



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Inginerie Tehnologică și Management Industrial

Mihai-Alin MECLEA

**Tehnici și tehnologii de protecție la bruiaj și
atacuri cibernetice împotriva sistemelor de
supraveghere electronică**

REZUMAT

Conducător științific

Prof.dr.ing.ec. Mircea BOȘCOIANU

BRAȘOV, 2024

CUPRINS

1	INTRODUCERE.....	4
1.1	Justificarea modului de încadrare a temei în contextul actual	4
1.2	Delimitarea tematicii și domeniilor proiectului de cercetare	4
1.3	Necesitatea, importanța și actualitatea temei	4
1.4	Justificarea alegerii titlului tezei și formularea obiectivelor de cercetare propuse.....	5
1.5	Metodologia cercetării și dezvoltarea arhitecturii tezei.....	6
2	CERCETĂRI ASUPRA MEDIULUI OPERAȚIONAL ȘI A STADIULUI ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL STUDIAT.....	7
2.1	Evoluția managementului sistemelor de război electronic.....	7
2.2	Managementul resurselor de război electronic și evidențierea rolului capabilităților dinamice.....	7
2.3	Studiu de caz: chestionar aplicat personalului de specialitate din mediul operațional	9
2.4	Analiza critică a stadiului actual al cercetării științifice în domeniul război electronic ...	10
2.5	Analize și discuții. Contribuții posibile	12
2.6	Concluzii parțiale	13
3	ARHITECTURA SISTEMELOR DE RĂZBOI ELECTRONIC ȘI METODE/MODELE UTILIZATE ÎN MANAGEMENTUL ACESTORA	14
3.1	Contextul actual geopolitic, tehnologic, obiective strategice și descrierea noii paradigme	14
3.2	Scalabilitatea și modularitatea sub-sistemelor din arhitecturile de supraveghere electronică	15
3.3	Aspecte manageriale privind integrarea, instalarea, evoluția și dezafectarea sistemelor de supraveghere electronică.....	15
3.4	Analiza relațiilor OPS (Organizații-Persoane-Sistem), a factorilor umani și a proceselor organizaționale tipice sistemelor de război electronic. Situații de blocaje cognitive.....	16
3.5	Tehnici și tehnologii emergente de apărare electronică utilizate în managementul sistemelor de război electronic moderne.....	18
3.6	Integrarea teoriei jocurilor în managementul sistemelor de supraveghere electronică	21
3.7	Analize și discuții. Contribuții personale	21
3.8	Concluzii parțiale	21
4	MANAGEMENTUL PERFORMANȚEI SISTEMELOR DE SUPRAVEGHERE ELECTRONICĂ	23
4.1	Obiectivele și descrierea problematicii performanței sistemelor de supraveghere electronică	23
4.2	Strategii de gestionare a vulnerabilității sistemelor de război electronic.....	23
4.3	Proprietățile emergente specifice sistemelor de supraveghere electronică.....	23
4.4	Aspecte emergente în managementul sistemelor de supraveghere electronică. Rolul ESG (Environmental, Social, and Governance) și AI (Artificial Intelligence)	24



4.5 Războiul electronic cognitiv – influenţa AI în procesele decizionale specifice supravegherii electronice	24
4.6 Contribuţii personale.....	30
4.7 Concluzii parţiale	31
5 STUDII DE CAZ EFECTUATE PE PARCURSUL CERCETĂRII.....	32
5.1. Analiza performanţei algoritmilor AoA utilizaţi în sistemele Counter-UAV	32
5.2. Expunerea la câmpurile electromagnetice în contextul progresului tehnologic 6G şi IoT	35
5.3. Aspecte privind digitalizarea post-covid a învăţământului superior militar	38
6 CONCLUZII, CONTRIBUȚII, DIRECȚII VIITOARE, IMPLICAȚII MANAGERIALE.....	42
6.1 Concluzii.....	42
6.2 Contribuții personale.....	43
6.3 Justificarea caracterului de originalitate	44
6.4 Temele și direcțiile viitoare de cercetare	45
6.5 Fructificarea rezultatelor cercetării.....	45
6.6 Metodologia cercetării și dezvoltarea arhitecturii tezei.....	45

1 INTRODUCERE

1.1 Justificarea modului de încadrare a temei în contextul actual

În contextul geopolitic actual, marcat de conflicte militare aflate în desfășurare și de accelerarea avansului tehnologic, războiul electronic (RE) reprezintă o componentă esențială a operațiilor militare moderne. Supravegherea electronică (SE), element-cheie al domeniului mai vast RE, a constituit o temă de interes special pentru mine, pe de o parte datorită experienței proprii, dobândite în mediul operațional și pe de altă parte datorită rolului și influenței cruciale pe care SE îl are asupra succesului acțiunilor de război electronic.

În procesul de elaborare a tezei de doctorat, se integrează într-o concepție unitară elemente esențiale din activitatea specialiștilor de război electronic, probleme comune din managementul sistemelor de SE și posibile soluții identificate prin aplicarea unor modele și metode inovative de apărare electronică a sistemelor de SE. Contribuțiile personale au mai urmărit posibilitatea integrării capabilităților războiului electronic cognitiv în arhitectura sistemelor de SE actuale.

1.2 Delimitarea tematicii și domeniilor proiectului de cercetare

Acțiunile de război electronic se împart în trei categorii distincte: de atac electronic (bruij de diferite tipuri), de apărare electronică și de SE.

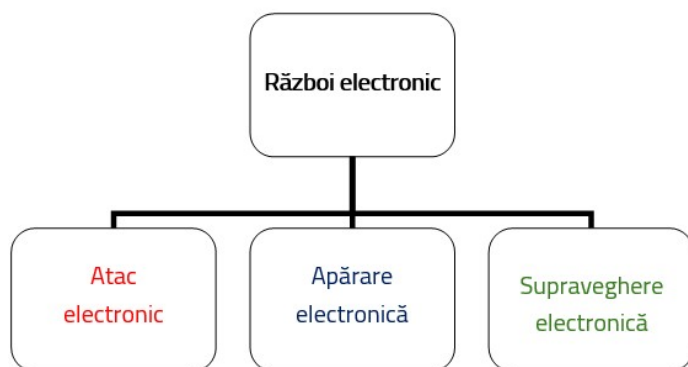


Figura 1: Componentele războiului electronic

Componentele majore ale războiului electronic se transpun în măsuri de sprijin electronic (ESM, Electronic Support Measures), contramăsuri electronice (ECM, Electronic Counter Measures) și contra-contramăsuri electronice (ECCM, Electronic Counter-Counter Measures). Toate cele trei componente necesită sprijinul din partea supravegherii electronice.

1.3 Necesitatea, importanța și actualitatea temei

O primă zonă (nișă) în care nu s-au efectuat cercetări în domeniul sistemelor de SE este de reprezentată de analiza mediului operațional, adică a problemelor și limitărilor cu care se confruntă specialiștii din domeniul război electronic și operatorii care deservește aceste sisteme critice.

Pe de altă parte, pe baza analizei critice a stadiului actual al cunoaşterii în domeniu s-a evidenţiat faptul că rolul războiului electronic devine crucial, în special pentru aviaţia militară, impunând utilizarea extinsă a sistemelor de supraveghere şi atac electronic de înaltă tehnologie, a contramăsurilor electronice avansate şi mijloacelor moderne precum avioanele de cercetare şi luptă cu sau fără pilot. Informaţiile în timp real despre adversar, în special în ceea ce priveşte aviaţia şi apărarea aeriană, sunt esenţiale pentru succesul operaţiilor militare.

Caracterul de noutate a temei de cercetare este ilustrat prin identificarea unor modele şi metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic, modele preluate din alte domenii de activitate, dar care au putut fi adaptate specificului domeniului: modelul siguranţei aeronautice, metoda Monte Carlo, metoda lanţurilor Markov, metoda detecţiei şi metoda estimării probabilităţii de lovire.

Un alt element de noutate constă în aplicarea teoriei jocurilor în managementul sistemelor de SE prin alocări dinamice (în locul scenariilor statice) a resurselor de bruij electronic asupra mai multor ţinte aeriene adverse care acţionează simultan pe timpul raidului aerian.

O altă contribuţie personală explorează războiul electronic cognitiv şi influenţa inteligenţei artificiale (IA, AI -Artificial Intelligence) în procesele decizionale, abordând provocările utilizării AI pentru cunoaşterea situaţiei şi luarea deciziilor în acţiunile de atac electronic, precum şi cerinţele utilizatorului sistemului RE cognitiv şi proiectarea sistemelor cognitive RE.

1.4 Justificarea alegerii titlului tezei şi formularea obiectivelor de cercetare propuse

Alegerea titlului tezei se justifică plecând de la experienţa personală în domeniul război electronic în general şi mai direcţionat în managementul sistemelor de SE.

Tehnicile şi tehnologiile moderne de protecţie la bruij reprezintă elemente cheie pentru succesul operaţiilor militare care presupun utilizarea componentei de război electronic. În acest context, sistemele de SE ocupă un rol central. Pe de o parte, rezultatele supravegherii electronice oferă indicii pertinente de avertizare timpurie privind riscurile şi ameninţările la adresa forţelor proprii. Pe de altă parte, sistemele SE contribuie la asigurarea protecţiei electronice a echipamentelor şi sistemelor proprii şi sprijină oportun procesul de luare a deciziilor cu privire la ţintele de combătut ale adversarului. Un management eficient al acestor sisteme asigură succesul operaţiei militare sau poate limita în mare măsură pierderile înregistrate în cazul unei înfrângerii.

Obiectivele ştiinţifice propuse sunt următoarele:

OS1. Identificarea stadiului actual al cunoaşterii privind managementul sistemelor de SE în mediul operaţional;

OS2. Analiza critică a stadiului actual al cercetării în domeniul managementului sistemelor de SE;

OS3. Realizarea unor modele şi metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de RE;

OS4. Analiza posibilităţii integrării capabilităţilor războiului electronic cognitiv în arhitectura sistemelor de SE actuale;

OS5. Analiza performanţei celor mai importanţi algoritmi de estimare a direcţiei radio (Direction of Arrival - DoA) pentru combaterea UAV/UCAV;

OS6. Identificarea şi analiza blocajelor cognitive (biasuri) întâlnite la operatorii sistemelor de SE;

OS7. Analiza nivelului de competenţe digitale în învăţământul superior militar şi percepţia primilor angajatori din mediul operaţional faţă de tinerii absolvenţi.

Obiectivul de diseminare este:

OD Dezvoltarea şi implementarea planului de diseminare şi valorificare a rezultatelor obţinute în urma cercetărilor.

1.5 Metodologia cercetării şi dezvoltarea arhitecturii tezei

În realizarea lucrării s-au folosit tehnici şi metode convenţionale specifice domeniului ales dar şi modele inovative, care să suplinească lipsa unor date sau elemente aflate la confluenţa dintre tehnologie şi resursa umană. Studiile propuse prezintă relevanţă ştiinţifică printr-o abordare detaliată a unor concepte specifice domeniului război electronic, precum: analiza performanţei algoritmilor AoA utilizaţi în sistemele Counter-UAV, efectele expunerii la câmpurile electromagnetice în contextul progresului tehnologic 6G şi IoT precum şi rezultatele digitalizării post-COVID în învăţământul superior militar.

Un element de noutate a temei de cercetare constă în identificarea unor modele şi metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic. În ceea ce priveşte resursa umană, au fost analizate o serie de blocaje cognitive întâlnite şi în managementul sistemelor de SE, au fost descrise cauzele care generează aceste situaţii nedorite şi, în final, au fost prezentate posibile soluţii pentru fiecare bias în parte.

Pentru realizarea studiului temei de cercetare a fost aplicată metodologia „PRISMA 2020”, utilizată pe scară largă pentru a efectua o analiză sistematică a literaturii de specialitate pe baza elementelor de raportare preferate pentru revizuri sistematice şi meta-analize.

Informaţiile obţinute din studiile de caz, analiza chestionarelor şi studiul literaturii de specialitate au fost prezentate într-un mod accesibil şi clar. Aceste rezultate pot constitui un punct de plecare pentru cercetări viitoare, metodele propuse fiind scalabile. Literatura de specialitate, informaţiile transparente din surse deschise şi interesele şi nevoile fundamentale din mediul operaţional au fost analizate în profunzime şi au format baza studiilor şi contribuţiilor personale.

Diseminarea rezultatelor cercetării se reflectă prin publicarea a opt articole BDI şi a două articole ISI Proceedings la conferinţa internaţională „EDULEARN 2024”, din tematica domeniului de cercetare.

2 CERCETĂRI ASUPRA MEDIULUI OPERAȚIONAL ȘI A STADIULUI ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN DOMENIUL STUDIAT

2.1 Evoluția managementului sistemelor de război electronic

Războiul electronic este definit ca o acțiune militară care presupune utilizarea energiei electromagnetice în scopul determinării, explorării, reducerii sau prevenirii folosirii ostile a spectrului electromagnetic, cât și acțiunea care favorizează folosirea în scopuri proprii a acestuia.

În continuare, au fost prezentate principalele lecții învățate și elemente de interes specifice domeniului RE identificate pe parcursul unor conflicte militare recente, grupate astfel:

- Întrebuințarea RE în conflictul din Coreea;
- Întrebuințarea RE în războiul din Vietnam;
- Întrebuințarea RE în războiul din Orientul Apropiat;
- Întrebuințarea RE în războiul din Orientul Apropiat din 1973;
- Întrebuințarea RE în conflictul arabo-israelian din Liban;
- Întrebuințarea RE în conflictul din Insulele Malvine (Falkland) din 1982;
- Întrebuințarea RE în conflictul dintre SUA și Libia;
- Întrebuințarea RE în războiul din Golf;
- Întrebuințarea RE în evenimentele din decembrie 1989 din România;
- Întrebuințarea RE în evenimentele din fosta Iugoslavie (anii '90);
- Întrebuințarea RE în războiul din Ucraina.

2.2 Managementul resurselor de război electronic și evidențierea rolului capacităților dinamice

Există o serie de teorii aplicabile în managementul resurselor, atât printr-o abordare statică, cât și prin intermediul uneia dinamice.

Teoria bazată pe resurse (RBT - Resource Based Theory) este o abordare strategică în managementul organizațional care pune accentul pe importanța resurselor interne ale unei organizații în obținerea și menținerea unui avantaj competitiv pe termen lung. Conform acestei teorii, resursele strategice ale unei organizații, care sunt rare, dificil de copiat și de înlocuit, pot constitui sursa principală a avantajului competitiv.

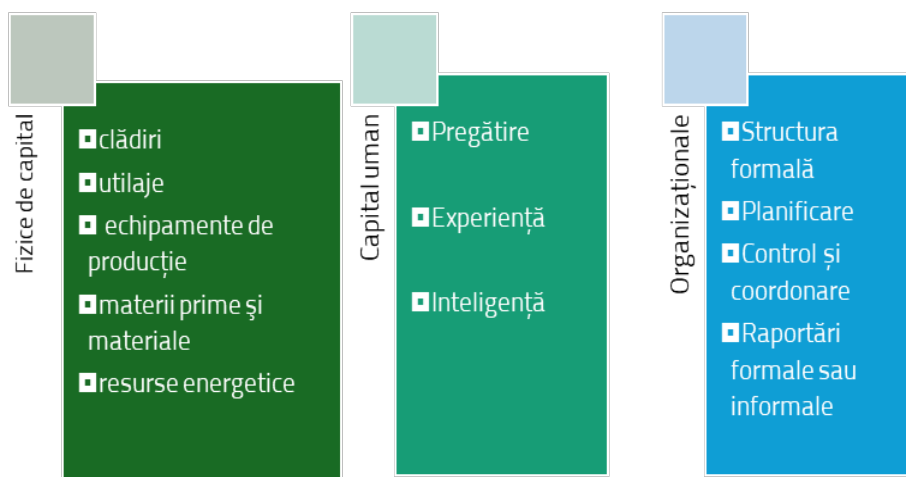


Figura 2: Clasificarea resurselor

Principiul de bază al teoriei bazate pe resurse este că „întregul este mai valoros decât suma componentelor”. Acest lucru înseamnă că abilitatea unei organizații de a integra și de a gestiona resursele sale într-un mod sinergic și eficient poate duce la crearea unei valori totale care depășește suma valorii resurselor individuale.

