

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας
(8ο ΕΞΑΜΗΝΟ)

-2^η Εργασία-

Σχεδίαση Φίλτρων

Όνοματεπώνυμο: Ματσούκας Βασίλειος

AEM: 8743

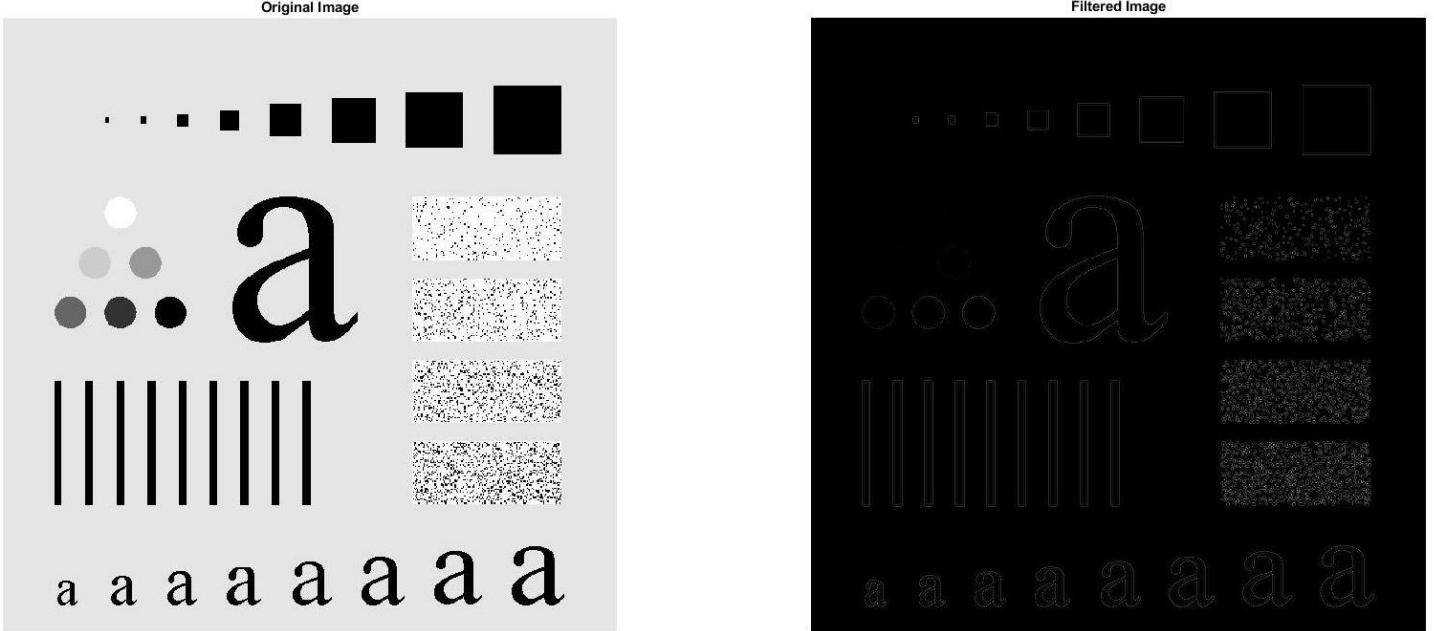
Email: vmatsouk@auth.gr

Παρουσίαση αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων ανά ενότητα

Ενότητα 1

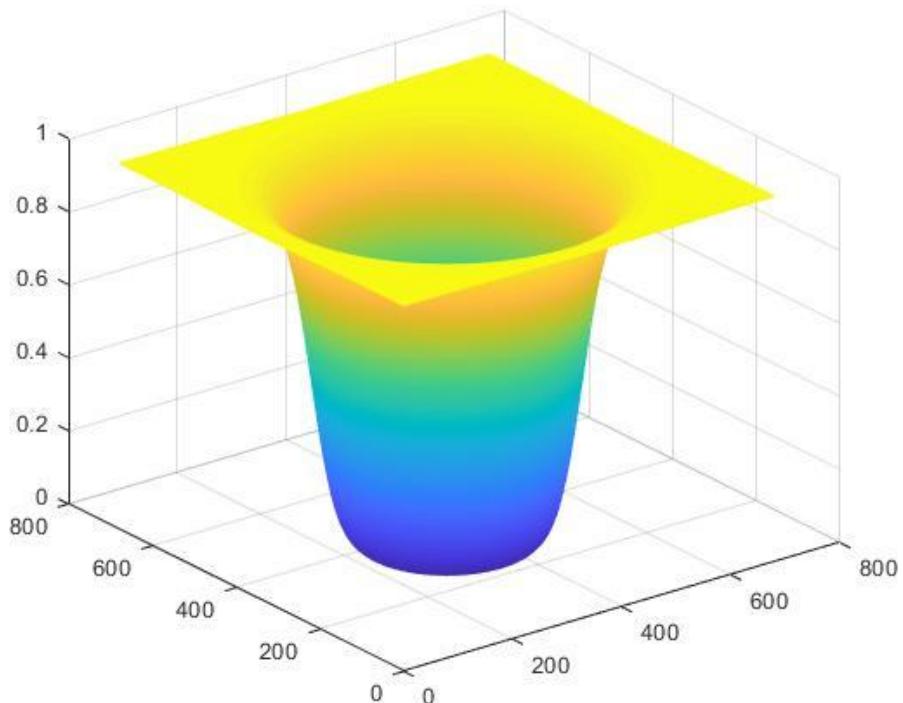
Στην ενότητα 1 υλοποιείται η myFiltFreq() για φίλτραρισμα στο πεδίο της συχνότητας. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής. Αρχικά η εικόνα εισόδου, στο πεδίο του χώρου, πολλαπλασιάζεται στοιχείο-στοιχείο με την $(-1)^{n_1+n_2}$ η οποία παράγεται από την myCheckerboard(). Με το βήμα αυτό αναδιατάσσουμε την δομή της εικόνας στο πεδίο της συχνότητας και επιτυγχάνουμε να συγκεντρώσουμε τις χαμηλές συχνότητες γύρω από το κέντρο του πίνακα, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο πάμε σε πιο υψηλές συχνότητες. Το κέντρο του πίνακα της εικόνας στο πεδίο της συχνότητας πλέον αντιπροσωπεύει την DC συνιστώσα. Ο λόγος που κάνουμε αυτό το μετασχηματισμό είναι διότι τα φίλτρα που σχεδιάζουμε στη συχνότητα έχουν αυτή τη δομή. Έχοντας την αναδιατεταγμένη εικόνα στο πεδίο της συχνότητας εφαρμόζουμε το φίλτρο, πολλαπλασιάζοντας τους 2 πίνακες στοιχείο προς στοιχείο. Στα πλαίσια της εργασίας το φίλτρο και η εικόνα έχουν απαραίτητα ίδιο μέγεθος και είναι τετράγωνα ($M \times M$). Έχοντας εφαρμόσει το φίλτρο, επιστρέφουμε την εικόνα στο πεδίο του χώρου και την πολλαπλασιάζουμε εκ νέου με την $(-1)^{n_1+n_2}$ στοιχείο-στοιχείο για να πάρουμε την σωστή εικόνα.

Εκτελώντας την `imOut = myFiltFreq(demo1Im, someFreqFilt)` παίρνουμε το εξής αποτέλεσμα:



Εικόνα 1.1 Εφαρμογή του φίλτρου *someFreqFilt* στην *demo1Im*

Στην φιλτραρισμένη εικόνα φαίνονται να έχουν «επιβιώσει» οι έντονες μεταβολές στην φωτεινότητα της grayscale εικόνας, άρα το φίλτρο είναι υψηπερατό. Επίσης δεν φαίνεται να ευνοούνται οι μεταβολές σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση περισσότερο από άλλες, ή να καταστέλλονται κάποιες, οπότε είναι και πανκατευθυντικό. Εκτελώντας την *mesh(someFreqFilt)* επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα. Το φίλτρο φαίνεται να είναι τύπου Butterworth.



Εικόνα 1.2 Το φίλτρο *someFreqFilt*

Ενότητα 2

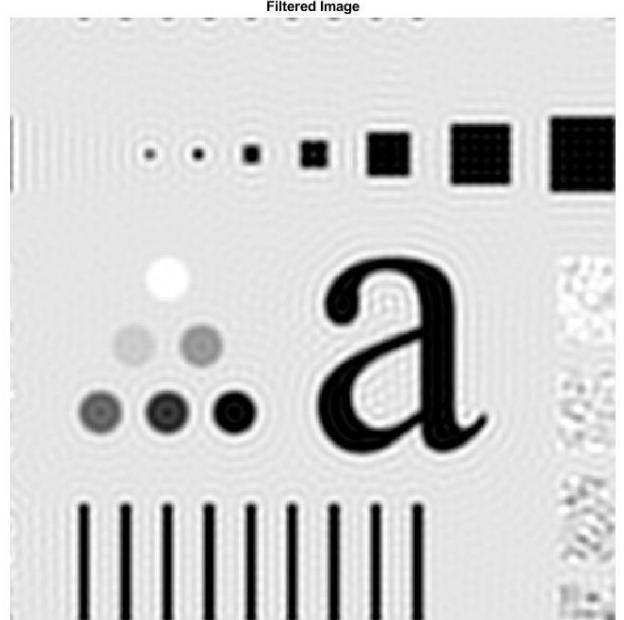
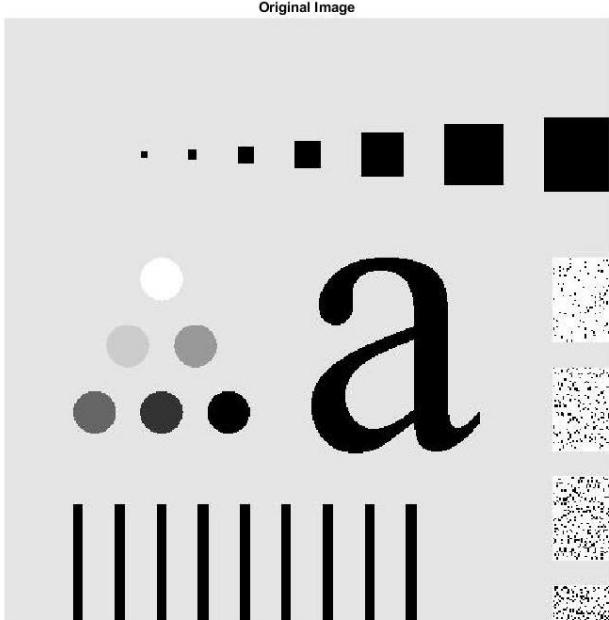
Στην 2η ενότητα κατασκευάζονται τα ζητούμενα βαθυπερατά, ζωνοπερατά και υψηπερατά φίλτρα. Τα βαθυπερατά Ideal, Butterworth και Gauss σχεδιάζονται σύμφωνα με τους τύπους της διάλεξης 7 λαμβάνοντας ως κέντρο το $(M/2+1, M/2+1)$ στην περίπτωση άρτιου M όπου M η διάσταση του τετράγωνου φίλτρου. Για περιττό M δεν εντοπίζεται διακριτό κέντρο άλλα τα σημεία τηρούν συμμετρία. Για να προκύψουν τα ζητούμενα ζωνοπερατά κατασκευάζουμε ένα ίδιου είδους βαθυπερατό με τη μεγάλη συχνότητα αποκοπής και αφαιρούμε από αυτό ένα βαθυπερατό με τη χαμηλή συχνότητα αποκοπής. Για τα υψηπερατά χρησιμοποιούμε τα συμπληρωματικά των βαθυπερατών, δηλαδή $H_{high} = 1 - H_{low}$. Η σωστή επιλογή του κέντρου και η τήρηση των συμμετριών του φίλτρου έχει μεγάλη σημασία καθώς σε διαφορετική περίπτωση η εικόνα στο πεδίο του χώρου θα βγει μιγαδική. Στην εργασία μετά από εξοικείωση και με το εισαγωγικό κομμάτι, επαληθεύτηκε ότι η παραπάνω επιλογή δίνει σωστά αποτελέσματα.

Κατά τη σχεδίαση του ζωνοπερατού Gauss, η συνάρτηση `myBandPassGauss()` επιστρέφει το παραγόμενο φίλτρο αφού διαιρέσει με το μέγιστο στοιχείο του φίλτρου, για να το κανονικοποιήσει. Χωρίς την αλλαγή αυτή, η μορφή του ήταν σωστή αλλά το πλάτος των συντελεστών ελαφρώς εξασθενημένο και δεν ευνοούσε τη σύγκριση των εικόνων με τα υπόλοιπα ζωνοπερατά.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ζητούμενα αποτελέσματα από το `demo2.m` :

- ❖ Κατηγορία Χαμηλοπερατών (Low Pass)

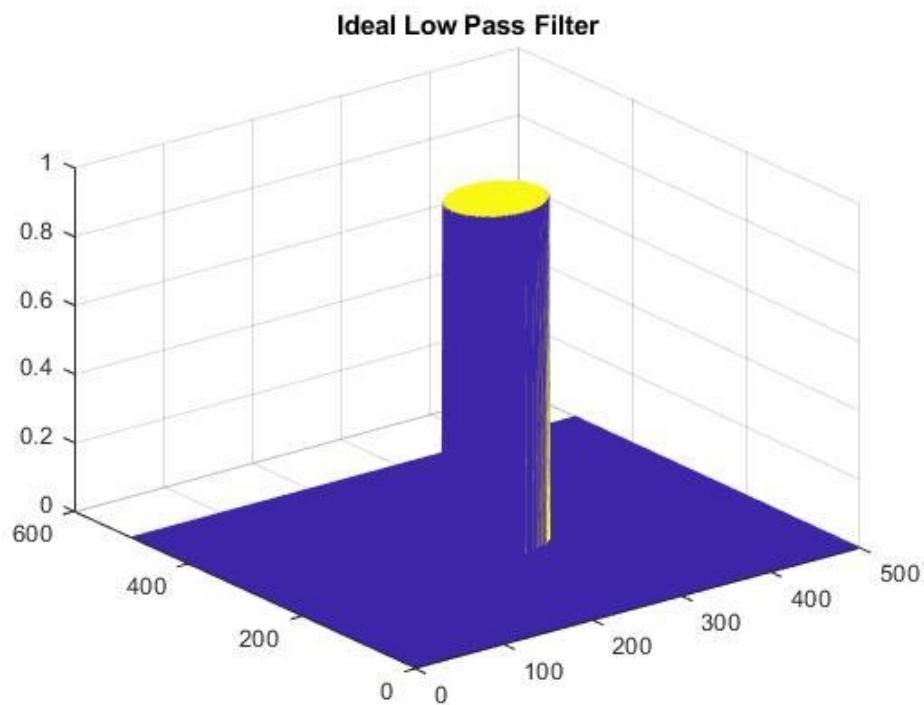
Εδώ παρατηρούμε ότι τα φίλτρα θολώνουν λίγο την εικόνα καθώς δεν αφήνουν να περάσουν οι πολύ έντονες μεταβάσεις(υψηλές συχνότητες), δηλαδή οι ακμές που θα την έκαναν πιο «sharp». Επίσης η δομή της ζώνης μετάβασης του φίλτρου έχει εμφανή επίδραση. Το ιδανικό φίλτρο δημιουργεί ripples στην εικόνα λόγω της απότομης μετάβασης από τη ζώνη διέλευσης στη ζώνη αποκοπής. Τα Butterworth και Gauss αποτρέπουν αυτό το φαινόμενο λόγω της ομαλότητας στη μετάβαση. Το καλύτερο αποτέλεσμα φαίνεται να δίνει το Gauss που έχει την πιο ομαλή μετάβαση όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9



Εικόνα 2.1 Εφαρμογή ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



Εικόνα 2.2 Εφαρμογή ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



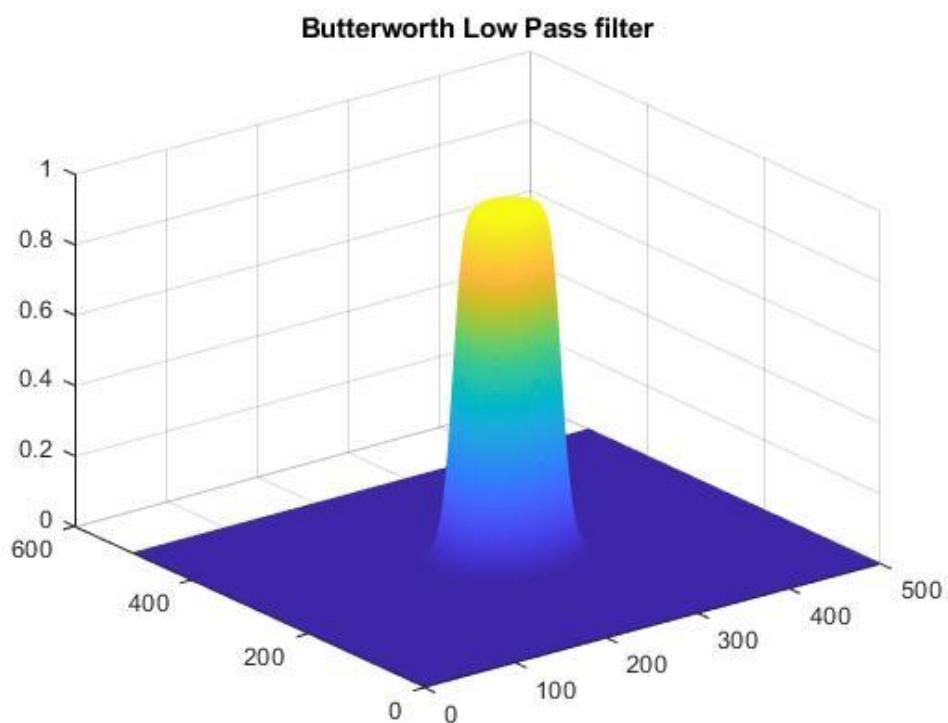
Εικόνα 2.3 Το ιδανικό χαμηλοπερατό φίλτρο που εφαρμόστηκε. $D_0=50$



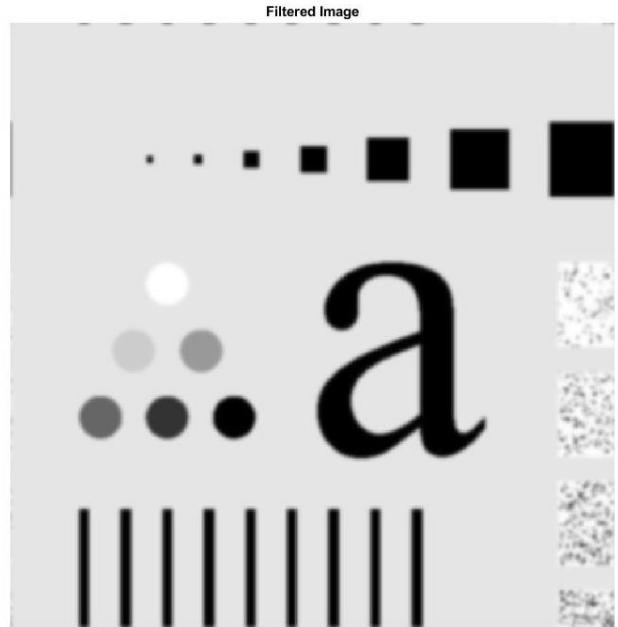
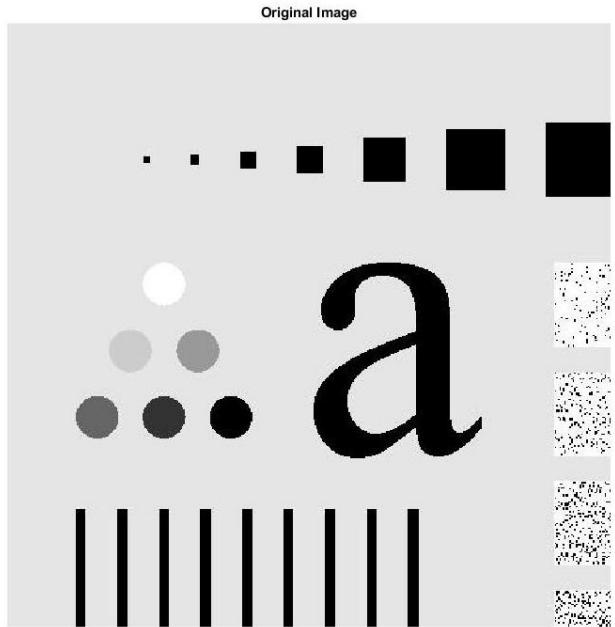
Εικόνα 2.4 Εφαρμογή χαμηλοπερατού φίλτρου Butterworth στην `demo2Im1`



