

CREAREA MODELELOR DIGITALE ALE TERENULUI DE PRECIZII ÎNALTE APLICÂND TEHNOLOGIA LIDAR

Cătălin GHECIU

Departamentul Inginerie Civilă și Geodezie, grupa GC-2304M, Facultatea Construcții, Geodezie și Cadastru,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Gheciu Cătălin, e-mail: catalin.gheciul@icg.utm.md

Coordonatorul științific Vasile GRAMA, conf., univ., dr., Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat. În prezentul articol se expune metodologia prelucrării datelor spațiale colectate prin metode de teledetecție activă, rezultatul primar fiind norul de puncte (datele brute). Se evidențiază tehnologia modernă LiDAR, principiul de colectare a datelor, caracteristicile norilor de puncte, metodologia identificării datelor necesare și înregistrarea lor în strate tematice în format GIS. De asemenea se scoate în evidență aspecte de precizie, erorile de topologie, metode de eliminare sau diminuare a lor în toleranța admisibilă.

Cuvinte cheie: LiDAR, Nori de Puncte, Rhinoceros, Erori, Date Planar, Date spațiale 3D.

Introducere

În era tehnologiei moderne, obținerea de date precise și detaliate despre terenul unei zone este esențială pentru o varietate de aplicații, cum ar fi cartografierea, planificarea și amenajarea urbană, monitorizarea mediului înconjurător și gestionarea resurselor naturale. Una dintre metode cheie de colectare a datelor, care la zi permite obținerea acestor informații obiectiv, operativ și cu precizii este tehnologia LiDAR (Light Detection and Ranging).

LiDAR-ul utilizează pulsuri de lumină laser (lumina polarizată) pentru a măsura distanțele către obiecte și pentru a crea o reprezentare tridimensională a terenului. Această tehnologie oferă avantaje semnificative în comparație cu alte metode de cartografiere și topografie, datorită capacității sale de a furniza date precise și detaliate chiar și în condiții dificile, cum ar fi terenuri accidentale, vreme înourată, timp de noapte etc. [1].

În acest context, modelarea terenului, în special, obținerea de modele digitale ale terenului (MDT) cu precizie înaltă prin tehnologia LiDAR devine o parte crucială a procesului de cartografiere și analiză a terenului. Acest lucru se datorează capacității LiDAR de a colecta date cu rezoluție ridicată și de a furniza informații detaliate despre elevația terenului, incluzând caracteristici precum pantele, văile, crestele, altitudinile, inclusiv date/informații antropice, precum bunuri imobile, obiecte de infrastructură etc.

În prezentul articol, se expune metodologia procesului de obținere a MDT de precizie înaltă, prin particularizare a infrastructurii rutiere, în principal a tuturor componentelor carosabilului, prin utilizarea tehnologiei LiDAR. Se prezintă etapele necesare de urmat în colectarea datelor, procesarea acestora și generarea MDT-ului, precum și unele aplicații practice ale acestor modele în diferite domenii [2].

Principiul de colectare a datelor cu tehnologia LiDAR

Principiul de colectare a datelor cu tehnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) este bazat pe activarea unui senzor activ de teledetecție [3], unde purtătorul de informație este radiația electromagnetică, prin intermediul luminii polarizate (laser), prin intermediul cărui se măsoară distanțele către obiectele din mediul înconjurător (figura 1).

În prima fază a procesului, un laser emite pulsuri de lumină cu lungime de undă prestabilită, în direcția obiectelor ce trebuie identificate și măsurate. Sistemul de generare a laserului este montat pe o platformă mobilă (ex. vehicul, avion etc.). Pe măsură ce vehiculul se deplasează în zona de interes, senzorul LiDAR emite semnale (pulsuri de lumină) către teren, obiecte spațiale, înregistrând timpul pulsațiilor pe durata emisiilor către obiecte și durata reflecției înapoi către senzor.