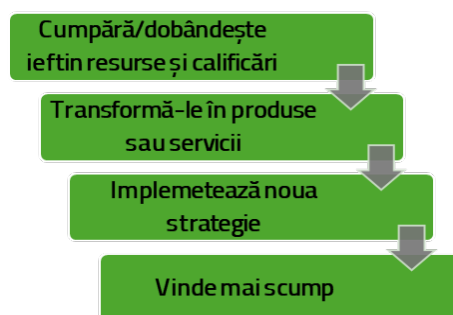


Figura 3: Algoritmul teoriei RBT

Teoria costurilor tranzacționale (TCE – Transaction Costs Economics)

TCE este o paradigmă în domeniul economiei care a fost dezvoltată inițial de către Ronald Harry Coase și ulterior extinsă de către Oliver E. Williamson. Această teorie se concentrează pe analiza costurilor implicate în desfășurarea tranzacțiilor economice între indivizi și organizații și pe modul în care aceste costuri influențează structura și comportamentul piețelor și organizațiilor.

Teoria costurilor tranzacționale (TCE) și managementul sistemelor de SE pot fi comparate astfel:

- Gestionarea costurilor și a incertitudinii: în managementul sistemelor de SE, se abordează și gestionarea costurilor, inclusiv costurile de implementare, de întreținere și de modernizare a sistemelor de RE. De asemenea, se abordează și incertitudinea asociată cu utilizarea tehnologiei și a datelor în contextul actual;
- Raționalitate limitată și specificitatea activelor: în managementul sistemelor de SE, raționalitatea limitată poate fi observată în luarea deciziilor legate de proiectarea și implementarea sistemelor și echipamentelor iar specificitatea activelor poate fi

asociată cu dependența de tehnologii sau resurse specializate necesare pentru utilizarea acestor capabilități;

- ▣ Structura de guvernare și alegerea între piețe și organizații: în managementul sistemelor de SE, aceasta se poate traduce în deciziile legate de implementarea unor noi tehnici și tehnologii de SE, precum și de alegerea între externalizarea anumitor servicii și menținerea acestora în cadrul actual.

Teoria agent principal (TAP), dezvoltată de Michael Jensen și William H. Meckling în lucrarea lor din 1976 intitulată „Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure”, explorează relația dintre proprietarii unei companii (acționarii sau proprietarii principali) și managerii angajați pentru a conduce afacerea lor. Teoria subliniază faptul că, în multe situații, interesele proprietarilor și ale managerilor pot fi divergente, deoarece aceștia din urmă acționează ca agenți ai proprietarilor și au propriile lor interese și obiective.

Similar cu relația dintre proprietari și manageri în TAP, în managementul sistemelor de SE există adesea divergențe de interese între diferitele părți implicate. De exemplu, operatorii pot avea anumite nevoi și așteptări privind politica de securitate, în timp ce administratorii sistemelor sau tehnicienii pot urmări obiective diferite, cum ar fi eficiența operațională sau siguranța.

Distrușgerea creativă este un concept economic introdus de economistul Joseph Schumpeter în lucrarea sa "Capitalism, Socialism and Democracy" (1942). Acest concept se referă la procesul prin care inovațiile tehnologice și economice conduc la eliminarea sau înlocuirea vechilor produse, procese sau industrii cu altele noi și mai eficiente.

Așa cum distrușgerea creativă este caracterizată de inovație și schimbare radicală în economie, managementul sistemelor de SE implică, de asemenea, adoptarea și implementarea continuă a noilor tehnologii și tehnici pentru a răspunde la amenințările emergente și a îmbunătăți eficacitatea operării sistemelor.

Capabilitățile dinamice sunt un concept dezvoltat de David J. Teece, Gary Pisano și Amy Shuen în 2009, care se referă la abilitatea unei organizații de a adapta și dezvolta în mod constant resursele, procesele și competențele sale pentru a obține și menține un avantaj competitiv într-un mediu caracterizat prin schimbări tehnologice rapide și incerte.

Utilizarea capabilităților dinamice în domeniul RE se referă la capacitatea de a gestiona eficient și flexibil resursele avute la dispoziție în acțiuni de RE, precum și la capacitatea de a adapta și de a schimba rapid tacticile și tehnologiile în funcție de evoluția situației curente.

2.3 Studiu de caz: chestionar aplicat personalului de specialitate din mediul operațional

Obiectivul chestionarului cu tema „Tehnici și tehnologii de protecție la bruijaj actuale utilizate de sistemele de SE” a vizat identificarea modalităților de identificare, clasificare și protecție

împotriva bruiajului sistemelor de SE din perspectiva factorilor implicați direct sau indirect în acest domeniu.

Rezultatele chestionarului sunt următoarele:

- aproximativ 97% dintre respondenți au răspuns că nu au mai participat la un astfel de proiect care să trateze problematica abordată de această lucrare;
- repartiția pe prima funcție a corespuns în mare măsură nevoii de încadrare cu personal de specialitate în proporție de aproximativ 40%, în mai mică măsură (24%), circa 26% fiind de părere că această încadrare s-a efectuat defectuos;
- în ceea ce privește capacitatea de a identifica prezența bruiajului radio la sistemele de SE, numai 28% dintre cei chestionați consideră că sunt capabili să facă acest lucru iar 17% din personal identifică prezența bruiajului într-o mai mică măsură. Acest rezultat indică faptul că numai o parte din participanții la chestionar lucrează efectiv în acest domeniu specializat și nu toți dintre ei s-au confruntat până în prezent cu situații de acest tip;
- circa 76% se consideră specialiști în domeniul RE (123 din 247 de respondenți- în mare măsură și 66 din 247 – într-o anumită măsură);
- în legătură cu implementarea ML (Machine Learning) și AI în sistemele de SE, 49,8% consideră că în mare măsură acest lucru este posibil și numai 15,38% resping această posibilitate;
- majoritatea respondenților, cu 78 de răspunsuri, sunt de acord că factorul uman ar putea fi înlocuit în operarea sistemelor de SE. 103 persoane sunt de părere că acest lucru este posibil doar într-o anumită măsură, indicând unele limitări sau rezerve. În plus, 42 de respondenți sunt de părere că factorul uman nu poate fi deloc înlocuit;
- la aprecierea privind oportunitatea implementării tehnologiilor inovative, numai 31,58% dintre respondenți consideră că tehnologia AR poate contribui în instruirea operatorilor sistemelor de SE, 17% dintre ei respingând în totalitate această posibilitate.

2.4 Analiza critică a stadiului actual al cercetării științifice în domeniul război electronic

În peisajul general al preocupărilor actuale din domeniul militar și al securității, cercetarea sistemelor de SE ocupă o poziție centrală și strategică. Această importanță derivă din mai multe factori:

- Evoluția tehnologică rapidă;
- Complexitatea amenințărilor moderne: amenințările la adresa securității naționale și internaționale devin tot mai diverse și sofisticate, inclusiv în domeniul RE;
- Integrarea în războiul electronic;
- Protecția infrastructurilor critice;
- Legătura cu inovațiile din mediul civil.

În faza de planificare a cercetării sistemelor de SE următoarele aspecte sunt esențiale:

- Stabilirea obiectivelor;
- Analiza cerinţelor şi provocărilor;
- Alinierea la strategie;
- Alocarea resurselor;
- Stabilirea termenelor de executare a cercetării;
- Evaluarea riscurilor şi a aspectelor etice.

În continuare, a fost identificat un set de întrebări de cercetare specifice în domeniul războiului electronic:

- Care sunt cele mai recente abordări în managementul sistemelor de SE şi relaţia dintre ECM şi ECCM?

- Ce lacune există în cercetarea actuală a sistemelor de SE?

- Cum pot fi îmbunătăţite capacităţile de detectare şi analiză a semnalelor electronice pentru a contracara acţiunile de înşelare şi de bruijaj electronic ale adversarului?

- Care sunt tehnologiile emergente sau conceptele inovatoare care ar putea revoluţiona domeniul războiului electronic şi cum pot fi integrate eficient în capacităţile militare existente?

- Cum pot fi optimizate şi sincronizate sistemele de SE pentru a asigura o acoperire completă şi eficientă a spectrului electromagnetic într-un teatru de operaţii complex?

- Care sunt vulnerabilităţile actuale ale sistemelor de SE şi cum pot fi îmbunătăţite măsurile de securitate pentru a proteja aceste sisteme împotriva atacurilor cibernetice şi a sabotajului?

- Cum pot fi dezvoltate şi implementate tehnologii avansate de prelucrare a datelor pentru a extrage informaţii utile şi relevante din volumele mari de date generate de sistemele de SE?

- Care sunt strategiile, tehnicile, tacticile şi procedurile eficiente pentru utilizarea sistemelor de SE în sprijinul operaţiilor militare, inclusiv pentru identificarea şi neutralizarea ameninţărilor în timp real?

- Care sunt tendinţele emergente şi direcţiile viitoare în cercetarea şi dezvoltarea sistemelor de SE în contextul evoluţiei tehnologice şi al schimbărilor din mediul de securitate global?

Pentru a răspunde la întrebările de studiu formulate, s-a aplicat o metodologie utilizată pe scară largă pentru a se efectua o analiză sistematică a literaturii de specialitate pe baza elementelor de raportare preferate pentru revizuirii sistematice şi meta-analize (PRISMA 2020). A fost efectuată o căutare în baze de date ştiinţifice care cuprind reviste şi conferinţe importante în domeniul studiat cum ar fi IEEE Xplore, biblioteca digitală ACM, ScienceDirect, SAGE Journals Online şi Springer Link, pentru a descoperi articole relevante din domeniul RE.

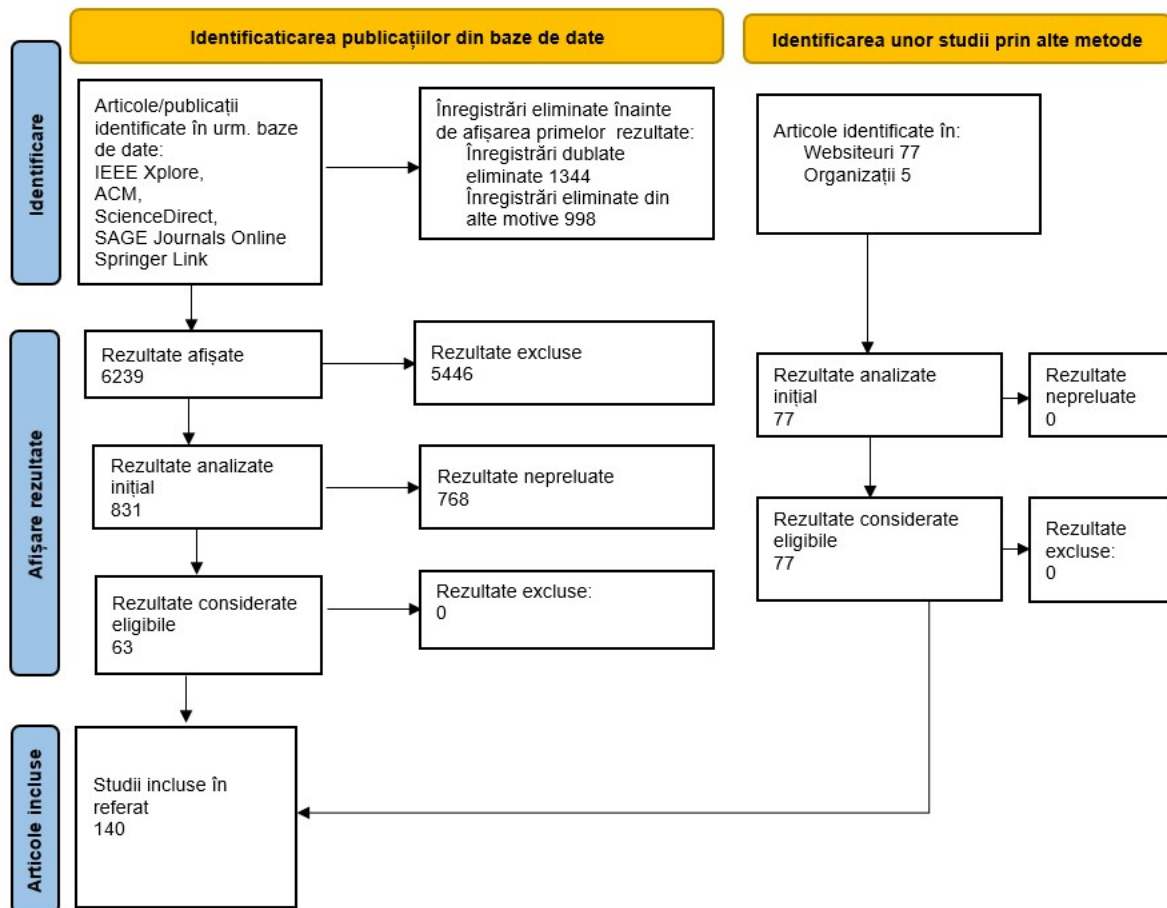


Figura 4: Diagrama de căutare prin metodologia PRISMA 2020

Pe baza analizei datelor culese și a experienței acumulate în desfășurarea acțiunilor de război electronic în conflictele militare, se pot trage următoarele concluzii:

- ❑ rolul războiului electronic a devenit din ce în ce mai important, pentru toate categoriile de forțe armate, dar mai ales pentru forțele aeriene;
- ❑ se folosesc tot mai multe sisteme de SE și atac electronic de ultimă generație, contramăsuri electronice (capcane termice și dipoli electromagnetici), avioane de cercetare aeriană și de luptă fără pilot, precum și emițătoare de bruij activ cu o singură întrebuințare, rachete auto dirijate pe fasciculul electromagnetic al mijloacelor electronice ale adversarului;
- ❑ sprijinul cu informații despre adversar (în special despre aviație și apărare aeriană) în timp real are un rol primordial în obținerea succesului în operații;
- ❑ în timp ce amplasarea emițătoarelor de bruij de zgomot la bordul aeronavelor de luptă s-a dovedit inefficientă, utilizarea tehnologiei STEALTH a contribuit decisiv la succesul operației.

2.5 Analize și discuții. Contribuții posibile

Pentru dezvoltarea mijloacelor de război electronic s-au desprins următoarele direcții de dezvoltare ale temei de cercetare:

- îmbunătăţirea capabilităţilor avioanelor fără pilot ofensive şi de cercetare electronică la distanţă;
- asigurarea descoperirii îndepărtate prin radiolocaţie cu ajutorul aerostatelor şi dirijabilelor, precum şi prin folosirea staţiilor şi sistemelor de radiolocaţie dispersate;
- realizarea capetelor de autodirijare ale rachetelor pentru a putea deosebi ţinta reală care se deplasează de regulă, în direcţie orizontală de capcana creată cu un nor de reflectori dipol care este staţionar sau se deplasează pe verticală;
- realizarea mijloacelor complexe de protecţie împotriva rachetelor cu capete de autodirijare prin radiolocaţie, în infraroşu şi laser, dotate cu sisteme automate de comutare rapidă de pe o variantă de protecţie pe alta;
- realizarea compatibilităţii electromagnetice a sistemelor de radiolocaţie terestre, aeriene şi maritime.

De asemenea, observăm integrarea AI în sistemele ECM şi adaptarea sarcinilor utile de război electronic pentru a fi utilizate pe vehicule aeriene de luptă fără pilot.

