

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00292

(22) Data de depozit: 25/04/2018

(41) Data publicării cererii:
30/08/2018 BOPI nr. 8/2018

(71) Solicitant:
• PROSIG EXPERT S.R.L.,
ȘOS. MIHAI BRAVU, NR.62 A, CORP B,
ET. 3, CAMERA 8, SECTOR 2, BUCUREȘTI,
B, RO

(72) Inventatori:
• BALOTĂ OCTAVIAN LAURENȚIU,
STR. CÂMPIA LIBERTĂȚII, NR.9, BL.PM.62,
SC.2, AP.58, ET.1, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ILIE DANIEL, STR. BAHLUIULUI, NR.10A,
BL.148, SC.B, ET.4, AP.63, PLOIEȘTI, PH,
RO;
• VULPE MARIAN, STR. CRINGULUI, BL.15,
SC.B, ET.4, AP.16, SFÂNTU GHEORGHE,
CV, RO;

• VASILE MARIA GABRIELA, STR.AVRIG,
NR.35, BL.441, SC.1, ET.6, AP.25,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;
• ENACHE MARIUS, BD. BASARABIA
NR.208B, BL.2TITAN, ET.3, AP.13,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;
• IORDAN DANIELA,
ALE.BARAJUL CUCUTENI, NR.3, BL.A14,
ET.5, AP.24, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• POPESCU GABRIEL,
ALE.COMPOZITORILOR, NR.13, BL.OD5,
SC.7, ET.3, AP.253, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• RĂDUCĂNU COSTINEL, STR.ODOBEȘTI,
NR.13, BL.V35, SC.A, ET.4, AP.16,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
• PLISCA GRATIAN,
STR.GEORGE DEMETRESCU MIRCEA,
NR.5-7, SC.A, AP.4, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) PROCEDU DE REALIZARE A MODELULUI NUMERIC
AL ELEVAȚIEI, UTILIZÂND UN SISTEM LIDAR-UAV
DE MICI DIMENSIUNI, SUB 15 KG

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de realizare a unui model numeric al elevației, al unei arii geografice. Procedeu conform invenției constă în realizarea (B) unui proiect de culegere de date cu un senzor LIDAR montat pe un vehicul aerian fără pilot (UAV), prevăzut cu echipamente de poziționare de tip GNSS și de tip inerțial, IMU, și stabilirea ariei de înregistrare, calibrarea (A) poziției senzorului LIDAR față de poziția sistemului inerțial și față de poziția antenelor sistemului GNSS, efectuarea zborului (C) și obținerea de date (1) brute LIDAR, care sunt apoi calibrate geometric prin intermediul unui proces de corectare a erorilor fizice și geometrice, pornind de la datele de navigație generate pe baza determinării (N) unei traiectorii de zbor compensate, date LIDAR care sunt apoi validate printr-un proces (I) de control al calității, pentru obținerea unui nor de puncte (5) calibrat, din care au fost eliminate punctele neverosimile prin procese (J) de control statistic, și georeferențiat într-un sistem de coordonate dorit, din care se obțin, în final, modelul numeric al terenului și modelul numeric al suprafeței.

Revendicări: 1
Figuri: 13



Fig. 12



PROCEDEU DE REALIZARE A MODELULUI NUMERIC AL ELEVĂȚIEI UTILIZÂND UN SISTEM LIDAR-UAV DE MICI DIMENSIUNI, SUB 15Kg

Invenția se referă la un procedeu rapid, relativ în timp real, de modelare tridimensională a suprafeței terenului utilizând un sistem LIDAR-UAV de mici dimensiuni, cu masa totală la decolare sub 15kg. Pentru asigurarea unei precizii foarte bune, sistemul LIDAR-UAV a fost proiectat cu sisteme de poziționare duble cu tehnologie RTK, atât pentru UAV cât și pentru senzorul LIDAR, acesta din urmă fiind complementat și cu un sistem de poziționare inerțială.

Un Model Numeric al Elevației (*sau DEM, Digital Elevation Model, în engleza*) este un model digital tridimensional utilizat pentru a realiza o reprezentare a suprafeței terenului din date de cotă. Termenul DEM a fost introdus în anul 1970 cu scopul de a distinge forma terenului care poate fi reprezentat prin mai multe tipuri de suprafețe digitale.

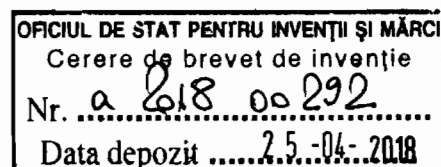
Modelul Numeric al Terenului (*MNT sau DTM, Digital Terrain Model, în engleză*) este un DEM de forma suprafeței solului.

Modelul Numeric al Suprafeței (*MNS sau DSM, Digital Surface Model, în engleză*) este un DEM de forma suprafeței tuturor elementelor aflate deasupra solului, inclusiv a vegetației, infrastructurii, construcțiilor, etc. (Figura 1).

În cadrul prezentului document termenii „NUMERIC” și „DIGITAL” sunt SINONIMI (termenul „numeric” reprezintă traducerea în română a termenului „digital”).

Stadiul cunoscut al tehnicii: Un MNT sau MNS se poate obține utilizând tehnici fotogrammetrice sau prin tehnici LIDAR. Pentru un MNT cu densitate cuprinsă între 25 puncte /m² ÷ 1 punct /m², ceea ce corespunde unui grid de 20cm respectiv 1m, este indicat să se utilizeze tehnologia LIDAR. Trebuie însă știut că prin tehnologia LIDAR se obține Modelul Numeric al Suprafeței, respectiv un nor de puncte care modelează suprafața terenului cu tot ce există pe aceasta, vegetație și construcții. Pentru a obține MNT din MNS, norul de puncte trebuie clasificat și extras din acesta doar acele puncte care sunt efectiv pe suprafața pământului.

Procedeu cel mai des utilizat pentru obținerea MNT se bazează pe tehnologia fotogrametrică (utilizează camere fotogrametrice îmbarcate pe un aparat de zbor cu pilot uman la bord, aparat de zbor cu motoare puternice și ardere internă), punctele obținându-se fie prin restituție directă, fie prin generare



semiautomată, în sensul că punctul este poziționat automat pe un grid predefinit și operatorul poziționează manual punctul la cota terenului.

Poziționarea se poate face și complet automat, caz în care este necesară o etapă de corectare, de eliminare a punctelor care nu au fost poziționate corect.

Aceast procedeu nu permite obținerea de puncte în zonele acoperite cu vegetație deoarece prin tehnologia fotogrammetrică, pentru a se putea genera poziția unui punct, este necesar ca punctul să fie vizibil din aer de către senzor din cel puțin două poziții diferite. Pe când punctelor ce se obțin prin tehnologie LIDAR, le este suficientă o singură poziție din care să fie vizibile de către sistemul de scanare.

Procedeul bazat pe tehnologia fotogrametrică (utilizează camere fotogrametrice imbarcate pe aparatul de zbor cu pilot uman la bord, aparat de zbor cu motoare puternice și ardere internă) are următoarele dezavantaje:

- Poluează fonic
- Poluează cu gaze de ardere
- Consumă combustibil fosil
- Grad redus de automatizare
- Costuri inițiale ale sistemului mult mai mari decât în cazul UAV-urilor
- Durata de realizare a MNT/MNS este foarte mare, de ordinul zilelor și zecilor de zile
- Nu este eficient pentru monitorizarea la intervale scurte de timp și/sau pentru suprafețe mici, mobilizarea echipamentelor de preluare realizându-se pe parcursul a câteva zile.
- Are costuri ridicate, dat fiind că sunt implicate consumuri importante de resurse materiale și umane.

Al doilea cel mai cunoscut procedeu de realizare a MNS / MNT se bazează pe tehnologia LIDAR instalate pe platforme aeriene clasice (aparat de zbor cu pilot uman la bord). Acest procedeu are, de asemenea, mai multe dezavantaje majore, enumerate mai jos:

- Poluează fonic
- Poluează cu gaze de ardere
- Consumă combustibil fosil
- Densitate mică a punctelor pe metru pătrat și implicit MNT / MNS mult mai slab calitative (dezavantaj major pentru situațiile în care detaliile sunt importante),
- Are costuri inițiale ale sistemului mult mai mari decât în cazul UAV-urilor
- Are costuri de operare ridicate, dat fiind că sunt implicate consumuri importante de resurse materiale

- Procedul nu este eficient pentru monitorizarea la intervale scurte de timp, și/sau pentru suprafețe mici, mobilizarea echipamentelor de preluare realizându-se pe parcursul a câteva zile

La nivel național tehnologia LIDAR este dezvoltată doar pe platforme aeriene cu pilot uman la bord.

