CZU: 623.746-519:502.1 **https://doi.org/10.59295/tehfizuvs25.27**

INOVAȚIE PENTRU UN VIITOR VERDE: TEHNOLOGIA UAV MIJLOC DE ÎNVĂȚARE ȘI PROTECȚIE A MEDIULUI

INNOVATION FOR A GREEN FUTURE: UAV TECHNOLOGY AS A TOOL FOR LEARNING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Serghei PASCARI[1] e-mail: serghei.pascari@usm.md ORCID ID: 0009-0003-2951-2405

[1]Universitatea de Stat din Moldova

Abstract. *This paper presents an extended conceptual, methodological and applied framework for the integration of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technologies in environmental education. The study explains drone avionics, GNSS principles, real-time data collection, multi-layer UAV communication networks and their contribution to ecological monitoring. A pedagogical model for a demonstrative lesson is proposed, integrating theory, virtual simulations, environmental missions and practical data analysis. The developed methodology enhances students' scientific literacy, sustainable thinking and technological responsibility. The results show that UAV-based educational activities improve understanding of environmental processes and support the formation of a modern STEM-oriented learning culture.*
Keywords: *UAV, avionics, GNSS, sustainability, environmental monitoring.*

Introducere

Tehnologiile UAV au evoluat rapid în ultimul deceniu, devenind instrumente esențiale în cercetare, educație, monitorizarea mediului și dezvoltarea infrastructurilor inteligente. Această tranziție este surprinsă simbolic în Figura 1, unde evoluția de la zmeu (2009) la dronă (2019) reflectă schimbarea paradigmei tehnologice și apariția unei noi culture digitale în rândul tinerilor. Datorită accesibilității sporite a dronelor și funcțiilor avansate – camere multispectrale, LIDAR, GNSS RTK – acestea devin un mijloc eficient de a introduce elevii în domenii interdisciplinare STEM și de a crea conexiuni între tehnologie și responsabilitatea față de mediu [1].



Figura 1. Evoluția aparatelor de zbor ghidate.

Avionica dronelor include ansamblul sistemelor electronice care asigură zborul stabil, navigația și colectarea datelor. Componentele centrale sunt: unitatea de control al zborului, GNSS multi-constelație, senzorii inerțiali IMU, telemetria, camerele optice și multispectrale, precum și sistemele LIDAR montate pe UAV-uri industriale [2, 3].

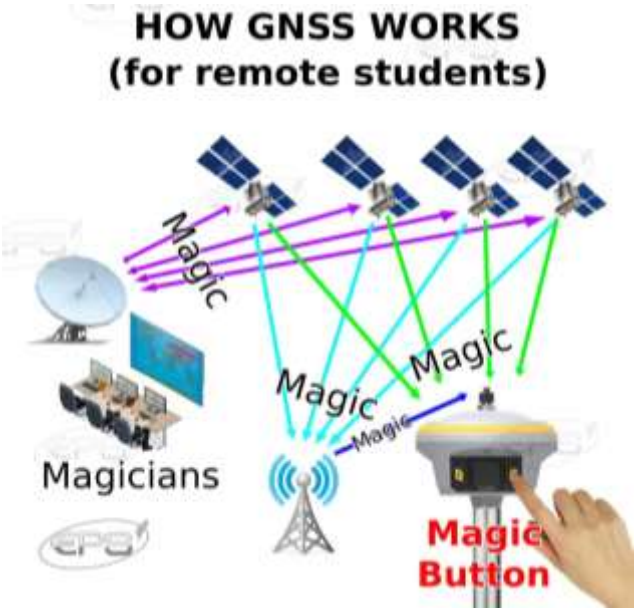


Figura 2. Funcționalitatea GNNS.

