



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00501

(22) Data de depozit: 21/07/2017

(41) Data publicării cererii:
29/03/2019 BOPI nr. 3/2019

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI,
STR. PROF. DR. DOC. DIMITRIE
MANGERON NR. 67, IAȘI, IS, RO

(72) Inventatori:
• LOGHIN ANA-MARIA,
STR. ȘTEFAN CEL MARE NR. 192,
SAT VÂNĂTORI, NT, RO;
• GIURMA ION, STR. ȚĂIETOAREI NR. 14,
IAȘI, IS, RO;
• ONIGA VALERIA-ERSILIA,
STR. SPLAI BAHLUI NR. 12, BL. B11, SC. A,
ET. 4, AP. 18, IAȘI, IS, RO

(54) METODĂ INOVATIVĂ DE FILTRARE, SEGMENTARE
ȘI CLASIFICARE A NORILOR DE PUNCTE PENTRU
DERIVAREA MODELELOR DIGITALE ALE TERENULUI
(MDT) PE BAZA DATELOR LASER SCANER AEROPURTAT
(LSA)

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de filtrare, segmentare și clasificare a norilor de puncte pentru derivarea modelelor digitale ale terenului pe baza datelor obținute prin tehnologia de scanare laser aeriană. Metoda conform invenției cuprinde o etapă de filtrare a norilor de puncte, rezultați în urma scanării laser, în care se folosește un algoritm de interpolare ierarhică robustă, prin crearea unei suprafețe inițiale în care punctele au ponderi individuale egale, în funcție de abaterile verticale ale punctelor față de suprafața cea mai probabilă se determină valori noi ale ponderilor punctelor, se calculează o nouă suprafață prin iterații succesive, și se identifică punctele care aparțin terenului, pentru obținerea unui model digital al terenului, urmată de o etapă de segmentare a norilor de puncte, în care se calculează valorile normalelor în fiecare punct, se selectează și se analizează punctele în funcție de vecinătăți, se aplică un procedeu tip "region growing" de formare a segmentelor prin îndeplinirea condițiilor de similaritate, și se extrag segmentele utilizate în derivarea modelului digital al terenului, și o etapă de clasificare a norilor de puncte, în care se face o analiză comparativă a punctelor terenului, obținute prin interpolare robustă și segmentare, se clasifică segmentele în: segmente ale terenului și segmente care nu aparțin terenului, obținându-se un model digital al terenului, îmbunătățit.

Revendicări: 3
Figuri: 2

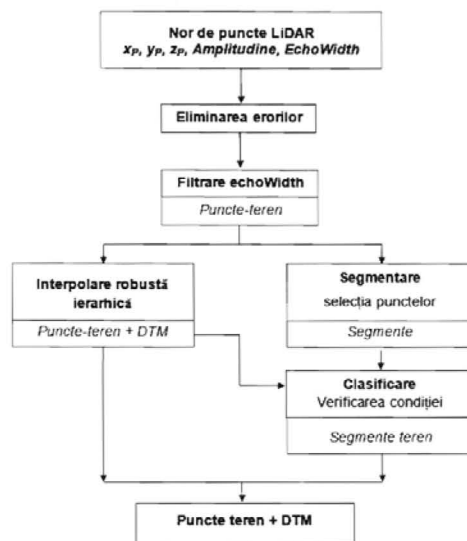


Fig. 1



42
459201700501
21.07.2017

METODĂ INOVATIVĂ DE FILTRARE, SEGMENTARE ȘI CLASIFICARE A NORILOR DE PUNCTE PENTRU DERIVAREA MODELELOR DIGITALE ALE TERENULUI (MDT) PE BAZA DATELOR LASER SCANER AEROPURTAT (LSA)

Pe parcursul a două decenii tehnologia de scanare laser, cunoscută și sub termenul de LIDAR (Light Detection and Ranging) a devenit o metodă de măsurare foarte importantă, furnizând date și informații de o acuratețe ridicată despre topografia terenului, vegetație, clădiri etc. [Iosub, 2008]. O altă definiție pentru LIDAR include ALSM (Airborne Laser Swath Mapping) și altimetrie laser. Acronimul LADAR (Laser Detection and Ranging) este deseori utilizat în context militar. Aceasta are aplicații în geologie, seismologie, teledetecție, fizica atmosferei.