Pe plan internațional extragerea MNT și MNS se realizează prin procese de clasificare și filtrare costisitoare ca timp de calcul, cu parcurgere a datelor de cel puțin două ori. Algoritmii de filtrare, implementați în prezenta invenție, parcurg o singură dată norul de puncte.

La nivel internațional, european, din cunoștințele noastre, sistemele LIDAR-UAV se bazează doar pe postprocesare dar și în acest caz preciziile obținute sunt de ordinul zecilor de centimetri.

Un astfel de sistem comparabil din punct de vedere financiar, utilizat în Europa este sistemul YellowScan's Lidar care se bazează tot pe scannerul laser Velodyne VLP16 ce furnizează 600,000 de puncte pe secundă. Desigur că pe plan internațional există și sisteme LIDAR - UAV mai performante din punct de vedere a densității de puncte și a puterii de recepție a semnalelor, cum sunt sistemele furnizate de Riegler, dar acestea se încadrează în alte clase de UAV cu greutatea de peste 25 kg care au nevoie de condiții speciale de survol.

Un exemplu de utilizare a unui astfel de sistem este descris în ultimul număr al revistei GIM și se referă la monitorizarea eroziunii costiere „Monitoring Coastal Erosion with UAV Lidar - 15/03/2018” (<https://www.gim-international.com/content/article/monitoring-coastal-erosion-with-uav-lidar>).

Astfel, utilizarea tehnologiei LIDAR pe sisteme UAV confirmă avantajele unor astfel de sisteme pentru supravegherea și monitorizarea schimbărilor de peisaj prin flexibilitate, procesare rapidă, fiind de un mare ajutor în luarea deciziilor în cunoștință de cauză.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în obținerea unei precizii de ordinul centimetrilor și în același timp o densitate mare de puncte (de ordinul a sutelor de puncte/m²). Densitatea ridicată a punctelor/m² nu este afectată de înălțimea de zbor de la care se achiziționează datele (în intervalul de funcționare al sistemului), ceea ce pentru un sistem LIDAR instalat pe aparate de zbor cu pilot uman la bord nu se aplică.

Procedul de realizare a Modelului Numeric al Elevației (MNE) utilizând un sistem LIDAR-UAV de mici dimensiuni, cu masa totală la decolare sub 15kg, înlătură dezavantajele prin aceea că, permite obținerea modelelor 3D ale solului (MNT) și ale suprafeței terenului (MNS) pentru o arie de suprafață medie la o precizie și densitate de puncte stabilite prin cerință, și care constă în realizarea unui proiect de culegere date cu un senzor LIDAR montat pe un UAV împreună cu echipamente de poziționare

GNSS și de tip inerțial IMU, respectiv realizarea unui proiect de scanare laser, calibrarea instrumentală a poziției senzorului LIDAR față de poziția sistemului inerțial și față de poziția antenelor GNSS, realizarea zborului cu sistemul LIDAR-UAV și obținerea de date brute LIDAR care sunt apoi calibrate geometric prin intermediul procesului de corectare a erorilor fizice și geometrice pornind de la datele de navigație generate prin proces pe baza determinării unei traiectorii de zbor compensate, date LIDAR care apoi sunt validate prin procesul de control a calității în urma factorului decizional pentru obținerea astfel a norului de puncte calibrat curățat de punctele neverosimile prin procesele de control statistic, și georeferențiat în sistemul de coordonate dorit prin procese, utilizând punctele de control și referință pentru a se obține în final Modelul Numeric al Terenului și Modelului Numeric al Suprafeței, care vor putea fi utilizate în aplicații diverse.

Avantajele generale sunt următoarele:

- Un mediu complex în care factori naturali și antropici modelează peisajul în mod continuu, peisajul trebuie gestionat și monitorizat relativ în timp real.
- Datele achiziționate cu tehnologia LIDAR reprezintă un avantaj pentru aceste investigații topografice prin caracterul nedistructiv, neinvaziv dar de precizie cu un nivel de detaliu aproape fără limite.
- În unele zone sunt necesare irigațiile iar în alte zone rezervele de apă din zonele urbane au scăzut datorită consumului tot mai mare de apă.
- Tot cu această tehnologie pot fi evaluate evenimente precum inundațiile sau furtunile sezoniere prin achiziția rapidă a datelor pentru anumite arii calamitate.
- Sistemul LIDAR-UAV este extrem de avantajos pentru monitorizarea culturilor agricole, în special a ritmului de creștere a acestora și în final pentru pronosticul corect al productivității.

Avantajele specifice ale invenției sunt următoarele:

- Procedeele sunt complet nepoluante, nu consumă combustibili fosili, nu poluează fonic, nu afectează biodiversitatea din ariile investigate fiind un sistem complet electric; procedeul poate fi utilizat inclusiv în medii și arii protejate, cum ar fi zona Deltei Dunării.
- Are grad ridicat de automatizare,
- Procedeul are grad de noutate ridicat.
- Costul inițial al sistemului și costul de operare sunt mult mai scăzute comparativ cu al celorlalte procedee bazate pe utilizarea aparatelor de zbor cu pilot uman la bord.
- Timp scurt de realizare a MNT și MNS. Cerințele de zbor fiind mult mai permissive pentru UAV, comparativ cu aparatul de zbor cu pilot uman la bord [respectiv: (i) pregătirea zborului durează mult mai puțin, (ii) plafonul de nori nu împiedică preluarea datelor, (iii) pentru UAV cu masa totală la

decolare sub 15 Kg, zborul se autorizează printr-un simplu telefon dat la Centrul de Operațiuni Aeriene, operarea UAV nu necesită brevet de pilot].

- Procedeeul permite obținerea unei calități maxime a produsului din punct de vedere a preciziei de poziționare, dar și din punct de vedere a preciziei geometriei obiectivului înregistrat, acesta fiind modelat exact conform formei sale reale.
- Procedeeul permite obținerea Modelului Numeric al Terenului (MNT) și în zonele cu vegetație.
- Procedeeul permite obținerea de date privind forma suprafeței la o densitate de puncte suficientă pentru evidențierea oricărui detaliu.
- Cu datele LIDAR înregistrate de pe platforme UAV pot fi analizate suprafețe sau obiective aflate pe suprafețe medii de ordinul hectarelor într-un timp foarte scurt cu un grad de detaliere incomparabil cu alte sisteme.
- Procedeeul permite vizualizarea în timp real a norului de puncte înregistrat (chiar în timp ce sistemul LIDAR-UAV executa zborul),
- Procedeeul permite verificarea și reglarea zborului următor în funcție de rezultatele obținute.
- Procedeeul permite supravegherea periodică a alunecărilor de teren cu răspuns rapid.
- Procedeeul permite calculul rapid și precis al volumului de biomasă pentru suprafețele agricole prin simpla diferență între DTM și DSM.

Conform invenției se ține seama de următorii factori, respectiv:

- Condițiile meteorologice sunt un factor determinant, motiv pentru care procedeeul se poate aplica doar în condiții atmosferice fără umiditate ridicată (burniță, ploaie) și fără intensificări prea mari ale vântului (viteza maximă a vântului de 29 km/h).
- Pentru achiziția datelor LIDAR, este necesar a se asigura permanent o linie vizuală directă cu sistemul UAV-LIDAR. Acest lucru, precum și autonomia de zbor, limitează sistemul la o rază de utilizare de maxim 1 km față de baza de operare.
- Autonomia de zbor a sistemului UAV- LIDAR este limitată la maximum 20 de minute de zbor (viteza medie de 22 km/h, vânt moderat).

Se dă în continuare un exemplu de realizare al invenției, în legătură cu figurile 1 – 13, care reprezintă:

- Figura 1. Diferența între DSM și DTM.
- Figura 2. Dispunerea celulelor de eșantionare peste un nor de puncte LDAR.
- Figura 3. Dispunerea terenului într-o celulă de eșantionare – vedere laterală.
- Figura 4. Principii de căutare a următoarei celule valide, cazul MNT.
- Figura 5. Principii de căutare a următoarei celule valide, cazul MNS.
- Figura 6. Filtrarea și clasificarea punctelor ce definesc MNT, cu ajutorul aplicației LIDAR Tools.