Figura 2 prezintă o reprezentare educațională simplificată a funcționării sistemelor GNSS, construită astfel încât să faciliteze înțelegerea conceptelor esențiale de navigație satelitară de către elevi și studenți aflați la început de drum. Ilustrația utilizează analogii intuitive – precum „magicienii" care procesează semnalele sau „butonul magic" al receptorului – pentru a transforma un proces tehnic complex într-un scenariu accesibil și memorabil. Prin această abordare vizuală, elevii pot înțelege ușor că poziționarea GNSS nu este rezultatul unei comenzi directe, ci al măsurării timpilor de propagare a semnalelor transmise simultan de mai mulți sateliți [4, 5]. Astfel, modelul didactic din Figură permite introducerea treptată a noțiunilor fundamentale de trilaterare, explicând cum distanțele față de minimum patru sateliți sunt utilizate pentru determinarea poziției tridimensionale a receptorului. De asemenea, reprezintă un punct de plecare ideal pentru explicarea conceptului de corecții diferențiale (DGPS), evidențiind rolul stațiilor de bază în reducerea erorilor cauzate de ionosferă, multipath sau ceasul sateliților. Aceeași schemă permite o tranziție naturală spre înțelegerea sistemelor RTK (Real-Time Kinematic), unde elevii descoperă modul în care corecțiile transmise în timp real conduc la o acuratețe centimetrică, esențială în cartografiere, topografie și aplicații UAV avansate [6]. Prin urmare, Figura 2 nu servește doar ca ilustrație, ci ca instrument pedagogic care conectează vizual conceptele tehnice cu mecanismele reale ale poziționării satelitare, transformând o temă abstractă într-un proces logic și intuitiv.

MATERIALE ȘI METODĂ

Utilizarea dronelor pentru monitorizarea mediului a devenit esențială în evaluarea ecosistemelor, detectarea anomaliilor ecologice și gestionarea resurselor naturale. Dronele pot colecta date privind calitatea aerului, starea vegetatiei, distribuiția termică a solului și pot detecta focare de incendiu în zone greu accesibile.

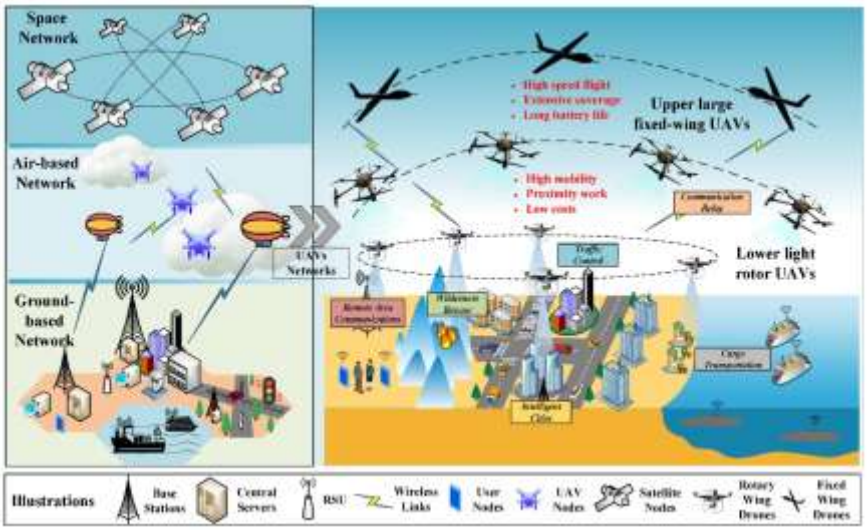


Figura 3. Dronele în rețele multi-strat.

În Figura 3 este prezentat integrarea dronelor în rețele multi-strat (spațiale, aeriene, terestre), relevând rolul lor în infrastructura „intelligent cities", comunicații de urgență și managementul riscurilor.

Astfel de aplicații permit elevilor să înțeleagă legătura directă dintre tehnologie și protejarea mediului, favorizând formarea unei gândiri orientate spre durabilitate, conform obiectivelor educației verzi [7].

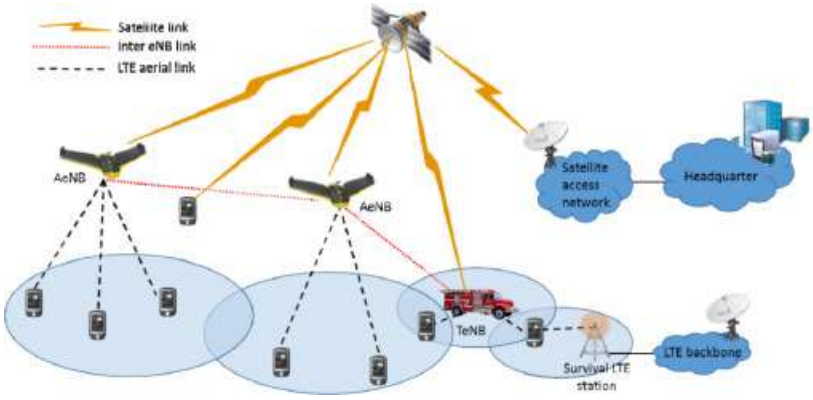


Figura 4. Integrarea UAV-urilor în nodurilor aeriene în rețelele terestre, macrocelule și backhaul satelitar.

