

Metode neconvenționale de teledetecție pentru generarea MNT

Valentin Donisă *

De o deosebită importanță în vederea creării și exploatării Sistemelor Informaționale Geografice s-a dovedit a fi modelul numeric al altitudinii terenului (MNAT), a cărui existență condiționează, de multe ori, posibilitatea construirii SIG pentru scopul prevăzut. De aceea, în ultima perioadă s-a depus un efort deosebit în vederea automatizării și măririi preciziei și randamentului mijloacelor și tehnicilor de fotogrammetrie destinate determinării MNAT.

În mod tradițional, fotogrammetria a utilizat imagini fotografice, principiul de măsură fiind bazat pe exploatarea modelului stereoscopic. Pentru aceasta, se utilizează două imagini ale aceluiași teritoriu, preluate din două puncte diferite.

Exploatarea modelelor stereoscopice, cu efectuarea măsurătorilor planimetrice și altimetrice, se poate face cu diverse grade de precizie, funcție de procedeele și aparatura utilizată. Primele modele de aparate de restituție s-au bazat pe capacitatea operatorului uman de a percepe imagini în relief, plecând de la un cuplu stereoscopic de imagini. Astfel de aparate permit observarea simultană a celor două fotograme care fac parte dintr-un cuplu stereoscopic, cu obținerea modelului stereoscopic virtual și explorarea lui cu ajutorul unei „mărci” (un semn virtual). Unele aparate de restituție s-au bazat pe principii *analogice*, mecanice sau opto-mecanice, cu transmiterea către un sistem de pârghii a mișcărilor mărcii, și înregistrarea lor pe hârtie prin intermediul unui pantograf sau coordonatograf. Aparatele de restituție *analitice* (ale căror principii au fost formulate în 1957 de către U.W. Helava, primele aparate fiind construite în 1961 de firma italiană OMI) se bazează pe un principiu similar, cu diferența că succesiunea de coordonate ale punctelor prin care trece marca este înregistrată ca atare, în formă numerică.

Aceste tipuri de aparate apelează, pentru determinarea altitudinii punctelor, la măsurarea diferenței de parallaxă, cu ajutorul mărcii. Suprapunerea acesteia, de către operator, pe un detaliu din imaginea terenului, constă, de fapt, în poziționarea a două repere pe punctele analoage din cele două imagini ce formează cuplul stereoscopic. Rolul principal al operatorului, în această situație, este cel de a realiza suprapunerea cât mai exactă a reperelor pe punctele analoage ce reprezintă detaliile investigate. În vederea măririi preciziei și randamentului de lucru, primele perfecționări aduse aparatelor de restituție au constat în introducerea unor module care să amelioreze

percepția operatorului, oferindu-i posibilitatea unui control cât mai riguros privind corectitudinea suprapunerii mărcii pe detaliile terenului. S-a renunțat astfel la sistemul mecanic de poziționare a mărcii, și a fost înlocuit de unul comandat de calculator, ce permite injecția unei imagini de sinteză peste cea provenind de la cuplul stereoscopic. Operatorul poate vizualiza simultan atât modelul stereoscopic, cât și modelul produs de punctele deja determinate. Eventualele erori sunt ușor de identificat și corectat, crescând astfel precizia și viteza de lucru.

Dezvoltarea tehnicii de calcul a permis și abordarea problemei celei mai importante: automatizarea procesului de identificare a punctelor analoage. În acest fel, se elimină factorul uman tocmai din operațiile repetitive și critice din punct de vedere al preciziei. Imaginile sunt transformate în formă numerică, cu ajutorul unui dispozitiv de tip scanner, și prelucrate, în continuare, pe calculator. Fluxul operațiilor, pentru determinarea MNAT, este următorul: aplicarea corecțiilor geometrice; reeșantionarea celor două imagini pentru a fi aduse în cazul fotogrammetric normal, imaginile obținute având liniile epipolare paralele; determinarea, de-a lungul liniilor imaginilor, a punctelor corespondente; calcularea diferenței de paralaxă pentru punctele analoage determinate la pasul precedent; determinarea altitudinii punctelor pe baza diferenței de paralaxă.

Etapă critică este cea de determinare a punctelor analoage. De obicei, această determinare se face utilizând un „model”, constituit din pixelii dintr-o fereastră din una din imagini, și căutarea, pe bază de corelație, a poziției ferestrei în cealaltă imagine, pentru obținerea unui maxim al asemănării. S-ar obține astfel, în final, altitudinea pentru fiecare pixel din imagine, adică tocmai MNAT, fără a se trece prin etape de interpolare, ca în situația clasică în care altitudinea este determinată doar pentru un număr redus de puncte (de-a lungul curbilor de nivel). Din păcate, procedeul dă rezultate slabe în cazul imaginilor cu contrast redus, sau cu zone întinse, omogene. Numărul de erori (identificări incorecte ale punctelor analoage) este ridicat, iar corectarea (ce se face manual) conduce la un timp de lucru foarte lung.

În astfel de situații (lipsa punctelor de contrast pe imagini), se impune utilizarea tehnicilor de teledetecție activă. Acestea se bazează fie pe măsurarea distanțelor de la sensor la punctele din terenul explorat (mijloace radar), fie pe crearea artificială a punctelor de contrast, pe parcursul preluării imaginilor (baleiere cu fascicul laser).

Mijloacele radar sunt utilizate, cu rezultate bune, prin aplicarea tehnicilor de interferometrie. De obicei, pe aceeași platformă de teledetecție sunt amplasate două antene, cu geometrie predeterminată. Sunt preluate astfel perechi de imagini, la care se urmărește, în primul rând, faza semnalului radar recepționat și nu amplitudinea sa. Prin prelucrarea celor două imagini se produce o nouă imagine, ce reprezintă diferența de fază între semnalul recepționat de la același punct din teren de către cele două antene. Această diferență permite determinarea exactă a distanței de la sensori la un punct din imagine, distanță care, la rândul ei, permite calcularea altitudinii punctului.

