

Reconstrucția Tridimensională a Locului Faptei

Three-Dimensional Reconstruction of the Crime Scene

Drd. Criminalist **Silviu PREDESCU***
Universitatea „Babeș-Bolyai” Cluj-Napoca
Facultatea de Drept

Abstract

The article explores the use of innovative 3D reconstruction technologies in forensic investigation, a rapidly emerging field that remains underrepresented in the specialized literature, particularly in Romania. Three-dimensional reconstruction enables the creation of detailed digital models of crime scenes, enhancing the analysis of spatial relationships and the interpretation of evidence in a more objective and interactive manner. Technologies such as photogrammetry, LiDAR scanning, and specialized software (Blender, 3ds Max, Unreal Engine, FARO Zone 3D) are essential for simulating projectile trajectories, reconstructing crime scenarios, and clarifying witness statements. The article proposes the concept of Geospatial Forensics, a new interdisciplinary branch that combines traditional forensic science with 3D technologies, geospatial analysis, artificial intelligence, and virtual reality. This approach offers advanced tools for investigating complex criminal events such as terrorism or aviation accidents. It promises to modernize judicial investigations and improve the accuracy of crime scene reconstructions.

Keywords: 3D reconstruction; virtual reality; geospatial forensics; three-dimensional modeling; crime scene reconstruction; augmented reality.

Rezumat

Articolul abordează utilizarea tehnologiilor inovative de reconstrucție 3D în investigarea criminalistică, un domeniu emergent insuficient tratat în literatura de specialitate, în special în România. Reconstrucția tridimensională permite crearea de modele digitale detaliate ale locului faptei, facilitând analiza relațiilor spațiale și interpretarea probelor într-un mod mai obiectiv și interactiv. Tehnologii precum fotogrammetria, scanarea LiDAR și software-uri specializate (Blender, 3ds Max, Unreal Engine, FARO Zone 3D etc.) sunt esențiale pentru simularea traiectoriilor proiectilelor, reconstituirea scenariilor infracționale și clarificarea declarațiilor martorilor. Articolul propune conceptul de Criminalistică Geospațială, o nouă ramură interdisciplinară ce combină criminalistica tradițională cu tehnologiile 3D, analiza geospațială, inteligența artificială și realitatea virtuală, oferind instrumente avansate pentru investigarea infracțiunilor complexe, precum terorismul sau accidentele aviatice. Această abordare promite modernizarea investigațiilor judiciare și creșterea preciziei în reconstituirea evenimentelor infracționale.

Cuvinte-cheie: reconstrucție 3D, realitate virtuală, criminalistică geospațială, modelare tridimensională, reconstituire scene infracționale, realitatea augmentată.

Literatura internațională de specialitate nu face referire detaliat a foarte multe aspecte practice privind utilizarea tehnicilor inovative de imagistică, domeniul fiind considerat unul emergent și într-o permanentă evoluție.

Literatura de specialitate din România nu tratează aceste problematici la nivel teoretic, dar nici practic. Odată cu dezvoltarea tehnologică din era digitală și ramura tehnică a criminalisticii se adaptează

* silviu.predescu@e-uvt.ro.

continuu. Soluțiile tehnice de implementare a tehnologiilor de captare a imaginii trebuie analizate corespunzător și experimentate. Adaptarea la necesitățile tehnice actuale a acestor dispozitive inovative permite specialiștilor criminaliști nu doar să documenteze anumite categorii de probe, ci și să efectueze o analiză detaliată, ce are ca rezultat identificarea și probarea actului infracțional.

Reconstrucția tridimensională (3D) este procesul de creare a unui model tridimensional al unui obiect sau al unei scene din lumea reală pe baza unei serii de imagini bidimensionale (2D). Aceasta oferă reprezentări digitale detaliate și precise, utile într-o varietate de aplicații. Este esențială în domenii precum ingineria, medicina, robotica, planificarea urbană, arheologia și multe altele, unde datele spațiale de înaltă fidelitate sunt indispensabile pentru analiză și luarea deciziilor¹.