Rețelele moderne UAV, prezentate în Figura 4, se bazează pe integrarea nodurilor aeriene în rețelele terestre, macrocelule și backhaul satelitar. Dronele pot funcționa ca stații de bază temporare în zone calamitate, extinzând acoperirea GSM sau stabilind comunicații de urgență. Acest model este relevant în contextul educațional, permițând elevilor să înțeleagă rolul dronelor în telecomunicații, tehnologii 5G/6G și scenarii de intervenție în caz de dezastre naturale [8, 9].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Modelul educațional propus a fost aplicat în cadrul activităților demonstrative și a generat o serie de rezultate relevante privind formarea competențelor tehnice și ecologice ale elevilor.

Cele patru etape majore ale programului – prezentarea dronei, simulările de zbor, planificarea misiunilor și analiza datelor – au contribuit complementar la dezvoltarea unei înțelegeri interdisciplinare, integrând concepte de inginerie, științele mediului și responsabilitate socială.



Figura 5. Prezentarea dronei și a componentelor avionice.

Prima etapă a vizat familiarizarea elevilor cu structura și funcționalitatea unei dronelor (Figura 5). Participanții au identificat componentele avionice principale – modulul GNSS, unitatea IMU, sistemele de telemetrie, camerele multispectrale și mecanismele de stabilizare. Activitatea a condus la creșterea semnificativă a înțelegerii modului în care aceste elemente interacționează pentru a asigura un zbor stabil și o colectare eficientă a datelor. Observațiile elevilor au arătat că explicarea pe modele reale, însoțită de demonstrații și analogii intuitive, facilitează asimilarea noțiunilor complexe de navigație și control [9].

În a doua etapă, elevii au utilizat simulatoare specializate pentru a reproduce zboruri în medii virtuale, eliminând riscurile asociate operării reale a dronelor (Figura 6). Simulările au permis exersarea manevrelor de bază, înțelegerea conceptelor de altitudine, viteză, direcție și orientare spațială, precum și familiarizarea cu setarea waypoint-urilor. Această abordare a contribuit la dezvoltarea abilităților motrice, dar și la consolidarea reflexelor de siguranță, întrucât elevii au putut analiza scenarii de pierdere a semnalului, interferență GNSS sau erori de pilotare. Rezultatele au arătat că simularea reprezintă o etapă esențială în procesul formativ, crescând încrederea și competența operatorilor începători [10, 11].



Figura 6. Simulări de zbor și dezvoltarea orientării spațiale și planificarea misiunilor ecologice.

A treia etapă a constat în proiectarea unei misiuni reale de monitorizare a mediului (Figura 6). Elevii au definit parametri precum: altitudinea optimă de zbor, traseul, rezoluția spațială dorită și tipul senzorilor necesari (RGB, infraroșu apropiat, camere multispectrale pentru NDVI). Procesul a stimulat gândirea critică și capacitatea de luare a deciziilor fundamentate pe obiective științifice [12]. De asemenea, elevii au înțeles importanța respectării reglementărilor aeriene, inclusiv distanțele minime față de zone locuite, responsabilitatea privind protejarea faunei și gestionarea riscurilor. Această activitate a demonstrat aplicabilitatea directă a tehnologiei UAV în evaluarea vegetației, detectarea stresului hidric sau identificarea zonelor afectate de degradare [13]. Ultima etapă a avut un rol central în procesul educațional, deoarece elevii au analizat datele obținute în urma misiunilor simulate sau reale. Prelucrarea imaginilor NDVI, compararea canalelor RGB–IR și interpretarea hărților tematice au permis identificarea zonelor cu stres hidric, a diferențelor de densitate a vegetației sau a anomaliilor termice. Elevii au învățat să utilizeze software-uri de analiză fotogrammetrică și GIS, dobândind competențe practice de interpretare a datelor geospațiale. Această etapă a consolidat în mod direct responsabilitatea ecologică, evidențiind modul în care tehnologia poate contribui la luarea deciziilor informate privind protecția mediului [14, 15]. Aplicarea modelului educațional a demonstrat că integrarea dronelor în procesul de predare crește semnificativ implicarea și motivația elevilor. Observațiile și feedback-ul obținut au evidențiat faptul că activitățile practice, susținute de resurse vizuale și scenarii reale, contribuie la formarea unei gândiri interdisciplinare moderne. Elevii au perceput dronele nu doar ca instrumente tehnologice, ci ca elemente utile în evaluarea și protejarea mediului, ceea ce confirmă potențialul educației pentru drone în promovarea dezvoltării durabile.