Scanarea Laser este o nouă tehnică geodezică, prin intermediul căreia poate fi măsurată complet automat (mai mult sau mai puțin) geometria unei structuri, fără ajutorul unui mediu reflectorizant, cu înaltă precizie și cu viteză ridicată [Ersilia O, 2014]. Aceasta folosește unde de lumină și măsoară timpul necesar senzorului pentru a înregistra reflexiile, timp folosit ulterior pentru determinarea distanțelor până la obiectele scanate.

Rezultatul măsurărilor este reprezentat de o mulțime (considerabilă) de puncte și anume un nor de puncte. Coordonatele tridimensionale (x, y, z sau latitudine, longitudine și altitudine) ale punctelor corespunzătoare obiectelor măsurate sunt calculate prin utilizarea a trei elemente principale și anume: (1) diferența de timp dintre emisia și întoarcerea pulsului laser; (2) unghiul sub care a fost emis pulsul laser și (3) locația exactă a senzorului pe suprafața Pământului sau deasupra acesteia.

Ca sistem activ de măsurare prin utilizarea luminii, un laser scanner are nevoie de o vizualizare clară a terenului. Acesta nu poate penetra norii, ceața sau vegetația foarte densă. Impulsul laser trece prin coronamentele arborilor de foioase, în special în iarna, când frunzele sunt căzute. Sistemul laser nu va înregistra puncte pe suprafața terenului în cazul pădurilor dense de conifere. În ciuda tuturor acestor limitări, scanarea laser aeriană, s-a dovedit a fi o metodă foarte bună pentru crearea **Modelelor Digitale ale Terenului** [Vosselman, Maas, 2010].

Tehnologia de scanare laser are câteva avantaje, față de alte metode de generare a modelelor digitale ale terenului, printre care se enumeră:

- *Densitate mare de măsurare și acuratețe ridicată a datelor:* Cele mai mari densități de măsurare (de aproximativ 30 impulsuri laser/m²) se obțin dintr-un elicopter. Precizia standard a datelor în sistemul local de coordonate este de 0.05-0.20 m pe înălțime, respectiv 0.2 – 1.0 m pentru poziționare plană.
- *Achiziția rapidă a datelor:* scanarea laser aeropurtată, având densități de 1 punct/m², este o metodă foarte rapidă de generare a modelelor de elevație precise. Achiziția rapidă a datelor este dovedită prin faptul că scanarea poate fi efectuată oricând, atât în timpul zilei cât și noaptea.
- *Penetrarea coronamentului:* în cazul în care densitatea coronamentului arborilor nu este mare, o parte din impulsurile laser pot pătrunde până la teren, permițând crearea modelului digital al terenului. Ratele cele mai ridicate de penetrare se înregistrează pe perioada iernii în cazul pădurilor de foioase când frunzele sunt căzute.
- *Date preluate direct la teren minime:* Lucrul în teren este minimizat, deoarece chiar și pentru zboruri pe arii extinse este nevoie de puține puncte de control la sol.

Sistemul aeropurtat LSA este format din trei componente de bază și anume: sistemul de scanare laser, sistemul GNSS și Sistemul Inercial de Navigație (Inertial Navigation System), la care pot fi adăugate și alte moduri de colectare a datelor teren precum camere digitale fotogrammetrice.

Principiul care stă la baza tehnologiei de scanare laser, este emiterea unui puls laser într-o direcție cunoscută și măsurarea timpului dintre momentul emisiei și momentul recepției [Loghin, Oniga, Wieser, 2016]. Georeferențierea directă presupune măsurarea directă a poziției și orientarea platformei de măsurare, care sunt apoi folosite pentru determinarea poziției tridimensionale a impulsurilor laser, rezultând norul de puncte georeferențiat în spațiul 3D [Otepka, Ghuffar, Waldhauser, Hochreiter, Pfeifer, 2013]. Norul de puncte îi oferă observatorului informații referitoare la forma, poziția și distribuția spațială a unui obiect sau grup de obiecte. Acesta conține două tipuri de informații: metrice, care descriu geometria obiectului și relațiile spațiale ale acestuia cu mediul înconjurător și tematice, care sunt utilizate pentru a descrie proprietățile suprafețelor obiectelor scanate și pentru a estima încrederea acordată datelor preluate.