- Figura 7. Rezultatul final al punctelor clasificate ca și sol/MNT – vizualizare în Potree-Prosig.
- Figura 8. Vizualizarea modelului MNT și realizarea curbelor de nivel pe baza acestuia.
- Figura 9. Vizualizarea realistă a punctelor clasificate ca și MNS în aplicația Potree Prosig.
- Figura 10. Vizualizarea suprafeței MNS (vizualizare de deasupra).
- Figura 11. Vizualizarea modelării 3D a punctelor clasificate ca și MNS.
- Figura 12. Diagrama de flux pentru generarea MNS și MNT [în care cu litere (A, B, C, ...etc) și cu albastru am marcat procesele, iar cu numere (1, 2, 3, ..etc) și cu verde am marcat rezultatele]
- Figura 13. Diagrama de proceduri și aplicații pentru generarea MNS și MNT

Principii de obținere a Modelului Numeric al Elevației

Forma terenului este dată de Modelul Numeric al Terenului (MNT) reprezentat printr-un grid de puncte de o anumită densitate sau rețea de triunghiuri de tip TIN (Triangular Irregular Network). Densitatea gridului de **puncte** se alege astfel încât să redea cât mai fidel forma terenului. Invenția a fost astfel dezvoltată încât sistemul LIDAR-UAV să poată genera relativ în timp real un DEM extrem de precis de ordinul centimetrilor la o densitate foarte mare de puncte, 100-200 puncte/m².

Dat fiind densitatea mare de puncte, extragerea MNT și MNS din norul de puncte necesită un timp îndelungat de procesare și analiză. Pentru minimizarea acestui timp, în procedura de extracție dezvoltată în cadrul invenției utilizăm un proces de filtrare a datelor printr-o singură parcurgere a acestora, față de metoda mai des utilizată a Patch-urilor de extracție care necesită două parcurgeri ale datelor.

Filtrarea datelor LIDAR înseamnă aplicarea de funcții specifice unui anumit obiectiv pe setul de date LIDAR pentru a selecta doar acele puncte care respectă proprietatea obiectivului căutat.

Proprietatea principală a **Modelului Numeric al Terenului** pe care noi am generat-o prin procesul de filtrare, este că acesta reprezintă o suprafață, oricât de neregulată ar fi ea, dar o suprafață. Aceasta înseamnă că nici un punct nu trebuie să mai existe deasupra sau dedesubtul acestei suprafețe.

Proprietatea secundară, rezultată oarecum din prima, este că sub această suprafață nu are cum să mai existe puncte în setul de date și dacă există, acestea sunt erori de sistem.

Pornind de la aceste considerente pentru generarea MNT am construit funcții de filtrare care să selecteze punctele minime și să elimine punctele superioare punctelor minime.

Operația ar fi ușoară dacă pe teren nu ar exista nimic artificial, construit de om. Construcțiile vor putea fi oricând confundate cu terenul, fără aplicarea unui algoritm de filtrare.

O proprietate importantă a construcțiilor este utilizată pentru identificarea acestora, este vorba de apariția lor bruscă pe suprafața terenului, respectiv suprafața terenului trece brusc de la o cotă la alta printr-un salt relativ mult mai mare decât densitatea de puncte așteptată.

Impedimentul este că un astfel de fenomen este întâlnit și în zonele cu relief accidentat, însă pentru această situație algoritmul de filtrare conține indicații legate de natura terenului.

În mod natural, în cele mai multe situații, suprafața terenului se caracterizează prin continuitate lină, discontinuitățile sau schimbările de pantă bruște apar doar la linia de demarcație între obiecte și teren sau în munți acolo unde relieful este foarte accidentat.

Astfel, pentru zonele cu relief mai puțin accidentat am construit filtre pe baza cotei minime și a gradului de schimbare de pantă. Trebuie avut însă în vedere faptul că pe teren, chiar dacă e plan, mai există frecvent șanțuri, canale și alte elemente de infrastructură care au transformat (pe suprafețe restrânse) terenul plan în teren cu pante mai abrupte.

Continuitatea unui model se exprimă prin panta dată de două puncte succesive, pantă descrisă de parametrul P . Panta se exprimă procentual prin raportul între lungimea orizontală și diferența de cotă dintre cele două puncte.

Cu cât diferența de pantă între două perechi de puncte succesive se schimbă mai mult, cu atât terenul este mai accidentat sau există șansa de apariție a unor obiecte pe teren.

Dat fiind numărul mare de puncte într-un nor, nu se pot analiza pantele între punctele adiacente. Pentru a pune în evidență anomaliile din teren, norul de puncte trebuie parcurs pe o grilă de eșantionare, respectiv se setează un pas de eșantionare, egal pe ambele direcții ale axelor sistemului de coordonate, definit de parametrul E . Norul de puncte se împarte în celule pătrate de latura E dispuse în lungul axelor de coordonate așa cum se arată în figura 2.

Ideea este de a identifica în fiecare din aceste celule care sunt acele puncte de cotă minimă care reprezintă teren și nu un acoperiș de casă, de exemplu.

Cum oricare celulă ar putea să fie o celulă corespunzătoare doar unei construcții, algoritmul de filtrare trebuie să determine apartenența celulei.

Pentru evitarea analizei unui număr prea mare de puncte, chiar în cazul în care celulele au dimensiune mică este utilă setarea unei înălțimi a celulei astfel încât punctele de la suprafața solului care depășesc o anumită înălțime față de cota minimă a celulei, să fie eliminate. Fie această înălțime h .

Această metoda generează pentru fiecare celulă un paralelipiped în spațiul 3D al norului de puncte care urmăresc suprafața pământului într-un anumit ecart dat de înălțimea fiecărui paralelipiped.

Trebuie ținut cont că în interiorul celulei punctele pot fi dispuse pe înălțimi diferite ba chiar să fie în afara celulei dacă ecartul este prea mic în comparație cu dimensiunea celulei (figura 3).

Folosind acest principiu a fost dezvoltat un algoritm care să filtreze datele LIDAR pentru extragerea punctelor de teren și în același timp să elimine punctele neverosimile. Datele se parcurg celulă cu celulă, începând de la celula cu cea mai mică valoare de cotă, se calculează panta între celulele adiacente pe traseul de parcurgere.

Pentru eficientizarea algoritmului am utilizat mai multe metode de căutare și identificare a unei celule valide din punct de vedere al MNT, respectiv o celulă neclasificată vecină cu o celulă clasificată din punct de vedere al MNT.

În final norul de puncte se parcurge pe mai multe trasee conform descrierii din figura 4.

Modelul Numeric al Suprafeței, MNS (sau DSM în terminologia engleză), se caracterizează similar cu MNT prin două proprietăți specifice:

- a) MNS reprezintă suprafața văzută din aer de un observator, care include suprafața vizibilă a tuturor obiectelor de pe teren și a terenului însuși.
- b) Peste această suprafață nu ar trebui să mai existe alte puncte de cotă mai mare, iar dacă există, acestea nu pot fi decât puncte neverosimile, dacă sunt izolate sau în grupuri foarte mici de puncte sau puncte din liniile electrice care se tratează separat.

Pentru identificarea punctelor care aparțin MNS se utilizează un algoritm de filtrare relativ similar cu algoritmul de extragere a punctelor MNT cu diferența că nu se mai alege celula cu cotă minimă ci celula cu cotă maximă.

În plus, nu mai este necesar să se parcurgă suprafața păstrând mereu vecinătatea în spirală. Traseul de parcurgere devine mai simplu ca în figura 5.

Algoritmul a fost extins și pentru eliminarea simultană a punctelor neverosimile prin utilizarea de celule cu ecart variabil. Atunci când în celulă punctul de cotă minimă sau maximă este singur se verifică singularitatea și în celulele vecine. Dacă se confirmă singularitatea, atunci punctul respectiv este neverosimil.

