. Οι σκοτεινές περιοχές φωτίζονται επαρκώς, αναδεικνύοντας τις λεπτομέρειες των κτιρίων και του δρόμου, με ελάχιστο ή καθόλου ορατό θόρυβο. Η εικόνα είναι πλέον πολύ πιο ευανάγνωστη.

Το **ιστόγραμμα** είναι απλωμένο και δείχνει μια καλή κατανομή των εντάσεων, αποφεύγοντας τις ακραίες κορυφές που παρατηρούνται στην GHE, χάρη στον περιορισμό της αντίθεσης ανά πλακίδιο.

5. Αποκατάσταση Εικόνας με Φίλτρο Wiener

Μέρος Α

Η αποκατάσταση εικόνας με χρήση του φίλτρου **Wiener** αποτελεί μια ισχυρή μέθοδο για την καταστολή του θορύβου, ειδικά του **λευκού θορύβου Gauss**, από υποβαθμισμένες εικόνες. Το φίλτρο **Wiener** είναι ένα γραμμικό φίλτρο που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος μεταξύ της αρχικής, μη θορυβώδους εικόνας και της αποκαταστημένης εικόνας. Για να επιτύχει αυτό το σκοπό, το φίλτρο **Wiener** απαιτεί πληροφορίες σχετικά με την **φασματική πυκνότητα ισχύος** τόσο του αρχικού σήματος της εικόνας όσο και του θορύβου. Στην πράξη, αυτές οι φασματικές πυκνότητες ισχύος συχνά δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων, οπότε το φίλτρο μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει εκτιμήσεις αυτών των παραμέτρων, είτε βασίζεται σε προηγούμενη **γνώση της ισχύος του θορύβου**, αν αυτή είναι διαθέσιμη. Η βέλτιστη λειτουργία του φίλτρου επιτυγχάνεται όταν οι **παράμετροι του θορύβου** είναι **γνωστές**, καθώς αυτό του επιτρέπει να προσαρμόσει καλύτερα την **απόκριση του φίλτρου** για την αποτελεσματική καταστολή του **θορύβου** χωρίς να αλλοιώνει σημαντικά τις λεπτομέρειες του σήματος της εικόνας.

Αποτελέσματα:

Εικόνα με Gauss Θόρυβο (SNR = 10dB):



Η εικόνα παρουσιάζει την αρχική εικόνα της Νέας Υόρκης αφού έχει υποστεί υποβάθμιση με την προσθήκη **λευκού θορύβου Gauss**, ρυθμισμένου έτσι ώστε ο λόγος σήματος προς θόρυβο (**SNR**) να είναι **10 dB**. Η επίδραση του θορύβου είναι άμεσα ορατή: η εικόνα εμφανίζεται "κοκκώδης", με τις λεπτομέρειες να είναι θολές και δυσδιάκριτες. Αυτή η οπτική υποβάθμιση επιβεβαιώνεται από τη χαμηλή τιμή του **PSNR (20.97 dB)**, η οποία υποδεικνύει σημαντικό επίπεδο θορύβου σε σχέση με το σήμα της εικόνας. Ο θόρυβος είναι ομοιόμορφα

κατανεμημένος σε όλη την έκταση της εικόνας, επηρεάζοντας τόσο τις φωτεινές όσο και τις σκοτεινές περιοχές.

Αποκατάσταση με Wiener με γνωστή ισχύς θορύβου:



Η εικόνα απεικονίζει το αποτέλεσμα της εφαρμογής του **φίλτρου Wiener** για την αποκατάσταση της θορυβώδους εικόνας, με την ισχύς του προστιθέμενου θορύβου να είναι γνωστή εκ των προτέρων. Η βελτίωση σε σχέση με την προηγούμενη εικόνα είναι εξαιρετικά ικανοποιητική: ο **θόρυβος** έχει μειωθεί και οι λεπτομέρειες των κτιρίων, των διαφημιστικών πινακίδων και των οχημάτων είναι πιο ευκρινείς. Η εικόνα φαίνεται σημαντικά πιο "καθαρή" και ομαλή. Αυτή η βελτίωση αντικατοπτρίζεται στην υψηλότερη τιμή **PSNR (25.43 dB)**, η οποία υποδηλώνει μια επιτυχημένη αποκατάσταση του σήματος της εικόνας λόγω της ακριβούς γνώσης των παραμέτρων του θορύβου, επιτρέποντας στο φίλτρο να εφαρμόσει τη βέλτιστη εξομάλυνση.

Αποκατάσταση με Wiener χωρίς γνώση ισχύς θορύβου:



Στην εικόνα παρουσιάζεται η αποκατάσταση της θορυβώδους εικόνας χρησιμοποιώντας το **φίλτρο Wiener**, αλλά αυτή τη φορά χωρίς την εκ των προτέρων γνώση της ισχύος του θορύβου. Στην περίπτωση αυτή, το φίλτρο υπολογίζει την ισχύ του θορύβου εμπειρικά, συνήθως από τοπικές περιοχές της εικόνας. Παρατηρούμε ότι η εικόνα έχει επίσης βελτιωθεί σημαντικά σε σχέση με την αρχική θορυβώδη εκδοχή, με τον θόρυβο να έχει μειωθεί αισθητά και πολλές λεπτομέρειες να έχουν ανακτηθεί. Ωστόσο, η καθαρότητα και η ευκρίνεια δεν είναι τόσο υψηλές όσο στην περίπτωση όπου η ισχύς του θορύβου ήταν γνωστή. Αυτό επιβεβαιώνεται από το **PSNR (24.56 dB)**, το οποίο είναι υψηλότερο από την θορυβώδη εικόνα, αλλά ελαφρώς χαμηλότερο από την περίπτωση με γνωστή ισχύ θορύβου.

