

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΙΛΤΡΩΝ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΙΚΟΝΑ*

Δ. ΒΑΪΟΠΟΥΛΟΣ¹, Γ. ΑΙΜ. ΣΚΙΑΝΗΣ¹, Β. ΤΣΑΡΜΠΟΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται το πώς επιδρούν στην ψηφιακή εικόνα τα παρακάτω φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων: Ιδανικό, Bartlett και Butterworth. Διαπιστώνεται, μετά από μαθηματική ανάλυση, ότι το φίλτρο Bartlett εξασθενίζει το σήμα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην ενδείκνυται για απομάκρυνση υψίσυχνου θορύβου. Το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth έχουν καλύτερα αποτελέσματα, ωστόσο το ιδανικό φίλτρο προκαλεί κυματοειδείς παραμορφώσεις στο σήμα. Η επίδραση των φίλτρων εξαρτάται και από τον τύπο του σήματος. Οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης επαληθεύονται με έλεγχο σε συνθετική εικόνα και σε εικόνα ραντάρ. Τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών.

ABSTRACT

Low-pass filters are generally used for the removal of high frequency noise from a digital image. However, larger targets in a digital image also contain higher frequencies and are severely affected by such filters. The scope of this paper is to examine how the Ideal, Bartlett and Butterworth low-pass filters affect a digital image.

First, we examine how the three filters affect a one-dimensional signal, either in the form of a rectangular pulse or a gaussian pulse and after numerical integration and subsequent graphing we reach the following results: All three filters diminish the brightness values of the image - the Bartlett filter by so much, as to make it unsuitable for low-pass image filtering. A smoother pulse will generally deteriorate more than a sharply defined one. The Butterworth filter is somewhat better, as it retains the form of the original signal, although the Ideal filter provides more amplified brightness values, in the case of rectangular pulses, something that can be attributed to the oscillatory nature of the derived signal (Gibbs phenomenon). For higher cut off frequencies both the Ideal and Butterworth filters seem to retain the form of the original pulse but for a lower cut off frequency the Butterworth filter is preferable.

All theoretical predictions that were derived from the one-dimensional models were tested on a synthetic, test image (a bright disk in a dark background). A low cut off frequency gives a smooth profile, using the Ideal filter and a higher cut off frequency retains the form of the original pulse better, with the added appearance of an oscillatory pattern (Gibbs phenomenon).

Although the two-dimensional results are in accordance with the predictions made from the one-dimensional tests, we decided to try the filters' response with a real, side-scan, radar image from a mountainous area, where there are dark tones (slopes in the radar's shadow), bright tones (slopes that directly reflect the radar beam) and fairly flat, gray-tone glaciers. From these tests we concluded the following :

The Bartlett filter once again proves to diminish the strength of the original signal by far too much and eliminates brightness differences, therefore it is probably unsuitable. Both the Butterworth filter and the Ideal filter give better results, although the glacier (a fairly smooth, low-brightness target) appears too dark (this seems to be a general effect of low pass filters on smooth, medium- to low-brightness targets - their brightness values diminish much more than in the case of strongly defined features). The Ideal filter still exhibits the Gibbs phenomenon, without deforming its basic characteristics too much, giving higher brightness values, while the Butterworth filter retains the form of the original signal better, giving lower brightness values.

The results and conclusions of this paper may be useful in processing digital satellite images and air photographs, in order to detect geological, geomorphological and other targets of interest.

* A COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF LOW-PASS FREQUENCY FILTERING ON A DIGITAL IMAGE

1 Αναστασίου Κεφαλάκης, Εργαστήριο Τηλεμετρίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημίου, Αθήνα 157 84.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεοφράστου" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Φίλτρο χαμηλής διέλευσης, ορθογώνιος παλμός, γκαουσιανό σήμα, ιδανικό φίλτρο, φίλτρο Butterworth, φίλτρο Bartlett, φαινόμενο Gibbs, συχνότητα αποκοπής.

KEY WORDS: Low pass filter, rectangular pulse, gaussian signal, ideal filter, Butterworth filter, Bartlett filter, Gibbs phenomenon, cut off frequency.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση συχνοτήτων μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με αντικείμενο την Τηλεανίχνευση (Al-Hinai et. al. 1991, Watson 1993). Ειδικά, για την απομάκρυνση του υψίσχου θορύβου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, που είναι ταχύτερα στην επεξεργασία από μίσκους στο χώρο της εικόνας με μέγεθος πάνω από 5x5 (Richards & Jia 1999). Ωστόσο, υψηλές συχνότητες περιέχουν και οι μεγάλων διαστάσεων στόχοι ενδιαφέροντος, τα χαρακτηριστικά των οποίων μπορούν να αλλοιωθούν σημαντικά, όταν εφαρμοστούν τέτοιου είδους φίλτρα στην εικόνα.