2.6 Concluzii parţiale

În urma analizei conflictelor locale în care a fost utilizat RE, desfăşurate după cel de-al doilea război mondial, au fost trase următoarele concluzii:

- a sporit, în mod determinant, rolul războiului electronic în strânsă legătură cu al mascării şi dezinformării în acţiunile de luptă ale tuturor categoriilor de forţe armate;
- s-a trecut de la întrebuiţarea separată a aparaturii de cercetare şi bruiaj pe timpul executării misiunilor limitate la folosirea masivă de către aviaţie, marină şi trupele terestre a complexelor de cercetare şi bruiaj electronic şi nimicire prin foc a mijloacelor electronice;
- se folosesc tot mai mult pe scară largă ţintele false termice şi de radiolocaţie, avioanele fără pilot ofensive, de cercetare şi pentru bruiaj electronic, emiţătoarele de bruiaj activ cu o singură întrebuiţare şi rachetele auto dirijate pe fasciculul electromagnetic al mijloacelor electronice de nimicire;
- este necesar să existe informaţii despre aviaţie şi despre apărarea aeriană a adversarului în timp real; cele mai bune procedee de procurare în timp real a datelor s-au dovedit a fi serviciul în aer al avioanelor de cercetare şi folosirea sateliţilor artificiali ai Pământului;
- s-au diversificat sistemele automatizate de conducere a mijloacelor de război electronic, s-a impus ca cerinţă conjugarea armonioasă a posibilităţilor cercetării electronice şi bruiajului electronic într-un proces continuu;
- instalarea pe o platformă aeriană a unui emiţător de bruiaj de zgomot nu a condus la ascunderea lui, ci, dimpotrivă la demascarea lui.

3 ARHITECTURA SISTEMELOR DE RĂZBOI ELECTRONIC ŞI METODE/MODELE UTILIZATE ÎN MANAGEMENTUL ACESTORA

3.1 Contextul actual geopolitic, tehnologic, obiective strategice şi descrierea noii paradigme

Impactul negativ al continuării războiului din Ucraina se resimte în economie iar lanţurile de aprovizionare se confruntă în continuare cu blocaje. Termenul de "greedflation" descrie o inflaţie determinată de lăcomie, având în vedere creşterea nejustificată a preţurilor şi rate record ale profiturilor companiilor în ultimii 10 ani. Creşterea ratelor dobânzilor poate induce o recesiune economică. Productivitatea forţei de muncă este în scădere, în timp ce rata şomajului înregistrează o creştere. În Europa, absenţa recesiunii se datorează unei cereri care depăşeşte oferta cu 2-3%, iar apetitul pentru consum înregistrează o scădere.

Digitalizarea în mediul militar a redevenit un concept al zilelor noastre, mai ales după izbucnirea războiului de către Federaţia Rusă în Ucraina şi implică, pe de o parte, un progres tehnologic colectiv şi, pe de altă parte, un proces de transformare.

Conform datelor Eurostat, începând cu 2021, în ceea ce priveşte competenţele digitale de bază sau superioare, Țările de Jos (Olanda până în 2020) se situează cel mai bine cu un procent de aproape 80%. Dintre statele considerate a avea armate puternice, Franţa are 62%, Italia 46%, iar Turcia doar 30%. România se află pe ultimul loc, după Bulgaria (31%), cu doar 28% din populaţia ţării având competenţe digitale de bază sau superioare.

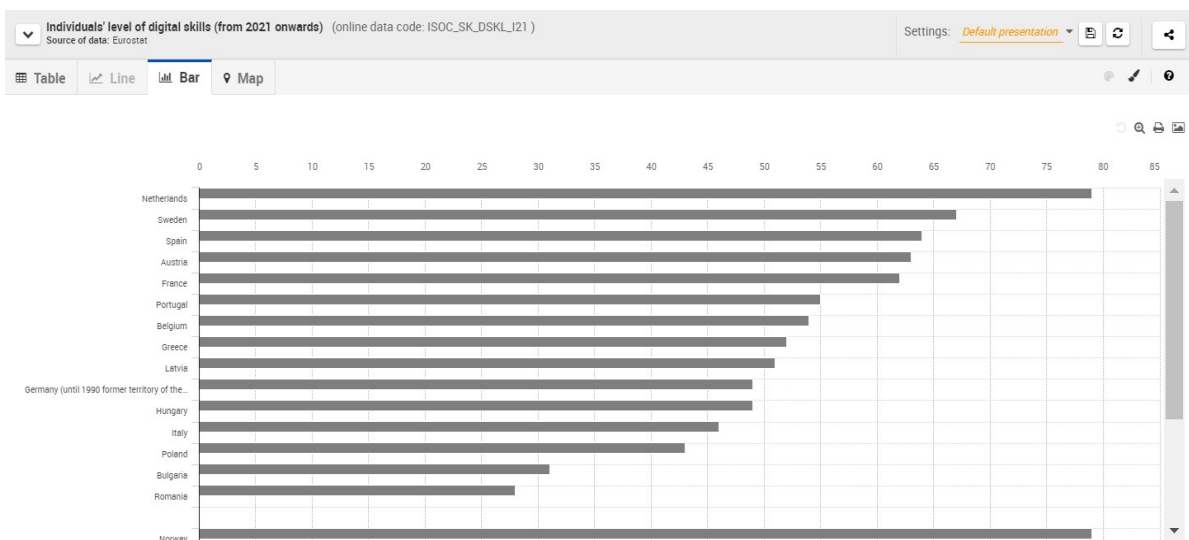


Figura 5: Procentul populaţiei cu competenţe digitale de bază în state membre UE/non-UE

Procentele sunt cam într-o anumită măsură similare când vorbim despre nivelul de digitalizare la care se situează armatele statelor membre ale Uniunii Europene.

Noile concepte actuale mai frecvente în mediul civil, precum AI, IoT, blockchain, Big Data, ML, AR, realitate virtuală, realitate extinsă, realitate mixtă, calcul cuantic, vor trebui incluse în cele militare existente (ex. C4I2SR).

3.2 Scalabilitatea și modularitatea sub-sistemelor din arhitecturile de supraveghere electronică

Scalabilitatea se referă la capacitatea de a extinde sau de a reduce sistemul în funcție de cerințele și resursele disponibile, în timp ce modularitatea se referă la capacitatea de a descompune sistemul în componente independente și interconectabile, ceea ce facilitează adaptarea, întreținerea și modernizarea acestuia.

- Scalabilitatea: permite sistemului să crească sau să se reducă în dimensiune sau capacitate pentru a răspunde la cerințele variabile ale mediului și utilizatorilor. De exemplu, un sistem de SE poate fi scalabil pentru a gestiona un număr mai mare de senzori sau pentru a integra tehnologii noi, cum ar fi ML sau AI;
- Modularitatea: permite sistemului să fie divizat în module sau sub-sisteme independente, fiecare responsabil pentru o anumită funcționalitate sau componentă a sistemului.

Prin implementarea scalabilității și modularității în arhitecturile sistemelor de SE, se asigură adaptabilitatea, flexibilitatea și ușurința de întreținere a acestora, permițându-le să răspundă eficient și eficace la schimbările din mediul lor de operare și la noile cerințe ale utilizatorilor.

3.3 Aspecte manageriale privind integrarea, instalarea, evoluția și dezafectarea sistemelor de supraveghere electronică

Integrarea unui sistem complet funcțional implică adunarea diverselor componente: hardware, software, de comunicații și factorul uman, fiecare având responsabilități pe toate nivelele, de la management și nivelul decizional până la execuție (operare și mentenanță). Pentru a asigura o integrare eficientă, este esențială o abordare incrementală, care să permită integrarea treptată a sub-sistemelor. În acest proces, apar adesea probleme legate de interfața între sub-sisteme, iar una dintre cauze poate fi furnizarea necoordonată a componentelor sistemului.

Procesul de instalare, realizat de furnizor, trebuie să se asigure că produsul instalat corespunde nevoilor clientului (în cazul nostru, sistemul de SE gestionat de beneficiar). Totuși, premisele asumate de furnizor privind nevoile clientului pot fi incorecte, ceea ce poate duce la rezultate nesatisfăcătoare. De asemenea, trebuie să se ia în considerare rezistența umană la schimbare, care poate fi manifestată de personalul implicat în gestionarea noului echipament. În perioada de tranziție către noul sistem, este posibil ca acesta să funcționeze în paralel cu sistemul vechi instalat, iar instalarea sa poate întâmpina probleme legate de cablare sau instalare fizică. Pentru a asigura o implementare și operare eficiente ale noului sistem, este esențial ca resursa umană să participe la activități de instruire și cursuri de calificare.

Perioada de evoluție a unui sistem de SE se întinde de la momentul punerii în funcțiune până la dezafectarea sistemului (prin casare). Deși sistemele mari sunt costisitoare și au durate de viață lungi, ele trebuie să evolueze pentru a răspunde cerințelor în schimbare.

Procesul de dezafectare/casare a sistemului are loc la finalul duratei sale de viaţă, odată cu decizia de scoatere a acestuia din exploatare. În acest proces, se urmăreşte recuperarea eficientă a componentelor subsistemului, care pot fi utilizate ca piese de schimb pentru alte sisteme şi reciclarea materialelor. Totodată, este necesară gestionarea responsabilă a materialelor periculoase şi luarea măsurilor adecvate de protecţie pentru a preveni poluarea mediului.

3.4 Analiza relaţiilor OPS (Organizaţii-Persoane-Sistem), a factorilor umani şi a proceselor organizaţionale tipice sistemelor de război electronic. Situaţii de blocaje cognitive

Legătura dintre procesul de intelligence (producerea de informaţii) şi implicaţiile războiului electronic în acest proces va fi detaliată pe parcursul acestei secţiuni. Nu există instrumente analitice pentru analiza unui volum mare de informaţii din domeniul război electronic şi este necesară procesarea multor informaţii/semnale electromagnetice într-o perioadă foarte scurtă de timp.

Evaluarea empirică a impactului războiului electronic în câmpul de luptă, în succesul unei operaţii militare poate fi compensată prin proiectarea şi implementarea unor sisteme de tip „Electronic Warfare Intelligent Information System” (EWIIS) – sistem informaţional de prelucrare a datelor/semnalelor de război electronic (procesare automată, comunicaţii şi non-comunicaţii, date de radiolocaţie, harţi electronice, comandă-control şi planificarea misiunilor de luptă).

Războiul electronic şi obţinerea de informaţii din toate sursele sunt de importanţă fundamentală pentru efectuarea operaţiilor informaţionale. Pe baza informaţiilor în special din domeniul SIGINT (Signal Intelligence – informaţii obţinute pe baza analizei semnalelor) se poate genera EOB, se poate planifica şi executa cu succes o misiune de atac electronic (bruij) şi se poate asigura protecţia împotriva unor acţiuni similare din partea adversarului.

Biasul reprezintă un blocaj cognitiv care generează erori specifice unor procesări sumare ale unor situaţii de criză sau situaţii conflictuale. Cauzele provin din limitele memoriei umane sau din anumite influenţe din mediul social. În managementul sistemelor de SE, se identifică următoarele biasuri:

1. *Biasul informaţional* reprezintă tendinţa de a culege cât mai multe informaţii, chiar dacă obţinerea acestora nu poate afecta, în final, calitatea deciziei luate.

2. *Biasul încrederii exagerate în propriile capacităţi (falsa superioritate)*

Falsa superioritate se manifestă prin tendinţa operatorilor, de obicei cei cu mai multă experienţă, implicaţi în managementul sistemelor de SE de a minimiza propriile caracteristici negative şi de a-şi supraestima calităţile şi realizările, mai ales în comparaţie cu ceilalţi.

3. *Biasul confirmării* reprezintă tendinţa de a favoriza informaţia care le confirmă credinţele sau ipotezele deja prezente şi de a respinge informaţiile care contravin respectivelor prejudecăţi sau de a le acorda mult mai puţină importanţă.

4. *Biasul iluziei atenţiei* reprezintă iluzia de a considera că observăm tot ce se întâmplă în jurul nostru. De fapt, observăm numai anumite elemente asupra cărora suntem concentraţi. Apare mai ales în situaţia care presupune rezolvarea unor sarcini noi. Pe măsură ce devenim mai experimentaţi, problemele sunt soluţionate mai uşor, fără consumuri mari de energie mentală.

5. *Biasul disponibilităţii* se referă la tendinţa operatorilor sistemelor de război electronic de a considera că anumite situaţii, lucruri apar mai frecvent dacă pot fi regăsite în memoria lor. În sens opus, dacă anumite situaţii nu au corespondent în trecut, se consideră că sunt improbabile sau că nu au avut loc.

6. *Biasul controlului* se referă la tendinţa operatorilor de a-şi supraestima în mod eronat capacitatea de a controla situaţii sau rezultatele unor evenimente.

7. *Biasul de atribuire* se manifestă în situaţia în care succesul obţinut este justificat de factori interni (propriul merit) iar nereuşitele sunt justificate de factori externi sau situaţionali.

8. *Biasul compensării riscului – Efectul Peltzman*, reprezintă tendinţa indivizilor de a-şi adapta comportamentul în funcţie de nivelul de risc perceput la un moment dat. Ne comportăm cu mai multă precauţie când percepem un risc mai mare şi mai puţin precaut când riscul este redus.

9. *Biasul susţinerii alegerii* este un blocaj cognitiv prin care se atribuie, retroactiv, caracteristici pozitive unei decizii luate în trecut şi caracteristici negative opţiunilor care nu fost luate în considerare şi este cauzat de faptul că procesul de luare a unei decizii a fost precedat de analiză şi planificare.

10. *Biasul Monte Carlo* reprezintă tendinţa de a considera că dacă un eveniment se întâmplă mai frecvent în prezent, se va petrece mai rar în viitor şi invers, dacă anumite situaţii sunt mai rare acum, frecvenţa apariţiei acestora în viitor va spori. Blocajul se bazează pe credinţa că există o lege universală a echilibrului, lucru contraproductiv şi periculos, în anumite situaţii.

10. *Biasul Monte Carlo* reprezintă tendinţa de a considera că dacă un eveniment se întâmplă mai frecvent în prezent, se va petrece mai rar în viitor şi invers, dacă anumite situaţii sunt mai rare acum, frecvenţa apariţiei acestora în viitor va spori.

11. *Biasul supravieţitorului* constă în luarea în calcul numai a situaţiilor fericite, care au avut succes deşi au fost riscante, şi respingerea celor cu final nefericit. Sunt supraestimate şansele de succes pe baza experienţelor anterioare favorabile nefiind considerate şi evenimentele care au condus la eşec.

12. *Biasul de ancorare* reprezintă tendinţa de a apela la o sursă de informaţie pentru a răspunde la o anumită întrebare. Blocajul este evidenţiat când se exprimă o anumită părere „pe ghicite”, fără un argument viabil.

13. *Biasul optimismului nerealist* apare atunci când avem impresia că suntem mai puţin expuşi riscului în comparaţie cu cei din jur. Blocajul poate fi însoţit de falsa superioritate faţă de grupul celor din jur, consideraţi „medii”. Biasul opus optimismului nerealist este cel al pesimismului nerealist.

14. *Biasul normalităţii* reprezintă credinţa că lucrurile, mediul, evenimentele viitoare nu vor ieşi din normalitate, nu vor avea o evoluţie dramatică. Blocajul se bazează pe subestimarea posibilităţii apariţiei unui dezastru precum şi a efectelor acelei situaţii critice.

15. *Biasul leneşului* apare la anumiţi indivizi care, aflându-se în cadrul unui grup, tind să depună mai puţin efort pentru îndeplinirea obiectivelor grupului, în comparaţie cu efortul depus pentru îndeplinirea unor obiective individuale, în afara grupului.

16. *Biasul comparaţiei sociale* apare în situaţiile respingerii celor din jur din simplul motiv că ne par superiori (fizic, intelectual sau mental). Blocajul comparaţiei sociale este strâns legat de statutul social.

17. *Biasul autorităţii* presupune tendinţa de a avea încredere oarbă în informaţiile provenite de la o anumită persoană sau autoritate superioară.

3.5 Tehnici şi tehnologii emergente de apărare electronică utilizate în managementul sistemelor de război electronic moderne

Tehnicile de bruiaj în domeniul comunicaţiilor sunt clasificate după cum urmează:

- bruiajul de zgomot;
- bruiajul în impulsuri;
- bruiaj de înşelare (spoofing);
- bruiajul glisant;
- bruiajul ochit;
- bruiajul de blocare;
- bruiajul de urmărire;
- bruiajul adaptiv;
- bruiajul inteligent.

Conform Doctrinei Aliate Întrunite pentru Operaţii în Spaţiul Cibernetic „Alianţa operează în medii din ce în ce mai interconectate, în special spaţiul cibernetic şi mediul informaţional (IE - Information Environment)".