Așa cum se descrie în diagramele de proces din figurile 6 și 7, procesul de generare a MNE se bazează pe utilizarea unui echipament ușor sub 15 kg format din:

- UAV de tip helicopter
- Senzorul LIDAR (cu capacitate de minim 600,000 puncte/s)
- Senzorul IMU
- Sistem de corectare a traiectoriei de zbor bazat pe corecții satelitare (sistem D-RTK)
- Unitatea CPU de corelare a datelor LIDAR-IMU-GPS

Echipamentul este completat la sol cu următoarele componente:

- Radio-telecomandă și sistem de vizualizare a parametrilor de zbor

- Sistem de generare a corecțiilor satelitare (sistem D-RTK dar și sistem RTK)
- Stație de control la sol (Laptop, antena Wifi unidirecțională, modul de comunicare 3G/4G)
- Aplicații de procesare și monitorizare a datelor (DJI Go, Hangar Autopilot, SpatialLightHouse, Image Data Converter, SpatialExplorer, SpatialFuser, LIDAR Tools, Potree-Prosig)

Datorită particularităților zborului unui UAV (comparativ cu zborul unui avion), rezultă următoarele particularități ale datelor LIDAR preluate cu ajutorul UAV, comparativ cu datele similare preluate din avion, respectiv:

- UAV fiind mult mai sensibile la curenți de aer și la volume de aer cu densități diferite, execută mici mișcări necontrolabile atât pe axele (x, y, z) cât și înclinări și rotații; prin urmare datele au erori mai mari [atât pe cele 3 axe (x, y, z) cât și de rotație (ϕ , ω , k) în jurul celor 3 axe].
- UAV zboară la altitudini mai mici (mult mai aproape de obiectivele monitorizate), prin urmare norul de puncte LIDAR este mai dens (nr. puncte / mp este mai mare).
- Cerințele de zbor fiind mult mai permissive pentru UAV, comparativ cu aparatul de zbor cu pilot uman la bord [respectiv: (i) pregătirea zborului durează mult mai puțin, (ii) plafonul de nori nu împiedică preluarea datelor, (iii) pentru UAV cu masa totală la decolare sub 15 Kg, zborul se autorizează printr-un simplu telefon dat la Centrul de Operațiuni Aeriene, operarea UAV nu necesită brevet de pilot], în situații de dezastre, preluarea datelor cu ajutorul UAV se poate face imediat ce situația o cere.

Având în vedere aspectele menționate mai sus, pentru a valorifica avantajele UAV am dezvoltat o nouă metodă de lucru bazată pe:

- algoritmi mai eficienți pentru procesarea datelor
- noi procedee de lucru pentru achiziția și procesarea datelor LIDAR

Astfel, conform invenției, se prezintă următoarele etape:

În prima etapă, pentru acest sistem de echipamente, este necesară calibrarea geometrică instrumentală la montaj. Geometria relativă a sistemului LIDAR –UAV, respectiv UAV și elementelor active ale fiecărui echipament de măsură (antenele GPS, elementul activ IMU, senzorul LIDAR) sunt parametrii „constante de sistem”. Acest tip de calibrări trebuie verificat la fiecare zbor, parametrii acestora fiind setabili în softurile de monitorizare și control a sistemului (figura 13). UAV-ului i se materializează un ax de zbor și o origine față de care se definește un sistem de axe și față de care se determină poziția celorlalte echipamente.

UAV de tip elicopter, față de avionul cu aripi fixe la care sensul de zbor este unic, necesită o calibrare specială înainte de fiecare zbor deoarece aceasta poate zbura în orice direcție.

Software utilizate la calibrarea echipamentelor, a zborului și la controlul acestora sunt următoarele:

DJI-Go, este o aplicație de calibrare și monitorizare a parametrilor UAV-ului. Se utilizează înainte de a realiza zborul cu ajutorul pilotului automat gestionat prin aplicația Autopilot.

Autopilot este o aplicație de proiectare și control al zborului.

DJI-Assitant este aplicația de actualizare și control a celorlalte softuri de proces ale echipamentelor de pe UAV. Are funcții de simulare a zborului, de setare a parametrilor de calibrare a UAV, funcții de management al bateriilor.

Spatial Explorer este softul instalat de producător pe stația de monitorizare a zborului fiind responsabil cu recepția datelor în timp real. Prin intermediul acestei aplicații operatorul poate verifica datele LIDAR și completitudinea lor.

Spatial Lighthouse este softul responsabil cu transmiterea de corecții RTK prin tehnologia WiFi.

Spatial Fuser este softul prin care se face prelucrarea preliminară/finală a norului de puncte astfel încât acele erori fizice să fie eliminate automat. Datorită acestui soft erorile de distorsiune și erorile fizice ale sensorului LIDAR sunt eliminate automat. Operatorul trebuie doar să verifice parametrii de calibrare prin măsurători specifice.

A doua etapă în procesul de generare MNE (sau DEM în lb. engleza), figura 12, este realizarea zborului efectiv (C) pentru care mai întâi se proiectează traiectoria de zbor, procesul (B) astfel încât sistemul să acopere suprafața dată (pentru care se realizează MNE), să permită obținerea unei precizii și densități de puncte impuse prin cerințele (4). Pe baza proiectului de zbor, sistemul LIDAR-UAV execută un zbor (C) prin care se obține un nor de puncte LIDAR brut care trebuie calibrat fizic și geometric. Pentru echipamentele LIDAR, calibrarea fizică se referă la puterea semnalului, frecvența de emisie recepție a semnalului, respectiv numărul de pulsuri/ secundă. Acești parametri definesc sensorul LIDAR și sunt definiți ca parametri în programele de monitorizare a procesului de culegere date sau în programele de corectare preliminară.

Dat fiind aceste caracteristici sensibile și nemodificabile în timp relativ scurt, integratorii sistemelor de scanare cu senzori LIDAR și optici furnizează pachete de programe orientate pe echipamente, sub conceptul "embeded" care să țină cont automat de acești parametri în calculele de poziție.

A treia etapă este procesarea datelor LIDAR, calibrarea geometrică pe baza unor puncte de reper și control la sol (7), pentru a se ajunge într-un sistem de coordonate cunoscut. În această fază traiectoria de zbor este recalculată și compensată pe baza corecțiilor RTK de la stația de referință și pe baza determinărilor GNSS și IMU ale echipamentelor de la bordul UAV.

LIDARMill este softul pe care producătorul îl furnizează pentru diferite procese de verificare a datelor, de verificare și control a traiectoriei de zbor rezultate, de corectare a datelor rezultate de influența erorilor de sistem.

Alături de **LidarMill**, în procesul de calibrare și corectare geometrică mai folosim aplicația proprie **LidarTools** care are funcții speciale de corectare dar și funcții de clasificare și filtrare a datelor LIDAR. Aplicația LidarTools are implementați algoritmi dezvoltati pentru extragerea facilă a punctelor ce definesc atât modelul MNT (Figura 6) cât și modelul MNS. Aplicația dezvoltată de către solicitantul brevetului de invenție (PROSIG EXPERT) este capabilă să prelucreze nori de puncte LIDAR, achiziționați cu senzori de mare capacitate, procesând milioane de puncte.

Aplicația Potree-Prosig este utilizată pentru vizualizarea modelului MNT (Figura 7) cât și pentru vizualizarea modelului MNS (Figura 9), dar și pentru manipularea acestora (măsurători de distanțe, unghiuri și coordonate, calcule de arii, afișare profile, etc.). Aplicația Potree-Prosig permite vizualizarea punctelor ce definesc cele două tipuri de modele numerice ale elevației: MNT și MNS. Pentru vizualizarea suprafeței 3D ce are la bază aceste modele numerice, precum și pentru generarea de alte produse topografice și cartografice se utilizează aplicația GlobalMapper (Figura 8, Figura 10, Figura 11).

În figura 13 se prezintă structura de pachete de programe utilizate la gestiunea componentelor de sistem, la calibrarea echipamentelor, la calibrarea geometrică și fizică a datelor LIDAR și la extragerea datelor ce descriu MNT și MNS.

A patra etapă este filtrarea și clasificarea datelor LIDAR utilizând aplicația LIDAR-Tools pentru extragerea din norul de puncte a acelor puncte care respectă proprietățile unui MNS sau a unui MNT. Simultan, punctele neverosimile sunt și ele extrase și clasificate separat.

Aplicațiile invenției:

MNT și MNS realizate cu ajutorul invenției (fiind o modelare fidelă a suprafeței terenului) permit chiar și identificarea de surpări ale construcțiilor sau evaluarea precisă a alunecărilor de teren.

MNS se poate utiliza la realizarea de imagini true-ortorectificate, imagini în proiecție perfect ortogonală în care perspectivele construcțiilor de pe sol sunt complet eliminate.

Modelul MNT are de asemeni o aplicabilitate foarte mare în proiectarea lucrărilor mici de infrastructură, a podurilor, barajelor sau a altor construcții speciale (inclusiv pentru planificarea lucrărilor de restaurare a unor fațade de clădiri sau a unor monumente istorice).