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται το τί παραμορφώσεις μπορούν να προζαλέσουν στην ψηφιακή εικόνα τα παρακάτω φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων: Ιδανικό, Bartlett και Butterworth. Στην αρχή, επιχειρείται μια μαθηματική ανάλυση της επίδρασης των φίλτρων αυτών σε ορθογώνιο παλμό και σε γκαουσιανό σήμα. Ο ορθογώνιος παλμός εξιτηρετεί στην αναπαράσταση μιας δομής με απότομα μεταβαλλόμενη φωτεινότητα στο περίγραμμά της. Ο γκαουσιανός παλμός, αναπαριστάνει μια δομή με μη καθορισμένο περίγραμμα και ομαλά μεταβαλλόμενη φωτεινότητα. Στη συνέχεια, οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης ελέγχονται σε συνθετική εικόνα και σε εικόνα θρανάρ, στην οποία απεικονίζεται μια περιοχή με παγετώνες.

Τα συμπεράσματα αυτής της συγκριτικής μελέτης μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών, για τον εντοπισμό στόχων γεωλογικού, γεωμορφολογικού, τοπογραφικού, ή άλλου ενδιαφέροντος.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην ενότητα αυτή μελετάται η επίδραση των φίλτρων Bartlett, Butterworth και Ιδανικού πάνω σε ορθογώνιο και σε γκαουσιανό παλμό, στη μια διάσταση. Τα πορίσματα της μαθηματικής ανάλυσης, μπορούν να αποτελέσουν τον οδηγό για πειραματισμό με ψηφιακές εικόνες.

Η εξίσωση για τον ορθογώνιο παλμό $rect(x)$ είναι:

$$rect(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq b \\ 0, & |x| > b \end{cases} \quad (1)$$

x είναι ανεξάρτητη μεταβλητή που εκφράζει το διάστημα, b είναι το ήμισυ εύρος του παλμού και είναι πάντα θετικό.

Η εξίσωση για το γκαουσιανό παλμό $g(x)$ είναι:

$$g(x) = \exp(-bx^2) \quad (2)$$

Εδώ, το b είναι μια θετική ποσότητα που διαμορφώνει το εύρος του σήματος.

Το ιδανικό φίλτρο $F_{ideal}(u)$ είναι (Gonzalez & Wintz 1987):

$$F_{ideal}(u) = \begin{cases} 1, & |u| \leq D_0 \\ 0, & |u| > D_0 \end{cases} \quad (3)$$

u είναι η χωρική συχνότητα (κυματάριθμος), D_0 είναι η συχνότητα αποκοπής.

Η μαθηματική έκφραση για το φίλτρο Bartlett $F_{Bartlett}(u)$, είναι, με βάση τους Schrader & Pouncey 1997, η παρακάτω:

$$F_{Bartlett}(u) = \begin{cases} 1 - (|u|/D_0), & |u| \leq D_0 \\ 0, & |u| > D_0 \end{cases} \quad (4)$$

Το πρώτης τάξης φίλτρο Butterworth $F_{Butter}(u)$ είναι (Gonzalez & Wintz 1987):

$$F_{Butter}(u) = [1 + (u/D_0)^2]^{-1/2} \quad (5)$$

Η επίδραση του ιδανικού φίλτρου, καθώς και των φίλτρων Butterworth και Bartlett πάνω στον ορθογώνιο Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

παλιμό και στο γκαουσιανό σήμα, μπορεί να εκφραστεί ως συνέλιξη μεταξύ φίλτρου και σήματος. Με βάση τις σχέσεις (1) ως (5) και αξιοποιώντας τις ιδιότητες του μετασχηματισμού Fourier και το θεώρημα της συνέλιξης (Gonzalez & Wintz 1987, Jensen 1996), συνάγονται οι παρακάτω σχέσεις:

$$[f_{\text{ideal}} * \text{rect}](x) = \frac{2}{\pi} \int_0^{D_0} \frac{\sin(bu)}{u} \cdot \cos(ux) du \quad (6)$$

για την επίδραση του ιδανικού φίλτρου στον ορθογώνιο παλιμό. $f_{\text{ideal}}(x)$ είναι το ιδανικό φίλτρο στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{\text{ideal}} * g](x) = \frac{1}{2} \int_0^{D_0} \frac{\exp(-u^2/4b)}{b} \cdot \cos(ux) du \quad (7)$$

για την επίδραση του ιδανικού φίλτρου στο γκαουσιανό σήμα.

$$[f_{\text{Bartlett}} * \text{rect}](x) = \frac{2}{\pi^{3/2}} \left\{ \int_0^{D_0} \frac{\sin(bu)}{u} \cdot \cos(ux) du - (1/D_0) \int_0^{D_0} \sin(bu) \cos(ux) du \right\} \quad (8)$$