Un domeniu care poate beneficia semnificativ de reconstrucția 3D detaliată este investigarea criminalistică². Acesta este un subiect larg dezbătut în domeniul științelor criminalistice. Scopul principal în acest context este de a reconstrui și înțelege ceea ce s-a întâmplat la locul faptei³. Anchetorii colectează cât mai multe probe posibil pentru a susține sau infirma ipotezele de cercetare, având ca obiectiv răspunsul la întrebările cheie ale investigației. Această sarcină este dificilă, deoarece doar rezultatele și consecințele unei infracțiuni sunt evidente, ceea ce poate duce la multiple interpretări. Criminaliștii trebuie să identifice și să analizeze atât probele evidente, cât și cele rezultate din analize, examinări și interpretări, pentru a determina originea și semnificația acestora. Cu toate acestea, urmele singure nu sunt suficiente pentru a reconstitui pe deplin succesiunea evenimentelor. Ele oferă, în principal, indicii și direcții. Înțelegerea acestor indicii necesită interpretare, corelarea acestora cu acțiuni și crearea unei narațiuni despre infracțiunea comisă.

Integrarea tehnicilor de reconstrucție 3D în investigațiile criminalistice a îmbunătățit semnificativ analiza și interpretarea locului faptei. Prin crearea unor modele digitale detaliate, anchetatorii pot păstra relațiile spațiale și detaliile vizuale care ar putea fi omise prin metodele tradiționale. Aceste reconstrucții oferă o vizualizare interactivă și cuprinzătoare a scenei, facilitând corelarea probelor cu acțiunile și contribuind la o înțelegere mai precisă a evenimentelor. De exemplu, un studiu a demonstrat aplicarea abordărilor virtuale 3D multimodale pentru reconstrucția scenei infracțiunii, evidențiind potențialul acestor tehnologii în știința criminalistică⁴.

În mod similar, aplicațiile de realitate virtuală și realitate augmentată din domeniul jocurilor și al instruirii prin simulare pot atinge un nivel mai ridicat de realism și imersiune prin utilizarea unor tehnici optimizate de reconstrucție 3D⁵. Prin utilizarea software-urilor specializate, precum FARO Zone 3D, Autodesk ReCap, 3DF Zephyr sau BulletTrax, anchetatorii pot vizualiza scena infracțiunii într-un mediu virtual interactiv, permițându-le să analizeze variabilele care influențează traiectoria unui proiectil.

Prin utilizarea realității virtuale, părțile implicate pot explora cadrul infracțional într-un mediu interactiv, examinând, spre exemplu, traiectoriile proiectilelor trase cu o armă de foc și pozițiile victimelor și ale trăgătorilor.

Această metodă îmbunătățește comprehensiunea asupra desfășurării evenimentelor și poate clarifica eventualele contradicții din declarațiile martorilor.

Reconstituirea tridimensională a locului faptei și simularea evenimentelor infracționale sunt esențiale în criminalistică, oferind o metodă obiectivă și precisă pentru analiza probelor. Prin utilizarea software-urilor specializate în modelare, randare și animație 3D, anchetatorii pot recrea digital scene complexe, testa ipoteze și prezenta dovezi vizuale convingătoare în instanță. Printre cele mai eficiente

¹ Y.M. Mostafa, M.N. Al-Berry, H.A. Shedeed, M.F. Tolba, "Data Driven 3D Reconstruction from 2D Images: A Review", 2022, p. 812-823.

² A.N. Sazaly, M.F.M. Ariff, A.F. Razali, „3D Indoor Crime Scene Reconstruction from Micro UAV Photogrammetry Technique” Engineering, Technology & Applied Science Research. 2023, vol. 13, p. 13.

³ S. Kottner, M.J. Thali, D. Gascho, „Using the iPhone’s LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes”, Forensic Imaging 2023, p. 32.

⁴ D. Rangelov, J. Knotter, R. Miltchev, „3D Reconstruction in Crime Scenes Investigation: Impacts, Benefits, and Limitations”. Lecture Notes in Networks and Systems 2024, pp 46-64. doi.org/10.1007/978-3-031-66329-1_4.

⁵ B. Mildenhall ș.a., „NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis”, Lecture Notes in Computer Science, 2020, 405-421.

soluții utilizate în acest domeniu se numără Blender, 3ds Max, Autodesk Maya, Unreal Engine, Unity, 3DF Zephyr și FARO Scene.

Unul dintre cele mai importante aspecte ale reconstrucției 3D este stabilirea unghiului de impact al proiectilului în raport cu suprafața lovită. Analiza urmelor balistice pe obiecte precum pereți, mobilier sau autovehicule ajută la determinarea traiectoriei proiectilului și a punctului său de origine⁶.