Metodele ce apelează la baleierea cu fascicul laser necesită un echipament simplu și oferă o bună precizie.

Una din tehnicile utilizate se bazează pe explorarea terenului cu un fascicul laser ce proiectează o linie luminoasă (prin baleiere sau prin trecerea fasciculului printr-o lentilă semicilindrică) pe suprafața obiectelor studiate. Astfel, pe imaginile preluate apar puncte de contrast, datorate iluminării artificiale, de-a lungul intersecției planului fasciculului cu suprafața terenului.

În continuare prezentăm rezultatele obținute în cadrul unui proiect de cercetare, la care am participat, la Institutului de Fotogrammetrie și Teledetecție de la Universitatea Tehnică din Helsinki. Proiectul a fost inițiat ca urmare a necesităților Institutului de Cercetări Marine al Finlandei, privind studierea distribuției, formei și dimensiunilor fragmentelor de gheață pe suprafața Mării Baltice. Tehnicile convenționale de stereofotogrammetrie au dat rezultate nesatisfăcătoare, din cauza contrastului scăzut pe suprafața gheții. De aceea a fost necesar să se recurgă la mijloace de teledetecție activă. O primă încercare s-a făcut cu ajutorul unui radar cu deschidere sintetică aeropurtat. Metoda a fost abandonată datorită prezenței unui zgomot exagerat pe imagini, determinat de multitudinea fațetelor cristalelor de gheață cu orientare diversă.

Rezultate satisfăcătoare s-au obținut prin profilometrie laser, deși și aici au apărut probleme similare cu cele din cazul utilizării radarului. Au fost încercate, succesiv, două abordări. Prima a constat în utilizarea tehnicilor de stereofotogrammetrie clasică, fasciculul laser fiind utilizat exclusiv pentru crearea artificială a punctelor de contrast pe suprafața studiată. Acest mod de abordare a necesitat, în etapa de prelucrare a imaginilor, un volum de calcul similar cu cel din cazul fotogrammetriei convenționale. Ulterior, s-a renunțat la utilizarea a două camere de luat vederi, întrucât, pe baza geometriei ansamblului laser - cameră video pot fi determinate coordonatele punctelor iluminate utilizând o singură imagine. Metoda s-a dovedit a fi mai avantajoasă, reducând la jumătate numărul de imagini utilizate și permițând utilizarea unor algoritmi mai simpli și reducerea volumului de calcul.

Dispozitivul laser utilizat a fost montat solidar cu camera de luat vederi, astfel încât planul format de fasciculul laser să fie perpendicular pe planul imaginii formate de camera de luat vederi, pe care să-l intersecteze după o dreaptă paralelă cu axa Oy a imaginii. De asemenea, ansamblul se reglează astfel încât axa optică a obiectivului să formeze cu proiecția sa pe planul fasciculelor laser, un unghi $\alpha \neq 0^\circ$, cunoscut. În acest caz, pe imagine linia luminoasă va apare întotdeauna lateral, mai aproape sau mai departe de centrul imaginii, funcție de distanța până la obiectul iluminat în punctul respectiv (Fig. 1).

Pentru simplitate, vom presupune că planul imaginii preluate este orizontal (ceea ce în realitate nu e întotdeauna adevărat, însă corecția se face simplu, pe baza parametrilor de zbor, ce sunt în permanență înregistrați, și din care fac parte și

unghiurile de înclinare ale mijlocului de zbor față de orizontală). Datele cunoscute sunt distanța focală f a obiectivului, altitudinea de zbor absolută H , unghiul α și distanța l între focarul obiectivului și punctul de plecare al fascicului laser. De asemenea, pe imagine se măsoară coordonatele x și y ale punctelor luminoase, rezultate din intersecția fascicului laser cu suprafața terenului. Fie punctul P (iluminat de fascicul) situat la înălțimea h și la distanțele X și Y față de proiecția O'' a punctului O (focarul obiectivului) pe suprafața de referință. Punctul p , ce-i corespunde pe imagine, este situat la distanțele x și y față de proiecția O' a lui O pe planul imaginii. Din condițiile impuse de geometria ansamblului (poziția planului fascicului laser), avem relațiile:

$$\frac{f}{H-h} = \frac{x}{X} = \frac{y}{Y}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{X}{H-h+l}$$

De aici rezultă expresiile pentru h , X și Y :

$$h = H - \frac{f \operatorname{tg} \alpha}{x - f \operatorname{tg} \alpha} \quad X = \frac{x f \operatorname{tg} \alpha}{f(x - f \operatorname{tg} \alpha)} \quad Y = \frac{y f \operatorname{tg} \alpha}{f(x - f \operatorname{tg} \alpha)}$$

Ca urmare, poziția punctelor din teren, iluminate de fasciculul laser, poate fi determinată pe baza coordonatelor punctelor corespondente din imagine, a parametrilor de zbor (poziție și orientare) și a geometriei ansamblului de echipamente utilizat.