Μέρος Β

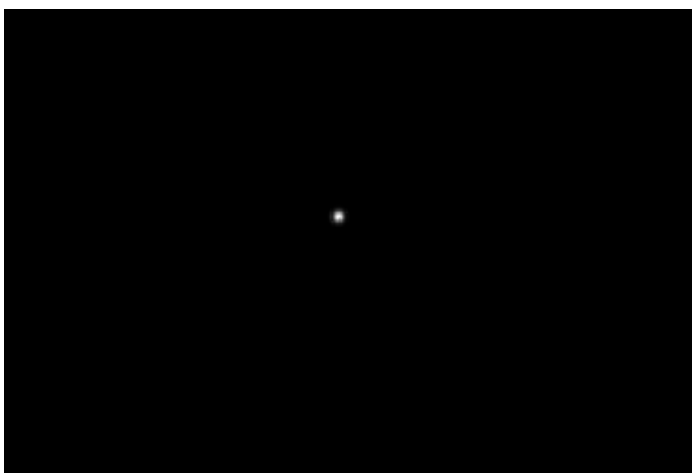
- Η **κρουστική απόκριση (Point Spread Function - PSF)** ενός συστήματος δείχνει πώς αυτό "θολώνει" ένα τέλειο σημείο φωτός. Εδώ, εκτιμήθηκε περνώντας μια "κρουστική" είσοδο (ένα μόνο φωτεινό pixel) μέσω της **συνάρτησης θόλωσης (psf)**. Η απόκριση συχνότητας της PSF (η μετασχηματισμένη Fourier της) δείχνει ποιες συχνότητες-λεπτομέρειες της εικόνας επηρεάζονται από το θόλωμα.
- Το **αντίστροφο φιλτράρισμα** στοχεύει στην αναστροφή του θολώματος διαιρώντας τη μετασχηματισμένη **Fourier** της θολωμένης εικόνας με την απόκριση συχνότητας του συστήματος (**H**). Ωστόσο, όταν το **H** έχει πολύ μικρές τιμές (πλησίον του μηδενός), η διαίρεση οδηγεί σε τεράστια ενίσχυση του θορύβου. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, χρησιμοποιείται ένα **κατώφλι (τ)**. Μόνο οι συχνότητες όπου η απόλυτη τιμή του **H** είναι μεγαλύτερη από το **τ** λαμβάνονται υπόψη για την αντιστροφή. Οι άλλες "μηδενίζονται" ή παραλείπονται.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ενίσχυσης θορύβου, εφαρμόζεται ένα **κατώφλι**. Αν η απόλυτη τιμή της **απόκρισης συχνότητας** της **PSF** είναι μικρότερη από το **κατώφλι (τ)**, τότε η αντίστοιχη τιμή στο **αντίστροφο φίλτρο** τίθεται σε **μηδέν** ή αγνοείται, αποφεύγοντας έτσι τη διαίρεση με πολύ μικρούς αριθμούς. Αυτό ουσιαστικά φιλτράρει τις συχνότητες που έχουν επηρεαστεί έντονα από τη θόλωση και είναι πιθανό να περιέχουν κυρίως θόρυβο.

- Το **Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα** (Mean Squared Error, MSE) χρησιμοποιείται για να ποσοτικοποιήσει την ομοιότητα μεταξύ της αποκατεστημένης εικόνας και της αρχικής εικόνας. Μικρότερες τιμές **MSE** υποδηλώνουν καλύτερη αποκατάσταση.

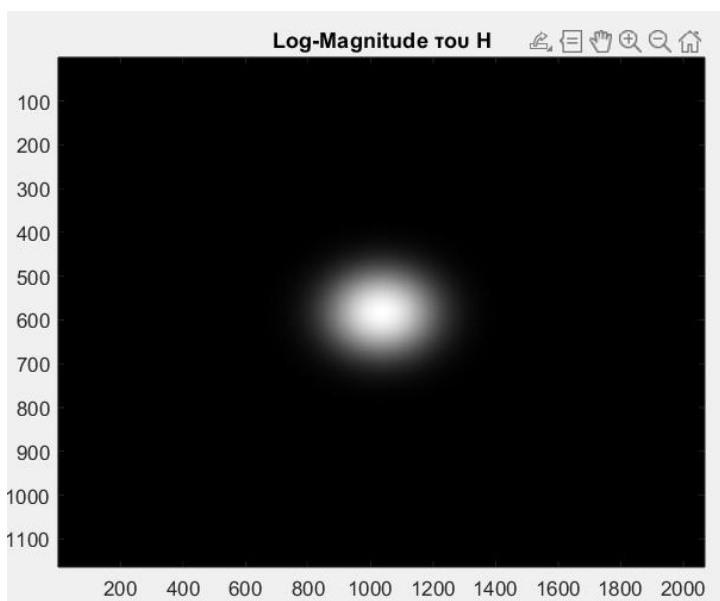
Αποτελέσματα:

- **Η εκτιμώμενη Κρουστική Απόκριση:**



Η λογαριθμική απεικόνιση του **FFT** της **PSF** δείχνει ότι η **PSF** έχει μια κεντρική κορυφή στην συχνότητα μηδέν ενώ οι υψηλότερες συχνότητες έχουν χαμηλότερες τιμές, υποδηλώνοντας ότι το σύστημα θολώνει τις λεπτομέρειες.

- **Log-Magnitude του H:**



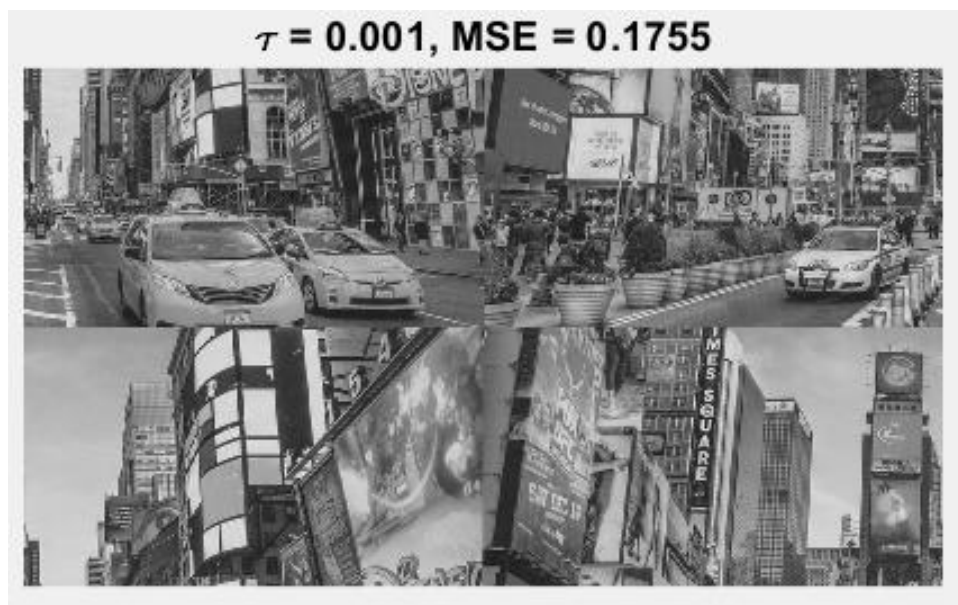
Η εικόνα είναι μια αναπαράσταση της λογαριθμικής κλίμακας του **μέτρου** της **απόκρισης συχνότητας (H)** της εκτιμημένης **PSF**. Το κέντρο της εικόνας είναι πολύ φωτεινό και η φωτεινότητα μειώνεται σταδιακά καθώς απομακρυνόμαστε προς τις άκρες.