În cazul comiterii unei infracțiuni cu arme de foc, reconstrucția tridimensională permite crearea unui model digital exact al locului unde a fost comis incidentul, integrând datele obținute din scanări laser, fotografii de înaltă rezoluție și măsurători balistice. Această tehnologie facilitează reconstituirea traiectoriei glonțului, stabilirea punctului de impact și determinarea poziției trăgătorului

Blender este una dintre cele mai versatile platforme pentru modelare și animație 3D, oferind un set complet de instrumente gratuite pentru crearea scenelor digitale, simularea interacțiunii obiectelor și animația personajelor. Criminaliștii pot utiliza acest software pentru a reconstrui mișcările suspectilor, pentru a analiza traiectoria proiectilelor și pentru a vizualiza secvențele evenimentelor într-un mod detaliat. Datorită motorului său avansat de randare și fizică, Blender permite crearea unor animații realiste care pot fi folosite ca material probatoriu.

Autodesk 3ds Max și *Maya* sunt software-uri profesionale utilizate în industria cinematografică și în ingineria 3D, dar sunt extrem de utile și în reconstituirea scenelor infracționale. Aceste programe sunt excelente pentru crearea mediilor detaliate și simularea scenariilor criminalistice, inclusiv recrearea accidentelor rutiere, a coliziunilor dintre obiecte sau a deformărilor rezultate în urma impactului. Maya, prin motorul său avansat de animație, este deosebit de util pentru simularea mișcărilor umane și a comportamentului fizic al obiectelor.

Pentru o integrare avansată a reconstituirii 3D cu realitatea virtuală și realitatea augmentată, Unreal Engine și Unity sunt două dintre cele mai puternice soluții disponibile. Aceste motoare grafice permit crearea unor medii interactive în care anchetatorii, judecătorii sau martorii pot explora o scenă a crimei într-un spațiu virtual. Unreal Engine, datorită capacității sale de randare fotorealistică, este ideal pentru vizualizările de mare precizie, în timp ce Unity este preferat pentru simulările interactive, unde utilizatorii pot analiza probele din diferite perspective.

Pentru documentarea și scanarea scenei locului faptei, 3DF Zephyr și FARO Scene sunt instrumente esențiale. Aceste software-uri permit reconstrucția tridimensională a spațiilor reale folosind tehnici de fotogrammetrie și scanare LiDAR. Odată ce o scenă este capturată digital, aceasta poate fi importată în Blender, 3ds Max sau Unreal Engine pentru a crea simulări detaliate și animații criminalistice.

Prin utilizarea acestor software-uri, criminalistica modernă a trecut de la metodele tradiționale de reprezentare grafică la reconstrucții 3D interactive și extrem de precise, care nu doar îmbunătățesc analiza probelor, dar oferă și un suport vizual puternic în cadrul proceselor judiciare. Astfel, integrarea modelării și animației 3D în investigarea infracțiunilor contribuie la o mai bună înțelegere a evenimentelor, care pot influența decisiv rezultatul unei anchete.

Criminalistica, ca știință multidisciplinară, a evoluat semnificativ de-a lungul timpului, adaptându-se la noile provocări sociale, tehnologice și juridice. În prezent, investigațiile criminalistice implică metode din diverse domenii științifice, de la chimie și biologie până la informatică și inteligență artificială.

În acest context, propun înființarea unei noi ramuri a criminalisticii, un concept inovativ care să îmbine toate cele trei ramuri deja existente dar care să vină și cu metode inovative de cercetare și reconstrucție a locului faptei.

Putând avea denumirea de Criminalistică Geospațială, acest nou domeniu, menit să fie unul interdisciplinar, ar trebui să revoluționeze investigarea unor fapte infracționale complexe, precum terorismul, accidente de aviație, criminalitatea organizată etc. Criminalistica Geospațială ar îmbina metode de analiză specifice investigărilor actuale, tehnologiilor 3D, reconstrucției tridimensionale a locului faptei împreună cu tehnicile de analiză computerizată.

Prin utilizarea teledetecției, analizei materialelor, fotogrametriei și modelării 3D, această metodă ar permite investigarea precisă a structurilor implicate în evenimente infracționale. Spre exemplu, în cazul

⁶ E. Liscio, *Observations and 3D Analysis of Bullet Impact Evidence*. Journal of Forensic Science, 2020.

unui atac terorist asupra unei clădiri, Criminalistica Geospațială ar putea reconstitui digital evoluția exploziei și efectele acesteia asupra structurilor adiacente, facilitând stabilirea punctului inițial al detonării pe baza datelor culese cu ajutorul fotogrametriei și altor tipuri de senzori montați pe o dronă⁷.