Εικόνα 2.5 Εφαρμογή χαμηλοπερατού φίλτρου Butterworth στην *demo2Im2*



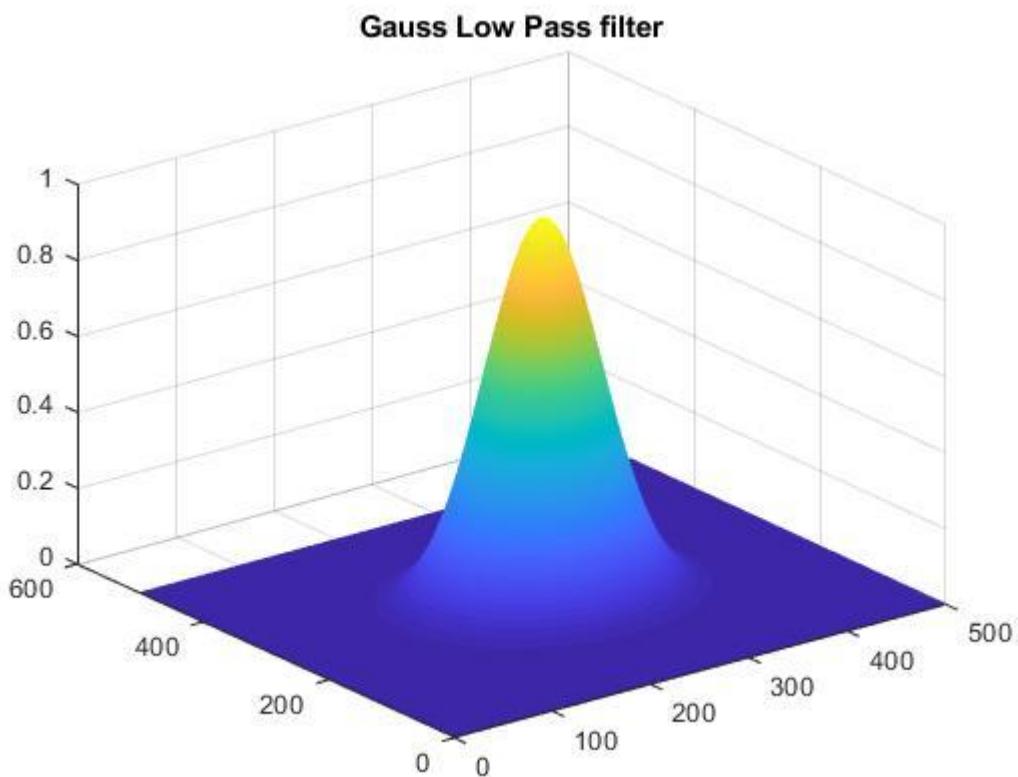
Εικόνα 2.6 Το χαμηλοπερατό φίλτρο Butterworth που εφαρμόστηκε. $D_0=50$



Εικόνα 2.7 Εφαρμογή χαμηλοπερατού φίλτρου *Gauss* στην *demo2Im1*



Εικόνα 2.8 Εφαρμογή χαμηλοπερατού φίλτρου *Gauss* στην *demo2Im2*



Εικόνα 2.9 Το χαμηλοπερατό φίλτρο Gauss που εφαρμόστηκε. $D_0=50$

❖ Κατηγορία Υψηπερατών (High Pass)

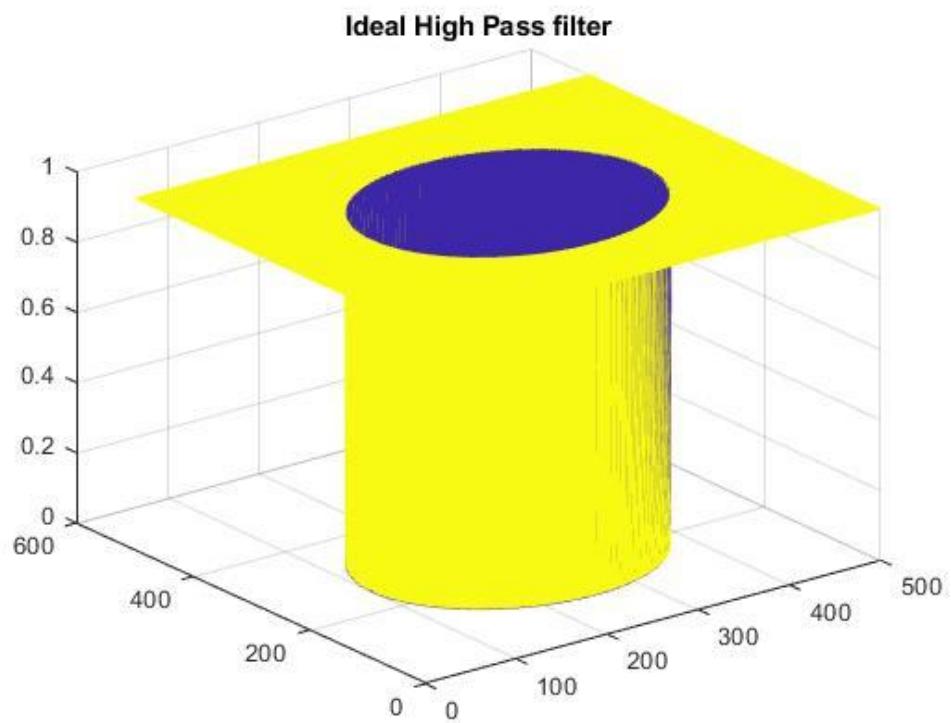
Εδώ παρατηρούμε ότι τα φίλτρα επιτυγχάνουν το αντίθετο αποτέλεσμα σε σχέση με τα χαμηλοπερατά. Ανιχνεύουν τις πολύ έντονες μεταβάσεις(υψηλές συχνότητες), δηλαδή τις ακμές τις εικόνες ενώ δεν επιβιώνουν τμήματα που ζουν σε ομαλές περιοχές φωτεινότητας. Και εδώ επίσης η δομή της ζώνης μετάβασης του φίλτρου έχει εμφανή επίδραση. Το ιδανικό φίλτρο δημιουργεί κάποιες κυματώσεις στην εικόνα λόγω της απότομης μετάβασης από τη ζώνη διέλευσης στη ζώνη αποκοπής. Τα Butterworth και Gauss καταπολεμούν αυτό το φαινόμενο λόγω των ομοιόμορφων μεταβάσεων. Ξανά, το καλύτερο αποτέλεσμα φαίνεται να δίνει το Gauss ως προς τις κυματώσεις που εμφανίζονται καθώς έχει την πιο ομαλή μετάβαση από τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται όπως φαίνεται στις εικόνες 2.12, 2.15, 2.18. Η εικόνα demo2Im2 φαίνεται να μην έχει τόσο υψηλές συχνότητες για αυτό και επιβιώνει ελάχιστη πληροφορία για συχνότητα αποκοπής $D_0=150$.



Εικόνα 2.10 Εφαρμογή ιδανικού υψηπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



Εικόνα 2.11 Εφαρμογή ιδανικού υψηπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



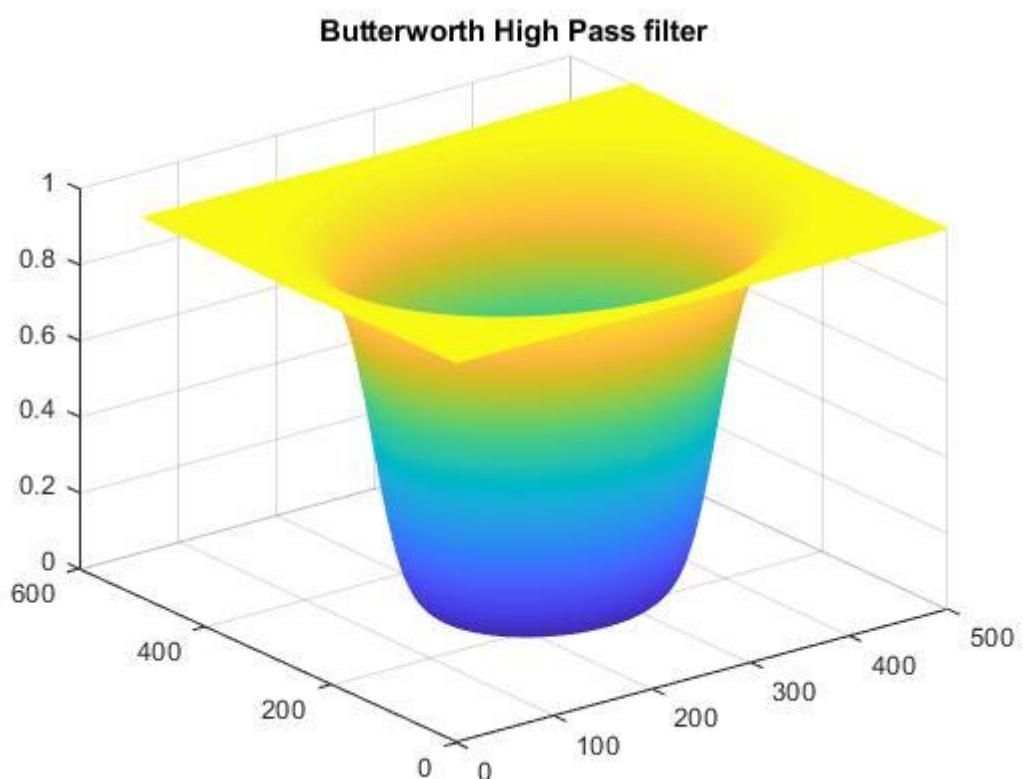
Εικόνα 2.12 Το ιδανικό υψηπερατό φίλτρο που εφαρμόστηκε. $D_0=150$



Εικόνα 2.13 Εφαρμογή υψηπερατού φίλτρου Butterworth στην demo2Im1



Εικόνα 2.14 Εφαρμογή υψηπερατού φίλτρου Butterworth στην *demo2Im2*



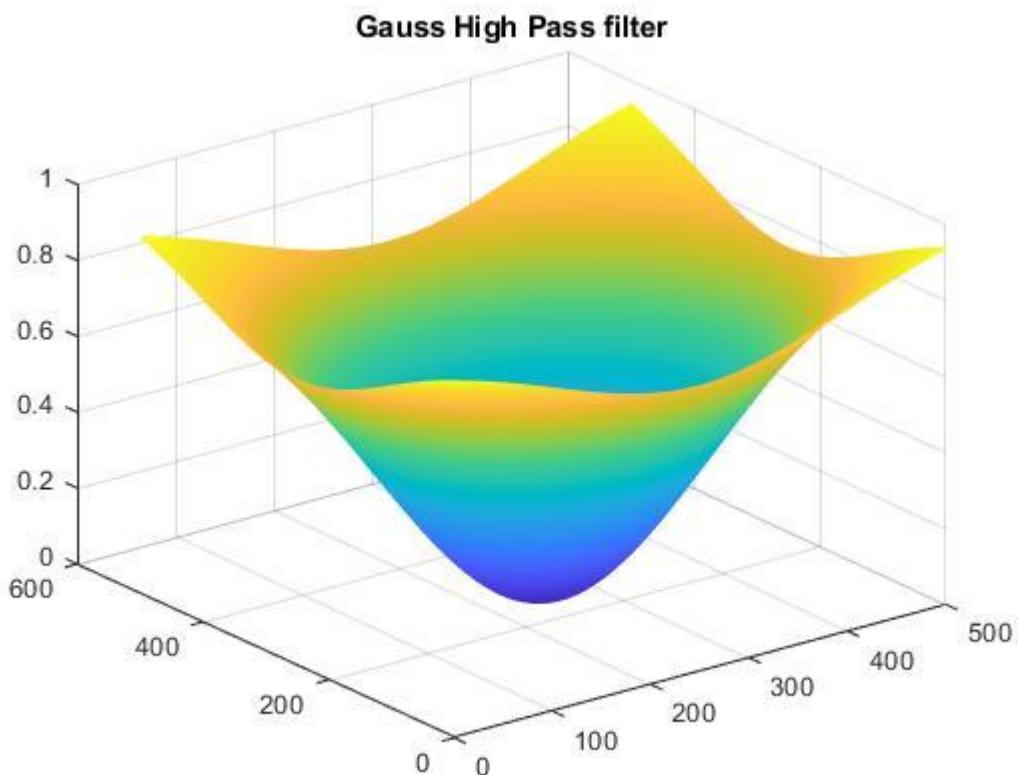
Εικόνα 2.15 Το υψηπερατό φίλτρο Butterworth που εφαρμόστηκε. $D_0=150$



Εικόνα 2.16 Εφαρμογή υψηπερατού φίλτρου *Gauss* στην *demo2Im1*



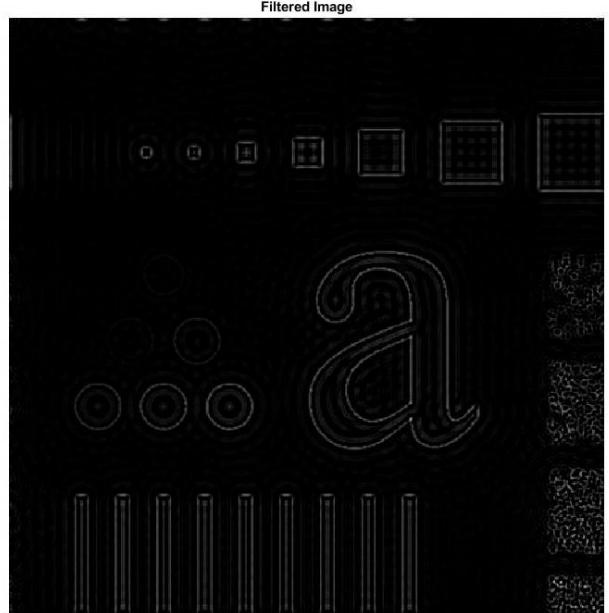
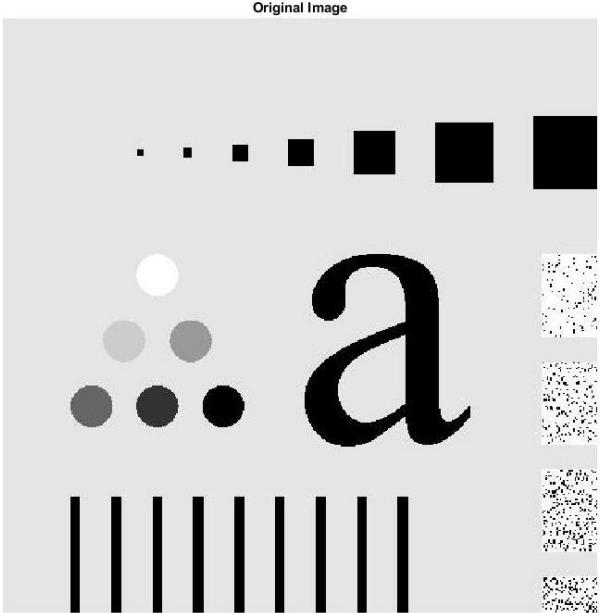
Εικόνα 2.17 Εφαρμογή υψηπερατού φίλτρου *Gauss* στην *demo2Im2*



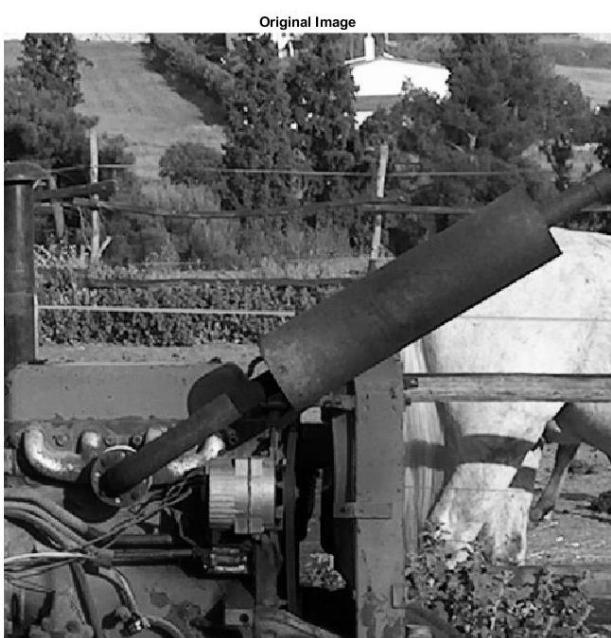
Εικόνα 2.18 Το υψηπερατό φίλτρο Gauss που εφαρμόστηκε. $D_0=150$

❖ Κατηγορία Ζωνοπερατών (Band Pass)

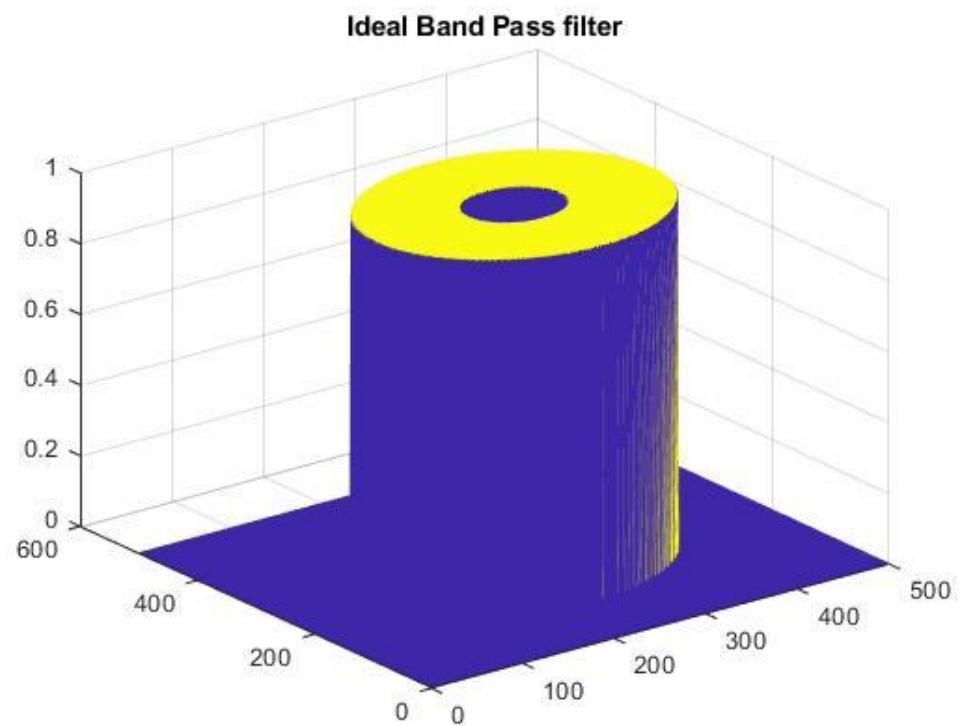
Εδώ τα φίλτρα εκτείνονται σε μια ζώνη συχνοτήτων και αποκόπτουν χαμηλές συχνότητες δηλαδή δεν ανιχνεύουν τις πολύ ομαλές περιοχές φωτεινότητας ενώ ανιχνεύουν και έντονες μεταβάσεις(υψηλές συχνότητες) έως κάποιο βαθμό. Στην φιλτραρισμένη demo2Im1 φαίνεται ότι τονίζονται οι ακμές όπως και στα υψηπερατά σχεδόν, ενώ έχουν και περιεχόμενο από τις λίγο πιο ομαλές περιοχές της εικόνας. Στη demo2Im2 τονίζονται κάποιες ακμές καλύτερα από ότι στα υψηπερατά καθώς φαίνεται οι συχνότητες του φίλτρου να είναι πιο αντιπροσωπευτικές. Όπως σημειώθηκε και στις άλλες κατηγορίες το ιδανικό φίλτρο δημιουργεί κάποιες κυματώσεις στην εικόνα ενώ τα Butterworth και Gauss φιλτράρουν πιο αποδοτικά την εικόνα, με το Gauss να δίνει το πιο «καθαρό» αποτέλεσμα ως προς τις κυματώσεις.