Modelul Digital al Terenului, ca reprezentare matematică a tuturor punctelor de pe suprafața terenului, este unul din produsele cele mai importante ale datelor de tip LiDAR. Pentru obținerea sa, este necesară o separare a punctelor-teren dintre toate punctele care aparțin norului de puncte rezultat în urma scanării. Acest proces este cunoscut sub numele de “filtrare”, iar în prezent există numeroși algoritmi dezvoltați în acest sens.

Invenția se referă la o nouă metodă de filtrare, segmentare și clasificare a norilor de puncte pentru crearea Modelelor Digitale ale Terenului prin utilizarea datelor rezultate în urma scanării laser aeriene, în vederea utilizării acestora la întocmirea unor proiecte de precizie ridicată, cum ar fi: aplicații în hidrologie, geomorfologie, hidraulică, monitorizarea albiei râurilor, crearea unor hărți de hazard și de risc în cazul unor inundații, identificarea schimbărilor în timp, management și monitorizare [El-Sheimy et. al, 2005].

Pe plan internațional, de-a lungul timpului, au fost dezvoltate mai multe metode automatizate care pot fi aplicate pentru filtrarea norilor de puncte. Cei mai mulți algoritmi sunt bazați pe analiză matematică [Vosselman, 2000], iterații cu ponderi [Briese, Pfeifer, 2001] sau crearea de rețele de puncte [Wack, Wimmer, 2002].

Sunt cunoscute metodele existente de filtrare a norilor de puncte, care în funcție de datele de intrare se clasifică în două categorii, astfel:

1. *Metode de filtrare care au la bază punctul*. În acest caz, se vizează în mod special punctele (date tridimensionale), respectiv pixelii (date bidimensionale). Toate punctele (sau pixelii) sunt investigate și clasificate ca puncte-obiect, respectiv puncte-teren. Dezavantajul acestor metode este că tratează fiecare punct în mod individual, nu în grup.
2. *Metode de filtrare care au la bază segmente*. În acest caz, se realizează segmentarea, proces în cadrul căruia, punctele sunt grupate în segmente, pe baza unui criteriu de omogenitate, de aici și denumirea de metode bazate pe segmente.

Sunt cunoscute, de asemenea metodele existente de filtrare a norilor de puncte, care în funcție de conceptul folosit, se clasifică în patru categorii astfel:

1. *Metode de filtrare morfologică* [Vosselman, 2000] – folosesc un parametru de structură, care descrie diferențele admise pe înălțime, în funcție de distanțele orizontale folosite. Cu cât distanța dintre un punct și vecinul său este mai mică, cu atât diferența pe înălțime dintre acestea este mai redusă. O variantă a acestei metode este descrisă în [Sithole, Vosselman, 2001], în care parametrul de structură depinde de forma terenului.

2. *Metode de densificare progresivă* [Axelsson, 2000] – lucrează într-un mod progresiv. Unele puncte sunt identificate drept puncte-teren, apoi, în funcție de acestea sunt adăugate din ce în ce mai multe alte puncte. Se utilizează punctele care au cota cea mai mică din fiecare celulă de tip grid, ca fiind puncte-teren inițiale și o suprafață de interpolare creată pe baza acestor puncte. Treptat, sunt adăugate și celelalte puncte, prin stabilirea unor praguri de referință.
3. *Metode de filtrare care utilizează suprafețe* [Kraus, Pfeifer, 1998] - acești algoritmi utilizează modelul digital al suprafeței care trece prin toate punctele și care în mod iterativ aproximează suprafața terenului. Modelul digital al suprafeței inițial, este utilizat pentru a calcula valorile reziduale dintre această suprafață și punctele inițiale. În cazul în care punctele sunt deasupra acesteia, atunci vor avea o influență mai mică în ceea ce privește forma suprafeței pentru următoarea iterație. În cazul în care valorile reziduale sunt mici, atunci punctele corespunzătoare, vor avea o influență mai mare asupra formei suprafeței terenului.
4. *Metode ce utilizează procese de segmentare* [Tovari, Pfeifer, 2005] – acestea lucrează cu segmentele, care sunt clasificate în funcție de diferențele pe înălțime ale vecinătăților. În [Nardinocchi et al., 2003] este aplicată o tehnică de creare a unei suprafețe (engl. “region growing”), bazată pe diferențele de înălțimi pentru a obține segmentele, care au fost ulterior clasificate în trei clase: teren, clădiri și vegetație. În [Luhmann, Jacobsen, 2003] este aplicată o compactare a segmentelor, precum și diferențe pe înălțime, în scopul determinării diferitelor tipuri de zone, inclusiv terenul.

