



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**
Școala Doctorală de Inginerie Industrială și Robotică
Domeniul Inginerie Și Management



Decizie CSUD UPB nr. din

**REZUMAT TEZĂ
DE DOCTORAT**

Ing. Alexandru-Gabriel ANDREI

Cercetări privind asigurarea calității procesului de
mentenanță predictivă într-o organizație de întreținere
aeronave

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.univ.dr.ing.ec. Cristian DOICIN University POLITEHNICA Bucharest
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing.ec. Augustin SEMENESCU University POLITEHNICA Bucharest
Referent	Prof.univ.dr.ing. Teodor-Lucian GRIGORIE Military Technical Academy "Ferdinand I"
Referent	Prof.univ.dr.ing. George CĂRUTAȘU Romanian-American University
Referent	Prof.univ.dr.ing. Corneliu BERBENTE University POLITEHNICA Bucharest

BUCUREȘTI 2022

CUPRINS

INTRODUCERE.....	4
Capitolul 1.....	6
1. Cadrul general al managementului calității în mentenanța sistemelor tehnice.....	6
1.1. Concepul de calitate	6
1.2. Determinarea fiabilității unei aeronave, folosind tehnica lanțurilor Markov	7
1.3. Concluzii.....	10
Capitolul 2.....	10
2. Managementul volumelor mari de date în industria aeronautică – “Big Data”.....	10
2.1. Introducere.....	10
2.2. Stocarea înregistrărilor tehnice ale unei aeronave folosind tehnologia Blockchain	11
2.2.1. Introducere.....	11
2.2.2. Descrierea tehnologiei.....	11
2.2.3. Dezvoltarea unei aplicații blockchain - folosind limbajul de programare Python.....	13
2.3. Concluzii.....	13
Capitolul 3.....	14
3. Influența factorului uman în activitatea de mentenanță aeronave. Interpretarea cumulativă a datelor cu ajutorul algoritmilor de machine learning	14
3.1. Introducere.....	14
3.2. Studiu de caz privind performanțele algoritmilor de învățare automată	15
3.2.1. Introducere.....	15
3.2.2. Automatizarea etapei de determinare a cauzei principale a unui incident aeronautic	16
3.3. Concluzii.....	16
Capitolul 4.....	17
4. Monitorizarea stării de “sănătate” a sistemelor tehnice din industria aeronautică cu ajutorul rețelelor neuronale artificiale	17
4.1. Introducere.....	17
4.2. Sisteme de monitorizare a stării de “sănătatea” unei aeronave	17
4.3. Dezvoltarea unei rețele neuronale pentru a prezice o defecțiune majoră pentru o serie de motoare turboreactive.....	18
4.3.1. Inițierea algoritmului	18

4.3.2. Etapa de optimizare cu ajutorul cu ajutorul SGD (Stochastic Gradient Descent) cu Inerție/Moment.....	20
4.4. Concluzii.....	21
Capitolul 5.....	22
5. Interoperabilitatea actorilor implicați în activitatea de mentenanță – sistem informatic de managementul mentenanței.....	22
5.1. Noțiuni generale.....	22
5.2. Modulul “Blockchain”.....	22
5.3. Concluzii.....	24
Capitolul 6.....	24
6. Oportunitatea economică a sistemului informatic bazat pe tehnologia Blockchain și algoritmi de machine learning	24
6.1. Rezumatul ideii de afaceri	24
6.2. Descrierea afacerii propuse	24
6.3. Previziunea Contului de profit și pierdere.....	25
6.4. Concluzii.....	26
Capitolul 7.....	26
7. Concluzii generale și direcții viitoare de cercetare	26
7.1. Concluzii generale	26
7.2. Contribuții originale	28
7.3. Direcții viitoare de cercetare	29
7.4. Sinteza articolelor publicate	30

INTRODUCERE

Evoluția industriei informatice, în special a puterii de procesare, dar și creșterea volumului de date determinată de extinderea universului digital, concomitent cu dezvoltarea sistemelor hardware, implică pe termen scurt, mediu și lung o schimbare a modului în care trăim și a felului în care producem servicii și bunuri de calitate. Creșterea exponențială a volumului de informații prefigurează o schimbare majoră în toate ramurile industriale. În contextul în care ne aflăm în era digitală este esențial să găsim tehnici noi de colectare și analiză a volumului uriaș de date disponibil.

