Modelarea automată a suprafețelor monumentelor şi obiectelor istorice pe baza „norului de puncte”

TiberiusTomoioagă

Descriere

Pentru documentarea, administrarea şi reconstruirea patrimoniului cultural, modelele geometrice de înaltă precizie bazate pe metode de culegere a datelor adecvate sunt esențiale. În ultimii ani, scanerele laser terestre (SLT) au fost utilizate cu succes în acest scop. SLT pot fi împărțite în două categorii: scanere pentru distanțe mari, având domeniul de măsurare de la sub un metru, până la câteva sute de metri, şi scanere pentru distanțe mici, cu domeniul de măsurare până la câțiva metri. Precizia cea mai bună se poate obține cu scanerele pentru distanțe mici. Totuşi, costul ridicat al achiziției de date cu asemenea scanere face prohibitivă utilizarea lor pe scara largă sau pentru monitorizări de rutină.

Metodele alternative de culegere a datelor, cum ar fi procesarea fotogrammetrică interactivă sau tahimetria, au ca scop determinarea directă a elementelor caracteristice ale structurilor (de ex., marginile). Acest lucru implică un înalt grad de generalizare în timpul procesului de culegere a datelor. Mai mult decât atât, metodele interactive devin insuficiente când obiectele modelate sunt formate din suprafețe libere. În contrast cu acestea, tehnicile autonome de culegere a datelor, cum ar fi, de exemplu, corelarea digitală a imaginilor sau scanarea laser, determină numeroase puncte distribuite mai mult sau mai puțin aleatoriu pe suprafața obiectului. În timp ce scanarea laser este aproape independentă de textura suprafeței, corelarea imaginilor necesită elemente structurale sau texturale unic identificabile.

Dezvoltările SLT au condus la creşterea ratei de eşantionare a punctelor, făcând fezabilă achiziția datelor de înaltă rezoluție. Totuşi, erorile de măsurare sunt încă mari, ceea ce face necesară utilizarea unor metode complexe de procesare a măsurătorilor, astfel încât modelele geometrice obținute să fie atât precise, cât şi cu un aspect vizual corespunzător.

Metoda utilizată în procesul de scanare cu SLT are la bază o filtrare care permite în acelaşi timp reducerea în mod considerabil a zgomotului şi păstrarea cât mai fidelă a detaliilor. Deşi această metodă a fost dezvoltată pentru procesarea datelor obținute de la scanerele de distanță mare, ea este independentă de scara de măsurare şi de metoda de culegere a datelor şi poate fi utilizată şi la procesarea datelor obținute de la scanerele de distanță mică sau prin corelarea imaginilor.

Metodologie

Etapele uzuale parcurse de la culegerea datelor (norul de puncte) la modelul geometric al suprafeței sau la construirea manuală a primitivelor sunt:

- achiziția datelor: măsurarea norului de puncte;
- referențierea: definirea unui sistem de coordonate de referință şi transformarea tuturor seturilor de date în acest sistem (în fotogrammetrie, acest proces se mai numeşte şi orientare);

- calibrarea: eliminarea erorilor sistematice;
- minimizarea efectelor zgomotului de măsurare: procesul se mai numeşte filtrare sau netezire;
- modelarea suprafețelor: triangularizare sau estimarea suprafețelor libere.

a. Eliminarea erorilor sistematice

Datele culese cu SLT conțin o serie de erori sistematice. Aceste erori sistematice trebuie modelate, iar funcțiile de corecție rezultate se aplică datelor. Acest proces se numeşte calibrare. Instrumentele de măsurare sunt în mod normal calibrate de către producător, în mod regulat (de ex., o dată pe an). Totuşi, există parametri care necesită calibrarea aparatului mai des, înainte de fiecare campanie de măsurători sau chiar înainte de fiecare scanare.

O altă sursă de erori sunt punctele aflate pe profilul (marginea) obiectului. Deoarece scanerul măsoară concomitent tot domeniul iluminat (sau amprenta), punctele aflate la marginea obiectului sunt invariabil deplasate. Aceste puncte sunt considerate erori grosolane şi trebuie eliminate. Un criteriu de eliminare a acestor puncte este, de exemplu, unghiul de incidență a fasciculului laser față de vectorul normal la suprafața scanată. Toate punctele care au acest unghi apropiat de 90° se vor elimina. Pentru evitarea golurilor care pot să apară prin eliminarea punctelor trebuie efectuate măsurători din mai multe poziții.

b. Estimarea vectorilor normali la suprafețe

Această metodă de filtrare este capabilă să reducă în mod considerabil zgomotul de măsurare, păstrând în acelaşi timp detaliile. Ea se bazează pe un estimator numit Determinantul Rapid al Covarianței Minime (Fast Minimum Covariance Determinant – FMCD). Folosind această metodă, se pot elimina elemente cum ar fi, de exemplu, un punct aflat prea departe de suprafața măsurată.