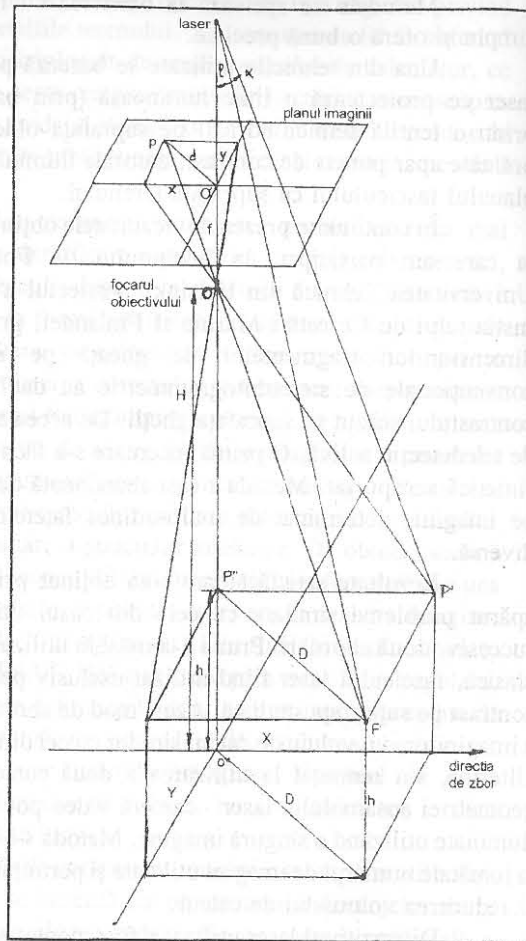


Fig. 1 Formarea imaginii punctelor iluminate de fasciculul laser.

În Fig. 2 este prezentată o imagine preluată în cadrul unui zbor efectuat cu un elicopter, la o altitudine de cca. 15 m, deasupra Mării Baltice (acoperită cu fragmente de gheață în zona și la data respectivă). Camera utilizată a fost de tipul Pulnix TMG6-CN, cu obiectiv normal cu distanța focală de 12 mm. Laserul, de tip He-Ne, cu o lungime de undă de 630 nm și o putere de 10 mW, a fost utilizat împreună cu o lentilă semicilindrică pentru formarea liniei luminoase.

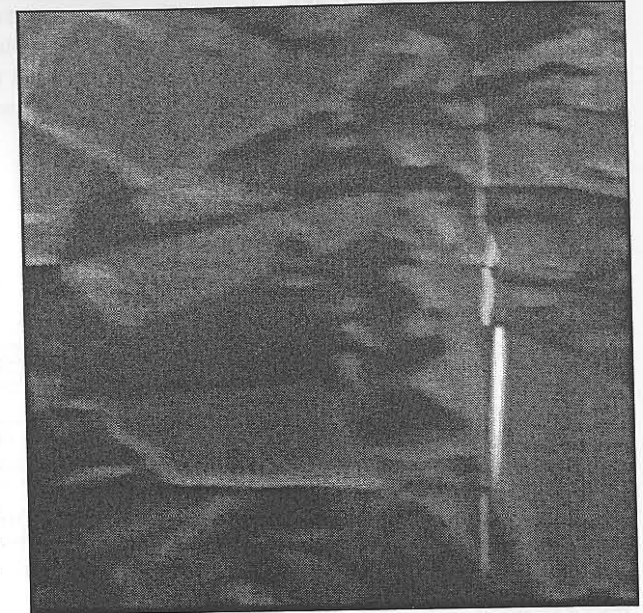


Fig. 2 Fragmente de gheață pe Marea Baltică. Fasciculul laser formează o linie luminoasă verticală în partea dreaptă a imaginii. Semnalul preluat de la camera a fost digitizat cu ajutorul unui echipament Data Translation DT2861, producând o imagine cu dimensiunea de 512x512 pixeli și 256 nivele de gri.

Algoritmul de determinare a punctelor aparținând liniei luminoase se bazează pe determinarea unui maxim local accentuat și determinarea poziției punctului central prin interpolare, pe baza luminozității pixelilor din vecinătatea celui cu luminozitate maximă.

Există zone în care fasciculul nu este observabil, deoarece este mascat de elemente ale microreliefului, sau în care există o luminozitate ridicată datorită reflexiei puternice a luminii solare pe fațetele fragmentelor de gheață. Ca urmare, algoritmul a determinat în mod fals unele puncte ca aparținând liniei formate de fasciculul laser, introducând „zgomot” în profilul de altitudine generat.

În Fig. 3 sunt prezentate punctele determinate de pe o succesiune de astfel de profile generate dintr-o secvență de imagini din cadrul zborului, așa cum au fost determinate de algoritmul de detecție utilizat.

Deși se poate observa existența unui număr de puncte determinate în mod eronat, acestea pot fi puse în evidență mult mai bine utilizând, pentru afișare, linii ce unesc punctele, ordonate după valori crescătoare ale coordonatei x (de-a lungul profilului) (Fig. 4). După cum se poate observa, numărul de erori este suficient de

ridicat pentru a face imposibilă utilizarea datelor în această formă sau eliminarea lor printr-o procedură manuală.

Cerințele proiectului pentru care s-a dezvoltat tehnica de măsurare a altitudinii prin profilometrie laser impuneau utilizarea unor proceduri de post-procesare a datelor care să elimine erorile fără afectarea valorilor presupuse corecte. Ca urmare, filtrările care alterează valoarea tuturor punctelor au fost de la început eliminate, în utilizare

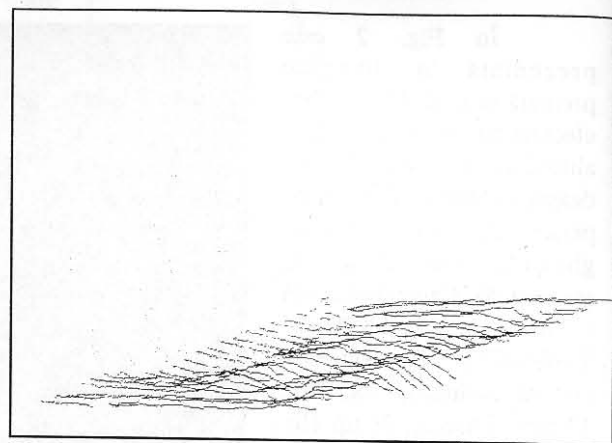


Fig. 3 Punctele determinate ca fiind iluminate de fasciculul laser pe zona de test din Marea Baltică.