Pentru îndeplinirea cerințelor actuale de calitate se impune modernizarea activităților de management prin combinarea noțiunilor teoretice de management al calității cu beneficiile oferite de inteligența artificială.

O nouă revoluție tehnologică, cea de a patra, marchează societatea zilelor noastre, o societate în care termenul “conectivitate” stă din ce în ce mai mult la baza activităților pe care le întreprindem. Fie ca vorbim de educație, medicină sau industrie, tehnologia este prezentă și influențează aceste domenii într-un mod decisiv. Totul se schimbă în jurul nostru, tehnologii ca inteligența artificială, vehicule autonome, printarea 3D sau internetul lucrurilor devin din ce în ce mai prezente în viața de zi cu zi [1].

O trăsătură specifică celei de a patra revoluții industriale este faptul că aceasta nu schimbă doar modul în care omul trăiește ci și omul în sine. Totodată, această revoluție industrială va schimba modelele de afaceri. Totul va fi conectat la internet: case, mașini, electrocasnice, utilaje etc. Acestea vor fi monitorizate de la distanță de către companiile producătoare.

Într-un mod simplificat, majoritatea modelelor de afaceri constau în dezvoltarea unui produs, comercializarea acestuia și eventual furnizarea unor servicii de mentenanță. Odată cu dezvoltarea noilor tehnologii în ceea ce privește colectarea, transferul și interpretarea de date va apărea o nouă activitate distinctă în cadrul companiilor din viitorul apropiat. Monitorizarea continuă a produselor vândute în timp ce acestea deservește nevoile clienților, nu numai că va fi o activitate distinctă și bine definită în cadrul unei companii, ci va deveni sursa principală de inspirație în elaborarea strategiilor de producție, mentenanță, marketing și vânzări.

Monitorizarea unui produs în timp real oferă pe de o parte informații valoroase despre fiabilitatea și modul în care poate fi îmbunătățit acesta dar și informații despre așteptările și nevoile clientului. Cunoscând aceste date, produsul poate fi optimizat în permanență și adaptat nevoile unice specifice fiecărui client. Din perspectiva marketingului, informațiile colectate vor ajuta la o vânzare mult mai targetată. Clientul va plăti doar pentru acel produs care îi va satisface nevoile iar activitatea de mentenanță va fi de tip predictiv.

Cu toate acestea, adevărata revoluție nu constă în expansiunea sistemelor informatice ci în modul în care utilizăm și interpretăm datele.

Majoritatea companiilor de pe mapamond înțeleg această revoluție tehnologică ce se întrezărește la orizont și investesc masiv în această direcție și totodată își adaptează modelul de afaceri pentru a fi în pas cu aceste schimbări majore, care sunt menite să ne facă viața mai bună.

Proiecția societății actuale în viitorul nu foarte îndepărtat conduce către un termen cheie care va caracteriza aproape orice domeniu de activitate și anume termenul “complexitate”. Acesta este cuvântul cheie față de care m-am raportat la conceperea acestei cercetări.

Pornind de domeniul acestui program de doctorat – Inginerie și Management, **obiectivul principal** al acestei teze de doctorat este inovarea în ceea ce privește activitatea de mentenanță predictivă într-o organizație de întreținere aeronave cu ajutorul unor algoritmi de învățare automată.

Scopul lucrării îl reprezintă contribuția originală la asigurarea trasabilității proceselor de mentenanță și identificarea defectelor într-un stadiu incipient.

Teza de doctorat **se concretizează** pe modul în care datele rezultate din procesul de mentenanță sunt stocate, analizate și diseminate către toți participanții organizației

În industria aeronautică aeronavele sunt compuse din milioane de componente și sub-componente care împreună constituie un tot capabil să zboare. Aeronavele moderne sunt adevărate generatoare de date, fapt ce va schimba modul de stocare al datelor și modul de organizare a activității de mentenanță pentru aceste sisteme tehnice deosebit de complexe.

În acest context, **lucrarea propune** soluții concrete de managementul datelor rezultate din procesul de mentenanță astfel încât să existe trasabilitate, transparență și predictibilitate. În plus, prezenta teză de doctorat aduce în prim plan mentenanța de tip predictiv cu o eficiență net superioară mentenanței de tip preventiv, datorită unui algoritm dezvoltat ce se bazează pe principiul de funcționare al **rețelelor neuronale artificiale**.