Toate aceste metode de filtrare existente în literatura de specialitate, prezintă anumite limitări și dificultăți în anumite situații speciale. Spre exemplu: punctele “outliers” – apărute ca urmare a unor erori de scanare, obiectele cu o complexitate ridicată, obiectele de dimensiuni mici (vehicule), obiectele atașate de teren (poduri), obiectele cu o configurație complexă, nu pot fi eliminate în cadrul procesului de filtrare a norului de puncte. De asemenea cu cât obiectele au o înălțime mai redusă, cu atât va fi mai dificil pentru algoritmul de filtrare să diferențieze obiectul de suprafața terenului. Zonele urbane cu o configurație complexă prezintă dificultăți majore pentru procedeele de filtrare, datorită varietății și formelor obiectelor ce pot fi întâlnite. De asemenea zonele de vegetație joasă și zonele de discontinuitate a suprafeței terenului prezintă anumite limitări.

Toți acești algoritmi de filtrare sunt construiți în special pentru suprafețe netede și continue în toate direcțiile. Acest lucru conduce la o reprezentare netedă a terenului, chiar și în cazul unor suprafețe cu discontinuități, în care sunt prezente liniile de schimbare de pantă, ceea ce demonstrează limitările acestor algoritmi.

În vederea reprezentării formelor de relief într-o formă cât mai apropiată de realitatea din teren, este necesară cunoașterea și măsurarea punctelor topografice caracteristice care redau într-un mod fidel detaliile topografice de pe teren. Printre acestea se înscriu și punctele care reprezintă schimbări de pantă, care formează liniile de schimbare de pantă.

În studiul [Briese, 2004] este descrisă metoda de obținere a Modelelor Digitale ale Terenului cu o acuratețe ridicată, metodă care are la bază tehnica de interpolare a punctelor și modelarea manuală a zonelor de discontinuitate. Pornind de aici, am dezvoltat o nouă metodă de obținere a Modelelor Digitale ale Terenului de mare precizie, bazată pe un nou algoritm, care are în vedere automatizarea procesului și eliminarea intervențiilor manuale.

Scopul invenției, prin realizarea unei noi metode care are la bază procesele de interpolare robustă ierarhică, segmentare și clasificare a norilor de puncte, este de a diminua efectul de netezire în special în zonele de discontinuitate ale terenului (linii de schimbare de pantei), comparativ cu metodele tradiționale de filtrare, de a automatiza întreg procesul de filtrare, segmentare și clasificare, precum și de a crește acuratețea modelelor digitale ale terenului care sunt obținute pe baza datelor laser scanner aeropurtat.

Această metodă este bazată pe o combinație a proceselor de interpolare robustă ierarhică segmentare și clasificare a norilor de puncte, fiind unica de acest tip din România.

Un obiectiv al invenției este crearea unei noi metode de filtrare, segmentare și clasificare a norilor de puncte rezultați din scanarea laser aeropurtată, care păstrează caracterul discontinuu al suprafeței, fără însă a include o etapă manuală suplimentară care să modeleze zonele de discontinuitate.

Un alt obiectiv al invenției este de a diminua efectul de netezire indus de metodele de interpolare, efect care apare în special în zonele de discontinuitate (pante abrupte, malurile râurilor), prin păstrarea punctelor caracteristice ale terenului.

Un alt obiectiv al invenției este automatizarea algoritmului de filtrare a norilor de puncte, în scopul obținerii punctelor-teren într-un mod rapid și eficient.

Metoda inovativă de filtrare a norilor de puncte, bazată pe combinația dintre interpolarea robustă ierarhică, segmentare și clasificare, a fost realizată pentru zona de studiu, Neubacher Au, localizată în apropierea satului Loosdorf, la aproximativ 100 km vest de Viena, în Austria (48° 12'50" N, 15° 22'30" E, WGS 84). Acest teritoriu este străbătut de

albia meandrată a râului Pielach, afluent pe partea dreaptă al Dunării și face parte din ariile protejate din cadrul proiectului Natura 2000. Datorită inundațiilor care s-au produs, zona prezintă o complexitate topografică ridicată, din punct de vedere al modificărilor în ceea ce privește albia râului, prin formarea de noi canale, eroziune.