για την επίδραση του φίλτρου Bartlett στον ορθογώνιο παλιμό. $f_{\text{Bartlett}}(x)$ είναι το φίλτρο Bartlett στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{\text{Bartlett}} * g](x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi b}} \left\{ \int_0^{D_0} \exp(-u^2/4b) \cos(ux) du - (1/D_0) \int_0^{D_0} u \cdot \exp(-u^2/4b) \cos(ux) du \right\} \quad (9)$$

για την επίδραση του φίλτρου Bartlett στο γκαουσιανό σήμα.

$$[f_{\text{Butter}} * \text{rect}](x) = (2/\pi) \int_0^{\infty} \frac{\sin(bu)}{u \sqrt{1 + (u/D_0)^2}} \cdot \cos(ux) du \quad (10)$$

για την επίδραση του φίλτρου Butterworth στον ορθογώνιο παλιμό. $f_{\text{Butter}}(x)$ είναι το φίλτρο Butterworth στο χώρο των διαστημάτων.

$$[f_{\text{Butter}} * g](x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi b}} \int_0^{\infty} \frac{\exp(-u^2/4b)}{\sqrt{1 + (u/D_0)^2}} \cdot \cos(ux) du \quad (11)$$

για την επίδραση του φίλτρου Butterworth στο γκαουσιανό σήμα.

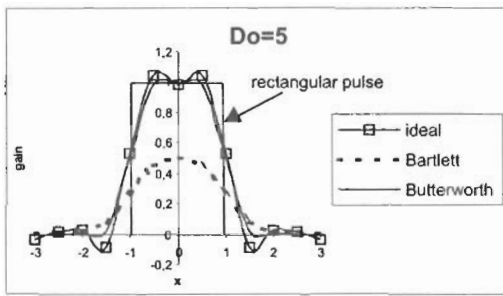
Τα ολοκληρώματα των σχέσεων (6) ως (11) υπολογίστηκαν αριθμητικά, για διάφορες τιμές των x και D_0 , θέτοντας:

$$b = 1 \quad (12)$$

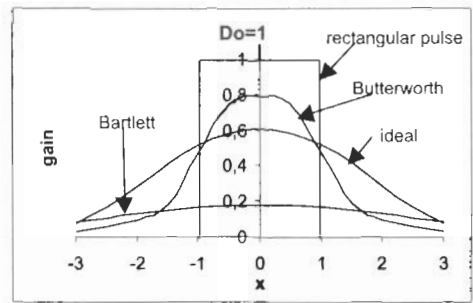
Οι αριθμητικές ολοκληρώσεις, πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Scientific Workplace και, στη συνέχεια, έγιναν γραφικές παραστάσεις που εξυπηρετούν στο να σχηματίσει κανείς μια διαυγέστερη εικόνα για την επίδραση των διαφόρων φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε σήμα.

Στο (σχ. 1), εμφανίζεται η επίδραση των τριών φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλιμό, για σχετικά υψηλή συχνότητα αποκοπής. Είναι φανερό ότι το φίλτρο Bartlett εξασθενίζει σε μεγάλο βαθμό το αρχικό σήμα, ενώ τα φίλτρα ιδανικό και Butterworth το εξομαλύνουν χωρίς να μειώσουν το πλάτος του. Οι σχηματισμοί, που παρατηρούνται στην επίδραση του ιδεατού φίλτρου, είναι γνωστοί από τη βιβλιογραφία ως «φαινόμενο Gibbs» (Papoulis 1962) και οφείλονται στην ασυνέχεια στη συμπεριφορά του ορθογώνιου παλιμού. Λόγω του φαινομένου Gibbs, το ιδεατό φίλτρο λειτουργεί ενισχυτικά πάνω στον ορθογώνιο παλιμό, όπως φαίνεται στο (σχ. 1). Για τη συγκεκριμένη συχνότητα αποκοπής, υπάρχει ένα τοπικό ελάχιστο στη θέση $x=0$, όμως σε άλλες περιπτώσεις το φιλτραρισμένο σήμα έχει τη μέγιστη τιμή στη συγκεκριμένη θέση.

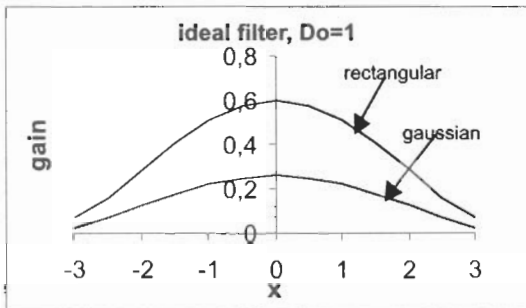
Στο (σχ. 2), παρουσιάζεται η επίδραση των τριών φίλτρων χαμηλής διέλευσης πάνω στον ορθογώνιο παλιμό για χαμηλή συχνότητα αποκοπής. Και τα τρία φίλτρα μειώνουν σημαντικά το πλάτος του παλιμού, όμως το φίλτρο Bartlett ουσιαστικά μηδενίζει τον παλιμό. Το φίλτρο Butterworth διατηρεί σε κάποιο βαθμό το περιγράμμα του παλιμού.