Modele şi metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic în contextul Industry 4.0

1. *Modelul sistemului de management al siguranţei SMS-ICAO* (Safety Management System - International Civil Aviation Organization) cuprinde structuri organizaţionale, responsabilităţi, politici şi proceduri şi poate fi aplicat şi adaptat în managementul sistemelor de război electronic. O corespondenţă SMS ICAO - SMRE este ilustrată în figura de mai jos:

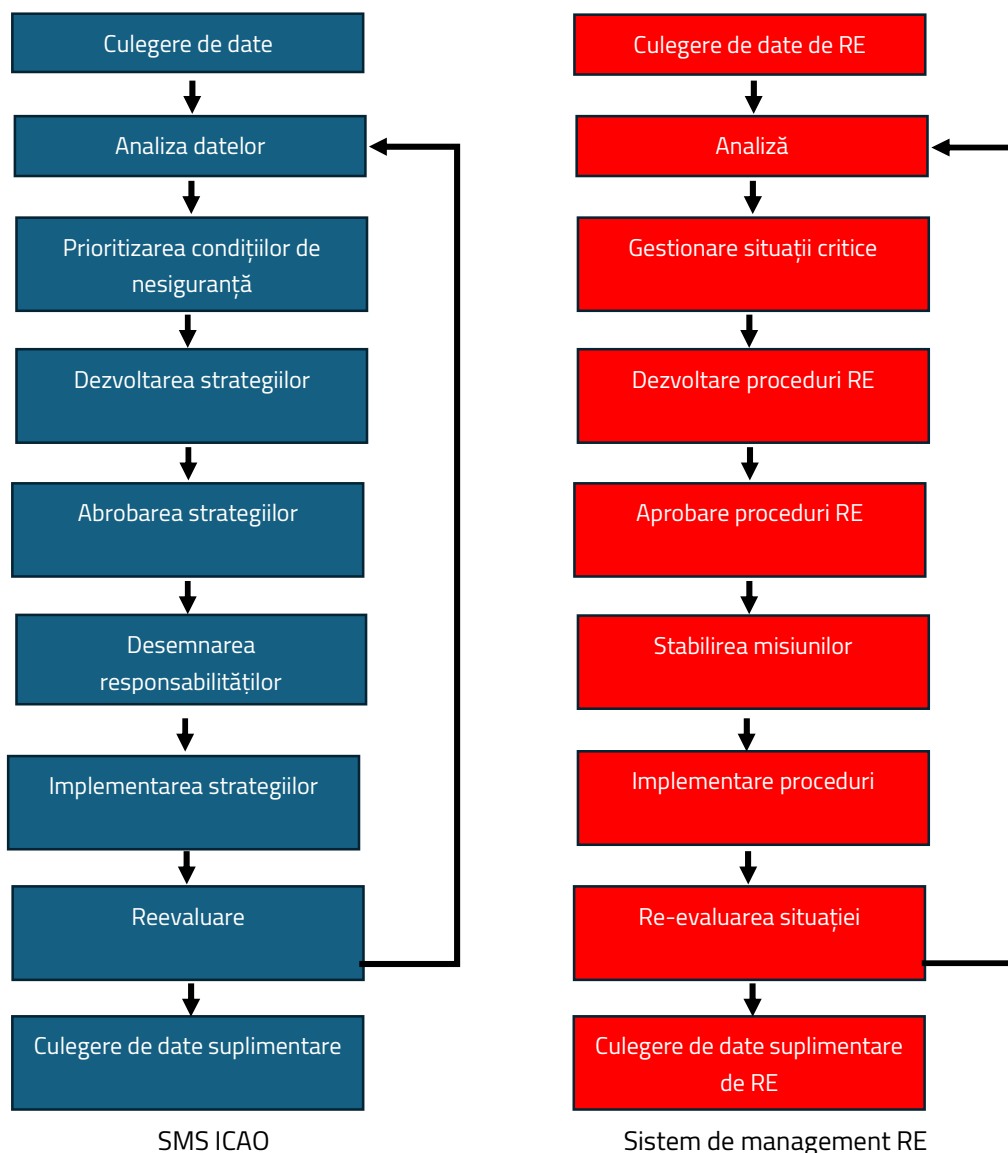


Figura 6: Corespondența SMS ICAO - Sistem de management RE

Sistemul de management de război electronic se construiește cu îndeplinirea unor condiții esențiale:

- ▣ printr-o abordare corporativă;
- ▣ implementarea unor instrumente organizaționale eficiente;
- ▣ mecanisme de feedback pentru îmbunătățirea activității.

Paralela SMS– QMS (Quality Management System -Sistemul de management al calității) – SMRE:

Sistemul de management al calității (QMS – Quality Management System) are două părți componente:

- ▣ controlul calității;
- ▣ asigurarea calității;

Programul siguranței de stat (SSP -State Safety Program), are patru componente:

- ▣ stabilirea politicilor și obiectivelor siguranței de stat;
- ▣ managementul siguranței de stat;

- ❑ asigurarea siguranței de stat;
- ❑ promovarea siguranței de stat.

Părțile comune SMS-QMS-SMRE sunt următoarele:

- ❑ activitățile sunt planificate și gestionate judicios;
- ❑ succesul depinde întotdeauna de rezultatul analizelor și activității de monitorizare;
- ❑ pentru o funcționare eficientă, sunt implicate toate funcțiile, procesele și factorii umani din organizație/structură;
- ❑ acțiunile/activitățile desfășurate pot fi și sunt îmbunătățite permanent.

2. Metoda Monte Carlo

În cazul acestei metode, se simulează funcționarea unui sistem folosind metodele statistice cu ajutorul proceselor aleatoare. Domeniile în care poate fi utilizată metoda Monte Carlo sunt:

- ❑ cercetările operaționale: studiul sistemelor de servire, gestiunea stocurilor, metoda PERT (Program Evaluation and Review Technique);
- ❑ calculul numeric: rezolvarea integralelor multiple, rezolvarea ecuațiilor diferențiale; probleme Dirichlet;
- ❑ economie: studiul gestiunii materialelor, jocuri de conducere, dezvoltarea unei ramuri, zone, economii, procesul de repartiții și de producție;
- ❑ industrie: procese de muncă, repartiția optimă a utilajelor, probleme de transport;
- ❑ alte domenii: biologie, chimie, mecanica fluidelor, fizica nucleară, fenomene naturale, etc.

Metoda Monte Carlo se poate aplica astfel:

- ❑ Simularea capacităților tehnice ale sistemelor de război electronic;
- ❑ Evaluarea eficacității tehnicilor, tacticilor și procedurilor de război electronic;
- ❑ Analiza riscurilor și vulnerabilităților;
- ❑ Optimizarea resurselor și strategiilor;
- ❑ Anticiparea progresului tehnologic.

3. *Metoda lanțurilor Markov* este o tehnică utilizată în domeniul războiului electronic pentru modelarea și analiza comportamentului sistemelor de apărare electronică în contextul unei serii de evenimente sau stări posibile. Această metodă se bazează pe conceptul de procese stocastice, unde stările sistemului sunt determinate de evenimente aleatoare și dependente de starea anterioară a sistemului. Aplicarea metodei lanțurilor Markov în contextul apărării electronice a sistemelor moderne de război electronic presupune:

- ❑ Modelarea stărilor sistemului: se identifică și se definește o serie de stări posibile ale sistemului de apărare electronică, cum ar fi starea de alertă, starea de detecție a amenințării, starea de reacție și altele;
- ❑ Definirea tranzițiilor între stări: se stabilesc probabilitățile de tranziție între diferitele stări ale sistemului;
- ❑ Simularea evoluției sistemului;

- Analiza performanţei şi optimizarea: pe baza rezultatelor simulărilor, se poate evalua performanţa sistemului de apărare electronică şi se pot identifica posibile îmbunătăţiri şi optimizări;
- Anticiparea şi adaptarea la schimbări.

3.6 Integrarea teoriei jocurilor în managementul sistemelor de supraveghere electronică

Aplicarea teoriei jocurilor în managementul sistemelor de SE poate fi esenţială pentru înţelegerea şi abordarea adecvată a interacţiunilor dintre diferite entităţi implicate în acest domeniu. Această necesitate derivă din complexitatea relaţiilor şi a deciziilor strategice din cadrul sistemelor de SE.

Identificarea şi evidenţierea posibilităţii integrării aspectelor privind teoria jocurilor în managementul sistemelor de SE

Aplicarea teoriei jocurilor în managementul sistemelor de SE poate sprijini:

- Optimizarea strategiilor: teoria jocurilor oferă instrumente şi cadre analitice pentru analizarea şi dezvoltarea unor strategii optime în contextul interacţiunilor complexe dintre actorii implicaţi în supravegherea electronică;
- Gestionarea conflictelor: întrucât interesele diferitelor entităţi pot fi divergente sau chiar conflictuale în cadrul sistemelor de SE, teoria jocurilor poate oferi cadre pentru gestionarea şi rezolvarea acestor conflicte;
- Analiza interdependenţelor: teoria jocurilor poate ajuta la înţelegerea şi analizarea interdependenţelor dintre deciziile luate de diferitele entităţi implicate în managementul sistemelor de SE;
- Anticiparea şi gestionarea riscurilor: prin utilizarea teoriei jocurilor, se pot identifica şi evalua riscurile asociate deciziilor şi acţiunilor din cadrul sistemelor de SE.

3.7 Analize şi discuţii. Contribuţii personale

Capitolul a vizat cartografierea arhitecturii sistemelor de SE, scalabilitatea şi modularitatea sub-sistemelor precum şi integrarea, instalarea, evoluţia şi dezafectarea sistemelor de SE. Ulterior, au fost identificate o serie de biasuri întâlnite frecvent în managementul sistemelor de SE şi modalităţile de ieşire din aceste blocaje.

O contribuţie personală a constat în identificarea unor modele şi metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic, inclusiv modalitatea de integrare a teoriei jocurilor în această arhitectură. A mai fost evidenţiată importanţa integrării elementelor de management al riscului şi rezilienţei în sistemele de SE pentru a se asigura funcţionarea eficientă şi sigură a acestora în faţa ameninţărilor şi riscurilor curente.

3.8 Concluzii parţiale

În acest capitol dedicat arhitecturii sistemelor de război electronic şi metodelor de gestionare a acestora, subiectele abordate au inclus: contextul actual geopolitic şi tehnologic, împreună cu noile paradigme, scalabilitatea şi modularitatea sub-sistemelor din arhitecturile de SE şi

integrarea, instalarea, evoluția și dezafectarea sistemelor de SE. Au fost identificate ulterior noi tehnici și tehnologii emergente de apărare electronică și modalități de integrare a teoriei jocurilor în managementul sistemelor de SE. În final, a fost abordat subiectul managementului riscului și rezilienței în sistemele de SE.

4 MANAGEMENTUL PERFORMANŢEI SISTEMELOR DE SUPRAVEGHERE ELECTRONICĂ

4.1 Obiectivele și descrierea problematicii performanței sistemelor de supraveghere electronică

În cadrul prezentului capitol, se vor identifica obiectivele de îndeplinit privind managementul performanței sistemelor de SE:

- Identificarea unor strategii de gestionare a vulnerabilității sistemelor de SE;
- Evidențierea proprietăților emergente specifice acestor sisteme;
- Enumerarea unor elemente de ingineria fiabilității cu aplicabilitate în managementul sistemelor de SE;
- Analiza paralelelor ESG-AI și ESG-AHP-AI în managementul sistemelor de SE;
- Evidențierea influenței AI în procesele decizionale specifice domeniului RE.

4.2 Strategii de gestionare a vulnerabilității sistemelor de război electronic

Gestionarea vulnerabilităților în sistemele de război electronic este esențială pentru a asigura securitatea și eficacitatea acestor sisteme în fața amenințărilor din ce în ce mai diverse și sofisticate. Printre strategiile importante pentru gestionarea acestor vulnerabilități se numără:

- Evaluarea și identificarea vulnerabilităților;
- Implementarea măsurilor de securitate;
- Monitorizarea continuă a sistemelor de SE;
- Pregătirea personalului pentru a putea recunoaște și a gestiona vulnerabilitățile;
- Actualizările continue de securitate și îmbunătățirile continue ale sistemelor de protecție.

Prin implementarea acestor strategii și abordări, structurile de RE pot gestiona vulnerabilitățile cu care se confruntă și pot asigura securitatea și fiabilitatea sistemelor și echipamentelor proprii.

În continuare, au fost identificate limitele teoriei organizațiilor cu înaltă fiabilitate (HRO - High Reliability Organization) și teoriei accidentelor naturale (NAT - Natural Accident Theory), aplicate în domeniul managementului sistemelor de SE.

4.3 Proprietățile emergente specifice sistemelor de supraveghere electronică

Aceste proprietăți emergente pot fi împărțite în două categorii: funcționale și non-funcționale:

- Proprietățile emergente funcționale apar atunci când toate elementele sistemului colaborează pentru a atinge un anumit obiectiv;
- Pe de altă parte, proprietățile emergente non-funcționale (cum ar fi fiabilitatea, performanța, siguranța și securitatea) sunt asociate cu comportamentul și performanța sistemului în contextul său operațional.

4.4 Aspecte emergente în managementul sistemelor de supraveghere electronică. Rolul ESG (Environmental, Social, and Governance) și AI (Artificial Intelligence)

ESG și AI sunt două domenii distincte, dar care pot avea unele suprapuneri sau interacțiuni în contextul anumitor aspecte. ESG se referă la criteriile non-financiare utilizate de investitori și alte părți interesate pentru a evalua performanța unei companii sau a unei organizații din punct de vedere al impactului său asupra mediului înconjurător, al societății și al practicilor de guvernare corporativă. Acest concept se concentrează pe aspecte precum reducerea emisiilor de carbon, responsabilitatea socială, diversitatea și incluziunea, transparența și etica în afaceri.

Integrarea conceptelor de ESG și AI în managementul sistemelor de SE poate aduce multiple beneficii și poate contribui la îmbunătățirea performanței și sustenabilității acestor sisteme critice. În acest context, aceste concepte pot fi aplicate astfel:

Mediul înconjurător (Environmental):

- Utilizarea tehnologiilor AI pentru optimizarea consumului de energie al sistemelor de SE;
- Implementarea soluțiilor de monitorizare a emisiilor și a impactului asupra ecosistemelor în zonele în care sunt desfășurate aceste sisteme militare;

Aspectele sociale (Social):

- Integrarea AI în sistemele de SE poate contribui la creșterea securității și performanței prin detectarea și prevenirea rapidă a incidentelor și a activităților deosebite în domeniul război electronic;
- Asigurarea diversității și incluziunii în echipele care dezvoltă și gestionează aceste sisteme, pentru a promova perspective diferite și pentru a crea tehnologii mai echitabile și mai responsabile social.

Guvernanța (Governance):

- Implementarea unor politici și proceduri de gestionare a datelor și a informațiilor în conformitate cu regulamentele și standardele privind protecția și confidențialitatea acestora;
- Utilizarea AI pentru analiza datelor și generarea de rapoarte și analize privind performanța și impactul sistemelor de SE în diferite domenii, inclusiv aspectele ESG.

4.5 Războiul electronic cognitiv – influența AI în procesele decizionale specifice supravegherii electronice

Tehnicile de AI utilizate în domeniul RE se referă la:

- cunoașterea situației electronice (EOB), cu preponderență în domeniul SE (caracteristici semnale, clasificare, detecția anomaliilor, recunoașterea intențiilor viitoare, raționament cauzal);
- luarea deciziilor, în domeniile protecție electronică, atac electronic și planificarea RE (planificare, optimizare, gestionarea resurselor materiale și de timp);

- ML – învăţare sau sporirea performanţelor pe baza datelor procesate, atât pentru cunoaşterea situaţiei cât şi în procesul de luare a deciziilor.