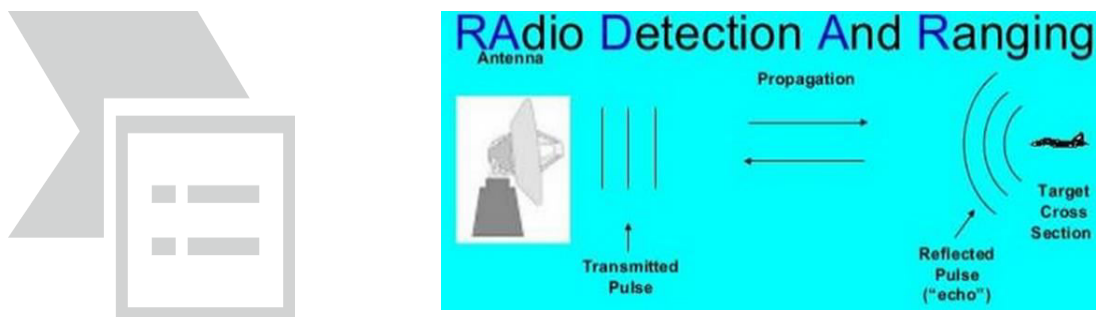


Figura 1. Principiul de colectare a datelor prin tehnologia LIDAR

Date sunt colectate prin colectarea punct cu punct a obiectelor de pe traseul vehiculului, generând norul de puncte, care reprezintă baza reprezentării tridimensionale a terenului. Sistemul este dotat cu receptor GPS, fapt ce permite georeferențierea datelor colectate la un sistem de coordonate teren. În timpul procesului de colectare a datelor, este important să se monitorizeze și să se evalueze calitatea datelor colectate, pentru a identifica și corecta eventualele erori sau discrepante.

Norul de puncte, caracteristici, conținut

Norul de puncte LiDAR reprezentat în figura 2, este o colecție de puncte tridimensionale, fiecare reprezentând o măsurătoare a distanței de la senzorul LiDAR la un punct din cuprinsul terenului preluat. Acest nor de puncte este rezultatul direct și primar (date brute) al scanării efectuate de senzorul LiDAR și conține informații obiective și instantanee despre mediul înconjurător.

Fiecare punct din norul de puncte LiDAR este asociat cu coordonatele sale tridimensionale (X, Y, Z) în sistemul de coordonate spațiale. Aceste coordonate oferă informații despre poziția exactă a punctului în spațiu.

Un proiect poate conține mai multe traiectorii cu nori de puncte, din cauza aceasta este important, ca aceste traiectorii să fie georeferențiate cu precizie înaltă (în toleranța admisibilă), adică cu o deviere minimă între norii de puncte sau chiar nulă.