CONCLUZII

Rezultatele obținute în cadrul acestui studiu demonstrează că integrarea tehnologiei UAV în procesul educațional reprezintă o abordare inovatoare și eficientă pentru formarea competențelor interdisciplinare ale elevilor. Prin îmbinarea elementelor de avionică, navigație satelitară, planificare de misiuni și analiză geospațială, modelul pedagogic propus contribuie la dezvoltarea unei înțelegeri profunde a relației dintre tehnologie și mediul înconjurător. Activitățile practice desfășurate – de la prezentarea componentelor dronei până la interpretarea imaginilor multispectrale – au evidențiat capacitatea UAV-urilor de a transforma noțiunile teoretice în experiențe de învățare reale, intuitive și memorabile. Elevii au demonstrat o creștere vizibilă a motivației, implicării și responsabilității față de mediul natural, confirmând impactul pozitiv al educației orientate spre sustenabilitate. De asemenea, rezultatele arată că utilizarea dronelor facilitează formarea abilităților specifice domeniilor STEM, precum gândirea critică, rezolvarea problemelor, analiza datelor și luarea deciziilor informate. Prin expunerea la tehnologii de ultimă generație – GNSS, LIDAR, camere multispectrale, software de fotogrammetrie – elevii își dezvoltă o perspectivă modernă asupra rolului tehnologiei în societate și sunt încurajați să exploreze cariere în știință, inginerie și protecția mediului. În ansamblu, studiul confirmă că educația pentru drone poate servi drept catalizator în formarea unei generații conștiente, responsabile și capabile să contribuie activ la dezvoltarea durabilă. Implementarea continuă a acestor activități în școli și centre de instruire va consolida atât cultura tehnologică, cât și capacitatea tinerilor de a răspunde provocărilor ecologice ale viitorului.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE:

1. AUSTIN, Reg. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment. John Wiley & Sons, 2011.
2. COLOMINA, I., M., Pere. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. In: ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 2014, vol. 92, no., pp. 79-97.
3. NEX, F., REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. In: Applied geomatics, 2014, vol. 6, no. 1, pp. 1-15.
4. GYAGENDA, Nasser, et. al. A review of GNSS-independent UAV navigation techniques. In: Robotics and Autonomous Systems, 2022, vol. 152, no. p. 104069.
5. TURNER, D., LUCIEER, Ar., WATSON, Chr. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (SfM) point clouds. In: Remote sensing, 2012, vol. 4, no. 5, pp. 1392-1410.
6. CZYŻA, S., et. al. Assessment of accuracy in unmanned aerial vehicle (uav) pose estimation with the real-time kinematic (rtk) method on the example of dji matrice 300 rtk. In: Sensors, 2023, vol. 23, no. 4, p. 2092.
7. LEE, D., LA WOONG, G., KIM, H. Drone detection and identification system using artificial intelligence. In: 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2018. IEEE.
8. ZHOU, Y., RAO, B., WANG, W. UAV swarm intelligence: Recent advances and future trends. In: Ieee Access, 2020, vol. 8, no. pp. 183856-183878.
9. RÁBAGO, Jordi, PORTUGUEZ-CASTRO, May. Use of drone photogrammetry as an innovative, competency-based architecture teaching process. In: Drones, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 187.
10. BAI, Ou, et. al. Drones in education: A critical review. In: Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, 2021, vol. 12, no. 11, pp. 1722-1727.
11. PERGANTIS, P., DRIGAS, A. The effect of drones in the educational Process: A systematic review. In: Education Sciences, 2024, vol. 14, no. 6, p. 665.
12. NAEEM, Wasif, et. al. The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2008, vol. 222, no. 2, pp. 67-79.
13. WIERSMA, G. Bruce. Environmental monitoring. CRC press, 2004.
14. BÎRSAN, A., SPRINCEAN, V., GANEA, I. Oportunități de utilizare în practică a tehnologiilor inteligente în evaluarea unor variabile biologice. In: Studia Universitatis Moldaviae (Seria Ştiinţe Reale şi ale Naturii), 2023, vol. 171, no. 1, pp. 53-64.
15. BÎRSAN, A., SPRINCEAN, V. Utilizarea tehnologiilor avansate bazate pe aplicarea dronelor în evaluarea agrocenozelor. În: Integrare prin cercetare și inovare. 2023.

ACKNOWLEDGMENT

Acest articol este elaborat în cadrul proiectului pentru tineri cercetători pe anii 2025-2026, cifrul 25.80012.0807.25TC „Mediu sustenabil prin educația pentru drone''.