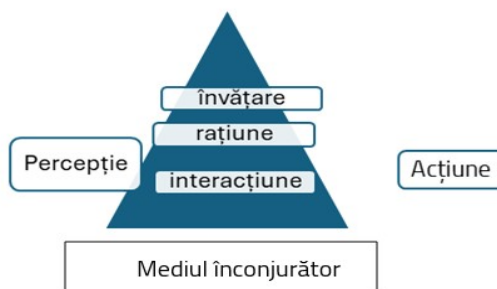


Figura 7: Structura unui sistem cognitiv

Un sistem cognitiv percepe mediul ambiant, analizează situaţia și acţionează în sensul îndeplinirii obiectivului, învăţând din interacţiunea cu acel mediu. Transformarea unui sistem clasic de război electronic într-un sistem cognitiv se realizează pe baza îndeplinirii celor trei funcţii de bază cu ajutorul AI.

Ciclul cognitiv este similar cu cel decizional, folosit în mediul militar: Observare-Orientare-Decizie-Acţiune (OODA – Observe, Orient, Decide and Act). Principala diferenţă constă în faptul că ciclul OODA se referă la un proces, în timp ce procesul cognitiv la factorul uman are loc pe baza acelui proces decizional.

Tabelul 1: Corespondenţe AI-acţiuni de război electronic

Terminologie AI	Terminologie RE
Cunoaşterea situaţiei	Sprijin electronic
Luarea deciziei	Protecţie electronică și atac electronic
Monitorizarea execuţiei	Evaluarea pierderilor suferite în sfera RE
Învăţare	Replanificarea acţiunilor RE (actualizare date și programe software)

Provocările utilizării AI pentru cunoaşterea situaţiei

Provocările utilizării AI pentru cunoaşterea situaţiei (SA – Situation Assessment) în acţiunile și măsurile de sprijin electronic (ES – Electronic Support) și în procesul de evaluare a pierderilor suferite în domeniul EW (EW BDA – Electronic Warfare Battle Damage Assessment) sunt următoarele:

- Sistemul EW cognitiv este extrem de dinamic: rezultatele cunoaşterii situaţiei sunt valabile un timp foarte scurt și se pot modifica chiar înainte de luarea unei decizii;
- Caracterul ambiguu al datelor de intrare: anumite evenimente pe linia EW pot avea cauze multiple și pot genera concluzii diverse și chiar eronate;
- Caracterul parțial necunoscut al factorilor care influenţează EMS (Electromagnetic Spectrum) care poate genera o evaluare eronată a pierderilor suferite în domeniul EW (EW BDA);

- ❑ Interacţiunile complexe dintre parametrii de control al unui sistem EW cognitiv nu sunt întotdeauna „înţelese corect” şi pot influenţa negativ performanţa sistemului în ansamblu;
- ❑ Ciclurile de feed-back din cadrul sistemului EW cognitiv sunt foarte complexe şi se execută în perioade diferite de timp (mai lungi sau mai scurte), ceea ce poate influenţa negativ corelaţiile cauză-efect ale acţiunilor întreprinse;
- ❑ Într-un mediu electromagnetic din ce în ce mai complex, este foarte dificil să se genereze suficiente date şi scenarii pentru „instruirea” sistemului EW cognitiv.

Analiza interdependenţelor dintre reţelele radio cognitive şi sistemele cognitive de RE

Principala legătură este reprezentată de îndeplinirea de către reţelele radio cognitive a obiectivelor de protecţie electronică ale sistemelor EW cognitive. Pe de altă parte, beneficiile unui management eficient al spectrului electromagnetic obţinute în reţelele de comunicaţii cognitive vor trebui „transferate” şi în sistemele EW cognitive.

Concepţia şi proiectarea sistemelor de RE cognitive

În activităţile de proiectare a sistemelor RE cognitive vor fi luate în considerare următoarele aspecte:

- ❑ modul de luare a deciziilor: centralizat sau descentralizat;
- ❑ procesul de învăţare: stabilirea sarcinilor de învăţare şi monitorizare a acestui proces;
- ❑ sistemul de detecţie: nivelul de sensibilitate solicitat, eliminarea datelor redundante, tipuri de detenţie în radio frecvenţă a semnalelor;
- ❑ politici de securitate: criptarea datelor, acces restricţionat în reţea, protejarea modelelor de AI utilizate în sistemul cognitiv care ar putea fi compromise şi copiate ulterior prin procedeul de inginerie inversă;
- ❑ arhitectura software: se urmăreşte atât optimizarea în general a sistemului EW cognitiv cât şi a subsistemelor componente;
- ❑ componenta hardware: se referă la proiectarea unor echipamente cu anumite capacităţi de stocare, arhivare şi procesare a datelor şi informaţiilor.

Pentru proiectarea unui sistem EW cognitiv va fi analizat modul în care AI poate sau nu înlocui factorul uman în următoarele componente:

- ❑ cunoaşterea situaţiei din EMS (mediul electromagnetic) pentru SE;
- ❑ luarea deciziei pentru o anumită acţiune de RE: atac electronic sau protecţie electronică;
- ❑ învăţare şi îmbunătăţire continuă, prin instrumentele ML.

Pentru eficienţă se recomandă introducerea graduală, pe subsisteme şi sarcini, a inteligenţei artificiale într-un sistem EW obişnuit, până la transformarea acestuia într-unul cognitiv în totalitate.

Metodele de învăţare se pot împărţi în două categorii distincte:

- metode bazate pe învăţare din experienţele anterioare: situaţiile noi interferează cu cele stocate în baza de date fără planificarea prealabilă a unei perioade de timp destinate instruirii;
- metode bazate pe modele: datele obţinute din experienţele de învăţare anterioare generează un model cu anumiţi parametri. Numărul de parametri (dimensiunea modelului) şi perioada interferenţei situaţiilor noi cu modelul creat rămân constante. Perioadele de timp destinate învăţării sunt direct proporţionale cu volumul de date necesar pe parcursul acestui proces.

Fuziunea datelor multi-sursă

Pentru o cunoaştere optimă a situaţiei din mediul electromagnetic, operatorii sistemelor de SE dar mai ales analiştii şi decidenţii vor interpreta date culese din multiple surse: sisteme radar, sisteme fără pilot aeriene, terestre sau maritime, nave, sisteme spaţiale, aeronave, antene şi reţele diverse de senzori. Fuziunea acestei multitudini de date şi informaţii cade în sarcina unui sistem cognitiv EW.

Un model de fuziune a datelor multi-sursă este prezentat în figura 13. Se porneşte de la evaluarea datelor iniţiale şi a obiectelor (surselor de date) care contribuie la cunoaşterea situaţiei curente.

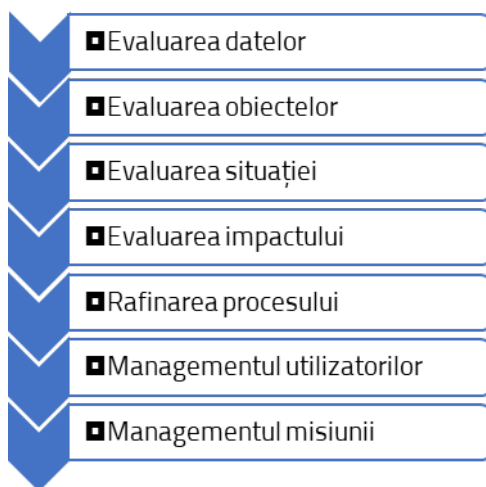


Figura 8: Model de fuziune a datelor multi-sursă aplicabil unui sistem EW cognitiv

Un exemplu prin care tehnologia ML poate asista fuziunea datelor multi-sursă („multi-intelligence” – multi-INT) îl constituie localizarea cu ajutorul standardului 5G, utilizat în telefonia mobilă şi conceptul de „cunoaştere contextuală”. Cu ajutorul tehnologiei 5G, echipamentele mobile ar putea deveni „conştiente” de locaţia lor şi ar putea face „presupuneri” referitoare la starea de fapt a utilizatorului aceluşi echipament mobil. În tabelul 7 sunt prezentaţi indicatorii cheie de performanţă care contribuie la localizarea un echipament 5G.

Tabelul 2: Indicatorii cheie de performanţă care contribuie la localizarea un echipament 5G

Indicatori cheie de performanţă	Descriere
---------------------------------	-----------

Precizia localizării poziției	Diferența dintre poziția estimată a echipamentului localizat și poziția sa reală
Precizia vitezei	Diferența dintre viteza estimată a echipamentului localizat și viteza sa reală
Precizia orientării	Diferența dintre orientarea estimată a echipamentului localizat (de regulă, față de direcția Nord) și orientarea sa reală
Latența (întârzierea)	Timpul necesar determinării și afișării poziției unui echipament 5G
Rata de înprospătare (de „update”)	Rata de înprospătare a poziției echipamentului localizat
Consumul de energie	Energia necesară determinării poziției unui echipament 5 G
Scalabilitatea sistemului	Numărul de echipamente care pot fi localizate într-o anumită unitate de timp, cu o anumită rată de „update”.

Protecția electronică și atacul electronic

Chiar dacă în accepțiunea clasică privind definirea conceptelor de război electronic, cele două componente (EP și EA) sunt definite și analizate separat, prin introducerea AI în compunerea sistemelor EW, acestea utilizează algoritmi și soluții constructive comune. Singura diferență constă în modul în care sunt definite obiectivele: în cazul protecției electronice, obiectivele se referă la forțele proprii, amice, iar acțiunile de atac electronic vizează întotdeauna adversarul.

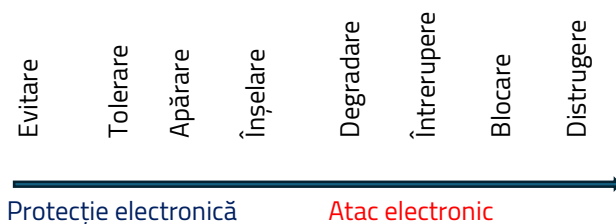


Figura 9: Spectrul de acțiuni de protecție și atac electronic

Teoria deciziilor în cazul unui sistem EW cognitiv complet se bazează pe trei concepte distincte:

- Planificarea acțiunilor de război electronic în funcție de obiectivul stabilit;
- Optimizarea sau selectarea unui curs optim;
- Aplicarea deciziei/cursului optim;

În procesul de planificare clasic al acțiunilor de război electronic, întâlnim:

- întocmirea concepției operației - CONOPS (concept of operations), a planului operației, OPLAN (operation plan) și a cursurilor de acțiune - CA (cel puțin două);
- selectarea unui CA;
- aplicarea ordinului de operație, OPORD (Operation Order), pe baza CA acceptat.

Tabelul 3: Planificarea acțiunilor de RE

Sistem EW cognitiv	Sistem EW clasic
Planificarea acțiunilor	CONPOPS, OPLAN și cursuri de acțiune
Optimizarea acțiunilor	selectare CA
Aplicarea deciziei	OPORD

Fundamentarea deciziilor în condiții de volatilitate și incertitudine excesivă

Într-un mediu electromagnetic complex și din ce în ce mai aglomerat, foarte rar informațiile sunt cunoscute în totalitate. Algoritmii de luare a deciziilor vor include și vor argumenta factorul de incertitudine al informațiilor curente. Cu sprijinul măsurilor de detecție activă și al comunicărilor deliberative este sporită calitatea și certitudinea informațiilor, fiind aplicate în acest proces, o serie de teorii:

- teoria DEMPSTER-SHAFER, prin care se măsoară gradul de încredere al informațiilor (ipotezelor) prin calcul probabilistic al dovezilor care sprijină acele ipoteze;
- teoria logicii neclare: prin care se analizează valoare de adevăr al unor date inițiale;
- teoria argumentării: prin care se construiesc relații de determinare argumentate între dovezi (date inițiale) și concluzii, fiind eliminate informațiile conflictuale sau opuse.

Proiectarea unei interfețe om-mașină în cadrul unui sistem de război electronic cognitiv

O interfață om-mașină eficientă va fi intuitivă, flexibilă, extensibilă și va răspunde oportun solicitărilor operatorilor sistemului EW cognitiv, îndeplinind următoarele obiective:

- creșterea performanței operaționale;
- creșterea eficienței în operare;
- gestionarea excesului de sarcini și misiuni alocate operatorilor sistemelor de luptă (sisteme EW, platforme aeriene, terestre sau navale) și planificatorilor operațiilor.

Proiectarea unui sistem om-mașină eficient este critică mai ales pentru buna cunoaștere a situației din mediul electromagnetic (SA – Situation Assessment). Funcționarea acestuia este ilustrată în figura 15. Sistemul om-mașină transformă acțiunile operatorului uman în comenzi pentru echipamentele electronice urmând ca datele generate de senzorii acestor echipamente să fie analizate și interpretate de factorul uman.

Aceste transformări sunt statice și nu se modifică în funcție de operator, sistemul tehnic utilizat sau mediul operațional. Intervenția AI prin conceptul de „echipaj om-mașină” (HMT – Human-Machine Teaming) la un sistem cognitiv, prin algoritmii ML face ca aceste transformări să devină dinamice. Se urmărește ca acțiunile operatorului uman și procesele automatizate prin ML să devină complementare, respectându-se permanent următoarele principii:

- responsabilitate față de factorul uman;
- cunoașterea riscurilor și beneficiilor speculative;
- menținerea respectului și securității în operare;
- menținerea onestității în buna funcționare a sistemelor tehnice.

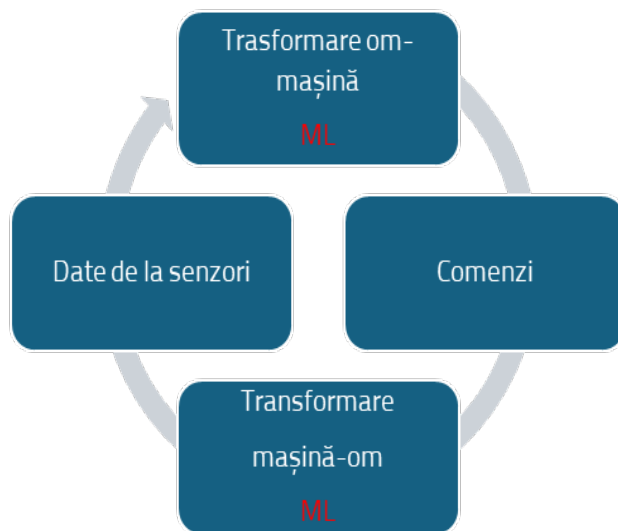


Figura 10: Funcţionarea unui sistem om-maşină

Metode de activare a proceselor de învăţare în domeniul război electronic

În scopul augmentării calităţii deciziilor şi a întregului proces de planificare a misiunilor de luptă, în arhitectura sistemelor EW cognitive există mai multe modalităţi de activare a învăţării (RL - Reinforcement learning), astfel:

- ▣ modelul reţelelor neuronale, (ANN - Artificial Neural Networks);
- ▣ modelul maşinilor cu vectori de sprijin (SVM – Support Vector Machines);
- ▣ abordarea MAB (Multiarmed Bandit – „banditul înarmat”);
- ▣ metoda arborilor decizionali Markov (MDP – Markov Decision Processes), pentru procese în condiţii de incertitudine;
- ▣ prin metoda reţelelor „Deep-Q” (Deep Q-Networks - DQNs).

4.6 Contribuţii personale

În contextul managementului performanţei sistemelor de SE, pe parcursul capitolului 4, au fost identificate o serie de strategii de gestionare a vulnerabilităţii sistemelor de SE, s-au evidenţiat proprietăţile emergente specifice acestor sisteme, s-au prezentat unele elemente de ingineria fiabilităţii cu aplicabilitate în managementul sistemelor de SE şi au fost analizate paralelele ESG-AI şi ESG-AHP-AI în managementul sistemelor de SE.

O contribuţie importantă a urmărit studierea războiului electronic cognitiv şi influenţei AI în procesele decizionale, abordând provocările utilizării acestei tehnologii pentru cunoaşterea situaţiei şi luarea deciziilor în acţiunile de atac electronic. Au fost prezentate cerinţele utilizatorului sistemului de RE cognitiv şi modalităţile de proiectare a sistemelor cognitive. De asemenea, au fost analizate aspecte legate de sprijinul electronic, protecţia electronică, atacul electronic, managementul acţiunilor de RE, luarea deciziilor în condiţii de incertitudine şi aplicarea teoriei jocurilor într-un sistem RE cognitiv, precum şi dezvoltarea interfeţei om-maşină şi aplicarea metodelor de învăţare automată (ML).