Εικόνα 2.19 Εφαρμογή ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



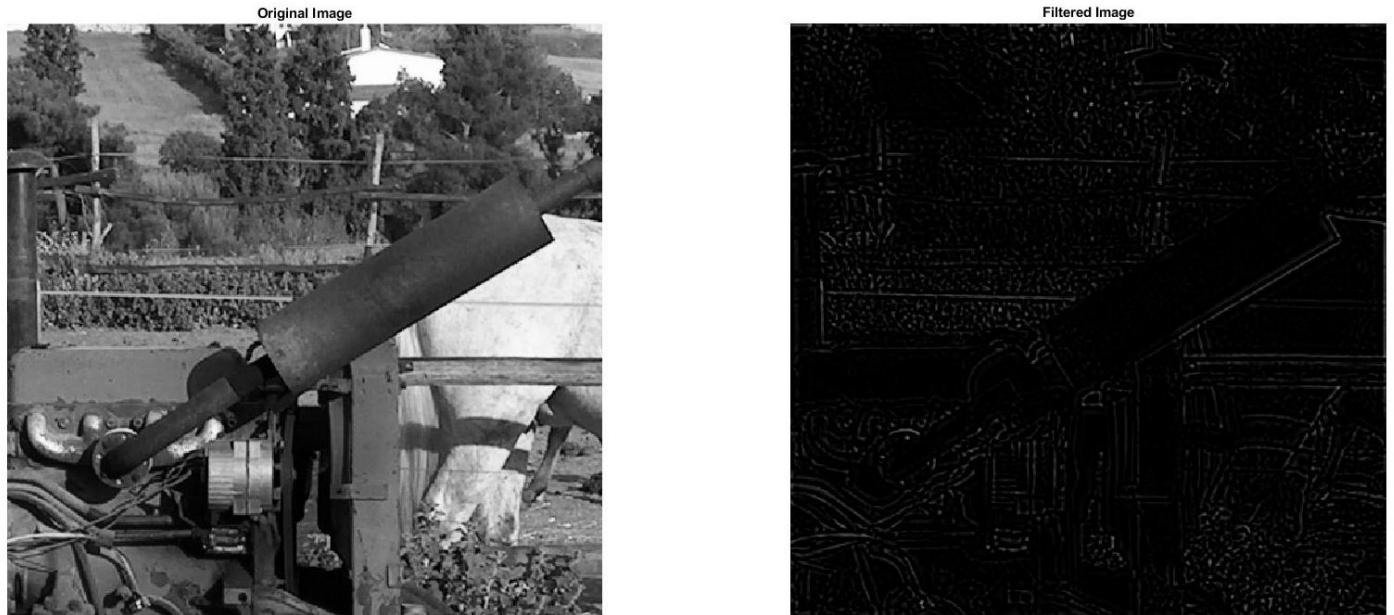
Εικόνα 2.20 Εφαρμογή ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



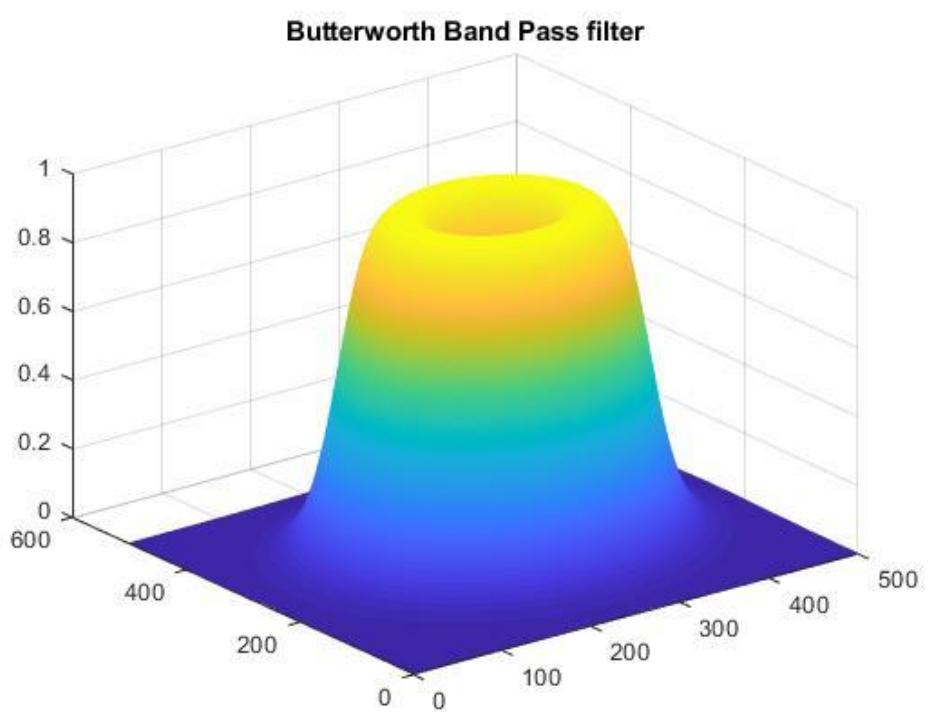
Εικόνα 2.21 Το ιδανικό ζωνοπερατό φίλτρο που εφαρμόστηκε. $D_{OLOW}=50$ $D_{OHIGH}=150$



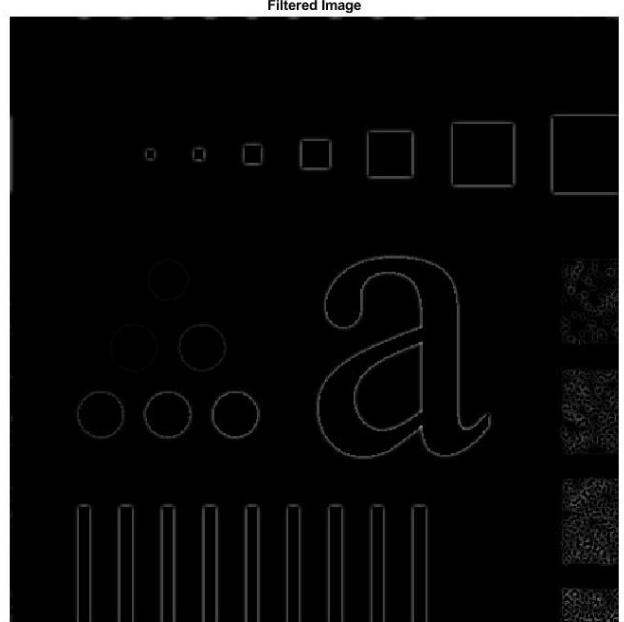
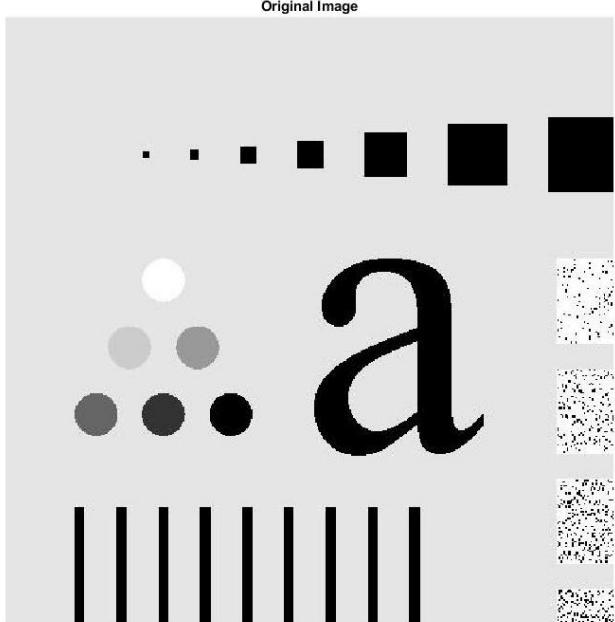
Εικόνα 2.23 Εφαρμογή ζωνοπερατού φίλτρου Butterworth στην demo2Im1



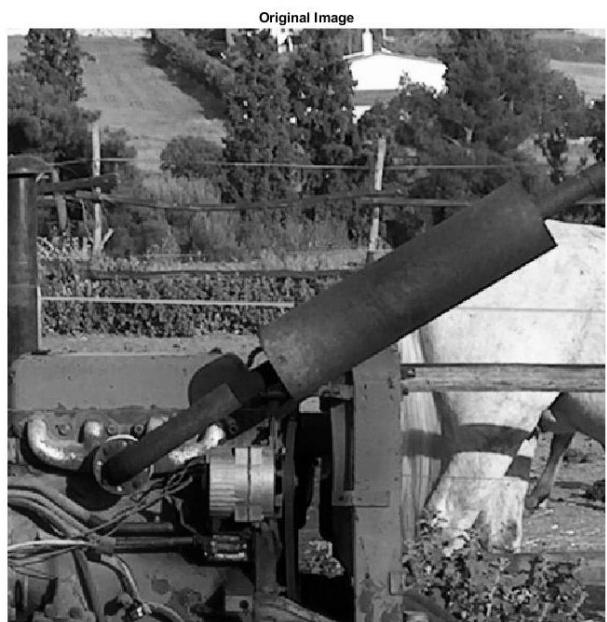
Εικόνα 2.22 Εφαρμογή ζωνοπερατού φίλτρου Butterworth στην *demo2Im2*



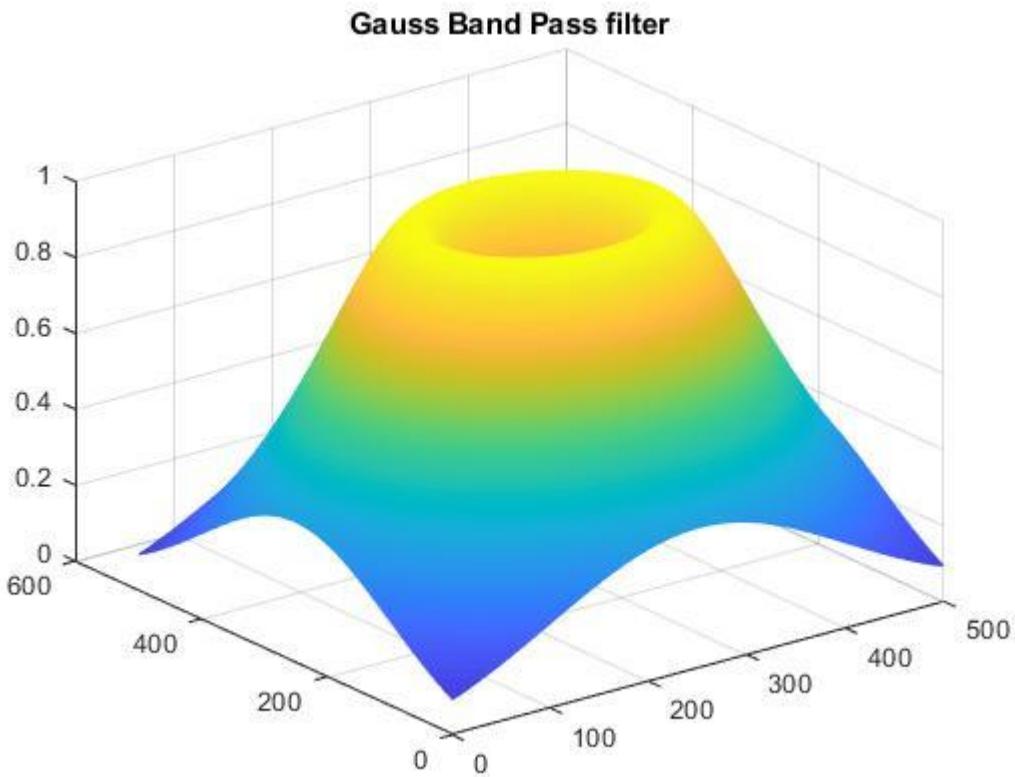
Εικόνα 2.24 Το ζωνοπερατό φίλτρο Butterworth που εφαρμόστηκε. $D_{0LOW}=50$ $D_{0HIGH}=150$



Εικόνα 2.25 Εφαρμογή ζωνοπερατού φίλτρου Gauss στην *demo2Im1*



Εικόνα 2.26 Εφαρμογή ζωνοπερατού φίλτρου Gauss στην *demo2Im2*



Εικόνα 2.27 Το ζωνοπερατό φίλτρο Gauss που εφαρμόστηκε. $D_{0LOW}=50$ $D_{0HIGH}=150$

Ενότητα 3

Σε αυτή την ενότητα σχεδιάζονται χαμηλοπερατά, υψηπερατά και ζωνοπερατά κατευθυντικά φίλτρα τύπου Ideal, Butterworth, Gauss τα οποία υλοποιούνται στα myLowPassIdealDir.m, myLowPassButterworthDir.m, myLowPassGaussDir.m, myHighPassIdealDir.m, myHighPassButterworthDir.m, myHighPassGaussDir.m, myBandPassIdealDir.m, myBandPassButterworthDir.m, myBandPassGaussDir.m

Οι απαιτήσεις σε αυτή την ενότητα είναι τα κατευθυντικά φίλτρα να παρουσιάζουν ομαλότητα στην κατεύθυνση της «γραμμής με γωνία θ» (για ομαλότητα στα πλαϊνά βλ. ενότητα 4). Επίσης απαιτείται τα επιμέρους κατευθυντικά, αθροιζόμενα, να ταυτίζονται με το αρχικό αντίστοιχο φίλτρο.

Η ιδέα για την υλοποίηση των φίλτρων αυτών είναι να υλοποιηθεί μια κατάλληλη μάσκα (ένα «παπιγιόν») η οποία θα πολλαπλασιάζεται στοιχείο-στοιχείο με το αντίστοιχο πανκατευθυντικό φίλτρο για να δημιουργήσει το κατευθυντικό φίλτρο. Αυτή η μάσκα θέλουμε να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διέλευση του κομματιού που ορίζουν οι παράμετροι theta, phi και να είναι τέτοια ώστε κατά την άθροιση των επιμέρους κατευθυντικών να δημιουργεί σωστά το αρχικό φίλτρο.

Για τη δημιουργία αυτής της μάσκας έχουν δημιουργηθεί 3 βοηθητικές συναρτήσεις οι : myLine2mat.m, myFillMat.m, myDirMask.m. Η myLine2mat() χρησιμοποιείται για να χαράξει μια γραμμή γωνίας theta σε έναν τετράγωνο πίνακα MxM. Η γραμμή αποτυπώνεται με άσσους στον πίνακα. Ανάλογα με το είδος της γωνίας που ζητείται χρησιμοποιεί κατάλληλο flip (ή flips) για να παράγει το σωστό αποτέλεσμα. Δέχεται οποιαδήποτε γωνία ως όρισμα (σε μοίρες) και με την εντολή mod την ανάγει σε διάστημα [0,360]. Η myFillMat() δέχεται ως όρισμα έναν πίνακα που έχει δημιουργηθεί από την myLine2mat() και γεμίζει τον πίνακα με άσσους κάτω από την περιοχή της γραμμής. Επίσης δέχεται και την γωνία της γραμμής για να μπορεί να εκμεταλλευτεί και αυτή κατάλληλα flips για την παραγωγή ορθού αποτελέσματος. Η myDirMask είναι υπεύθυνη για την κατασκευή του «παπιγιόν» η οποία δέχεται ως ορίσματα τα theta, phi και το μέγεθος του πίνακα, N. Καλεί την myLine2mat() για να παράξει 2 πίνακες με

γραμμές γωνίας $\theta - \phi/2$ και $\theta + \phi/2$ αντίστοιχα. Η `myFillMat` πάρνει αυτούς τους πίνακες και επιστρέφει νέους, με άσσους κάτω από τις γραμμές. Οι 2 πίνακες προστίθενται και το επικαλυπτόμενο κομμάτι, που έχει τιμή 2, απορρίπτεται και αντικαθίσταται με μηδενικά. Έτσι έχουμε μια πρώτη μορφή του παπιγιόν. Στη συνέχεια ελέγχεται αν οι γραμμές των αρχικών πινάκων υπάρχουν και στο παπιγιόν (σε περίπτωση που κάποιο στοιχείο ξέψυγε). Έπειτα στις ακμές του «παπιγιόν» τοποθετούνται τιμές 0.5 αντί για 1 έτσι ώστε να μπορεί να «κουμπώνει» όταν αθροίζεται με άλλα παπιγιόν. Τέλος γίνεται ένας έλεγχος για το αν υπάρχει στοιχείο μεγαλύτερο της μονάδας στον πίνακα και αν υπάρχει αντικαθίσταται με μονάδα.

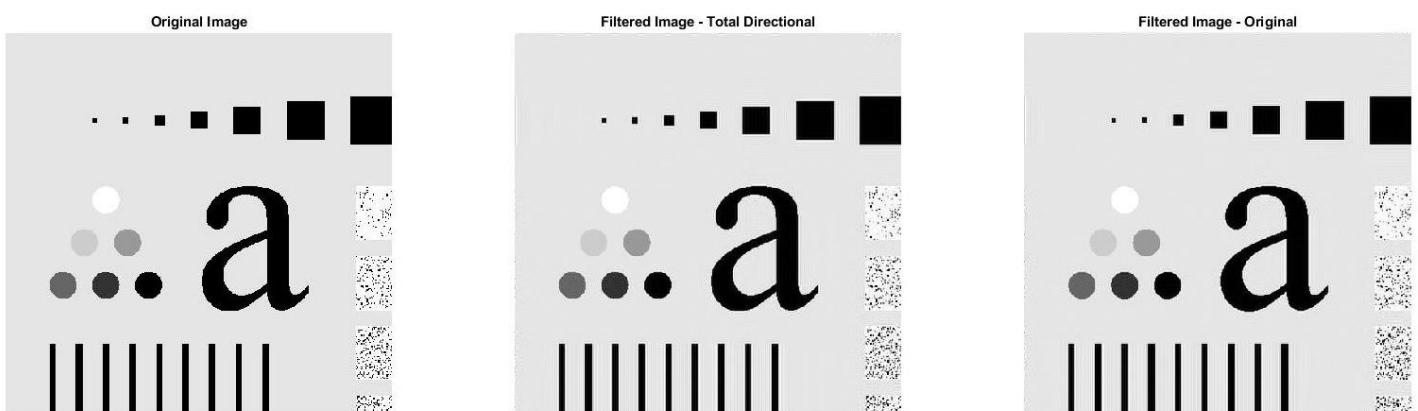
Οπότε, για την δημιουργία κατευθυντικών φίλτρων παράγεται το πλήρες φίλτρο και μετά πολλαπλασιάζεται με την κατάλληλη `myDirMask` στοιχείο προς στοιχείο.

Στο `demo3.m` το φίλτρο που παράγεται με το άθροισμα των κατευθυντικών ταυτίζεται απόλυτα με το αντίστοιχο πανκατευθυντικό κάνοντας μόνο μια διόρθωση της DC συνιστώσας και κάποιων γειτονικών σημείων του κέντρου. Οι διορθώσεις περιλαμβάνονται στην ενσωματωμένη συνάρτηση `myDirCorrect()` του `demo3.m`. Οι διορθώσεις που γίνεται στα σημεία, πέραν της DC συνιστώσας, είναι για να ικανοποιείται η συμμετρία του Fourier, καθώς παρατηρείται ένα σφάλμα της τάξης του 10^{-16} που όμως είναι αρκετό για να παράξει μιγαδική εικόνα αντί για πραγματική.