O altă aplicație pe care invenția o oferă în mod eficient este calculul precis de volume în cariere deschise, în depozitele forestiere sau în zonelor de deșeuri (industriale sau menajere), acestea având frecvent suprafețe neregulate.

O aplicație din ce în ce mai utilizată este monitorizarea culturilor agricole. Pe suprafețele mari agricole se utilizează, într-un prim pas, tehnicile de teledetecție prin satelit pentru inventarierea zonelor cu probleme apoi se trimit sisteme de UAV care monitorizează doar acele suprafețe cu probleme. Pe de altă parte, dacă avem monitorizări periodice ale unei suprafețe putem evalua cu precizie ritmul de creștere, cantitatea de biomasă, parametri foarte importanți în metodologiile de calcul și estimare a productivității agricole.

Cu ajutorul invenției realizate, prin determinarea MNT și MNS pentru o suprafață agricolă, dacă scădem MNT din MNS se obține volumul între cele două suprafețe din care se poate determina volumul de biomasă existent la un moment dat. Analiza acestor volume în timp pe mai multe date de zbor permite estimarea producției culturilor agricole.

Prin monitorizări periodice putem determina forma și volumul de pământ dislocat (în cazul unei alunecări de teren), forma și volumul de adaos (în cazul unei lucrări în domeniul ingineriei civile), grosimea stratului de zăpadă.

O altă aplicație o reprezintă multitudinea de produse topografice ce pot fi extrase din MNT, respectiv MNS: curbe de nivel, suprafețe 3D, plan vectorial, profile topografice, pante de scurgere a apelor, bazinele de colectare a albiilor de râuri, calcule volumetrice, etc.

REVENDICARE

Procedeu de realizare a Modelului Numeric al Elevației (MNE) utilizând un sistem LIDAR-UAV de mici dimensiuni, sub 15kg în greutate, caracterizat prin aceea ca, permite obținerea modelelor 3D ale solului MNT), (3) și a suprafeței terenului MNS) (2) pentru o arie de suprafață medie la o precizie și densitate de puncte stabilite prin cerința (4), și care constă în realizarea unui proiect de culegere date cu un senzor LIDAR montat pe un UAV împreună cu echipamente de poziționare GNSS și de tip inerțial IMU, respectiv realizarea unui proiect de scanare laser (B), calibrarea instrumentală (A) a poziției senzorului LIDAR față de poziția sistemului inerțial și față de poziția antenelor GNSS, realizarea zborului cu sistemul LIDAR-UAV (C) și obținerea de date brute LIDAR (1) care sunt apoi calibrate geometric prin intermediul procesului (D) de corectare a erorilor fizice și geometrice pornind de la datele de navigație generate prin procesul (M) pe baza determinării unei traiectorii de zbor compensate (N), date LIDAR care apoi sunt validate prin procesul de control a calității (I) în urma factorului decizional (O) pentru obținerea astfel a norului de puncte calibrat (5) curățat de punctele neverosimile (6) prin procesele de control statistic (J), și georeferențiat în sistemul de coordonate dorit prin procesele (G) și (K) utilizând punctele de control și referință (7) pentru a se obține în final Modelul Numeric al Terenului (3) și Modelului Numeric al Suprafeței (2), care vor putea fi utilizate în aplicații diverse (L).

DESENE EXPLICATIVE

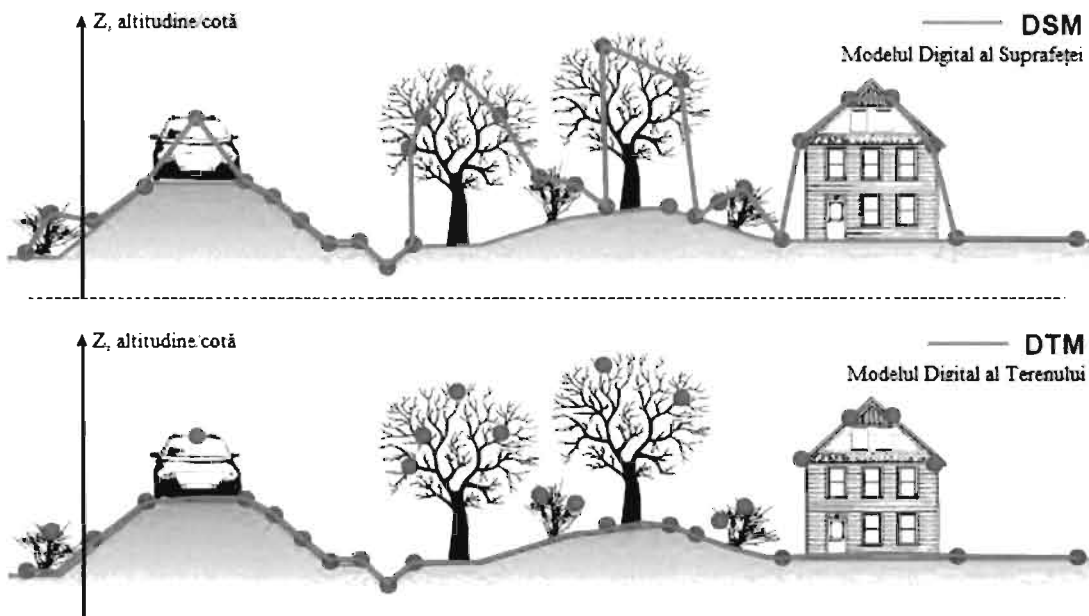


Figura 1. Diferența între MNS (DSM) și MNT (DTM)

