



ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea: Inginerie Tehnologică și Management Industrial

Drd. Adrian Gheorghe MURARU

PROIECTAREA ARHITECTURILOR INTELIGENTE DE  
ASISTARE A DECIZIILOR ÎN MANAGEMENTUL TRAFICULUI  
AERIAN INTEGRAT

DESIGN OF INTELLIGENT ARCHITECTURES FOR DECISION  
ASSITANCE IN THE INTEGRATED AIR TRAFFIC  
MANAGEMENT

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof. Dr. Ing. Dr. Ec. Mircea BOȘCOIANU

BRAȘOV, 2018



D-lui (D-nei)

.....

## COMPONENȚA

### Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr.                      din

PREȘEDINTE:                      Prof. Dr. Ing. Gheorghe OANCEA

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:      Prof. Dr. Ing. Dr. Ec. Mircea BOȘCOIANU

REFERENȚI:                      Prof. Dr. Ing. Ec. Laura BACALI

CS I Dr. Ing. Mat. Cătălin NAE

Prof. Dr. Ing Lucian-Ionel CIOCA

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:                      , ora                      ,  
sala                      .

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa [adrian.muraru@unitbv.ro](mailto:adrian.muraru@unitbv.ro)

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

## CUPRINS (lb. română)

	Pg. teza	Pg. rezumat
LISTA DE ABREVIERI.....	5	-
INTRODUCERE.....	7	5
1. CAPITOLUL 1 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL ARHITECTURILOR MANAGEMENTUL TRAFICULUI AERIAN (MTA) .....	11	8
1.1 PLANURILE SESAR DE MODIFICARE A ARHITECTURII MTA.....	14	8
1.1.1 Obiectivele operaţionale ale SESAR.....	14	8
1.1.2 Etapele de implementare ale pachetelor şi serviciilor.....	15	9
1.1.3 Blocurile Funcţionale de Spaţiu Aerian (FAB).....	17	9
1.1.4 Contribuţii pentru SESAR 2020.....	20	10
1.2 NOUA GENERAŢIE AL SISTEMULUI DE TRANSPORT AERIAN.....	22	11
1.3 STUDIU DE CAZ: ÎNTÂRZIERILE ZBORURILOR EUROCONTROL.....	25	11
1.4 STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU.....	31	12
1.4.1 Posibile soluţii pentru îmbunătăţirea MTA.....	31	12
1.4.2 Îmbunătăţirea traficului din zona terminală.....	42	13
1.4.3 Componenta umană în MTA.....	42	13
1.4.4 Securitatea zborului.....	45	13
1.4.5 Performanţa sistemului MTA actual.....	47	14
2. CAPITOLUL 2 COMPETITIVITATE ŞI COOPERARE ANALIZA COMPARATIVĂ A STRATEGIILOR DE COLABORARE ŞI DE PARTENERIAT CU AJUTORUL SISTEMELOR MULTI-AGENT .....	53	15
2.1 DEFINIREA ŞI FORMULAREA PROBLEMELOR SISTEMELOR MULTI- AGENT.....	54	15
2.1.1 Agenţi inteligenţi .....	54	15
2.1.2 Funcţionarea unui sistem multi-agent .....	56	16
2.1.3 Crearea modelelor multi-agent .....	57	16
2.2 CERINŢELE DE PROIECTARE A SISTEMELOR MULTI-AGENT.....	58	16
2.2.1 Instrumente şi aplicaţii existente .....	59	17
2.2.2 Proiectarea mediului sistemelor multi-agent .....	59	17
2.2.3 Crearea aplicaţiilor multi-agent .....	61	17
2.2.4 Proiectarea comportamentelor .....	61	18
2.2.5 Extragerea datelor (Data Mining) pentru a crea modele de decizie .....	61	18
2.2.6 Încorporarea datelor noi în agenţii.....	62	18

2.3 LIMITĂRILE SISTEMELOR MULTI-AGENT .....	63	18
2.3.1 Criteriile proiectării sistemelor multi-agent .....	63	18
2.3.2 Sincronizarea în cadrul sistemelor multi-agent .....	64	19
2.3.3 Ordinea organizațională .....	64	19
2.3.4 Modelul sincronizarea și organizare .....	64	19
2.3.5 Alocarea sarcinilor .....	64	19
2.4 DEFINIREA ȘI FORMULAREA PROBLEMELOR SISTEMELOR MULTI-AGENT .....	64	19
2.4.1 Simulate de zbor aplicate agenților bazați pe UAV-URI autonome .....	64	20
2.4.2 Sisteme multi-agent proiectate pentru aplicații aerospațiale .....	68	20
3. CAPITOLUL 3 MODELAREA ȘI SIMULAREA PROBLEMELOR DE MANAGEMENTUL TRAFICULUI AERIAN (TRAFIC FLOW MANAGEMENT PROBLEM) .....	69	21
3.1 ANALIZAREA SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL TRAFICULUI AERIAN FOLOSIND MODELAREA BAZATĂ PE AGENT .....	69	21
3.1.1 Simulări bazate pe agent .....	69	21
3.1.2 Proiectarea MTA bazate pe agent .....	70	21
3.1.3 Crearea simulărilor bazate pe agent a MTA .....	71	22
3.2 CONCEPȚIA UNUI SISTEM MULTI-AGENT PROPRIU CARE AR PUTEA FI IMPLEMENTAT DE SESAR ȘI NEXTGEN .....	76	22
3.2.1 Agent Aeroport Plecări .....	77	22
3.2.2 Agent Aeroport Sosiri .....	78	23
3.2.3 Agent Aeroport Zone de așteptare .....	79	-
3.2.4 Agent Aeronava .....	80	23
3.2.5 Agent Curenți jet .....	83	-
3.2.6 Agent Vreme .....	83	-
3.2.7 Agent Restricții .....	83	24
3.2.8 Agent Aeronava în pericol .....	84	-
3.2.9 Agent Poliție aeriană .....	85	-
3.2.10 Agent Deconflicțări IFR .....	86	25
3.3 PROIECTAREA AGENȚILOR ÎN NETLOGO .....	90	25
3.3.1 Proiectarea agentului zone restricționate .....	90	26
3.3.2 Proiectarea agentului aeroport .....	91	26
3.3.3 Proiectarea agentului deconflicțări IFR .....	92	28
3.3.4 Proiectarea proiectul integrat .....	94	29



3.4 ANALIZA ŞI INTERPRETAREA REZULTATELOR CERCETĂRII .....	95	30
3.4.1 Simulare a 81 de cazuri .....	96	-
3.4.2 Simulare a 162 de cazuri .....	103	-
3.4.3 Simulare a 540 de cazuri .....	123	32
4. CAPITOLUL 4 IMPLICAȚII MANAGERIALE ÎN ADOPTAREA PROECTELOR NOI ÎN DOMENIUL MTA .....	133	41
4.1 EVALUAREA AMENINȚĂRILOR ŞI ERORILOR .....	133	41
4.1.1 Introducere .....	133	41
4.1.2 Cadrul de gestionare a amenințărilor și a erorilor .....	133	41
4.1.3 Componentele cadrului MAE .....	134	41
4.1.4 Amenințări în CTA .....	137	42
4.1.5 Erori în controlul traficului aerian .....	140	43
4.1.6 Situații nedorite în controlul traficului aerian .....	141	43
4.1.7 Concluzii .....	142	43
4.2 FUNDAMENTAREA PROCESULUI DECIZIONAL ÎN MEDII CARACTERIZATE PRIN INCERTITUDINEA ŞI VOLATILITATEA CU AJUTORUL PARADIGMELOR DIN OPȚIUNILE REALE .....	143	44
4.2.1 Introducere .....	143	44
4.2.2 Tipuri de opțiuni reale .....	144	44
4.2.3 Evaluare opțiunilor reale .....	145	44
4.2.4 Evaluarea proiectului utilizarea opțiunilor reale (studiu de caz) .....	148	45
4.2.5 Concluzii .....	151	48
5. CAPITOLUL 5 CONCLUZII FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE ŞI LUCRĂRII VIITOARE .....	153	49
5.1 CONCLUZII FINALE .....	153	49
5.2 CONTRIBUȚII ORIGINALE .....	156	52
5.3 LUCRĂRI VIITOARE .....	157	53
5.4 IMPLICAȚII MANAGERIALE .....	158	54
REFERINȚE BIBLIOGRAFICE .....	159	55
ANEXE		
Anexa 1, Model plan zbor .....	168	-
Anexa 2, Codul NelLogo Agent Restricții .....	169	-
Anexa 3, Codul NelLogo Agent Aeroport .....	171	-
Anexa 4, Codul NelLogo Agent Deconflicțări IFR esalonare orizontală .....	176	-
Anexa 5, Codul NelLogo Proiect integrat .....	183	-



Anexa 6, Scurt rezumat (romană /engleză).....	202	64
Anexa 7, Curriculum vitae autor Română.....	203	65
Anexa 8, Curriculum vitae author English.....	204	66

# INTRODUCERE

## **1. Motivarea abordării temei de cercetare**

Soluții pentru creșterea capacității Managementul Traficului Aerian (MTA) sunt cercetate de către Single European Sky Air traffic management Research (SESAR2020) și Next Generation Air Transportation (NEXTGEN) prin conceptul de „rute libere” și “modelare 4D”, cu toate acestea, tehnologia folosită pentru implementarea acestor planuri nu a fost dezvoltată.

Modelul propus este un concept de simulator de Control Trafic Aerian (CTA) bazat pe Sistem Multi-Agent (SMA) creat în NetLogo care cuprinde parametri necesari funcționării în cadrul unui MTA modern. Acest sistem va servi mai multor utilizatori ai spațiului aerian cum ar fi: controlorului de trafic aerian, cu rolul de a-i îmbunătăți capacitatea de gestiune a aeronavelor, precum și controlorului militar de trafic aerian pentru a fi mai eficient în misiunile specifice. Sistemul poate fi de asemenea folosit pentru a asista piloții în situații de urgență prezentându-le o serie de opțiuni pentru a lua decizia optimă în funcție de nevoi.

Potențialele beneficii ale implementării unui astfel de sistem inteligent de asistare a deciziei, vor fi eclipsate, dacă acesta reușește, într-un viitor nu prea îndepărtat, să depășească limitele unui sistem inteligent de asistare a deciziei și să devină fiabil și autonom, minimalizând necesarul de intervenție umană în MTA.

## **2. Limitările și constrângerile temei de cercetare**

Teza reușește să integreze necesitățile a mai multor domenii cum ar fi inginerie și managementul traficului aerian astfel atingând domeniul propus de cercetare cu scopul de a aborda problema fluxului traficului aerian atât din perspectiva de manager dar mai ales din perspectiva tehnică, în acest mod poate fi studiată o viziune nouă a conceptului de MTA.

Deși sistemul propus este unul de asistare inteligentă a deciziilor pe măsură ce acesta a fost dezvoltat, a devenit evidentă necesitatea dezvoltării unui sistem complet autonom deoarece cerința deciziei este de scurtă durată, sub câteva minute, astfel nevoia de simulare a factorului decident a devenit aparentă.

Din perspectiva delimitărilor, subiectul propus este prea vast pentru a fi analizat într-un singur proiect de cercetare din acest motiv unele limitări au fost impuse cum ar fi spațiul sub care sistemul software poate acționa este delimitat de puterea de procesare disponibilă. Cu scopul de a valida sistemul propus limitările sunt prezentate pe măsură ce acestea devin aparente. De exemplu sistemul NetLogo dispune de o versiune 3D a aplicației dar din primele încercări de a aborda problema în această versiune au rezultat în utilizarea la maxim a resurselor disponibile fără a atinge obiectivele propuse.

## **3. Importanța și actualitatea temei de cercetare**

Această teză prezintă aplicarea de modele inteligente de asistare a deciziilor bazate pe sistemul multi-agent în MTA. În primul rând, acesta este introdus în mediul de rețea pentru a rezolva problema sincronizării MTA. Sistemul dezvoltat constă în agenți software, care sunt implementați într-o platformă de rețea NetLogo cu scopul de a identifica zonele congestionate, rezolvarea conflictelor și negocierea acordurilor între aeroporturile participante și aeronave.

Aspectele importante ale sistemului de management al traficului aerian sunt incluse în simulări. Modelele propuse se concentrează pe aspecte specifice ale sistemului privind nevoia de comportamente ale agenților. În formarea simulărilor bazate pe agent, precizarea exactă a comportamentului la nivelul general necesită modelarea mai multor aspecte la nivel local din structura sa. Modelele bazate pe agent au primit mare atenție în comunitatea de cercetare, și poate avea o diversitate de forme. Adicional, luând în vedere propriul nostru accent pe modele de trafic aerian, susținem că este nevoie de un model de mediu bogat care definește

constrângerile fizice asupra comportamentului agentului, și care stabilește mecanismele adecvate pentru interacțiunile inter-agent. În acest model, unele procese și detalii sunt simplificate, neexistând asemenea modele similare în literatura de specialitate, se crede că utilizarea modelului propus poate fi, în primul rând, folosit așa cum este, pentru a prezice traficul aerian când tehnologiile viitoare le vor adopta în MTA. Acesta va da, în viitor, cunoștințele necesare pentru descrierea și prezicerea zonelor congestionate în alte condiții, care nu pot fi luate actualmente în considerare.

#### **4. Cadrul științific actual și obiectivele temei de cercetare**

Teza denumită “PROIECTAREA ARHITECTURILOR INTELIGENTE DE ASISTARE A DECIZIILOR ÎN MANAGEMENTUL TRAFICULUI AERIAN INTEGRAT” urmărește integrarea soluțiilor noi din domeniu MTA sub forma unei soluții software disponibile operatorului cu scopul de a minimiza efectele negative ale fricțiunilor specifice implantării unei arhitecturi noi.

În teză se analizează tendințele de creștere ale traficului aerian, cu scopul de a evidenția necesitățile MTA în viitor, din literatura de specialitate se poate observa cum SESAR2020 precum și NEXTGEN încearcă împărțirea problemelor MTA în mai multe subdomenii de cercetare, dar deși acestea urmăresc implementarea noului sistem de la sfârșitul anilor 90’ o soluție salvatoare pare încă departe datorită reglementărilor naționale și internaționale.

Sistemul MTA poate fi descris ca un sistem în evoluție care nu poate suferi actualizări majore într-un interval de timp scurt, astfel orice încercare de actualizare este întâmpinată cu probleme specifice rezistenței la schimbare la nivelul operatorilor datorită riscului neînțelegeri sau interpretării greșite a noilor reglementări. Comunitatea de cercetare modernă dorește actualizarea sistemului cu cele mai noi metode și practici dar neînțelegerile legate de implementare de soluții noi îngreunează acest proces.

**Obiectivul 1:** Actualizarea stadiului actual al cercetării în domeniu, prin consultarea bazelor de date specifice și căutarea sistemelor similare cu cel descris.

**Obiectivul 2:** Analiză a întârzierilor aeronavelor precum și efectul conceptului de rute libere asupra managementul traficului aerian (MTA) modern, acest lucru se poate face folosind bazele de date ale Central Office for Delay Analysis (CODA), astfel putem caracteriza cauzele întârzierilor moderne.

**Obiectivul 3:** Simularea condițiilor de trafic aerian actuale, unul din principalele obiective pentru simularea problemelor de trafic aerian este crearea mediului folosind sistemele multi-agent (SMA), acest lucru se va face utilizând mediul de lucru NetLogo, cu un sistem de coordonate XOYZ pentru determinarea poziției și înălțimii aeronavelor, adăugând la acesta factorul timp cu o rată de actualizare de 1 secundă putem afișa aeronave în mediul de lucru.

**Obiectivul 4:** Detectarea conflictelor de trafic aerian, după simularea mediului în NetLogo, un sistem de detectare a conflictelor este necesar a fi dezvoltat folosind sistemul de referință XOYZ precum și vectorul de viteză pentru a putea anticipa orice interacțiune în sistemul dat până la momentul încălcării eșalonării minime.

**Obiectivul 5:** Utilizarea sistemelor multi-agent în deconflictarea traficului aerian, acesta este principalul obiectiv deoarece demonstrează eficiența sistemului, alocând fiecărui aeronave un agent și folosindu-ne de interacțiunile specifice de coordonare, coroborare și negociere, aceștia vor simula comportamentul uman în evitarea conflictelor de trafic aerian.





**Obiectivul 6:** Demonstrarea fiabilităţii sistemului, acest obiectiv se poate atinge rulând sistemul software printr-o serie de teste specifice cu un grad înalt de încărcare precum şi pe o perioadă îndelungată de timp.

**Obiectivul 7:** Folosind analiza managementului ameninţărilor şi erorilor (MAE) aplicabilă controlorilor de trafic în condiţiile actuale putem extrapola cum va evolua MAE din perspectiva implementării unui sistem nou de asistare a deciziilor pentru controlorii de trafic, respectiv cum va influenţa numărul total de ameninţări, erori şi situaţii nedorite.

**Obiectivul 8:** Implicaţiile manageriale privind implementarea unui astfel de sistem, acest obiectiv vine în completarea tezei cu scopul de a trata costurile implementării unui astfel de sistem folosind opţiunile reale pentru a determina fezabilitate din punctul de vedere al managerului de proiect.

## CAPITOLUL 1

# STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIUL ARHITECTURILOR MANAGEMENTUL TRAFICULUI AERIAN (MTA)

Managementul Traficului Aerian (MTA) este constituit în principal de 3 activități distincte:

### 1. Controlul Traficului Aerian (CTA)

Este procesul prin care aeronavele sunt separate în siguranță pe măsura ce zboară între aeroporturi. Controlorii din turnul de control sunt cel mai bine cunoscuți dar aeronavele sunt de asemenea dirijate pe măsura ce zboară pe rută de către controlorii regionali din centrele de control al traficului aerian.

### 2. Managementul Fluxului Traficului Aerian (MFTA)

Este o activitate care se desfășoară de obicei înainte ca aeronava să decoleze. Orice aeronavă care folosește controlul traficului aerian, de la o aeronava business la o aeronava de linie, zboară conform unui plan de zbor trimis cu cel puțin 30 min înainte de decolare. Toate planurile de zbor sunt trimise prin Eurocontrol pentru analiză și planificare.

Din raționamente de siguranță, controlorii de trafic aerian nu pot avea prea multe aeronave sub dirijare în același timp, acesta fiind limitat. Programe sofisticate folosesc managementul fluxului traficului aerian (MFTA) pentru a calcula exact unde o aeronavă va fi la un moment dat și verifică dacă controlorii în acea porțiune de spațiu se pot descurca în acel interval de timp, dacă programele stabilesc un volum mare de aeronave într-o anumită porțiune de spațiu aerian, atunci aeronavele trebuie să aștepte la sol până când pot decola în condiții de siguranță.

### 3. Serviciul de informare aeronautic (SIA)

Acest serviciu este responsabil pentru crearea și distribuirea informațiilor aeronautice necesare pentru utilizatorii spațiului aerian, acestea includ informații de:

- Siguranță;
- Navigație;
- Tehnice;
- Administrative;
- Aspecte legale și actualizările lor.

## 1.1 PLANURILE SESAR DE MODIFICARE A ARHITECTURII MTA

### 1.1.1. Obiectivele operaționale ale SESAR

La nivel înalt, planul SESAR definește modul de implementare și dezvoltare a noului sistem MTA pe baza noilor concepte MTA menite să contribuie semnificativ la îndeplinirea obiectivelor principale ale SES (Muraru, An Analysis on the Future Architecture of European Airspace, 2015).

Principalele caracteristici cheie ale SESAR din perspectiva conceptului de operații sunt după cum urmează (European ATM Master Plan, 2015):

- Înlocuirea operațiilor bazate pe SPAȚIU AERIAN cu operațiile bazate pe TRAIECTORIE, astfel încât fiecare aeronavă să-și aleagă ruta preferată și timpul dorit de sosire;

- Planificare-colaborare astfel încât toate părțile implicate în managementul zborului de la plecare și până la sosire să-și poată planifica activitățile în funcție de performanțele sistemului de coordonare-colaborare;
- Managementul dinamic al spațiului aerian presupune colaborarea intensă dintre autoritățile civile și cele militare;
- Noile tehnologii care vor oferi informații de navigație mult mai exacte și eșalonări optime între aeronave pentru a folosi la maxim capacitatea spațiului aerian și a aeroporturilor. Acestea vor fi înglobate într-o nouă arhitectură interoperabilă, la nivel european, pentru a susține cu informații aeronautice fiecare zonă a Europei;
- Rolul central al omului. Sistemul actual de control al traficului aerian este în esență *reactiv*: cunoașterea traiectoriei reale a avionului de către controlorul de trafic aerian la sol este atât de imprecisă încât capacitatea de anticipare a problemelor este deosebit de limitată, fapt ce determină o foarte mare presiune operațională asupra operatorilor umani (controlori de trafic aerian și piloți). Omul va beneficia de o serie de noi mijloace și tehnologii menite să minimalizeze presiunea exercitată asupra sa menite să reducă volumul mare de muncă.

### 1.1.2. Etapele de implementare ale pachetelor și serviciilor

Programul SESAR este compus din trei pachete de implementare fiecare din ele fiind compuse din cate două până la cinci *Nivele de Servicii* fiecare.

Faza de implementare a SESAR constă în succesiunea celor trei pachete care vin cu îmbunătățiri în plan operațional. Aplicarea acestor pachete va fi susținută de cadrele legale ale Comunității care vor alcătui traseul de urmat în adoptarea și dezvoltarea continuă a acestora.

Descoperirile din faza de aplicare la fel ca și evoluția nevoilor părților MTA interesate necesită o continuă evaluare a acestor pachete de implementare cu obiectivul principal de a consolida și valida sau nu importanța adoptării lor.

După cum putem observa și în figura următoare, cele trei etape (2008-2013, 2014-2020 și 2021-2025) sunt axate pe crearea, adoptarea și, în final, îndeplinirea obiectivelor operaționale.

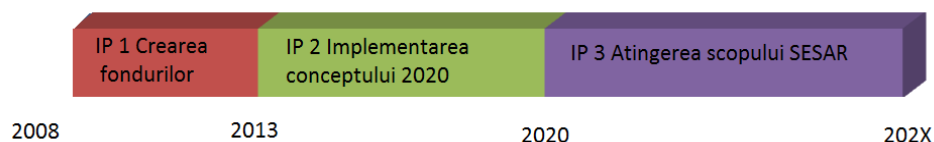


Figura 3: Pachetele de implementare SESAR.

### 1.1.3. Blocurile Funcționale de Spațiu Aerian (FAB)

#### Obiective operaționale ale FAB

Ca urmare a creșterii traficului aerian pe teritoriile țărilor europene, s-a introdus o reconfigurare a spațiului aerian pentru a optimiza ATFCM și a reduce considerabil întârzierile.

În contextul prevederilor regulamentare SES din martie 2004, Comisia Europeană a înaintat un raport către Eurocontrol numit „Mandate on Support for Establishment of Functional Airspace Blocks (FABs)”. Ideea de bază a SES, referitor la implementarea FAB-urilor, este de a consolida cooperarea regională cu intenția de a eficientiza munca structurilor ATC.

Prevederile SES reconfigurează spațiului aerian european superior (peste FL285) prin crearea FAB-urilor. Nu există o definiție clară sau ușoară a ceea ce înseamnă un astfel de bloc de spațiu aerian. Rigorile regulamentelor SES prevăd într-adevăr niște indicații referitoare la definire ca un spațiu aerian de dimensiuni definite, în spațiu și timp, în care sunt oferite servicii de navigație aeriană. În aceleași, s-a impus totuși ca pentru a putea considera FAB un bloc de spațiu aerian, acesta trebuie să îndeplinească o serie de atribute care sunt de bază în funcționalitatea acestuia.

Aceste atribute prevăd ca volumul de spațiu aerian considerat:

- Să fie construit pe bazele cerințelor operaționale;
- Să asigure un management eficient și integrat al spațiului aerian;
- Să nu fie constrâns de granițele naționale.

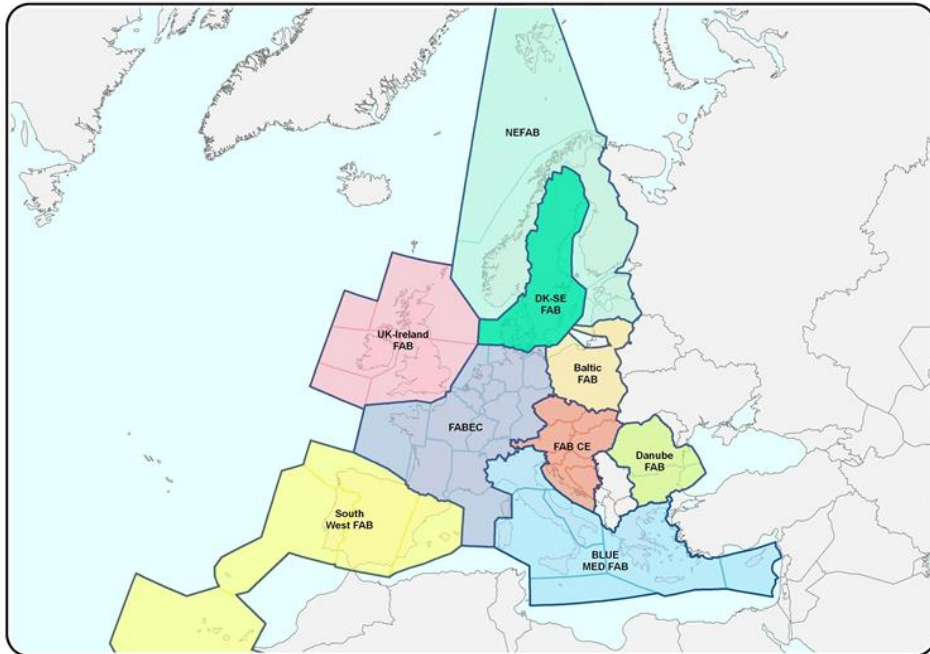


Figura 7: Harta FAB. (Întrebări frecvente: Cerul unic european: Comisia ia măsuri pentru descongestionarea spațiului aerian al Europei, 2013)

#### 1.1.4. Contribuții pentru SESAR 2020

Paisprezece milioane de zboruri sunt așteptate în 2035 doar în Europa, din acest motiv îmbunătățirea performanței este esențială pentru a menține un trafic aerian cursiv. Ambițiile programului SESAR 2020 joacă un rol major în îndeplinirea acestui scop.

Mergând pe experiența programului SESAR1, SESAR 2020 va pune operatorul aeronavei la centrul sistemului MTA European. Acesta va fi obținut prin întărirea integrării dintre aeroport, ATC, sistemele operaționale ale liniilor aeriene și a centrelor operaționale militare.

Din cele 25 acorduri semnate de întreprinzători comuni ai SESAR din partea comisiei europene în toamna anului 2016, EUROCONTROL participa la 24 de proiecte și au leadership în 8 proiecte care sunt dedicate pentru performanța rețelei pan-europene. Adicional, Eurocontrol asigură capacități de simulare unice pentru toate proiectele și suportă activ academic și organele de cercetare pentru cercetările de exploatare.

Proiecte conduse de EUROCONTROL:

- Creșterea capacității Aeroporturilor și a Pistelor;
- Optimizarea operațiilor utilizatorilor de spațiu aerian;
- Management al spațiului aerian avansat;
- Capacitatea de balansare a cererii avansată;
- Sisteme de siguranță avansate pentru operațiile pe ruta și în TMA;
- Integrarea conținutului;
- Plan principal pentru mentenanță;
- Managementul rețelelor în colaborare.

## 1.2. NOUA GENERAȚIE AL SISTEMULUI DE TRANSPORT AERIAN

Noua generație al sistemului de transport aerian (NextGen) este numele dat noului sistem aerospațial național care va fi implementat pe între teritoriul SUA în stagiile între 2012 și 2025 (Fact Sheet: NextGen. Federal Aviation Authority, 2007). Noua generație a sistemului de transport aerian (NextGen) propune să transforme sistemul de trafic aerian al SUA dintr-un sistem îmbătrânit bazat pe comunicații la sol într-un sistem bazat pe sateliți. Tehnologia GPS va fi folosită pentru a scurta rute, economisi timp și combustibil, reducând întârzierea traficului, creșterea capacității traficului precum și să permită controlorilor să monitorizeze cu o margine de siguranță mai mare (Impacts of the LightSquared Network on Federal Science Activities, Testimony of The Honorable Peter H. Appel, U.S. House of Representatives Committee on Science, Space and Technology, 2011). Aeronavelor li se vor permite să zboare mai apropiat, să folosească rute mai directe și să evite întârzierile cauzate de supraaglomerarea aeroporturilor. Pentru a implementa acestea Administrația Aviației Federale (FAA) va trece printr-o transformare largă a întregului sistem de transport aerian al SUA. Această transformare are scopul de a reduce blocajele în traficul aerian, din cer precum și de pe aeroport. În 2003, Congresul SUA a stabilit și însărcinat Oficiul Întreținut de Planificare și Dezvoltare (JPDO) să planifice și să coordoneze dezvoltarea noii generații al sistemului de transport aerian (NextGen).