În cazul de față, metoda se caracterizează printr-o succesiune logică de etape, după cum urmează:

- 1) *Norul de puncte LiDAR x_p , y_p , z_p , Amplitudine, lățimea semnalului (engl. EchoWidth)* se folosește ca sursa de date pentru următoarele etape, în vederea obținerii Modelului Digital al Terenului.
- 2) *Eliminarea erorilor* – în această etapă, se elimină punctele măsurate în mod eronat, și anume punctele care nu aparțin zonei măsurate.
- 3) *Filtrare Echo-Width* – în această etapă, punctele care au o valoare a atributului EchoWidth mai mare decât un anumit prag sunt eliminate. Acest prag a fost ales în urma unor analize și crearea unei hărți tematice, pe intervale de valori ale acestui atribut. Astfel, punctele rămase sunt considerate puncte candidat teren, pentru care vor fi realizați următorii pași de procesare. Această etapă de filtrare este posibilă doar pentru ultima generație de senzori de măsurare, care împreună cu informația geometrică, furnizează și informații semantice pentru punctele măsurate.
- 4) *Interpolare ierarhică robustă* – în această etapă, norul de puncte este filtrat, în vederea obținerii punctelor-teren. Pentru prezentul studiu de caz al teritoriului Neubacher Au, s-au utilizat metodele de filtrare robuste “robust filtering” descrise în [Kraus. Pfeifer, 1998], care constau în parcurgerea următorilor pași:
 - crearea unei suprafețe inițiale (cea mai probabilă) prin interpolare, punctele având ponderi individuale egale;
 - calculul coeficienților procesului de filtrare, bazat pe deviațiile verticale ale punctelor față de suprafața cea mai probabilă;
 - luând în considerare noile valori determinate pentru ponderi, este calculată o nouă suprafață;
 - pașii 2 și 3 sunt reiteați până în momentul obținerii unei aproximări bune a suprafeței terenului;
 - ultimul pas este dat de identificarea punctelor care aparțin terenului.
- 5) *Segmentare* – pentru identificarea punctelor-teren din norul de puncte filtrat, mai întâi se realizează calculul valorilor normalelor în fiecare punct, urmat de selecția punctelor și de procesul “region growing”. Astfel, punctele sunt analizate în funcție

de vecinătăți. Procesul de segmentare are la bază condițiile de similaritate, iar în acest caz, s-au folosit două condiții de similaritate: prima se referă la valoarea unghiului dintre vectorul normal în fiecare punct și vectorii normali în punctele vecine, care nu trebuie să depășească pragul de 5° ; iar cea de-a doua condiție de similaritate are în vedere diferențele pe înălțime dintre vecinătăți, care nu trebuie să depășească 20 cm. Astfel, dacă un punct îndeplinește condițiile de similaritate, este inclus în segment.

- 6) *Clasificare* - condiția principală care este verificată în această etapă are în vedere procentul de puncte teren din cadrul fiecărui segment în parte. Se folosesc ca referință punctele-teren obținute din etapa de interpolare ierarhică robustă. Astfel, segmentele care conțin un procent mai mare de 80% de puncte-teren, sunt clasificate ca segmente-teren. De aici provin punctele-teren situate în zonele de discontinuitate ale suprafeței și în imediata proximitate a liniilor de schimbare de pantă, cum ar fi malurile râului în cazul de față. Restul segmentelor vor fi clasificate ca non-teren și segmente care nu conțin deloc puncte-teren.
- 7) *Puncte – teren și crearea Modelului Digital final al Terenului* - În ultima etapă a metodei, se vor combina toate punctele-teren obținute în procesele de filtrare ierarhică, segmentare și clasificare, iar punctele duble vor fi eliminate. Prin interpolarea tuturor punctelor-teren obținute, se va obține Modelul Digital Final al Terenului, un model îmbunătățit, care redă în mod fidel forma suprafeței terenului, prin păstrarea malurilor abrupte ale râului.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- oferă posibilitatea obținerii unor Modele Digitale ale Terenului, pe baza utilizării datelor de scanare laser preluate de la o înălțime de zbor de 600 m;
- contribuie la creșterea numărului de puncte care sunt clasificate drept teren, comparativ cu metodele existente;
- oferă posibilitatea păstrării punctelor care aparțin terenului în zonele de discontinuitate (pante abrupte, maluri de râu);
- eficiență și rapiditate prin automatizarea întregului algoritm de filtrare, segmentare și clasificare a norului de puncte obținut prin scanare laser aeriană;
- îmbunătățirea Modelelor Digitale ale Terenului care descriu în mod fidel forma reală a suprafeței terenului, comparativ cu metodele tradiționale de filtrare, ce introduc efecte de netezire în zonele de discontinuitate;