Prin îmbinarea criminalisticii clasice cu noile tehnologii de scanare LiDAR și randare 3D, această ramură ar permite crearea unor modele interactive ale locurilor infracțiunilor, în care anchetatorii pot naviga și analiza diferite scenarii posibile.

Metodele utilizate în conceptul de Criminalistică Geospațială ar include:

- Scanarea LiDAR și fotogrammetria – Reconstrucția precisă a mediului în care s-a desfășurat infracțiunea⁸;

- Analiza geospațială – Examinarea relației dintre locația fizică a evenimentului și factorii de mediu sau urbanistici;

- Inteligența artificială și modelarea predictivă – Utilizarea algoritmilor pentru detectarea unor tipare în comportamentul infracțional⁹;

- Realitatea virtuală și augmentată – Explorarea scenei infracțiunii într-un mediu digital interactiv, permițând investigatorilor să analizeze probele din diverse unghiuri.

Integrarea Criminalisticii geospațiale în cadrul investigațiilor judiciare ar reprezenta un pas semnificativ în modernizarea metodelor actuale de analiză a probelor. Acest nou domeniu interdisciplinar ar permite investigarea infracțiunilor într-un mod mai obiectiv, mai detaliat și mai eficient, contribuind la clarificarea unor cauze complexe și la îmbunătățirea sistemului judiciar.

Prin integrarea cunoștințelor avansate din arhitectură, inginerie, cinematografie, tehnologia informației și criminalistică, această abordare inovatoare are potențialul de a deveni un reper metodologic în investigarea incidentelor de mare amploare, furnizând anchetatorilor instrumente de înaltă precizie pentru reconstrucția fidelă a evenimentelor trecute.

Concluzii. Transformarea digitală schimbă rapid modul în care ne trăim viața în lumea post-pandemică. Din nefericire, tehnologia digitală nu se limitează doar la organizațiile și cetățenii care respectă legea. Organizațiile criminale și infractorii individuali identifică rapid noi oportunități prin intermediul noilor tehnologii, iar transformarea digitală schimbă dramatic natura infracțiunilor, terorismului și altor amenințări. Prin urmare, societatea noastră are nevoie de o capacitate mult mai mare de prevenire și investigare a actelor criminale pentru a proteja organizațiile și cetățenii. Acest lucru impune o nevoie urgentă de reformare pro-activă a criminalisticii pentru a ne îmbunătăți semnificativ capacitatea de a face față presiunilor generate de infracțiunile care evoluează în era transformării digitale.

Viitorul științei criminalistice a început, caracterizat de o combinație de oportunități și provocări. Este esențial să facem mai dificilă utilizarea tehnologiilor digitale pentru activități infracționale, în timp ce exploatăm avantajele acestora în beneficiul persoanelor afectate, al agențiilor de aplicare a legii, al companiilor și al organizațiilor. Pe măsură ce tehnologiile digitale continuă să evolueze, trebuie să fim mereu la curent cu cele mai recente dezvoltări pentru a investiga și urmări penal infracțiunile din era digitală în mod eficient.

Există o dependență tot mai mare față de probele digitale, iar volumul de astfel de probe digitale în cazurile penale este în continuă creștere. Astfel, tehnicile criminalistice devin tot mai sofisticate și joacă un rol din ce în ce mai important. Totuși, acest domeniu științific este extrem de vast, depășind adesea capacitatea majorității laboratoarelor criminalistice de a ține pasul cu viteza de dezvoltare a noilor tehnologii.

Prin urmare, este imperativ ca societatea să își dezvolte mecanisme de reglementare și adaptare pentru a asigura o tranziție echitabilă și sustenabilă către o lume digitalizată. Dezvoltarea unor cadre etice și juridice solide, promovarea transparenței algoritmice și consolidarea educației digitale devin

⁷ E. Weizman, „*Forensic Architecture: Violence at the Threshold of Detectability*”, Zone Books, New York, 2017.

⁸ L. Sheng, „*Three-dimension Point Cloud Technology and Intelligent Extraction of Trace Evidence at the Scene of Crime*”. Journal of Physics, IOP Publishing, 2019.

⁹ Zephyr, 3DF. *Advanced Photogrammetry and 3D Reconstruction for Forensics*, 2022.

esențiale pentru a preveni derapajele tehnologice și pentru a asigura că transformarea digitală servește interesului colectiv, și nu doar unei elite tehnologice.