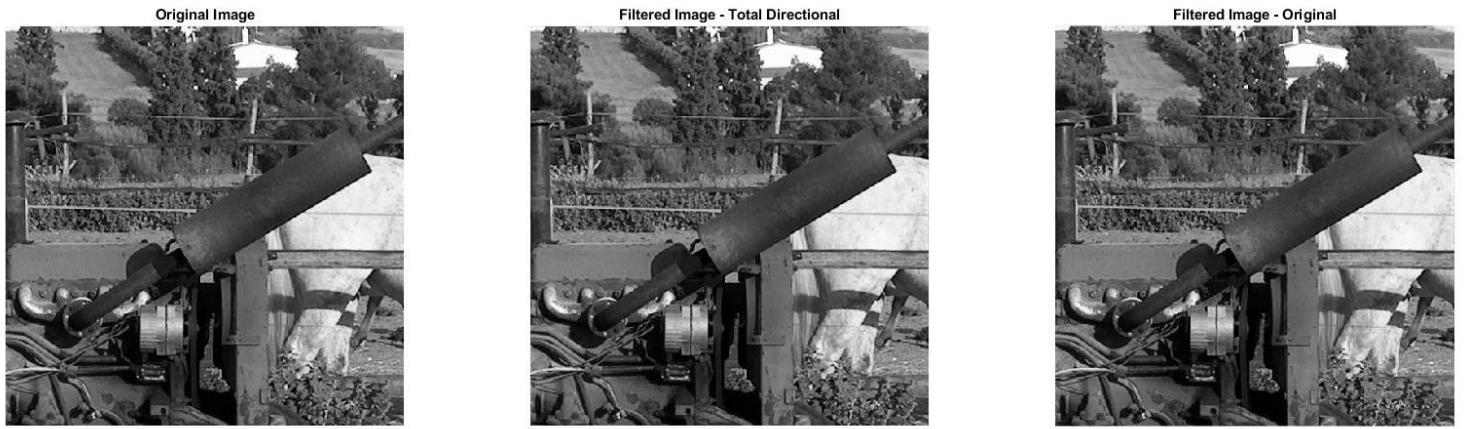
Τα σημεία που διορθώνονται στην περίπτωση άρτιου μεγέθους φίλτρου, και θεωρώντας ότι n_1, n_2 είναι το κέντρο $(M/2+1, M/2+1)$ είναι τα $D(n_1-1, n_2)$, $D(n_1, n_2-1)$, $D(n_1-1, n_2-1)$ τα οποία εξισώνονται με τα $D(n_1+1, n_2)$, $D(n_1, n_2+1)$, $D(n_1+1, n_2+1)$ αντίστοιχα. Για περιττό μέγεθος τα $D(n_1-1, n_2)$, $D(n_1, n_2-1)$, $D(n_1, n_2)$, τα $D(n_1+1, n_2)$, $D(n_1, n_2+1)$ εξισώνονται με τους αντίστοιχους συντελεστές του αρχικού πανκατευθυντικού φίλτρου για να αποφευχθεί το σφάλμα.

Στη συνέχεια φαίνονται οι λειτουργίες του `demo3.m`. Τα φίλτρα που προκύπτουν από τη σύνθεση κατευθυντικών ταυτίζονται με τα αντίστοιχα πανκατευθυντικά τους.

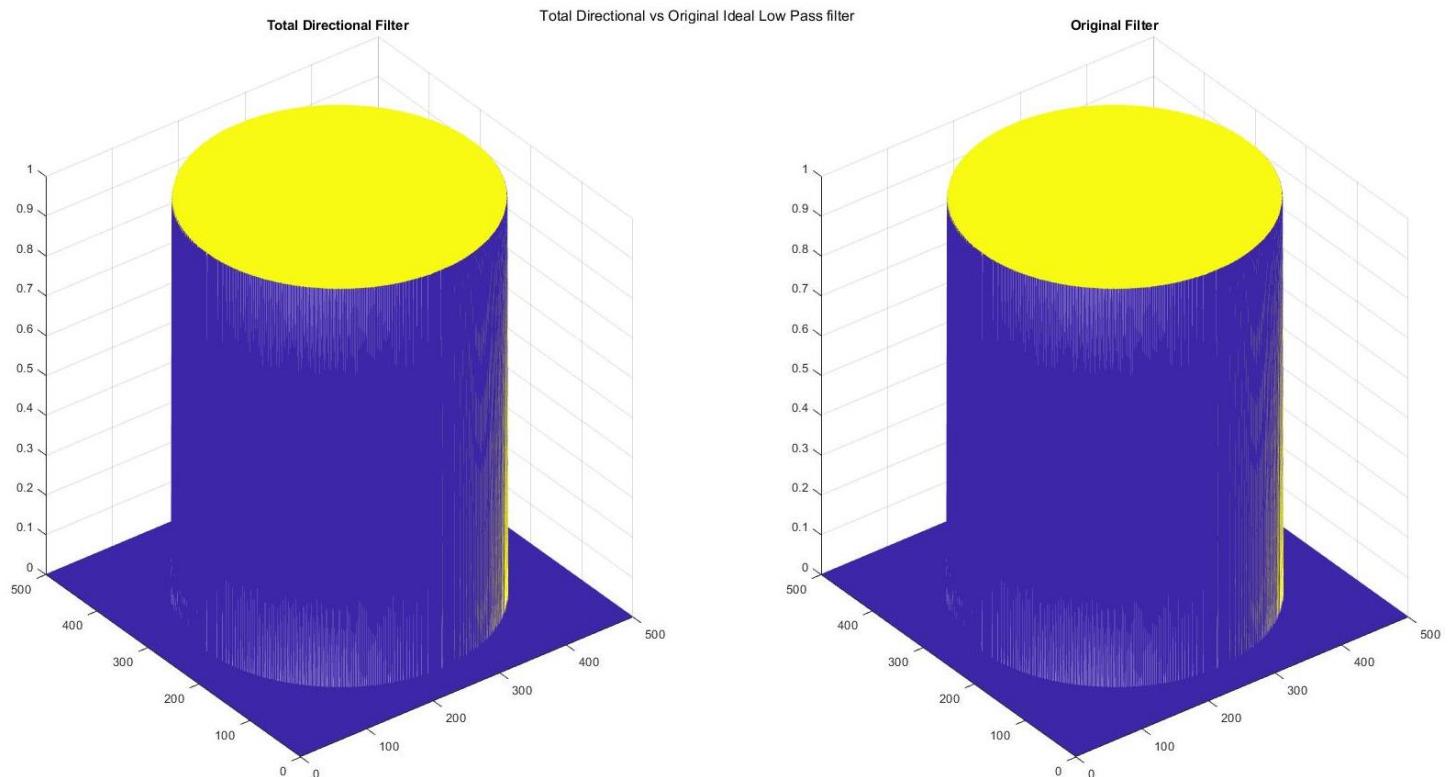
❖ Κατηγορία Χαμηλοπερατών (Low Pass)



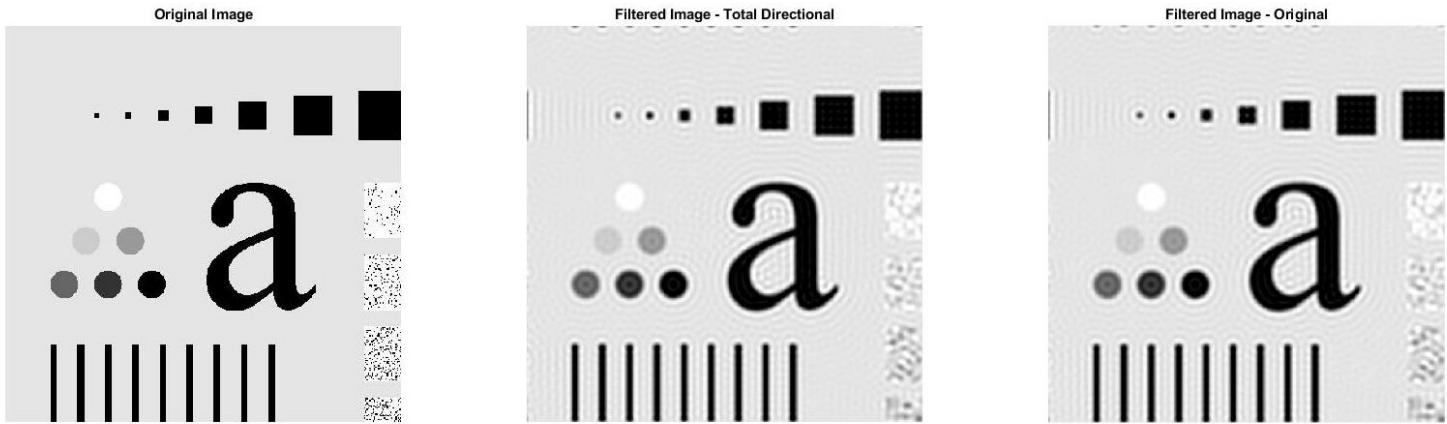
Εικόνα 3.1 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην `demo2Im1`



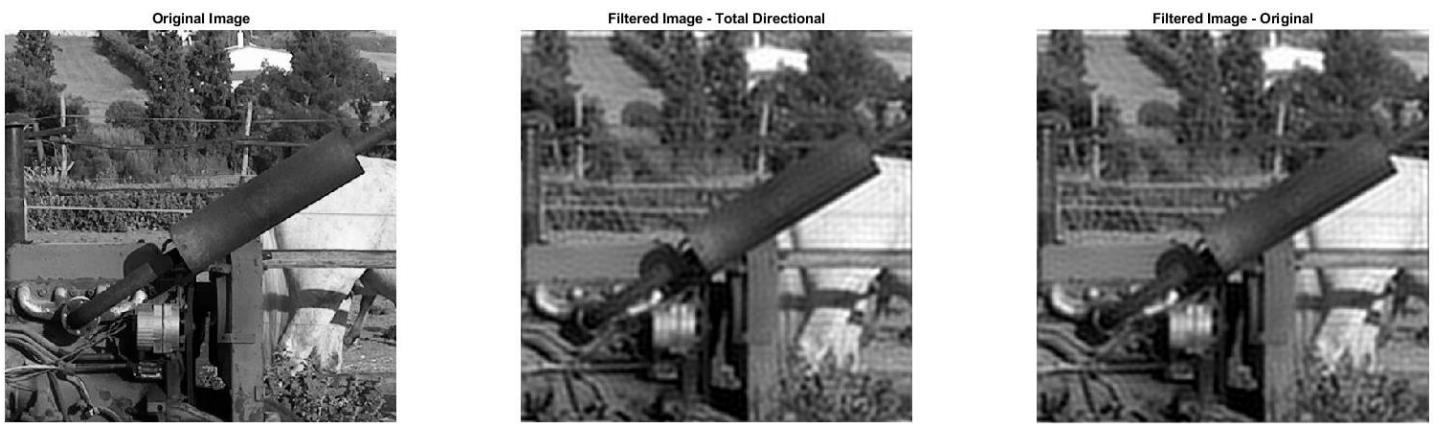
Εικόνα 3.2 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



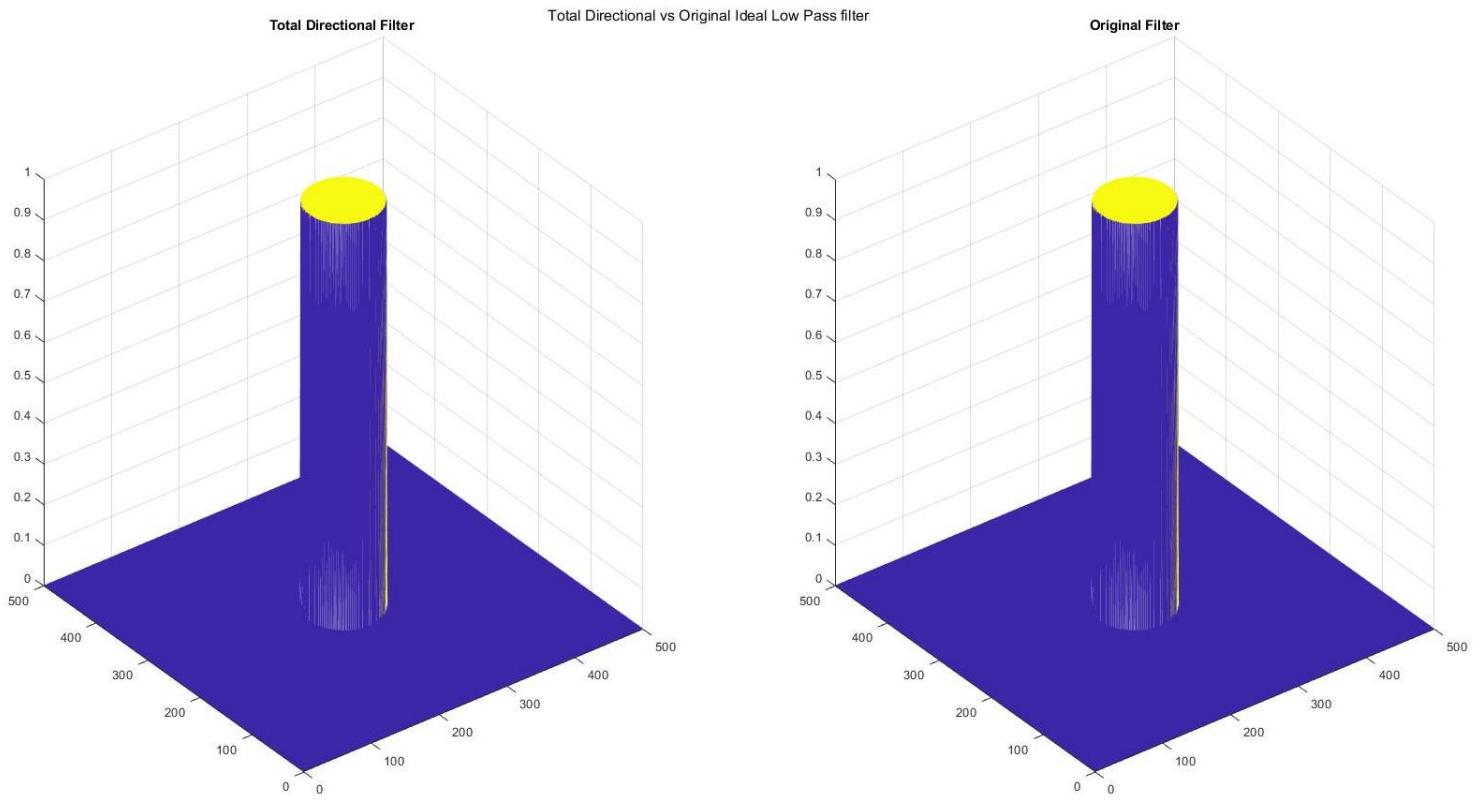
Εικόνα 3.3 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό ιδανικό χαμηλοπερατό φίλτρο. $D_0=200$



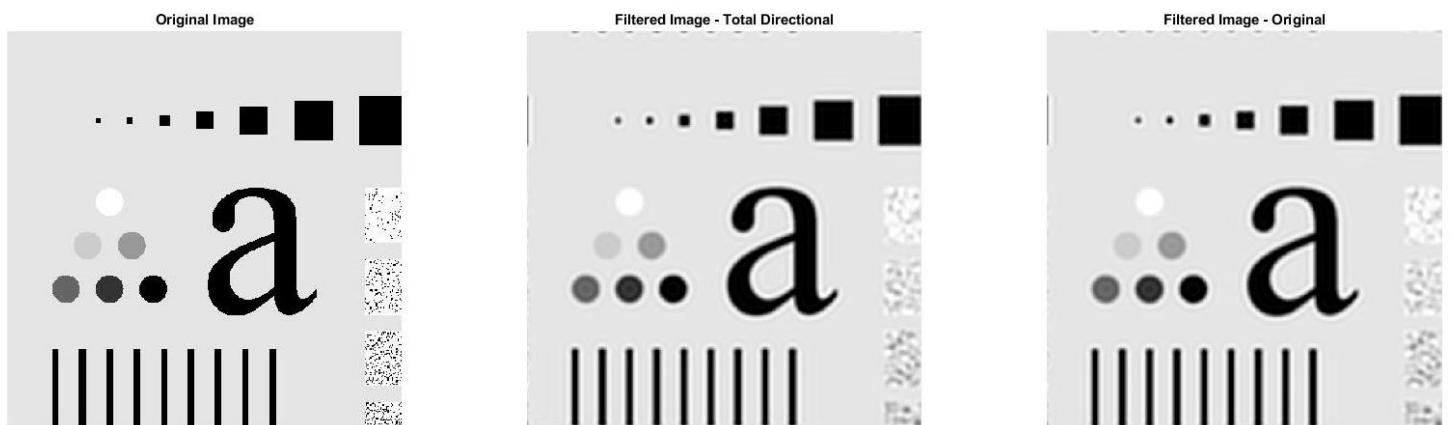
Εικόνα 3.4 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην `demo2Im1`



Εικόνα 3.5 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου στην `demo2Im2`



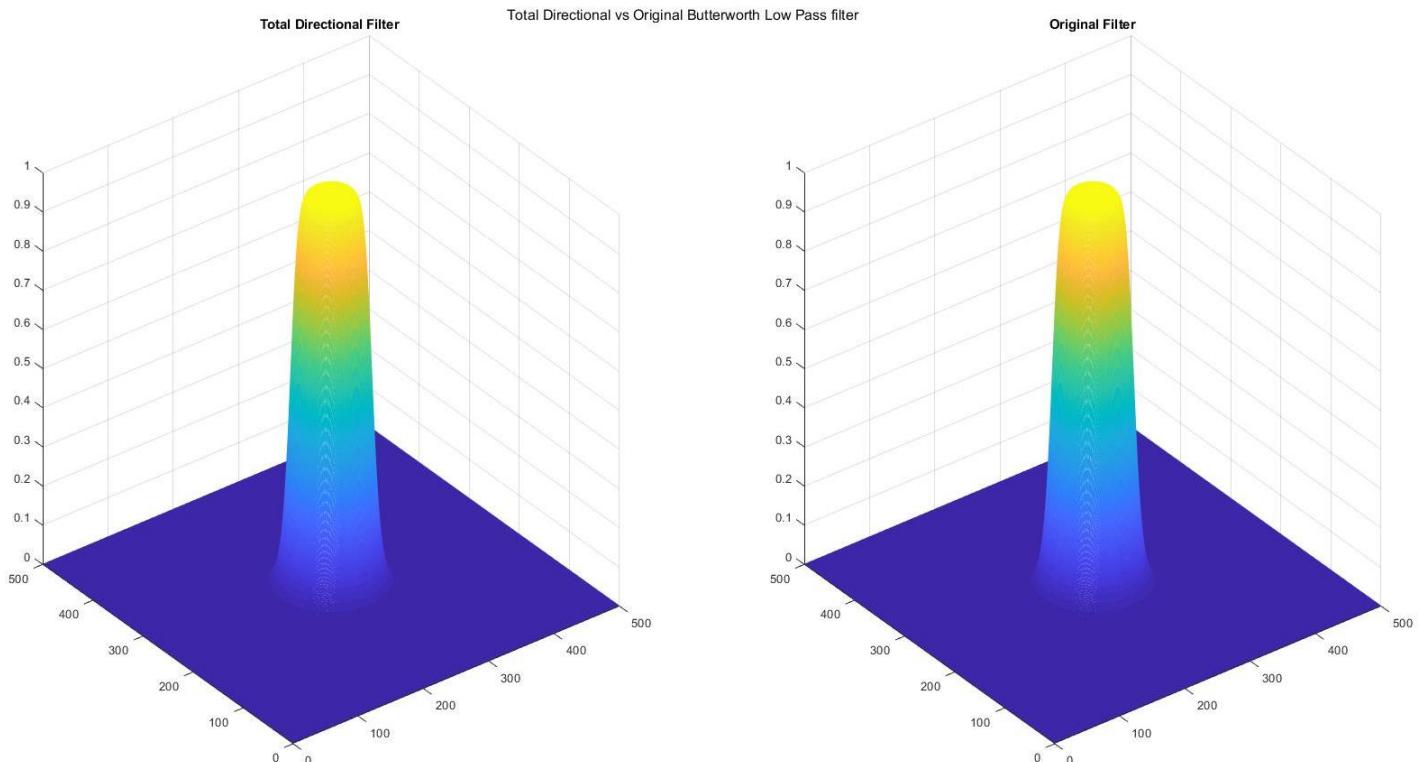
Εικόνα 3.6 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό ιδανικό χαμηλοπερατό φίλτρο. $D_0=50$



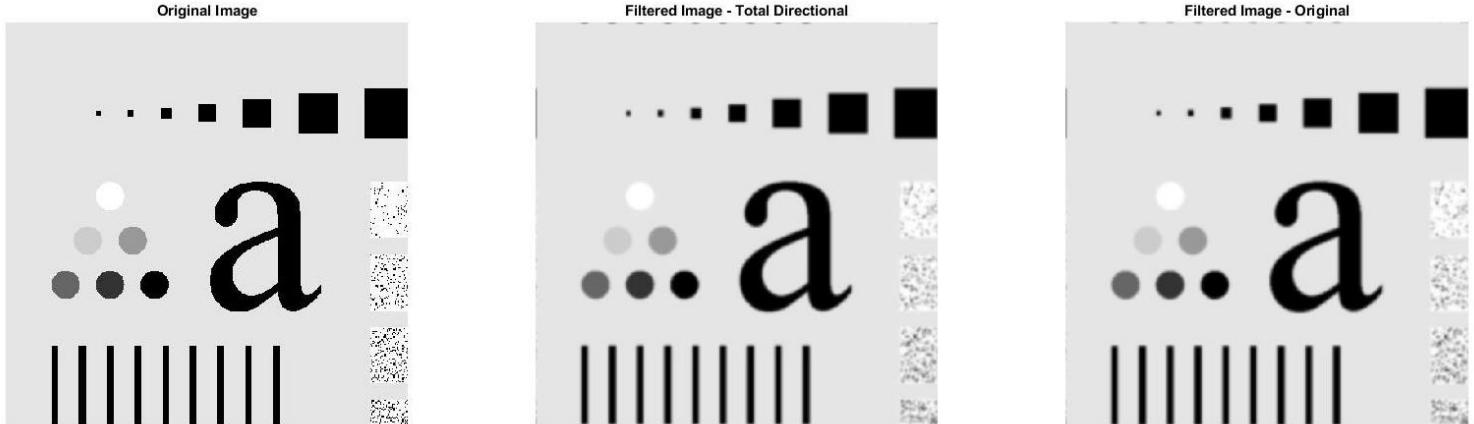
Εικόνα 3.7 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth χαμηλοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