Lucrarea testează și dezvoltă un algoritm de învățare automată capabil să indentifice un defect înainte ca acesta să se întâmple, prin analiza “datelor mari” (eng: Big Data) generate de motoarele unor aeronave.

Totodată, **încadrarea în domeniul de studiu** se face și prin introducerea unei **politici de calitate** la nivelul unei organizații de mentenanță, ce presupune adaptarea, rafinarea și combinarea conceptelor clasice ale managementul calității cu tehnologiile disruptive din prezent.

În redactarea acestei teze de doctorat s-au utilizat o serie de metode și instrumente ce au constituit următoarea metodologie de cercetare:

- cercetarea materialelor bibliografice din domeniu
- studii de caz și analize comparative
- simulări și testări
- dezvoltarea algoritmilor s-a realizat cu ajutorul limbajului de programare Python și a bibliotecilor de funcții SKLEARN

Capitolul 1

1. Cadrul general al managementului calității în mentenanța sistemelor tehnice

1.1. Conceptul de calitate

Odată cu dezvoltarea industriei conceptul de calitate a prins proporții semnificative, devenind în prezent un pilon indispensabil în structura de rezistență a oricărei entități economice competitive.

Nevoia de standardizare coroborată cu ascensiunea preocupării pentru calitate, au dus la înființarea unei confederații internaționale pentru stabilirea unor norme general valabile, stabilite prin consens, pentru diverse activități.

Organizația Internațională pentru Standardizare (ISO) este o organizație non-guvernamentală recunoscută la nivel mondial ce elaborează standarde aplicabile la nivel internațional.

Standardele din familia ISO 9000 se referă la modul de funcționare și organizare al unei organizații și la definirea sistemului de management al calității. Altfel spus, aceste standarde se concentrează pe modul în care sunt structurate și organizate procesele și nu pe rezultatele finale ale unei organizații. Evident, sistematizarea proceselor într-o companie influențează decisiv calitatea produsului final și conformarea cu cerințele clientului.

Familia de standarde ISO 9000 [2] are un caracter generic, datorită aplicabilității acesteia pentru orice organizație indiferent de domeniul de activitate, mărime sau profit.

Joseph Moses Juran, considerat părintele managementului calității, a revitalizat multe companii multinaționale prin conceptele sale pe care le-a lansat de-a lungul timpului.

Acesta împarte managementul calității în 3 componente [3]:

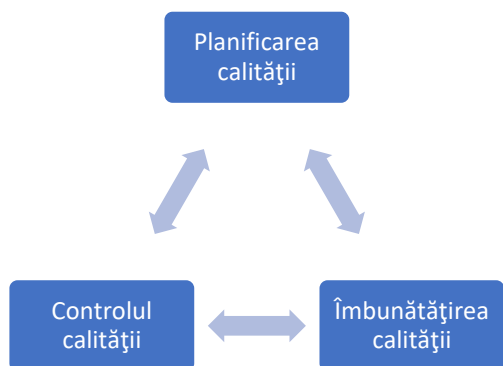


Figura 1.1 Componentele calității

1.2. Determinarea fiabilității unei aeronave, folosind tehnica lanțurilor Markov

Tehnica Markov este un model statistic ce presupune o estimare probabilistică a unei acțiuni viitoare, având în vedere starea curentă a unei variabile. Odată definite probabilitățile unor acțiuni viitoare în fiecare stare, se poate realiza un grafic al stărilor, care prin analogie poate fi asemănat cu un arbore, datorită ramificațiilor ce se formează.

Pentru o mai bună înțelegere presupunem următoarea situație ipotetică[4]:

Fie dată o componentă a unui sistem care poate fi în două stări A și Z:

Din analiza sistemului într-o perioadă de timp determinată se calculează probabilitatea de trecere a componentei din starea A în starea Z și invers.