- Για $\tau=0$ (χωρίς κατώφλι):



Για $\tau=0$ (χωρίς κατώφλι) ο **MSE** είναι 0.1799. Σε αυτή την περίπτωση, το φίλτρο προσπαθεί να αντιστρέψει όλες τις συχνότητες, συμπεριλαμβανομένων αυτών που έχουν σχεδόν μηδενική ενέργεια στην **PSF** και επομένως είναι πιθανό να κυριαρχούνται από θόρυβο. Αυτό οδηγεί σε σημαντική ενίσχυση του θορύβου στην αποκατεστημένη εικόνα, καθιστώντας την πολύ θορυβώδη και με κακή ποιότητα. Δεν φαίνεται να υπάρχει εμφανής βελτίωση σε σχέση με την αρχική θολωμένη εικόνα.

- Για $\tau=0.001$:



Η εικόνα εμφανίζει μια μικρή βελτίωση σε σχέση με το $\tau=0$. Ο θόρυβος έχει μειωθεί ελαφρώς, και η εικόνα αρχίζει να φαίνεται πιο καθαρή. Το **MSE** έχει επίσης μειωθεί, υποδηλώνοντας καλύτερη προσαρμογή στην αρχική εικόνα.

- Για $\tau = 0.01$:



Η βελτίωση στην ποιότητα της εικόνας συνεχίζεται. Ο θόρυβος είναι ακόμα λιγότερος, και οι λεπτομέρειες είναι πιο ευδιάκριτες από τις προηγούμενες τιμές του τ . Το **MSE** συνεχίζει την πτωτική του πορεία.

- Για $\tau = 0.05$:



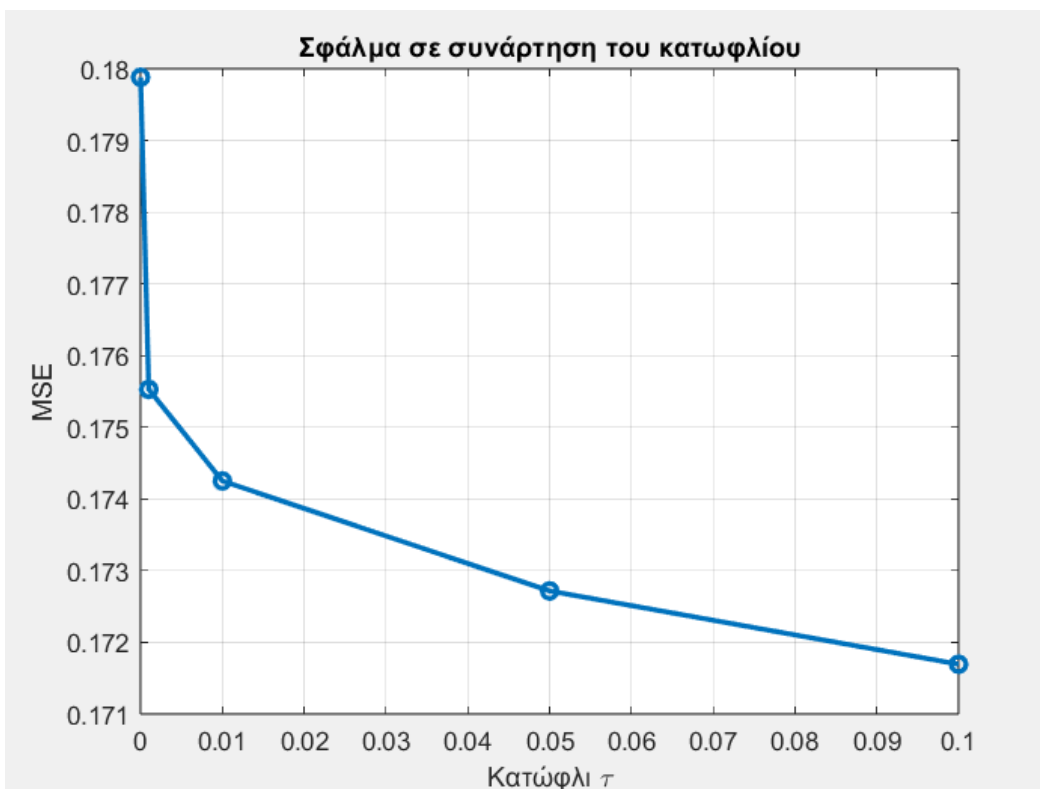
Η εικόνα είναι αρκετά καθαρή. Η θόλωση έχει αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά και ο θόρυβος έχει περιοριστεί σημαντικά. Οι λεπτομέρειες της Times Square είναι πλέον αρκετά σαφείς. Το MSE έχει φτάσει σε χαμηλότερη τιμή.

- Για $\tau = 0.1$:



Αυτή η εικόνα εμφανίζει την καλύτερη αποκατάσταση μεταξύ των δοκιμασμένων τιμών. Είναι η πιο καθαρή και ευκρινής, με τις περισσότερες λεπτομέρειες να έχουν αποκατασταθεί και τον ελάχιστο θόρυβο. Το **MSE** είναι το χαμηλότερο, υποδεικνύοντας την καλύτερη δυνατή προσέγγιση στην αρχική εικόνα για αυτό το εύρος κατωφλίων.