Εικόνα 3.8 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth χαμηλοπερατού φίλτρου στην demo2Im2



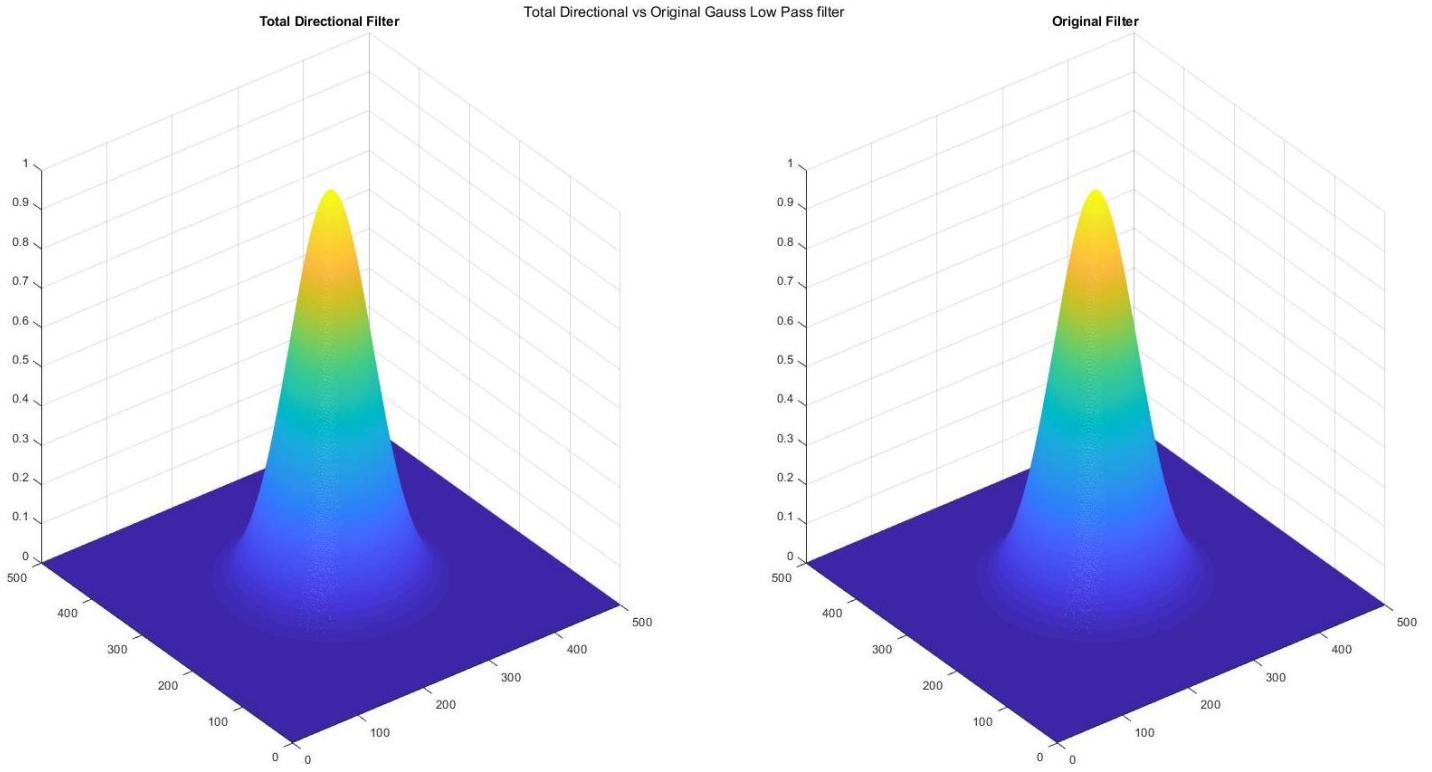
Εικόνα 3.9 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth χαμηλοπερατό φίλτρο. $D_0=50$



Εικόνα 3.10 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss χαμηλοπερατού φίλτρου στην demo2Im1

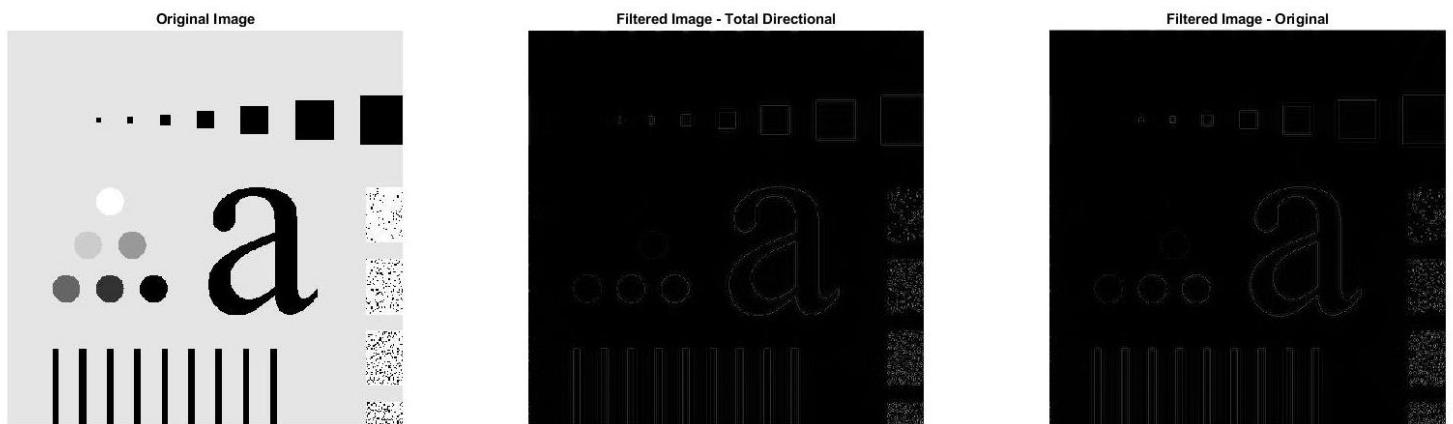


Εικόνα 3.11 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss χαμηλοπερατού φίλτρου στην demo2Im2

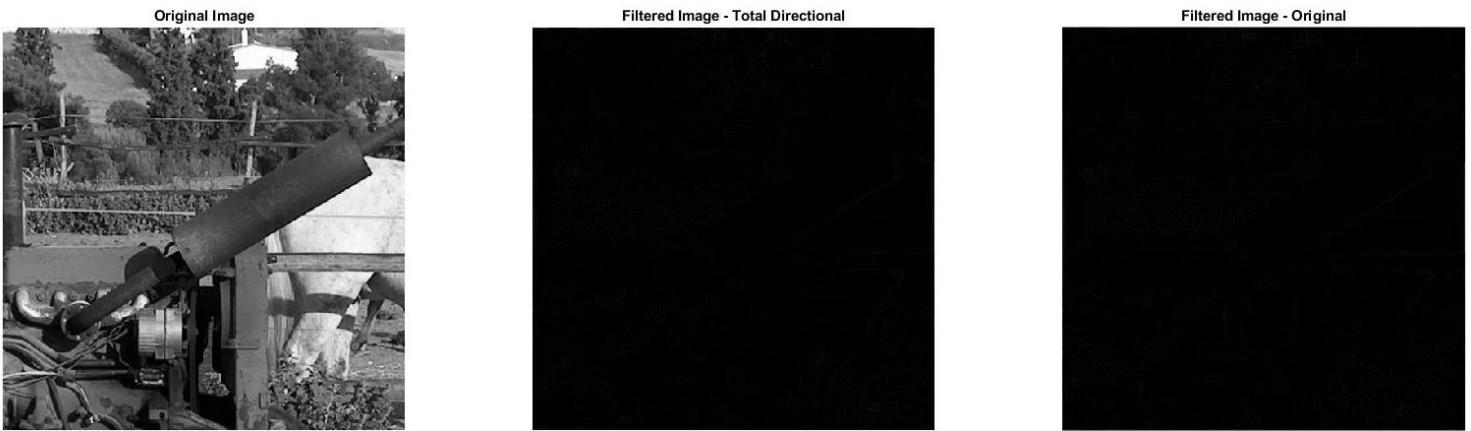


Εικόνα 3.12 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Gauss χαμηλοπερατό φίλτρο. $D_0=50$

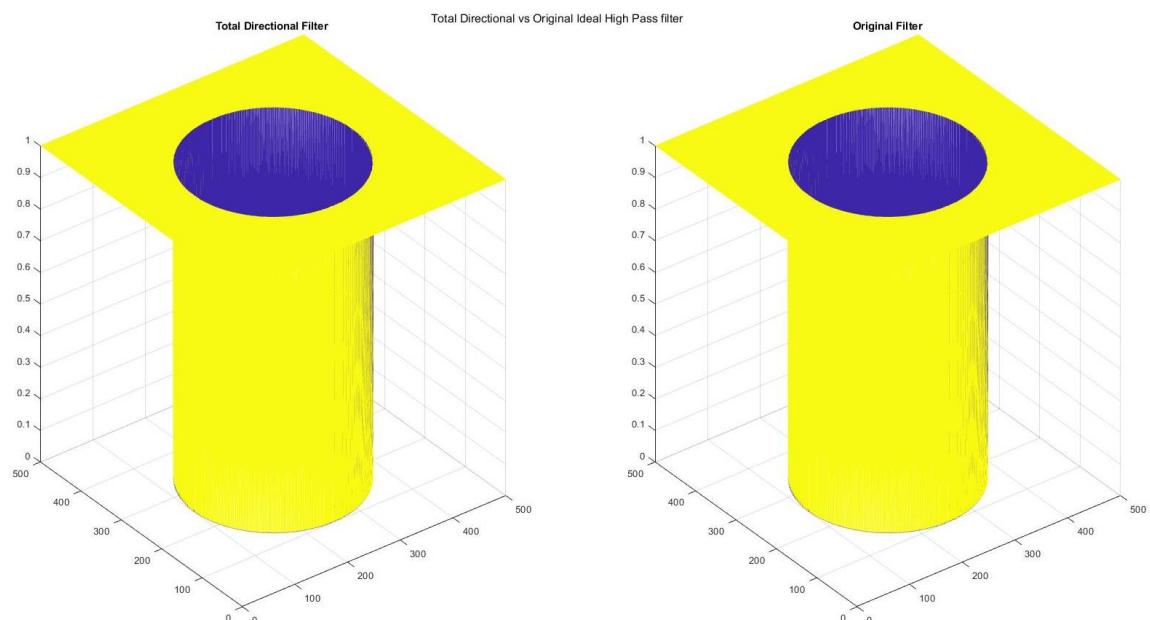
❖ Κατηγορία Υψηπερατών (High Pass)



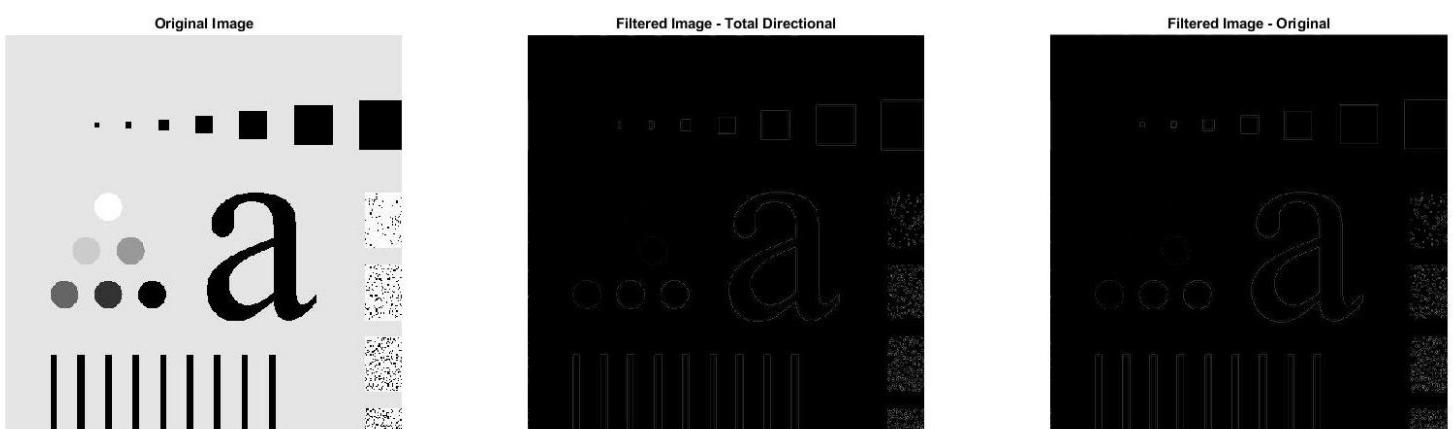
Εικόνα 3.13 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού υψηπερατού φίλτρου στην demo2Im1



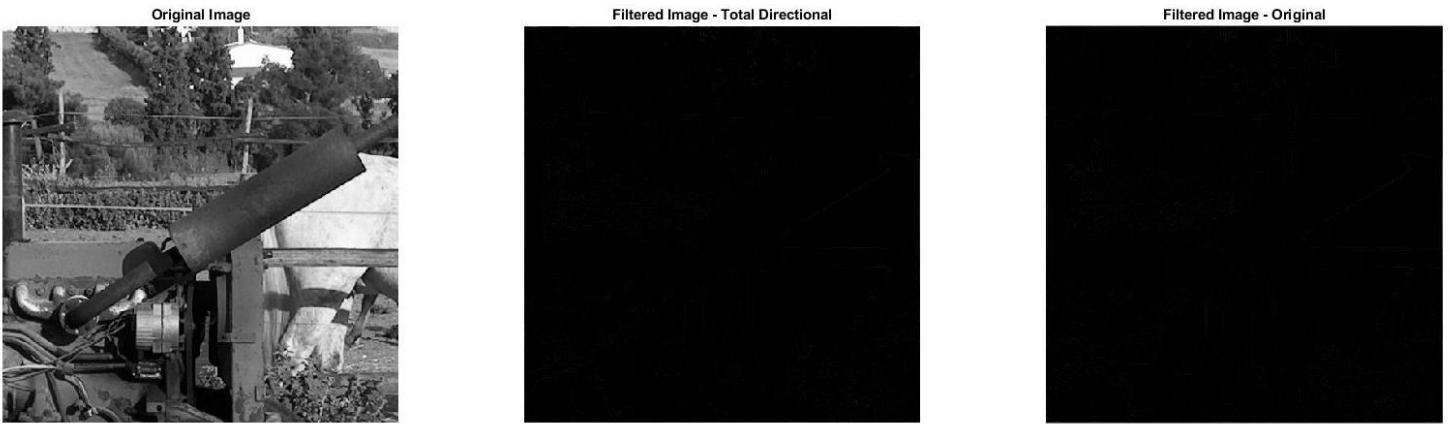
Εικόνα 3.14 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού υψηπερατού φίλτρου στην demo2Im2



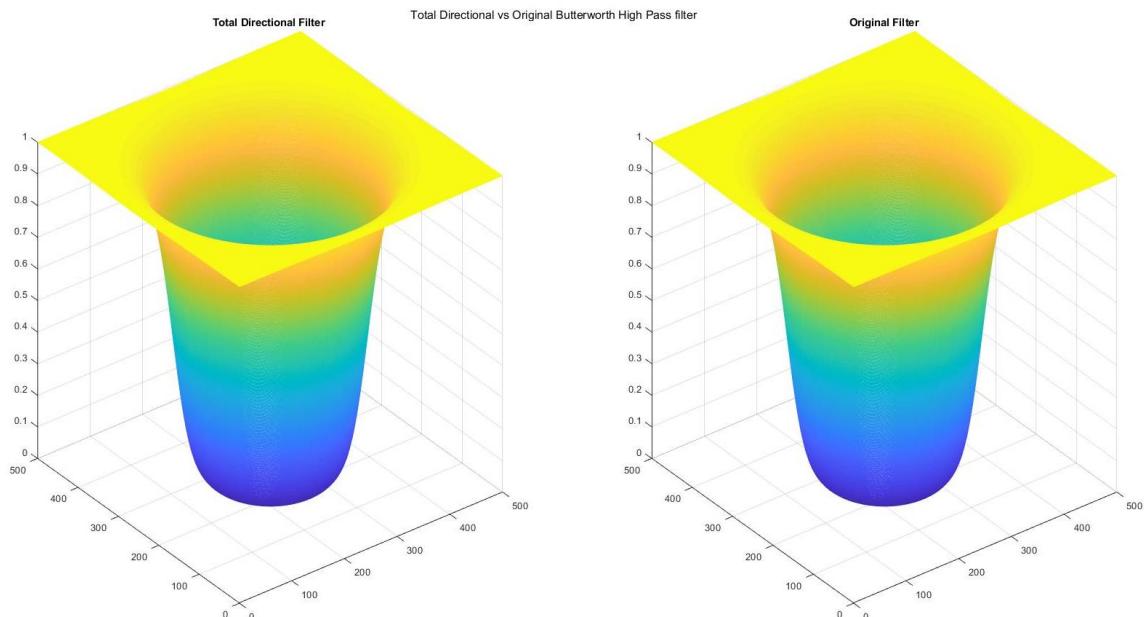
Εικόνα 3.15 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό ιδανικό υψηπερατό φίλτρο. $D_0=150$



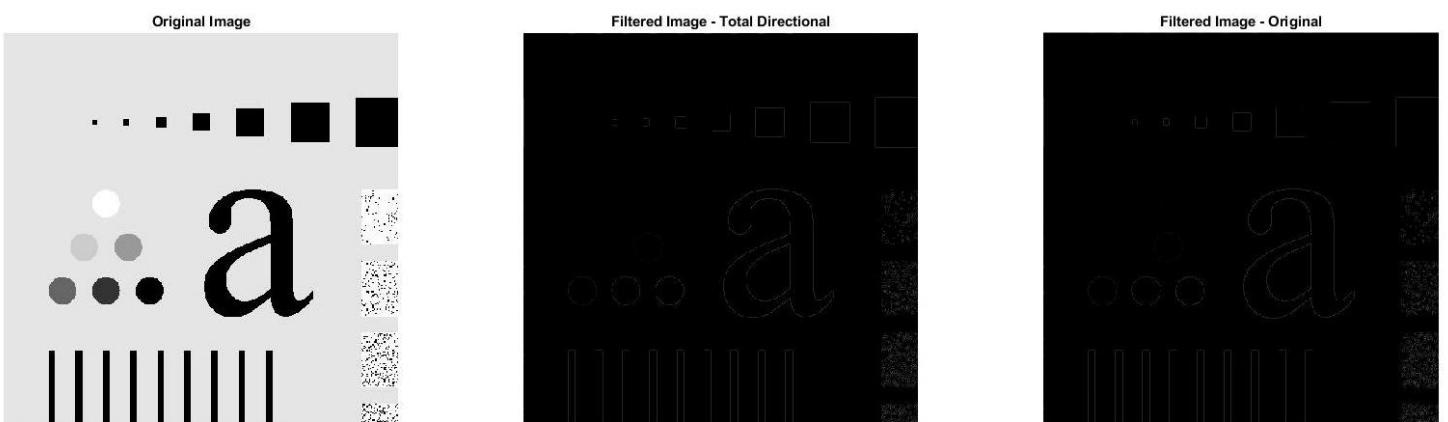
Εικόνα 3.16 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth υψηπερατού φίλτρου στην demo2Im1