4.7 Concluzii parţiale

În prezentul capitol, au fost explorate obiectivele și strategiile de gestionare a vulnerabilității sistemelor de război electronic și proprietățile emergente specifice acestora. De asemenea, au fost analizate elementele de ingineria fiabilității aplicabile în managementul sistemelor de SE, integrarea principiilor ESG și AI în acest domeniu, precum și influența AI în procesele decizionale, în cadrul conceptului de RE cognitiv.

5 STUDII DE CAZ EFECTUATE PE PARCURSUL CERCETĂRII

5.1. Analiza performanţei algoritmilor AoA utilizaţi în sistemele Counter-UAV

Studiul de caz prezintă o sinteză și o analiză a performanţei celor mai importanţi algoritmi de estimare a direcţiei radio (Direction of Arrival - DoA). Estimarea DoA este definită ca procesul de determinare a unghiului de incidenţă radio în raport cu o serie de antene ale căror elemente sunt bine sincronizate și localizate.

Eficacitatea sistemelor de contramăsuri se bazează în mare măsură pe performanţa algoritmului de estimare implementat. Acest studiu abordează performanţa a patru astfel de algoritmi (MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT și CAPON). Aceşti algoritmi au fost analizaţi pe baza variaţiilor erorilor de spectru.

Motivele pentru care algoritmi AoA sunt necesari pentru sistemele contra-UAV sunt:

- Detecţie;
- Urmărire;
- Clasificare;
- Localizare;
- Neutralizare.

Algoritmi AoA pentru soluţii contra-UAV

Găsirea celui mai potrivit algoritm Angle of Arrival (AoA) pentru utilizarea în sistemele contra-UAV este un element critic al proiectării sistemului. Alegerea algoritmului AoA poate influenţa semnificativ capacităţile de detectare, localizare, urmărire și neutralizare ale sistemului.

A. MUSIC (Clasificarea semnalelor multiple)

Acest algoritm utilizează structura proprie a matricei de covarianţă a semnalului recepţionat pentru a estima AoA. MUSIC oferă estimări AoA de înaltă rezoluţie, dar necesită un cost computaţional ridicat și numărul de surse să fie mai mic decât numărul de senzori matrice.

Dacă presupunem N numărul de senzori de reţea recepţionaţi D semnale, atunci putem reprezenta acest lucru ca:

$$X=A(S)+N \quad (1)$$

Aici, X reprezintă ieşirile sensorului, A este matricea de direcţie, S sunt semnalele și N este zgomotul.

Spectrul MUSIC este definit ca:

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{\text{abs}[a^H(\theta)E_N E_N^H a(\theta)]} \quad (2)$$

Unde $a(\theta)$ este vectorul de direcţie, E_N este matricea vectorilor proprii de zgomot, iar H reprezintă transpunerea hermitiană.

B. Root-MUSIC

Aceasta este o variantă a algoritmului MUSIC cu o intensitate computațională mai mică. Root-MUSIC găsește rădăcinile unui polinom și selectează rădăcinile corespunzătoare direcțiilor semnalului. La fel ca algoritmul MUSIC, și acesta necesită ca numărul de surse să fie mai mic decât numărul de senzori matrice.

În loc să găsească vârfuri în spectrul MUSIC, rezolvă o problemă cu rădăcini polinomiale. Acest algoritm este mai eficient din punct de vedere computațional.

Rădăcinile polinomului sunt date ca:

$$\mathbf{P}(z) = \mathbf{a}^H(\boldsymbol{\theta})\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(\boldsymbol{\theta}) = \mathbf{0} \quad (3)$$

Unghiurile de sosire sunt estimate de la rădăcinile situate pe cercul unitate.

C. ESPRIT - estimarea parametrilor semnalului prin tehnici de invarianță rotativă

Acest algoritm utilizează structura proprie a semnalului recepționat, dar are cerințe de calcul mai mici decât MUSIC, deoarece nu implică o căutare pe întregul spațiu al unghiului. Cu toate acestea, necesită o structură de matrice specifică (de exemplu, o matrice liniară uniformă cu distanță la jumătate de lungime de undă).

Fie S_1 și S_2 două matrice de semnal separate de o distanță cunoscută. Putem exprima cele două matrice ca:

$$\mathbf{S1} = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{D} + \mathbf{N1} \quad (4)$$

$$\mathbf{S2} = \mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})e^{-jkd}\mathbf{D} + \mathbf{N2} \quad (5)$$

Acest algoritm estimează unghiul din subspațiul semnalului direct folosind proprietatea de invarianță de rotație.

D. Capon/MVDR - răspuns distorsionat al varianței minime

MVDR formează un fascicul îngust în direcția semnalului dorit și nuluri în direcția interferenței, ceea ce poate fi benefic pentru mediile cu semnale de interferență. Cu toate acestea, necesită o estimare exactă a matricei covarianței, ceea ce poate fi dificil în medii non-staționare.

Are cerințe de calcul mai mici decât MUSIC și ESPRIT, dar necesită o estimare exactă a matricei covarianței.

Vectorul de greutate w care atinge MVDR este:

$$\mathbf{W}_{capon} = \frac{\mathbf{R}_{xx}^{-1}\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})}{\mathbf{A}^H(\boldsymbol{\theta})\mathbf{R}_{xx}^{-1}\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})} \quad (6)$$

Iar spectrul Capon este dat de:

$$\mathbf{P}_{capon} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{A}^H(\boldsymbol{\theta})\mathbf{R}_{xx}^{-1}\mathbf{A}(\boldsymbol{\theta})} \quad (7)$$

Alegerea dintre acești algoritmi sau alții depinde de cerințele și constrângerile specifice ale sistemului contra-UAV. Performanța acestor algoritmi poate fi, de asemenea, îmbunătățită

prin utilizarea lor în combinație sau prin optimizarea parametrilor lor pe baza mediului de operare.

Determinarea AoA în simulări MATLAB

În acest scenariu MATLAB, a fost simulată o matrice de antene pentru a analiza performanța diferiților algoritmi de estimare AoA (MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT și MVDR/Capon). Simularea va permite înțelegerea modului în care numărul de senzori dintr-o rețea de antene afectează eroarea de spectru a fiecărui algoritm.

Pentru realizarea acestui studiu, a fost creat un scenariu sintetic în care semnalele sunt recepționate din mai multe surse (emulând UAV-uri) la diferite unghiuri cunoscute. S-a folosit o matrice de antene pentru a primi aceste semnale, iar AoA a fost estimat folosind fiecare dintre algoritmii luați în considerare.

După stabilirea AoA estimat, se poate calcula eroarea spectrului comparând spectrul estimat și spectrul real. Spectrul real poate fi obținut pe baza AoA-urilor cunoscute ale surselor, în timp ce spectrul estimat poate fi obținut din algoritmii de estimare AoA.

Etapetele scenariului sunt următoarele:

- Instalare: Scenariul a implicat o rețea de antene cu un număr variabil de senzori (2, 4, 6, 8). Au existat două surse (simularea UAV-urilor) plasate la -20 de grade și, respectiv, 30 de grade. Raportul semnal/zgomot (SNR) pentru semnalele recepționate a fost fixat la 10 dB;
- Generarea semnalului: Pentru fiecare configurație a sensorului, se generează semnale provenite de la cele două surse, adăugând zgomot gaussian la semnalul de la fiecare sensor pentru a asigura un SNR de 10 dB;
- Estimare AoA: Folosind semnalele recepționate la matrice, se calculează estimările AoA, folosind fiecare dintre cei patru algoritmi;
- Calculul erorii de spectru: Odată ce sunt cunoscute unghiurile AoA estimate, se va calcula spectrul estimat pe baza acestor AoA. Pe măsură ce adevăratele AoA ale surselor sunt cunoscute (-20 grade și 30 grade), se poate calcula spectrul real. Eroarea de spectru poate fi apoi calculată ca diferența dintre spectrul estimat și spectrul real pentru fiecare algoritm;
- Analiza rezultatelor: s-au repetat pașii pentru fiecare configurație a sensorului și s-a analizat modul în care eroarea de spectru variază în funcție de numărul de senzori din matrice pentru fiecare algoritm.

Rezultatele măsurătorilor și analiza

MUSIC oferă estimări AoA de înaltă rezoluție și este eficient atunci când numărul de surse este mai mic decât numărul de antene. Cu toate acestea, necesită o putere de calcul ridicată, care ar putea să nu fie fezabilă pentru aplicațiile în timp real. Această limitare poate fi mai pronunțată cu matrice de antene mai mari (de exemplu, 8 antene). Pentru matricele cu doar 2 antene, este posibil ca MUSIC să nu fie cea mai bună alegere dacă există mai mult de două surse.

Root-MUSIC necesită mai puțină putere computațională decât MUSIC. De asemenea, este necesar ca numărul de surse să fie mai mic decât numărul de antene, deci este posibil să nu fie potrivit pentru matrice cu doar 2 antene dacă există mai mult de 2 surse. Pentru matrice de antene mai mari (4, 6 sau 8 antene), Root-MUSIC poate fi o alegere bună dacă sunt necesare estimări de înaltă rezoluție și resursele computaționale nu reprezintă o constrângere majoră.

ESPRIT oferă, de asemenea, estimări de înaltă rezoluție și necesită o putere de calcul mai mică decât în cazul algoritmului MUSIC. Cu toate acestea, necesită o geometrie specifică a matricei (cum ar fi o matrice liniară uniformă cu spațiere la jumătate de lungime de undă) și este posibil să nu fie potrivită pentru matrice cu mai puține antene (cum ar fi 2). Cu 4, 6 sau 8 antene, ESPRIT poate fi o alegere bună, cu condiția ca cerința geometriei matricei să fie îndeplinită.

MVDR/Capon: Aceste metode formează un fascicul îngust în direcția semnalului dorit. Deși pot fi eficiente cu un număr mic de antene, acestea necesită o estimare precisă a matricei covarianței, ceea ce poate fi dificil în medii în schimbare rapidă sau non-staționare. Aceste metode ar putea oferi un echilibru bun între performanță și complexitatea computațională pentru matricele de antene de dimensiuni de la 2 la 8.

În concluzie, deoarece zborul unui UAV este foarte rapid și imprevizibil, algoritmul care trebuie utilizat trebuie să fie foarte rapid în calcul și precis. Pentru aplicații pentru o matrice de dimensiuni mici până la moderate (2 până la 8 antene) unde este necesară o rezoluție înaltă și resursele computaționale nu sunt o constrângere, metode precum MUSIC, Root-MUSIC sau ESPRIT ar putea fi mai potrivite.

Cu toate acestea, metode precum MVDR și Capon ar putea oferi un compromis bun între complexitate și performanță. Alegerea finală depinde de cerințele specifice, cum ar fi compromisurile dorite între acuratețe, complexitate computațională și robustețe, precum și caracteristicile semnalelor și mediul în care algoritmul va fi implementat.

5.2. Expunerea la câmpurile electromagnetice în contextul progresului tehnologic 6G și IoT

În prezentul studiu de caz a fost analizată influența undelor electromagnetice asupra anumitor țesuturi din corpul uman. Pentru analiza câmpurilor electromagnetice a fost utilizat software-ul de simulare „ANSYS”, dezvoltat de ANSYS Inc., un lider important în domeniile inginerie și simulare.

Prin intermediul modulelor dedicate câmpurilor electromagnetice: ANSYS HFSS (High-Frequency Structural Simulator) și ANSYS Maxwell, programul permite inginerilor și cercetătorilor să modeleze și să simuleze comportamentul câmpurilor electromagnetice într-o gamă largă de scenarii.

Cele trei frecvențe alese (2 GHz, 5 GHz și 8 GHz) sunt relevante în studiul interacțiunii dintre undele electromagnetice și țesuturile umane din mai multe motive. Primul motiv este utilizare comună în comunicații fără fir: frecvențele de 2 GHz, 5 GHz și 8 GHz sunt utilizate

frecvent în aplicațiile de comunicații fără fir, cum ar fi rețelele Wi-Fi, rețelele de telefonie mobilă și alte dispozitive wireless.

Pentru cele trei țesuturi, s-au stabilit următoarele cazuri de simulare:

Tabelul 4: Cazurile de simulare a interacțiunii undelor electromagnetice cu țesuturile umane

Țesut	Parametri	Sursa de radiație
Țesut 1	2 GHz	2 GHz
	5 GHz	5 GHz
	8 GHz	8 GHz
Țesut 2	2 GHz	2 GHz
	5 GHz	5 GHz
	8 GHz	8 GHz
Țesut 3	2 GHz	2 GHz
	5 GHz	5 GHz
	8 GHz	8 GHz

Ghidul de undă a fost proiectat cu următoarele dimensiuni:

- 1510 x 300 x 300 mm pentru simularea la 2 GHz;
- 610 x 120 x 120 mm pentru simularea la 5 GHz;
- 385 x 80 x 80 mm pentru simularea la 8 GHz.

Lungimile ghidului de undă au fost selectate astfel încât să asigure condiții de câmp îndepărtat la capătul ghidului de undă (lungime $> 10 \lambda$, condiție îndeplinită pentru frecvențele selectate: 2 GHz, 5 GHz și 8 GHz). Acest obiect a fost denumit „ghid de undă”. În interiorul ghidului de undă, a fost introdusă o suprafață cu grosimea de 3 mm. Această suprafață, adică obiectul, a fost numită „eșantion”. Cazurile de referință la 2, 5 și 8 GHz sunt considerate cele în care proba are parametrii aerului. O diagramă a structurilor geometrice ale ghidului de undă și ale eșantionului este prezentată în figura 16.

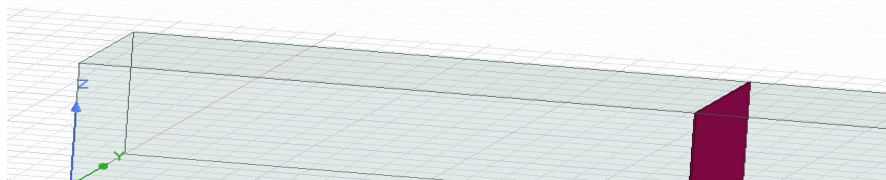


Figura 11: Diagramă a structurilor geometrice ale ghidului de undă

Eșantionul este plasat la o distanță de 1000 mm de portul de intrare și la 507 mm de portul de ieșire/măsurare, pentru cazul 1 (2 GHz).

Pentru a avea rezultate cât mai precise și pentru a face o analiză cât mai precisă, tabelul de mai jos a fost completat cu parametrii de conductivitate și permeabilitate a celor trei țesuturi alese:

Tabelul 5: Permitivitatea și conductivitatea relativă a trei tipuri de țesuturi la anumite frecvențe

Țesut	Parametru	f = 2 GHz	f = 5 GHz	f = 8 GHz
1. Piele (uscată)	ϵ_r	38.6	35.8	33.2
	σ [S/m]	1.27	3.06	5.82
2. Sânge	ϵ_r	59.0	54.0	48.6
	σ [S/m]	2.19	5.4	9.87
3. Creier (Cerebel)	ϵ_r	45.7	41.1	37.1
	σ [S/m]	1.82	4.19	7.42

Se observă că permitivitatea electrică scade odată cu creșterea frecvenței, în timp ce conductivitatea crește odată cu creșterea frecvenței. Prin urmare, la toate frecvențele selectate, cea mai mare permitivitate și conductivitate electrică este cea a sângelui. În scopul simulării, se va presupune că toate țesuturile prezintă o permeabilitate magnetică relativă $\mu_r=1$, deși sângele conține fier. Conținutul de fier al sângelui se reflectă, de asemenea, în principalii parametri menționați în tabelul 13. Parametrii prezentați mai sus au fost utilizați pentru simularea propagării câmpurilor electromagnetice prin tipurile de țesuturi selectate.

Se pornește de la ipoteza că țesuturile umane au un impact asupra propagării undelor electromagnetice. Pentru a evalua acest impact, se ia în considerare un ghid de undă. La un capăt, se consideră o sursă de unde electromagnetice, iar la celălalt capăt s-a măsurat intensitatea câmpului electric prin intermediul unei suprafețe. Ca referință, ghidul de undă este umplut cu aer. Între sursă și suprafața de observare s-a introdus o suprafață cu o grosime de 3 mm, iar atenuarea introdusă de aceasta va fi evaluată ulterior. Evaluarea poate fi efectuată în mai multe moduri, dar ca și criteriu de comparație se va alege intensitatea maximă a câmpului electric (E [V/m]).