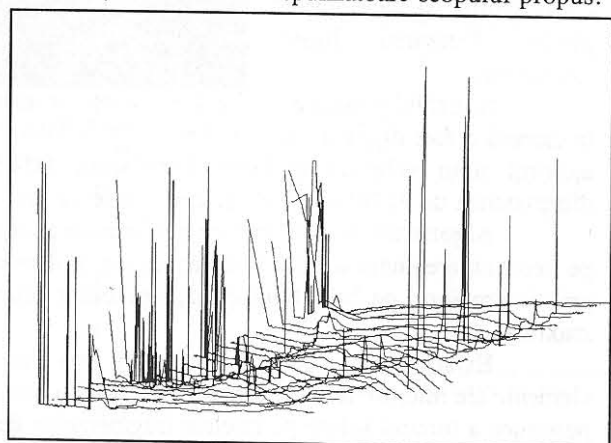


Fig. 4 Reprezentare prin linii a profilelor determinate pe zona de test din Marea Baltică.

exclusivă, ca fiind necorespunzătoare scopului propus. Pentru testarea diferitelor variante de prelucrare a datelor, au fost produse 3 seturi de date de test, prin utilizarea, în laborator, a metodei de profilometrie laser asupra unor eșantioane de rocă și lemn, care au fost păstrate pentru determinări și prin metode clasice, în vederea comparării rezultatelor. De asemenea, tot în laborator, s-au făcut probe pentru determinarea exactă a geometriei ansamblului cameră de luat vederi - laser.

Eșantioanele au fost plasate pe o masă mobilă, prevăzută cu șurub micrometric și iluminate cu fasciculul laser. S-a preluat o secvență de imagini, pe măsura deplasării eșantionului sub fascicul. Eșantionul de rocă a produs imagini similare cu cele obținute în timpul zborului deasupra zonei de test, datorită fațetelor cristalelor care au produs reflexii nedorite, la fel ca fragmentele de gheață în imaginile preluate deasupra Mării

Baltice. Astfel, profilele determinate (Fig. 5) pe eșantionul de rocă prezintă și ele un număr ridicat de puncte eronate.

Eșantioanele de lemn (Fig. 6) au produs imagini de bună calitate, numărul de puncte determinate în mod eronat fiind extrem de redus. Ca urmare, testele s-au efectuat în continuare în principal asupra imaginilor provenite de la eșantionul de rocă, considerându-se că acestea au caracteristici similare cu cele din zona de test.

Programele pentru numerizarea secvenței de imagini și determinarea pe acestea din urmă a poziției punctelor iluminate de fasciculul laser au fost elaborate pentru sistemul de operare Linux. Rezultatele produse sunt fișiere în care, pentru fiecare profil, sunt stocate coordonatele x, y, z ale punctelor determinate - de obicei 512, cu excepția situațiilor în care pe o linie a unei imagini nu a fost detectată prezența fasciculului laser (nu a existat un maxim local satisfăcător) și atunci numărul de puncte este sub 512 pentru profilul respectiv. Pentru coordonate s-a utilizat reprezentarea în virgulă mobilă, pe 32 biți, fișierele de date având dimensiuni de 850-1020 ko.

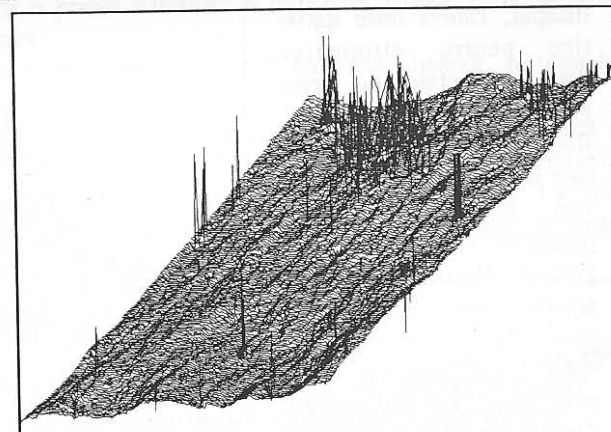


Fig. 5 Profile determinate asupra eșantionului de rocă.

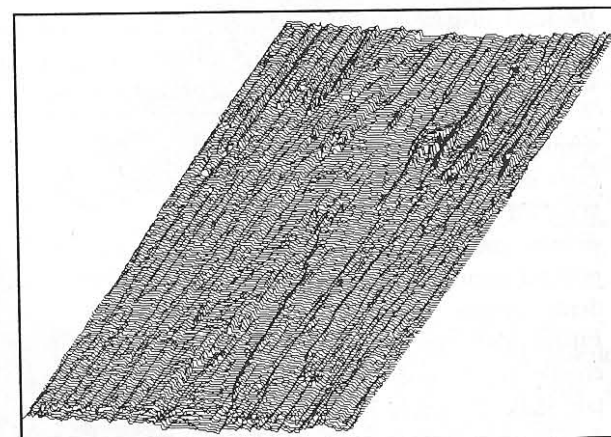


Fig. 6 Profile determinate asupra unuia din eșantioanele de lemn.

Primele încercări de prelucrare a datelor astfel obținute au fost făcute cu ajutorul pachetului de programe Matlab. Ulterior, datorită atât timpilor mari de calcul necesari, cât și cerințelor impuse în cadrul proiectului, s-a trecut la realizarea unor programe originale dedicate prelucrării datelor obținute prin profilometrie. Platforma

inițial adoptată (DOS/Windows3.1) a fost rapid abandonată în favoarea unui sistem de operare pe 32 biți pentru procesoare Intel (OS/2).