## 1.3. STUDIU DE CAZ: ÎNTÂRZIERILE ZBORURILOR EUROCONTROL

### **Sumar**

În 2014 au fost 1,7% mai multe zboruri pe zi decât în aceeași perioadă din 2013 conform EUROCONTROL Central Office for Delay Analysis (CODA) (EUROCONTROL, 2015). Per total situația întârzierilor a rămas neschimbata față de 2013, dar evenimente regionale pe parcursul anului precum închiderea spațiului aerian din Ucraina Libia și Siria alături de deschiderea sectorului KFOR au determinat schimbări în fluxul traficului aerian precum și grevele companiilor aeriene, acțiunile sectorului ATC, un curent jet și o vreme schimbătoare, vizibilitate redusă și condiții de iarnă grele au fost incluse.

Date primite direct de la companiile aeriene către CODA (EUROCONTROL, 2015) au descris întârzierile, cu cauze diferite, au descris o situație stabilă pe parcursul anului.

- Întârzierile medii a fost de 26 minute pe zbor, este o scădere mică de 2,6% față de 26,7 minute din 2013;
- Această mică îmbunătățire a fost eclipsată de creșterea la 37,4% a întârzierilor la plecare;
- Întârzierile cauzate de reacție au fost de 44% din întârzierile raportate comparativ cu cele 45% din 2013;
- Întârzierile la sosire au fost de 27,2 minute per zbor în 2014;
- Procentajul întârzierilor a crescut cu 0,7% la 34,3%;
- Anularea zborurilor a rămas stabilă la 1,5% din zborurile planificate cu anulări zilnice care au avut un vârf de 8% în zilele cu întreruperi care au fost cauzate în principal de acțiuni de grevă de peste an.

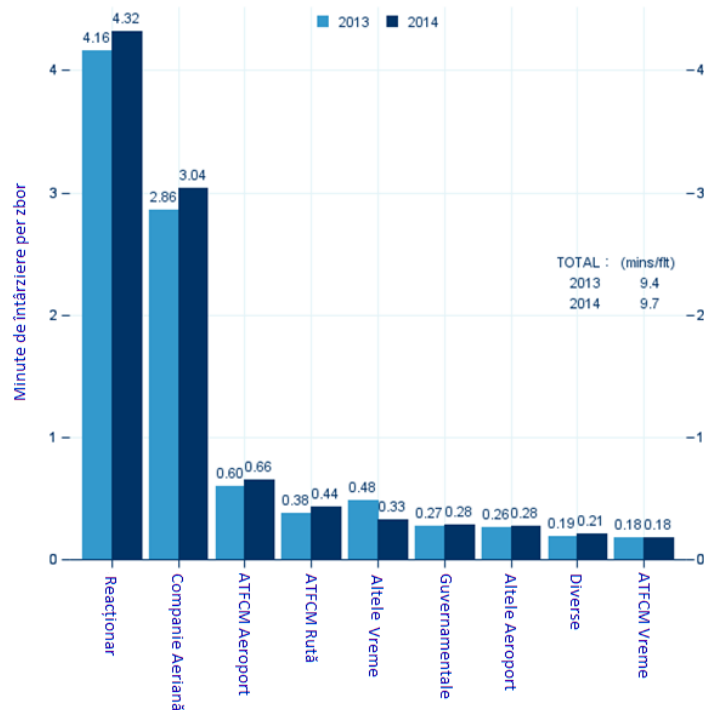


Figura 8: Cauzele întârzierilor 2014 vs 2013 (EUROCONTROL, 2015)

## 1.4. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRII ÎN DOMENIU

În acest subcapitol am analizat 41 de articole de cercetare în domeniu obținute de pe diferite platforme specifice precum Proquest, Science Direct și am evidențind direcțiile de cercetare necesare încadrării obiectivele tezei de doctorat.

### 1.4.1. Posibile soluții pentru îmbunătățirea MTA

1. „*Airborne Technology for Distributed Air Traffic Management*” (Jackson, Sharma, Haissig, & Elgersma, 2005)
2. „*Performance Evaluation of a Novel 4D Trajectory Prediction Model for Civil Aircraft*” (Porretta, Marie-Dominique, Schuster, & Majumdar, 2008)
3. „*Development of Algorithms of Air Traffic Flow Management*” (Kan, 2010)
4. „*Solution of Sectorization Problems for an Air Traffic Management Area. II. Development of Sectorization Algorithms*” (Degtyarev, Minaenko, & Orekhov, 2010)
5. „*A framework of enroute air traffic conflict detection and resolution through complex network analysis*” (Chen, Landry, & Nof, 2011)
6. „*An aggregate stochastic programming model for air traffic flow management*” (Andreatta, Dell’Olmo, & Lulli, 2011)
7. „*A distributed scheduler for air traffic flow management*” (Landry, Farley, Hoang, & Stein, 2012)
8. „*Swarm theory applied to air traffic flow management*” (Torres, 2012)
9. „*Comparisons of air traffic control implementations on an associative processor with a MIMD and consequences for parallel computing*” (Yuan, Baker, & Meilander, 2014)
10. „*Aircraft trajectory forecasting using local functional regression in Sobolev space*” (Tastambekov, Puechmorel, Delahaye, & Rabut, 2014)
11. „*Strategic de-confliction in the presence of a large number of 4D trajectories using a causal modeling approach*” (Ruiz, Piera, Nosedal, & Ranieri, 2014)
12. „*0–1 integer programming model for procedural separation of aircraft by ground holding in ATFM*” (Ozgun & Cavcar, 2014)



13. „*On air traffic flow management with rerouting. Part I: Deterministic case*” (Agusti’n, Alonso-Ayuso, Escudero, & Pizarro, On air traffic flow management with rerouting. Part I: Deterministic case, 2012)
14. „*On air traffic flow management with rerouting. Part II: Stochastic case*” (Agusti’n, Alonso-Ayuso, Escudero, & Pizarro, On air traffic flow management with rerouting. Part II: Stochastic case, 2012)
15. “Intelligent computing methods în Air Traffic Flow Management” (Weigang, Dib, Alves, & Crespo, 2010)
16. „*A 4D-sequencing approach for air traffic management*” (Prot, Rapine, Constans, & Fondacci, 2014)
17. „*A dynamic rerouting model for air traffic flow management*” (Mukherjee & Hansen, 2009)
18. „*Integrating mobile agent technology with multi-agent systems for distributed traffic detection and management systems*” (Chen, Cheng, & Palen, 2009)

#### 1.4.2. Îmbunătățirea traficului din zona terminală

1. „*A model of inbound air traffic: The application to Heathrow airport*” (Caccavale, Iovanella, Lancia, Lulli, & Scoppola, 2014)
2. „*Rolling Horizon Approach for Aircraft Scheduling în the Terminal Control Area of Busy Airports*” (Samà, D’Ariano, & Pacciarelli, 2013)

#### 1.4.3. Componenta umană în MTA

1. „*Human–automation teams and adaptable control for future air traffic management*” (Langan-Fox, Canty, & Sankey, 2009)
2. „*Managing emergencies and abnormal situations in air traffic control (part I): Taskwork strategies*” mm (Malakis, Kontogiannis, & Kirwan, *Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part I): taskwork strategies*, 2010)
3. *Managing emergencies and abnormal situations in air traffic control (part II): Teamwork strategies*” (Malakis, Kontogiannis, & Kirwan, *Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part II): teamwork strategies*, 2010)
4. „*Air traffic control complexity as workload driver*” (Djokic, Lorenz, & Fricke, 2010)
5. „*Reward functions for learning to control în air traffic flow management*” (Cruciol, de Arruda Jr., Weigang, Li, & Crespo, 2013)
6. „*Strategies în coping with complexity: Development of a behavioural marker system for air traffic controllers*”s (Kontogiannis & Malakis, 2013)
7. „*Empirical analysis of air traffic controller dynamics*” (Wang, Vormer, Hu, & Duong, 2013)
8. „*A speech interface for air traffic control terminals*” (Ferreiros, et al., 2012)
9. „*Tipping point: The narrow path between automation acceptance and rejection în air traffic management*” (Bekier, Molesworth, & Williamson, 2012)

#### 1.4.4. Securitatea zborului

1. „*A safety assessment methodology applied to CNS/MTA-based air traffic control system*” (Flavio & Camargo, 2011)
2. „The interaction between safety culture and degraded modes: A survey of national infrastructures for air traffic management” (Johnson, Kirwan, & Licu, 2009)
3. „Enhancing the security of aircraft surveillance în the next generation air traffic control system” (Finke, Butts, Mills, & Grimaila, 2013)

#### 1.4.5. Performanţa sistemului MTA actual

1. „*SESAR: R&D and Project Portfolios for Airline Business Needs*”ss (Brooker, SESAR: R&D and Project Portfolios for Airline Business Needs, 2009)
2. „*Reducing Flight Delays Through Better Traffic Management*” (Sud, et al., 2009)
3. „*Air Traffic Control Separation Minima: Part 1 – The Current Stasis*” (Brooker, Air Traffic Control Separation Minima: Part 1 – The Current Stasis, 2011) şi
4. „*Air Traffic Control Separation Minima: Part 2 – Transition to a Trajectory-based System*” (Brooker, Air Traffic Control Separation Minima: Part 2 – Transition to a Trajectory-based System, 2011)
5. „*The impact of airport capacity constraints on future growth in the US air transportation system*” (Evans & Schäfer, 2011)
6. „*4D-Trajectory Air Traffic Management: ‘Are There ‘Killer Apps?’ – Part 1*” (Brooker, 4D-Trajectory Air Traffic Management: ‘Are There ‘Killer Apps?’ – Part 1, 2012)
7. „*4D-Trajectory Air Traffic Management: ‘Are There ‘Killer Apps?’ – Part 2*” (Brooker, 4D-Trajectory Air Traffic Management: ‘Are There ‘Killer Apps?’ – Part 2, 2012)
8. „*Single European Sky and the functional airspace blocks: Will they improve economic efficiency?*” (Button & Neiva, 2013)
9. *Experimental approach to NextGen benefits estimation: A case of single-airline Aircraft Arrival Management System* (Guzhva, Abdelghany, & Lipps, 2014)



## CAPITOLUL 2 COMPETITIVITATE ŞI COOPERARE.

### ANALIZA COMPARATIVĂ A STRATEGIILOR DE COLABORARE ŞI DE PARTENERIAT CU AJUTORUL SISTEMELOR MULTI-AGENT

Sfera Sistemelor Multi-Agent (SMA) este fundamentată pe transferul de concepte și metodologii din mai multe discipline cum ar fi: logică, tehnică, economie, ecologie și altele. Acesta este motivul pentru care nu trebuie să surprindă diversele opinii a ceea ce constituie un SMA.

Definind sistemele multi-agent, acestea reprezintă o subdiviziune a structurilor competitive, iar în ceea ce privește unele entități din colectivitatea structurilor repartizate sau calculului dispus ar putea pune problema dacă sistemele multi-agent sunt suficient de variate de la normele sistemelor dispuse sau concurente pentru a putea motiva un studiu separat. Răspunsul la aceasta problemă este unul afirmativ deoarece agenții sunt prezumtivi independenți, iar sincronizarea și organizarea structurilor într-un SMA se face odată cu execuția și nu la data proiectării. Mai mult de atât, agenții sunt membrii cu interese proprii, ce urmăresc executarea obiectivelor personale sau colective la nivelul SMA.

#### 2.1 DEFINIREA ŞI FORMULAREA PROBLEMELOR SISTEMELOR MULTI-AGENT

Pentru a crea o infrastructură inteligentă, majoritatea sistemele tradiționale, precum și sistemele decizionale necesită să li se integreze SMA.

Un SMA poate fi analizat ca un sistem în dezvoltare pentru fiecare agent care își desfășoară o activitate independentă. Precum modelului de dinamică a populației și stabilitate, fiecare agent dintr-un sistem multi-agent, teoretic, își poate derula activitatea independent de existența celorlalți agenți.

Teoria sistemelor multi-agent s-a dezvoltat din dorința de a crea sisteme inteligente. În cadrul sistemului multi-agent, pentru o specificare completă, este necesară caracterizarea informațiilor și deprinderilor interne ale agenților precum și interacțiunile inter agenți cu care coexistă.

##### 2.1.1. Agenți inteligenți

Necesitatea existenței unor sisteme ce pot stabili independent nevoia pentru atingerea obiectivelor pentru care au fost proiectate și numărul tot mai mare de aplicații a dus la apariția termenului de agent. Acești agenți care necesită capacitatea de a funcționa într-un mod eficace în medii definite de schimbări rapide, cu o evoluție neașteptată, în care există o probabilitate mare ca acțiunile efectuate să nu aibă rezultatul dorit, sunt cunoscuți sub numele de agenți inteligenți, sau agenți autonomi (Teixeira, și alții, 2018).

Un agent este un sistem apt să realizeze acțiuni în mod flexibil și liber pentru îndeplinirea obiectivelor. Prin flexibilitate se înțelege deținerea caracteristici precum:

- **Pro-activitate:** Comportamentul axat pe îndeplinirea atribuțiilor pentru care a fost creat;
- **Abilitate socială:** Capabilitatea unui agent de a comunica cu alți agenți, fie ei și operatori umani, pentru realizarea scopurilor proprii sau scopurilor comune;

- **Reactivitate:** Capacitatea de percepere a stării mediului și de a acționa schimbărilor prin efectuarea unor acțiuni specifice, această trăsătură în cadrul sistemelor dinamice corespunde existenței buclei de feedback.

### 2.1.2. Funcționarea unui sistem multi-agent

SMA-urile sunt utilizate în crearea unor soluții software care funcționează într-un sistem de tip stimul-răspuns. Acestea prelucrează un sistem interactiv printr-o grupare de agenți speciali care reacționează la stimuli din cadrul sistemului. SMA-ul creează acest sistem interactiv prin mijlocul unor unități computaționale specializate numite agenți, care se află, la un moment dat, într-o stare, dețin o bază de cunoștințe și pot acționa la acțiuni ale altor agenți.

Acest tip de comunicare trebuie să respecte anumite reguli, cum ar fi:

- agenții sunt uniți prin legături de comunicație unidirecțională ce au ca rol transmiterea de mesaje discrete;
- ipoteza faptului că nu ar exista întârziere în diseminarea unui mesaj;
- cunoașterea provenienței mesajului, în momentul recepției, de către agentul receptor;
- emisia și recepția mesajelor este precizată cu o relație de ordine;
- se insinuează faptul că transportul mesajelor este infailibil, stabil.

### 2.1.3. Crearea modelelor multi-agent

Proiectarea recurentă a interfețelor utilizator, a aplicațiilor repartizate, și manevrarea dialogurilor pe mai multe căi, sunt sprijinite prin mecanismele de modularitate și paralelism:

- susținere pentru proiectare recurentă – în acest caz, un agent definește unitatea de modularitate. Este posibilă modificarea comportamentului agentului, ca urmare a introducerii acestui concept, dar fără a afecta integritatea sistemului;

- susținere pentru aplicații repartizate - în cazul procesării, agentul definește unitatea. Există probabilitatea ca agentul să își exprime comportamentul pe alte procesoare față de pe cel pe care a fost inițial;

- susținere pentru manevrarea dialogurilor pe mai multe căi – fiecărui fir de execuție îi poate fi asociat un agent. Local, starea este menținută de către agent, atunci când interacțiunea dintre agent-utilizator poate fi întârziată până la momentul în care utilizatorul hotărăște reluarea activității. Atunci când un fir de execuție este mai complex pentru a fi prelucrat de un agent, atunci este probabil ca problema să fie executată de o serie de agenți.

## 2.2. CERINȚELE DE PROIECTARE A SISTEMELOR MULTI-AGENT

În evoluția agentului a apărut, un nou model bazat pe dezvoltare software, care în mod așteptat a câștigat acceptare în rândul dezvoltatorilor de software. Furnizarea de medii și instrumente pentru îmbunătățirea platformelor, au o contribuție importantă la rezolvarea mai ușoară și rapidă a cererilor bazate pe agent.

Modul curent de agenți, reprezintă instrumente ce se caracterizează printr-o multitudine de medii de dezvoltare ale agenților care le oferă posibilități minimale din punct de vedere al nivelului de captare, elaborare și dezvoltare a procesului de evoluție a agentului orientat spre aplicații, spre deosebire de cel proiectat (Demazeau, Decker, Pérez, & Prieta, 2015).

### 2.2.1. Instrumente și aplicații existente

Majoritatea SMA sunt bazate pe aplicații JAVA, având rolul de a ușura aplicarea agentului pe bază de candidaturi. Acest lucru se realizează prin procurarea mecanismelor care să gestioneze și să supravegheze schimbul de mesaje între agenți, precum și interfața de susținere pentru crearea și depanarea sistemelor multi-agent.

### 2.2.2 Proiectarea mediului sistemelor multi-agent

Cadrul de dezvoltare funcționează precum o interfață grafică încorporat pe bază de mediu care facilitează proiectarea procesului în masă. Susținând, în același timp, decizia de extragere și includerea în modelele noi create de către agenți.

Agentul de creare, este în curs de dezvoltare și folosește Agentul Academic și implică activități secundare precum:

- crearea de agenți noi cu capacități de raționament, inițial limitați;
- încadrarea unor agenți într-un nou SMA;
- constituirea de noi modele de comportament, pentru fiecare agent;
- importul de ontologie-imagini de la proteje-2000;
- stabilirea mesajelor destinatarilor, pentru fiecare agent.

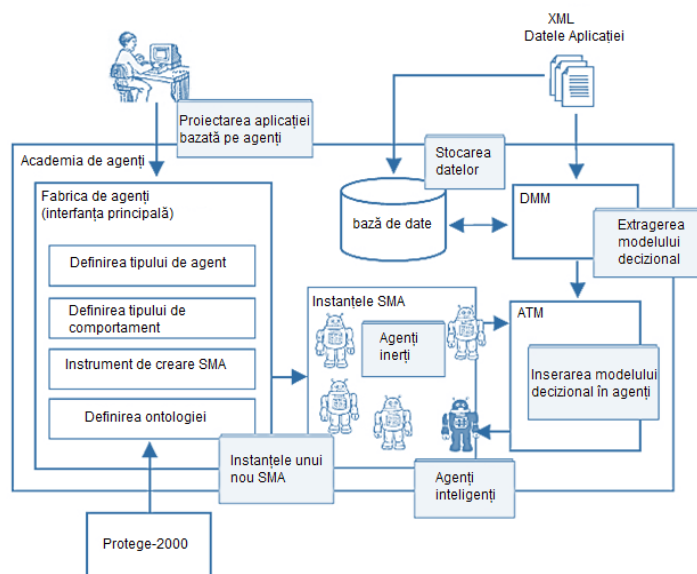


Figura 17: Diagrama de dezvoltare cadru (AGENT ACADEMY, 2014)

### 2.2.3. Crearea aplicațiilor multi-agent

Principalele interfețe grafice ale utilizatorului de platformă pentru dezvoltare constau într-o serie de instrumente grafice, care ajută dezvoltatorul în efectuarea sarcinilor necesare de proiectare și crearea a unui SMA fără a scrie nicio linie de cod sursă.

Un lucru important în procesul constituirii unui MAS, este proiectarea uneia sau mai multor ontologii, pentru ca agenții să interacționeze în mod adecvat. Fabrica de Agenți (Agent Factory AF) are Ontologie Design Tool, care susține dezvoltatorii să asimileze ontologii definite cu Proteje-2000 - un instrument de proiectare ontologii. Fișierele „Resource Description Framework” create sunt stocate în baza de date a Agentului Academic pentru o utilizare ulterioară.

#### 2.2.4. Proiectarea comportamentelor

Dezvoltatorul în determinarea generică a comportamentului şablonului este asistat de comportamentul de tip Design Tool. Agentul de comportamente sunt modelate așa cum ar face schimb de mesaje, iar dacă este necesar, aceştia decurg la decizii utilizând motoarele de deducţie. Datele și dependențele de control între aceste blocuri sunt deopotrivă tratate. Comportamentele pot fi formate ca ciclice sau o-shot, comportamente de platforma JADE.

#### 2.2.5. Extragerea datelor (Data Mining) pentru a crea modele de decizie

Sistemul pentru extragere de informații utile, pentru agenți de logică, se bazează pe aplicarea tehnicilor de exploatare a datelor (Data Mining) pe fundalul cererii de date specifice (Nguyen, Grzech, & Howlett, 2007). La aplicarea cadrului industrial unui scenariu despre Supply Chain Management (Koumpis, 2012), se poate constata că întreprinderea infrastructurilor IT a creat o cantitate uriașă de date, astfel ajungând potrivit furnizorilor de date să îndeplinească sensul de Data Mining Management.

#### 2.2.6. Încorporarea datelor noi în agenții

Se poate constata că la terminarea procesului de formare este necesară traducerea exploatării datelor, ceea ce transformă modelul decizional într-un agent-format lesne de înțeles.

Acest lucru este realizat de către Automatic Track Messages care recepționează PMML la ieșire ca un mesaj ACL, imediat ce procedura DM este finalizată și activează motorul corect.

### 2.3. LIMITĂRILE SISTEMELOR MULTI-AGENT

O arhitectura statică este cea în care toate componentele sistemului multi-agent precum intrările și ieșirile sale sunt determinate în specificația proiectului.

În arhitectura dinamică, nu toate componentele sunt cunoscute, specificația, proveniența intrărilor și destinația ieșirilor sunt mobile pentru fiecare componentă.

Ce diferențiază cele două arhitecturi este faptul că într-o arhitectură statică este necesară prezența a elementelor pentru ca sistemul să funcționeze, iar într-o arhitectură dinamică nu este necesară participarea agenților o anumită perioadă determinată de timp și pot intra sau părăsi participarea la sistem.

Este necesar pentru acest lucru, să fie destule suprapuneri ale domeniilor tratate, nerespectarea acestei cerințe duce la neexecutarea acțiunii cerute.

#### 2.3.1. Criteriile proiectării sistemelor multi-agent

Programarea bazată pe agenți Agent-Oriented Programming (AOP) este un nou model metodologic de programare în ceea ce privește construcția sistemelor multi-agent. Din punct de vedere ingineresc, programarea centrată pe agenți poate fi privită ca o specializare al modelului programării orientat pe obiecte.

Expunerea într-un astfel de model se alcătuiește din acțiunile acestor agenți prin care solicită sau pun la dispoziție informații, participă sau intră în concurență cu agenți din sistem. Comunicarea între agenți este diferită în funcție de modul de comunicare proiectat, iar rezultatele acesteia sunt variate funcție de intențiile individuale.

Modelele pentru coordonare aranjează cunoștințele disponibilitățile și proiectele unor agenți inteligenți, în așa fel încât ei să aibă abilitatea să-și adune acțiunile sau să soluționeze o problemă.

### 2.3.2. Sincronizarea în cadrul sistemelor multi-agent

Coordonarea este esențială unui sistem multi-agent, în lipsa coordonării nu se poate discuta de beneficiile interacțiunii între agenți, care vor degenera rapid într-un grup haotic de agenți individuali.

Motivele pentru care este necesar ca agenții să fie coordonați ar fi:

- Pentru prevenirea dezordinii;
- Aceștia pot întâlni constrângeri globale;
- Într-un sistem multi-agent, agenții au diferite capacități și posibilități de expertiză;
- Acțiunile acestora sunt adesea interconținuate, adică un agent este nevoit să aștepte terminarea atribuțiilor un alt agent înainte de a-și executa propria sarcină.

### 2.3.3. Ordinea organizațională

O modalitate facilă de a asigura un comportament ordonat și de a soluționa conflicte este acela de a da grupului un agent care să dețină o perspectivă vastă asupra sistemului, printr-o conformație organizațională sau ierarhică.

Tehnica cea mai simplă de coordonare se află în arhitectura clasică, coordonator - executant sau client - server pentru atribuții și împărțirea resurselor pentru agenții executanți de către un agent coordonator.

Pentru a asigura coerența globală, agentul coordonator poate aduna date de la agenții grupului și poate atribui sarcini agenților individuali și poate face planuri.

### 2.3.4. Modelul sincronizarea și organizare

Într-o rețea de agenți, cel mai adesea se identifică agenții cu nodurile acesteia, astfel existând o ierarhie cu două tipuri: agenți de conducere a sistemului și agenți de siguranță. Prin această relație ierarhică este definit ca un mod de interacțiune server-client. Pentru executarea activităților, agenții de nivel superior selecționează agenții de nivel inferior cu scopul de a executa activități independente, nu există cooperare între agenți cu scopul luării deciziilor și fiecare agent arată o opțiune asupra controlului sistemului.

Împărțirea sarcinilor și a resurselor reprezintă unul dintre ariile esențiale ale SMA și una din importanțele lor contribuții aduse informaticii.

### 2.3.5. Alocarea sarcinilor

Atribuirea sarcinilor se realizează prin definiția sistemelor organizaționale prin care agenții funcționează, competențele lor având ca țintă realizarea obiectivului comun. În acest context se poate vorbi de prezentarea modul de împărțire a sarcinilor ținând cont de faptul că potențialul unui agent depinde de competențele sale de structură și de posibilitățile pe care le deține, rezervele externe și a condițiilor de mediu.

Atribuțiile care solicită mai multe mijloace fie de lucru sau de pricepere, ce nu pot fi furnizate de un agent, trebuie împărțite în mai multe subsarcini și distribuite către diferiți agenți.

## 2.4. SISTEME MULTI-AGENT ÎN TRANSPORTUL AERIAN

Încă de la crearea primelor arovehicule s-a dorit automatizarea operațiunilor acestora. Independența a fost restrânsă la unele funcții, dar se aspiră la o automatizare completă, care să îngăduie arovehiculelor să fie pe deplin independente.

În momentul în care vor avea o autonomie deplină, acestea vor trebui să colaboreze și să își sincronizeze acțiunile, având ca scop asigurarea securității și întrebuințarea optimă a resurselor.

Prin orientarea spre agent, pentru controlul aerovehiculelor, se vizează economisirea de timp și resurse. Permițând aerovehiculelor să relaționeze, să își organizeze misiunea și să ia hotărâri în timp real. Pentru construirea unor astfel de tipuri de vehicule se utilizează medii de simulare, mediu care economisește timp și resurse.

#### 2.4.1. Simulate de zbor aplicate agenților bazați pe UAV-URI autonome

##### ***Vehicule Aeriene Fără Pilot (UAV)***

Folosirea UAV include câteva limitări legale în ceea ce privește cum și unde pot fi utilizate acestea. În cea mai mare parte a proiectelor ce cuprind UAV sunt strict militare (Prisacariu & Muraru, 2016). Iar avioanele civile fără pasageri ridică o situație complet diversă în termeni de siguranță. Aceasta fiind cauza pentru care apar obstacole noi în drumul unei categorii viitoare de pasageri și de non-pasageri transportați cu vehicule aeriene fără pilot care utilizează același spațiul aerian cu avioane convenționale.

#### 2.4.2. Sisteme multi-agent proiectate pentru aplicații aerospațiale

##### **Modelarea fluxului traficului aerian**

În SUA Network-Attached Storage (NAS) Simulator a creat algoritmi care integrează modele optimizate în scopul de a afișa cu precizie problema controlului MFTA pentru porțiuni majore de spațiu din SUA.

Simulatorul a fost creat pe un grup de 32 noduri Dell pentru calcul, distribuiți în așa manieră încât să autorizeze fiecărei companii aeriene să ia decizii de control al traficului, independent pe noduri separate, restrângând modul împărțit în care algoritmi vor funcționa în mediu real.

Optimizarea rutelor pentru avioane s-a făcut pentru modelarea Discrete Path Flow precum și pentru modelarea Continuous Link Flow. Întinderea rețelei, ce ar putea fi investigată, a evoluat în mod semnificativ prin dezvoltarea platformei de calcul repartizat de simulare a traficului aerian. Pentru operarea în condiții de siguranță și de faptul că sunt îndeplinite restricțiile de capacitate pe fiecare porțiune a spațiului aerian se asigură de centrul comandă și control al sistemului.

##### **Modelarea detectării conflictelor**

În formarea diferitelor principii pentru detectarea conflictelor se propun o serie de modele în gestionarea conflictelor traficului aerian axat pe SMA.