Se dau în continuare trei exemple de realizare a invenției, în legătură cu figurile 1, 2 și 3, care prezintă:

- **Figura 1 - Prezentarea etapelor algoritmului de filtrare a punctelor-teren:**

- *Date inițiale:* norul de puncte LiDAR de coordonate cunoscute x_p , y_p , z_p și atribute cunoscute: Amplitudine, EchoWidth – norul de puncte inițial are un număr total de 2 832 902 puncte;
- *Eliminarea erorilor* care intervin în urma procesului de scanare: au fost eliminate un număr de 370 de puncte;
- *Filtrare Echo-Width* - au fost eliminate un număr de 684 293 de puncte, care au valoarea pentru atributul EchoWidth mai mare de 4.7;
- *Interpolare ierarhică robustă* – în urma acestui proces au rezultat 1 225 707 de puncte care au fost clasificate drept teren;
- *Segmentare* – în urma acestui procedeu au rezultat 125 de segmente, care sunt ulterior analizate și clasificate;
- *Clasificare, verificarea condiției*– se verifică segmentele care conțin peste 80% puncte-teren, având ca referință rezultatele din metoda de filtrare ierarhică robustă. Astfel, segmentele au fost clasificate în: 89,6% segmente-teren, 10,4% segmente non-teren și 2,4% segmente ce nu conțin puncte teren.
- *Puncte – teren și crearea Modelului Digital final al Terenului.* În urma combinației, are loc o creștere a numărului de puncte ce sunt clasificate drept teren, cu 32 531, puncte-teren care sunt obținute în urma procedeuului de segmentare și clasificare a segmentelor rezultate.

- **Figura 2 – Detaliu din cadrul unui Modelul Digital al Terenului** obținut prin interpolarea punctelor-teren ce descrie în mod fidel albia și malurile râului, prin interpolare ierarhică robustă (model reprezentat cu verde), respectiv prin utilizarea metodei inovative (model reprezentat cu roșu).

- **Figura 3 - Profil** care evidențiază îmbunătățirile pe care această metodă le aduce. Astfel cu culoarea roșie sunt reprezentate punctele laser scanner măsurate inițial, cu albastru sunt punctele obținute în urma interpolării ierarhice robuste, iar cu nuanța de gri sunt reprezentate punctele interpolate obținute în urma aplicării metodei inovative, care combină interpolarea ierarhică, procesul de segmentare și clasificare a norului de puncte. Se poate vedea în mod cert, faptul că modelul digital obținut prin aplicarea metodei inovative redă cu acuratețe forma reală a terenului.

34

Bibliografie

1. Axelsson, 2000, *DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B4. Amsterdam, pp. 110-117.
2. Briese C, Pfeifer N., 2001. *Airborne Laser Scanning and Derivation of Digital Terrain Models*. Proceedings of the 5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques Vienna, pp. 80 – 87
3. Briese, 2004, *Three-dimensional modeling of breaklines from airborne laser scanner data*, IAPRS XXXV B/3, Istanbul, Turkey
4. El-Sheimy N., Valeo C., Habib A., (2005) – Digital Terrain Modelling – Acquisition, Manipulation and Applications, Artech House, ISBN 1-58053-921-1, Norwood, United States of America.
5. Iosub F. (2008). *Manipularea seturilor de date LiDAR (Light Detection and Ranging)*, www.geo-spatial.org
6. Kraus K., Pfeifer N., 1998, *Determination of terrain models in wooded areas with aerial laser scanner data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53, pp. 193-203.
7. Loghin A., Oniga E., Wieser M., (2016), *Analysing and Modelling Terrain Surface Changes using Airborne Laser Scanning Data*, World Journal of Engineering Research and Technology WJERT, Vol. 2, Issue 3, 87-95
8. Lohmann, P., Koch, A. and Schaeffer, M., 2000, *Approaches to the filtering of laser scanner data*. In IAPRS, Vol.XXXIII, Amsterdam, Netherlands.
9. Nardinocchi, C., Forlani, G. and Zingaretti, P., 2003, *Classification and filtering of laser data*. In IAPRS, Vol.XXXIV, 3/W13, Dresden, Germany
10. Oniga E. (2014), *Fotogrammetrie*, Note de curs, Iași
11. Otepka J., Ghuffar S., Waldhauser C., Hochreiter R., Pfeifer N.(2013) *Georeferenced point clouds: A survey of features and point cloud management*. ISPRS Int. J. Geoinf. 2013, No. 2, pp. 1038–1065.
12. Sithole, G. and Vosselman, G., 2001, *Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter*. In IAPRS, Vol.XXXIV, 3/W4, Annapolis, MD, USA
13. Tóvári D., Pfeifer N., 2005, *Segmentation based robust interpolation – a new approach to laser data filtering*, International Archives of Photogrammetry, Remote

Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14

14. Vosselman G., 2000. *Slope based filtering of laser altimetry data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands 32,B3/2, pp. 935 – 942.
15. Vosselman G., Maas H.G., (2010) – *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, Whittles Publishing, ISBN 978-1904445-87-6, Scotland, UK
16. Wack R., Wimmer A., 2002, *Digital terrain models from airborne laser scanner data – A grid based approach*, Jonnaeum Research 2002, pp.75-79.

REVENDICĂRI

1. Metodă de filtrare a norilor de puncte rezultați în urma utilizării tehnologiei de scanare laser aeriană, **caracterizată prin aceea că** folosește algoritmul de interpolare ierarhică robustă pentru crearea unei suprafețe inițiale în care punctele au ponderi individuale egale, calculează coeficienții în funcție de deviațiile verticale ale punctelor față de suprafața cea mai probabilă, calculează o nouă suprafață prin iterații succesive și identifică punctele ce aparțin terenului pentru obținerea Modelelor Digitale ale Terenului.
2. Metodă de segmentare a norilor de puncte rezultați în urma utilizării tehnologiei de scanare laser aeriană, **caracterizată prin aceea că** calculează valorile normalelor în fiecare punct, selectează și analizează punctele în funcție de vecinătăți, aplică procesul “region growing” de formare a segmentelor prin îndeplinirea condițiilor de similaritate (pragul pentru valorile normalelor în fiecare punct și pragul diferențelor pe înălțime dintre puncte) și extrage segmentele utilizate în derivarea Modelelor Digitale ale Terenului.
3. Metodă de clasificare a norilor de puncte rezultați în urma utilizării tehnologiei de scanare laser aeriană, **caracterizată prin aceea că** face o analiza comparativă a punctelor teren obținute prin interpolarea ierarhică robustă și segmentare, clasifică segmentele în: segmente-teren, segmente non-teren și segmente ce nu conțin puncte-teren, clasifică norii de puncte în puncte ce aparțin terenului și puncte non-teren, obținându-se Modelele Digitale ale Terenului îmbunătățite.