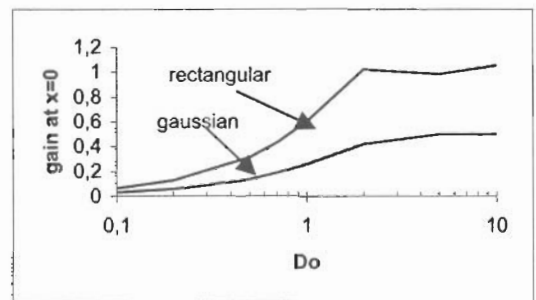
Σχ. 1. Επίδραση των φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλμό για υψηλή συχνότητα αποκοπής.
Fig. 1. The effect of low pass filtering on a rectangular pulse, with a high cut off frequency.



Σχ. 2. Επίδραση των φίλτρων χαμηλής διέλευσης σε ορθογώνιο παλμό για χαμηλή συχνότητα αποκοπής.
Fig. 2. The effect of low pass filtering on a rectangular pulse, with a low cut off frequency.



Σχ.3. Επίδραση ιδεατού φίλτρου σε ορθογώνιο παλμό και σε γκαουσιανό σήμα με κοινό πλάτος, ίσο με τη μονάδα.
Fig.3. The effect of the ideal filter on a rectangular and on a gaussian pulse, with a common amplitude equal to one.



Σχ.4. Μεταβολή του πλάτους του ορθογώνιου και του γκαουσιανού παλμού για $x=0$, λόγω της επίδρασης ιδεατού φίλτρου, ως προς τη συχνότητα αποκοπής.
Fig.4. Amplitude variation of filtered rectangular and gaussian signals, at $x=0$, against cut off frequency. The two signals are filtered by the same ideal filter.

Το γκαουσιανό σήμα αποδυναμώνεται περισσότερο από τον ορθογώνιο παλμό, όταν εφαρμοστεί το ίδιο φίλτρο χαμηλής διέλευσης, όπως φαίνεται στο (σχ. 3). Στο σχήμα αυτό αναπαριστάνεται η επίδραση ιδεατού φίλτρου, όμως η ίδια παρατήρηση ισχύει και για την επίδραση φίλτρου Butterworth ή φίλτρου Bartlett. Το ιδεατό φίλτρο δεν προκαλεί κυματισμό (φαινόμενο Gibbs) στο γκαουσιανό σήμα, ακόμα και αν η συχνότητα αποκοπής είναι σχετικά μεγάλη.

Παρουσιάζει ενδιαφέρον η ποσοτική εκτίμηση της εξασθένησης του πλάτους του σήματος για διάφορες συχνότητες αποκοπής D_c και για το σκοπό αυτό έγινε μια γραφική παράσταση της ενίσχυσης του σήματος για $x=0$, για διάφορες συχνότητες αποκοπής. Για $x=0$, έχουμε σχεδόν μέγιστο πλάτος στο φιλτραρισμένο σήμα (στον ορθογώνιο παλμό η μέγιστη τιμή μπορεί να είναι κάπως μετατοπισμένη, λόγω του φαινομένου Gibbs). Η γραφική παράσταση παρουσιάζεται στο (σχ. 4). Παρατηρούμε ότι στις μικρές συχνότητες αποκοπής, το φιλτραρισμένο σήμα εξασθενεί σημαντικά, και στους δυο παλμούς. Από την άλλη πλευρά, στις μεγάλες συχνότητες αποκοπής, ο μέν φιλτραρισμένος ορθογώνιος παλμός αποτρά, ουσιαστικά, το πλάτος του αρχικού σήματος (εξασθένηση μηδέν), ή και ενισχύεται κάπως, ο δε φιλτραρισμένος γκαουσιανός παλμός παραμένει σημαντικά εξασθενημένος, με πλάτος που δεν υπερβαίνει το 50% του πλάτους του αρχικού παλμού. Ανάλογες παρατηρήσεις, ως προς το πλάτος των φιλτραρισμένων παλμών, μπορούν να γίνουν και για τα φίλτρα Bartlett και Butterworth.

Η διαφοροποιημένη αυτή επίδραση των φίλτρων διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων σε ορθογώνιο παλμό (δομή με απότομα μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ως προς τον περίγυρο) και σε γκαουσιανό παλμό (δομή με ομαλά μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ως προς τον περίγυρο) μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες ως προς την αντίθεση φωτεινότητας φιλτραρισμένων ψηφιακών εικόνων. Μια σχετικά φωτεινή δομή στην αρχική εικόνα, μπορεί να παρουσιάσει σημαντική εξασθένηση μετά από τη φιλτράριση με φίλτρο χαμηλής διέλευσης. Η δομή που η φωτεινότητά της

μεταβάλλεται απότομα ως προς τον περίγυρό της.