O serie din modelele propuse folosesc aceleași variabile pentru CD&R dintre avioane diferite. De exemplu un model ce a folosit un prag de distanță minimal fiabil și sigur pentru detectarea conflictelor. Așadar, când eșalonarea orizontală dintre două aeronave este redusă sub limita valabilă, atunci apare un risc de conflicte. Fiind necesară emiterea de avertismente către operatorii sau agenții ce se ocupă de detectarea și rezolvarea conflictelor.

Unele modele încearcă să prevină apariția conflictelor prin folosirea unor metode speciale și nu folosesc un criteriu clar pentru detectarea conflictelor. În funcție de matricea utilizată, în general s-a folosit un prag de detectare. Unele utilizează un criteriu simplu pentru a detecta conflictele, altele mai complex. Nu se poate stabili care din aceste metode are o acuratețe mai mare, aceasta depinzând de tipul modelului propus și de tactica necesară pentru a rezolva conflictele.



## CAPITOLUL 3

### MODELAREA ŞI SIMULAREA PROBLEMEI DE MANAGEMENTUL TRAFICULUI AERIAN

#### (TRAFIC FLOW MANAGEMENT PROBLEM)

#### 3.1. ANALIZAREA SISTEMULUI DE MANAGEMENT AL TRAFICULUI AERIAN FOLOSIND MODELAREA BAZATĂ PE AGENT

Termenul de agent a fost folosit pentru a însemna orice de la o simplă subrutină sau obiect până la o entitate inteligentă, adaptivă, autonomă (Franklin & Graesser, 1996). Această lucrare utilizează definiția lui Hayes care se referă la agent ca entitate cu (a) *autonomie*, demonstrată prin capacitatea de a efectua un anumit set de operații locale și (b) *interactivitate*, înțelegându-se astfel nevoia și capacitatea de a interacționa cu alți agenți pentru a-și realiza sarcinile și obiectivele proprii (Hayes, 1999).

Din punct de vedere istoric, modelarea pe bază de agenți s-a concentrat pe crearea de agenți inteligenți spre realizarea autonomiei, mergând către o perspectivă a inteligenței artificiale asupra emulării oamenilor și a proiectării tehnologiilor autonome (Wooldridge M. , 2000). Recent, cercetătorii au aplicat și simularea "multi-agent" a multor agenți care interacționează (dar nu neapărat complet autonomi), astfel de simulări multi-agent au două preocupări: modelarea entităților individuale ca agenți autonomi și interactivi prin simularea comportamentului sistemului care rezultă din acțiunile și interacțiunile colective ale agentului.

##### 3.1.1. Simulări bazate pe agent.

În sistemele cu mai mulți agenți cu diferențe în convingerile, capacitățile și dorințele lor, coordonarea și colaborarea dintre agenți devin o necesitate. Coordonarea se referă la gestionarea temporală a acțiunii, a evenimentelor și a sarcinilor în rândul agenților. Coordonarea este, de obicei, realizată prin comunicarea informațiilor de protocol sau evenimente. Colaborarea necesită în plus ca agenți să-și împărtășească scopurile și intențiile (Singh, Rao, & Georgeff, 2000). Pentru sistemele cu mai mulți agenți, o astfel de comunicare se realizează prin stabilirea unei semantici comune pentru acele proprietăți cognitive care trebuie partajate. Structurile organizaționale, adică distribuția de roluri și sarcini, ar putea fi impuse agenților ca un mecanism esențial de coordonare (Carley & Gasser, 2000).

##### 3.1.2. Proiectarea MTA bazate pe agent

Bazându-se pe perspectiva ecologică utilizată în ingineria cognitivă, sistemele de management al traficului aerian prezintă următoarele caracteristici care le fac potrivite pentru simularea pe bază de agenți:

1. Implicarea unui număr de agenți într-o varietate de roluri, cu o varietate de intenții și capacități variate;
2. Obiectiv sau orientate spre obiectiv;
3. Dețin cunoștințe, culturi și procese stabilite;
4. Capabile să afecteze și să fie afectate de mediul lor deschis.

### 3.1.3. Crearea simulărilor bazate pe agent a MTA

Pentru a construi o simulare a sistemelor de management al traficului aerian pe bază de agenți, trebuie dezvoltate trei componente. Mai întâi, trebuie dezvoltate modelele ale agenților individuali care să fie capabili să emuleze comportamentele relevante în cadrul sistemului. În al doilea rând, trebuie dezvoltat un model de mediu care furnizează modelelor agenților informațiile de care au nevoie cu privire la aspectele fizice și procesuale ale contextului lor. În al treilea rând, trebuie să fie prevăzute mecanisme pentru ca agenții să acționeze și să interacționeze, incluzând mecanisme pentru sincronizarea simulării și transmiterea datelor în cadrul acesteia.

Aceste dezvoltări necesită atât modelele conceptuale, cât și instanțele de software ale acestora. Modelele conceptuale ale primelor două evoluții sunt strâns legate de domeniul analizat și valorifică structurile de conservare a abstractizărilor. A treia dezvoltare este crucială pentru arhitectura motorului de simulare și pentru fidelitatea simulării, deoarece guvernează dinamica simulării complete. În timp ce instanțele de software ale primelor două, pot fi verificate și validate pentru conceptele pe care le modelează, ar trebui să se conformeze, de asemenea, arhitecturii celei de-a treia dezvoltări.

## 3.2. CONCEPȚIA UNUI SISTEM MULTI-AGENT PROPRIU CARE AR PUTEA FI IMPLEMENTAT DE SESAR ȘI NEXTGEN

În proiectul actual s-au propus o serie de agenți pentru rezolvarea traficului pe rută. Acești agenți iau în calcul toți factorii care afectează un zbor din momentul decolării până la aterizare cu scopul principal de a crește siguranța și de a reduce întârzierile raportate pe aeronavă. (Muraru & Boșcoianu, Developing of a Decision Support Software for Air Traffic Controllers to Manage Risks and Errors in the Context of Free Routes, 2018)

Definirea datelor de intrare pentru simulator, o dată cu apariția și implementarea transponderului mod S extins (EHS) și Automatic Dependent Surveillance — Broadcast (ADS-B), acesta facilitează ca o serie largă de date să fie transmise de la aeronavă la sol, de asemenea ca partea a datelor de intrare se vor folosi date inscripționate în planul de zbor al aeronave.

### 3.2.1 Agent Aeroport Plecări

Acest agent este responsabil pentru plecările de la aeroport, el planifică punctele de transfer dintre controlorii de trafic din Approach (APP) și Area Control Center (ACC) pentru fiecare aeronavă, deconflictează în timp și spațiu. Acest agent se va ocupa primordial cu mișcarea aeronavelor de la pornirea motoarelor până la ieșirea de din zona de responsabilitate a unui aeroport.

Date de intrare: Plan de zbor, Mod S Extins (EHS) și ADS-B.

Date de ieșire: Poziția și ora ieșirii din zona de responsabilitate.



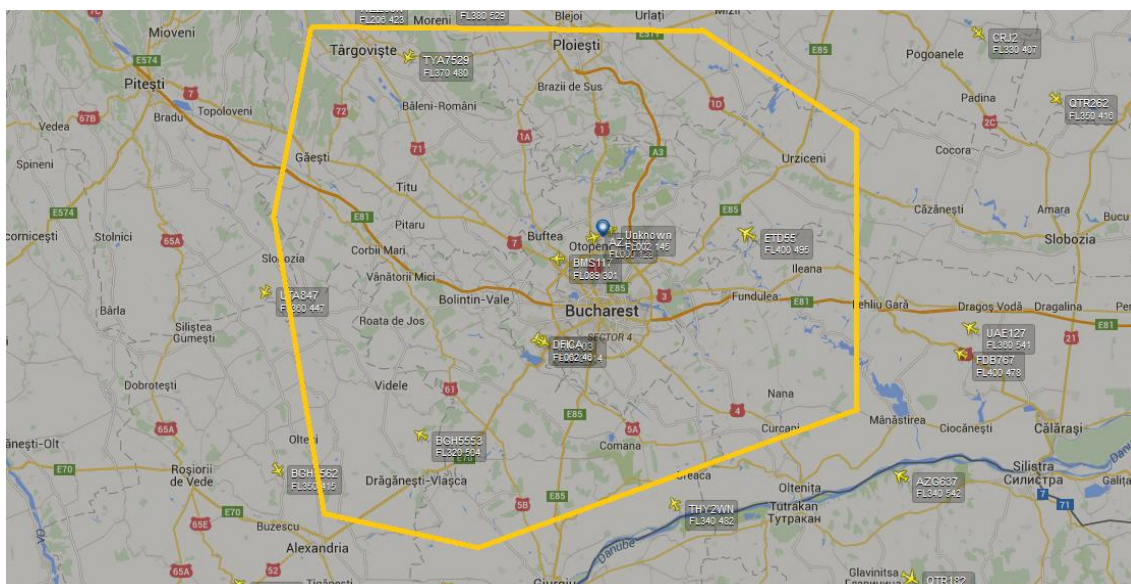


Figura 19: TMA Bucuresti cu exemple de trafic (Flightradar24 AB, 2009)

### 3.2.2 Agent Aeroport Sosiri

Acest agent este responsabil pentru sosirile la aeroport, el planifică punctele și timpul de sosire pentru fiecare aeronavă în parte astfel încât fluxul aeronavelor la aterizare sa fie constant, acesta comunică aeronavelor aflate în zbor spre aterizare, timpul și punctul exact la care trebuie să fie pentru a evita zonele de așteptare. Aeronavele pot accepta acest punct și timp sau îl poate refuza solicitând altul, ajungerea punctului de transfer la timpul solicitat se face prin comenzi de viteză.

Date de intrare: Plan de zbor, Mod S Extins (EHS), ADS-B, precum și estima dată de agentul aeronavă privind ora estimată de survol al punctului de intrarea în zona terminală **T**.

Date de ieșire: Ordonarea tuturor aeronavelor care doresc să survoleze zona terminală în vederea aterizării, dacă există conflicte privind aeronave care survolează același punct sub un interval de 30s/60s atunci transmite agenților aeronavelor noul timp așteptat de survol.

### 3.2.4 Agent Aeronava

Acesta este un agent temporar care se creează o dată cu decolarea aeronavei și se șterge odată ce aeronava a aterizat cu succes, are ca scop principal monitorizarea principalelor caracteristici ale aeronavelor (tip aeronavă, categorie, combustibil, înălțime, cap, viteză, rută) și transmiterea acestora celorlalți agenți interesați. Acest agent mai are ca scop principal detectarea unui posibil conflict cu o altă aeronavă într-o rază de 30-50 NM și transmiterea acestora spre agentului de deconflicare.

De asemenea acest agent se va folosi de agent curent jet, vreme și restricții pentru calcularea traiectoriei optime în cazul rutelor libere sau monitorizarea acestora pentru a informa pilotul, o indicare vizuală a pilotului a curenților jet, a vremii semnificative observate pe traiect sau a unei restricții peste care urmează să zboare prioritizând în funcție de importanță și apropiere.

Acest agent mai este responsabil cu calcularea timpului pentru un aerodrom secundar în cazul în care aerodromul principal este închis, poate calcula timpul rămas de orbitare precum și ora minimă la care pilotul trebuie să ia decizia să se îndrepte spre aerodromul secundar.

Date de intrare: Plan de zbor și Mod S Extins (EHS), ADS-B, hârțile de la agent aeronavă curenți jet, vreme, restricții, aeroport sosiri, deconflicări.



Figura 21: Trafic în zona TMA Bucuresti (Flightradar24 AB, 2009)

### 3.2.7 Agent Restricții

Acest agent are ca scop crearea unei hărți virtuale cu toate restricțiile active în diferite momente ale zilei de la zone restricționate, periculoase și interzise, acest lucru se poate face automat prin importarea bazei de date NOTAM specifică fiecărui stat.

Date de intrare: NOTAM.

Date de ieșire: harta virtuală a NOTAM.

În acest exemplu odată ce zonele specifice sunt integrate în sistem acestea sunt transmise către agentul aeronavă care va re-ruta aeronava pentru a evita pătrunderea într-o astfel de zonă.

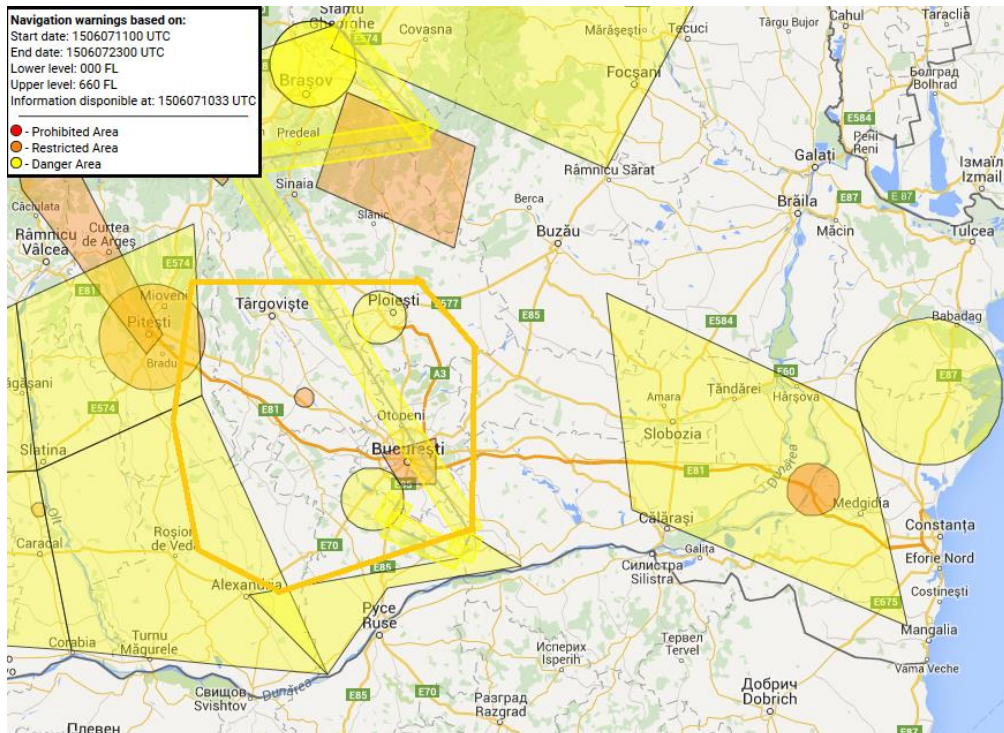


Figura 23: Harta restricții (LRBB, 2014)



### 3.2.10 Agent Deconflicării IFR

În funcție de datele primite de la agenții aeronave acest agent i-a o decizie privind deconflicțarea a uneia sau mai multe aeronave. Dacă acest tip este chemat pentru soluționarea unei situații și alte situații conflictuale apar independente de primul, agentul inițial va fi programat să deconflicteze toate aeronave din acea zonă pentru a evita ca rezolvarea unei situații să rezulte crearea altei situații de conflict, astfel dacă două aeronave se afla în conflict acest sistem va asigura toate aeronavele din vecinătatea conflictului până la rezolvarea acestuia în funcție de categoria aeronavei, de încărcare și ținând seama de capacitatea aeronavelor de a manevra.

Implementarea acestui agent trebuie să se facă progresiv, în primă instanță este recomandat ca propunerile acestui agent să apară ca mesaje afișate controlorului de trafic ATC acesta fiind necesar să confirme luarea la cunoștință a conflictului, sau chiar propunerea unei soluții eficiente schimbarea altitudinii, capului, vitezei în funcție de datele de la agentul aeronavă.

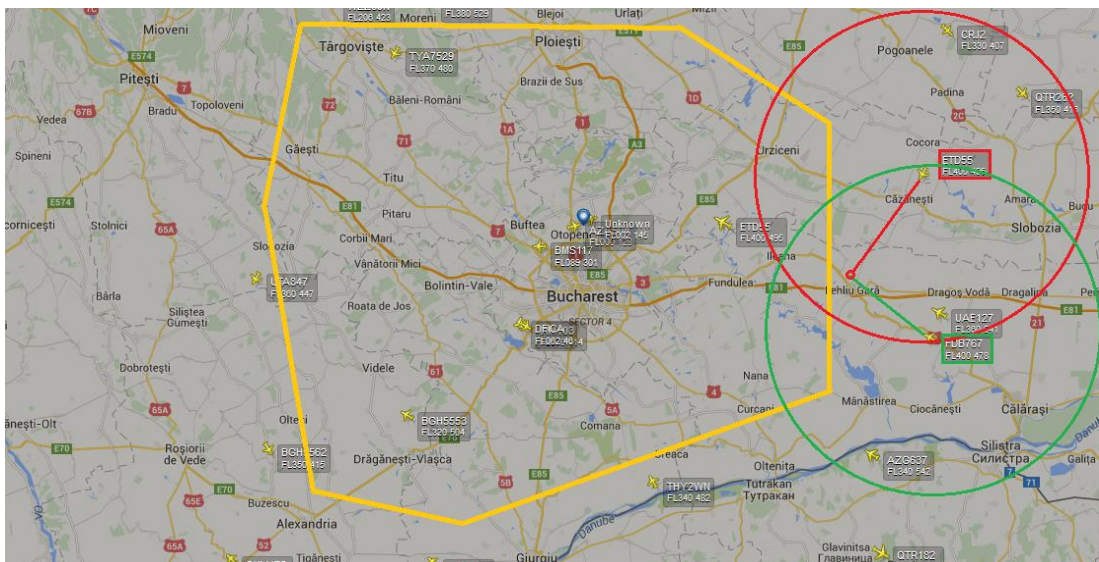


Figura 29: Propunere model deconflictare (Flightradar24 AB, 2009)

Date de intrare: Plan de zbor, Mod S Extins (EHS), ADS-B, hărțile de la agent aeronavă curenți jet, vreme, restricții, aeroport sosiri, deconflicțări.

Date de ieșire: Vectorizare ale agenților Aeronava pentru a satisface eșalonarea minimă.

## 3.3 PROIECTAREA AGENȚILOR ÎN NETLOGO

NetLogo versiunea 6.0.2 este un limbaj de programare pentru crearea pe baza de agenți și integrarea acestora într-un mediu virtual.

Mediul NetLogo ajuta la crearea de comportament emergent. Vine cu o bază de date preexistentă care ajută la modelarea în diverse domenii cum ar fi economie, biologie, fizică, chimie, psihologie, sisteme dinamice. El permite explorarea de modele prin modificatori cum ar fi butoane, manete, imputări și alte elemente de interfață. Dincolo de explorare, NetLogo permite crearea de modele noi și de modificarea celor existente.

NetLogo este un software open source care se poate descărca gratuit. Este folosit într-o multitudine de contexte educaționale.

În continuare vom explora modul de creare al agenţilor precum şi interacţiunile dintre aceştia, Modelul simulat este o zonă de 200 X 200 NM, cu altitudini cuprinse între FL 300 şi FL 450, cu viteze ale aeronavelor între 0.7 Mach şi 0.9 Mach.

### 3.3.1 Proiectarea agentului zone restricţionate

Acesta agent are ca scop principal raportarea către agentul aeronave a principalelor restricţii pentru care agentul aeronavă să poată face corecţiile necesare pentru evitarea acesteia.

Codul NetLog se poate fi găsit în Anexa 2.

În modelarea acestui agent s-au folosit **AA** şi distanţa faţă de centrul zonei, astfel pentru aeronavele aflate la o distanţă mai mică de 40NM faţă de centrul zonei şi un **AA** > 130 li se modifică cursul pentru a ocoli zona.

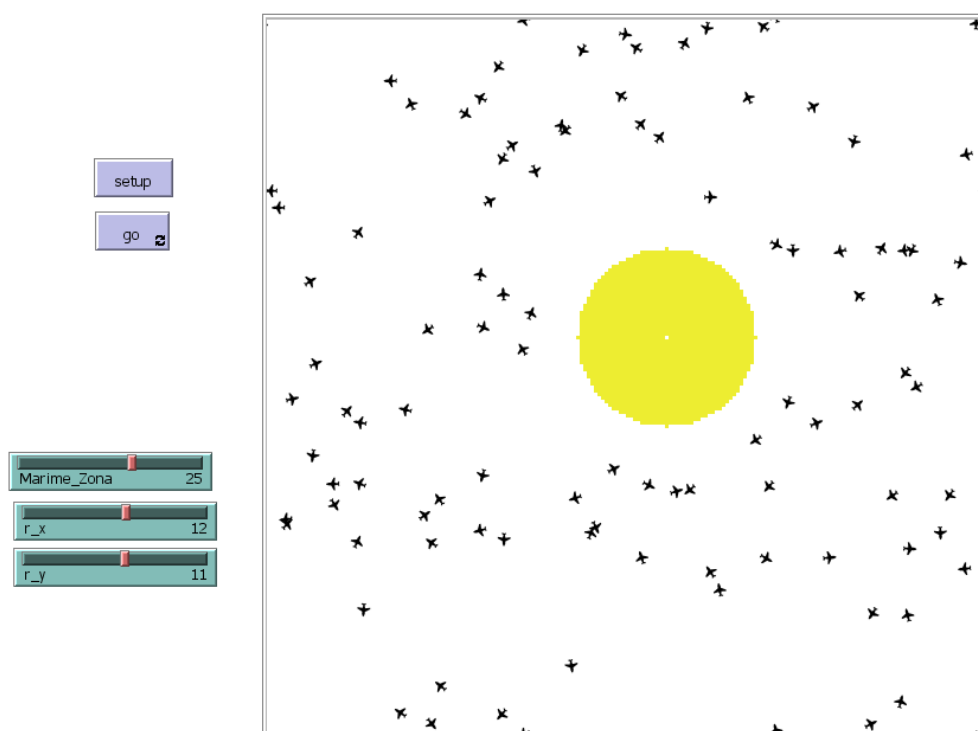


Figura 30 : Simularea unei zone restricţionate

### 3.3.2 Proiectarea agentului aeroport:

În crearea acestui agent sau folosit următorii parametri globali :

**viteza** = viteza în NM;

**destinatie\_x** = coordonatele xo ale punctului de destinaţie;

**destinatie\_y** = coordonatele oy ale punctului de destinaţie;

**dis** = distanţa faţă de punctul de survol pentru transfer;

**timp** = timpul necesar ajungeri la punctul de survol pentru transfer;

**poz** = poziţia în lista de aşteptare pentru punctul de survol;

**t0** = timpul primei aeronave care ajunge la punctul de survol;

**lista1** = lista cu aeronave care folosesc punctul N-W;

**lista2** = lista cu aeronave care folosesc punctul N-E;

**lista3** = lista cu aeronave care folosesc punctul S-W;

**lista4** = lista cu aeronave care folosesc punctul S-E;

**heading\_nou** = capul nou dorit;

**altitudine** = nivelul de zbor curent;

**destinatie\_z** = nivelul de zbor dorit;

Codul NetLogo poate fi găsit în Anexa 3.

Pentru fluidizarea traficului s-au folosit 4 puncte (N-W, N-E, S-W, S-E) de transfer aterizării.

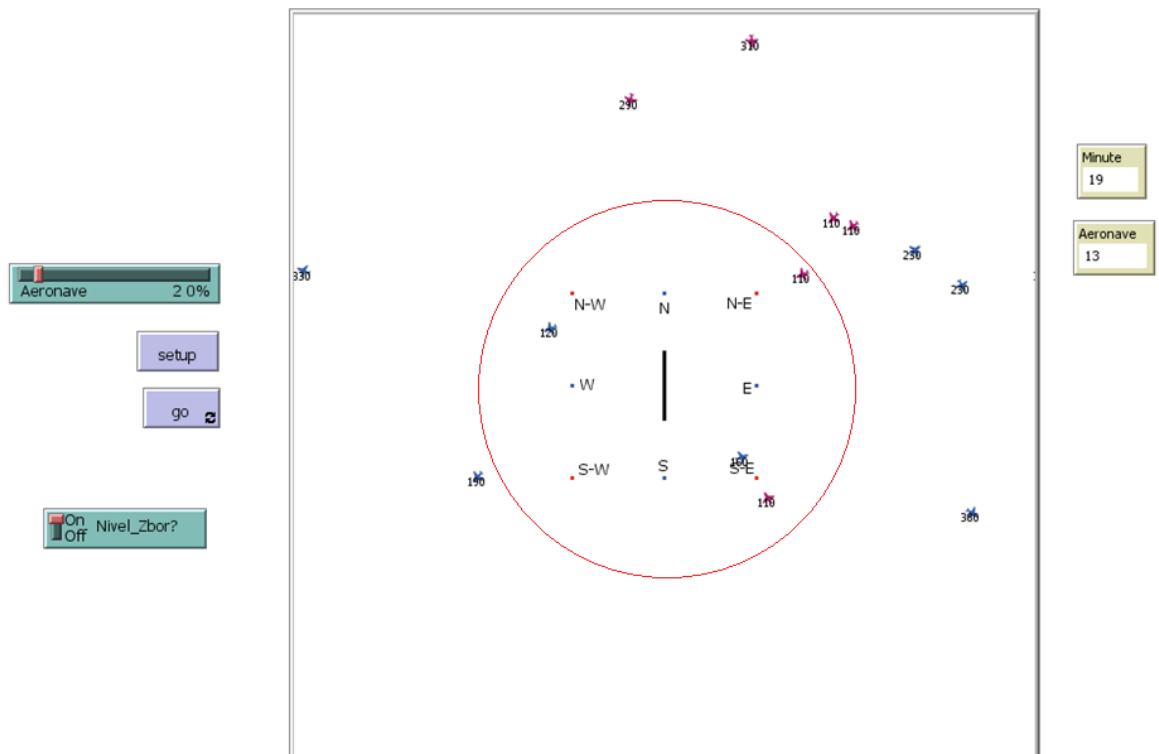


Figura 31 : Agentul Aeroport

Pentru a simula traficul care pleacă de la aeroport s-au folosit 4 puncte de transfer (N, S, E, W).

În modelarea acestui agent s-au folosit 2 tipuri de specii, aeronave care aterizează și aeronave care decolează.

În modelarea aeronavelor care decolează (culoarea albastră) agentul este creat aleatoriu la unul din punctele de transfer și acestuia îi sunt atribuite coordonatele xoy, altitudinea precum și viteza către marginea zonei de responsabilitate.

În modelarea aeronavelor care aterizează (culoare mov) agentul este creat aleatoriu la marginea zonei de responsabilitate, în funcție de poziția acestuia îi este atribuit un punct de transfer pentru aterizare. Conform punctului de transfer și al vitezei curente a acestuia, îi este atribuit un număr de ordine în vederea aterizării. Agentul aeronavă își ajustează viteza și înălțimea pentru a ajunge la punctul de transfer conform poziției comunicate.

În simulării s-a descoperit o limitare în cea ce priveşte numărul maxim de aterizări posibile, pentru a rezolvarea acesta problemă, agentul zone de aşteptare va trebui dezvoltat. Pentru simularea curentă nu s-a depăşit capacitatea unui aeroport respectiv o cursă la 60 secunde pentru fiecare punct de transfer (**Muraru, Boşcoianu, & Luchian, A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 2: Airport Challenges, 2018**).

### 3.3.3 Proiectarea agentului deconflctării IFR

Parametri globali folosiţi:

**heading\_nou** = capul nou dorit;

**viteza** = viteza curentă a agentului;

**Vecini** = o listă cu toţi vecini în rază;

**Apropiat** = cea mai apropiata aeronavă în funcţie de distanţă;

**AA** = unghiul de aspect faţă de apropiat;

**DIST** = distanţa faţă de apropiat;

**HCA** = unghiul de coliziune faţă de apropiat;

**Lista** = distanţa cea mai mică faţă de apropiat dacă se menţin parametri actuali;

**Apropiat1** = a doua cea mai apropiata aeronavă în funcţie de distanţă;

**AA1** = unghiul de aspect faţă de apropiat1;

**DIST1** = distanţa faţă de apropiat1;

**HCA1** = unghiul de coliziune faţă de apropiat1;

**lista1** = distanţa cea mai mică faţă de apropiat1 dacă se menţin parametri actuali;

**Apropiat2** = a doua cea mai apropiată aeronavă în funcţie de distanţă;

**AA2** = unghiul de aspect faţă de apropiat2;

**DIST2** = distanţa faţă de apropiat2;

**HCA2** = unghiul de coliziune faţă de apropiat1;

**lista2** = distanţa cea mai mică faţă de apropiat2 dacă se menţin parametri actuali;

Codul NetLogo poate fi găsit în Anexa 4.

Acest agent a fost creat cu scopul de a menţine eşalonarea orizontală minima de 5 NM, astfel fiecare agent aeronavă comunică cu până la 3 cele mai apropiate aeronave şi îşi ajustează heading\_nou conform lista, lista1 şi lista2.