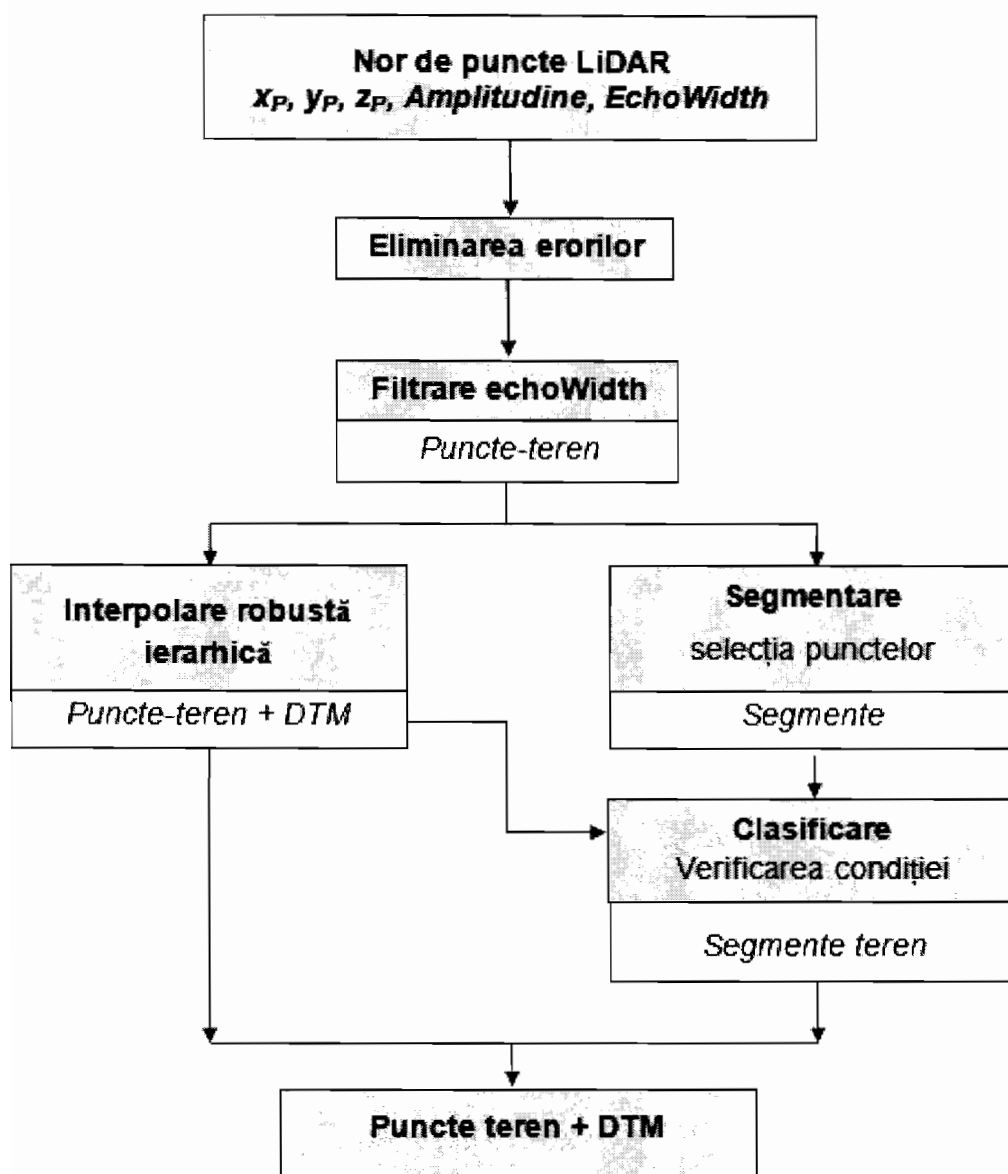


Figura 1 – Prezentarea etapelor algoritmului de filtrare a punctelor-teren

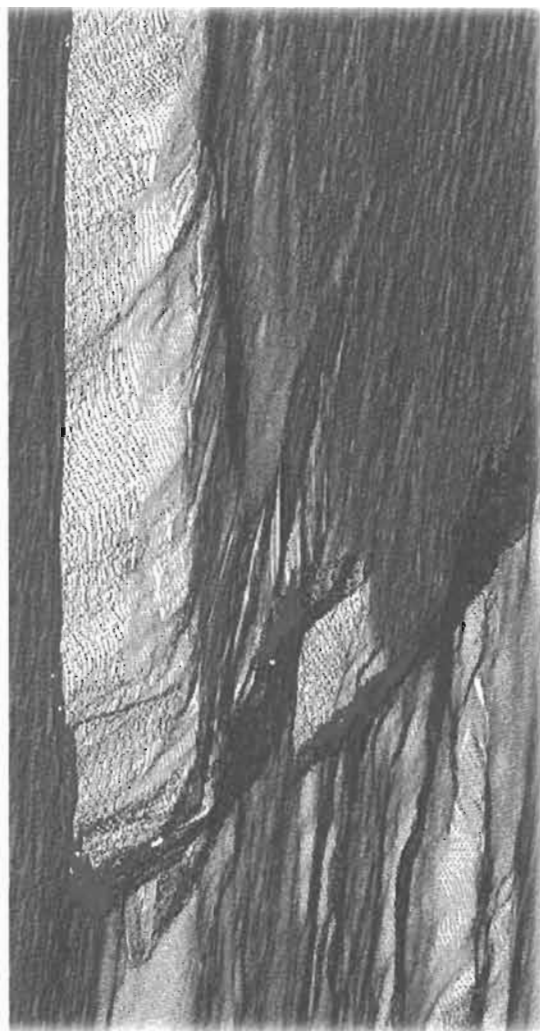


Figura 2 – Detaliu din cadrul unui Model Digital al Terenului



Figura 3 – Profil

- Puncte laser
- Puncte interpolate - metoda robfilter
- Puncte interpolate - metoda robfilter + segmentare