Notăm:

x – probabilitatea de trecere din starea „A” în „Z”

y – probabilitatea de trecere din starea „Z” în starea „A”

Rezultă următoarea reprezentare:

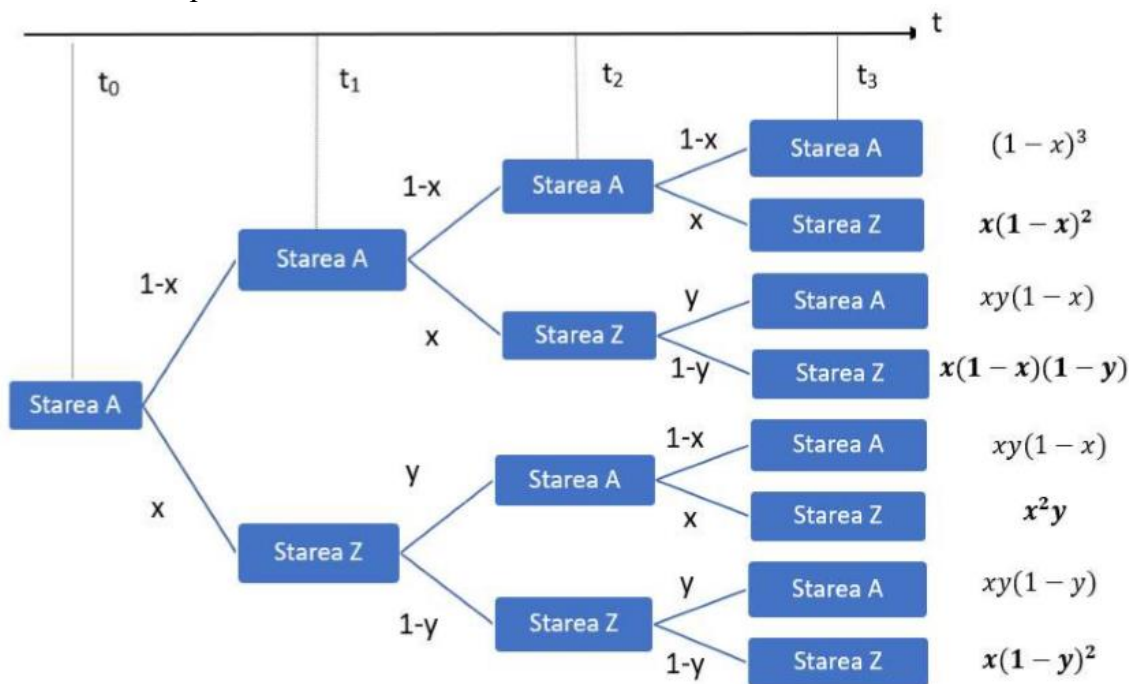


Figura 1.2 Reprezentarea grafica a lanțurilor lui Markov [4]

Probabilitatea ca sistemul să se afle în starea „A” la momentul t_3 este:

$$P_A = (1-x)^3 + 2xy(1-x) + xy(1-y)$$

Probabilitatea ca sistemul să se afle în starea „Z” la momentul t_3 este:

$$P_Z = x(1-x)^2 + x(1-y)(1-x) + x^2y + x(1-y)^2$$

Aplicând formula generalizată pentru n stări și m iterații rezultă aceleași probabilități . Așadar probabilitatea ca sistemul să fie într-una dintre cele „n”(n=2) stări, după „m”(m=3) iterații conform teoriei lui Markov este:

$$V^0 \cdot P^3 = [1 \ 0] \begin{bmatrix} 1-x & y \\ x & 1-y \end{bmatrix}^3 = [P_A \ P_Z];$$

Unde:

- $[1 \ 0]$ - este vectorul stării inițiale. Fiind în starea A, rezultă primul element al vectorului este 1 și al doilea 0.
- $\begin{bmatrix} 1-x & y \\ x & 1-y \end{bmatrix}$ - este matricea de tranziție pentru cele două stări

Având în vedere cele prezentate, fiabilitatea unei aeronave sau a unui sistem al acesteia folosind tehnica lanțurilor Markov se poate calcula în felul următor:

O aeronavă are „n” sisteme și „m” stări:

În funcție de rolul componentelor analizate și de instrucțiunile producătorului aeronavei, anumite stări pot fi acceptate pentru zbor în timp ce altele nu pot fi acceptate. Există situații în care o aeronavă poate zbura cu anumite componente defecte prin aplicarea principiului de mentenanță amânată. Fiecare sistem poate fi „funcțional” sau „defect”