Mod de funcţionare. Dacă agentul aeronavă curent detectează că lista, lista1 sau lista2 sunt mai mici ca 5 şi îşi ajustează heading\_nou conform formulei regulilor, dacă  $|HCA| > 150$  (capuri convergente) atunci rezultă 4 cazuri:

1. ( $AA > 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading - raza de viraj/s
2. ( $AA < 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading + raza de viraj/s
3. ( $AA > 0$  şi  $HCA > 0$ ) atunci heading\_nou = heading + raza de viraj/s
4. ( $AA < 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading - raza de viraj/s

Dacă  $|HCA| < 150$  atunci cele 4 cazuri devin:

5. ( $AA > 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading + raza de viraj/s
6. ( $AA < 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading - raza de viraj/s
7. ( $AA > 0$  şi  $HCA > 0$ ) atunci heading\_nou = heading - raza de viraj/s
8. ( $AA < 0$  şi  $HCA < 0$ ) atunci heading\_nou = heading + raza de viraj/s

Aceste reguli stau la baza eşalonării orizontale a 2 sau mai multe aeronave, se remarcă faptul că doar o singură aeronavă trebuie să manevreze pentru ca eşalonarea să se atingă.

Aceste calcule se actualizează la fiecare secundă astfel după un număr de secunde se vor găsi capurile noi necesare pentru a îndeplini criteriul de eşalonare minimă orizontală.

În această simulare aeronavele sunt create la limitele zonei și le sunt atribuite o destinație în format xoy o viteză, aeronavele din zona de responsabilitate vor trebui să colaboreze pentru a traversa zona menținând eşalonarea minimă.

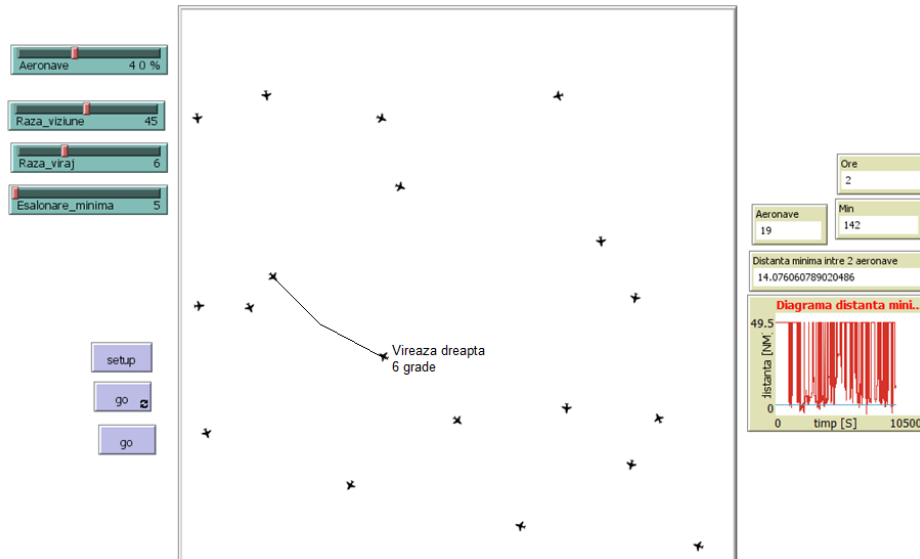


Figura 32 : Agent Deconflicării IFR Eşalonare exclusiv orizontală

În simulări datorită lipsei puteri de procesare s-a convenit folosirea unui număr maxim de 3 agenți care pot fi monitorizați de o dată de un singur agent aeronavă, în experimente rezultă o rata de succes de 100% dacă spațiul este populat până în 15 aeronave și o rata de succes de 100% dar cu eşalonarea minima ajungând la 2 NM pentru 30 de aeronave. Majoritatea conflictelor au apărut datorită supraaglomerării unei porțiuni de spațiu precum și a celor de la limita zonei de responsabilitate respectiv între un agent nou creat și unui care dorește să ajungă în punctul unde acesta din urmă tocmai a fost creat.

Pentru deconflictarea zonelor intense se poate folosi un program de analiză existent pentru a desconggestionarea zonelor aglomerate încă de la faza de decolare LARA: Local And sub-Regional Airspace Management Support System (Eurocontrol, 2016).

Parametri precum Raza de viziune (distanța la care o aeronavă vede alte aeronave) precum și Raza de viraj (număr de grade pe care o aeronavă poate manevra într-o secundă) au fost ajustați pentru a balansa puterea de procesare și nevoia de eşalonare.

### 3.3.4 Proiectarea proiectul integrat

Codul NetLogo poate fi găsit în Anexa 5.

În ultima parte am creat un sistem multi-agent capabil să respecte cerințele unui aeroport, a unei zone restricționate menținând în același timp eşalonarea minimă verticală (1000 de picioare) și cea orizontală (5NM). Din raționamente ale resurselor calculatorului am folosit 6 nivele de zbor (FL310 – FL 360) nu 16 nivele (FL 300 – FL 450) conform cerințelor actuale.

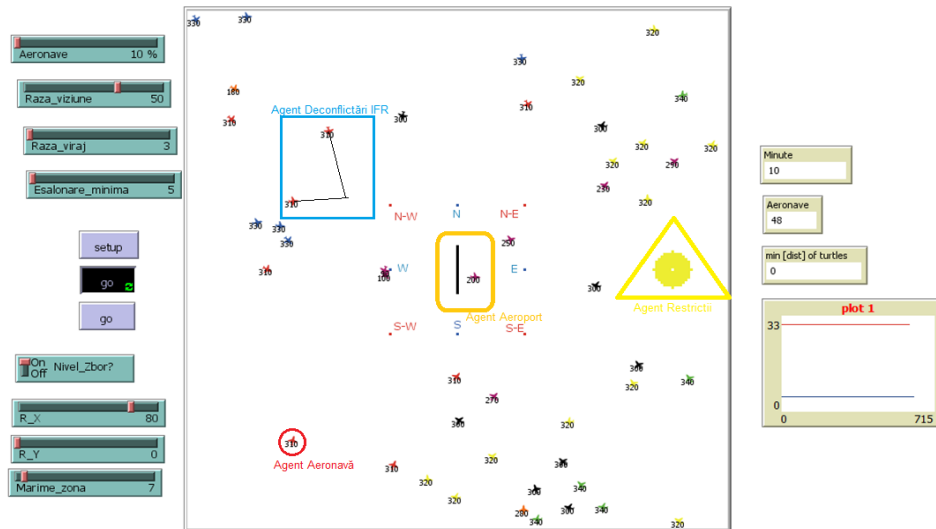


Figura 33 : Sistem multi-agent modelat NetLogo

În varianta finală a proiectului s-au simulat toți parametrii globali descriși la agenți de mai sus adițional pentru 2 nivel de zbor sub aeronavă și pentru 2 nivele de zbor de deasupra agentului aeronavă pentru monitorizarea a până la 3 aeronave.

Funcționarea modelului:

Agentul aeronavă este cheia aplicării cu succes al modelului astfel acesta monitoriză până la 9 aeronave din apropiere, o dată ce un conflict pe nivelul său de zbor este detectat acesta va proceda la verificare dacă se află în conflict cu aeronavele de deasupra apoi cu cele de dedesubt, dacă nici un conflict nu este detectat la nivelul superior sau inferior acesta va proceda la schimbarea nivelului de zbor. Dacă sunt detectate conflicte atât la nivele superioare cât și la cele inferioare el va aplica eșalonarea standard orizontală (Muraru, Boșcoianu, & Luchian, A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 1: Route Challenges, 2018).

La crearea agentul aeronavă poate avea diverse scopuri:

1. scopul de a ateriza la aeroport astfel el va proceda la cel mai apropiat punct de transfer și își va schimba în agent de aterizare, acesta căutând slotul de timp pentru survolul punctului de transfer;
2. scopul de a tranzita zona de responsabilitate, aici aeronava își schimbă specia în survol scopul ei fiind de a tranzita spațiul cât mai rapid evitând încălcarea eșalonării minime;
3. scopul de a decola și de a tranzita zona de responsabilitate, în acest caz aeronava este creată la unul din punctele de transfer specifice pentru aeronavele care pleacă de la aeroport cu un nivel de zbor 130, scopul acestui agent este de a ajunge la nivelul de zbor dorit, de a ajunge la limita zonei de responsabilitate fără a încălca eșalonarea minimă.

### 3.4. ANALIZA ȘI INTERPRETAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

În acest subcapitol vom rula simulări pentru a determina limitele Proiectului integrat precum și pentru a îmbunătății modelul, pentru aceasta Netlogo oferă o opțiune software numită BehaviorSpace aceasta este integrată și permite experimentarea cu anumiți parametri din proiect. BehaviorSpace rulează un model de mai multe ori, variind sistematic opțiunile modelului și înregistrând rezultatele după fiecare simulare, procesul mai are denumirea de “măsurarea parametrilor”, acesta îți dă posibilitatea să explorezi comportamente și să determini care combinație de setări ajută la crearea comportamentului dorit.



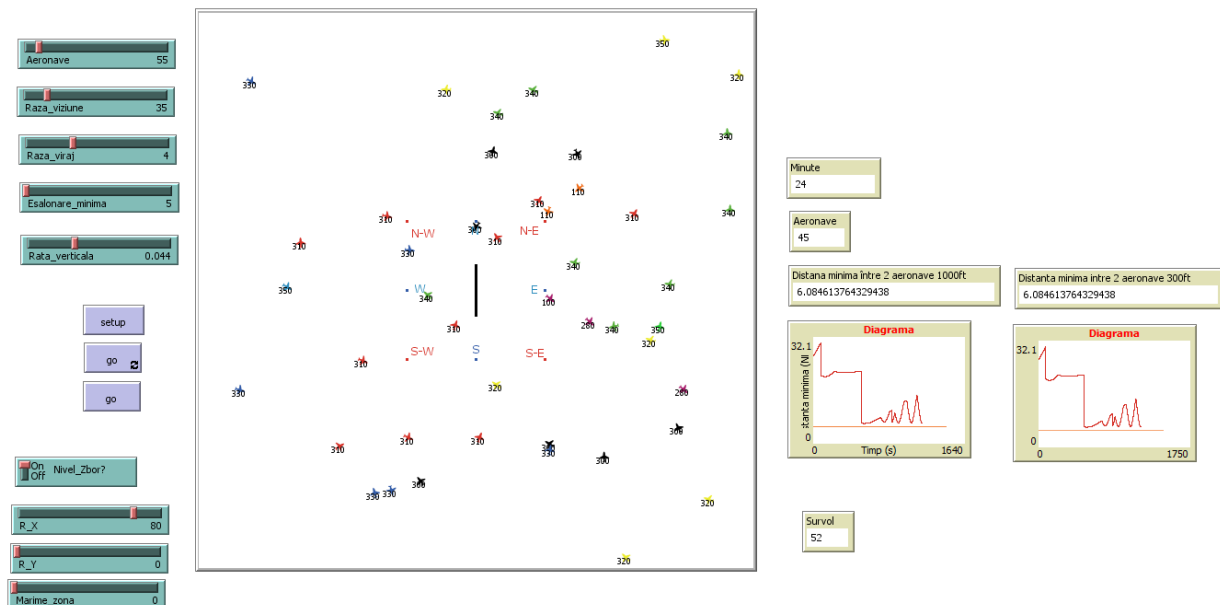


Figura 34: Consola principală Proiect integrat versiune 1.821

Considerente pentru simulare Figura 34:

Lumea creată este un paralelipiped cu latura de 200x200NM unde vom considera o unitate 1 NM.

Vitezele aeronavelor sunt aleatorii între 360 KTS și 486KTS.

Viteza verticală standard este de 2000ft / minut.

Numărul de Nivele de Zbor este de 6 (FL300 – FL 360).

Raza de viraj denumită în simulare “**Raza\_viraj**” este între 1 și 9 grade per secundă cu creșteri de 1 grad.

Numărul de aeronave denumit “**Aeronave**” poate varia între 5 și 500, introducerea acestora în simulare se face progresiv probabilitatea de creare a unei aeronave noi fiind „Aeronave”/800 la fiecare secundă acestea fiind create aleatoriu la marginile simulării.

Aeronavele create în vederea aterizării sunt create la marginea simulării și cele destinate decolării sunt create la punctele de survol specifice, acestea au o probabilitate de 1/400 la fiecare secundă de creare a unei aeronave noi.

“**Raza\_viziune**” este un parametru al simulării și poate varia între 10 și 60 NM cu creșteri de câte 5 NM.

Eșalonare minimă standard este de 5NM în simulare parametrul “**Esalonare\_minima**” permite variații ale acestuia de la 5 NM la 10 NM cu incrementare de 1 NM.

Proiectul integrat este varianta finală de sistem multi-agent care integrează toți agenții prezentați în capitolul 3.3 cu scopul de a deconflicta toate aeronavele care evoluează, schema logică de funcționare a sistemului se găsește în figura de mai jos.

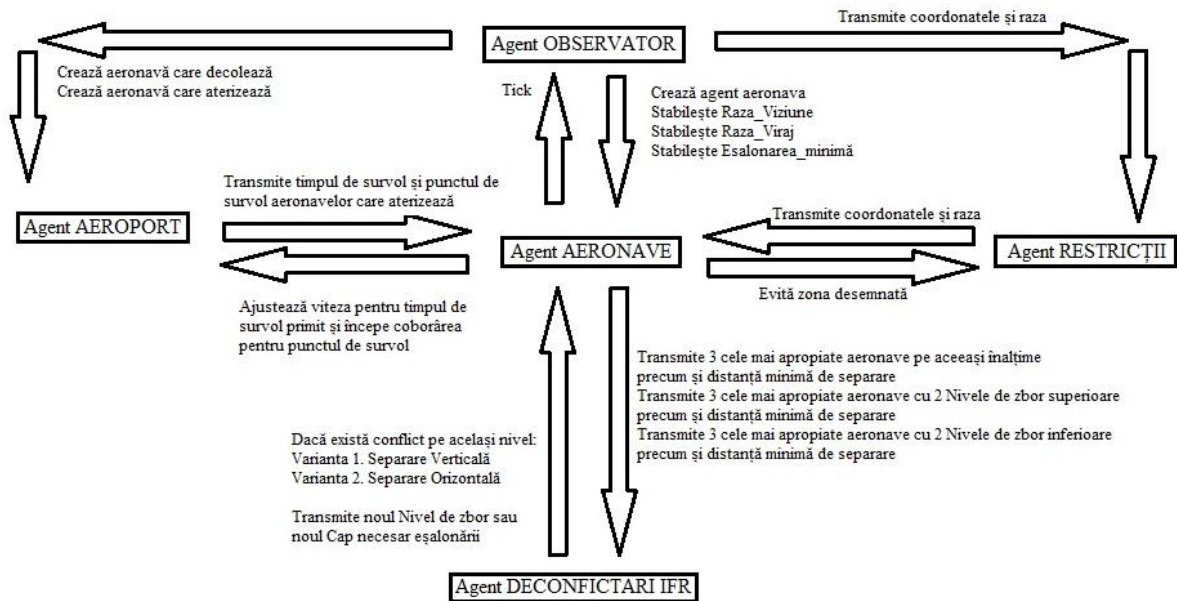


Figura 35: Schema logică simplificată Proiect Integrat

### 3.4.3 Simulare a 540 de cazuri:

Simulările au fost rulate cu versiune 1.821 a programului care corectează o bună parte din erorile de negociere între aeronave folosind următorii parametri:

1. **Aeronave: 50, 60, 70, 80, 90**
2. **Raza\_viraj: 1, 2, 3, 4, 5, 6**
3. **Raza\_viziune: 40, 50, 60**
4. **Eșalonare\_minimă: 5**
5. **Rata\_verticală: 666 , 1333, 2000, 2666, 3333, 4000**

Rezultă un număr toata de 540 de simulări care s-au făcut pe parcursul a 80 ore folosind un calculator personal cu următoarele specificații: Intel Core I5 3570k, 16 GB DDR, SSD 256GB și un laptop Dell: Intel Core I7 2670QM, 8 GB DDR, SSD 256 GB. Durata pentru fiecare simulare este de 180 minute.

S-au ales 6 criterii principale pentru clasificarea rezultatelor:

- a. Numărul mediu de aeronave simulate;
- b. Timpul în minute în care 2 sau mai multe aeronave se aflau sub eșalonarea de 1000ft în 5NM;
- c. Timpul în minute în care 2 sau mai multe aeronave se aflau sub eșalonarea de 300ft în 5NM;
- d. Separarea minimă eșalonare verticală 1000 ft;
- e. Separarea minimă eșalonare verticală 300 ft;
- f. Număr total de aeronave survol;

## 1. Simularea a 50 aeronave

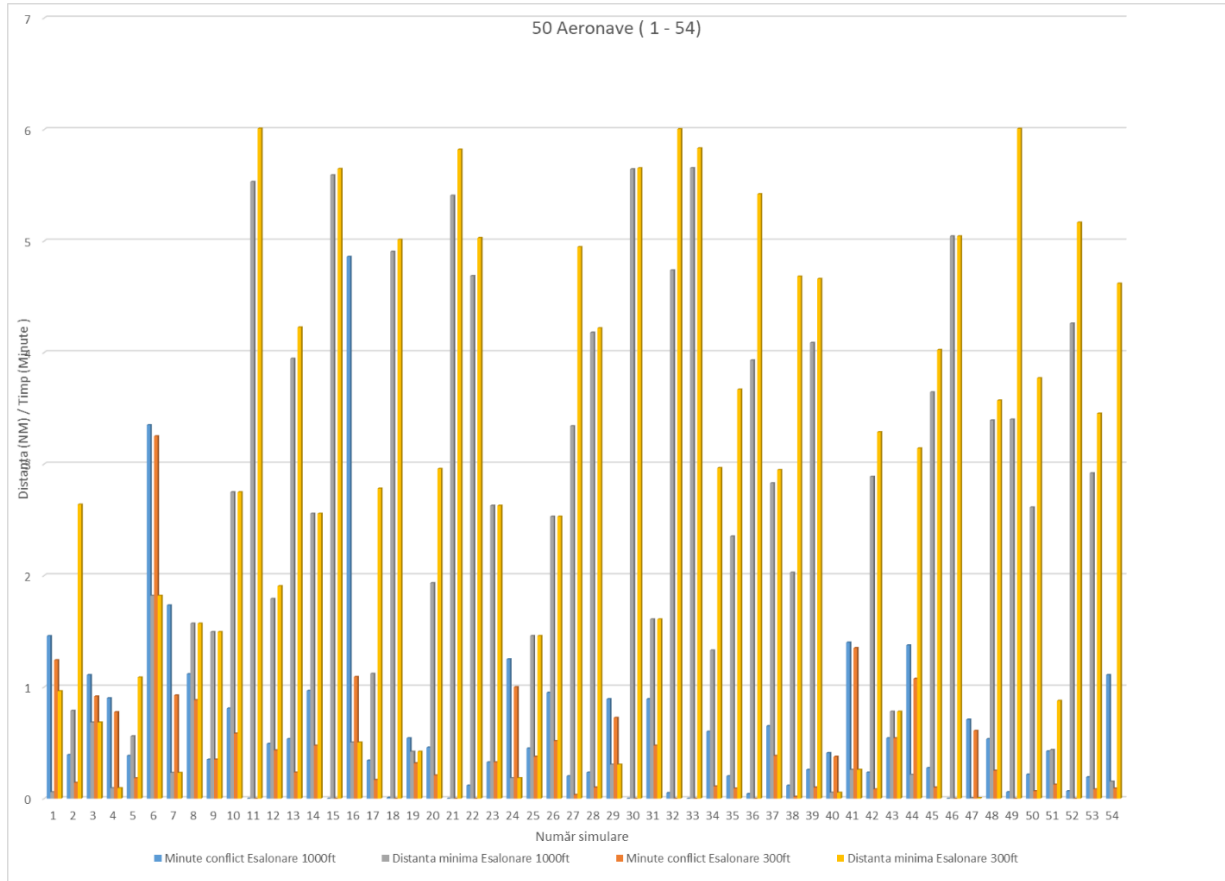


Figura 66: Simulările 1 la 54 a 50 de aeronave (540 de simulări)

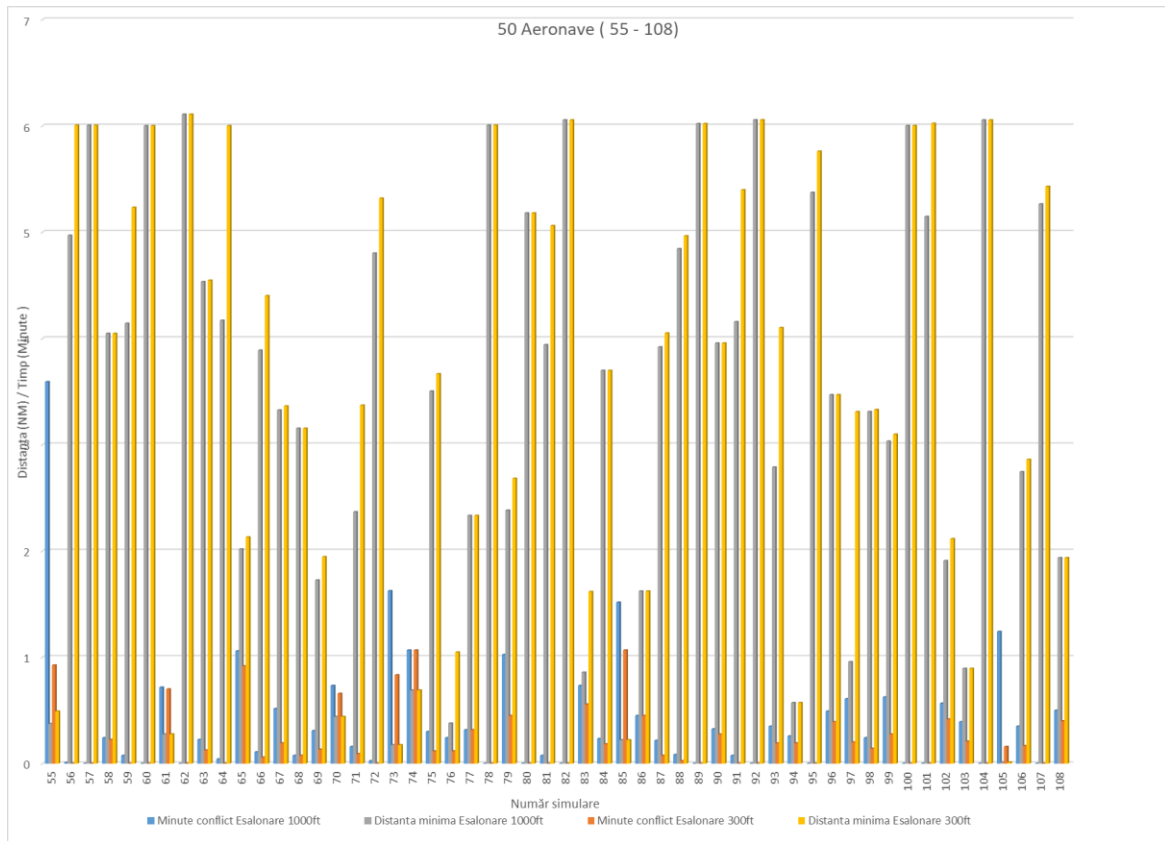


Figura 67 Simulările 55 la 108 a 50 de aeronave (540 de simulări)

După cum se poate observa în figurile de mai sus avem 20 de simulări în care eşalonare minimă este menţinută respectiv în simulările: 11, 15, 21, 30, 33, 46, 57, 60, 62, 78, 80, 82, 88, 89, 92, 95, 100, 101, 104, 107 şi 13 simulări adiţionale în care eşalonarea minimă se menţine peste 4 respectiv dar care păstrează eşalonarea verticală de 5NM la 300ft sunt: 18, 28, 32, 39, 51, 56, 58, 59, 63, 64, 72, 87, 91.

Dacă ar fi să analizăm după eşalonarea verticală de 300ft atunci adiţional faţă de cele menţionate mai sus ar fi: 18, 22, 36, 52, 56, 59, 64, 72, 81, 91.

Număr simulare	11	15	21	30	33	46	56	60	62	78
Distanţa minimă	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Raza viziune	40	40	40	40	40	50	50	50	50	60
Număr aeronave	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Raza viraj	2	3	4	5	6	2	4	4	5	1
Rata verticală	3333	2000	2000	4000	2000	2666	1333	4000	1333	4000

Tabel 2. Parametri simulărilor 11, 15, 21, 30, 33, 46, 56, 60, 62, 78

Număr simulare	80	82	88	89	92	95	100	101	104	107
Distanţa minimă	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Raza viziune	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Număr aeronave	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Raza viraj	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6
Rata verticală	1333	2666	2666	3333	1333	3333	2666	3333	1333	3333

Tabel 3: Parametri simulărilor 80, 82, 88, 89, 93, 95, 100, 101, 104, 107

## 2. Simularea a 60 aeronave

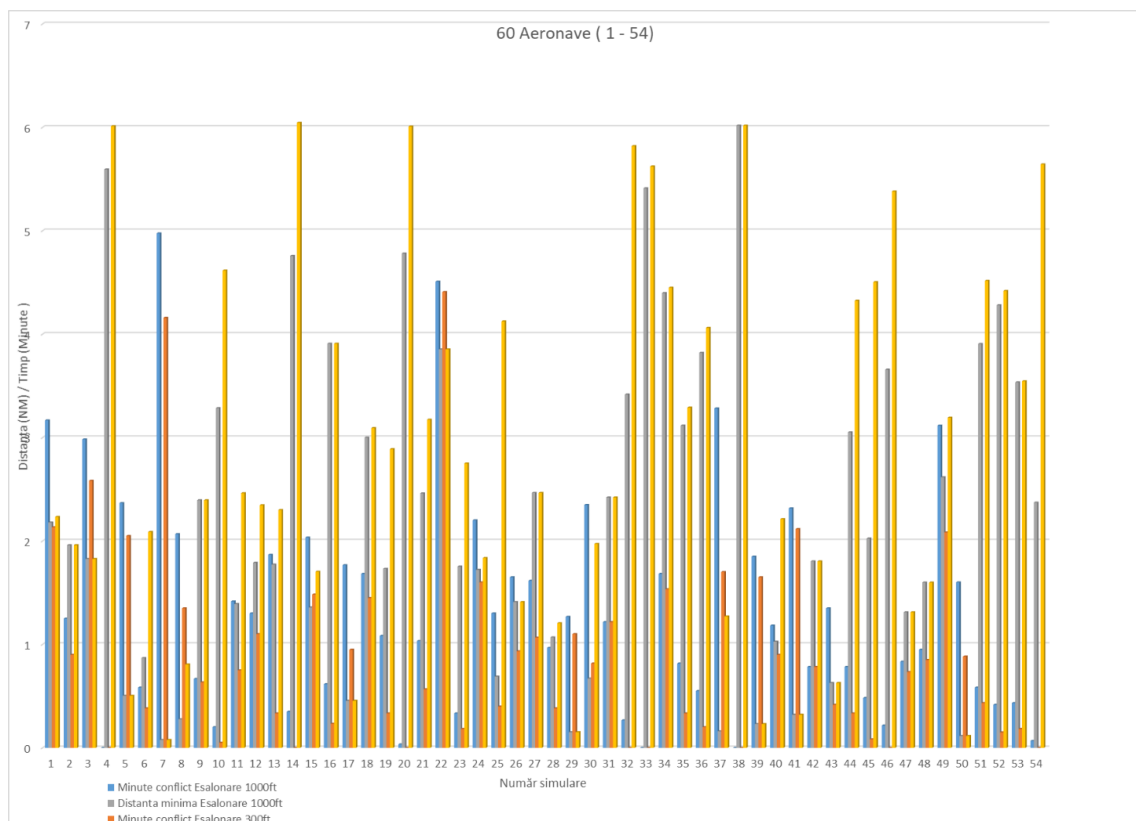


Figura 68: Simulările 1 la 54 a 60 de aeronave (540 de simulări)

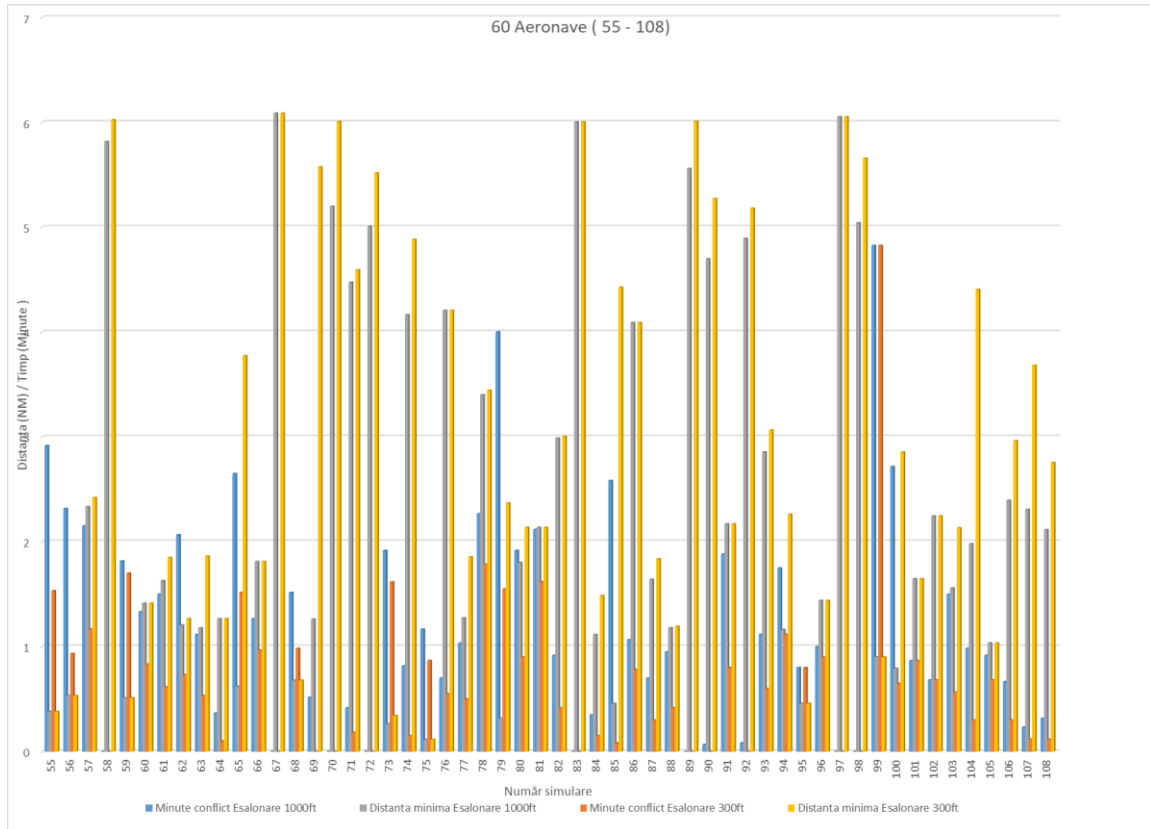


Figura 69: Simulările 55 la 108 a 60 de aeronave (540 de simulări)

După cum se poate observa în figurile de mai sus avem 11 simulări în care eşalonare minimă este menţinută respectiv în simulările: 4, 33, 38, 58, 67, 70, 72, 83, 89, 97, 98 și 11 simulări adiţionale în care eşalonarea minimă este peste 4 NM respectiv: 14, 20, 51, 71, 74, 76, 86, 86, 89, 90, 93.