Autorul a experimentat, pentru început, câteva teste statistice pentru eliminarea datelor afectate de erori grosiere (testele Irwin, Romanovski, Grubbs), aplicate global pe întreg profilul sau asupra valorilor punctelor dintr-o fereastră glisantă. Rezultatele au fost neconcludente și metoda abandonată.

Cu rezultate ceva mai bune s-a utilizat un filtru de tip fereastră glisantă, bazat pe testarea modului în care variază abaterea standard a valorilor z prin eliminarea din calcul a punctului central din fereastră. S-a utilizat testul F, aplicat asupra șirurilor de valori z din fereastra glisantă incluzând/excluzând punctul central.

Dacă pentru un anumit nivel de încredere (ales de utilizator) abaterile standard rezultă ca fiind diferite conform testului F, punctul central este considerat eronat și eliminat. Filtrul pune bine în evidență erorile izolate, însă dă rezultate slabe în zonele în care, de-a lungul profilului, există o succesiune de puncte a căror valoare z este eronată. În Fig. 7 sunt prezentate datele, provenite de la eșantionul de rocă, după o astfel de filtrare.

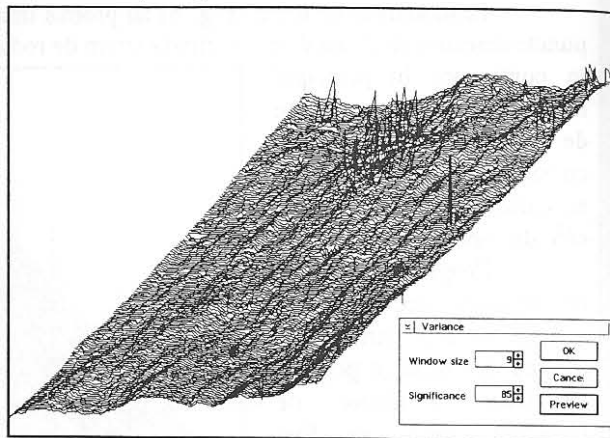


Fig. 7 Datele provenind de la eșantionul de rocă, filtrate pe baza abaterii standard calculate în fereastră glisantă. Dimensiunea ferestrei este de 9 puncte iar nivelul de încredere impus - de 85%.

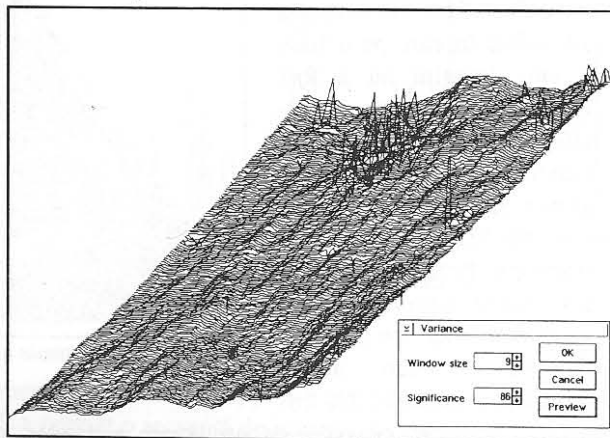


Fig. 8 Nivelul de încredere a fost mărit la 86%. Se observă pierderea detaliilor suprafeței, fără ca zona cu densitate mare de puncte eronate să fie afectată.

Numărul de puncte eliminat depinde atât de nivelul de încredere ales, cât și de dimensiunea ferestrei glisante utilizate. După un anumit prag însă, filtrul nu mai funcționează eficient. Sunt eliminate din ce în ce mai multe puncte corecte, iar în zonele cu densitate mare de puncte eronate acestea nu sunt afectate (Fig. 8). Ca urmare, filtrul nu poate fi folosit decât pentru o primă eliminare a punctelor izolate care, în mod evident, sunt erori de determinare.

Au fost testate și alte filtre „clasice” de tip fereastră glisantă, rezultatele obținute fiind similare.

Histograma valorilor z ale punctelor indică o distribuție relativ uniformă a acestora, cu prezența unor „cozi” datorate unui număr de puncte cu valori aberante (Fig. 9). După cum se poate observa de pe figură, acestea reprezintă cca. 1% din numărul total de puncte, iar eliminarea lor, deși modifică substanțial imaginea, nu poate fi considerată satisfăcătoare.

Datorită formei suprafeței eșantionului, o eliminare a unui număr suplimentar de puncte, situate la extremitățile histogramei, reduce în mod dramatic numărul de puncte eronate, dar produce și efecte nedorite, prin eliminarea punctelor cu valori corecte, dar situate la extremitățile histogramei. După cum se poate observa în Fig. 10, prin eliminarea a 10% din punctele situate la extremitățile histogramei, suprafața eșantionului este „aplatizată” în zonele de înălțime minimă și maximă.

Întrucât atât viteza, cât și rezultatele unei filtrări bazate pe histograma valorilor z au fost remarcabile, s-au căutat soluții pentru eliminarea efectului negativ de „aplatizare” a suprafeței obiectului investigat, în zonele sale de înălțime extremă.

Soluția aleasă a fost crearea unei suprafețe similare cu cea originală, dar „netezită” prin filtre cu fereastră glisantă de tip trece-jos, în care influența punctelor eronate să fie redusă cât mai mult posibil. Deși astfel de filtre pot da rezultate bune din acest punct de vedere, suprafața obținută nu poate fi folosită ca atare deoarece sunt modificate coordonatele tuturor punctelor, cu pierderea detaliilor fine și alterarea substanțială a punctelor din vecinătatea celor cu valori aberante.