- Απεικόνιση MSE:



Το γράφημα που απεικονίζει το **Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (MSE)** σε συνάρτηση με το **κατώφλι τ** για το αντίστροφο φίλτρο. Ξεκινώντας από **$\tau=0$** , όπου το **MSE** είναι στο υψηλότερο σημείο του (περίπου **0.1799**), παρατηρείται η επίδραση της ενίσχυσης θορύβου. Ωστόσο, η εισαγωγή ακόμα και ενός πολύ μικρού κατωφλίου οδηγεί σε μικρή μείωση του **MSE**: από **0.1799** σε **0.1755** για **$\tau=0.001$** και περαιτέρω σε **0.1743** για **$\tau=0.01$** . Αυτή η **πτώση** υπογραμμίζει την κρίσιμη **σημασία του κατωφλίου** στην καταστολή του θορύβου που ενισχύεται από το αντίστροφο φίλτρο, ειδικά στις προβληματικές συχνότητες. Καθώς το **τ** συνεχίζει να **αυξάνεται**, το **MSE** συνεχίζει να **μειώνεται**, φτάνοντας στο **0.1717** για **$\tau=0.1$** . Αυτή η συνεχής βελτίωση υποδηλώνει ότι η **αύξηση του κατωφλίου** συνεχίζει να **βελτιώνει την ποιότητα** της αποκατάστασης, αποκλείοντας περισσότερες "θορυβώδεις" ή "θολές" συχνότητες, οδηγώντας σε πιο καθαρές και ευκρινείς εικόνες.

* Η καμπύλη συνεχίζει να μειώνεται μέχρι την τελευταία τιμή που δοκιμάστηκε. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το **βέλτιστο κατώφλι** μπορεί να βρίσκεται σε μια τιμή μεγαλύτερη από **0.1** ή ότι για τις συγκεκριμένες τιμές, το όφελος από την αύξηση του **τ** συνεχίζεται με μειωμένο ρυθμό.

6. Ανίχνευση Ακμών

Μάσκες Ανίχνευσης Ακμών Sobel:

Η ανίχνευση ακμών με τη χρήση των масών **Sobel** αποτελεί μια βασική τεχνική στην επεξεργασία εικόνας, καθώς διαθέτουν καλά χαρακτηριστικά για εξομάλυνση θορύβου. Οι μάσκες **Sobel** είναι διακριτοί τελεστές παραγώγου πρώτης τάξης που εφαρμόζονται για τον υπολογισμό του **gradient** της εικόνας σε **οριζόντια (Gx)** και **κατακόρυφη (Gy)** κατεύθυνση. Η συνδυασμένη πληροφορία από τους δύο αυτούς άξονες παρέχει το **μέτρο του gradient**:

$$M(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ ή εναλλακτικά } M(x, y) \approx |g_x| + |g_y|$$

Αυτό το μέτρο αναδεικνύει τις περιοχές της εικόνας με έντονες μεταβολές φωτεινότητας, δηλαδή τις ακμές. Η χρήση των масών **Sobel** είναι αποτελεσματική για την ανίχνευση ακμών, καθώς προσφέρει μια καλή ισορροπία μεταξύ ευαισθησίας στην ανίχνευση και ανθεκτικότητας στον θόρυβο.

Ολική Κατωφλίωση:

Η ολική κατωφλίωση είναι μια **τεχνική κατάτμησης** εικόνας που βασίζεται στην επιλογή ενός ενιαίου κατωφλίου για ολόκληρη την εικόνα. Εφαρμόζεται συχνά μετά την ανίχνευση ακμών για την απομόνωση των σημαντικότερων χαρακτηριστικών. Στόχος της είναι η μετατροπή μιας εικόνας κλίμακας του γκρι σε μια δυαδική εικόνα, αποτελούμενη αποκλειστικά από μαύρα και άσπρα **pixel**, απομονώνοντας έτσι τα χαρακτηριστικά που ξεπερνούν μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου. Δηλαδή, **pixel** με τιμή μεγαλύτερη από το **κατώφλι** γίνονται λευκά (ακμή), ενώ τα υπόλοιπα γίνονται μαύρα (όχι ακμή).

Η σωστή επιλογή του κατωφλίου είναι ουσιώδης για την επιτυχία της κατάτμησης και μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα των αποτελεσμάτων. Εδώ επιλέχθηκε ως **κατώφλι** το **25%**

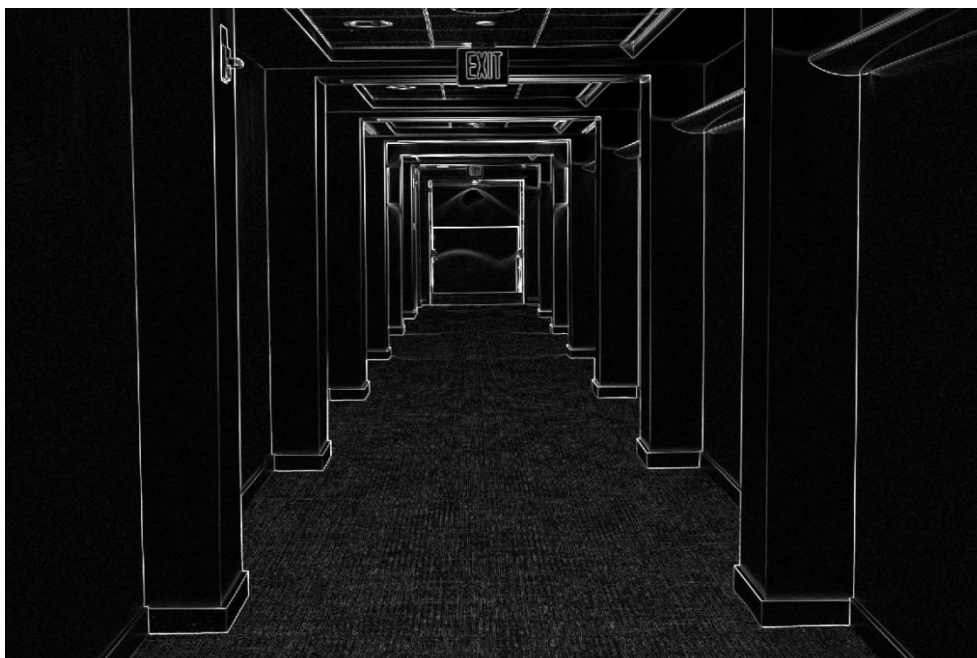
της μέγιστης τιμής του μέτρου του **gradient**. Η επιλογή βασίζεται στην παρατήρηση ότι οι σημαντικές ακμές έχουν συνήθως υψηλές τιμές κλίσης έτσι θα διατηρηθούν οι πιο εμφανείς ακμές, ενώ παράλληλα θα απορριφθεί ο θόρυβος ή οι ασθενείς ακμές που δεν είναι σημαντικές.