Număr simulare	4	33	38	58	67	70	72	83	89	97	98
Distanţa minimă	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Raza viziune	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60
Număr aeronave	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Raza viraj	1	6	1	4	6	6	6	2	3	5	5
Rata verticală	2666	2000	1666	2666	666	2666	4000	3333	4000	666	1666

Tabel 4: Parametri simulărilor 4, 33, 38, 58, 67, 70, 72, 83, 89, 97, 98

### 3. Simularea a 70 aeronave

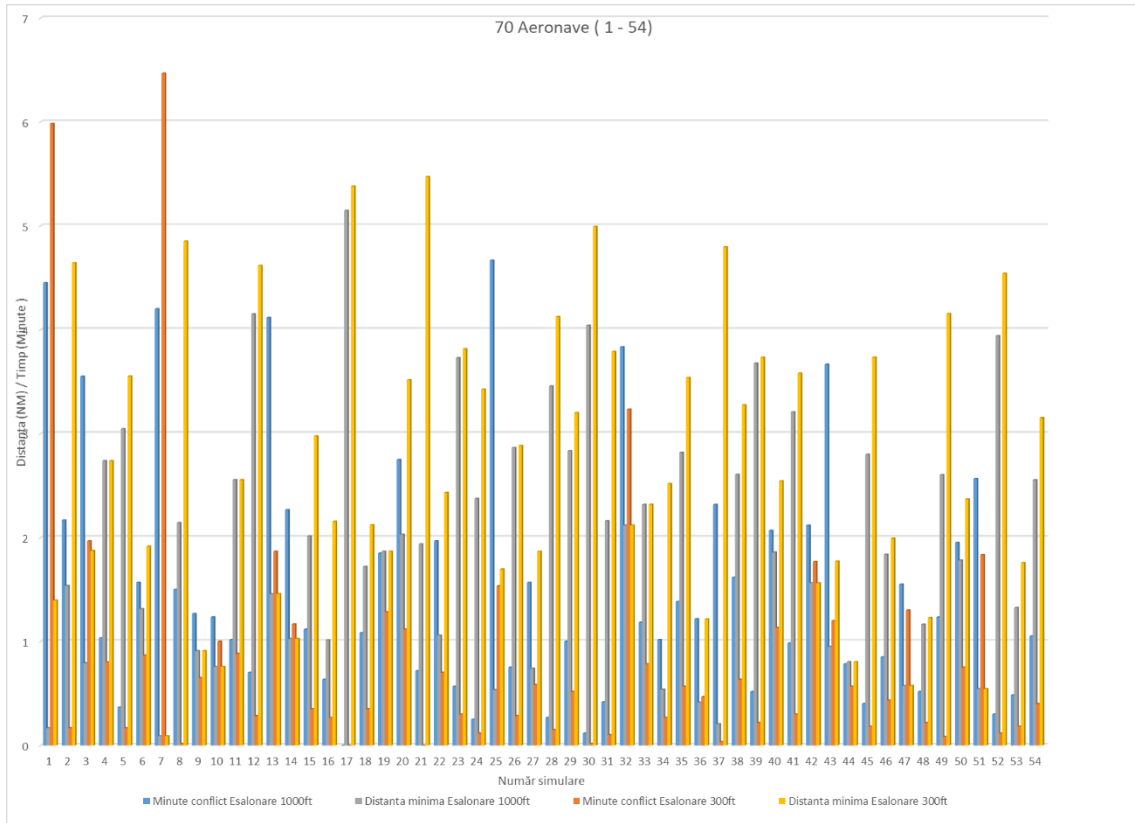


Figura 70: Simulările 1 la 54 a 70 de aeronave (540 de simulări)

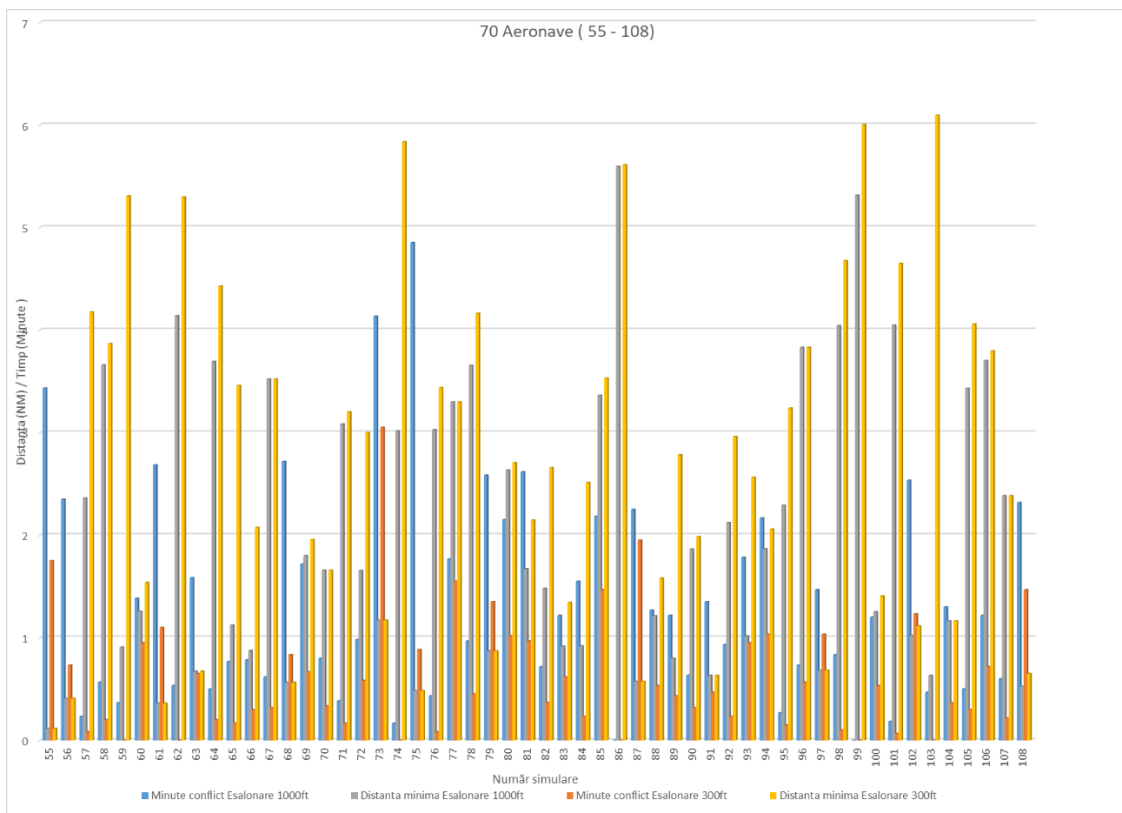


Figura 71: Simulările 55 la 108 a 70 de aeronave (540 de simulări)

După cum se poate observa în figurile de mai sus avem 3 simulări în care eşalonare minimă este menținută respectiv în simulările: 17, 86, 99 și 5 simulări adiționale în care eşalonarea minimă este de peste 4 NM respectiv: 11, 29, 62, 89, 101.

Număr simulare	17	86	99
Distanţa minimă	5	5	5
Raza viziune	40	60	60
Număr aeronave	70	70	70
Raza viraj	3	3	5
Rata verticală	3333	1666	2000

Tabel 5: Parametri simulărilor 17, 86, 99

#### 4. Simularea a 80 aeronave

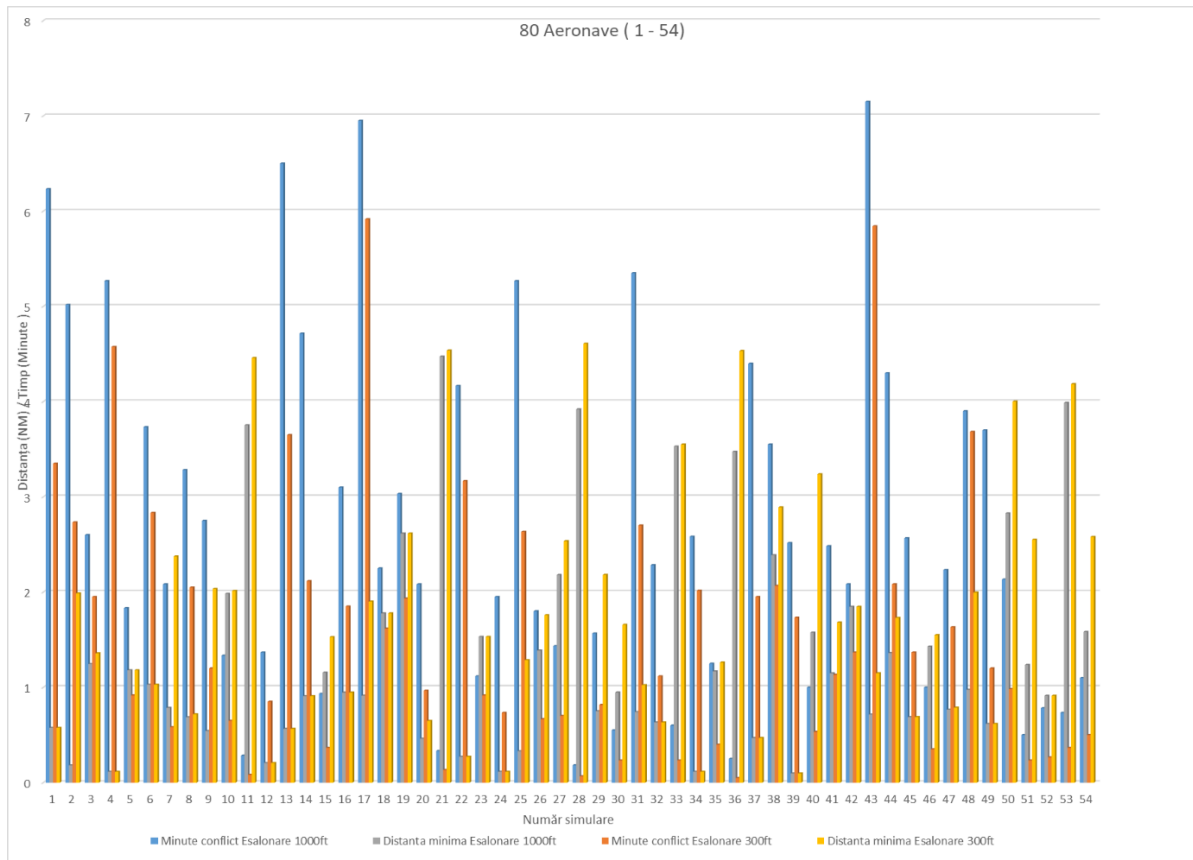


Figura 72: Simulările 1 la 54 a 80 de aeronave (540 de simulări)

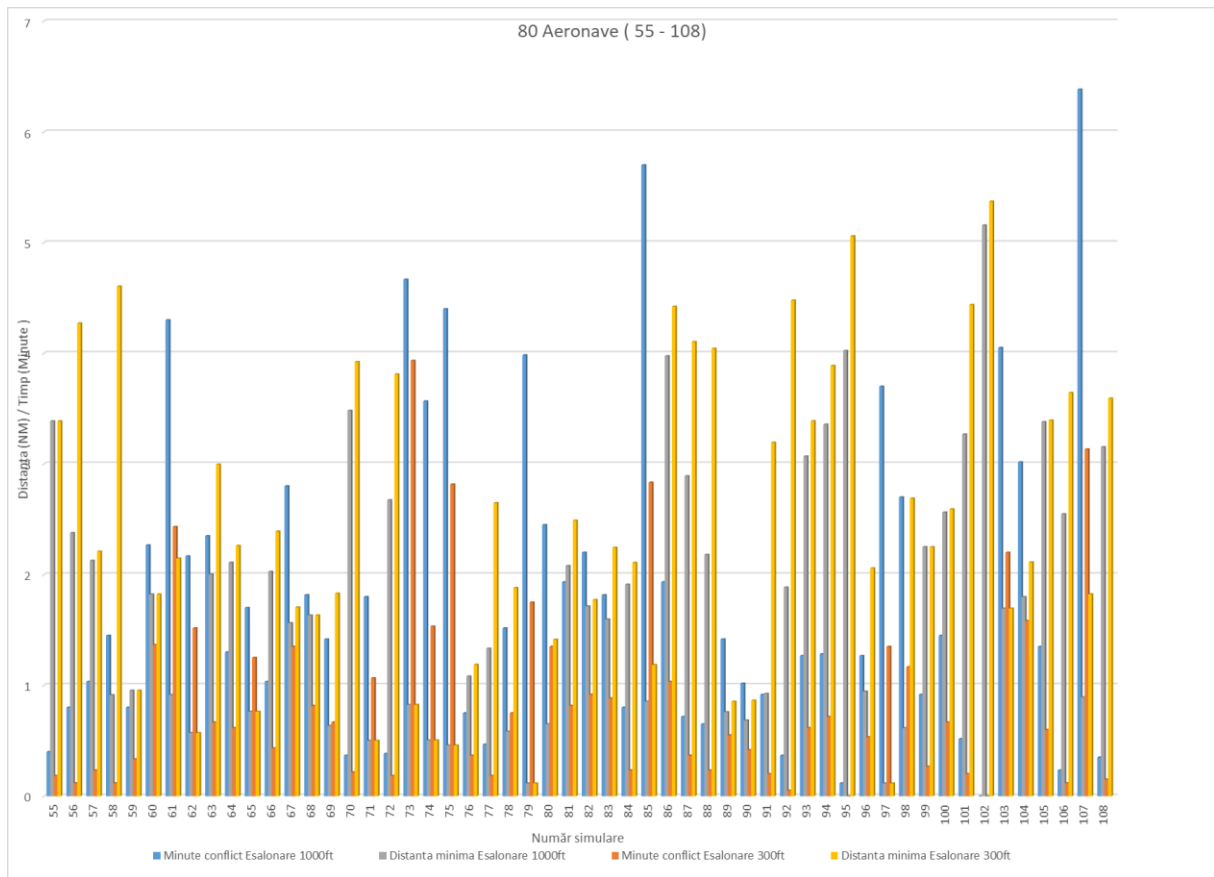


Figura 73: Simulările 55 la 108 a 80 de aeronave (540 de simulări)

După cum se poate observa în figurile de mai sus avem 1 simulări în care eşalonare minimă este menținută respectiv în simulările: 101 și 2 simulări în care eşalonarea minimă este de peste 4 NM: 102, 95.

Număr simulare	102
Distanța minimă	5
Raza viziune	60
Număr aeronave	80
Raza viraj	5
Rata verticală	4000

Tabel 6: Parametri simulărilor 102



## 5. Simularea a 90 aeronave

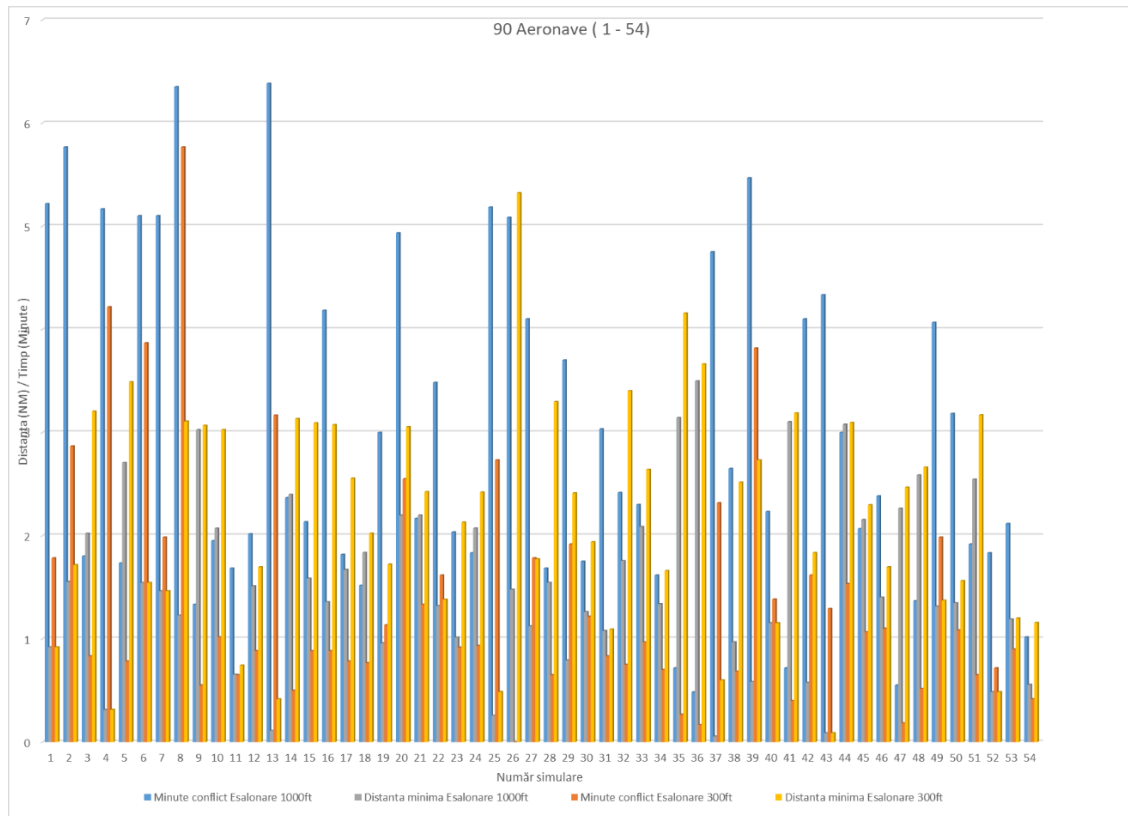


Figura 74: Simulările 1 la 54 a 90 de aeronave (540 de simulări)

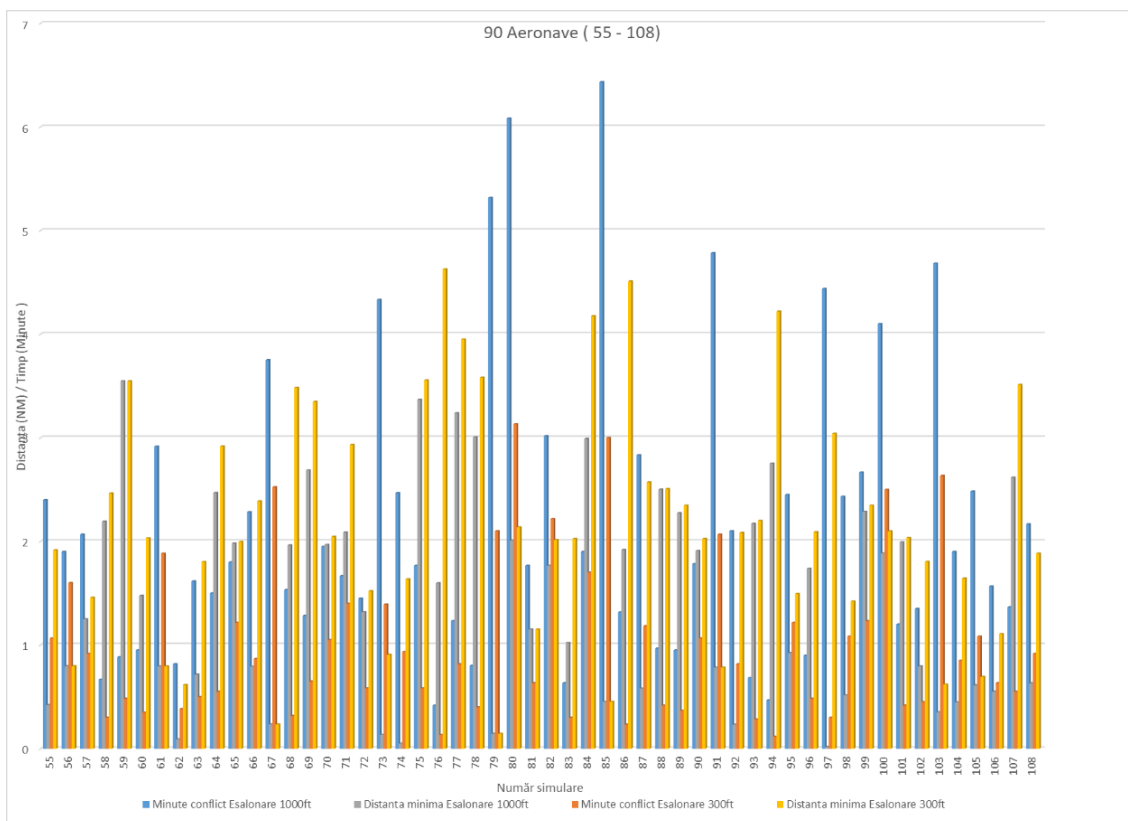


Figura 75: Simulările 55 la 108 a 90 de aeronave (540 de simulări)

După cum se poate observa în figurile de mai sus nu avem nici o simulare care să respecte standardele pentru eşalonare astfel putem concluce că versiunea folosită nu poate suporta mai mult de 80 de aeronave în condițiile date.

### **Concluzii la simularea a 540 cazuri**

Datorită simulărilor de la punctele 3.4.1 și 3.4.2 a fost posibilă crearea acestei versiuni care este prima care oferă comportamentul dorit respectiv menținerea eșalonării minime de 5NM.

Modelul propus versiunea 1.821 a ajuns la comportamentul dorit pentru 50, 60, 70 și 80 de aeronave, putem de asemenea observa că dacă la 50 de aeronave avem 20 de combinații ale parametrilor care asigură eșalonarea minimă acesta scade până la un singur parametru pentru eșalonarea a 80 de aeronave.

De asemenea de remarcat este faptul că parametri necesari menținerii eșalonării minime nu sunt standard se poate observa o dată cu creșterea aeronavelor din simulare și o modificare a parametrilor necesari pentru menținerea comportamentului dorit.

Sistemul a fost creat cu scopul de a deconflicta 2 sau 3 aeronave simultan, putem concluziona că modelul oferă suficientă securitate pentru menținerea în zona de responsabilitate a 50 sau mai puține aeronave cu parametri stabiliți în condițiile simulate, peste acest număr datorită complexității scenariilor negocierea între agenți este insuficientă, rezultând în conflicte de mai mult de 4 aeronave fiind necesare actualizări ale modului de funcționare de bază ale sistemului.

Simularea cu 50 de aeronave poate în medie să rezolve 3000 de aeronave / 24h, dacă ar fi să simulăm întregul spectrul al nivelelor de zbor posibile acesta ar ajunge la 6000 de aeronave / 24h ca comparație traficul mediu deasupra României este de aproximativ 2400 aeronave / 24h.

## CAPITOLUL 4

# IMPLICAȚII MANAGERIALE ÎN ADOPTAREA PROIECTELOR NOI ÎN DOMENIUL MTA

### 4.1. EVALUAREA AMENINȚĂRILOR ȘI ERORILOR

Obiectivul principal al introducerii cadrului pentru Managementul Amenințărilor și Erorilor (MAE) în comunitatea serviciilor de trafic aerian în general, și în special în comunitatea de Control al Traficului Aerian (CTA), este de a spori siguranța și eficiența aviației. Acest lucru este realizat prin furnizarea unui cadru operațional relevant și extrem de intuitiv pentru înțelegerea și gestionarea performanțelor sistemelor, precum și ale oamenilor în contexte operaționale. Un obiectiv suplimentar în introducerea MAE este de a pune bazele furnizorilor STA pentru adoptarea unui instrument MAE bazat pe monitorizarea siguranței în timpul operațiunilor normale, ca parte a sistemelor CTA de management al siguranței (Dekker & Lundström, 2007).

Trebuie să se precizeze încă de la început că MAE nu este un instrument de cercetare a factorilor umani, nici un instrument de evaluare a performanței umane. MAE este un instrument operațional conceput, în principal, dar nu exclusiv, de către managerii de siguranță în eforturile lor de identificare și gestionare a problemelor de siguranță, deoarece acestea pot afecta siguranța și eficiența operațiunilor de aviație.

#### 4.1.1. Introducere

Managementul amenințărilor și erorilor este un concept de siguranță cuprinzător privind operațiunile aviatice și performanțele umane. MAE nu este un concept revoluționar, ci unul care a evoluat gradual, ca o consecință a efortului constant de a îmbunătăți marjele de siguranță în operațiunile de aviație prin integrarea practică a cunoștințelor factorilor umani (Maurino, 2005).

MAE a fost dezvoltat ca un produs al experienței industriei aviatice colective. Această experiență a stimulat recunoașterea faptului că studiile anterioare și, cel mai important, considerarea operațională a performanțelor umane în aviație au trecut cu vederea cel mai important factor care influențează performanța umană în medii de lucru dinamice: interacțiunea dintre oameni și contextul operațional (organizare, factori de mediu), în cadrul cărora oamenii și-au îndeplinit sarcinile operaționale.

#### 4.1.2. Cadrul de gestionare a amenințărilor și a erorilor

Cadrul de gestionare a amenințărilor și erorilor este un model conceptual care ajută la înțelegerea, din punct de vedere operațional, a relației dintre siguranță și performanță umană în contexte operaționale dinamice și provocatoare.

Cadrul MAE se concentrează simultan asupra contextului operațional și a persoanelor care îndeplinesc sarcinile operaționale într-un astfel de context. Cadrul ajută la înțelegerea problemelor și este descriptiv atât al performanței umane cât și al sistemului. Este descriptiv deoarece capturează performanța umană și a sistemului în contextul operațional normal, ducând la descrieri realiste. Ajută la înțelegerea problemelor deoarece permite cuantificarea complexității contextului operațional în raport cu descrierea performanței umane în acest context și invers

#### 4.1.3. Componentele cadrului MAE

Există trei componente de bază în cadrul MAE, din perspectiva controlorilor de trafic aerian: amenințări, erori și stări nedorite. Cadrul propune ca amenințările și erorile să facă parte din operațiunile zilnice de aviație care trebuie gestionate de controlorii de trafic aerian, deoarece atât amenințările, cât și erorile au potențialul de a genera stări nedorite. Controlorii de trafic aerian trebuie, de asemenea, să gestioneze stări nedorite, deoarece acestea prezintă potențialul pentru rezultate nesigure.