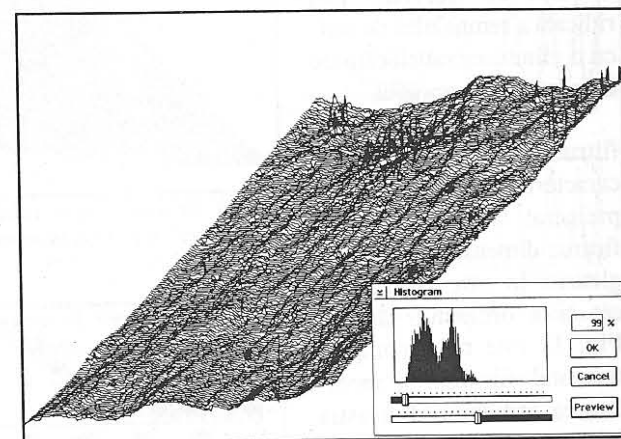


Fig. 9 Suprafața de test după eliminarea a 1% din puncte, situate la extremitățile histogramei globale a valorilor z .

Au fost testate mai multe tipuri de filtre, rezultatele cele mai bune, pentru scopul propus, fiind obținute cu ajutorul celor de tip Savitzky-Golay. În Fig. 11 sunt prezentate rezultatele aplicării unui filtru simplu, de mediere a valorii în fereastra glisantă, precum și a unui filtru Savitzky-Golay de ordin 4 asupra unui semnal obținut prin adăugarea de zgomot alb. Cu linie punctată este reprezentat semnalul original, înainte de adăugarea zgomotului. După cum se poate observa, filtrul Savitzky-Golay are o comportare mai bună în ceea ce privește păstrarea componentelor de frecvență mai ridicată a semnalului de test, cu o eliminare satisfăcătoare a zgomotului suprapus.

Comportamentul filtrului poate fi adaptat la caracteristicile semnalului prelucrat atât prin modificarea dimensiunii ferestrei glisante în care acționează, cât și a ordinului său. În Fig. 12 este redat comportamentul filtrului la modificarea ordinului. Fereastra glisantă are o dimensiune dublă față de situația din Fig. 11. Comparând cele două figuri, se poate observa comportamentul filtrului la modificarea dimensiunii ferestrei glisante.

Scopul utilizării unui astfel de filtru, în aplicația prezentată, este de a obține o suprafață în care, deși au fost afectate valorile tuturor punctelor, influența erorilor de determinare a

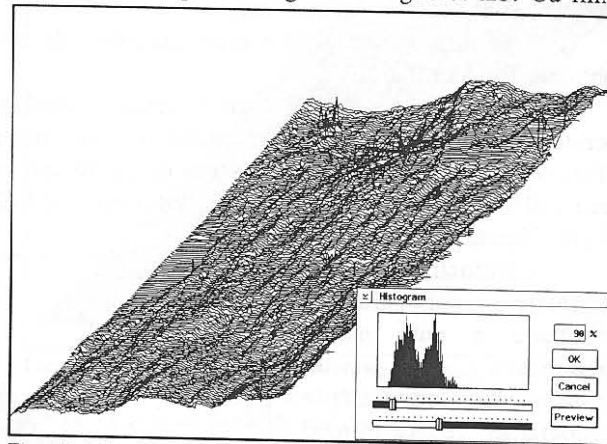


Fig. 10 Eliminarea unui număr suplimentar de puncte produce „aplatizarea” suprafeței în zonele de înălțime minimă și maximă.

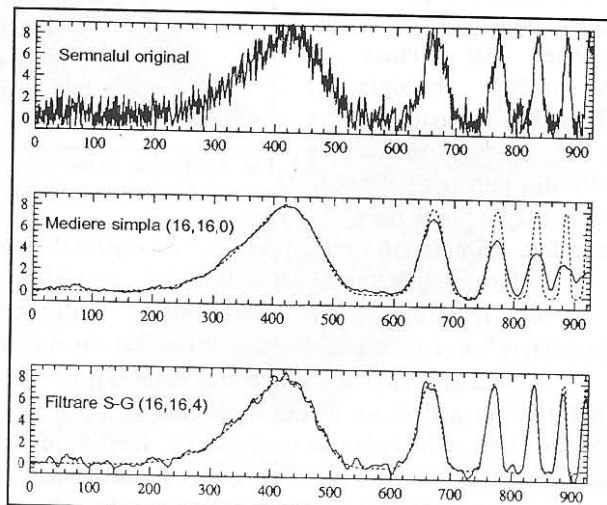


Fig. 11 Comparație între comportamentul unui filtru de tip Savitzky-Golay și un filtru de mediere simplă în fereastra glisantă [2].

coordonatelor acestora să fie cât mai estompată - obținând astfel o suprafață „tendință”, care să aproximeze cât mai bine microrelieful suprafeței, fără variații locale rapide și de amplitudini mari, datorate de obicei erorilor de determinare a coordonatei z . Suprafața „tendință” poate fi utilizată în continuare ca suprafață de referință, care poate fi „scăzută” din suprafața originală. Se obține astfel o suprafață ce reprezintă variațiile „locale” ale semnalului original, față de suprafața de referință.

Pe suprafața „diferență” pot fi aplicate un număr de filtre simple care să elimine ușor variațiile rapide de amplitudine mare. Acest lucru este facilitat tocmai de natura suprafeței „diferență”, care se pretează foarte bine la astfel de operații de filtrare.

Metodologia de lucru propusă implică o succesiune de etape în care, pentru început, se elimină, direct de pe suprafața originală, punctele care în mod evident constituie erori. Sunt utilizabile, în această etapă, numai filtre care operează fără a modifica în nici un fel valorile celorlalte puncte, considerate deocamdată „corecte”.