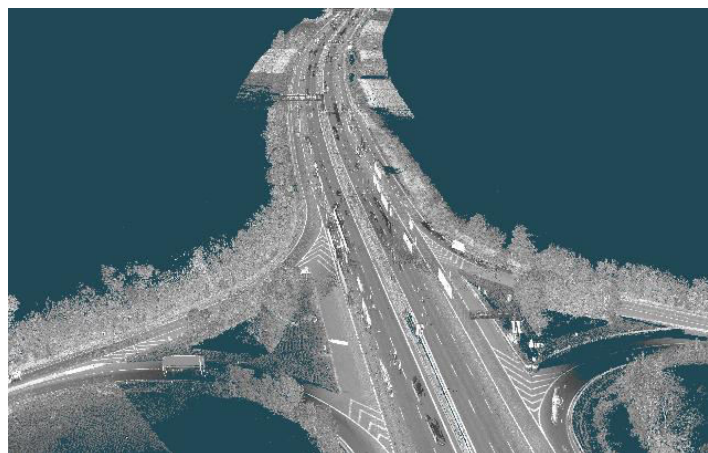


Figura 2. Norul de puncte

Tehnologia prelucrării datelor brute

Tehnologia dată este marcantă și prin gradul înalt de digitalizare și automatizare, ce se exprimă prin asigurare cu software de prelucrare și de reprezentare a datelor, inclusiv a rezultatelor. La etapa prelucrării datelor se utilizează softul Rhinoceros versiunea 6. Rhinoceros (abreviat în mod obișnuit Rhino sau Rhino3D) este un software comercial de grafică 3D și de proiectare asistată de calculator (CAD), dezvoltat de TLM, Inc, dba Robert McNeel & Associates, o companie americană, privată, deținută de angajați și fondată în 1978. Geometria Rhinoceros se bazează pe modelul matematic NURBS, care se concentrează pe reprezentarea prin interpolare precisă din punct de vedere matematic a curbilor și a suprafețelor cu formă liberă în grafica computerizată (spre deosebire de aplicațiile bazate pe ochiuri poligonale) [4].

Majoritatea instrumentelor utilizate nu sunt standarde ale programului dar sunt create de programatori prin limbajul Python, aspect apreciabil al software-ului prin faptul, că oferă posibilitatea dezvoltării. Aceste instrumente prin procese automatizate, permit micșorarea timpului de executare a lucrărilor, fiind capabile să calculeze tot singure doar prin accesarea acestora. Câteva din aceste instrumente sunt reprezentate în figura 3.

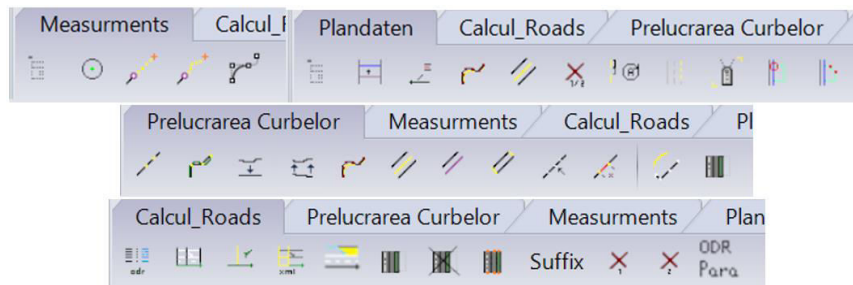


Figura 3. Instrumentele de lucru

Procesului de prelucrare a datelor brute (a norului de puncte) constă din mai multe etape, în cele ce urmează se descriu primele 3 etape:

1. Aplicația 3DCurves

La prima etapă se fac măsurările (vectorizarea obiectelor) direct pe norul de puncte și fiecare tip de obiect/suprafață este clasificat în stratul tematic corespunzător. Obiectul central este "carosabilul", pentru acesta avem straturi pentru mai multe tipuri de date spațiale precum "borduri" (BordN, BordR, BordA, Bordi și Bord0), la fel avem stratul "asfalt", atribuit drumului lipsit de bordură. De asemenea straturile aparținente carosabilului sunt Green, Walk și Bike.

Pentru a reda cu detaliere situația, avem nevoie și de măsurarea marcajului rutier, care este împărțit în linii continue și linii întrerupte, clasificate după lățimea liniei (0,12; 0,15; 0,25; 0,30; 0,50). În rezultat se obțin date sistematizate vector amplasate pe coordonate, care sunt de tip Polylinie.

2. Date Planare

Etapa a doua începe cu transformarea/proiectarea datelor 3DCurves, în date planare. La etapa aceasta Polyliniile sunt transformate în linii curbe. Aici este foarte important ca după transformarea liniilor să nu apară mari devieri față de norul de puncte (o etapă primară de verificare). Aceste fiind date brute pentru următoarea etapă, deja se pregătesc bordurile, se face o setare (offset) de 0,15 m, se modifică, se unesc liniile (se verifică erorile de topologie). În același mod se prelucrează și marcajul.

Fiecare linie se prelucrează prin comanda "Fair", pentru a îndrepta liniile șerpuite și pentru vizualizarea acesteia se deschide instrumentul "Curvature Graph On" (figura 4).

La etapa aceasta este important că fiecare tip de obiect cu ajutorul unui instrument, preia automat un nume prin care este identificat în etapa următoare.

3. Calcularea benzilor

Calcularea benzilor începe cu împărțirea drumului în mai multe părți, o parte cuprinsă între 2 intersecții. Pentru fiecare parte se trasează o axă pe baza căreia se vor calcula benzile.