Managementul comportamentului nedorit este o componentă esențială a cadrului MAE, la fel de important ca și gestionarea amenințărilor și erorilor. Gestionarea comportamentului nedorit reprezintă în mare măsură ultima oportunitate de a evita un rezultat nesigur și, astfel, menține marjele de siguranță în operațiunile CTA (Earl, Murray, & Bates, 2011).

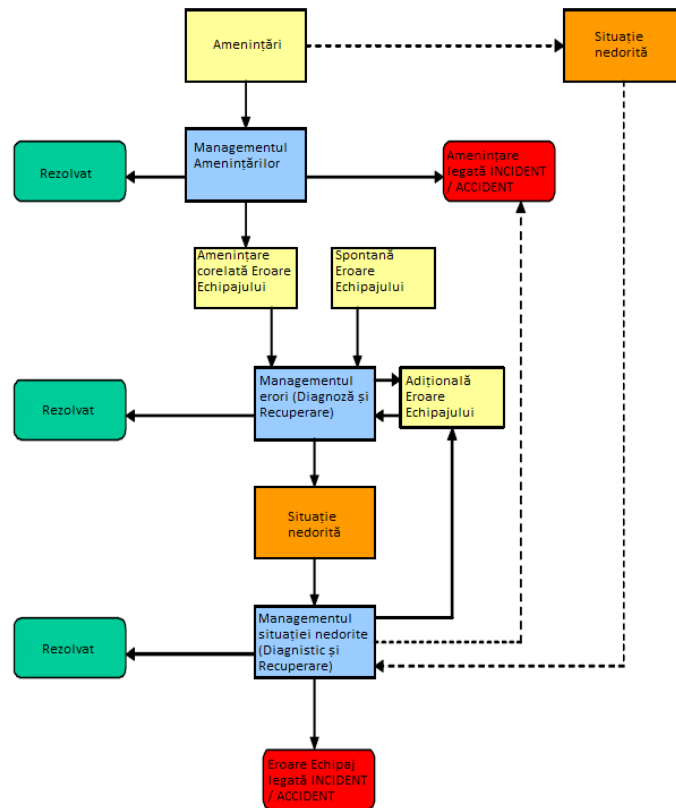


Figura 76: Sistemul de gestionare a amenințărilor și a erorilor

#### 4.1.4. Amenințări în CTA

Amenințări în CTA pot fi grupate în 4 mari categorii:

- a. Interne;
- b. Externe;
- c. În aer;
- d. De mediu.

Aceste 4 categorii pot fi subdivizate în alte categorii prezentate în tabelul de mai jos ca un exemplu. Conștientizarea acestor riscuri vor asista dezvoltarea a contramăsurilor individuale și organizaționale pentru a menține siguranța în timpul operațiunilor CTA normale.

Interne	Externe	În aer	De mediu
Echipament	Poziționarea aeroportului	Piloți	Vreme
Factori specifici locului de muncă	Mijloacele de radionavigație	Performanțele aeronavelor	Geografice
Procedurale	Infrastructura spațiului aerian	Comunicații	Mediul
Alți controlori	Unitățile învecinate	Trafic	Distrageri

Tabel 7: Principalele categorii de amenințări pentru controlori de trafic

#### 4.1.5. Erori în controlul traficului aerian

Această secțiune oferă exemple specifice de erori în controlul traficului aerian din perspectiva MAE. Unul dintre premisele din MAE este că perspectivele privind erorile, așa cum sunt reprezentate de opiniile tradiționale asupra erorilor umane, nu reflectă în mod corespunzător realitățile contextelor operaționale. Personalul operațional din industriile de ultra-securitate, din care aviația este un exemplu perfect, nu adoptă cursuri de acțiune doar prin alegerea unui rezultat bun și rău. Mai degrabă adoptă cursuri de acțiune care par a fi cele mai bune în lumina pregătirii, experienței și înțelegerii situației. Ei înțeleg contextul operațional în care sunt scufundați, pe baza indicațiilor și indiciilor furnizate de contextul situației. Numai după aceea, când se cunoaște rezultatul unei astfel de încercări de a face sens (rezultatul), este posibil să se sugereze, cu avantajul retrospectivității, că o viziune diferită ar fi avut probabil un rezultat mai de dorit.

#### 4.1.6. Situații nedorite în controlul traficului aerian

Noțiunea de situație nedorită este unică pentru procesul de monitorizare a siguranței în operațiunile normale. O stare nedorită este de natură tranzitorie - există doar pentru o perioadă limitată de timp, după care starea nedorită devine un rezultat (adică o situație rezolvată sau gestionată, un incident sau un accident). Sistemele convenționale de colectare a datelor privind siguranța devin active numai după ce un rezultat este clasificat ca posibilă consecință a siguranței, și anume după ce a avut loc un incident sau un accident sau s-a produs o încălcare a reglementărilor, a procedurilor sau a instrucțiunilor. Nimic nu poate fi făcut pentru a schimba un rezultat, pentru că rezultatul este o stare finală.

#### 4.1.7. Concluzii

Primul pas în procesul de gestionare a amenințărilor este identificarea amenințărilor. De exemplu, un birou meteorologic care oferă previziuni meteorologice regulate, constituie deja o modalitate de a înțelege vremea rea ca o amenințare. De asemenea, un controlor poate cere aeronavelor vântul (direcția și viteza) la o anumită altitudine sau nivel, pentru a putea furniza vectori radar mai exacti.

Un pas în plus este de a partaja informații în timp real cu privire la existența amenințărilor cu alți controlori. Pentru a utiliza un exemplu de "performanță a aeronavei", observând performanța de urcare a unui B747 cu o destinație relativ apropiată de aeroportul de plecare, controlorul turnului ar putea alerta controlorul de plecare asupra faptului că B747 urcă mai repede decât trebuia. Transmiterea informațiilor despre diferitele viteze ale vântului și direcțiile la diferite altitudini de la un controlor la altul este un alt exemplu de schimb de cunoștințe despre amenințări.

În cazul în care "mediul înconjurător" este o amenințare, gestionarea acestuia poate fi facilitată de către controlori în cazul în care terenul înalt sau obstacolele sunt descrise pe harta radar. Acest lucru este valabil și pentru zonele rezidențiale care trebuie evitate pentru reducerea zgomotului sub anumite altitudini sau în anumite ore. Dacă aceste zone pot fi prezentate pe harta radar atunci când este necesar, controlorii vor putea să gestioneze amenințarea într-un mod mai adecvat.

La nivel individual, amenințările pot fi, de asemenea, gestionate prin urmărirea numărului de amenințări care sunt prezente la un moment dat. Cu cât există mai multe amenințări în același timp, cu atât mai mult este posibil ca operația să fie ajustată așa cum se efectuează în acel moment.

Ca regulă generală, se poate spune, cu cât este mai mare intervalul de timp între identificarea amenințărilor și când se manifestă amenințarea, cu atât este mai mare șansa ca amenințarea să fie gestionată în mod adecvat. Informațiile despre zborurile foto, misiunile de control al traficului rutier etc. vor permite, inclusiv în acest sens, planificarea. Fără o informare despre acestea, un astfel de volum de muncă suplimentar poate surprinde și ar putea perturba operațiile.

## 4.2. FUNDAMENTAREA PROCESULUI DECIZIONAL ÎN MEDII CARACTERIZATE PRIN INCERTITUDINEA ŞI VOLATILITATEA CU AJUTORUL PARADIGMELOR DIN OPŢIUNILE REALE

Deoarece investițiile de capital absorb cantități semnificative de numerar și determină activitatea viitoare a afacerilor, evaluarea proiectului de investiții este considerată a fi una dintre cele mai importante decizii pe care companiile trebuie să le facă. În ultimele două decenii, țările dezvoltate au folosit metode contemporane de evaluarea a proiectelor de investiții care includ posibilitatea de ajustare a deciziilor viitoare în funcție de condițiile din mediul de afaceri.

Evaluarea eficienței investițiilor de capital nu poate fi o bază fiabilă sau obiectivă pentru luarea deciziilor de investiții decât dacă se ia în considerare și analiza opțiunilor reale. Deși abordarea opțiunilor reale pune la îndoială fiabilitatea metodelor tradiționale de evaluare a proiectelor de investiții, ar trebui să servească în primul rând ca supliment și nu ca un înlocuitor al metodelor tradiționale de evaluare a proiectelor de investiții.

### 4.2.1. Introducere

În procesul de evaluare a acceptabilității unui proiect de investiții, metoda tradițională a fluxului de numerar actualizat presupune că societatea își va păstra activele în mod pasiv, adică ignoră ajustările pe care compania le-ar putea face după ce proiectul a fost acceptat și implementat. Ajustările care permit flexibilitatea modificării deciziilor vechi când se schimbă condițiile legate de proiect sunt cunoscute ca opțiuni reale. Termenul de opțiune reală a fost introdus de Steward Myers în anul 1977, potrivit acestuia, evaluarea posibilităților de investiție utilizând metoda valorii nete actuale ignoră valoarea opțiunii care rezultă din incertitudinea inevitabilă în fiecare proiect. Un deceniu mai târziu, metoda opțiunii reale s-a extins la luarea deciziilor de investiții, parțial din cauza contribuției numeroșilor autori.

### 4.2.2. Tipuri de opțiuni reale

Atunci când ia decizii de investiții, abordarea opțiunilor reale include gestionarea riscurilor și a incertitudinii cu ajutorul diferitelor opțiuni care pot fi utilizate sau abandonate, în funcție de schimbările viitoare ale piețelor și ale tehnologiei. Cu cât este mai mare incertitudinea în jurul investiției, cu atât este mai mare posibilitatea ca opțiunea să fie exercitată, făcând astfel valoarea acesteia mai mare. Unele dintre opțiunile reale disponibile sunt:

- 1) Opțiunea de extindere;
- 2) Opțiunea de abandon;
- 3) Opțiunea de a schimba intrările și ieșirile;
- 4) Opțiunea de amânare.

### 4.2.3. Evaluare opțiunilor reale

Metodele tradiționale ale fluxurilor de numerar actualizate sunt relativ ușor de înțeles, deoarece cadrul teoretic al acestei metode este clar, iar conceptul valorii în timp a banilor este singura condiție prealabilă pentru înțelegerea lor. În comparație cu instrumentele tradiționale de evaluare a proiectelor, analiza reală a opțiunilor este considerabil mai complexă și necesită un grad mai mare de înțelegere matematic.

În abordarea opțiunilor reale, oportunitățile de investiții sunt observate ca opțiuni financiare. Anume, opțiunea reprezintă dreptul (dar nu și obligația) de a cumpăra sau de a vinde orice titlu de valoare, la un preț prestabilit. Urmând logica opțiunilor financiare, investitorul are posibilitatea (dreptul, dar nu și obligația) de a investi într-un proiect. Dacă investește, ați realizat această opțiune. Dacă nu intrați în proiect, opțiunea rămâne porțiunile neutilizate ale dreptului, deoarece prețul minim al opțiunii este 0 (zero),



$$C = \text{Max}(S-X, 0),$$

Unde,

C = valoarea opţiunii de call

S = preţul de piaţă al unei acţiuni,

X = preţul realizării opţiunii

### **Modelul Black & Scholes**

Cel mai comun model bazat pe ecuaţii diferenţiale parţiale şi utilizat pentru evaluarea opţiunilor financiare şi reale este modelul de evaluare a opţiunilor Black & Scholes (Black & Scholes, 1973). Fisher Black, Myron Scholes şi Robert Merton au stabilit în 1973 o formulă bine cunoscută Black & Scholes pentru evaluarea derivatelor. Formula poate fi utilizată pentru evaluarea opţiunilor privind acţiunile, valutele, proprietăţile imobiliare şi este utilizată de opţiunile comercianţilor, bancherilor de investiţii şi managerilor financiari. Modelul de bază se bazează pe următoarele ipoteze (Black & Scholes, 1973), în perioada până la maturitatea opţiunilor:

- Modelul nu ia în considerare costurile tranzacţiilor sau taxele;
- Rata dobânzii fără risc este constantă în timp;
- Opţiunile pot fi efectuate numai la scadenţă (opţiunea europeană);
- Rentabilitatea acţiunilor are distribuţia log-normală, ceea ce înseamnă că este un logaritm natural al revenirii la un stoc  $\ln(1 + r)$  sub forma curbei normale.

### **Modelul binomial**

Al doilea cel mai popular este modelul binomial de evaluare al opţiunilor. Modelul binomial arată că un arbore de decizie în care valorile posibile ale proprietăţii de baza se schimbă în funcţie de perioada de maturitate a opţiunii. Acest model urmăreşte mişcarea preţurilor bunurilor ca un proces binomial în care activele se pot deplasa în două direcţii posibile, adică pot cădea sau creşte. Modificările valorii proprietăţii sunt marcate cu factorii  $u$  şi  $d$ , unde  $u > 1$  şi  $d < 1$  (Cox, Ross, & Rubinstein, 1979). Ipotezele de bază ale modelului de evaluare a opţiunilor binomiale sunt următoarele:

- Piaţa este eficientă: toate informaţiile relevante sunt disponibile simultan tuturor investitorilor şi fiecare investitor acţionează raţional;
- Nu există costuri fiscale sau de tranzacţie;
- Rata dobânzii fără risc este constantă în timp;
- Preţul acţiunilor (valoarea proprietăţii imobiliare) urmăreşte procesul binomial multiplicativ în timp discret.

#### **4.2.4. Evaluarea proiectului utilizarea opţiunilor reale (studiu de caz)**

Un exemplu de evaluare a proiectelor de investiţii care utilizează modelul Black & Scholes şi modelul binomial este prezentat mai jos.

Problemă:

SESAR2020 şi NEXTGEN au în vedere dezvoltarea unui sistem nou care să asiste controlorii de trafic aerian. Perioada de dezvoltare a produsului este de 5 ani. Metodele fluxului de numerar actualizate (DCF), care utilizează o rată de actualizare adecvată la risc, au arătat că valoarea actualizată a fluxurilor nete de numerar viitoare aşteptate din exploatarea noului sistem se ridică la 25 milioane, în timp ce costul de investiţie pentru dezvoltarea produsului este de aşteptat să fie 35 de milioane. Incertitudinea fluxurilor de trezorerie viitoare (volatilitatea anuală) este estimată la 40%, iar rata anuală fără risc aferentă perioadei de viaţă a opţiunii este de 5%. Care este valoarea opţiunii de aşteptare (întârziere)?

### 1) Modelul Black Scholes

Opțiunea de așteptare sau de întârziere apare ca un tip de opțiune de cumpărare, care oferă posibilitatea dobândirii unei valori actuale nete pozitive în viitor, datorită circumstanțelor care afectează formarea valorii actuale nete a proiectului. Sunt cunoscuți următorii parametri de intrare:  $S_0 = 25$  milioane,  $X = 35$  milioane,  $s = 40\%$ ,  $r = 5\%$ ,  $T = 5$  ani.

$$d_1 = \frac{\left[ \ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right) * T \right]}{\sigma\sqrt{T}} = \frac{\left[ \ln\left(\frac{25}{352.4}\right) + (0.05 + 0.5 * 0.4^2) * 5 \right]}{0.4\sqrt{5}} = 0.350535$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} = 0.350535 - 0.4\sqrt{5} = -0.54389$$

$$C = S_0 * N(d_1) - \frac{E}{e^{rt}} * N(d_2) = 25 * N(0.350535) - \frac{2.435}{2.71828^{0.05 * 5}} * N(-0.54389) = 7.932153 \text{ milioane}$$

### 2. Modelul binomial

După identificarea intrărilor necesare pentru configurarea modelului care sunt aceleași ca în modelul Black & Scholes cu excepția faptului că  $\delta = 1$  ani, este necesar să se calculeze parametrii  $u$ ,  $d$  și  $p$ :

$$u = \exp(\sigma\sqrt{\delta T}) = \exp(0.4 * \sqrt{1}) = 1.491825$$

$$d = \frac{1}{u} = \frac{1}{1.491825} = 0.67032$$

$$p = \frac{\exp(r * \delta * T) - d}{u - d} = \frac{\exp(0.05 * 1) - 0.67032}{1.491825 - 0.67032} = 0.463724$$

Apoi, este necesar să se creeze un arbore binomial și să se calculeze valorile activelor pe fiecare nod al copacului binomial, utilizând un interval de timp de un an. Timpul de maturitate a opțiunilor poate fi împărțit în mai multe etape. La finalizarea fiecărei faze, managementul are opțiunea de a investi în dezvoltarea produsului în acel moment sau de a întârzia punerea sa în aplicare și de a aștepta până la următoarea perioadă determinată de timp. Numerele superioare din arborele binomial prezintă valorile viitoare ale activelor preconizate pe durata opțiunii, iar numerele inferioare indică valorile opțiunilor așa cum sunt prezentate în figura de mai jos.

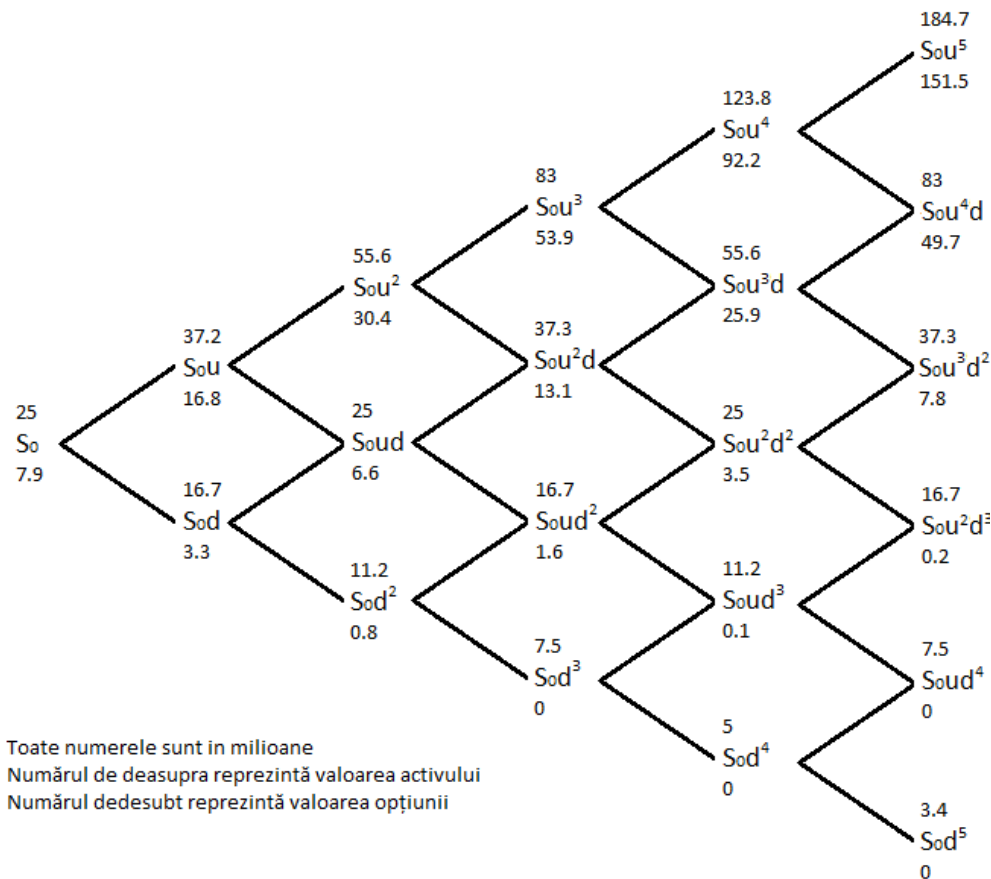


Figura 77: Arborele binomial pentru opțiunea de așteptare

La pregătirea copacului binomial este necesar să se prezinte valoarea fluxurilor de trezorerie așteptate care rezultă din investirea în dezvoltarea noului produs,  $S_0$  înmulțirea cu factorul  $u$  și  $d$  pentru a obține  $S_{0u}$  și  $S_{0d}$ . Mutarea în dreapta, cu aceeași procedură, este necesar să se calculeze valoarea așteptată a fluxurilor de trezorerie pentru fiecare nod din arborele binomial până la ultima etapă (Kodukula & Papadesu, 2006). De exemplu;  $S_{0u} = 25$  milioane \*  $1.491825 = 37.2$  milioane;  $S_{0d} = 25$  milioane \*  $0.67032 = 16.7$  milioane.

La sfârșitul celui de-al doilea an, se preconizează că introducerea unui nou produs va genera fluxuri de trezorerie între 55.6 milioane și 11.2 milioane, iar la sfârșitul celui de-al cincilea an valorile posibile ale fluxurilor de numerar așteptate variază între 184.7 milioane și 3.4 milioane.

Odată ce au învățat valoarea viitoarelor fluxuri de numerar așteptate la fiecare nod al copacului binomial care sunt afișate sub forma valorilor de mai sus, este necesar ca fiecare nod să calculeze valoarea sau prețul opțiunilor. Valorile opțiunii sunt calculate din valorile extreme din schemă, în funcție de valorile inițiale la stânga ("inducție înapoi"). La fiecare nod există posibilitatea de a investi în dezvoltarea unui produs nou sau amânarea investiției. La nodul ;  $S_{0u^5}$ , valoarea așteptată a activelor este de 184.7 milioane. Dacă opțiunea este exercitată în al cincilea an și costul de investiție al dezvoltării unui nou produs este de 240 milioane, valoarea netă a activului nou introdus este: 184.7 milioane - 35 milioane = 149.7 milioane. Dar dacă am întârzia realizarea opțiunii și așteptăm până la următoarea perioadă de timp, veniturile vor fi zero, deoarece opțiunea expiră (devine fără valoare) la sfârșitul celui de-al cincilea an datorită impactului concurenței și al altor factori influenți pe piață. Prin urmare, la nodul ;  $S_{0u^5}$  valoarea opțiunii este de 151.5 milioane, iar decizia rațională nu va fi să așteptăm, ci mai degrabă să investim în dezvoltarea de noi produse.

Valoarea activului aşteptată la nodul ;  $S_0u^2d^3$  este de 16.7 milioane, dar valoarea opţiunii la acest nod este zero, deoarece investiţia de 35 milioane duce la o pierdere netă de 18,3 milioane. În aceste circumstanţe, decizia raţională nu se va alătura investiţiei în dezvoltarea de noi produse.

Mai mult, la nodul intermediar ;  $S_0u^4$  putem calcula valoarea activului aşteptată pentru păstrarea opţiunii deschise ca medie ponderată a valorii potenţiale a opţiunii viitoare (Kodukula & Papadesu, 2006).

$$[p(S_0u^5) + (1 - p) * (S_0u^4d)] * \exp(-r * \delta * T) =$$

$$= [0.463724 * 184.7 + (1 - 0.463724) * 49,7] * \exp(-0.05) * (1) = 106,88 \text{ milioane}$$

Dacă opţiunea este exercitată şi vom investi 35 de milioane în dezvoltarea unui produs nou, valoarea activului net va fi de 88.8 milioane (123.8 milioane - 35 milioane). Cu toate acestea, menţinerea opţiunilor deschise până în următoarea perioadă (al cincilea an) dă posibilitatea realizării unei valori mai mari a activelor 106,88 milioane). Prin urmare, este mai bine să continuaţi să aşteptaţi, decât să exersaţi opţiunea. În mod similar, la nodul  $S_0ud^4$ , valoarea activului aşteptată pentru menţinerea opţiunii deschise este zero. Plata la acest nod este de 11.2 milioane, iar dacă opţiunea este exercitată prin investirea a 35 milioane, aceasta ar duce la o pierdere netă de 23,8 milioane.

$$[0.463724 * 0 + (1 - 0.463724) * 0] * \exp(-0.05) * (1) = 0 \text{ milioane}$$

Aceeaşi procedură a dat valori opţiunii până la momentul 0, în care putem percepe valoarea introducerii unui nou produs de 7.9 milioane, ceea ce reprezintă aproximativ valoarea oferită de modelul de evaluare a opţiunilor Black & Scholes.

Valoarea modelului binomială este evidentă din înţelegerea modelului, arătând că, pe măsură ce incertitudinea în timp dispare, factorii de decizie sunt capabili să ia decizii adecvate cu privire la implementare sau să respingă proiectul prin simpla comparare a fluxurilor de numerar aşteptate la fiecare nod al arborelui binomial cu costurile de investiţie care sunt efectuate în scopul de a implementa proiectul.

#### 4.2.5. Concluzii

Una dintre metodele cele mai populare de fluxuri de numerar actualizate utilizate în evaluarea proiectelor de investiţii este metoda valorii nete actuale (Net present value NPV) la care deciziile privind acceptarea sau respingerea proiectului depind în mare măsură de caracterul adecvat al estimării fluxului de numerar al proiectului, dar şi de selectarea ratelor de scont adecvate, care sunt utilizate pentru actualizarea fluxurilor nete de numerar viitoare.

Comparând deciziile bazate pe metode fluxul de numerar actualizate şi abordarea opţiunilor reale, putem observa că introducerea unui nou produs din exemplul precedent evaluat utilizând metode de flux de numerar actualizate (DCF) ar avea ca rezultat o valoare actuală negativă netă de 10 de milioane (beneficiu aşteptat de 25 de milioane mai puţin costul de investiţie de 35 de milioane).

Aceasta ar conduce la respingerea investiţiilor într-un produs nou. Cu toate acestea, metodele tradiţionale de evaluare, care încă ocupă locul principal în evaluarea proiectelor de investiţii, ignoră valoarea opţiunilor care pot veni în ciclul de viaţă al proiectului, astfel încât analiza tradiţională ar trebui să fie completă cu metodele opţionale de evaluare a proiectelor.

Aşa cum s-a menţionat mai sus, valoarea totală a proiectului reprezintă suma valorii actuale nete a proiectului şi opţiunea de aşteptare. Prin urmare, decizia bazată pe analiza a opţiunilor reale măreşte valoarea proiectului (adică introducerea unui produs nou) a cărui valoare totală este negativă şi aproximativ -2.1 milioane (valoarea actuală netă de -10 milioane + valoarea opţiunii de 7,9 milioane). Abordarea opţiunilor reale oferă o valoare adăugată proiectului şi îi oferă managerilor posibilitatea de a alege deciziile, ajutând, de asemenea, să fie mai raţional în luarea deciziilor.

## CAPITOLUL 5: CONCLUZII

### CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI LUCRĂRI VIITOARE

#### 5.1. Concluzii

Abordarea arhitecturii de management al traficului aerian din punct de vedere ale diferitelor nevoi tehnice, umane, de siguranță și nu în ultimul rând din punct de vedere al eficienței diferitelor metode a fost prezentată în capitol 1, care are ca scop prezentarea, cu ajutorul literaturii de specialitate, a situației actuale în domeniul. Acestea fiind spuse putem observa o lipsă a unei perspective generale în domeniu, fiecare autor încearcă să ajute sistemul să evolueze din perspectivă fie tehnică, fie umană cu foarte puține lucrări interdisciplinare.

În subcapitolele 1.1. și 1.2. în ciuda eforturilor intense de modernizare din punct de vedere economic, managementul traficului aerian european și american oferă fără îndoială siguranță, dar cu cheltuieli imense. Îmbunătățiri ale managementul traficului aerian sunt în primul rând împiedicate de practicile actuale și de constrângerile rețelelor de rute aeriene care, în principiu, sunt bazate pe granițele naționale și nu pe zonele cu trafic aerian intens.

Studiul de caz din subcapitolul 1.3. ne prezintă întârzierile aeronavelor, diferitele motive ale apariției acestora, astfel putem concluziona că întârzierile pe rută ocupă locul 4 ca număr de întârzieri totale după motive precum reacționare, companie aeriană și managementul aeroporturilor.

În subcapitolul 1.4.1. soluții pentru îmbunătățirea managementului traficului aerian, ce conține un număr de 18 articole au fost tratate cu cele mai recente concepte despre posibile schimbări în domeniu. S-au găsit o varietate de soluții pornind de la diferite moduri de a folosi traiectoriile 4D (Porretta, Marie-Dominique, Schuster, & Majumdar, 2008), (Ruiz, Piera, Nosedal, & Ranieri, 2014), (Prot, Rapine, Constans, & Fondacci, 2014) care este soluția cea mai agreată de către programul SESAR în cea ce privește soluțiile software. Rezolvarea Conflict Detection and Resolution (CD&R) pe rută pornind de la diferite premise cum ar fi planificarea în avans cu 2-3 ore (Ruiz, Piera, Nosedal, & Ranieri, 2014) la prezicerea poziției aeronave în 10-30 minute (Porretta, Marie-Dominique, Schuster, & Majumdar, 2008), la dezvoltarea de algoritmi specifici de optimizarea a managementului traficului aerian fie prin problema sectorială (Degtyarev, Minaenko, & Orekhov, 2010), fie prin descompunerea spațiului aerian în sectoare specifice încărcăturii zilnice (Kan, 2010) au fost prezentate.