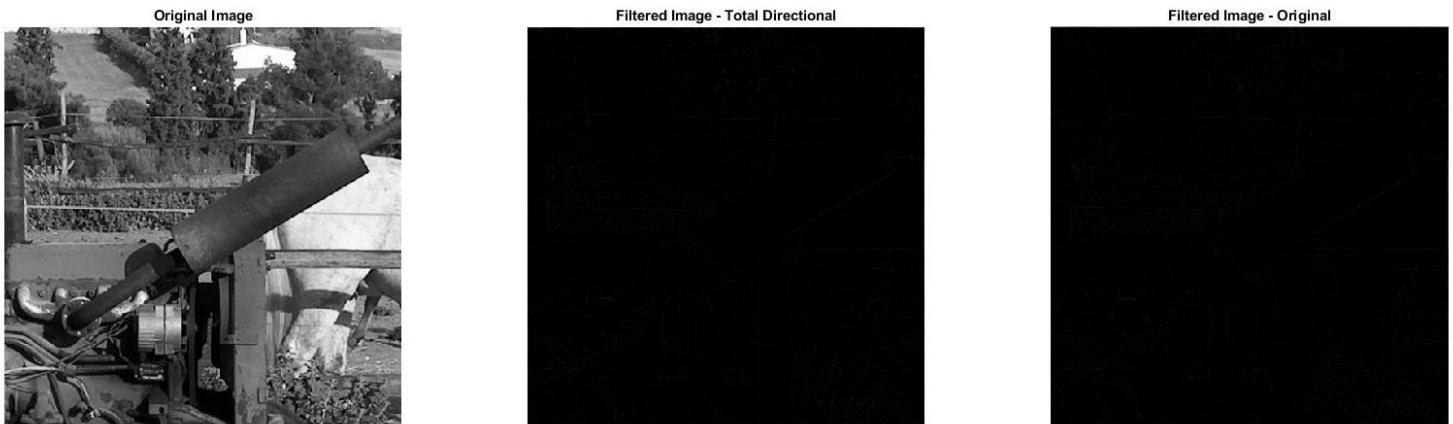
Εικόνα 3.17 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth υψηπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



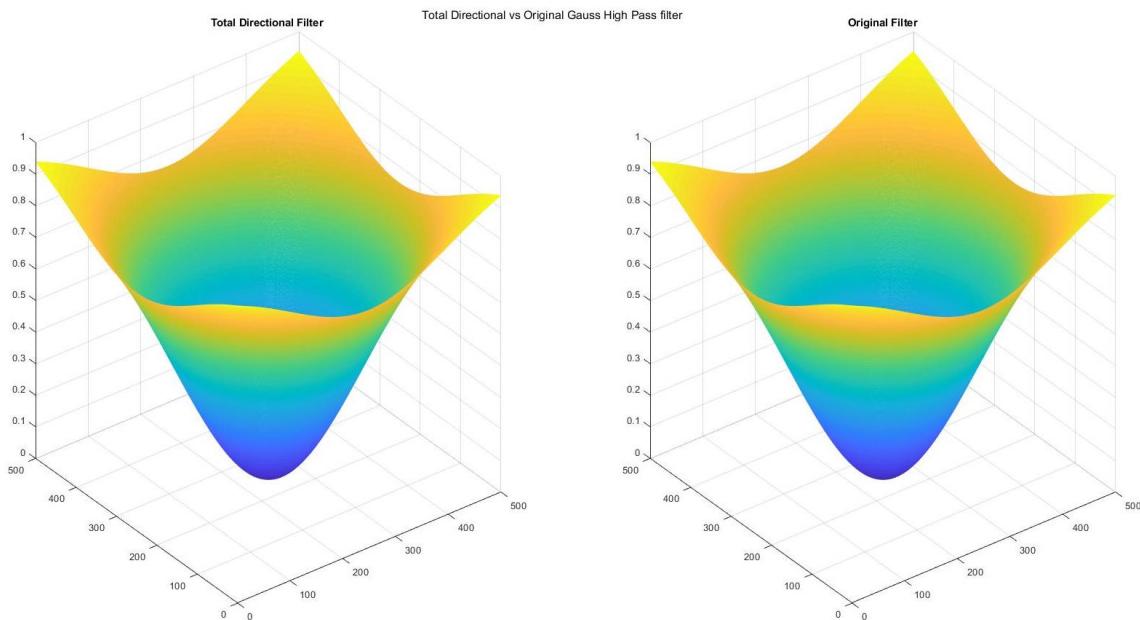
Εικόνα 3.18 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth υψηπερατό φίλτρο. $D_0=150$



Εικόνα 3.19 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss υψηπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*

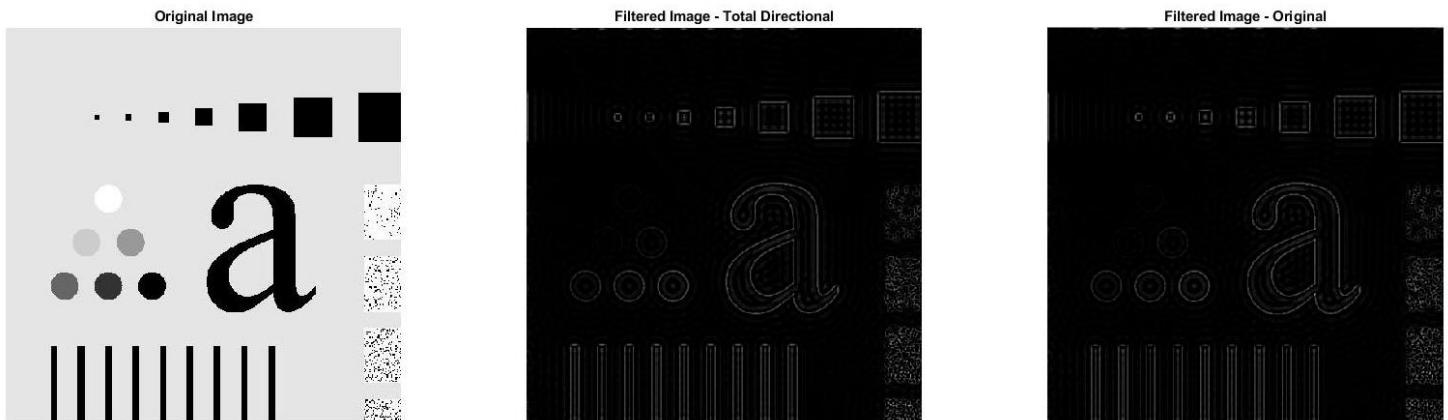


Εικόνα 3.20 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss υψηπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



Εικόνα 3.21 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Gauss υψηπερατό φίλτρο. $D_0=50$

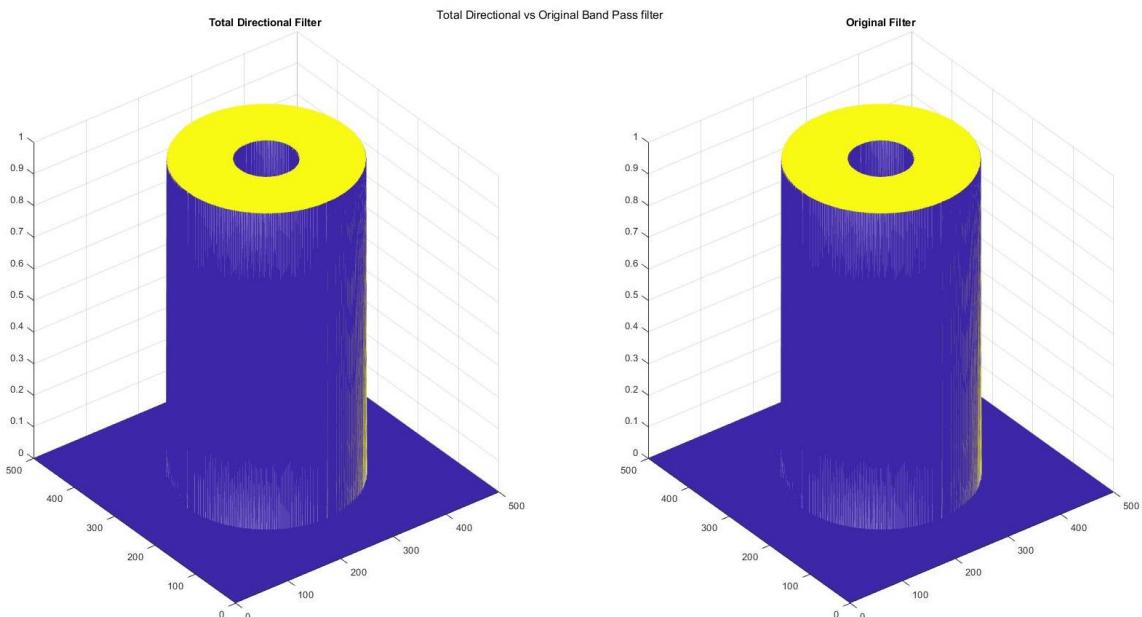
❖ Κατηγορία Ζωνοπερατών (Band Pass)



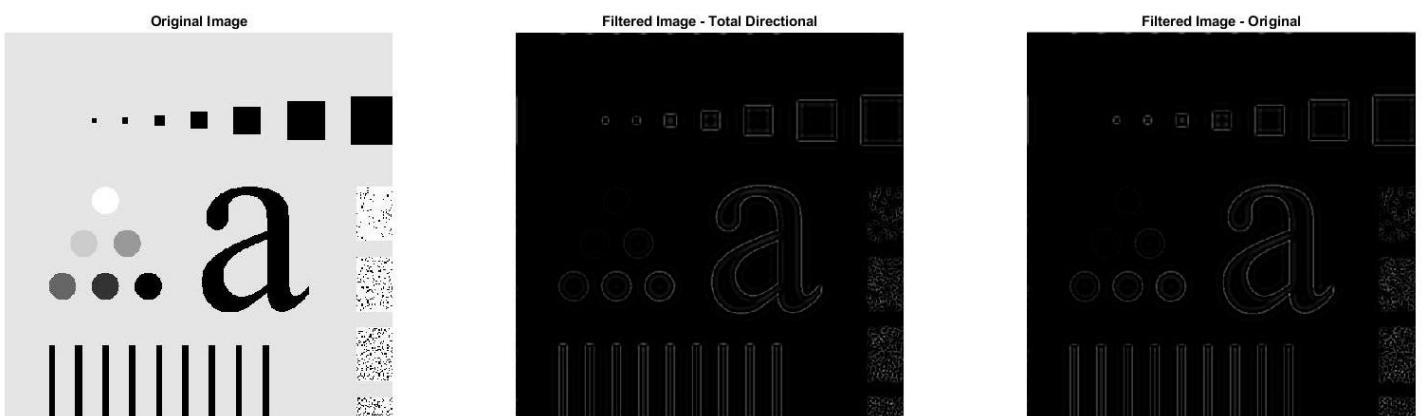
Εικόνα 3.22 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



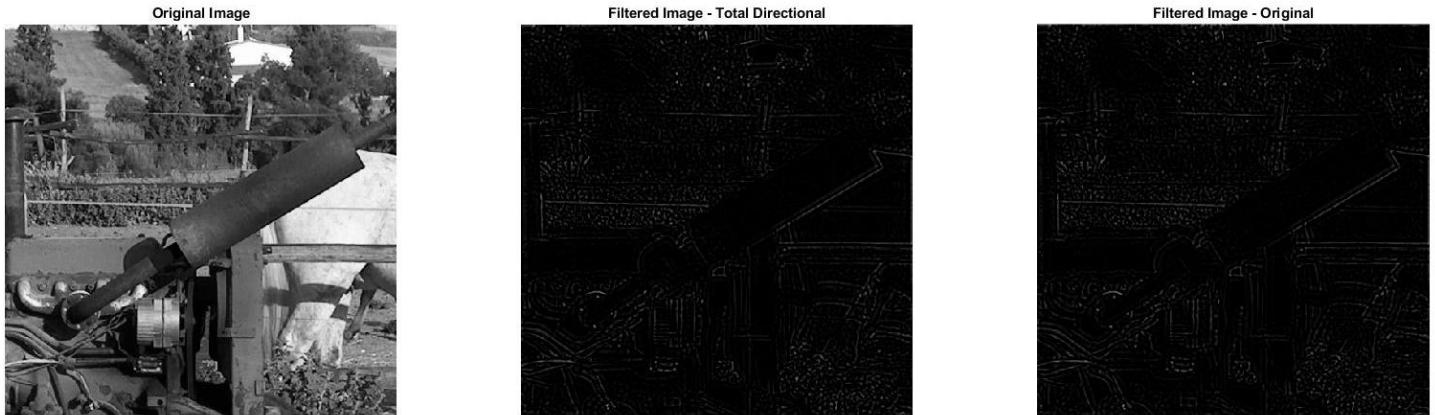
Εικόνα 3.23 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*



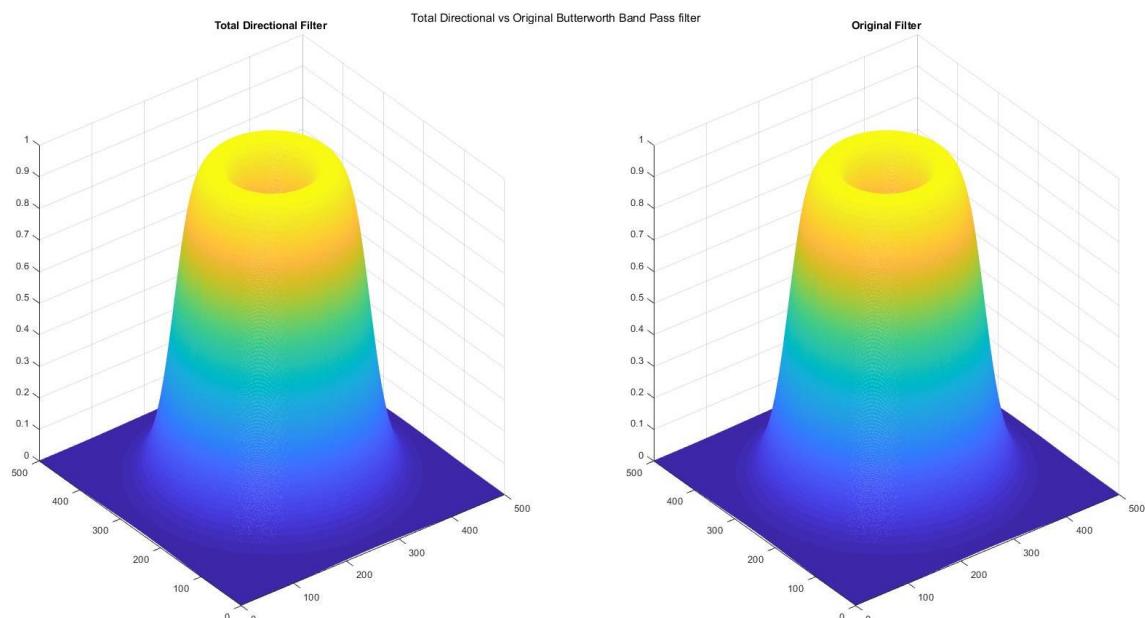
Εικόνα 3.24 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό ιδανικό ζωνοπερατό φίλτρο. $D_{0LOW}=50$ $D_{0HIGH}=150$



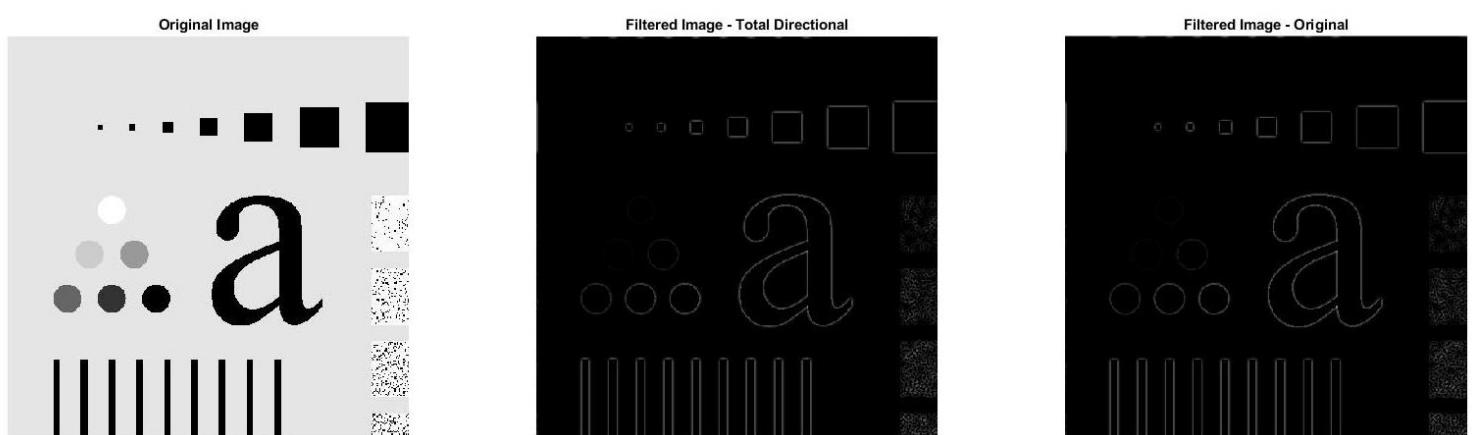
Εικόνα 3.25 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



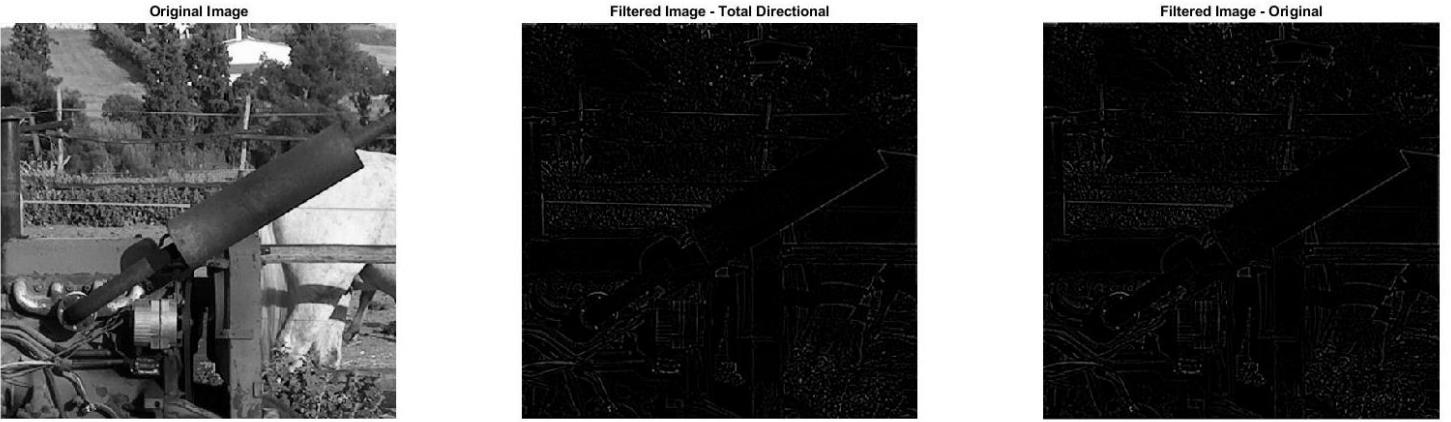
Εικόνα 3.26 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth ζωνοπερατού φίλτρου στην demo2Im2



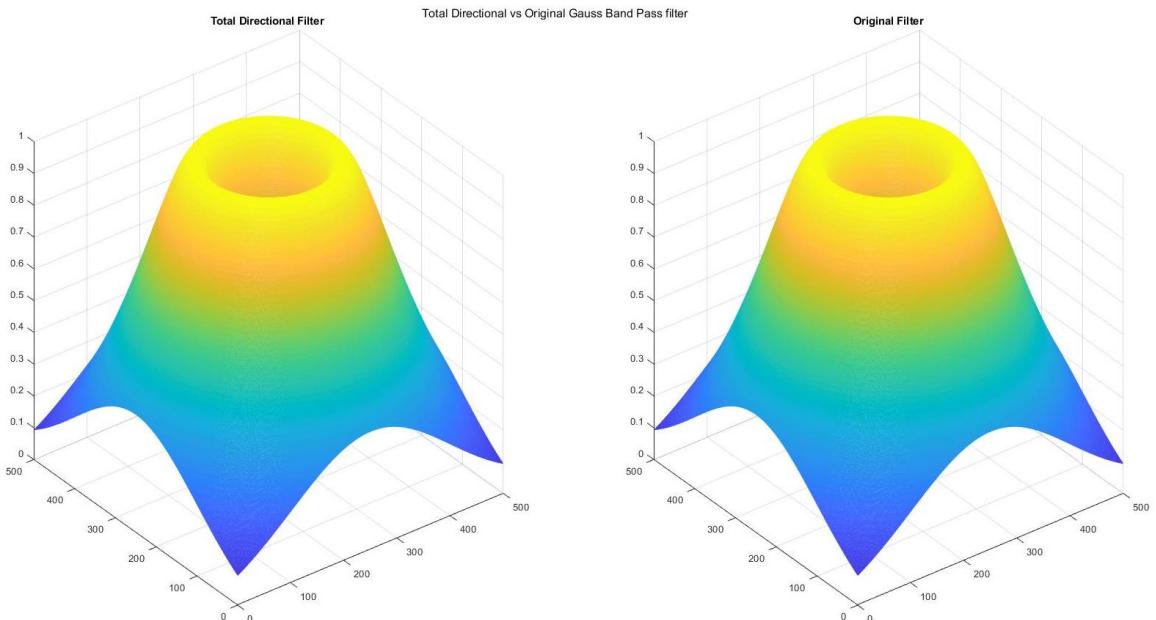
Εικόνα 3.27 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth ζωνοπερατό φίλτρο. $D_{0LOW}=50$ $D_{0HIGH}=150$



Εικόνα 3.28 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss ζωνοπερατού φίλτρου στην demo2Im1



Εικόνα 3.29 Σύγκριση τελικού κατευθυντικού και αρχικού Gauss ζωνοπερατού φίλτρου στην demo2Im2



Εικόνα 3.30 Το τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Gauss ζωνοπερατό φίλτρο. $D_{low}=50$ $D_{high}=150$

Ενότητα 4 (Εξτρα)

Σαν προαιρετικό ερώτημα της εργασίας ζητήθηκε να εξομαλύνουμε τη μετάβαση των κατευθυντικών φίλτρων και στα «πλαϊνά» τους. Έγινε μια προσπάθεια στην κατεύθυνση αυτή και δημιουργήθηκαν επιπλέον οι συναρτήσεις myLowPassIdealDirSmooth.m, myLowPassButterworthDirSmooth.m, myLowPassGaussDirSmooth.m, myHighPassIdealDirSmooth.m, myHighPassButterworthDirSmooth.m, myHighPassGaussDirSmooth.m, myBandPassIdealDirSmooth.m, myBandPassButterworthDirSmooth.m, myBandPassGaussDirSmooth.m και ένα demo4.m για επίδειξη λειτουργιών.