Διατυπώνοντας συνοπτικά τα συμπεράσματα από την παραπάνω μαθηματική ανάλυση, επισημαίνουμε ότι και τα τρία φίλτρα, και ιδίως το φίλτρο Bartlett, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη φωτεινότητα του στόχου ενδιαφέροντος, κυρίως αν αυτή μεταβάλλεται ομαλά με τη θέση (γκραουσιανό σήμα). Στις σχετικά μεγάλες συχνότητες αποκοπής, το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth διατηρούν το πλάτος και το περίγραμμα του σήματος. Στις σχετικά χαμηλότερες συχνότητες, φαίνεται να παρουσιάζει το φίλτρο Butterworth ένα συγχροτικό πλεονέκτημα, όσον αφορά στη διατήρηση του περιγράμματος του αρχικού σήματος.

Οι προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης, ελέγχθηκαν με συνθετικές εικόνες και με εικόνες ραντάου.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ

Οι θεωρητικές προβλέψεις με τα μονοδιάστατα μοντέλα δοκιμάστηκαν, στις δυο διαστάσεις, στην παρακάτω εικόνα, που σχηματίστηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Photoshop, στη συνέχεια μετατράπηκε σε αρχείο .img και ως τέτοια πλέστη επεξεργασία από το λογισμικό ERDAS.

Στο (σχ. 5) παρουσιάζεται η συνθετική εικόνα με το φωτεινό δίσκο και στο (σχ. 6) μια τομή που διασχίζει το δίσκο.

Σχ. 5. Συνθετική εικόνα.

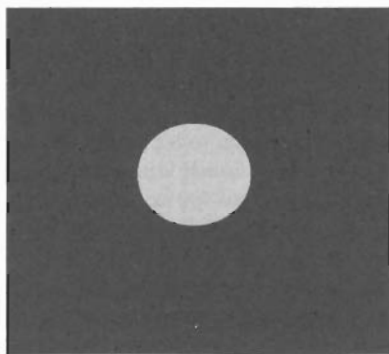


Fig. 5. A synthetic image.

Σχ.6. Τιμές φωτεινότητας εικονοστοιχείου κατά μήκος τομής που διασχίζει το φωτεινό δίσκο της συνθετικής εικόνας.

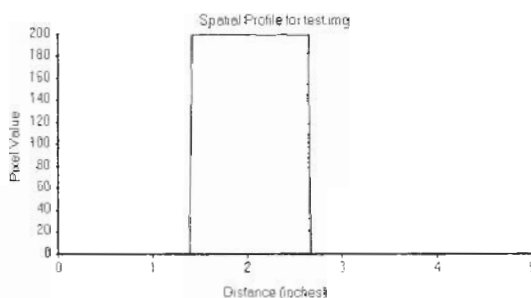
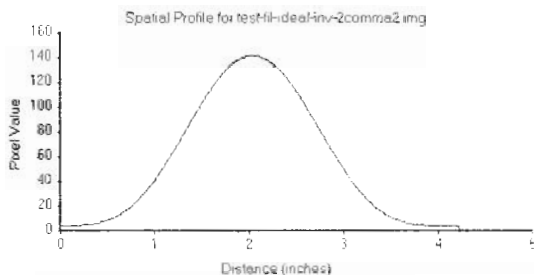


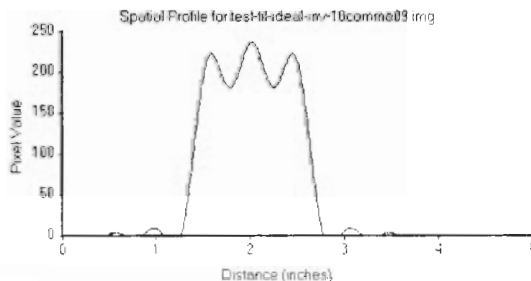
Fig. 6. Pixel Brightness Values along a profile crossing the bright disk of the synthetic image.

Στη συνθετική εικόνα εφαρμόστηκε ιδανικό φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, με συχνότητα αποκοπής $D_0 = 1/b$ (b η ακτίνα του κυλινδρικού δίσκου). Η εικόνα που προέκυψε ήταν πιο θαμπή και με φθίνουσα φωτεινότητα από το κέντρο του δίσκου προς την περιφέρεια. Στο (σχ. 7), παρουσιάζεται τομή της φιλτραρισμένης εικόνας, όπου όμως τώρα η φωτεινότητα έχει μια ομαλή συμπεριφορά και μειωμένο πλάτος, σύμφωνα με τις θεωρητικές προβλέψεις της μαθηματικής ανάλυσης.



Σχ. 7. Τομή που προκύπτει από επεξεργασία της συνθετικής εικόνας με ιδανικό φίλτρο και χαμηλή συχνότητα αποκοπής.