O abordare în rețea este tratată de (Chen, Cheng, & Palen, 2009), sau folosirea algoritmilor euristici (Juncker, 2012), de asemenea dezvoltarea metodologiei de abordare a siguranței se face de (Flavio & Camargo, 2011), un model agregat de programare stochastic pentru managementul fluxului de trafic aerian este prezentat în (Andreatta, Dell'Olmo, & Lulli, 2011) sau un programator al fluxului de trafic de (Landry, Farley, Hoang, & Stein, 2012).

Aplicarea teoriei swarm în conceptul fluxului de management al traficului aerian a fost tratată de către (Torres, 2012). Soluții hardware care demonstrează supremația procesoarelor asociative versus multi-core în probleme de planificare al traficului arian tratate de (Yuan, Baker, & Meilander, 2014), programarea zborurilor încă de la pornirea motoarelor în (Ozgur & Cavcar, 2014), chiar și redirectionarea traficului la aeroporturile congestionate (Mukherjee & Hansen, 2009) precum și folosirea metodei multi-agenților (Chen, Landry, & Nof, 2011) au fost tratate.

În subcapitolul 1.4.2. se propune îmbunătățirea traficului din zona terminală de la Heartrow care este tratat în (Caccavale, Iovanella, Lancia, Lulli, & Scoppola, 2014) precum și traficul de la Roma Fiumicino și Milano Malpensa în Italia în (Samà, D'Ariano, & Pacciarelli, 2013).

În subcapitolul 1.4.3. tratează componenta umană în managementul traficului aerian unde găsim analizate 9 articole, începând de la relația om - mașina în (Langan-Fox, Cauty, & Sankey, 2009), managementul stărilor de criză în (Malakis, Kontogiannis, & Kirwan, Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part I): taskwork strategies, 2010) și (Malakis, Kontogiannis, & Kirwan, Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part II): teamwork strategies, 2010), încărcarea unui controlor de trafic este prezentată în (Djokic, Lorenz, & Fricke, 2010), strategii care ajuta la a rezista în fața complexității tratate de (Kontogiannis & Malakis, 2013), dinamica controlorului de trafic este prezentată în (Wang, Vormer, Hu, & Duong, 2013) precum și un program de comandă vocală pentru controlori în (Ferreiros, et al., 2012).

În subcapitolul 1.4.4. articole care tratează securitatea zborului (Johnson, Kirwan, & Licu, 2009) și (Finke, Butts, Mills, & Grimaila, 2013) vorbesc despre cultura de siguranță și importanța acesteia.

În ultimul subcapitol 1.4.5. articole care tratează performanța sistemului managementului traficului aerian găsim 9 articole al diferiților autori începând cu (Brooker, SESAR: R&D and Project Portfolios for Airline Business Needs, 2009) unde SESAR este privit din perspectiva companiilor aeriene, (Sud, et al., 2009) vorbește despre reducerea întârzierilor printr-un management mai bun, (Brooker, Air Traffic Control Separation Minima: Part 1 – The Current Stasis, 2011) și (Brooker, Air Traffic Control Separation Minima: Part 2 – Transition to a Trajectory-based System, 2011) ne prezintă reducerea separării minime între aeronave, (Evans & Schäfer, 2011) despre impactul creșterii traficului pe teritoriul SUA.

Dacă există software-uri care vor înlocui controlorul de trafic ne vorbește Peter Booker în (Brooker, 4D-Trajectory Air Traffic Management: 'Are There 'Killer Apps?' – Part 1, 2012) și (Brooker, 4D-Trajectory Air Traffic Management: Are There 'Killer Apps?' – Part 2, 2012). În (Button & Neiva, 2013) se tratează eficiența FAB a SESAR precum și beneficiile posibile ale NextGen ne sunt prezentate în (Guzhva, Abdelghany, & Lipps, 2014).

În capitolul 2 sistemele multi-agent sunt prezentate ca un mod de administrare a sistemelor complexe. Ele pot acționa autonom în numele utilizatorului sau în sprijinul acestuia ca suport, neavând doar rolul unui simple interfețe.

În subcapitolul 2.1. privind cerințele de proiectare, sistemele multi agent creează cadrul pentru un sistem interactiv având la bază agenți specializați care acționează la stimuli din cadrul sistemului. Agenții posedă cunoștințe, sunt într-o stare și pot să participe la acțiuni prin schimb de mesaje. Modelarea bazată pe agenți este similară ca fundament cu principiile de dinamică și stabilitate ale populației. În cadrul sistemelor multi agent fiecare agent este independent de ceilalți agenți, el își desfășoară activitatea autonom, doar când relațiile inter agent impun și poate schimba activitatea.

Cerințele și limitările sistemelor multi agent au fost prezentate în subcapitolul 2.2. și 2.3. și reies din cadrul acestora, scopurile agenților pot fi definite ca obiective ce trebuie să facă, la momentul inițierii, un set diferit de acțiuni. Inteligența unui agent este abilitatea acestuia de a face un set de acțiuni, în același timp, într-un mod autonom de obiectivele celorlalți agenți.

Subcapitolul 2.4. sistemele multi agent în transportul aerian prezintă o serie de dificultăți în special în partea de competitivitate și cooperare între agenți implicați, dar negocierea între agenți ar putea deveni din punctul slab, un punct puternic prin procedeul de data mining, o baza de date a tuturor conflictelor între agenți și modul lor de negociere poate fi aplicat pentru soluționarea instantă a tuturor problemelor de negociere.

Capitolul 3 discută posibile moduri prin care o sinergie strânsă între proiectarea conceptuală a agenților din cadrul sistemelor multi agent și proiectarea sistemelor de management al traficului aerian, precum și preocupările de creare a software-ului în stabilirea simulării pe computer pot oferi o perspectivă unică și astfel, să stabilească o analiză simplificată a procesului de proiectare.



În subcapitolul 3.1. simulările bazate pe sisteme multi agent sunt tratate ca o metodă nouă pentru analizarea sistemelor de management ale traficului aerian. Se bazează pe acele aspecte ale sistemului de management al traficului aerian care poate fi observat sau specificat direct - practicile de lucru ale agenţilor însăşi. Din acestea se poate prezice comportamentul sistemului ca un întreg, şi de cerinţa corespunzătoare a mediului care va fi pusă pe agenţii, în general pe piloţi şi controlori de trafic aerian.

În acest sens, aceasta metodă poate răspunde multor întrebări specifice în legătură cu sistemele pe care le examinează. De exemplu în simulările bazate pe agent se poate observa dacă sistemul va funcţiona aşa cum s-a dorit când toţi participanţii acţionează exact ca şi în procedurile, regulamente şi structurile organizatorice actuale, evidenţiind zonele unde flexibilitatea şi creativitatea indivizilor este încă necesară pentru operarea sistemului. În acest timp, dacă am simula un sistem larg de trafic aerian cu toţi agenţii urmând exact aceleaşi proceduri, simularea noastră ar imita practicile actuale.

Aceasta metodă ilustrează câteva întrebări generale ale căror răspuns pot fi subiectul unei discuţii ulterioare cum ar fi urgenţa implementării noilor sisteme de management al traficului aerian. În timp ce răspunzând la această întrebare cuprinzătoare pentru toate sistemele socio-tehnice ar fi dificil, exemplele date evidenţiază perspectiva din simulările bazate pe agenţi care pot prezice teoretic la un nivel acceptabil de detaliu comportamentele emergente - spre exemplu, o schimbare în managementul traficului aerian prin implementarea unei noi proceduri de eşalonare la sosiri precum şi asistenţa decizie. Comportamentele emergente par a fi cele mai relevante când un sistem poate fi judecat responsabil de produsul acţiunilor autonome ale agenţilor şi interacţiunile acestora.

În subcapitolul 3.2. modelele conceptuale ale agenţilor necesari pentru a fi integraţi în managementului traficului aerian precum şi necesităţile privind datele de intrare şi datele de ieşire sunt prezentate aplicând conceptul de pseudo cod pentru a facilita tranziţia către programarea în NetLogo.

Subcapitolul 3.3. ne prezintă o parte din agenţi propuşi anterior care sunt proiectaţi în NetLogo cu limitările specifice precum şi cu liniile de cod anexate la finalul tezei. Acestea sunt prezentate pentru a clarifica modul de funcţionare al agenţilor şi modul de interacţiune. Subcapitolul se încheie cu crearea proiectului integrat care uneşte toate conceptele privind sistemele multi agent şi simulează un mediu de trafic aerian în care diferiţi agenţi au diferite roluri în eşalonarea aeronavelor după anumiţi parametri selectaţi de utilizator.

În ultimul subcapitol 3.4. analiza şi interpretarea datelor este făcută pornind de la proiectul integrat versiunea 1.001 care este supus unui număr de 81 de simulări a 6 ore fiecare, acesta evoluând către versiunea 1.021 apoi este supus unui număr de 162 de simulări câte 6 ore fiecare acesta evoluând către versiunea 1.851 care este şi versiunea finală a proiectului. Ultima versiunea este supusă unui număr de 540 de simulări a câte 3 ore fiecare astfel modelul de proiect integrat propus îşi atinge şi depăşeşte obiectivele de a fi un sistem de asistare a deciziilor către un sistem complet autonom de dirijare a traficului aerian în condiţiile de siguranţă actuale.

Capitolul 4 vine în sprijinul managerilor pentru a putea cuantifica beneficiile noului sistem propus, astfel în subcapitolul 4.1. privind managementul ameninţărilor şi erorilor se poate observa că implementarea unui astfel de sistem la nivel de asistare a deciziei curente ar îmbunătăţi trei din cele patru categorii definite ca surse de ameninţări pentru controlori de trafic, astfel minimizând apariţia de situaţii nedorite.

Subcapitolul 4.2. încheie teza cu un studiu privind fiabilitatea implementării unui astfel de proiect folosindu-se nu doar de metodele contemporane de analiză financiară dar în special metodele specifice opţiunilor reale.



## 5.2. Contribuții originale

1. Prezentarea în subcapitolul 1.1. și 1.2. a planurilor SESAR (UE) și NEXTGEN(SUA) de modificare a arhitecturii de management al traficului aerian, a direcțiilor viitoare în ceea ce privește modul de evoluție așteptat în cadrul modelării arhitecturilor moderne.
2. Studiu de caz în capitolul 1.3. întârzierile zborurilor EUROCONTROL 2014 vs 2013 are ca obiectiv principal identificarea și clasarea cazurilor întârzierilor din spațiul aerian european.
3. Stadiul actual al cercetării în domeniu este dezvoltat în capitolul 1.4 în care sunt tratate 41 de articole științifice de specialitate pe 5 domenii: Soluții pentru îmbunătățirea MTA, Îmbunătățirea traficului din zona terminală, Componenta umană în MTA, Securitatea zborului, Performanța sistemului MTA actual.
4. În capitolul 2.1 și 2.2. cadru pentru construirea sistemelor multi-agent a fost prezentat cu scopul de a oferi o perspectivă privind necesitățile de constituire a agenților precum și a mediului de operare.
5. Prezentarea problematici sistemelor multi-agent în capitolul 2.3. care ne arată principale obstacole care apar în proiectarea și implementarea lor.
6. Subcapitolul 2.4. sisteme multi-agent aplicate în transportul aerian, am arătat mediile specifice necesare constituirii sistemelor multi-agent aplicabil în situații ale transportului aerian.
7. Propunerea sistemului multi-agent pentru implementarea SESAR și NEXTGEN este tratată în subcapitolul 3.2 și are ca scop principal crearea la nivel conceptual a agenților necesari în MTA.
8. În subcapitolul 3.3 am proiectat agenți în NetLogo, mergând pe subcapitolul anterior proiectând parte din agenți propuși precum și integrarea acestora într-un proiect final integrat, analiza limitărilor specifice fiecărui mediu de simulare a fost făcută.
9. Analiza și interpretarea datelor au fost făcute în subcapitolul 3.4 folosind un total de peste 3000 ore de simulare pentru a evolua și valida sistemul precum și pentru a-i evidenția limitările.
10. Evaluarea amenințărilor și riscurilor în ATM modern au fost evidențiate în subcapitolul 4.1 pentru a arăta locul acestui proiect din punct de vedere al minimalizării lor.
11. Utilizarea opțiunilor reale ca o metoda alternativă a soluțiilor clasice financiare a fost prezentată în subcapitolul 4.2 cu scopul de a asista manageri la limitarea rezultatelor negative privind implementarea unui astfel de proiect.

### 5.3. Lucrări viitoare

Majoritatea soluțiilor tehnice propuse în teză sunt greu aplicabile într-o situație reală deoarece trecerea de la o arhitectură a managementului traficului aerian la alta necesită anume perioade de tranziție specifice de adaptare, acestea neputând să se facă instantaneu.

Lucrările viitoare vor include un nou algoritm genetic de CD&R specific controlorului regional, dar și a celui de apropiere implementat în primă instanță ca instrument de suport pentru a ajuta la creșterea încărcării unui singur controlor de trafic aerian fără a se afecta securitatea zborului. În a doua instanță testarea software-ului prin implementarea conceptului de rute libere pe anumite nivele de zbor și a treia și cea finală folosirea software-ului în dirijarea aeronavelor, în această instanță conceptul de rute libere va fi complet implementat.

Pentru prima fază a implementării sunt necesare înțelegerea modului de gândire a controlorului de trafic aerian precum și modului de soluționare a diferitelor situații de trafic prin crearea unei aplicații de data mining pentru a înregistra soluțiile optime date de aceștia în diferite instanțe, o dată cu acestea sistemul de suport decizional poate lua naștere, în același moment modul de interacțiune om mașină trebuie optimizat.

Teza vine ca un model nou de concepere a managementului traficului aerian astfel se tratează doar probleme privind deconflictarea aeronavelor, prezentate în subcapitolul 3.2. o serie de agenți nu au fost modelați în această teză, dezvoltarea fiecărui agent propus în acest subcapitol reprezintă în sine un mod de a dezvolta acest sistem multi-agent de la nivel de asistarea a deciziilor către un model complet autonom.

O lucrare viitoare interesantă ar fi proiectarea agentului curenți jet propus în subcapitolul 3.2. astfel folosindu-ne de aeronavele aflate în aer precum și a datelor disponibile din satelit, o hartă curență a curenților jet poate fi creată, astfel aeronavele se pot folosi de acesta pentru a ajunge la destinație mai repede cu un consum de combustibil mai mic.

În aceeași idee agentul vreme ar putea fi dezvoltat, utilizând datele de la bordul aeronavelor aflate în aer precum și a radarului meteo de la bordul aeronavei pentru a crea o hartă 3D cu condițiile meteo astfel facilitând meteorologul în a da predicții mai precise, precum și pentru a monitoriza condițiile meteo din troposferă pentru a evidenția unele schimbări climatice.

Mergând mai departe pe idea sistemelor multi agent dacă acest sistem ajunge la un nivel de complexitate care să rivalizeze cu condițiile din lumea reală, aplicarea inteligenței artificiale cu ar fi Google DeepMind (Hassabis, Suleyman, & Legg, 2018) ar putea deschide noi moduri de privire a problemei managementului traficului aerian care la acest moment ne sunt invizibile (Kistan, Gardi, & Sabatini, 2018).

Limitările cercetării sunt de natură a capacității de simulare, folosind un calculator personal este insuficientă puterea de procesare pentru a rula o versiune 3D a programului pentru a evidenția mai bine relațiile inter agent. De asemenea datorită acestei limitări numărul maxim al legăturilor între agenți aeronavă este 9 ceea ce înseamnă ca orice agent aeronavă nu poate comunica cu mai mult de alți 9 agenți aeronavă inclusiv pentru transferul datelor necesare deconflictării. Pentru a valida sistemul nu s-a putut simula întreg spațiul aerian superior de la nivel 300 la nivel 660 s-a folosit doar 6 nivele de zbor (nivel 300 la nivel 360).

## 5.4. Implicații manageriale

Implementarea sistemului de asistare a deciziei propus în capitolul 3 are ca efect o creștere substanțială a siguranței în domeniu MAE, deoarece acesta are implicații majore în 3 din cele 4 categorii mari de amenințări, anume externe, în aer și de mediu, sistemul putând notifica oricând controlorul de trafic despre o încălcare a autorizației care s-a produs oferindu-i și soluții necesare pentru deconflictarea traficului aerian.

Practic sistemul propus lucrează prin a avertiza decidentul la nivel de amenințare și eroare, de asemenea oferindu-i soluții rapide pentru situațiile nedorite.

Un factor care trebuie analizat este însăși sistemul de asistare a deciziei care intră în categoria de amenințare internă respectiv echipament, fie controlorul de trafic aerian nu folosește sistemul la nivelul proiectat datorită neîncrederii specifice sistemelor noi, fie decidentul lasă în seama sistemului majoritatea deciziilor fără a mai trece prin filtru gândiri personale astfel dacă sistemul are o problemă și trebuie oprit fiindu-i imposibil să lucreze fără el. Un echilibru între cele două stări trebuie găsit, acest lucru necesitând cercetări suplimentare.

Mergând către implicațiile manageriale din punct de vedere al costurilor suporterii metodelor contemporane subliniază imperfecțiunile evaluării opțiunilor reale ale proiectelor de investiții, cum ar fi alegerea ratei de actualizare adecvate, abordarea statică, subiectivitatea pentru determinarea fluxurilor de numerar preconizate. Cu toate acestea, semnificația metodelor tradiționale nu a fost niciodată refuzată, multe decizii de afaceri fac parte din așa-numita "zonă gri", care necesită raționamente clare, făcând metoda opțiunilor reale un instrument indispensabil în procesul de luare a deciziilor. Este necesar să se sublinieze că metoda opțiunii reale ar trebui utilizată doar ca supliment, și nu ca înlocuitor al metodei fluxului de numerar actualizat.

În cea ce privește decizia financiară de implementare a unui astfel de sistem, printre metodele contemporane de evaluare a proiectelor de investiții, un rol important îl are analiza opțiunilor reale, a cărei evaluare se bazează pe analogia opțiunilor financiare cu opțiunile reale. Toate opțiunile reale menționate mai sus au motive egale care limitează rezultatele efectelor unei afaceri nepotrivite. Odată cu creșterea incertitudinii legate de viitor, valoarea opțiunii crește și aceasta afectează decizia inițială privind acceptarea sau respingerea unui proiect. Decizia privind respingerea efectuată pe baza metodelor tradiționale poate fi modificată dacă valoarea opțiunii este suficient de mare. De asemenea, decizia privind acceptarea unui proiect poate fi modificată dacă valoarea compensatorie a unei opțiuni este mai mare decât fluxul de numerar pierdut; dar, dacă o investiție este foarte prosperă sau complet neinteresantă investitorilor, analiza reală a opțiunilor nu va schimba rezultatul.

## Referințe Bibliografice

### Articole:

1. Agustín, A., Alonso-Ayuso, A., Escudero, L., & Pizarro, C. (2012). On air traffic flow management with rerouting. Part I: Deterministic case. *European Journal of Operational Research*, 156-166.
2. Agustín, A., Alonso-Ayuso, A., Escudero, L., & Pizarro, C. (2012). On air traffic flow management with rerouting. Part II: Stochastic case. *European Journal of Operational Research*, 167-177.
3. Anastasiei, T., Muraru, A., & Nencu, N. (2010). **Sense and Avoid Strategies for Modern Unmanned Aerial Systems**. KBO- The 16th International Conference (pg. 358-363). Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu".
4. Andreatta, G., Dell'Olmo, P., & Lulli, G. (2011). An aggregate stochastic programming model for air traffic flow management. *European Journal of Operational Research*, 697-704.
5. Bekier, M., Molesworth, B. R., & Williamson, A. (2012). Tipping point: The narrow path between automation acceptance and rejection în air traffic management. *Safety Science*, 259-265.
6. Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 640.
7. Brooker, P. (2009). SESAR: R&D and Project Portfolios for Airline Business Needs. *Journal of Navigation*, 203.
8. Brooker, P. (2011). Air Traffic Control Separation Minima: Part 1 – The Current Stasis. *Journal of Navigation*, 449-465.
9. Brooker, P. (2011). Air Traffic Control Separation Minima: Part 2 – Transition to a Trajectory-based System. *Journal of Navigation*, 673-693.
10. Brooker, P. (2012). 4D-Trajectory Air Traffic Management: 'Are There 'Killer Apps?' – Part 1. *Journal of Navigation*, 397-408.
11. Brooker, P. (2012). 4D-Trajectory Air Traffic Management: Are There 'Killer Apps?' – Part 2. *Journal of Navigation*, 571-587.
12. Button, K., & Neiva, R. (2013). Single European Sky and the functional airspace blocks: Will they improve economic efficiency? *Journal of Air Transport Management*, 73-80.
13. Caccavale, M. V., Iovanella, A., Lancia, C., Lulli, G., & Scoppola, B. (2014). A model of inbound air traffic: The application to Heathrow airport. *Journal of Air Transport Management*, 116-122.
14. Canino-Rodríguez, J., García-Herrero, J., Besada-Portas, J., Ravelo-García, A., Travieso-González, C., & Alonso-Hernández, J. (2015). Human Computer Interactions in Next-Generation of Aircraft Smart Navigation Management Systems: Task Analysis and Architecture under an Agent-Oriented Methodological Approach. *Sensors*. doi:<https://doi.org/10.3390/s150305228>
15. Chen, B., Cheng, H. H., & Palen, J. (2009). Integrating mobile agent technology with multi-agent systems for distributed traffic detection and management systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1-10.
16. Chen, X. W., Landry, S. J., & Nof, S. Y. (2011). A framework of enroute air traffic conflict detection and resolution through complex network analysis. *Computers în Industry*, 787-794.
17. Cox, J., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 229 – 263.

18. Cruciol, L. L., de Arruda Jr., A. C., Weigang, L., Li, L., & Crespo, A. M. (2013). Reward functions for learning to control în air traffic flow management. *Transportation Research Part C*, 141-155.
19. Davidsson, P. (2002, 01 01). Agent-based social simulation: A computer science view. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
20. Degtyarev, O. V., Minaenko, V. N., & Orekhov, M. O. (2010). Solution of Sectorization Problems for an Air Traffic Management. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 624–642.
21. Dekker, S., & Lundström, J. (2007). From Threat and Error Management (TEM) to Resilience. *Journal of Human Factors and Aerospace Safety*, (pg. 261-273).
22. Demazeau, Y., Decker, K. S., Pérez, J. B., & Prieta, F. d. (2015). Advances în Practical Applications of Agents, Multi-Agent Systems, and Sustainability: The PAAMS Collection. 13th International Conference, PAAMS. Salamanca.
23. Dixit, A., & Pindyck, R. (1995). The options approach to capital investment. *Harvard Business Review*, 105-116.
24. Djokic, J., Lorenz, B., & Fricke, H. (2010). Air traffic control complexity as workload driver. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 930-936.
25. Duffy, V. G. (2016). Advances în Applied Digital Human Modeling and Simulation. Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Digital Human Modeling and Simulation. Florida: Walt Disney World.
26. Earl, L., Murray, P., & Bates, P. (2011). Line Operations Safety Audit (LOSA) for the management of safety in single pilot operations (LOSA:SP) în Australia and New Zealand. Aeronautica. Griffith University Aerospace Strategic Study Centre.
27. Evans, A., & Schäfer, A. (2011). The impact of airport capacity constraints on future growth în the US air transportation system. *Journal of Air Transport Management*, 288-295. Ferreiros, J., Pardo, J., de Córdoba, R., Macias-Guarasa, J., Montero, J., Fernández, F., González, G. (2012). A speech interface for air traffic control terminals. *Aerospace Science and Technology*, 7-15.
28. Finke, C., Butts, J., Mills, R., & Grimaila, M. (2013). Enhancing the security of aircraft surveillance în the next generation air traffic control system. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 3-11.
29. Flavio, V. L., & Camargo, J. J. (2011). A safety assessment methodology applied to CNS/ATM-based air traffic control system. *Reliability Engineering & System Safety*, 727-738.
30. Franklin, S., & Graesser, A. (1996). Is it an agent, or just a program? A taxonomy of autonomous agents. in *Third International Workshop on Agent Theories, Architectures and Languages*. Berlin: Springer. doi:10.1007/BFb0013570
31. Gheorghiu, A., **Muraru, A.**, & Boşcoianu, M. (2013). Flight Simulation – **An Alternative for Continuous Training of Fighter Pilots in a Low Budget Country**. KBO - the 19th international conference (pg. 83-86). Sibiu: Academia Forţelor Terestre "Nicolae Bălcescu".
32. Gulzar, M., Rizvi, S., Javed, M., Munir, U., & Asif, H. (2018). Multi-Agent Cooperative Control Consensus: A Comparative Review. *Electronics*. doi:<https://doi.org/10.3390/electronics7020022>
33. Gutknecht, O., & Ferber, J. (2000). MadKit: A generic multi-agent platform. 4th International Conference on Autonomous Agents, (pg. 78-79). Barcelona.
34. Guzhva, V. S., Abdelghany, A., & Lipps, T. (2014). Experimental approach to NextGen benefits estimation: A case of single-airline Aircraft Arrival Management System. *Journal of Air Transport Management*, 108-116.

35. Havinga, J., de Boer, R. J., Rae, A., & Dekker, S. W. (2017). How Did Crew Resource Management Take-Off Outside of the Cockpit? A Systematic Review of How Crew Resource Management Training Is Conceptualised and Evaluated for Non-Pilots. *Safety*, 3. doi:10.3390/safety3040026
36. Hayes, C. (1999). Agents in a nutshell - a very brief introduction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 11, pg. 127-132. doi:10.1109/69.755621
37. Hoffmann, G., Rajnarayan, D. G., Waslander, S. L., Dostal, D., Jang, J. S., & Tomlin, C. J. (2004). The Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi Agent Control. *IEEE*.
38. Hooshangi, N., & Alesheikh, A. (2018). Developing an Agent-Based Simulation System for Post-Earthquake Operations in Uncertainty Conditions: A Proposed Method for Collaboration among Agents. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. doi:https://doi.org/10.3390/ijgi7010027
39. Howard, A., Mataric, M., & Sukhatme, G. (2002). Mobile sensor network deployment using potential fields: a distributed scalable solution to the area coverage problem. *Proceedings of the 6th International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems*. Fukuoka: Springer.
40. Jackson, M. R., Sharma, V., Haissig, C. M., & Elgersma, M. (2005). Airborne Technology for Distributed Air Traffic Management. *European Journal of Control*, 464-477.
41. Jarama ÁJ, L.-A. J. (2017). Complete Systematic Error Model of SSR for Sensor Registration in ATC Surveillance Networks. *Sensors*. doi:https://doi.org/10.3390/s17102171
42. Jeon, H., Petrie, C., & Cutkosky, M. (2000). JATLite: a Java agent infrastructure with message routing. *IEEE Internet Computing*, 87-96.
43. Johnson, C., Kirwan, B., & Licu, T. (2009). The interaction between safety culture and degraded modes: A survey of national infrastructures for air traffic management. *Risk Management*, 241-284.
44. Junker, U. (2012). Air traffic flow management with heuristic repair. *The Knowledge Engineering Review*, 333-342.
45. Kan, A. V. (2010). Development of algorithms of air-traffic flow management. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 444-457.
46. Kistan, T., Gardi, A., & Sabatini, R. (2018). Machine Learning and Cognitive Ergonomics in Air Traffic Management: Recent Developments and Considerations for Certification. *Aerospace*. doi:https://doi.org/10.3390/aerospace5040103
47. Kontogiannis, T., & Malakis, S. (2013). Strategies in coping with complexity: Development of a behavioural marker system for air traffic controllers. *Safety Science*, 27-34.
48. Landry, S. J., Farley, T., Hoang, T., & Stein, B. (2012). A distributed scheduler for air traffic flow management. *Journal of Scheduling*, 537-551.
49. Langan-Fox, J., Canty, J. M., & Sankey, M. J. (2009). Human–automation teams and adaptable control for future air traffic management. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 894-903.
50. Lee, S.-H., Kim, Y.-K., Han, J.-W., & Lee, D.-G. (2014). Protection Method for Data Communication between ADS-B Sensor and Next-Generation Air Traffic Control Systems. *Information*. doi:https://doi.org/10.3390/info5040622
51. Lian, Z., & Deshmukh, A. (2006). Performance Prediction of an Unmanned Airborne Vehicle Multi-Agent System. *European Journal of Operational Research*, 680-695.
52. Liu, H.-C., Sung, W.-P., & Yao, W. (2015). Computing, Control, Information and Education Engineering. *Proceedings of the 2015 Second International Conference on Computer, Intelligent and Education Technology*.