Versiunea de ghid de undă descrisă anterior va permite doar compararea rezultatelor între diferitele țesuturi la aceeași frecvență, în timp ce compararea între frecvențe se va realiza doar cu valorile referitoare la proba de aer. Sursa de unde electromagnetice are o putere de 1 watt (valoare implicită în HFSS). Tipul de soluție selectat a fost modal, cu un singur mod. După rularea simulării, intensitatea câmpului electric prin portul de ieșire a fost generată într-un plan 2D, iar valoarea maximă a fost reținută pentru fiecare caz de simulare. În figura 18, este reprezentată intensitatea câmpului electric prin portul de ieșire. Intensitatea maximă a câmpului pentru cazul 1 (eșantionul este aer, la frecvența de 2 GHz) este de 140,551 A/m (prezentă la un unghi de fază de aproximativ 90°). Acesta nu este singurul unghi la care se atinge amplitudinea maximă, ci doar una dintre reprezentările selectate pentru caracterizarea intensității câmpului. Introducerea diverselor materiale ca eșantion în locul aerului are un impact atât asupra intensității maxime a câmpului, cât și asupra fazei la care aceasta apare. Pentru a stabili faza la care este prezentă intensitatea mare a câmpului la portul de măsurare, apariția intensității maxime a câmpului a fost investigată cu ajutorul

funcţiei FIELD OVERLAYS/ANIMATE. „Animaţia” a fost realizată între 0° și 359° cu 36 de pași pentru că acest lucru are un ușor impact asupra preciziei amplitudinii maxime calculate.

Discuții și interpretarea rezultatelor:

La toate frecvențele selectate, sângele a fost proba care a avut cea mai mare atenuare a intensității câmpului electric. Deoarece planul de măsurare a fost situat la cel puțin 10 lungimi de undă de sursă, aceasta poate fi considerată o măsurare în câmp îndepărtat, iar câmpul magnetic este cuplat cu câmpul electric. Prin urmare, acest rezultat este valabil pentru undele electromagnetice. Țesutul cerebral a atenuat câmpurile electromagnetice mai mult decât țesutul cutanat la toate frecvențele. Factorii de atenuare au fost semnificativi.

5.3. Aspecte privind digitalizarea post-covid a învățământului superior militar

Studiul de caz prezintă introducerea realității augmentate (AR) în managementul învățământului superior militar la nivel universitar. Acesta a fost unul dintre obiectivele și rezultatele proiectului intitulat Implementarea digitalizării în învățământul superior de apărare (DDHE). Demersul a fost realizat ca o inițiativă de colaborare cunoscută sub numele de proiectul „Parteneriate pentru pregătirea educației digitale”, implicând patru universități militare din Europa.

Au fost formulate următoarele întrebări de cercetare:

- Introducerea AR în managementul educațional va avea rezultate pozitive cuantificabile?
- Sunt profesorii receptivi la adoptarea unor abordări instructive noi, în special a celor care facilitează aplicații practice care leagă conceptele teoretice cu contextele din lumea reală?
- Utilizarea AR poate fi extinsă la toate disciplinele predate?

Pentru realizarea acestei cercetări, au fost administrate anual chestionare studenților Academiei Forțelor Aeriene „Henri Coandă” din Braşov în perioada 2019–2023, cuprinzând pandemia și perioada post-COVID-19. Scopul a constituit evaluarea perspectivelor studenților cu privire la competențele lor digitale, accesul la resursele digitale disponibile și evoluția interesului lor pentru disciplinele în care au fost integrate instrumentele educaționale AR.

Un set suplimentar de chestionare a fost aplicat anual, acoperind același interval de timp, angajatorilor inițiali ai absolvenților Academiei. Acestea au urmărit să evalueze nivelurile de satisfacție ale angajatorilor în ceea ce privește competențele digitale ale absolvenților, amploarea pregătirii lor practice și gradul perceput de creativitate și adaptabilitate a tinerilor ofițeri față de tehnici și tehnologii noi.

Chestionarul de satisfacție a studenților a fost elaborat pe două dimensiuni: satisfacție și importanță. Acesta a conținut 30 de itemi grupați în două categorii: acces la resurse educaționale și competențe digitale. Pentru a evalua satisfacția generală a studenților cu aceste dimensiuni, chestionarul a inclus, de asemenea, o secțiune de recomandări și sugestii.

Itemii au fost evaluați pe o scală LIKERT cu 5 puncte, atât din punct de vedere al satisfacției, cât și din punct de vedere al importanței fiecărui aspect pentru student, unde 1 înseamnă deloc satisfăcător/neimportant, iar 5 înseamnă foarte satisfăcător/foarte important.

Chestionarul adresat angajatorilor a fost dezvoltat pe o singură dimensiune – satisfacție și a conținut 30 de itemi grupați în două categorii: abilitați practice și creativitate/adaptabilitate și a inclus la final, o secțiune de recomandări și sugestii.

Rezultatele obținute au arătat îmbunătățiri semnificative la disciplinele la care au fost utilizate metode educaționale AR. Studenții au manifestat mai mult interes pentru materiile la care a fost introdusă tehnologia AR (ochelari cu realitate mixtă „Microsoft HoloLens 2” și aplicații specifice). Media rezultatelor obținute de studenții din lotul analizat a crescut de la 7,25 în anul universitar 2019-2020 (fără introducerea resurselor AR) la 7,35 în anul universitar 2020-2021, maximul atins fiind de 7,56, în perioada 2022-2023. Rata de promovabilitate a crescut în perioada analizată: în anul universitar 2019-2020, au existat 8 restanțe, numărul acestora scăzând la 2, în perioada 2022-2023.

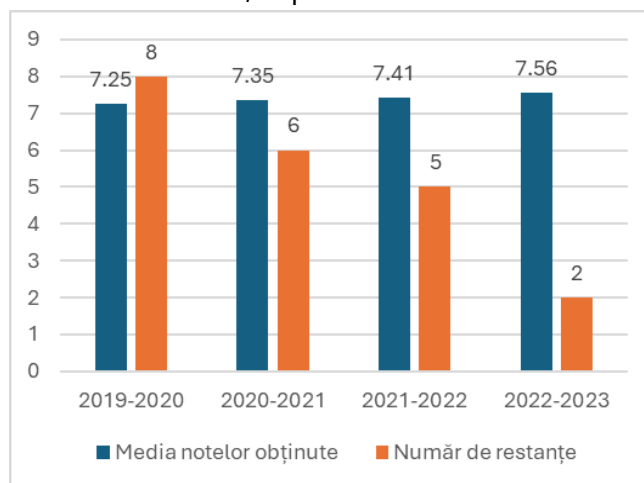


Figura 12: Rezultatele introducerii AR în procesul educațional

Lucrările de licență, în special cele cu componentă practică, care au inclus AR, au obținut note mai bune în comparație cu lucrările fără elemente de AR.

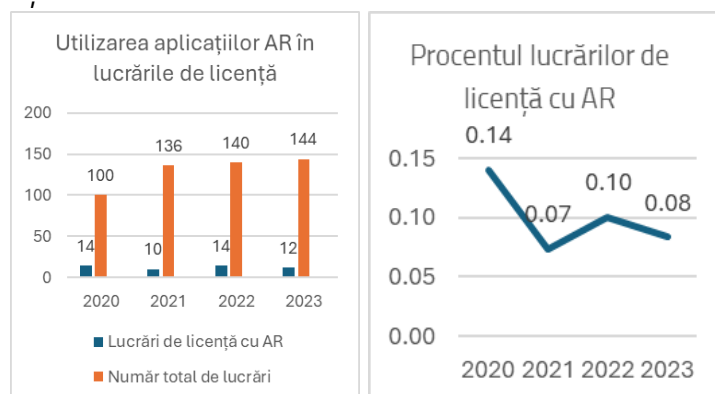


Figura 13: Utilizarea aplicațiilor AR în lucrările de licență

După cum se arată în Figura 20, interesul pentru noua tehnologie a fost mai mare în primul an de implementare (2020), cu 14 lucrări de licență dintr-un total de 100 (14%) folosind

aplicații AR, notele obținute fiind maxime. În anii următori, interesul pentru tehnologiile AR a scăzut și mai mult, procentul lucrărilor cu aplicații AR fiind între 7% și 10%.

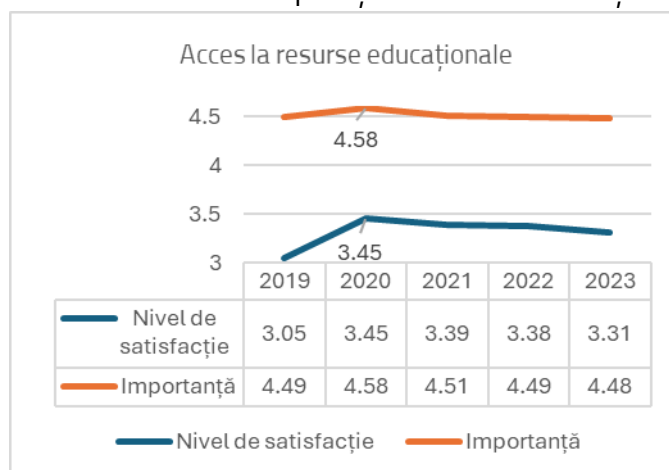


Figura 14: Accesul la resurse educaționale

Studentii au remarcat îmbunătățirea competențelor digitale și accesul mai ușor la resurse odată cu implementarea AR. Percepția acestora cu privire la accesul la resursele educaționale a atins punctul maxim în anul 2020, odată cu introducerea noilor tehnologii și a rămas la niveluri ridicate și în perioadele următoare. Scorurile obținute, 4,58 la nivelul de satisfacție și 3,45 la nivelul importanței, dintr-un maxim de 5, confirmă pe deplin acest lucru.

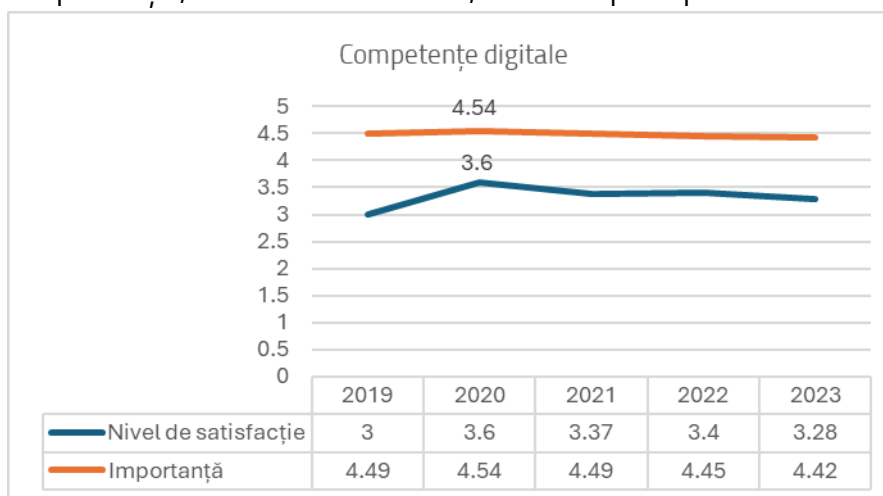


Figura 15: Percepția asupra competențelor digitale dobândite

Pe de altă parte, percepția asupra competențelor digitale dobândite a înregistrat nivelul maxim în 2020, cu scoruri similare: 4,54 la nivelul de satisfacție și 3,6 la nivelul importanței, dintr-un maxim de 5. Angajatorii au apreciat, de asemenea, abilitățile practice îmbunătățite ale absolvenților și competențele digitale datorită integrării AR, remarcând creșterea creativității și adaptabilității în rândul tinerilor ofițeri.

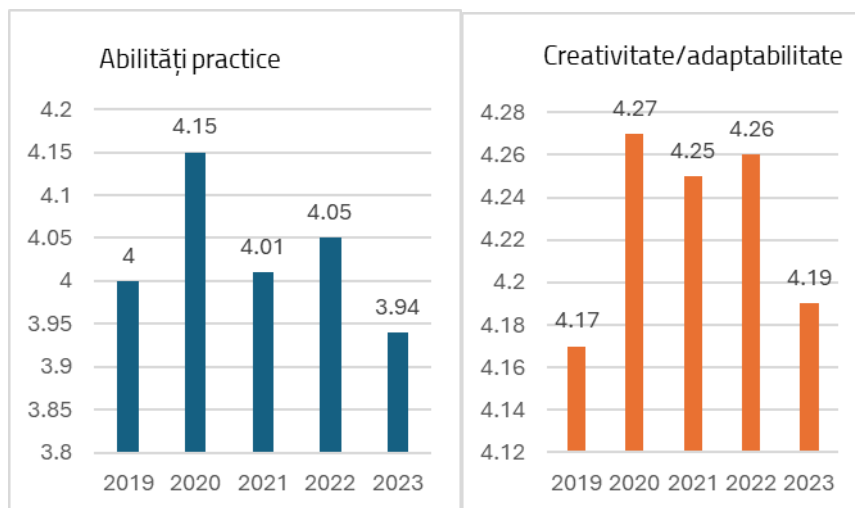


Figura 16: Percepția angajatorilor asupra competențelor digitale, creativității și adaptabilității la noile tehnologii

Percepția angajatorilor asupra competențelor digitale și a creativității și adaptabilității absolvenților la noile tehnici și tehnologii a atins punctul culminant în 2020, odată cu introducerea noilor tehnologii, și a rămas la niveluri ridicate și în perioadele următoare. Scorurile obținute: 4,15 la nivelul competențelor digitale ale noilor angajați și 4,27 la nivelul creativității și adaptabilității la noile tehnici și tehnologii, dintr-un maxim de 5, confirmă acest lucru.

În concluzie, se poate considera că introducerea resurselor AR în procesul educațional a adus beneficii măsurabile atât cadrelor didactice, cât și studenților și absolvenților instituției de învățământ. Procesul de digitalizare a învățământului superior militar este în curs de desfășurare, iar rezultatele cuantificabile sunt încă în curs de identificare.

6 CONCLUZII, CONTRIBUȚII, DIRECȚII VIITOARE, IMPLICAȚII MANAGERIALE

6.1 Concluzii

Războiul electronic implică utilizarea energiei electromagnetice în cadrul acțiunilor militare, având ca scop detectarea, analiza, restricționarea sau prevenirea utilizării ostile a spectrului electromagnetic, dar și facilitarea utilizării acestuia în beneficiul propriu.

Supravegherea electronică, componentă esențială a războiului electronic, presupune acțiuni întreprinse pentru a cerceta și intercepta semnalele electromagnetice emise de adversar, cu scopul de a le localiza și recunoaște rapid, în vederea identificării amenințărilor și utilizării eficiente a acestor informații în folosul propriilor forțe.

În teza de doctorat intitulată „**Tehnici și tehnologii de protecție la bruiaj și atacuri cibernetice în managementul sistemelor de supraveghere electronică**” s-au aplicat cunoștințele și experiența acumulată în mediul operațional și a fost identificată o serie de posibile contribuții originale în domeniul managementului sistemelor de supraveghere electronică.

În contextul actual, marcat de actualul război de la graniță, importanța războiului electronic a devenit crucială. Sunt necesare modernizări, reorganizări și adaptări urgente în domeniu la noile condiții. Progresul rapid al tehnologiei și schimbările din mediul geopolitic a schimbat radical tipologia noilor scenarii de amenințare la adresa securității și siguranței naționale. Informațiile obținute cu ajutorul sistemelor de SE moderne pot constitui un avantaj strategic pentru forțele proprii iar lipsa acestora conduce la un eșec sigur într-un conflict armat actual. În introducerea tezei, cuprinsă în primul capitol, s-a argumentat modalitatea de abordare a subiectului în contextul contemporan, s-au stabilit limitele tematice și domeniile acoperite de proiectul de cercetare, s-a evidențiat relevanța și actualitatea subiectului și s-a prezentat contextul științific actual. În final, a fost stabilită metodologia de cercetare și structura arhitecturii tezei în ansamblu.