În Fig. 13 este prezentată suprafața eșantionului de rocă, după aplicarea unor filtrări cu fereastra glisantă și eliminări bazate pe histograma globală. Punctele rămase au toate valorile originale. În colțul din dreapta jos este prezentată și histograma

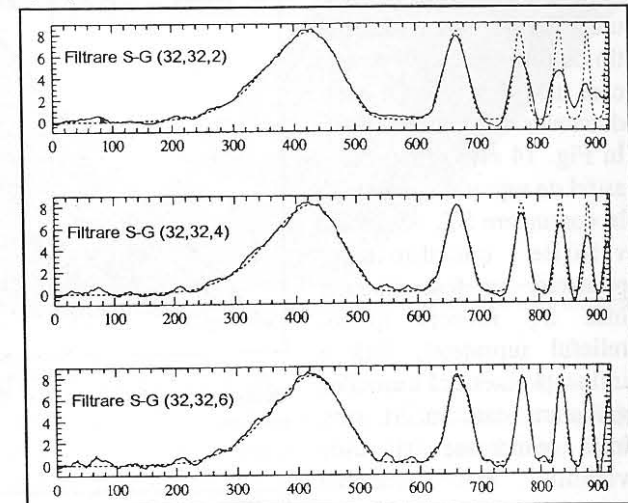


Fig. 12 Comportamentul filtrului Savitzky-Golay la modificarea ordinului [2].

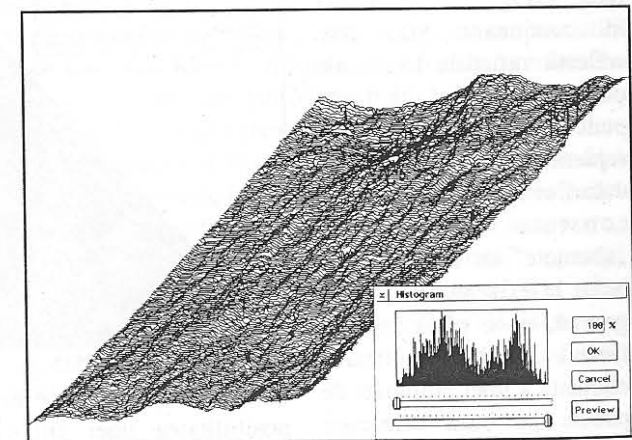


Fig. 13 Suprafața S1, obținută prin eliminarea succesivă a unui număr de puncte eronate, fără alterarea coordonatelor celor rămase.

globală a valorilor z ale punctelor. Parametrii filtrărilor au fost astfel aleși încât să elimine cât mai multe puncte evident eronate, fără a deteriora în vreun fel pe cele presupuse corecte. Suprafața astfel obținută, după filtrarea preliminară, este memorată și denumită în continuare S1.

Următorul pas este generarea suprafeței „tendință”, plecând de la S1 și utilizând de astă dată orice tip de filtru, inclusiv pe cele care modifică valorile coordonatelor tuturor punctelor. În Fig. 14 este prezentată o astfel de suprafață, denumită în continuare ST. Aici toate valorile coordonatelor punctelor au fost alterate, însă ST reflectă micro-relieful suprafeței, fără o influență puternică a erorilor grosolane care în S1 sunt încă numeroase și ușor vizibile. Prin scăderea suprafeței ST din S1, se obține o suprafață „diferență” (Fig. 15), denumită în continuare SD, care reflectă variațiile locale ale coordonatelor z ale punctelor. În figură este reprezentată și histograma valorilor z , din care se poate constata că valorile „aberrante” au rămas distribuite la extremitățile histogramei, pe o plajă întinsă, făcând posibilă aplicarea eficientă a unei eliminări de puncte pe baza diferenței valorilor z față de cea centrală.

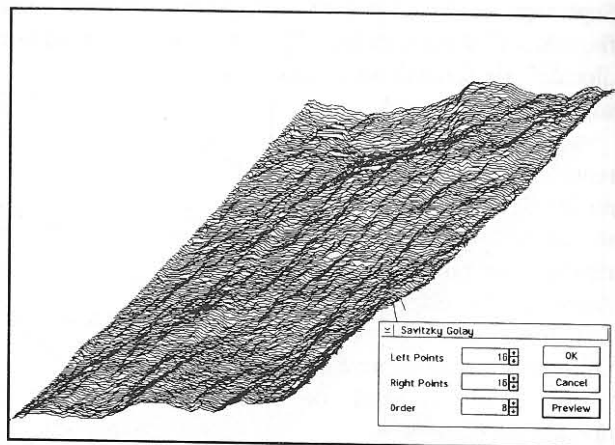


Fig. 14 Suprafața ST, obținută prin aplicarea unui filtru Savitzky-Golay asupra suprafeței S1. Toate valorile coordonatelor z sunt alterate.

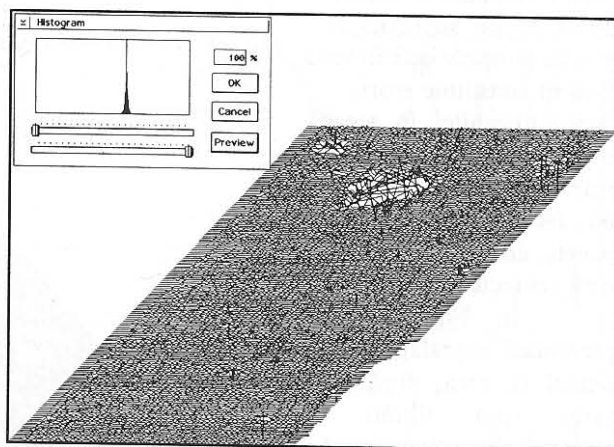


Fig. 15 Suprafața SD, pe care punctele cu coordonate z eronate sunt bine puse în evidență. Histograma indică posibilitatea unei filtrări eficiente prin eliminarea punctelor situate la extremitățile ei.