53. Luviano-Cruz, D., Garcia-Luna, F., Pérez-Domínguez, L., & Gadi, S. (2018). Multi-Agent Reinforcement Learning Using Linear Fuzzy Model Applied to Cooperative Mobile Robots. *Symmetry*. doi:<https://doi.org/10.3390/sym10100461>
54. Malakis, S., Kontogiannis, T., & Kirwan, B. (2010). Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part I): taskwork strategies. *Applied Ergonomics*, 620-627.
55. Malakis, S., Kontogiannis, T., & Kirwan, B. (2010). Managing emergencies and abnormal situations în air traffic control (part II): teamwork strategies. *Applied Ergonomics*, 628-635.
56. Mukherjee, A., & Hansen, M. (2009). A dynamic rerouting model for air traffic flow management. *Transportation Research Part B: Methodological*, 159-171.
57. **Muraru, A. (2010). Some aspects regarding "sense and avoid" requirements for UAV integration in the national air space.** *INCAS BULLETIN*. 2, pg. 133 - 141. Bucuresti: INCAS. doi:10.13111/2066-8201.2010.2.4.18
58. **Muraru, A. (2011). A Critical Analysis of Sense and Avoid Technologies for Modern UAVs.** *Proceedings of the International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Engineering (MIME 2011)*. 2, pg. 162-165. Melbourne, Australia : Information Engineering Research Institute.
59. **Muraru, A. (2011). An Overview On The Concept Of UAV Survivability.** *INTERNATIONAL CONFERENCE of SCIENTIFIC PAPER AFASES* (pg. 1231-1236). Braşov: Academia Forţelor Aeriene "Henry Coandă".
60. **Muraru, A., & Boşcoianu, M. (2016). A Critical Analysis of the European Airspace Architecture.** *Proceedings of the 5th Review of Management and Economic Engineering Engineering, International Management Conference, RMEE2016 - From Management of Crisis to Management în a Time of Crisis* (pg. 187-192). Cluj-Napoca: Todesco Publishing House.
61. **Muraru, A., & Boşcoianu, M. (2018). Developing of a Decision Support Software for Air Traffic Controllers to Manage Risks and Errors in the Context of Free Routes.** *Safety Special Issue Design and Development of Safety Production Management*. Manuscris trimis spre publicare.
62. **Muraru, A., Boşcoianu, M., & Luchian, A. (2018). A critical analisys regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 1: Route Challenges.** *Proceedings of the 6th Review of Management and Economic Engineering, International Management Conference, RMEE2018 - Performance Management or Management Performance?* (pg. 527-531). Cluj-Napoca: Todesco Publishing House. Acceptat pentru publicare
63. **Muraru, A., Boşcoianu, M., & Luchian, A. (2018). A critical analisys regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 2: Airport Challenges.** *Proceedings of the 6th Review of Management and Economic Engineering, International Management Conference, RMEE2018 - Performance Management or Management Performance?* (pg. 532-536). Cluj-Napoca: Todesco Publishing House. Acceptat pentru publicare
64. **Muraru, A., Cioacă, C., & Boşcoianu, M. (2010). Modern sense and avoid strategies for UAV.** *New trends in aviation development* (pg. 121-126). Kosice: Faculty of Aeronautics.
65. **Muraru, A., Cioacă, C., & Boşcoianu, M. (2010). Some Technical Approaches used for Air Traffic Management.** *ZBORNIK PRISPEVKOV Z MEDZINARODNEJ VEDECKO–OBORNEJ KONFERENCIE* (pg. 30-37). ŽILINA: University of ŽILINA.
66. **Muraru, A., Gheorghiu, A., & Boşcoianu, M. (2013). An overview on the future of air traffic control.** *KBO - the 19th international conference* (pg. 60-64). Sibiu: Academia Fortelor Terestre "Nicolae Bălcescu".



67. Nassiri-Mofakham, F., Huhns, M. N., Singh, M. P., & Baarslag, T. (2017). *Current and Future Developments in Artificial Intelligence - Intelligent Computational Systems: A Multi-Disciplinary Perspective - Volume*. Bentham Science.
68. Niedringhaus, W. (2004). The Jet:Wise model of national air space system evolution. *Simulation: Transactions of the Society for Modeling*, 45-58.
69. Nwana, H., Ndumu, D., Lee, L., & Collis, J. (1999). ZEUS: A Tool-Kit for Building Distributed Multi-Agent Systems. *Applied Artificial Intelligence Journal*, 129-186.
70. Ozgur, M., & Cavcar, A. (2014). 0–1 integer programming model for procedural separation of aircraft by ground holding în ATFM. *Aerospace Science and Technology*, 1-8.
71. Porretta, M., Marie-Dominique, Schuster, W., & Majumdar, A. (2008). Performance Evaluation of a Novel 4D Trajectory Prediction Model for Civil Aircraft. *Journal of Navigation*, 393-420.
72. Prisacariu, V., & Muraru, A. (2016). **Unmanned aerial system (UAS) în the context of modern warfare**. *Scientific Research And Education in the Air Force-AFASES* (pg. 177-183). Braşov: Academia Forţelor Aeriene.
73. Pritchett, A., Lee, S., & Goldsman, D. (2001). Hybrid-system simulation for national airspace systems safety analysis. *AIAA Journal of Aircraft*, 835-840.
74. Pritchett, R. A. (2002). Examining air transportation safety issues through agent-based simulation incorporating human performance models. *Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference*, (pg. 7A5-7A5). Irvine.
75. Prot, D., Rapine, C., Constans, S., & Fondacci, R. (2014). A 4D-sequencing approach for air traffic management. *European Journal of Operational Research* 237, 411-425.
76. Rahimi, S., Cobb, M., Ali, D., & Paprzycki, M. (2001). An Analysis of Intelligence-Enhancing Techniques for Software Agents. *Proceedings of the 5th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*.
77. Ruiz, S., Piera, M. A., Nosedal, J., & Ranieri, A. (2014). Strategic de-confliction în the presence of a large number of 4D trajectories using a causal modeling approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 129–147.
78. Samà, M., D'Ariano, A., & Pacciarelli, D. (2013). Rolling Horizon Approach for Aircraft Scheduling în the Terminal Control Area of Busy Airports. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 531-552.
79. Schultz, M., Lorenz, S., Schmitz, R., & Delgado, L. (2018). Weather Impact on Airport Performance. *Aerospace*. doi:<https://doi.org/10.3390/aerospace5040109>
80. Semke W, A. N. (2017). Analysis of Radar and ADS-B Influences on Aircraft Detect and Avoid (DAA) Systems. *Aerospace*. doi:<https://doi.org/10.3390/aerospace4030049>
81. Semke, W., Allen, N., Tabassum, A., McCrink, M., Moallemi, M., Snyder, K., . . . Wing, M. (2017). Analysis of Radar and ADS-B Influences on Aircraft Detect and Avoid (DAA) Systems. *Aerospace*. doi:<https://doi.org/10.3390/aerospace4030049>
82. Shah, A., & Pritchett, A. (2005). Work Environment Analysis: Environment centric multi agent simulation for design of socio-technical systems. *Joint Workshop on Multi-Agent and Multi-Agent Based Simulation: Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. New York.
83. Sud, V. P., Tanino, M., Wetherly, J., Brennan, M., Lehky, M., Howard, K., & Oiesen, R. (2009). Reducing Flight Delays Through Better Traffic Management. *Interfaces*, 35-45.
84. Suguri, H., Kodama, E., Miyazaki, M., Nunokawa, H., & Noguchi, S. (2001). Implementation of FIPA Ontology Service. *Proceedings of the Workshop on Ontologies în Agent Systems*, 5th International Conference on Autonomous Agents. Montreal.

85. Tambe, M. (1998). Agent architectures for flexible, practical teamwork. Proceedings of the fourteenth national conference on artificial intelligence and ninth conference on Innovative applications of artificial intelligence (pg. 22-28). Rhode Island: AAAI Press.
86. Tastambekov, K., Puechmorel, S., Delahaye, D., & Rabut, C. (2014). Aircraft trajectory forecasting using local functional regression în Sobolev space. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1-22.
87. Teixeira, B., Pinto, T., Silva, F., Santos, G., Praça, I., & Vale, Z. (2018). Multi-Agent Decision Support Tool to Enable Interoperability among Heterogeneous Energy Systems. *Appl. Sci.* doi:<https://doi.org/10.3390/app8030328>
88. Thomas, M. (2004). Predictors of Threat and Error Management: Identification of Core Nontechnical Skills and Implications for Training Systems Design. *The International Journal of Aviation Psychology*, 207–231.
89. Torres, S. (2012). Swarm Theory Applied To Air Traffic Flow Management. *Procedia Computer Science*, 463-470.
90. Velazquez, J. (2018). The Presence of Behavioral Traps in U.S. Airline Accidents: A Qualitative Analysis. *Safety*, 4. doi:10.3390/safety4010002
91. Wang, Y., Vormer, F., Hu, M., & Duong, V. (2013). Empirical analysis of air traffic controller dynamics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 203-213.
92. Weigang, L., Dib, M. V., Alves, D. P., & Crespo, A. M. (2010). Intelligent computing methods în Air Traffic Flow Management. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 781-793.
93. Williamson, O. E. (2010). Transaction Cost Economics: The Natural Progression. *American Economic Review* 100, 673-690.
94. Wooldridge, M., Jennings, N., & Kinny, D. (2000). The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 285-312.
95. Yuan, M. , Baker, J. W., & Meilander, W. C. (2014). Comparisons of air traffic control implementations on an associative processor with a MIMD and consequences for parallel computing. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 256-272.

### **Cărți:**

1. Amram, M., & Kutilaka, N. (1999). *Real Options, Managing Strategic Investment în an Uncertain World*. Boston,: Harvard Business School Press.
2. Bedrouni, A. M. (2009). *istributed Intelligent Systems: A Coordination Perspective*. Springer Science & Business Media.
3. Bisantz, A. M., & Burns, C. M. (2016). *Applications of Cognitive Work Analysis*. CRC Press.
4. Carley, K., & Gasser, L. (2000). *Computational organization theory*. The MIT Press.
5. Castelfranchi, C. (2000). *Engineering social order*. ESAW00. Berlin : Springer.
6. Copeland, T., & Antikarov, V. (2001). *Real Options: A Practitioner s Guide*, First Edition. Texere.
7. Derber, A. (2010). *Europe and USA take step towards ATM interoperability*. Flightglobal.
8. Filipe, J. (2002). *A normative and intentional agent model for organization modeling*. Third International Workshop Engineering Societies in the Agents World. Berlin : Springer .
9. Hexmoor, H. C. (2003). *Agent Autonomy*. Springer Science & Business Media.

10. Jenkins, D. P., Stanton, N. A., & Walker, G. H. (2017). *Cognitive Work Analysis: Coping with Complexity*. CRC Press.
11. Kang, M., Waisel, L., & Wallace, W. (1998). *Team-Soar: a computational model for multilevel decision making*. AAAI Press/The MIT Press.
12. Kodukula, P., & Papadesu, C. (2006). *Project Valuation using Real options*. Florida: J. Ross Publishing.
13. Koumpis, A. (2012). *Management Information Systems for Enterprise Applications: Business Issues*. IGI Global.
14. Luehrman, T. (1998). *Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers*. Harvard Business Review.
15. Maurino, D. (2005). *Threat and Error Management (TEM)*. Coordinator, Flight safety and Human Factors Programme - ICAO. Canadian Aviation Safety Seminar (CASS).
16. Mun, J. (2006). *Real Option Analysis; Tools and Techniques for Valuation Strategic Investments and Decisions, Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons.
17. Nguyen, N. T., Grzech, A., & Howlett, R. (2007). *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*. Wrocław.
18. Odell, J., Jörg, P. G., & Müller, P. (2005). *Agent-Oriented Software Engineering V*. New York: Science & Business Media.
19. Odell, J., Parunak, Dyke, V., Fleischer, M., Brueckner, S., & Giunchiglia, F. (2003). *Modeling agents and their environment*. Agent-Oriented Software Engineering. Brueckner: Springer .
20. Ross, S., Westerfield, R., & Jaffe, J. (2005). *Corporate Finance, Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill Irwin.
21. Schraagen, J., Chipman, S., & Shalin, V. (2000). *Cognitive Task Analysis*. New York: Psychology Press.
22. Schwartz, E. S., & Trigeorgis, L. (2004). *Real Options and Investment under Uncertainty*. The MIT Press.
23. Seamster, T. L., & Redding, R. E. (2017). *Applied Cognitive Task Analysis în Aviation*. Routledge.
24. Singh, M., Rao, A., & Georgeff, M. (2000). *Formal methods in DAI: logic-based representation and reasoning*. The MIT Press.
25. Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2016). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Elsevier.
26. Wooldridge, M. (2000). *Intelligent Agents, A Modern Approach to Distributed Modern Approach to Artificial Intelligence*. (G. Weiss, Ed.) London: The MIT Press.

### **Rapoarte:**

1. Barron, P. (2009). *Acting Responsibly: NATS and the Environment*. Preluat pe 3 12, 2015, de pe [NATS:https://www.nats.aero/wp-content/uploads/2012/07/NATSCorporateResponsibilityReport2009.pdf](https://www.nats.aero/wp-content/uploads/2012/07/NATSCorporateResponsibilityReport2009.pdf)
2. Bellifemine, F., Caire, G., Trucco, T., & Giovanni, R. (2010). *JADE PROGRAMMER'S GUIDE*. Preluat de pe <http://jade.tilab.com/doc/programmersguide.pdf>
3. Center for Computational Science Research. (2014). *The Data Mining Group*. Preluat pe 12 2, 2015, de pe [The Data Mining Group \(Dmg\) Is An Independent, Vendor Led Consortium That Develops Data Mining Standards: http://dmg.org/](http://dmg.org/)

4. Comisia Europeană. (2013). Întrebări frecvente: Cerul unic european: Comisia ia măsuri pentru descongestionarea spațiului aerian al Europe. Bruxelles: Comisia Europeană Notă Informativă.
5. Dillingham, G. L. (2010). Aviation and the Environment Systematically Addressing Environmental Impacts and Community Concerns Can Help Airports Reduce Project Delays. United States Government Accountabilit. Preluat de pe U.S. Government Accountability Office: [www.GAO.gov](http://www.GAO.gov)
6. Dillingham, G. L. (2011). Next Generation Air Transportation System FAA Has Made Some Progress în Implementation, but Delays Threaten to Impact Costs and Benefits. United States Government Accountabilit. Preluat de pe [www.GAO.gov](http://www.GAO.gov)
7. Eurocontrol. (2015). European ATM Master Plan. Preluat de pe <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/sesar/doc/eu-atm-master-plan-2015.pdf>
8. Eurocontrol. (2015, 4 9). CODA Digest 2014: All-Causes Delay and Cancellation to air transport în Europe. Preluat pe 10 5, 2016, de pe EUROCONTROL: <http://www.eurocontrol.int/publications/coda-digest-annual-2014>
9. Eurocontrol. (2016, 7 5). LARA: Local And sub-Regional Airspace Management Support System. Preluat pe 9 16, 2017, de pe LARA: Local And sub-Regional Airspace Management Support System: <http://www.eurocontrol.int/publications/lara-brochure>
10. Eurocontrol. (2017). Monthly Network Operations Report Analysis – December. Preluat de pe <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/nm-monthly-network-operations-report-analysis-december-2017.pdf>
11. FAA. (2007). Fact Sheet: NextGen. Federal Aviation Authority. Preluat de pe <http://aireform.com/wp-content/uploads/20140207..-FAAs-NextGen-Fact-Sheet-clean-version-copied-from-WaybackMachine-3p.pdf>
12. FAA. (2016). Next Generation Implementation Plan. Washington DC: Federal Aviation Administration. Preluat de pe [https://www.faa.gov/nextgen/media/NextGen\\_Implementation\\_Plan-2016.pdf](https://www.faa.gov/nextgen/media/NextGen_Implementation_Plan-2016.pdf)
13. House Committee on Science, Space, and Technology. (2011). Impacts of the LightSquared Network on Federal Science Activities, Testimony of The Honorable Peter H. Appel, U.S. House of Representatives Committee on Science, Space and Technology. Washington: House Committee on Science, Space, and Technology. Preluat de pe [https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/hearings/090811\\_%20Appel.pdf](https://science.house.gov/sites/republicans.science.house.gov/files/documents/hearings/090811_%20Appel.pdf)
14. SESAR Consortium. (2006). Air Transport Framework D1 The Current Situation.
15. SESAR Consortium. (2006). Air Transport Framework D2 The Performance Target.

### **Resurse electronice:**

1. Ashley, H. (2011). GPS-guided flight control holds promise, but some balk. The Boston Globe. Preluat pe 7 9, 2015 [http://archive.boston.com/news/nation/washington/articles/2011/07/05/gps\\_guided\\_flight\\_control\\_holds\\_promise\\_but\\_some\\_balk/](http://archive.boston.com/news/nation/washington/articles/2011/07/05/gps_guided_flight_control_holds_promise_but_some_balk/)
2. Administrația Națională de Meteorologie. (2012). Harta Radar Națională. Preluat pe 9 15, 2015, de pe Harta radar națională: <http://meteoromania.ro/anm2/radarm/radar.index.php>
3. Cloud Cap Technology. (2014). Piccolo. Preluat pe 9 3, 2015, de pe Piccolo Autopilots: <http://www.cloudcaptech.com/products/auto-pilots>
4. Curtis L. Olson. (2014). FlightGear Flight Simulator. Preluat pe 3 12, 2016, de pe FlightGear: <http://home.flightgear.org/>

5. Eurocontrol. (2016, 7 5). LARA: Local And sub-Regional Airspace Management Support System. Preluat pe 9 16, 2017, de pe LARA: Local And sub-Regional Airspace Management Support System: <http://www.eurocontrol.int/publications/lara-brochure>
6. FAA. (2013). Data Communications (Data Comm). Preluat pe 11 3, 2015, de pe Data Communications (Data Comm): <https://www.faa.gov/nextgen/programs/datacomm/>
7. FAA. (2013). En Route Automation Modernization (ERAM). Preluat pe 11 2, 2015, de pe En Route Automation Modernization (ERAM): [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/eram/](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/eram/)
8. FAA. (2013). SWIM Program Overview. Preluat pe 11 4, 2015, de pe SWIM Program Overview: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/swim/overview/](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/swim/overview/)
9. FAA. (2014). Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B). Preluat pe 10 1, 2017, de pe Federal Aviation Administration: <https://www.faa.gov/nextgen/programs/adsb/>
10. Flightradar24 AB. (2009). Flightradar24. Preluat pe 10 15, 2015, de pe <https://www.flightradar24.com/>
11. Grossman, D. (2003). Calculating airline costs. USA Today. Preluat pe 8 15, 2015, de pe [https://usatoday30.usatoday.com/travel/columnist/grossman/2003-09-26-grossman38-side\\_x.htm](https://usatoday30.usatoday.com/travel/columnist/grossman/2003-09-26-grossman38-side_x.htm)
12. Hassabis, D., Suleyman, M., & Legg, S. (2018, 5 1). DeepMind. Preluat de pe DeepMind: <https://deepmind.com/>
13. Karp, A. (2009). Southwest's RNP investment: Is \$175 million pledge too far ahead of US government, industry? Air Transport World. Preluat pe 4 3, 2015, de pe <http://archive.li/GEWYQ>
14. LRBB. (2014). Harta Notam. Preluat pe 9 15, 2015, de pe Harta Notam: <http://lrbb.ro/notam.html>
15. Meyer, A. (2014, 9 3). Laminar Research. Preluat de pe X-Plane 10: <http://www.laminarresearch.com/>
16. Mitkas, P. (2001). AGENT ACADEMY. Preluat pe 12 3, 2014, de pe A Data Mining Framework for Training Intelligent Agents: <http://agentacademy.itigr/>
17. Schrader, A. (2011). Air-traffic control's next generation may give airlines' fuel-savings, fliers a lift. Denver: The Denver Post. Preluat pe 1 2, 2015, de pe <https://www.denverpost.com/2011/09/06/air-traffic-controls-next-generation-may-give-airlines-fuel-savings-fliers-a-lift/>
18. SKYbrary. (2009). Preluat pe 11 2, 2017, de pe [https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic\\_Dependent\\_Surveillance\\_Broadcast\\_\(ADS-B\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast_(ADS-B))
19. SKYbrary. (2009). Preluat pe 11 2, 2017, de pe [https://www.skybrary.aero/index.php/Mode\\_S](https://www.skybrary.aero/index.php/Mode_S)
20. Turner, A. (2012). Denver debuts Jeppesen PBN arrivals Posted. Preluat de pe <http://www.airtrafficmanagement.net>
21. Unmanned Dynamics. (2014). Preluat pe 9 3, 2015, de pe Unmanned Dynamics: <http://www.unmanned-dynamics.com/>
22. Wilensky, U. (2016). NetLogo, 6.0.2. (Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling) Preluat pe 1 15, 2018, de pe NetLogo: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>



## **Anexa 6 Scurt Rezumat**

### **ABSTRACT (română)**

Single European Sky Air Traffic Management Research 2020 și Next Generation Air Transportation sunt programe care cercetează modele pentru creșterea managementului fluxului și capacității traficului aerian în Europa și America de Nord prin conceptul de vectorizare 4D și rute libere. Scopul acestei teze de doctorat este de a contribui la înțelegerea modului în care un sistem multi-agent poate fi utilizat în proiectarea unui asistent pentru controlorul de trafic aerian care îi poate ajuta în activitățile lor zilnice.

Această teză studiază aplicarea modelelor inteligente pentru asistarea deciziilor bazate pe un sistem multi-agent pentru managementul fluxului și capacității de traficului aerian. Sistemul proiectat constă în agenți software care sunt implementați în cadrul NetLogo pentru identificarea, rezolvarea conflictelor și negocierea acordurilor dintre aeronave în ceea ce privește separarea.

Luând în considerare aspectul nostru unic asupra modelului specific, putem spune că un mediu bogat care arată aspectele comportamentului agentului este necesar în crearea mecanismului intern între agenți. Modelul va ajuta prin furnizarea de informații despre zonele aglomerate și poate ajuta la rezolvarea acestora.

Acest sistem va servi mai mulți utilizatori ai spațiului aerian, cum ar fi: controlorii de trafic aerian prin creșterea capacității de a gestiona aeronavele, controlorii de trafic militari responsabili de diferitele tipuri de misiuni militare.

Teza se finalizează cu o analiză în cea ce privește implicări ale siguranței privind implementarea unui astfel de sistem în mediul de lucru curent al controlorilor de trafic aerian, prin prisma managementului amenințărilor și a erorilor, adițional costul de implementare a unui astfel de sistem a fost analizat nu numai prin valoarea actuală netă dar și cu ajutorul analize opțiunilor reale.

### **ABSTRACT (english)**

Single European Sky Air Traffic Management Research 2020 and Next Generation Air Transportation are researching models to increase of Air Traffic Flow and Capacity Management in Europe and North America for the concept of 4D vectoring and free routes. The aim of this doctoral thesis is to help understand how a multi-agent system can be used in the design of an air traffic assistant that can help air traffic controllers in their day to day activities.

This thesis researches application of intelligent models for assisting decisions based on a multi-agent system for the air traffic management flow and capacity. The designed system consists of software agents which are implemented in the NetLogo framework to identify, resolve conflicts and to negotiate agreements between aircrafts regarding separation.

Taking in account out unique aspect on the specific model, we can say that a rich environment which shows the aspects of the agent behavior is necessary in the creation of the inner-mechanism between agents. The model will help by providing insights into congested areas and can help deal with them.

This system will serve many users of the airspace such as: air traffic controllers by increasing its capacity to handle aircrafts, military ground control intercept controllers responsible for different types of military mission.

The thesis concludes with an analyses regarding safety implication of such an assistant being implemented in the current air traffic control work environment through the lens of threat and error management, additional the implementation cost of such a system was analyzed not only through the standard net present value but with the help of real options analyses.

## Anexa 7 Curriculum vitae autor Română

### INFORMAȚII PERSONALE

Adrian Gheorghe MURARU



✉ adrian.muraru@unitbv.com

### EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

26 Feb 11–Prezent

**Controlor de trafic aerian**

Ministerul Apărării Naționale (România)

### EDUCAȚIE ȘI FORMARE

Oct 10–Iun 12

**Master**

Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava (România)

Oct 07–Iun 10

**Licență**

Academia Forțelor Aeriene "Henri Coandă", Braşov (România)

Sept 03–Iun 07

**Bacalaureat**

Grup Școlar - "Mihai Băcescu", Fălticeni (România)

### INFORMAȚII SUPLIMENTARE

#### Publicații

Conferințe indexate de către Clarivate Analytics în web of science:

ANASTASIEI Traian, MURARU Adrian, NENCU Niculae (2010). Sense and avoid strategies for modern unmanned aerial systems. KBO- The 16th International Conference. Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 358-363

MURARU Adrian, GHEORGHIU Alexandru, BOȘCOIANU Mircea (2013). An overview on the future of air traffic control. KBO - the 19th international conference. Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 60-64

GHEORGHIU Alexandru, MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2013). Flight simulation – an alternative for continuous training of fighter pilots in a low budget country. KBO - the 19th international conference. Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 83-86

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2016). A critical analysis of the European airspace architecture. Proceedings of the 5th Review of Management and Economic Engineering Engineering, International Management Conference, RMEE2016 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p.186-192

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2018). A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 1: Route Challenges., RMEE2018 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p. 527-531 Articol acceptat pentru publicare

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2018). A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 2: Airport Challenges., RMEE2018 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p. 532-536 Articol acceptat pentru publicare

MURARU, Adrian, și Mircea BOȘCOIANU. 2018. „Developing of a Decision Support Software for Air Traffic Controllers to Manage Risks and Errors in the Context of Free Routes.” *Safety, Special Issue Design and Development of Safety Production Management* (MDPI AG). Manuscrisul trimis spre publicare



## Anexa 8 Curriculum vitae author English

### PERSONAL INFORMATION

Adrian Gheorghe MURARU



✉ adrian.muraru@unitbv.com

### WORK EXPERIENCE

26 Feb 2011–Present

**Air traffic controller**

Romanian Air Force (Romania)

### EDUCATION AND TRAINING

Oct 2010–Jun 2012

**Master's degree**

"Ştefan cel Mare" University, Suceava (Romania)

Oct 2007–Jun 2010

**Bachelor's degree**

Air Force Academy "Henri Coandă", Braşov (Romania)

Sep 2003–Jun 2007

**Baccalaureate**

High school - "Mihai Băcescu", Fălticeni (Romania)

### ADDITIONAL INFORMATION

#### Publications

Clarivate Analytics web of science indexed Conferences:

ANASTASIEI Traian, MURARU Adrian, NENCU Nicolae (2010). Sense and avoid strategies for modern unmanned aerial systems. KBO- The 16th International Conference. Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 358-363

MURARU Adrian, GHEORGHIU Alexandru, BOȘCOIANU Mircea (2013). An overview on the future of air traffic control. KBO - the 19th international conference. Sibiu: Academia Fortelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 60-64

GHEORGIU Alexandru, MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2013). Flight simulation – an alternative for continuous training of fighter pilots in a low budget country. KBO - the 19th international conference. Sibiu: Academia Forțelor Terestre "Nicolae Bălcescu". ISSN: 1843-6722 p. 83-86

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2016). A critical analysis of the European airspace architecture. Proceedings of the 5th Review of Management and Economic Engineering Engineering, International Management Conference, RMEE2016 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p.186-192

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2018). A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 1: Route Challenges. RMEE2018 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p. 527-531 Article has been accepted

MURARU Adrian, BOȘCOIANU Mircea (2018). A critical analysis regarding modeling and simulating the future Air Traffic Flow and Capacity Management problems Part 2: Airport Challenges., RMEE2018 Cluj-Napoca. ISSN: 2247-8639 p. 532-536 Article has been accepted

MURARU, Adrian, și Mircea BOȘCOIANU. 2018. „Developing of a Decision Support Software for Air Traffic Controllers to Manage Risks and Errors in the Context of Free Routes.” *Safety, Special Issue Design and Development of Safety Production Management* (MDPI AG). Manuscript submitted for publication.