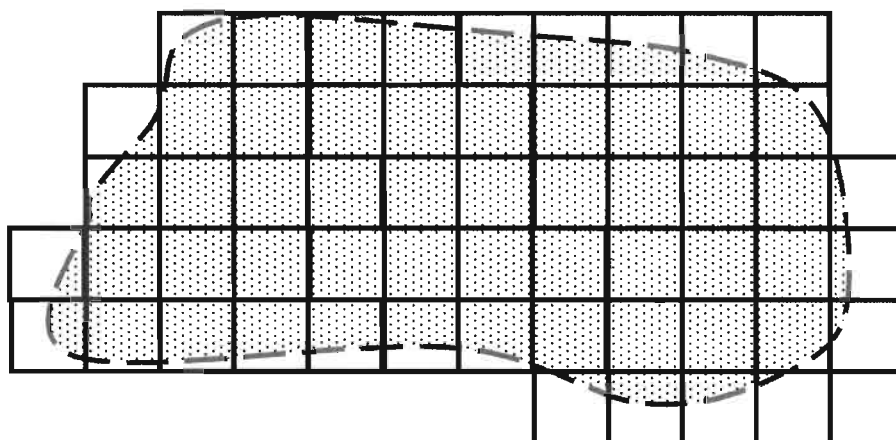


Figura 2. Dispunerea celulelor de eșantionare peste un nor de puncte Lidar

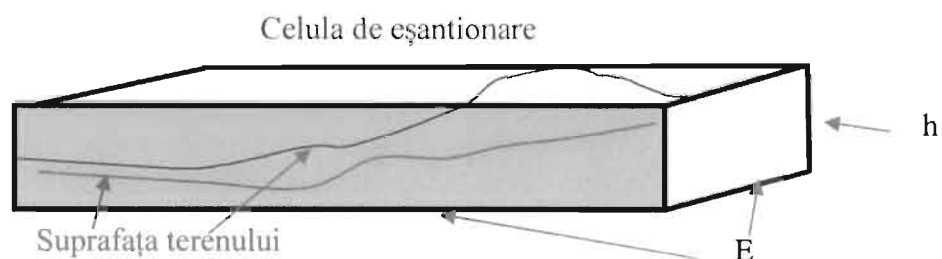


Figura 3. Dispunerea terenului într-o celulă de eșantionare – vedere laterală

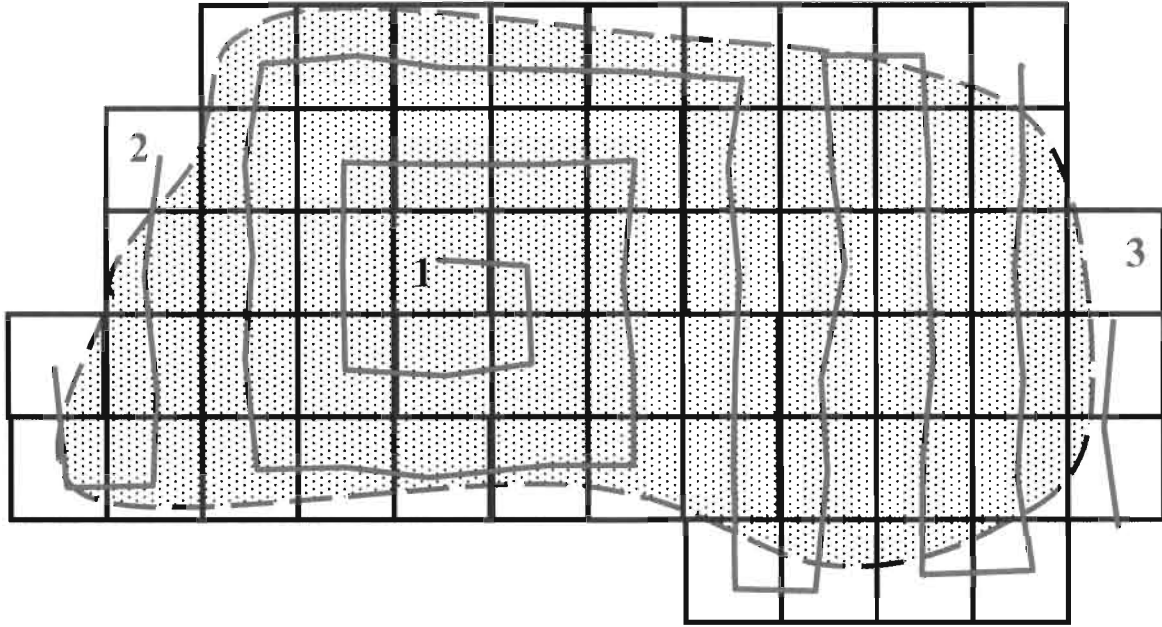


Figura 4. Principii de căutare a următoarei celule valide, cazul MNT

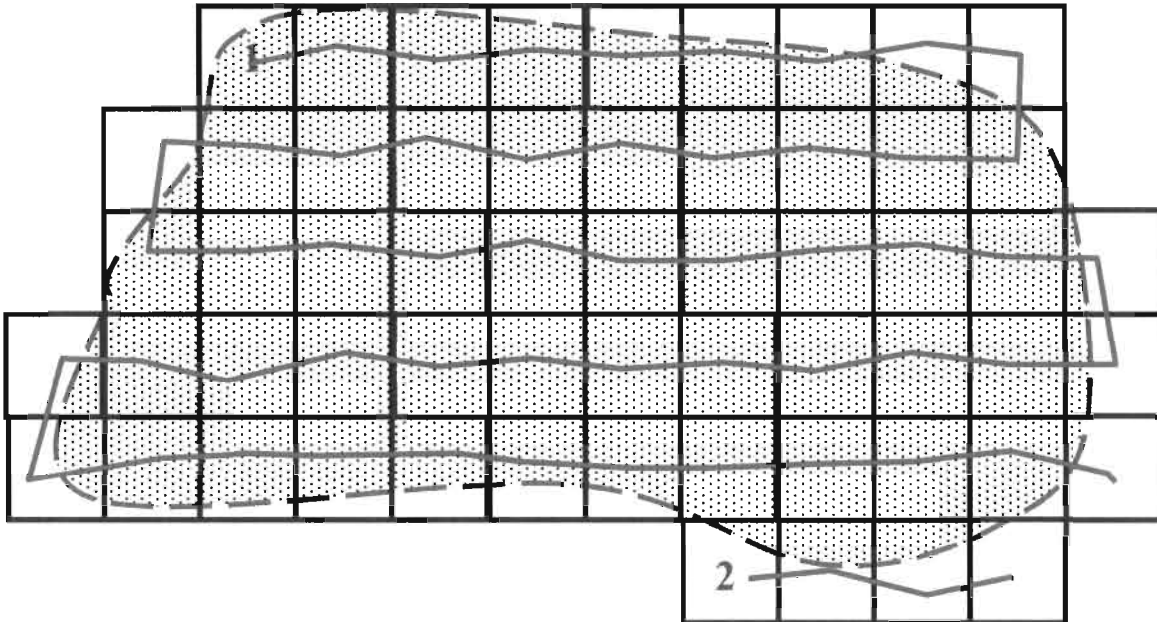


Figura 5. Principii de căutare a următoarei celule valide, cazul MNS

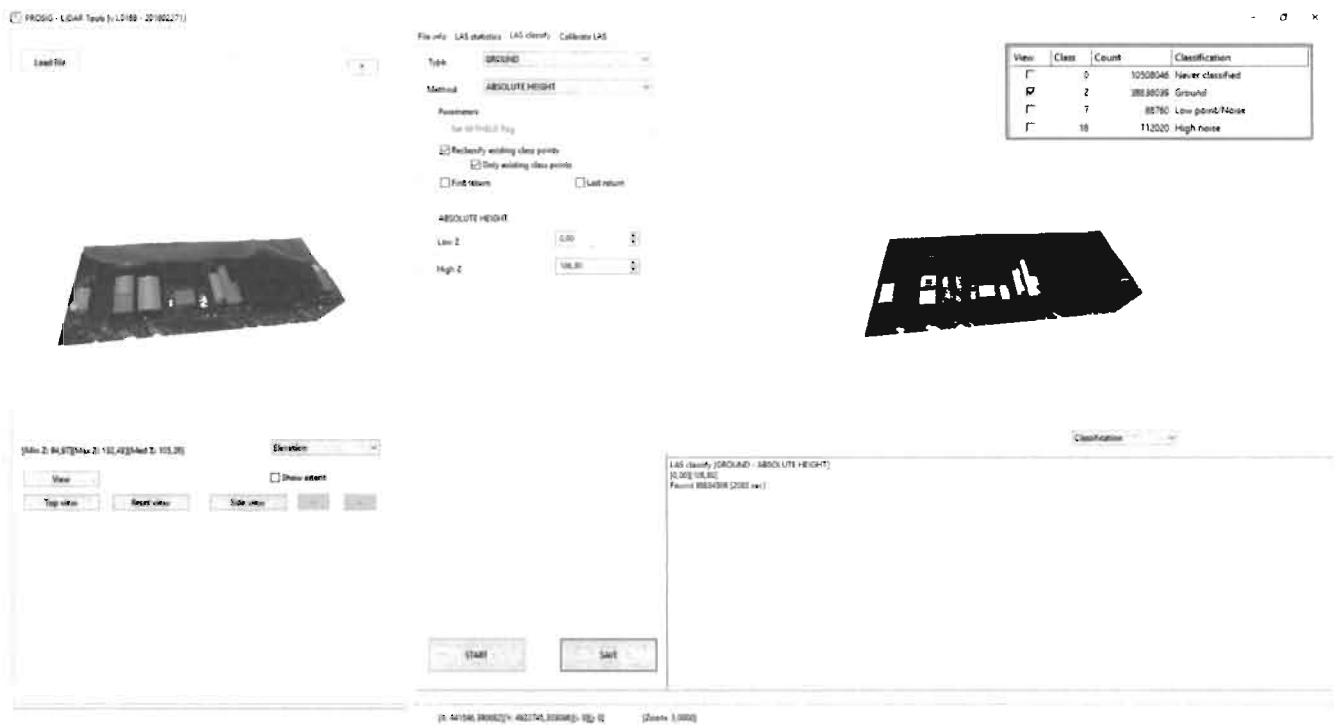


Figura 6. Filtrarea și clasificarea punctelor ce definesc MNT, cu ajutorul aplicației LIDAR Tools



Figura 7. Rezultatul final al punctelor clasificate ca și sol/MNT – vizualizare în Potree-Prosig



Figura 8. Vizualizarea modelului MNT și realizarea curbelor de nivel pe baza acestuia