În Fig. 16 este prezentat rezultatul unei astfel de eliminări, în cadrul căreia au fost eliminate 1% din numărul total de puncte.

Etapa următoare este sumarea suprafeței ST la suprafața SD filtrată. În acest mod, punctele rămase după eliminare își recapătă valorile absolute originale. Rezultatul (Fig. 17) conține numai puncte ale căror coordonate inițiale sunt păstrate, detaliile suprafeței nefiind în nici un fel alterate.

Dacă rezultatele nu sunt satisfăcătoare, procesul poate fi reluat și aplicat în mod iterativ, prin crearea unor noi suprafețe ST și SD, plecând de la rezultatul final din etapa precedentă. Experimental s-a constatat că în majoritatea cazurilor este suficientă o singură iterație, iar un număr de 2-3 iterații rezolvă și cazurile mai dificile, cu zone care cuprind un număr ridicat de puncte alăturate afectate de erori.

În Fig. 18 este prezentat rezultatul obținut prin metoda descrisă, după o singură iterație, plecând de la datele reale provenite din imaginile asupra fragmentelor de gheață (datele brute sunt prezentate în Fig. 4).

Metoda de lucru și programul de calculator, elaborate de autor, sunt utilizate în prezent de către Institutul de Cercetări Marine al Finlandei, în cadrul proiectului de monitorizare a manifestării fenomenelor de îngheț pe Marea Baltică. Funcțiile principale ale programului sunt următoarele: citirea și salvarea fișierelor de date; afișarea datelor, în vedere perspectivă, prin puncte (opțional unite prin linii de-a lungul profilelor); filtrarea datelor prin două categorii de metode (cu sau fără alterarea valorilor punctelor ce nu sunt eliminate); stocarea și readucerea datelor în/din două memorii temporare, una pentru suprafața propriu-zisă și cealaltă pentru suprafața „tendință”; operații de adunare/scădere între suprafața activă (afișată) și suprafața „tendință” din memoria temporară. Programul este destinat unei utilizări interactive, prin intermediul meniurilor și ferestrelor de dialog, ce permit selectarea operațiilor, precizarea parametrilor acestora, precum și pre-vizualizarea rezultatelor.

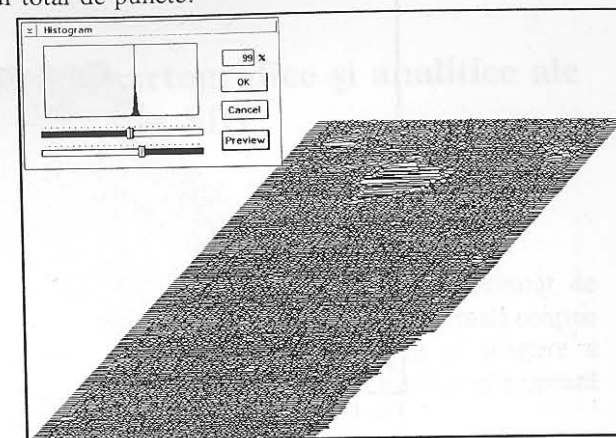


Fig. 16 Suprafața ST după eliminarea punctelor pe baza histogramei globale.

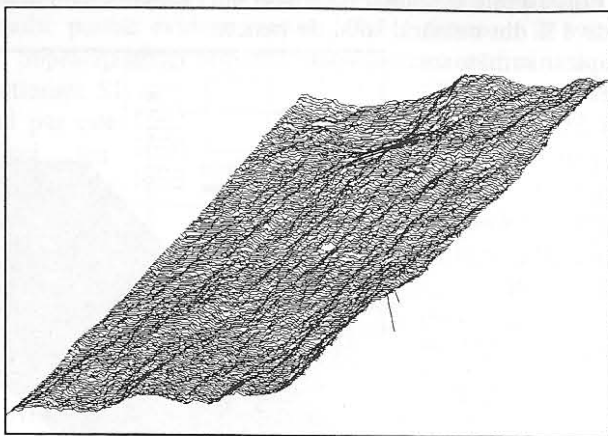


Fig. 17 Rezultatul final, după o singură iterație, în prelucrarea datelor provenite de la eșantionul de rocă.

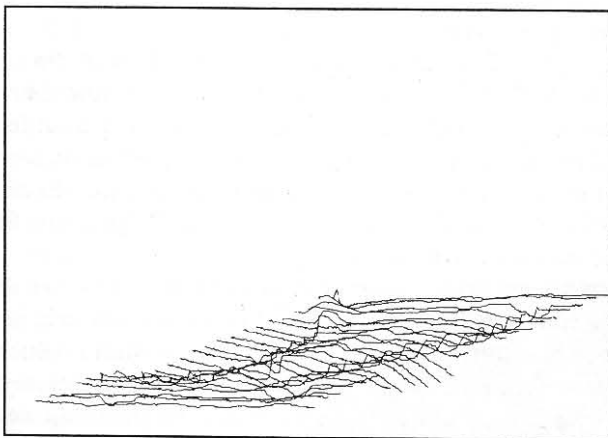


Fig. 18. Rezultatele unei prelucrări, într-o singură iterație, utilizând date preluate asupra fragmentelor de gheață în Marea Baltică.

Bibliografie:

1. Haggren H. — *3-D Video Digitizing*, The Photogrammetric Journal of Finland, Vol. 13 No. 2, 1993.
2. Press W., Teukolsky S., Vetterling W., Flannery B. — *Numerical Recipes in C - The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, 1994.

* Facultatea de Geografie și Geologie, Universitatea "Alex. I. Cuza", Iași