Fig. 7. A profile of the processed synthetic image by the ideal filter with a low cut off frequency.



Σχ. 8. Τομή που προκύπτει από επεξεργασία της συνθετικής εικόνας με ιδανικό φίλτρο και υψηλή συχνότητα αποκοπής.

Fig. 8. A profile of the processed synthetic image by the ideal filter with a high cut off frequency.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στη συνθετική εικόνα ιδανικό φίλτρο με σχετικά υψηλή συχνότητα αποκοπής (πενταπλάσια από την προηγούμενη) και προέκυψε η τομή του (σχ. 8). Μπορεί κανείς να παρατηρήσει, ότι το πλάτος του σήματος είναι κατά βάση ίδιο με αυτό της αρχικής εικόνας και κατά τι μεγαλύτερο σε ορισμένες θέσεις. Οι επί μέρους διακυμάνσεις της φωτεινότητας, σφαιλονται στο φαινόμενο Gibbs.

Γενικά, ο πειραματισμός με τη συνθετική εικόνα έδωσε αποτελέσματα που βρίσκονται σε συμφωνία με τις θεωρητικές προβλέψεις, όχι μόνο ως προς την επίδραση του ιδανικού φίλτρου, αλλά και ως προς την επίδραση των φίλτρων Butterworth και Bartlett. Είναι όμως σημαντικό να δοκιμάσει κανείς την ισχύ της μαθηματικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε πραγματικά δεδομένα.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΙΚΟΝΑ PANTAP

Στις εικόνες που λαμβάνονται από το φυσικό κόσμο, οι απεικονιζόμενοι στόχοι δε διαθέτουν την απλότητα και την κανονικότητα ενός μαθηματικού μοντέλου. Με τη μαθηματική όμως ανάλυση, μπορούν να διατυπωθούν προβλέψεις που να ανταποκρίνονται, σε ορισμένο βαθμό, στην πραγματικότητα. Εξάλλου, ο απαγωγικός συλλογισμός μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα με ευρύτερο πεδίο αναφοράς από όσο η εμπειρική μελέτη ενός συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων. Για αυτούς τους λόγους, πιστεύουμε πως έχει ενδιαφέρον η σύγκριση των προβλέψεων που απορρέουν από τη μαθηματική ανάλυση, με πραγματικά δεδομένα, ώστε να ελεγχθούν οι θεωρητικές προβλέψεις και να συναχθούν αξιόπιστα, κατά το δυνατόν, συμπεράσματα.

Στην εικόνα του (σχ. 9), που έχει ληφθεί από ραντάρ πλευρικής σάρωσης, μπορεί κανείς να δει τις κλιτύς μιας ορεινής περιοχής πάνω στις οποίες προσπίπτει η μικροκυματική ακτινοβολία. Οι κλιτύς αυτές έχουν έντονη φωτεινότητα. Εμφανίζονται επίσης και περιοχές σχετικά χαμηλής φωτεινότητας, με γκριζους τόνους, που αντιστοιχούν σε παγετώνες.

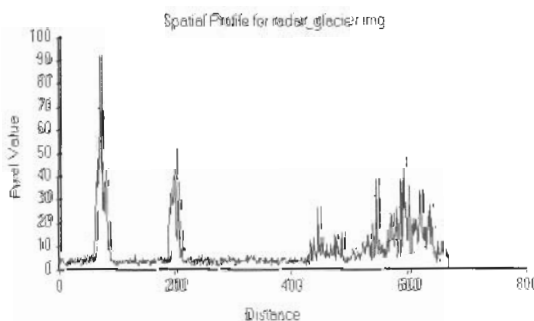
Στην τομή από την εικόνα ραντάρ (σχ. 10), διακρίνονται δυο περιοχές με απότομες μεταβολές φωτεινότητας, που αντιστοιχούν σε κλιτύς που εκτίθενται στην ακτινοβολία του ραντάρ, καθώς και μια ομαλότερα μεταβαλλόμενη περιοχή τιμών φωτεινότητας με μικρότερο πλάτος (στο διάστημα από 400 ως 500 μονάδες απόστασης στην κλίμακα της αποτύπωσης στην οθόνη του υπολογιστή), που αντιστοιχεί σε παγετώνα.

Στην εικόνα ραντάρ εφαρμόστηκαν τα φίλτρα ιδανικό, Bartlett και Butterworth, αξιοποιώντας το λογισμικό ERDAS και επιλέγοντας συχνότητα αποκοπής ίση με 50. Η τομή του (σχ. 11) αντιστοιχεί σε αυτήν του (σχ. 10) και προκύπτει από την εφαρμογή του ιδανικού φίλτρου στην εικόνα του ραντάρ. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη φωτεινότητας του (σχ. 11) έχει εξομαλυνθεί σε σχέση με αυτήν του (σχ. 10) και οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται μειωμένες. Η εξασθένηση είναι πιο έντονη στην περιοχή τιμών φωτεινότητας του παγετώνα, καθώς η περιοχή αυτή, στην τομή της αρχικής εικόνας (σχ. 9), παρουσιάζει μια πιο ομαλή («γκαουσιανή») συμπεριφορά σε σχέση με τις άλλες περιοχές τοπικού μεγίστου.