În capitolul 2, intitulat „Cercetări asupra mediului operațional și a stadiului actual al cunoașterii în domeniul studiat”, s-a investigat evoluția managementului sistemelor de război electronic, a fost analizat mediul operațional prin intermediul unui chestionar adresat personalului de specialitate și s-a efectuat stadiul actual al cunoașterii în domeniu. De asemenea, s-a analizat managementul resurselor de război electronic și capacitățile dinamice. Procesul de brainstorming a fost utilizat pentru generarea de idei și soluții inovatoare iar datele din surse deschise au fost analizate pentru a completa și a valida informațiile obținute. În discuțiile privind concepția utilizării, planificarea și cercetarea sistemelor de supraveghere electronică s-au explorat diverse strategii și abordări și în final s-a realizat o analiză critică a stadiului actual al cercetării pentru a identifica lacunele și oportunitățile de dezvoltare.

În capitolul 3, dedicat arhitecturii sistemelor de război electronic și metodelor de gestionare a acestora, subiectele abordate au inclus: contextul actual geopolitic și tehnologic, împreună cu noile paradigme, scalabilitatea și modularitatea sub-sistemelor din arhitecturile de

supraveghere electronică și integrarea, instalarea, evoluția și dezafectarea sistemelor de supraveghere electronică. Au fost identificate ulterior noi tehnici și tehnologii emergente de apărare electronică și modalități de integrare a teoriei jocurilor în managementul sistemelor de supraveghere electronică. În final, a fost abordat subiectul managementului riscului și rezilienței în sistemele de SE.

Următorul capitol intitulat „Managementul performanței sistemelor de supraveghere electronică” explorează obiectivele și descrierea problemelor în această sferă, strategiile de gestionare a vulnerabilității sistemelor de război electronic și proprietățile emergente specifice acestora. De asemenea, se analizează elementele de ingineria fiabilității aplicabile în managementul sistemelor de SE, integrarea principiilor ESG și AI în acest domeniu, precum și influența AI în procesele decizionale, în cadrul conceptului de război electronic cognitiv.

În capitolul 5, dedicat studiilor de caz, s-au investigat diverse aspecte, precum analiza performanței algoritmilor AoA în sistemele Counter-UAV, expunerea la câmpurile electromagnetice în contextul avansului tehnologic 6G și IoT, și implicațiile digitalizării în învățământul superior militar în era post-COVID.

6.2 Contribuții personale

C2.1 Prima contribuție constă în rezultatele chestionarului aplicat specialiștilor de război electronic din mediul operațional. Acestea sunt prezentate detaliat în secțiunea 2.3. Circa 97% dintre respondenți nu au mai participat anterior la proiecte similare cu problematica abordată în lucrare. Repartiția pe prima funcție a fost considerată adecvată de aproximativ 40% dintre respondenți, în timp ce 26% au considerat că nu s-a făcut în mod corespunzător. Doar 28% dintre cei chestionați se simt capabili să identifice prezența bruiajului radio în sistemele de supraveghere electronică, iar 17% au considerat că pot face acest lucru într-o măsură mai mică. De asemenea, aproximativ 76% dintre respondenți se consideră specialiști în domeniul războiului electronic. Există diferențe de opinie în rândul respondenților cu privire la posibilitatea înlocuirii factorului uman în operațiile sistemelor de supraveghere electronică. Majoritatea, cu 78 de voturi, susțin că factorul uman ar putea fi înlocuit într-o anumită măsură, în timp ce 103 persoane indică rezerve sau limitări în acest sens. În plus, 42 de respondenți consideră că factorul uman nu poate fi deloc înlocuit, reflectând preocupările legate de capacitatea tehnologiei de a lua decizii complexe și de a interpreta contextul în locul omului. În ceea ce privește implementarea tehnologiilor inovative, doar 31,58% dintre respondenți consideră că tehnologia AR poate contribui la instruirea operatorilor sistemelor de supraveghere electronică, în timp ce 17% resping complet această posibilitate.

C2.2 Cea de a doua contribuție, se referă la rezultatele analizei critice a stadiului actual al cercetării. Pentru acesta, s-a aplicat metodologia PRISMA 2020 pentru a efectua o analiză sistematică a literaturii de specialitate, folosind elementele de raportare preferate pentru revizuri sistematice și meta-analize. Au fost identificate articole relevante din domeniul războiului electronic în baze de date științifice precum IEEE Xplore, ACM Digital Library,

ScienceDirect, SAGE Journals Online și Springer Link. Concluziile se referă la faptul că rolul războiului electronic devine determinant, în special pentru forțele aeriene, impunând utilizarea extinsă a sistemelor de supraveghere și atac electronic de vârf, a contramăsurilor electronice avansate și a tehnologiilor precum avioanele de cercetare și luptă fără pilot.

C3.1 A treia contribuție se referă la identificarea unor tehnici, modele și metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic, modele preluate din alte domenii de activitate dar care au putut fi adaptate specificului tezei: modelul siguranței aeronautice, metoda Monte Carlo, Metoda lanțurilor Markov, metoda detecției și Metoda estimării probabilității de lovire.

C4.1 A patra contribuție explorează războiul electronic cognitiv și influența inteligenței artificiale în procesele decizionale, abordând provocările utilizării AI pentru cunoașterea situației și luarea deciziilor în acțiunile de atac electronic, precum și cerințele utilizatorului sistemului EW cognitiv și proiectarea sistemelor cognitive EW.

C5.1 Studiul de caz care prezintă o sinteză și o analiză a performanței celor mai importanți algoritmi de estimare a direcției radio (Direction of Arrival - DoA) constituie **cea de a cincea contribuție** originală. Estimarea DoA este definită ca procesul de determinare a unghiului de incidență radio în raport cu o serie de antene ale căror elemente sunt bine sincronizate și localizate. Acest studiu abordează performanța a patru astfel de algoritmi (MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT și CAPON). Acești algoritmi au fost analizați pe baza variațiilor erorilor de spectru. Termenul „eroare” se referă la diferența sau discrepanța dintre valorile AoA estimate obținute din algoritmi și valorile AoA reale. În acest caz, eroarea reprezintă cât de precis algoritmi pot determina unghiurile reale de sosire. Alegerea finală a unui algoritm de estimare a direcției radio depinde de cerințele specifice, cum ar fi compromisurile dorite între acuratețe, complexitate computațională și robustețe, precum și caracteristicile semnalelor și mediul în care algoritmul va fi implementat.

C3.2 A șasea contribuție se referă la resursa umană. Au fost analizate o serie de blocaje cognitive întâlnite și în managementul sistemelor de supraveghere electronică, au fost descrise cauzele care generează aceste situații nedorite și, în final, au fost prezentate posibile soluții pentru fiecare bias în parte.

C5.2 Următoarea contribuție (a șaptea) constă în rezultatele chestionarului aplicat studenților și primilor angajatori din mediul operațional.

6.3 Justificarea caracterului de originalitate

Elementul central al tezei constă în cele două studii de caz bazate pe rezultatele chestionarului aplicat studenților și primilor angajatori din mediul operațional și chestionarului aplicat specialiștilor de război electronic din mediul operațional și cel de-al treilea studiu de caz care prezintă o sinteză și o analiză a performanței celor mai importanți algoritmi de estimare a direcției radio.

De exemplu, conform răspunsurilor primite, circa 76% se consideră specialiști în domeniul război electronic (123 din 247 de respondenți- în mare măsură și 66 din 247 – într-o anumită măsură), un procent relativ mare.

6.4 Temele și direcțiile viitoare de cercetare

O posibilă direcție viitoare de cercetare ar putea consta în dezvoltarea și aplicarea periodică a chestionarelor pentru a conecta decidenții militari la realitățile pragmatice din zona operațională specifică domeniului război electronic.

O altă direcție viitoare de cercetare ar putea viza evaluarea impactului implementării unei metode de învățare automată în cadrul unui sistem propriu de supraveghere electronică.

În domeniul combaterii UAV/UCAV, o direcție nouă de cercetare ar putea presupune identificarea unor noi algoritmi de determinare AoA (Angle of Arrival) care să elimine compromisurile privind acuratețea, complexitatea computațională și robustețea sistemelor utilizate.

6.5 Fructificarea rezultatelor cercetării

Diseminarea rezultatelor s-a concretizat prin participarea în cadrul mai multor proiecte de cercetare internaționale și prin publicarea mai multor articole la conferințe naționale și internaționale. Au fost publicate 8 articole BDI și a două articole ISI Proceedings la conferința EDULEARN 2024, din tematica domeniului de cercetare. Acestea au fost detaliate pe larg, în secțiunea „LISTA LUCRĂRILOR PUBLICATE”.

6.6 Metodologia cercetării și dezvoltarea arhitecturii tezei

În realizarea lucrării s-au folosit tehnici și metode convenționale specifice domeniului ales dar și modele inovative, care să suplinească lipsa unor date sau elemente aflate la confluența dintre tehnologie și resursa umană. Studiile propuse prezintă relevanță științifică printr-o abordare detaliată a unor concepte specifice domeniului război electronic, precum: analiza performanței algoritmilor AoA utilizați în sistemele Counter-UAV, efectele expunerii la câmpurile electromagnetice în contextul progresului tehnologic 6G și IoT și rezultatele digitalizării post-covid în învățământul superior militar.

Caracterul de noutate a temei de cercetare rezultă prin identificarea unor modele și metode inovative de apărare electronică a sistemelor moderne de război electronic. În ceea ce privește resursa umană, au fost analizate o serie de blocaje cognitive întâlnite și în managementul sistemelor de supraveghere electronică, au fost descrise cauzele care generează aceste situații nedorite și, în final, au fost prezentate posibile soluții pentru fiecare bias în parte.

Tratarea obiectivelor în maniera descrisă conferă tezei originalitate și caracter inovativ, reușind să suscite interesul specialiștilor de război electronic și cercetătorilor din domeniu.

Pentru realizarea studiului temei de cercetare am aplicat o metodologie utilizată pe scară largă pentru a efectua o analiză sistematică a literaturii de specialitate pe baza elementelor de raportare preferate pentru revizuirii sistematice și meta-analize (PRISMA 2020).

Informațiile obținute din studiile de caz, analiza chestionarelor și studiul literaturii de specialitate au fost prezentate într-un mod accesibil și clar. Aceste rezultate pot constitui un punct de plecare pentru cercetări viitoare, metodele propuse fiind scalabile. Literatura de specialitate, informațiile transparente din surse deschise și interesele și nevoile fundamentale din mediul operațional au fost analizate în profunzime și au format baza studiilor și contribuțiilor personale.

În lucrarea de cercetare, am valorificat experiența mea practică dobândită în teritoriu, utilizând metode din inginerie și management, precum și tehnici statistice. Teza este structurată în șase capitole și anexe corespunzătoare, menite să ofere o explicație mai detaliată a ideilor prezentate. Abordarea utilizată face ca teza să fie atât interdisciplinară, cât și multidisciplinară, cu obiective ancorate în specificitatea gestionării sistemelor de supraveghere electronică din dotarea Armatei României.

Implicarea multidisciplinară în proiecte științifice pe parcursul programului doctoral

Proiecte naționale

Sunt implicat activ în proiectul „PNRR DIGIMIL AFA”. În perioada 19 septembrie 2022 – 31 decembrie 2025, în Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” se derulează Proiectul cod 1357725267 cu titlul „DIGIMIL AFAHC (DIGItalizarea Integrată a universității MILitare Academia Forțelor Aeriene Henri Coandă), în valoare de 12.549.073,00 lei, finanțat prin Ministerul Educației în calitate de coordonator de reforme și investiții în cadrul apelului Granturi pentru digitalizarea universităților din Componenta 15 – Educație a Planului Național de Redresare și Reziliență a României (PNRR), Reforma 5: Adoptarea cadrului legislativ pentru digitalizarea educației, Investiția 16: Digitalizarea universităților și pregătirea acestora pentru profesiile digitale ale viitorului. Proiectul a fost aprobat prin Ordinul ministrului educației nr.4168/30.06.2022 privind aprobarea Listei universităților selectate pentru finanțare în cadrul apelului de proiecte „Granturi pentru digitalizarea universităților”

Un alt proiect la care particip se intitulează „Modul Mobil de Asigurare Autonomie Energetică din Surse Sustenabile – MMAAESS”, din cadrul PSCD (Planul sectorial de cercetare-dezvoltare) și se desfășoară în perioada 2024-2026.

De asemenea, fac parte din echipa unui proiect ce coordonează, dezvoltă și implementează UAV/UCAV cu destinație specială, senzori FLIR și GPS, beneficiarii fiind structuri din sistemul național de apărare.

Proiecte internaționale

Participarea activă în cadrul proiectului Erasmus+ DDHE (Implementation of Digitalization in Defence Higher Education)

Prin intermediul acțiunii KA2 a programului Erasmus+, au fost dezvoltate module de studiu comune pentru uniformizarea curriculei în programele specializate din sistemul de apărare,

inclusiv mobilități și stagii de practică pentru studenți și personalul didactic. Aceste module, create înainte de pandemie, aveau rol complementar învățământului față-în-față (F2F). Însă, o cercetare atentă a evidențiat că principalele dezavantaje ale acestor module constau în metodele de predare/învățare neadaptate contextului pandemic. Astfel, Academia Forțelor Aeriene „Henri Coandă” (AFAHC), împreună cu partenerii săi, a propus o soluție pentru a elimina, cel puțin parțial, formatul clasic al materialelor didactice.

Pentru a atinge scopul proiectului de a crește nivelul de pregătire a studenților prin actualizarea metodelor de predare/învățare la contextul actual și în urma analizei de nevoi din academiile partenere, au fost stabilite următoarele obiective:

- Îmbunătățirea competențelor digitale ale cadrelor didactice din universitățile partenere;
- Creșterea implicării și atractivității procesului de cercetare pentru studenți;
- Introducerea de resurse educaționale digitale;
- Implementarea și integrarea sistemelor VR și AR în procesul de predare/învățare în toate universitățile partenere;
- Crearea unei baze de date care să conțină toate materialele proiectului.

Pe parcursul proiectului, colegii (profesori și studenți) din organizațiile europene au fost implicați în principal în procesul de diseminare, în diferite etape, pentru a obține un impact ridicat la nivel internațional și o rată mare de transferabilitate a rezultatelor proiectului.

O dezvoltare corectă și de succes a proiectului include etapele de proiectare, implementare, evaluare și diseminare. În conformitate cu obiectivele proiectului și ținând cont de categoriile de grupuri țintă, au fost planificate următoarele activități:

- Crearea de resurse educaționale digitale pentru 12 discipline, atât tehnice, cât și umaniste;
- Proiectarea și dezvoltarea de aplicații VR/AR pentru disciplinele selectate, în funcție de profilul și specificul acestora, fiind deosebit de utile pentru disciplinele tehnice care includ lecții practice;
- Introducerea tuturor resurselor educaționale într-o bibliotecă digitală cu acces liber, disponibilă universităților din cadrul proiectului și partenerilor acestora, pe viitor.

Contribuții personale în proiectele științifice

În cadrul proiectului DDHE, am dezvoltat conținut digital pentru disciplina „Radar Fundamentals”, incluzând evaluarea progresului și elemente interactive create cu programul software „eXe_Learning”. Aceste materiale constau în 10 cursuri și 7 aplicații, care au fost puse la dispoziția studenților din instituțiile participante.

În cadrul Schemei de granturi „Digitalizarea universităților și pregătirea acestora pentru profesiile digitale ale viitorului”, finanțată prin Planul Național pentru Redresare și Reziliență, am proiectat arhitectura unui laborator de radiolocație și război electronic, echipat cu aparatură modernă, console „Chrome Book”, software dedicat RF și un display interactiv de mari dimensiuni.



În cadrul proiectului „**Modul Mobil de Asigurare Autonomie Energetică din Surse Sustenabile – MMAAESS**”, din cadrul PSCD (Planul sectorial de cercetare-dezvoltare) aflat în desfășurare, particip la etapa de achiziții de echipamente.