Pentru calcularea benzilor se folosesc instrumente speciale, care generează suprafața spre direcția axei (perpendicular axei), corespunzător numelui dat la etapa precedentă.

Programul execută calcule, creează suprafața carosabilului calculat și dacă după verificare, în caz de apr situații de nealipire între suprafețe, avem posibilitatea să schimbăm parametrii prin schimbarea/adăugarea la numele obiectului, apoi iarăși de calculat (proces iterativ). Procesul iterativ se finalizează de obicei după 3-5 iterații, urmărind ca conectivitatea între suprafețe să fie completă.

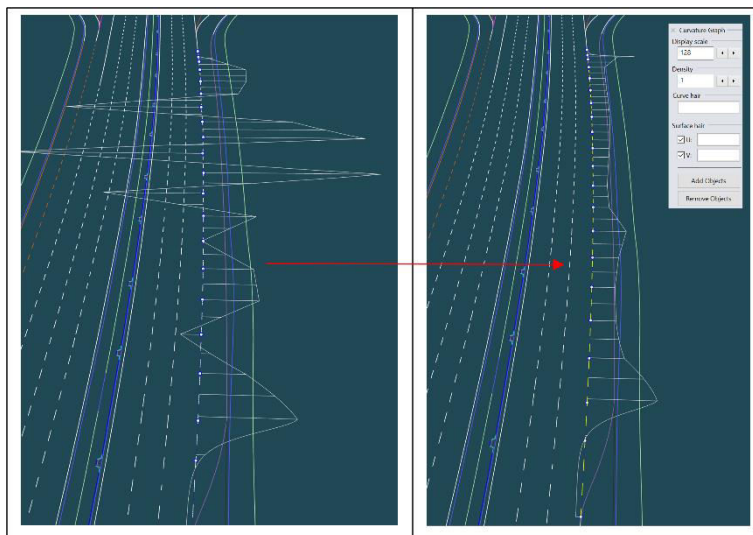


Figura 4. Îndreptarea curbilor

La sfârșitul etapei 3 obținem benzile calculate, cu toate lățimile și traiectoriile. Corespunzător, la această etapă se pot vizualiza aspecte ale produsului final.

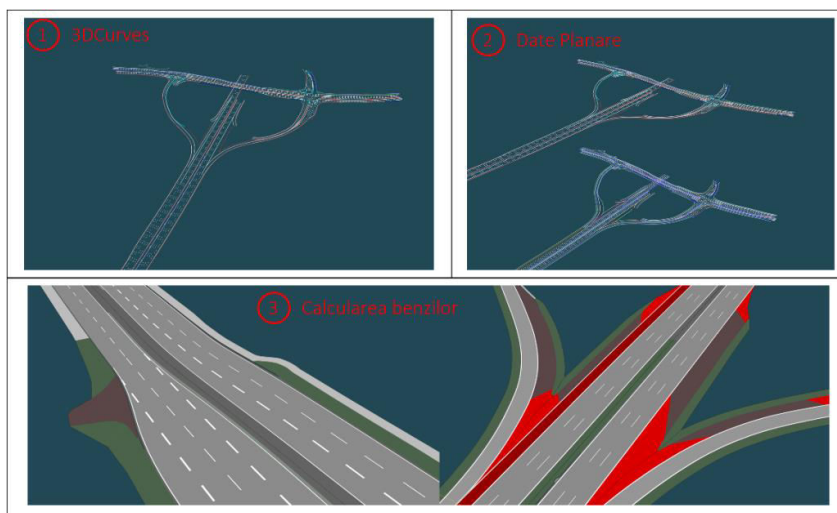


Figura 5. Etapele de prelucrare: 1) 3DCurves; 2) Date Planare; 3) Calcularea benzilor.