Σχ. 9. Εικόνα ραντάρ πλευρικής σάρωσης από περιοχή με παγετώνες (γκριζοί τόνοι).

Fig. 9. An image of an area covered with glaciers (gray tones), obtained by a side scanning radar.



Σχ. 10. Τομή της εικόνας ραντάρ. Η περιοχή από 400 ως 500 μονάδες απόστασης αντιστοιχεί σε παγετώνα.

Fig. 10. A profile of the radar image. The area between 400 and 500 distance units corresponds to a glacier.

Σχ. 11. Εφαρμογή ιδανικού φίλτρου στην εικόνα ραντάρ.

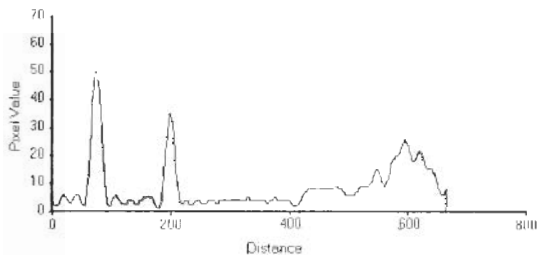


Fig. 11. Application of the ideal filter on the radar image.

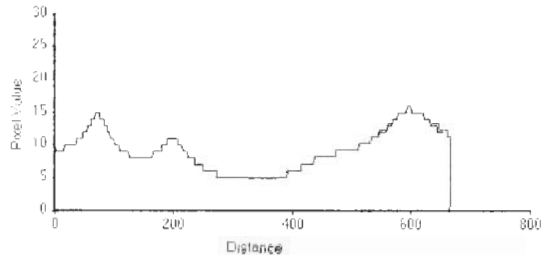


Fig. 12. Application of the Bartlett filter on the radar image.

Σχ. 12. Εφαρμογή φίλτρου Bartlett στην εικόνα ραντάρ.

Σχ. 13. Εφαρμογή φίλτρου Butterworth στην εικόνα ραντάρ.

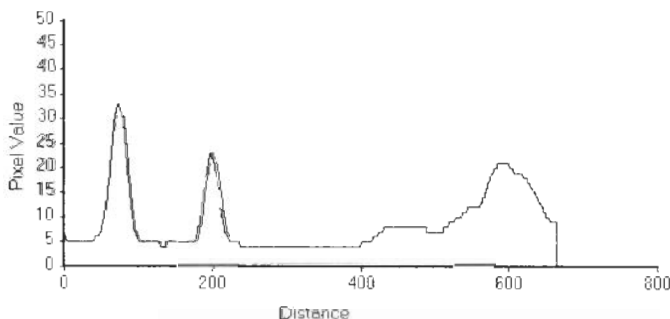


Fig. 13. Application of a Butterworth filter on the radar image.

Η τομή του (σχ. 12) προκύπτει από την εφαρμογή του φίλτρου Bartlett στην αρχική εικόνα. Εδώ, η εξασθένηση είναι μεγάλη, και για τις τρεις περιοχές τιμών φωτεινότητας, όπως εξάλλου έδειξε και η μαθηματική ανάλυση.