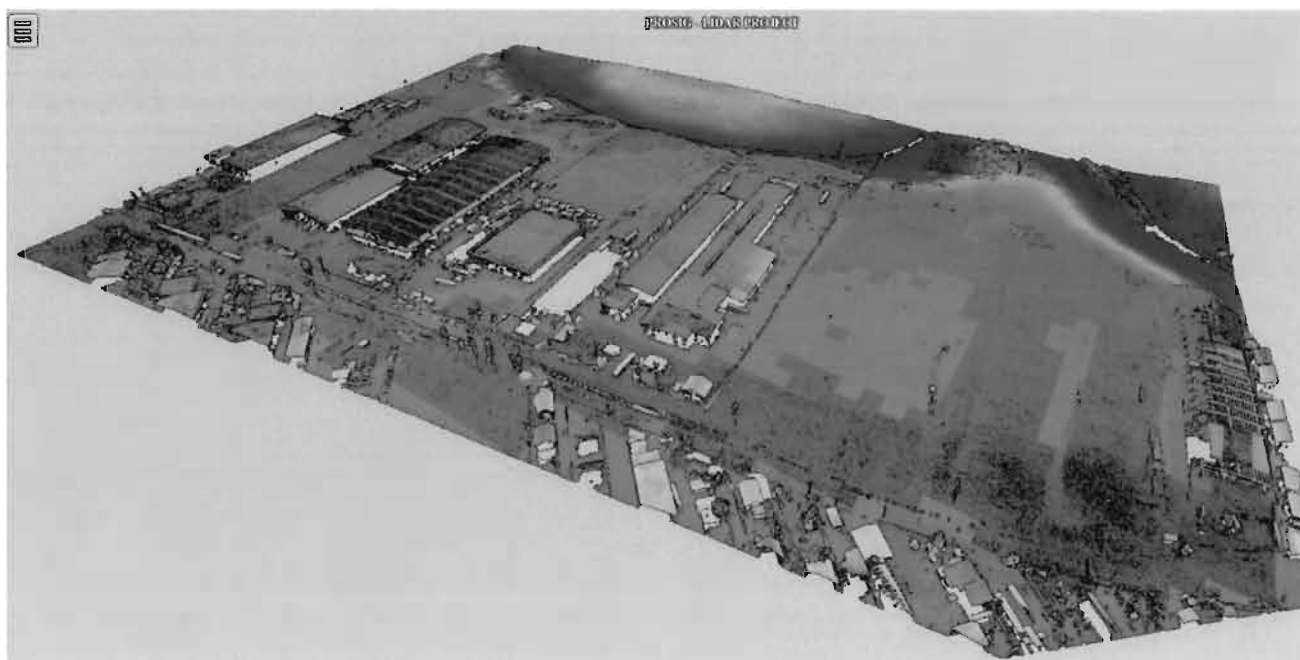


Figura 9. Vizualizarea realistă a punctelor clasificate ca și MNS în aplicația Potree Prosig

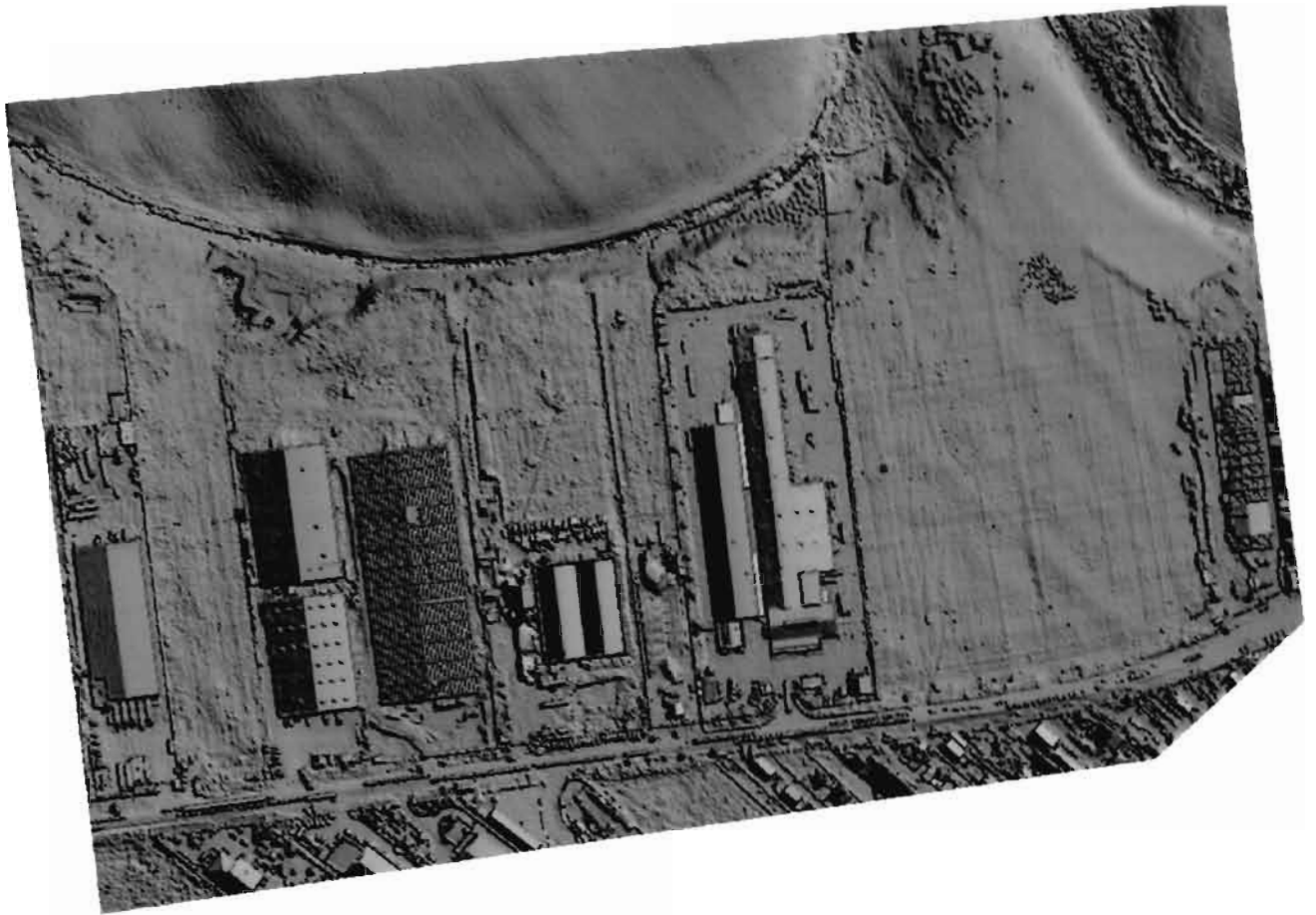


Figura 10. Vizualizarea suprafeței MNS (vizualizare de deasupra)