Η ιδέα για την εξομάλυνση των μεταβάσεων στηρίχτηκε στη χρήση μασκών εξομάλυνσης Moving Average και Gaussian. Το κατευθυντικό φίλτρο συνελίσσεται με μια από αυτές τις μάσκες. Εκεί όπου στο φίλτρο επικρατεί η τιμή μηδέν θα παραμείνει το μηδέν ή κάτι κοντά στο μηδέν, ενώ το ίδιο ισχύει για τις περιοχές όπου το φίλτρο έχει τιμή μονάδα. Στις μεταβάσεις, η μάσκα θα συλλέγει πληροφορία και από τη ζώνη διέλευσης του φίλτρου και από την ζώνη αποκοπής και θα εξομαλύνει την ακμή. Ήδη από την 3^η ενότητα οι ακμές κατά την διεύθυνση της «γραμμής με γωνία θ», είναι εξομαλυμένες διότι η myDirMask αποκόπτει το ήδη εξομαλυμένο κομμάτι από τα Butterworth και Gauss (στο ideal δεν ισχύει γιατί δεν υπάρχει εξομάλυνση).

Ουσιαστικά η οι `myxxxSmooth()` συναρτήσεις δέχονται επιπλέον 3 ορίσματα πέραν αυτών που δέχονται οι `myxxxDir()`. Συγκεκριμένα:

- **avgFilterType**: ο τύπος του averaging φίλτρου για την εξομάλυνση ακμών ('M' για moving average, 'G' για gaussian)
- **MS** : η διάσταση του τετράγωνου averaging φίλτρου
- **sigmaG** : η τυπική απόκλιση του Gaussian averaging φίλτρου. (σε περίπτωση που το avgFilterType είναι 'G')

Έτσι ο χρήστης είναι σε θέση να επιλέξει με ποιον τρόπο θέλει να γίνει η εξομάλυνση. Ένα moving average φίλτρο είναι πιο ουδέτερο, ενώ ένα Gaussian με κατάλληλη ρύθμιση του sigmaG μπορεί να κάνει πιο ποιοτική εξομάλυνση. Είναι επιθυμητό στις μεταβάσεις να ρίχνουμε περισσότερο βάρος στα σημεία της ακμής και λιγότερο στα τριγύρω, πράγμα που στο moving average δεν γίνεται. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί η διάσταση MS αναλόγως πόσο μεγάλο παράθυρο θέλουμε να έχει η μάσκα εξομάλυνσης.

Είναι εύλογο να σκεφτεί κανείς ότι στα σημεία που ανήκουν σε μια γειτονιά γύρω από την DC συνιστώσα του φίλτρου η μάσκα θα επηρεάζεται πολύ από τα μηδενικά του «παπιγιόν» και θα αλλοιώνει λίγο το αποτέλεσμα. Η αλλοίωση αυτή μπορεί να μειωθεί αρκετά με Gaussian μάσκα επιλέγοντας κατάλληλα τη διάσταση και το sigma ώστε να είμαστε όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικοί.

Σαν βελτίωση του αλγορίθμου θα μπορούσαμε να δοκιμάσουμε την εφαρμογή μάσκας με μεταβαλλόμενο μέγεθος ή οι συντελεστές της μάσκας να είναι συνάρτηση των διακριτών σημείων u1,u2 του φίλτρου έτσι ώστε π.χ. όταν βρισκόμαστε στο κέντρο να ενεργοποιούμε συντελεστές που είναι στο κέντρο της μάσκας ενώ όσο απομακρυνόμαστε να χρησιμοποιούμε όλη τη μάσκα.

Η εφαρμογή της μάσκας, που δεν είναι τίποτα άλλο από μια συνέλιξη, αυξάνει τις διαστάσεις του κατευθυντικού φίλτρου. Στις συναρτήσεις `myxxxSmooth()` που υλοποιήθηκαν φροντίζουμε να επιστρέψουμε ένα κατευθυντικό φίλτρο ίδιας διάστασης με αυτό που ζητήθηκε. Έτσι γίνεται κατάλληλο cropping του εξομαλυμένου φίλτρου αποκόπτοντας συμμετρικά κομμάτια από τις άκρες του πίνακα.

Για την ενότητα 4 κατασκευάστηκε ένα `demo4.m` όπου παρουσιάζεται η ίδια διαδικασία με το `demo3.m` αλλά χρησιμοποιώντας τα εξομαλυμένα κατευθυντικά φίλτρα.

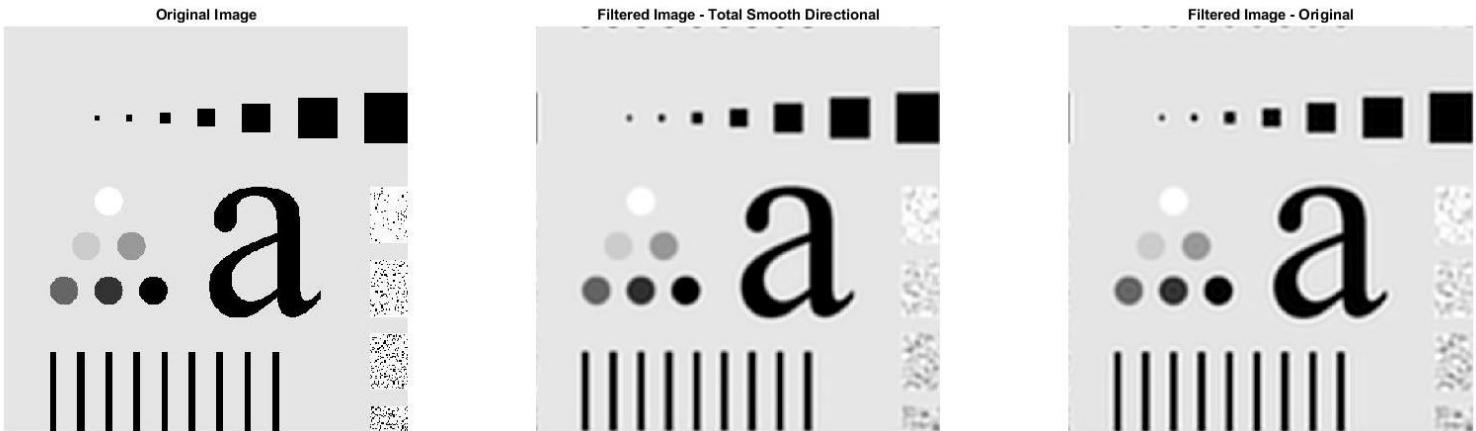
Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα στα φίλτρα Butterworth (στο `demo4.m` υπάρχουν όλα για όλες τις κατηγορίες) και δίνονται και 3 εικόνες για την οπτικοποίηση του φαίνομένου της εξομάλυνσης στα Butterworth.

Στις εικόνες 4.1-4.9 οι μάσκες εξομάλυνσης είναι Gaussian 30x30 με `sigmaG=15`. Στις 4.12-4.15 είναι Gaussian 20x20 με `sigmaG=10`.

Τα εξομαλυμένα κατευθυντικά φίλτρα προσεγγίζουν με μεγάλη ακρίβεια, όταν αθροίζονται, τα αντίστοιχα πανκατευθυντικά. Στα χαμηλοπερατά υπάρχει μια πολύ μικρή περιοχή γύρω από τη DC συνιστώσα που έχει απόκλιση της τάξης 10^{-2} από τη μονάδα. Τα ζωνοπερατά δεν παρουσιάζουν κάποια ατέλεια ενώ τα υψηπερατά, στις ακραίες τιμές (όρια του πίνακα) έχουν μια ομαλή πτώση φτάνοντας έως και 0.5 αλλά δεν ενοχλεί στην πράξη. Όπως φαίνεται και από τις δοκιμές στις εικόνες η εφαρμογή τους δίνει εφάμιλλα αποτελέσματα.

Στις εικόνες 4.12-4.15 φαίνονται τα απλά κατευθυντικά σε σύγκριση με τα εξομαλυμένα για κατηγορίες Low Pass, High Pass, Band Pass σε 2 οπτικές γωνίες (κάτοψη και 3D)

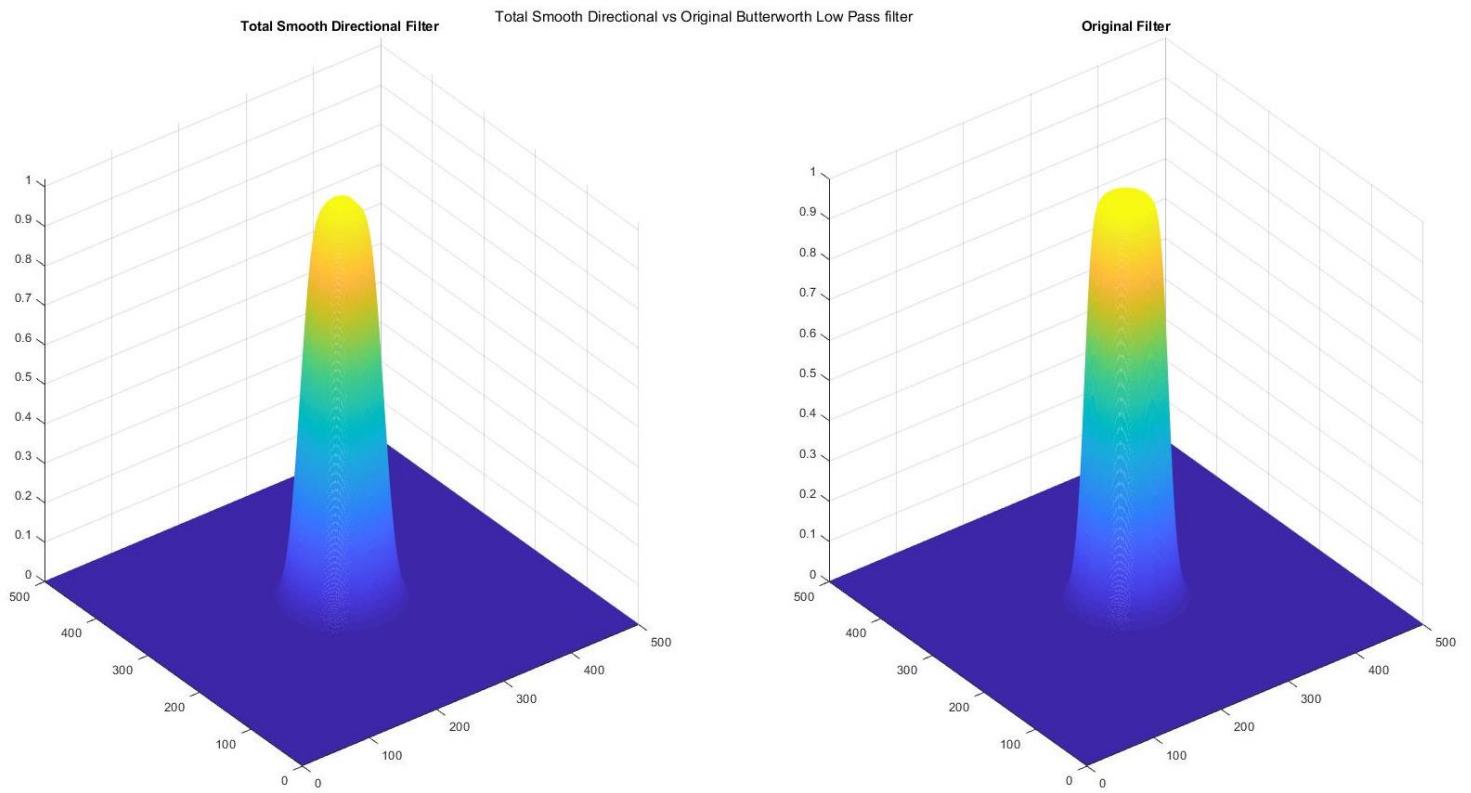
❖ Κατηγορία Χαμηλοπερατών (Low Pass)



Εικόνα 4.1 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth χαμηλοπερατού φίλτρου στην `demo2Im1`

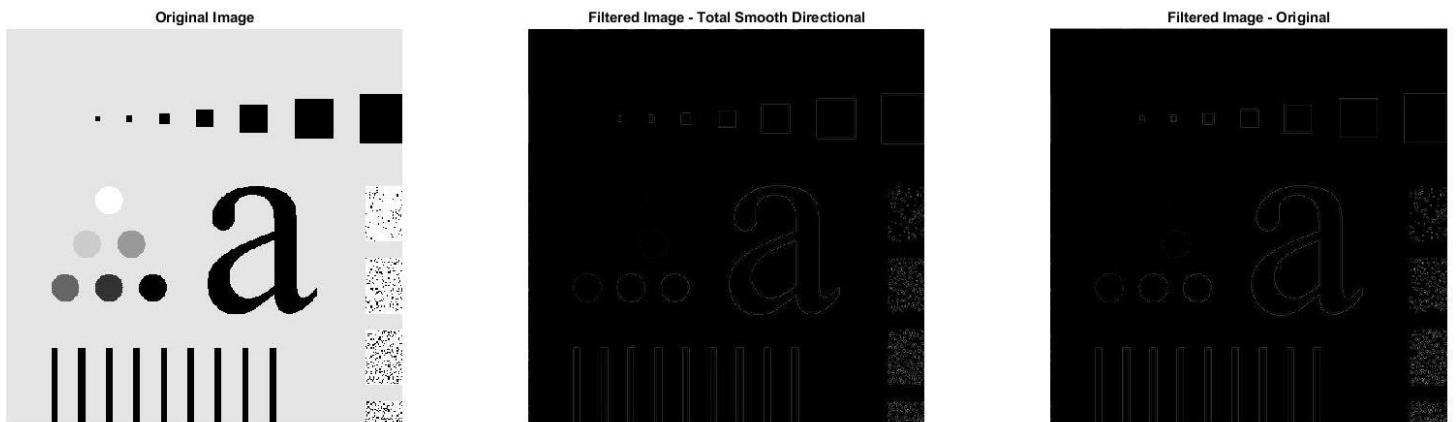


Εικόνα 4.2 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth χαμηλοπερατού φίλτρου στην `demo2Im2`

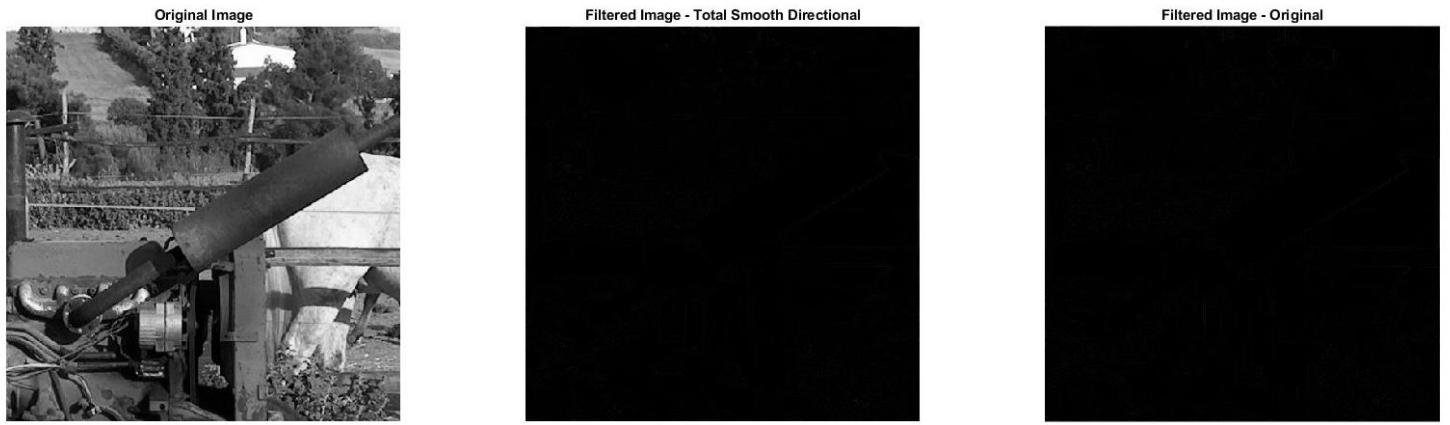


Εικόνα 4.3 Το εξομαλυμένο τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth χαμηλοπερατό φίλτρο. $D_{low}=50$