Η τομή του (σχ. 13) προκύπτει από επεξεργασία της εικόνας ραντάρ με φίλτρο Butterworth. Εδώ, η εξασθένηση είναι σαφώς μικρότερη από όσο στην τομή που αντιστοιχεί στο φίλτρο Bartlett, όμως τα πλάτη των περιοχών που αντιστοιχούν στις κλιτύς είναι μικρότερα από αυτά της τομής που προκύπτει από το ιδανικό φίλτρο. Φαίνεται πως στην περίπτωση του ιδανικού φίλτρου, το φαινόμενο Gibbs συνέβαλε σε μια σχετική αύξηση των πλατών της τομής.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εφαρμογή φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων σε ψηφιακή εικόνα, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το πλάτος του σήματος που αντιστοιχεί σε στόχο ενδιαφέροντος. Αυτή η εξασθένηση, που εξαρτάται από τον τύπο του σήματος, μπορεί να προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στην αντίθεση φωτεινότητας. Στόχοι που στην πρωτογενή εικόνα αποτυπώνονται με σχετικά μεγαλύτερη φωτεινότητα ως προς άλλους στόχους, μπορούν, μετά το φιλτράρισμα, να αποτυπωθούν με σχετικά μικρότερη φωτεινότητα. Αν, στην επεξεργασμένη εικόνα, πρόκειται να γίνει άμεση οπτική ερμηνεία, αυτό ίσως να μην είναι σοβαρό πρόβλημα, στο βαθμό που αναγνωρίζονται, με ποιοτικούς όρους, οι στόχοι ενδιαφέροντος. Αν όμως οι τιμές φωτεινότητας της επεξεργασμένης εικόνας συνδυαστούν με τα δεδομένα άλλων εικόνων, με σκοπό να σχηματιστούν λόγοι φασματικών ζωνών ή να εφαρμοστούν αλγόριθμοι πολυφασματικής ταξινόμησης, τότε μπορούν να υφιστάσθουν σφάλματα κατά την ψηφιακή ανάλυση και ερμηνεία του τελικού προϊόντος. Τέτοια σφάλματα μπορούν να αποφευχθούν, αν, μετά την εφαρμογή του φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, εξεταστούν οι λόγοι φωτεινότητας μεταξύ των διαφόρων στόχων. Αν οι λόγοι δε διαφέρουν πολύ από τους αντίστοιχους της αρχικής εικόνας, τότε μπορεί να εκτιμηθεί ότι η αρχική εικόνα δεν έχει αλλοιωθεί σημαντικά. Στην αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να μεταβληθεί η συχνότητα αποκοπής για να αποφευχθούν ή να περιοριστούν τέτοιου είδους σφάλματα. Με διάφορες δοκιμές, μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη συχνότητα αποκοπής, ώστε και ο υψίσυχνος θόρυβος να απομακρυνθεί και να μη χαθεί πληροφορία ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος", Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Από τα τρία φίλτρα που μελετήθηκαν (ιδανικό, Bartlett και Butterworth), διαπιστώθηκε ότι το φίλτρο Bartlett προκαλεί τη μεγαλύτερη εξασθένηση στο σήμα, με αποτέλεσμα να γίνονται δυσδιάκριτοι οι στόχοι ενδιαφέροντος. Για το λόγο αυτό, εκτιμούμε πως δεν προσφέρεται για την απομάκρυνση του υψίσυχνου θορύβου. Το ιδανικό φίλτρο και το φίλτρο Butterworth, έχουν καλύτερα αποτελέσματα, καθώς δεν προκαλούν τόσο μεγάλες εξασθενήσεις. Στην περίπτωση του ιδανικού φίλτρου, εκδηλώνεται το φαινόμενο Gibbs, που προκαλεί κάποιες παραμορφώσεις στο σήμα, χωρίς όμως να αλλοιώνει τα βασικά του χαρακτηριστικά, όταν η συχνότητα αποκοπής είναι σχετικά υψηλή. Οι στρεβλώσεις αυτές, μπορούν μάλιστα να συμβάλουν στο να εκδηλωθεί με μεγαλύτερη ευκρίνεια ο στόχος ενδιαφέροντος. Τέλος, το φίλτρο Butterworth φαίνεται να διατηρεί το περιγράμμα του αρχικού στόχου, χωρίς σημαντικές στρεβλώσεις.

Τα πορίσματα της εργασίας αυτής, μπορούν να αξιοποιηθούν στην επεξεργασία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και εικόνων ραντάρ, με σκοπό την αναγνώριση γεωλογικών, γεομορφολογικών, τοπογραφικών και άλλων στόχων ενδιαφέροντος. Με μια κατάλληλη επιλογή της συχνότητας αποκοπής, μπορούν να εκφραστούν ευκρινέστερα (απαλλαγμένες από υψίσυχνο θόρυβο) εκτεταμένες γεωλογικές δομές όπως πτυχές, επαφές, λιθολογικές ενότητες και πιθανώς ζώνες εξαιλλοίωσης αν έχουν ικανοποιητική έκταση. Επιλέγοντας μια βέλτιστη συχνότητα αποκοπής μπορεί να αποφευχθεί σοβαρή αλλοίωση της φωτεινότητας των γεωλογικών ή εδαφολογικών στόχων που εμφανίζονται στην εικόνα και σαν αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί μια πιο αξιόπιστη ταξινόμησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AL-HINAI, K.G., KHAN, M.A. & CANAS, A.A., 1991: Enhancement of Sand Dune Texture from Landsat Imagery Using Difference of Gaussian Filter. *International Journal of Remote Sensing* 12, 1063-1069.
- GONZALEZ, R.C. & WINTZ, P., 1987: *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- JENSEN, J. R., 1996: *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, New Jersey.
- PAPOULIS, A., 1962: *The Fourier Integral and its applications*. McGraw-Hill, New York.
- RICHARDS, J.A. & JIA, X., 1999: *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer, Berlin.
- SCHRADER, S. & POUNCEY, R., 1997: *ERDAS Field Guide*. ERDAS, Inc. Atlanta.
- WATSON, K., 1993: Processing Remote Sensing Images Using the 2-D FFT – Noise Reduction and Other Applications. *Geophysics* 58(6), 835-852.