Μετασχηματισμός Hough:

Ο μετασχηματισμός **Hough** είναι μια βασική τεχνική στην επεξεργασία εικόνας, σχεδιασμένη για την ανίχνευση συγκεκριμένων γεωμετρικών μορφών, όπως ευθείες γραμμές ή κύκλοι, σε μια εικόνα. Η λειτουργία του βασίζεται στην αναγωγή του προβλήματος εντοπισμού σχημάτων από τον αρχικό "χώρο της εικόνας" σε έναν "χώρο παραμέτρων". Συγκεκριμένα, για κάθε σημείο ακμής που εντοπίζεται στην εικόνα, υπολογίζονται όλες οι πιθανές παραμετρικές αναπαραστάσεις (οι τιμές ρ και θ για μια **ευθεία γραμμή**) των σχημάτων που θα μπορούσαν να διέρχονται από αυτό το σημείο. Αυτές οι υπολογισμένες παραμέτρους "καταχωρούνται" σε έναν δισδιάστατο πίνακα, τον **συσσωρευτή**. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία για όλα τα σημεία ακμής, οι περιοχές του συσσωρευτή με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις "ψηφών" (κορυφές) αντιστοιχούν στις πιο εμφανείς και ολοκληρωμένες **γεωμετρικές μορφές** μέσα στην εικόνα. Αυτή η μέθοδος καθιστά τον **Hough Transform** ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην ανίχνευση σχημάτων ακόμα και όταν αυτά είναι ατελή ή περιέχουν θόρυβο, προσφέροντας παράλληλα τις ακριβείς παραμέτρους των ανιχνευμένων μορφών.

Αποτελέσματα:

- Εφαρμογή Sobel :



Η εφαρμογή του φίλτρου **Sobel** αναδεικνύει επιτυχώς τις βασικές δομές του διαδρόμου, όπως οι άκρες των τοίχων, οι κολώνες και το πλαίσιο της πόρτας στο βάθος. Οι ακμές εμφανίζονται ως λευκές γραμμές σε μαύρο φόντο, με την έντασή τους να αντικατοπτρίζει την απότομη

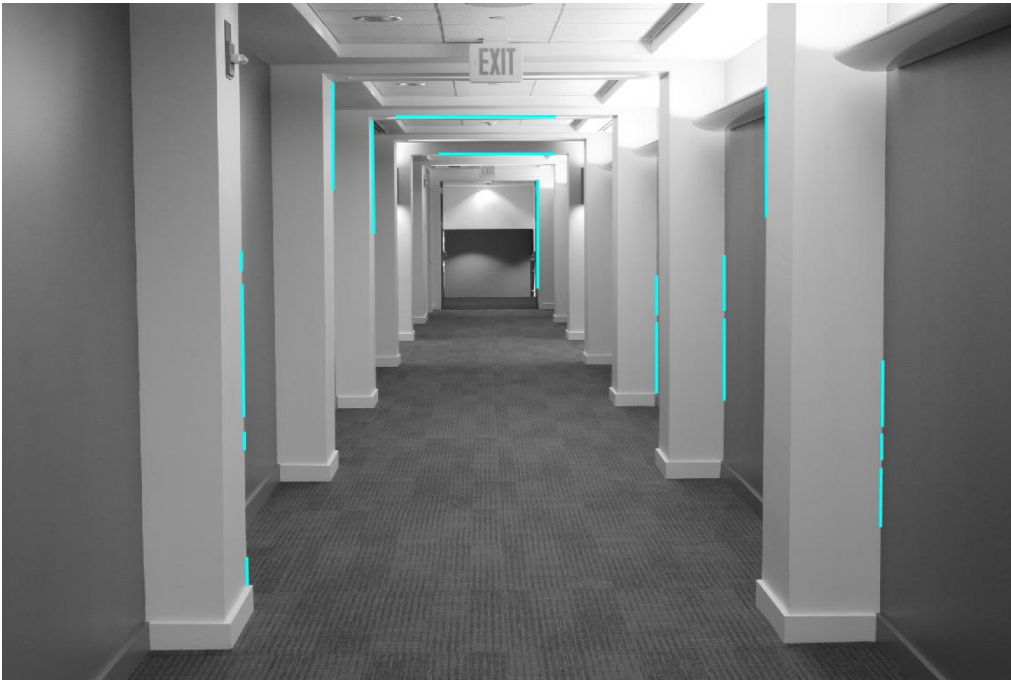
αλλαγή στην τιμή των **pixel**. Παρόλο που το φίλτρο **Sobel** προσφέρει κάποια εξομάλυνση θορύβου, παρατηρείται η παρουσία λεπτών ή αχνών ακμών σε περιοχές υφής όπως στο χαλί, καθώς και ένα πάχος στις ανιχνευμένες ακμές που τις κάνει να φαίνονται διπλές και τριπλές.

- **Ολική κατωφλίωση:**



Η εφαρμογή της **ολικής κατωφλίωσης**, με κατώφλι το **25%** της μέγιστης τιμής του **Sobel magnitude**, οδήγησε σε μια καθαρότερη δυαδική αναπαράσταση των ακμών. Ενώ επιτεύχθηκε αποτελεσματικός καθαρισμός του θορύβου και των ασθενών ακμών, διατηρήθηκαν οι σημαντικές δομικές γραμμές. Ωστόσο, πολλές ακμές εμφανίζονται πλέον διακεκομμένες λόγω της ομοιόμορφης εφαρμογής του κατωφλίου.

- **Μετασχηματισμός Hough:**



Η τελική εικόνα, με τα γαλάζια ευθύγραμμα τμήματα που ανιχνεύθηκαν μέσω του μετασχηματισμού **Hough**, επιβεβαιώνει την υψηλή αποτελεσματικότητα της τεχνικής. Παρά τις διακεκομμένες ακμές από την προηγούμενη **κατωφλίωση**, ο **Hough** κατάφερε να εντοπίσει και να ανασυνθέσει με μεγάλη ακρίβεια τις κύριες ευθείες δομές του διαδρόμου, όπως τις κάθετες γραμμές των κολόνων και τις οριζόντιες γραμμές της οροφής. Η επιτυχία αυτή οφείλεται στην ικανότητα του **Hough** να "γεφυρώνει" κενά και να αναγνωρίζει γραμμές ακόμα και από μη-συνεχόμενα σημεία, καθιστώντας την αποτελεσματική για την εξαγωγή υψηλού επιπέδου γεωμετρικής πληροφορίας από την εικόνα.