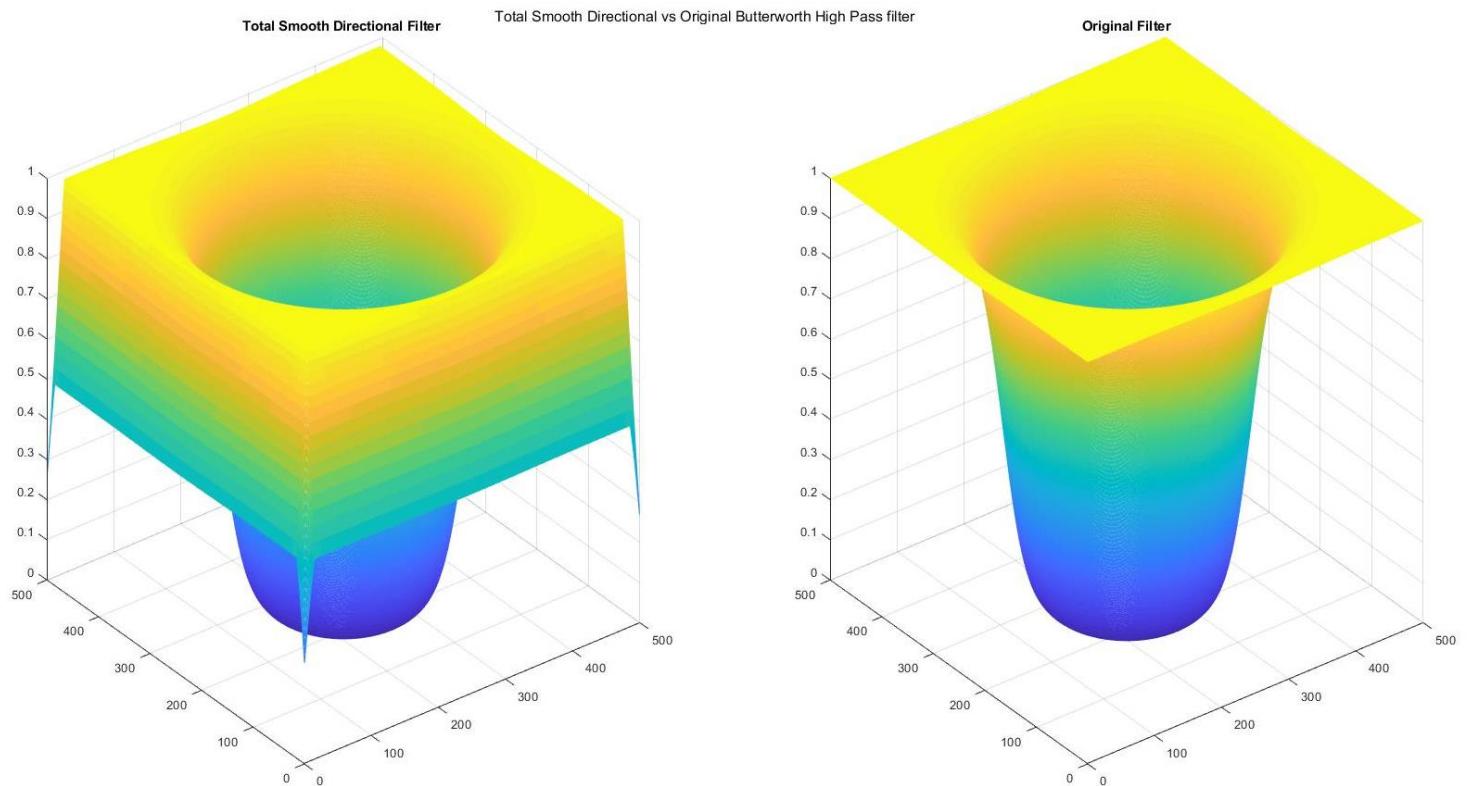
❖ Κατηγορία Υψηπερατών(High Pass)



Εικόνα 4.4 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth υψηπερατού φίλτρου στην demo2Im1

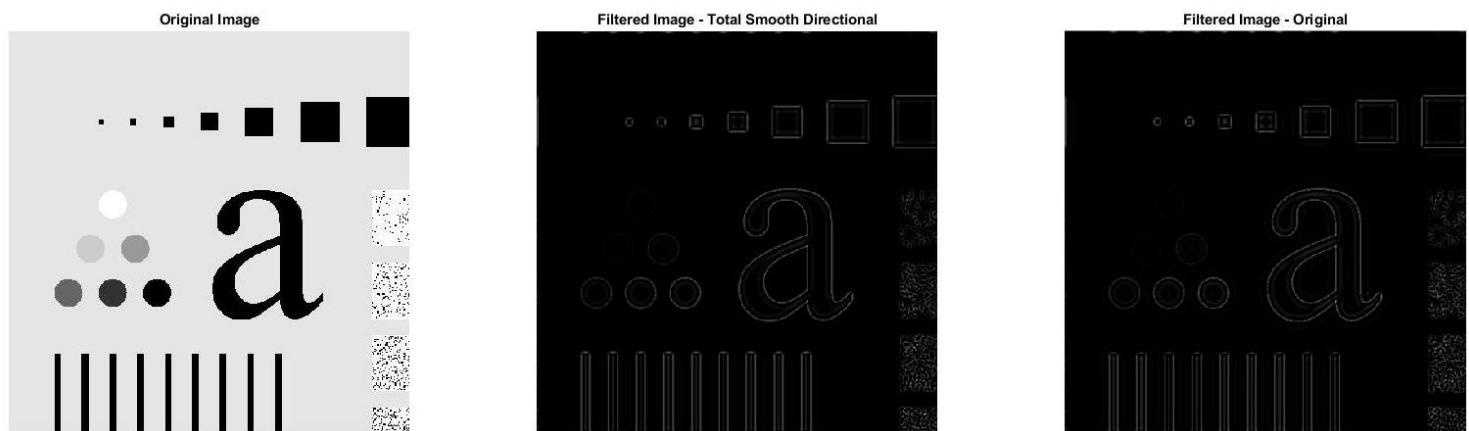


Εικόνα 4.5 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth υψητερατού φίλτρου στην demo2Im2

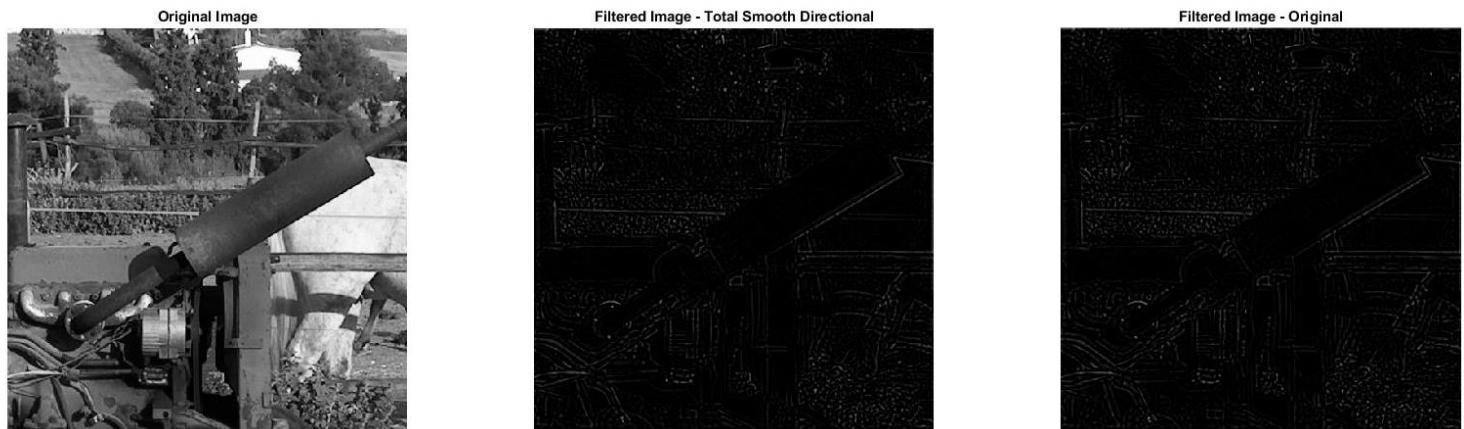


Εικόνα 4.6 Το εξομαλυμένο τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth υψητερατό φίλτρο. $D_0=150$

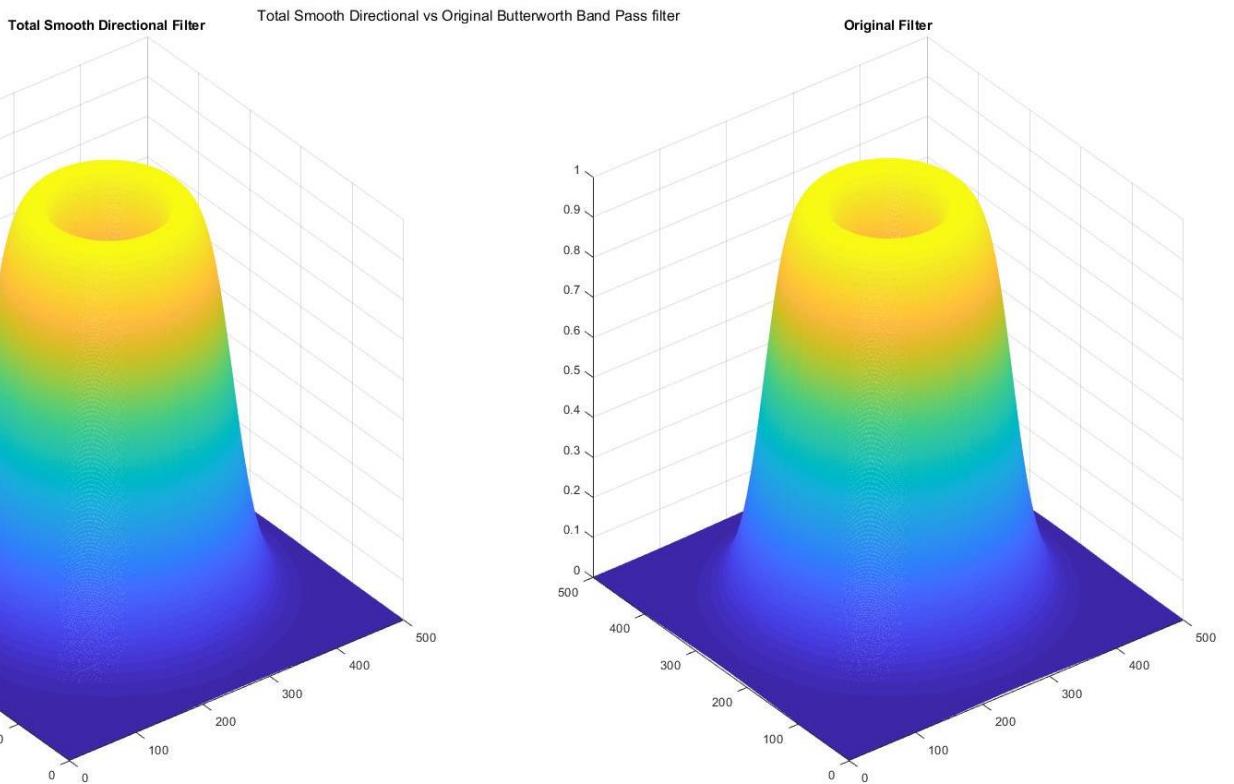
❖ Κατηγορία Ζωνοπερατών (Band Pass)



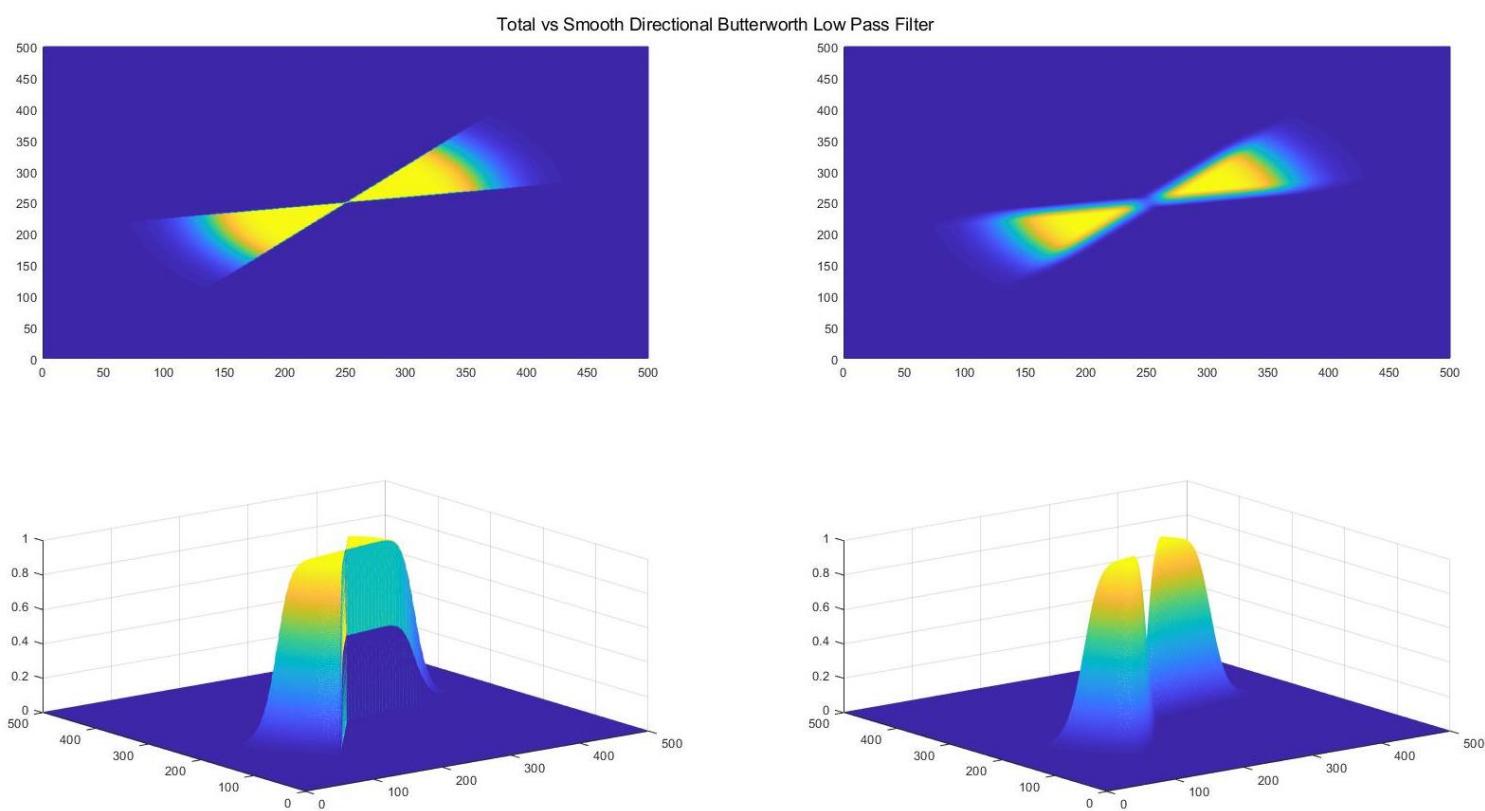
Εικόνα 4.7 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im1*



Εικόνα 4.8 Σύγκριση εξομαλυμένου τελικού κατευθυντικού και αρχικού Butterworth ζωνοπερατού φίλτρου στην *demo2Im2*

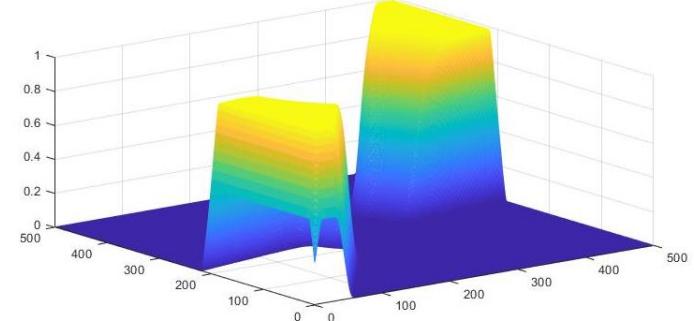
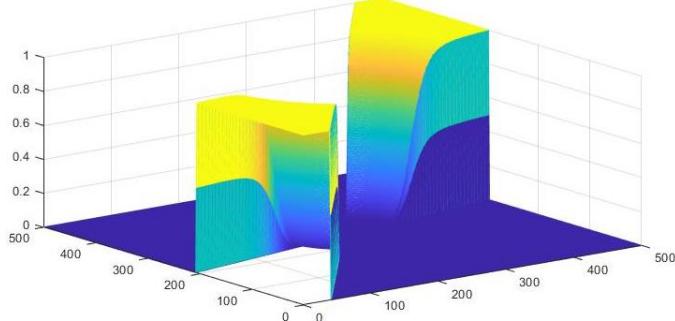
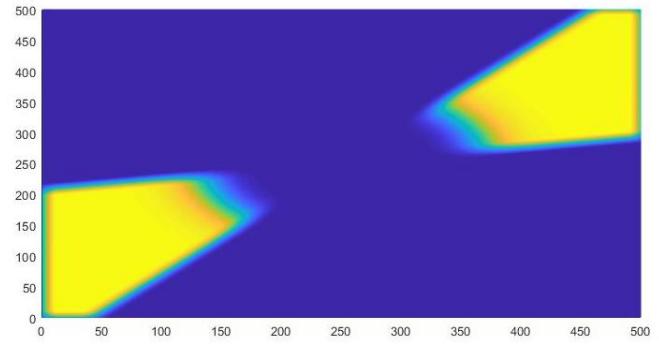
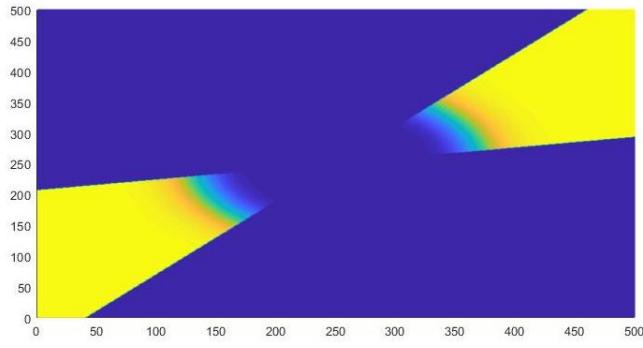


Εικόνα 4.9 Το εξομαλυμένο τελικό κατευθυντικό και το αρχικό Butterworth ζωνοπερατό φίλτρο. $D_{LOW}=50$ $D_{HIGH}=150$



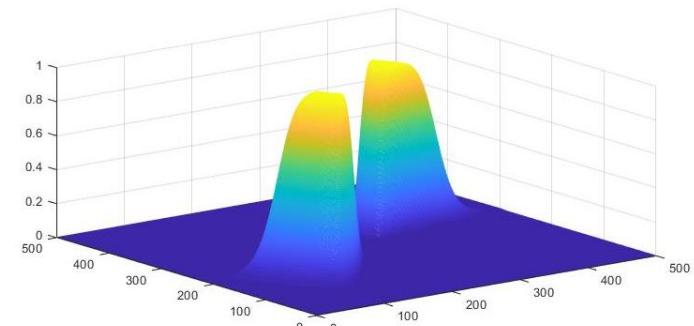
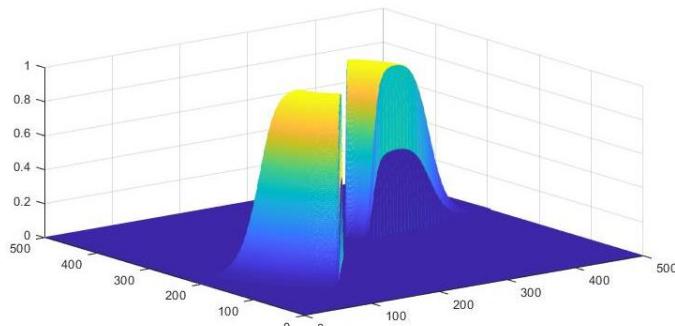
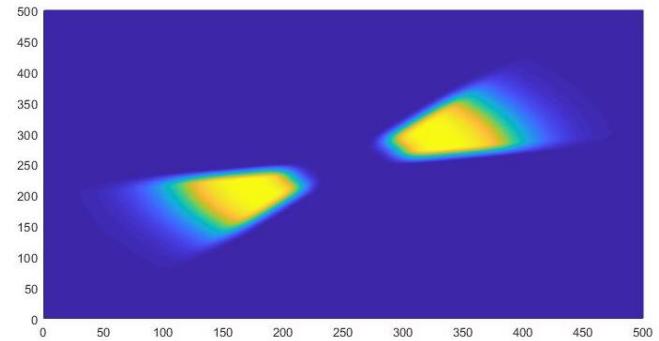
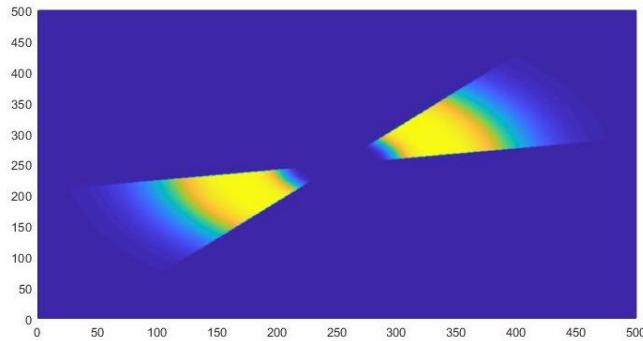
Εικόνα 4.10 Σύγκριση απλού κατευθυντικού χαμηλοπερατού φίλτρου Butterworth με αντίστοιχο εξομαλυμένο κατευθυντικό

Total vs Smooth Directional Butterworth High Pass Filter



Εικόνα 4.11 Σύγκριση απλού κατευθυντικού υψηπερατού φίλτρου Butterworth με αντίστοιχο εξομαλυμένο κατευθυντικό

Total vs Smooth Directional Butterworth Band Pass Filter



Εικόνα 4.12 Σύγκριση απλού κατευθυντικού ζωνοπερατού φίλτρου Butterworth με αντίστοιχο εξομαλυμένο κατευθυντικό