Aspecte privind erorile

Erorile sunt factorul principal, care influențează măsurătorile, dacă există erori ce depășesc toleranța prestabilită, măsurătorile și calculele nu mai pot fi continuate. La masurare și prelucrare putem întâlni erori precum:

- Erori de precizie. Ele se întâlnesc în principal la primele două etape, inițial la prima etapă în moment ce operatorul a emis o greșeală sau i-a scăpat din vedere în timpul

măsurării. Aceste erori pot fi eliminate însăși în momentul măsurătorilor, prin verificare sau în etapa a doua, curbele transformate sunt adaptate pe norul de puncte pentru a mări precizia. Evident că dacă proiectăm exact după situația reală o să avem linii șerpuite, ceea ce nu permite să trecem la etapa următoare. Aici avem posibilitatea să adaptăm în așa fel, ca eroarea să nu depășească 5 cm. Astfel sunt importante cunoștințele de specialitate ale operatorului de prelucrare a datelor.

- Erori de topologie. Erorile de topologie sunt întâlnite în mare parte la etapa a treia de prelucrare a datelor. Fiind creată axa drumului, automat se generează profile transversale, pentru fiecare schimbare a situației, câte un profil. Dacă avem profile create la distanță între ele de mai mic de 5 cm, vom primi eroare reprezentată în figura 5 (colțul din dreapta). Aceste se manifestă prin faptul, că programul nu poate crea suprafața între aceste profile. Această eroare este înlăturată prin schimbarea situației în proiect, se aliniaza liniile în așa fel ca punctele liniilor să se intersecteze într-o linie perpendiculară la axa drumului, astfel, vom avea doar un profil transversal.

Altă eroare de topologie este neînchiderea liniilor, așa cum sunt reprezentate în figura 5 (colțul de jos), aici înlăturarea erorii se efectuează prin aducerea linilor într-un punct comun.

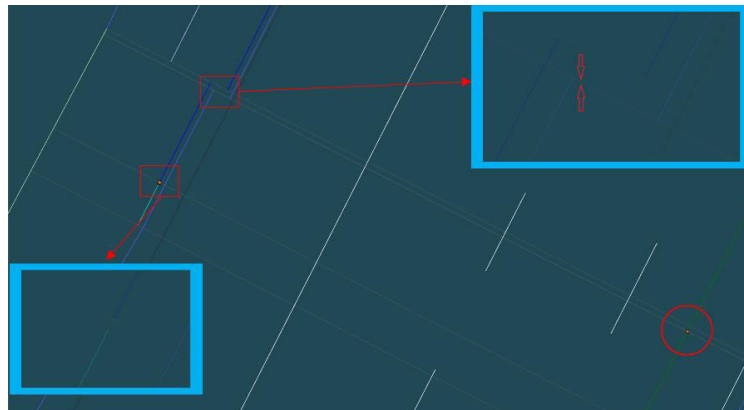


Figura 6. Erori de topologie

Concluzii

Datorită dezvoltării sistemelor geoinformaționale, și în special a tehnologiei LIDAR, a devenit posibil înregistrarea datelor din teren cu precizie înaltă și cu detaliere la scară mare a tuturor obiectelor din terenul măsurat.

Norii de puncte LiDAR, formați din milioane de puncte, care sunt georeferențiate pe coordonate cu o precizie de ± 2 mm, sunt utilizați pentru eventuala măsurare a obiectelor necesar de extras și prelucrat în 2D apoi în 3D. Este apreciabil, că erorile de precizie și de topologie aparente se înlătură concomitent cu prelucrarea datelor, pentru a primi în final o precizie maximă. În rezultat obținem un model tridimensional al terenului (drumului) de precizie înaltă.

Bibliografie

- [1] F. N. V. P. Cornel Păunescu, TOPOGRAFIE GENERALĂ, București: Editura Universității din București, 2019.
- [2] E. Podest, „The Fundamentals of LiDAR,“ 16 Martie 2021. [Online]. Disponibil: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-03/SIF_LIDAR_Podest_Final.pdf.
- [3] B. Alexandru, Teledeteție, Note de curs, 2010.
- [4] Rhinoceros, „Rhinoceros,“ [Online]. Disponibil: <https://www.rhino3d.com/>.