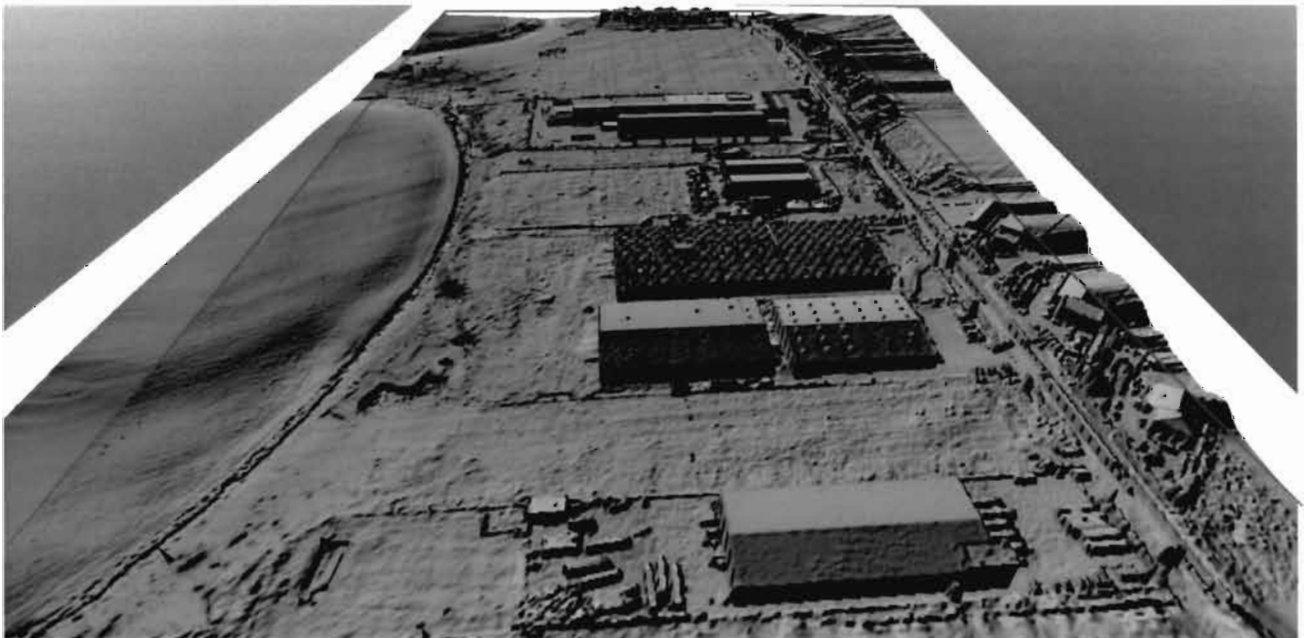


Figura 11. Vizualizarea modelării 3D a punctelor clasificate ca și MNS

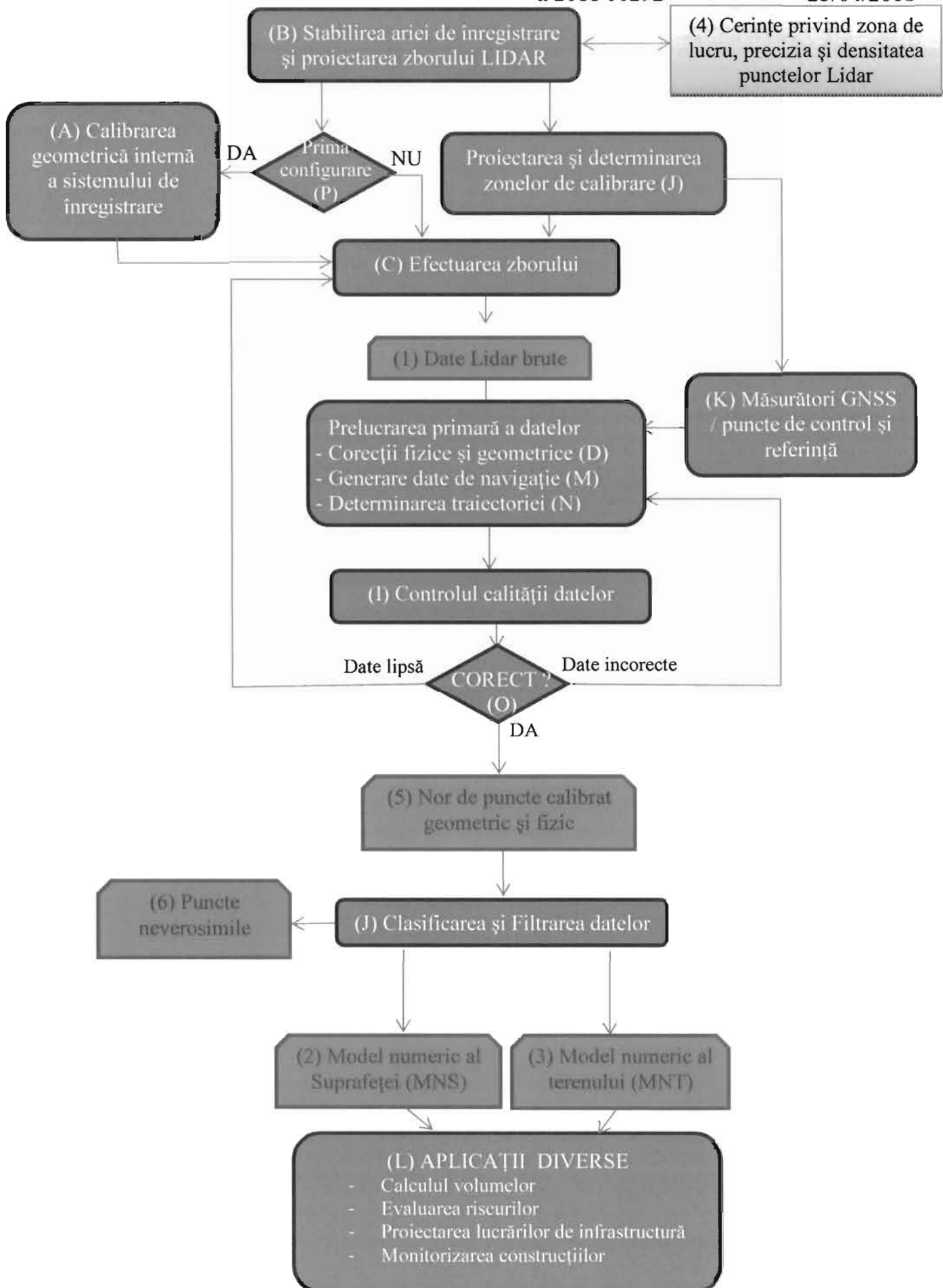


Figura 12. Diagrama de flux pentru generarea MNS și MNT

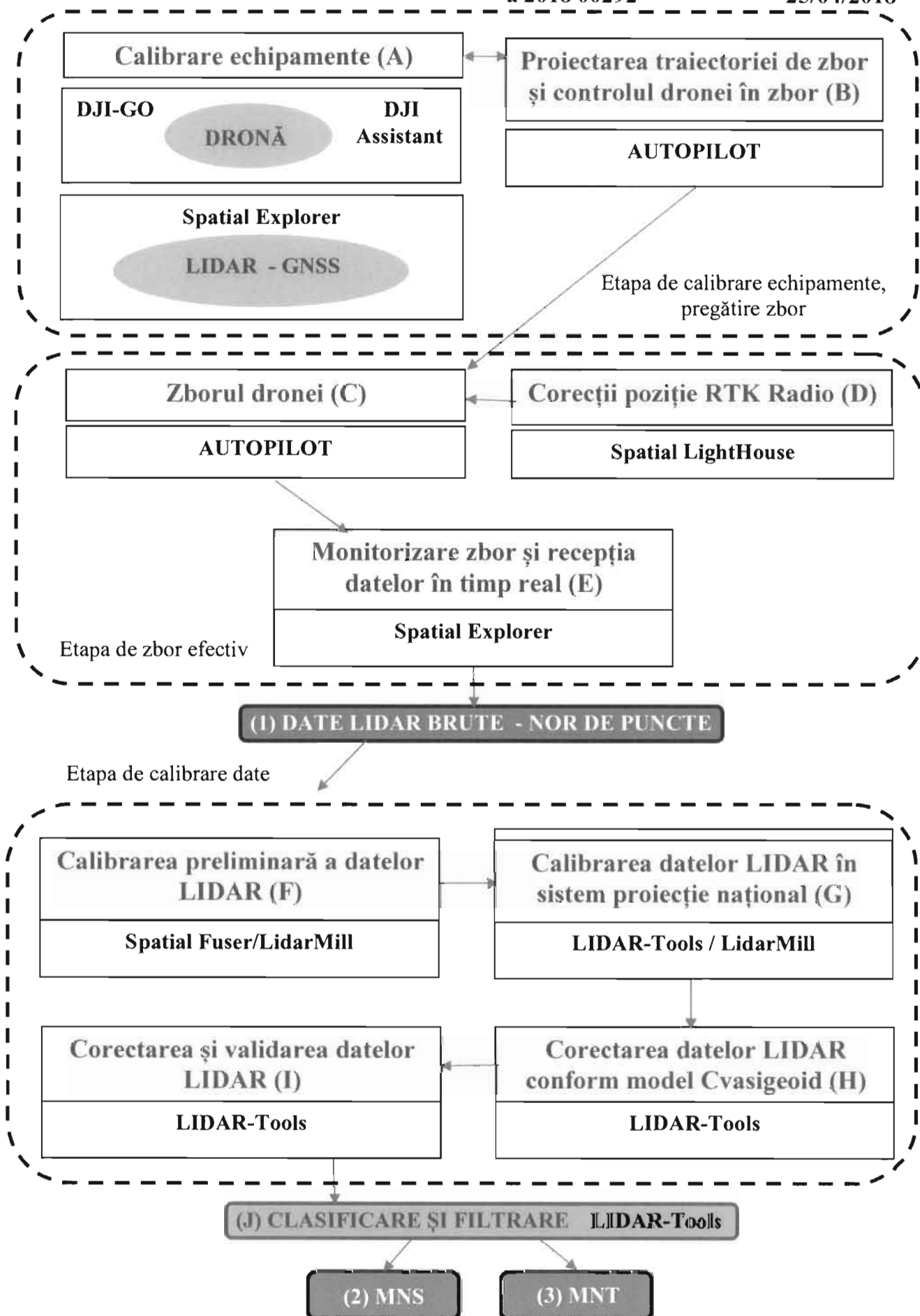


Figura 13. Diagrama de proceduri și aplicații pentru generarea MNS și MNT