ΚΩΔΙΚΑΣ

1. Φιλτράρισμα στο πεδίο συχνοτήτων

%Βήμα 1: Προεπεξεργασία

```
img = imread('moon.jpg');
```

% Αν η εικόνα είναι RGB (3 διαστάσεων) κάνω grayscale

```
if ndims(img) == 3
    img = rgb2gray(img);
end
```

```
img = double(img); %αριθμητική ακρίβεια
```

% Γραμμικός μετασχηματισμός στη δυναμική περιοχή [0,255]

```
img = 255 * (img - min(img(:))) / (max(img(:)) - min(img(:)));
```

% Μετατόπιση του μηδενικού σημείου συχνοτήτων στο κέντρο

```
[M, N] = size(img);
shifted_img = img .* (-1).^(repmat((0:M-1)',1,N) + repmat(0:N-1,M,1));
```

%Βήμα 2: Υπολογισμός 2D DFT μέσω 1D DFT

% 1D DFT κατά γραμμές

```
F_row = zeros(M, N);
for i = 1:M
    F_row(i,:) = fft(shifted_img(i,:));
end
```

% 1D DFT κατά στήλες

```
F = zeros(M, N);
for j = 1:N
    F(:,j) = fft(F_row(:,j));
end
```

% Γραμμική απεικόνιση μέτρου

```
figure;
imshow(uint8(abs(F)/max(abs(F(:))) * 255));
title('Γραμμική απεικόνιση του πλάτους DFT');
```

% Λογαριθμική απεικόνιση μέτρου

```
figure;
imshow(log(1 + abs(F)), []);
title('Λογαριθμική απεικόνιση του πλάτους DFT');
```

%Βήμα 3: Φιλτράρισμα με κατωπερατό φίλτρο

% ιδανικό κατωπερατό φίλτρο

```
D0 = 50; % Ακτίνα ζώνης διάβασης
[U, V] = meshgrid(0:N-1, 0:M-1);
U = U - floor(N/2);
V = V - floor(M/2);
D = sqrt(U.^2 + V.^2);
H = double(D <= D0);
```

% Εφαρμογή φίλτρου

```
G = F .* H;
```

% Βήμα 4: Αντίστροφος 2D DFT μέσω 1D IDFT

% 1D IDFT κατά στήλες

```
G_col = zeros(M, N);  
for j = 1:N  
    G_col(:,j) = ifft(G(:,j));  
end
```

% 1D IDFT κατά γραμμές

```
g = zeros(M, N);  
for i = 1:M  
    g(i,:) = ifft(G_col(i,:));  
end
```

% Πραγματικό μέρος

```
g = real(g);
```

%Βήμα 5: επαναφορά του (0,0)

```
final_img = g .* (-1).^(repmat((0:M-1)',1,N) + repmat(0:N-1,M,1));
```

% Προβολή τελικής εικόνας

```
figure;  
imshow(uint8(final_img));  
title('Τελική φιλτραρισμένη εικόνα');
```

2. Συμπίεση Εικόνας με χρήση μετασχηματισμού DCT

```
clc; clear; close all;
```

```
img = imread('board.png');
```

```
if size(img, 3) == 3
```

```
    img = rgb2gray(img);
```

```
end
```

```
img = double(img);
```

```
blockSize = 32;
```

% pad για να κάνω τις διαστάσεις να είναι πολλαπλάσια του 32

```
padH = mod(-size(img,1), blockSize);
```

```
padW = mod(-size(img,2), blockSize);
```

```
img = padarray(img, [padH padW], 'post');
```

```
[H, W] = size(img);
```

```
r_values = linspace(0.05, 0.5, 10);
```

```
mse_zone = zeros(size(r_values));
```

```
mse_thresh = zeros(size(r_values));
```

% επεξεργασία

```
for k = 1:length(r_values)
```

```
    r = r_values(k);
```

```
    rec_zone = zeros(H, W);
```

```
    rec_thresh = zeros(H, W);
```

```
    for i = 1:blockSize:H
```

```
        for j = 1:blockSize:W
```

```
            block = img(i:i+blockSize-1, j:j+blockSize-1);
```



```

% DCT
dct_block = dct2(block);

% Μέθοδος Ζώνης
dct_z = keep_zone(dct_block, r);
rec_block_z = idct2(dct_z);

% Κανονικοποίηση στο [0, 255]
rec_block_z = min(max(rec_block_z, 0), 255);
rec_zone(i:i+blockSize-1, j:j+blockSize-1) = rec_block_z;

% Μέθοδος Κατωφλίου
dct_t = keep_thresh(dct_block, r);
rec_block_t = idct2(dct_t);
rec_block_t = min(max(rec_block_t, 0), 255);
rec_thresh(i:i+blockSize-1, j:j+blockSize-1) = rec_block_t;
end
end

% Υπολογισμός MSE
mse_zone(k) = mean((img(:) - rec_zone(:)).^2);
mse_thresh(k) = mean((img(:) - rec_thresh(:)).^2);

fprintf('r = %.2f --> MSE (Ζώνης): %.2f, MSE (Κατωφλίου): %.2f\n', ...
r, mse_zone(k), mse_thresh(k));

% Εμφάνιση εικόνων για ενδεικτικές τιμές r
if ismember(r, [0.05, 0.1, 0.25, 0.5])
    figure('Units', 'normalized', 'Position', [0.1 0.3 0.8 0.4]);
    subplot(1,3,1);
    imshow(uint8(img));
    title('Αρχική');

    subplot(1,3,2);
    imshow(uint8(rec_zone));
    title(['Κωδικοποίηση ζώνης με r = ' num2str(r*100) '%']);

    subplot(1,3,3);
    imshow(uint8(rec_thresh));
    title(['Κωδικοποίηση κατωφλίου με r = ' num2str(r*100) '%']);
end
end

figure;
plot(r_values*100, mse_zone, 'o-', 'DisplayName', 'Zone Method'); hold on;
plot(r_values*100, mse_thresh, 'x-', 'DisplayName', 'Threshold Method');
xlabel('Percentage of DCT Coefficients Kept (%)');
ylabel('Mean Squared Error (MSE)');
title('DCT Compression Performance');
legend;
grid on;

%Συναρτήσεις

% Μέθοδος Ζώνης
function dct_z = keep_zone(dct_block, r)
    N = size(dct_block, 1);