Acest estimator determină o matrice de covarianță ***C*** pe baza unei vecinătăți locale ***n***. Ca vecinătate locală a punctului *p* se folosesc ***n*** puncte, cele mai apropiate. Tot pe baza acestei vecinătăți se poate determina şi rugozitatea suprafeței.

c. Estimarea vecinătății locale

Parametrul cel mai critic care trebuie determinat este dimensiunea vecinătății locale. Dacă vecinătatea este prea mică, atunci aceasta este o regiune mai mult sau mai puțin sferică într-o bandă de puncte, iar normala la suprafață va fi arbitrară. Rugozitatea suprafeței va fi ridicată şi lipsită de importanță. Dacă vecinătatea este prea mare, normalele la suprafață vor fi estimate corect, dar, totuşi, elementele cu o frecvență mare (de ex. elementele de dimensiuni mici) vor fi netezite în mod exagerat. Pentru o procesare automată, este esențial să avem o vecinătate locală optimă. Acest lucru se poate realiza pe baza variogramelor şi este similar cu corelarea unui model de variogramă cu o variogramă spațială şi se pot utiliza metodele existente pentru rezolvarea acestei probleme.

www.muzee-valcea.ro / www.cimec.ro

d. Filtrarea norului de puncte

Vectorii normali sunt apoi utilizați pentru determinarea punctelor care au probabilitatea cea mai ridicată de a fi poziționați pe suprafața măsurată. Astfel, se iau toate punctele aflate într-un cilindru de rază ***r*** în jurul unui punct ales aleatoriu, a cărui axă este definită de vectorul normal. Punctele aflate în interiorul cilindrului sunt proiectate pe axa cilindrului. Se determină distribuția punctelor, iar punctul care este cel mai apropiat de modelul de distribuție ales este considerat ca fiind reprezentativ. Celelalte puncte sunt eliminate din setul de date. Acest proces se repetă până la atingerea densității dorite de puncte. Rezultatul constă în obținerea unui set de puncte omogene, în care erorile aleatoare de măsurare sunt eliminate în mod considerabil.

e. Triangularizarea

Triangularizarea unui nor de puncte nestructurat a fost studiată activ în domeniul graficii pe calculator. Există numeroşi algoritmi care pot fi utilizați pentru reconstrucția suprafețelor din seturi de puncte filtrate.

Problemele legate de aceşti algoritmi în prezent sunt legate de:

- calitatea datelor: datele trebuie să aibă un nivel al zgomotului foarte redus;
- volumul datelor: numeroşi algoritmi nu pot lucra cu un volum mare de date.

Concluzii

Generarea unor modele detaliate pe baza unor elemente caracteristice ale site-urilor de patrimoniu cultural reprezintă o necesitate pentru o administrare adecvată. Metoda prezentată reprezintă un mod eficient de achiziție a datelor şi de modelare. Acest lucru reiese şi din rezultatele prezentate. Ca o aplicație viitoare, aceste modele pot fi integrate ca obiecte în mediile de realitate virtuală, putând astfel să fie generate o serie de materiale interactive în diverse scopuri: documentare, învățământ, turism, recondiționare şi reabilitare etc.

Bibliografie:

- Alshawabkeh, Y. and Haala, N., 2004. Integration of Digital Photogrammetry and Laser Scanning for Heritage Documentation. ISPRS xx. Symposium, Com. V. 4, pp. 12–23;
- Amenta, N. and Bern, M., 1999. Surface reconstruction voronoi filtering. Discrete and Computational Geometry, pp. 481–504;
- Amenta, N., Choi, S. and Kolluri, R., 2001. The power unions of balls, and the medial axis transform. Computational Geometry 19(2-3), pp. 127–153;
- Autodesk, 2007. http://www.autodesk.com;
- Kolluri, R., Shewchuk, J. R. and O'Brien, J. F., 2004. Spectral surface reconstruction from noisy point clouds. In: Proceedings of the 2004 Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing, Vol. 71, ACM Press New York, NY, USA, pp. 11–21;

- Lichti, D. D., 2007. Error modelling, calibration and analysis of an am-cw terrestrial laser scanner system. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 61(5), pp. 307–324.