```

```

total = N * N;
keep = round(r * total);

[X, Y] = meshgrid(1:N, 1:N);

priority = X + Y + 0.001 * X;

[~, sorted_indices] = sort(priority(:), 'ascend');
mask = false(N);
mask(sorted_indices(1:keep)) = true;

dct_z = dct_block .* mask;
end

% Μέθοδος Κατωφλίου
function dct_t = keep_thresh(dct_block, r)
    total = numel(dct_block);
    keep = round(r * total);

    % Θέσεις των μεγαλύτερων σε μέγεθος συντελεστών
    [~, sorted_indices] = sort(abs(dct_block(:)), 'descend');
    mask = false(size(dct_block));
    mask(sorted_indices(1:keep)) = true;

    dct_t = dct_block .* mask;
end

```

3. Βελτίωση εικόνας - Φιλτράρισμα Θορύβου

```

clc; clear; close all;

% Φόρτωση εικόνας
load('tiger.mat');
tiger = im2double(tiger);

% Υπολογισμός θορύβου για SNR = 15 dB
signal_power = var(tiger(:));
SNR = 15;
noise_power = signal_power / (10^(SNR / 10));

%% 1. Gaussian Θόρυβος
noisy_gauss = imnoise(tiger, 'gaussian', 0, noise_power);

avg_filtered = imfilter(noisy_gauss, fspecial('average', [3 3]));
median_filtered = medfilt2(noisy_gauss, [3 3]);

figure('Name', 'Gaussian Θόρυβος');
subplot(1,3,1); imshow(noisy_gauss); title('Gaussian Noise (15dB)');
subplot(1,3,2); imshow(avg_filtered); title('Με φίλτρο μέσου');
subplot(1,3,3); imshow(median_filtered); title('Με φίλτρο διαμέσου');

%% 2. Κρουστικός Θόρυβος (20%)
noisy_sp = imnoise(tiger, 'salt & pepper', 0.2);

avg_filtered_sp = imfilter(noisy_sp, fspecial('average', [3 3]));
median_filtered_sp = medfilt2(noisy_sp, [3 3]);

figure('Name', 'Κρουστικός Θόρυβος');

```

```

subplot(1,3,1); imshow(noisy_sp); title('Salt & Pepper 20%');
subplot(1,3,2); imshow(avg_filtered_sp); title('Με φίλτρο μέσου');
subplot(1,3,3); imshow(median_filtered_sp); title('Με φίλτρο διαμέσου');

%% 3. Συνδυασμένος Θόρυβος
combo_noise = imnoise(tiger, 'gaussian', 0, noise_power);
combo_noise = imnoise(combo_noise, 'salt & pepper', 0.2);

% Δοκιμή δύο σειρών φιλτραρίσματος
median_then_avg = imfilter(medfilt2(combo_noise, [3 3]), fspecial('average', [3 3]));
avg_then_median = medfilt2(imfilter(combo_noise, fspecial('average', [3 3])), [3 3]);

figure('Name', 'Συνδυασμένος Θόρυβος');
subplot(2,2,1); imshow(combo_noise); title('Gaussian + Salt & Pepper');
subplot(2,2,2); imshow(median_then_avg); title('1. Median → Μέσος');
subplot(2,2,3); imshow(avg_then_median); title('2. Μέσος → Median');
subplot(2,2,4); imshow(tiger); title('Αρχική εικόνα');

```

4. Βελτίωση Εικόνας – Εξίσωση Ιστογράμματος

```

clc; clear; close all;
images = {'dark_road_1.jpg', 'dark_road_2.jpg', 'dark_road_3.jpg'};

windowSize = [8 8]; % 8x8 πλακίδια
clipLimit = 0.01; % Όριο περικοπής

for i = 1:length(images)

    I = imread(images{i});

    % Μετατροπή σε grayscale
    try
        I_gray = im2gray(I);
    catch
        if size(I, 3) == 3
            I_gray = rgb2gray(I);
        else
            I_gray = I;
        end
    end

    % 1. Αρχική Εικόνα και Ιστόγραμμα
    figure('Name', ['Αρχική εικόνα και ιστόγραμμα - ', images{i}]);
    subplot(1,2,1); imshow(I_gray); title(['Αρχική εικόνα - ', images{i}]);
    subplot(1,2,2); imhist(I_gray); title('Ιστόγραμμα αρχικής');

    % 2. Ολική Εξίσωση Ιστογράμματος
    I_eq = histeq(I_gray);

    %3. Τοπική Εξίσωση Ιστογράμματος
    I_adapt = adapthisteq(I_gray, 'NumTiles', windowSize, 'ClipLimit', clipLimit);

    % Αποτελέσματα για σύγκριση
    figure('Name', ['Σύγκριση Εξίσωσης Ιστογράμματος - ', images{i}]);

    subplot(3,2,1); imshow(I_gray); title('1. Αρχική Εικόνα');
    subplot(3,2,2); imhist(I_gray); title('Ιστόγραμμα Αρχικής');

```

```

subplot(3,2,3); imshow(I_eq); title('2. Ολική Εξίσωση');
subplot(3,2,4); imhist(I_eq); title('Ιστόγραμμα Ολικής');

subplot(3,2,5); imshow(I_adapt); title('3. Τοπική Εξίσωση (CLAHE)');
subplot(3,2,6); imhist(I_adapt); title('Ιστόγραμμα Τοπικής (CLAHE)');

```

```
end
```

5. Αποκατάσταση Εικόνας – Αποσυνέλιξη

ΜΕΡΟΣ Α

```

clear;
close all;

I = im2double(imread('new_york.png'));

% Υπολογισμός ισχύος σήματος
signal_power = var(I(:));

% Υπολογισμός ισχύος θορύβου για SNR = 10dB
snr_db = 10;
snr_linear = 10^(snr_db/10);
noise_power = signal_power / snr_linear;

% Δημιουργία λευκού θορύβου Gauss
noise = sqrt(noise_power) * randn(size(I));

% Εικόνα με θόρυβο
I_noisy = I + noise;

% Προβολή της εικόνας με θόρυβο σε μικρότερο παράθυρο
figure('Position', [100, 100, 400, 300]);
imshow(I_noisy);
title('Εικόνα με Gauss θόρυβο (SNR = 10dB)');

% Wiener φίλτρο με γνώση της ισχύος του θορύβου
I_wiener_known = wiener2(I_noisy, [5 5], noise_power);

figure('Position', [100, 100, 250, 200]);
imshow(I_wiener_known);
title('Αποκατάσταση με Wiener (γνωστή ισχύς θορύβου)');

% Wiener φίλτρο χωρίς γνώση της ισχύος του θορύβου
I_wiener_unknown = wiener2(I_noisy, [5 5]);

figure('Position', [100, 100, 250, 200]);
imshow(I_wiener_unknown);
title('Αποκατάσταση με Wiener (χωρίς γνώση θορύβου)');

% Υπολογισμός PSNR για σύγκριση
psnr_noisy = psnr(I_noisy, I);
psnr_known = psnr(I_wiener_known, I);
psnr_unknown = psnr(I_wiener_unknown, I);

fprintf('PSNR εικόνας με θόρυβο: %.2f dB\n', psnr_noisy);
fprintf('PSNR αποκατάστασης (γνωστή ισχύς): %.2f dB\n', psnr_known);

```

```
fprintf('PSNR αποκατάστασης (άγνωστη ισχύς): %.2f dB\n', psnr_unknown);
```

ΜΕΡΟΣ Β

```
clear;
close all;

% Φόρτωση της αρχικής εικόνας
I = im2double(imread('new_york.png'));

psf = @(x) imfilter(x, fspecial('gaussian', 21, 3), 'circular');

% Θόλωση της εικόνας
Y = psf(I);

% Εκτίμηση της PSF μέσω απόκρισης
impulse = zeros(size(I));
impulse(round(end/2), round(end/2)) = 1;
psf_kernel = psf(impulse);

% Οπτικοποίηση της εκτιμημένης PSF
figure; imshow(mat2gray(psf_kernel)); title('Εκτιμημένη PSF');

% Υπολογισμός της FFT της εκτιμημένης PSF
H = fft2(psf_kernel);
figure; imagesc(log(abs(fftshift(H)) + 1)); colormap gray;
title('Log-Magnitude του H');

% FFT της θολωμένης εικόνας
Y_fft = fft2(Y);

% Εύρος κατωφλίων για δοκιμή
taus = [0, 0.001, 0.01, 0.05, 0.1];

% Αποθήκευση MSE για κάθε κατώφλι
mse_values = zeros(size(taus));

% απεικόνιση αποκατεστημένων εικόνων
figure;
for i = 1:length(taus)
    tau = taus(i);

    % Δημιουργία φίλτρου με κατώφλι
    H_abs = abs(H);
    H_inv = zeros(size(H));
    H_inv(H_abs > tau) = 1 ./ H(H_abs > tau); % μόνο αν ξεπερνάει το κατώφλι

    % Εφαρμογή αντίστροφου φίλτρου
    X_hat_fft = Y_fft .* H_inv;
    X_hat = real(ifft2(X_hat_fft));

    % Υπολογισμός MSE
    mse_values(i) = immse(X_hat, I);

    % Εμφάνιση εικόνας
    subplot(2, ceil(length(taus)/2), i);
    imshow(X_hat, []);
    title(['\tau = ' num2str(tau) ', MSE = ' num2str(mse_values(i), '%.4f')]);
end
```

```

% Διάγραμμα MSE σε συνάρτηση με το κατώφλι
figure;
plot(taus, mse_values, '-o', 'LineWidth', 2);
xlabel('Κατώφλι \tau');
ylabel('MSE');
title('Σφάλμα σε συνάρτηση του κατωφλίου');
grid on;

%Υπολογισμός και εμφάνιση PSNR για το καλύτερο κατώφλι
[~, best_idx] = min(mse_values);
best_tau = taus(best_idx);
fprintf('Βέλτιστο κατώφλι:  $\tau = %.4f$  με MSE =  $%.4f$ \n', best_tau, mse_values(best_idx));

% υπολογισμός PSNR
H_inv_best = zeros(size(H));
H_inv_best(abs(H) > best_tau) = 1 ./ H(abs(H) > best_tau);
X_hat_best = real(ifft2(Y_fft .* H_inv_best));
psnr_val = psnr(X_hat_best, I);
fprintf('PSNR της αποκατεστημένης εικόνας:  $%.2f$  dB\n', psnr_val);

```

6. Ανίχνευση Ακμών

```

img = imread('hallway.png');

% Αν RGB μετατροπή σε grayscale
if size(img, 3) == 3
    gray = im2gray(img);
else
    gray = img;
end

% 1. Ανίχνευση ακμών με Sobel
sobel_x = fspecial('sobel');
sobel_y = sobel_x';

grad_x = imfilter(double(gray), sobel_x, 'replicate');
grad_y = imfilter(double(gray), sobel_y, 'replicate');
gradient_magnitude = sqrt(grad_x.^2 + grad_y.^2);

% Εμφάνιση αποτελέσματος Sobel
figure, imshow(uint8(gradient_magnitude)), title('Sobel Magnitude');

% 2. Ολική κατωφλίωση
threshold = 0.25 * max(gradient_magnitude(:));
binary_edges = gradient_magnitude > threshold;

figure, imshow(binary_edges), title(['Κατωφλίωση με  $T =$ ', num2str(threshold)]);

% 3.Μετασχηματισμός Hough
[H, theta, rho] = hough(binary_edges);
peaks = houghpeaks(H, 10, 'threshold', ceil(0.3 * max(H(:))));
lines = houghlines(binary_edges, theta, rho, peaks, 'FillGap', 10, 'MinLength', 30);

% Εμφάνιση ευθύγραμμων τμημάτων στην αρχική εικόνα
figure, imshow(img), title('Ευθύγραμμα τμήματα (Hough)'), hold on
for k = 1:length(lines)
    xy = [lines(k).point1; lines(k).point2];

```



```
    plot(xy(:,1), xy(:,2), 'LineWidth', 2, 'Color', 'cyan');  
end
```