Pentru simplificarea calculului presupunem doar două sisteme: A – sistemul hidraulic al unei aeronave și B – sistemul de combustibil al aceleiași aeronave

Tabelul 1.1. Matricea stărilor pentru 2 sisteme

Nr stare	Sistem A	Sistem B	Starea Aeronavei
1	Funcționează	Funcționează	Ambele sisteme funcționează
2	Defect	Defect	Ambele sisteme NU funcționează
3	Funcțional	Defect	Doar un sistem funcționează
4	Defect	Funcțional	Doar un sistem funcționează

Tabelul 1.2. Probabilitățile sistemelor de trece dintr-o stare în alta

	Probabilitatea că sistemul să se defecteze într-o unitate de timp este:	Probabilitatea ca sistemul să NU se defecteze într-o unitate de timp este:
A	0,1	0,9
B	0,08	0,92
	Probabilitatea ca sistemul să fie reparat în aceeași unitate de timp este:	Probabilitatea ca sistemul să NU fie reparat în aceeași unitate de timp este:
A	0,3	0,7
B	0,35	0,65

Observație: Probabilitățile prezentate în tabelul 1.2. sunt ipotetice și se bazează exclusiv pe experiența autorului. Acestea sunt folosite doar pentru a evidenția o metodologie de calcul.

Într-o situație reală aceste probabilități se calculează cu ajutorul formulelor clasice de statistică pe baza istoricului de funcționare al aeronavei analizate.

Aplicând tehnica lui Markov rezultă următoarea expresie:

$$V^0 \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}^m$$

P_{ij} este probabilitatea de trecere a aeronavei, într-un interval t , din starea „i” în starea „j”. Se calculează conform probabilităților din tabelul 1.2.

$$P_{11} = 0,9 \cdot 0,92 = 0,828$$

$$P_{21} = 0,3 \cdot 0,35 = 0,105$$

$$P_{12} = 0,1 \cdot 0,08 = 0,008$$

$$P_{22} = 0,7 \cdot 0,65 = 0,455$$

$$P_{13} = 0,9 \cdot 0,08 = 0,072$$

$$P_{23} = 0,3 \cdot 0,65 = 0,195$$

$$P_{14} = 0,1 \cdot 0,92 = 0,092$$

$$P_{24} = 0,7 \cdot 0,35 = 0,245$$

$$P_{31} = 0,9 \cdot 0,35 = 0,315$$

$$P_{41} = 0,3 \cdot 0,92 = 0,276$$

$$P_{32} = 0,1 \cdot 0,65 = 0,065$$

$$P_{42} = 0,7 \cdot 0,08 = 0,056$$

$$P_{33} = 0,9 \cdot 0,65 = 0,585$$

$$P_{43} = 0,3 \cdot 0,08 = 0,024$$

$$P_{34} = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03$$

$$P_{44} = 0,7 \cdot 0,92 = 0,644$$

Probabilitatea ca aeronava să treacă din starea „1” în starea „1”, după o unitate de timp este de $P_{11} = 0,828$.

Probabilitatea ca aeronava să treacă din starea „1” în starea „2”, după o unitate de timp este de $P_{12} = 0,008$.

⋮

Probabilitatea ca aeronava să treacă din starea „4” în starea „4”, după o unitate de timp este de $P_{44} = 0,644$.

Vectorului stării inițiale este $[1 \ 0 \ 0 \ 0]$, dat fiind faptul că aeronava este perfect funcțională la momentul inițial, adică starea 1.

Probabilitatea ca aeronava să fie într-una dintre cele 4 stări, după 3 iterații (unități de timp) [4] conform teoriei lui Markov este :

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}^3 = [1 \ 0 \ 0 \ 0] \cdot \begin{bmatrix} 0.682 & 0.030 & 0.122 & 0.166 \\ 0.390 & 0.139 & 0.198 & 0.272 \\ 0.530 & 0.066 & 0.270 & 0.124 \\ 0.499 & 0.062 & 0.089 & 0.349 \end{bmatrix}$$

$$= [0.682 \ 0.03 \ 0.122 \ 0.166]$$

1.3. Concluzii

Supremația în asigurarea calității unui proces fie că vorbim de producție sau mentenanță va fi în mâinile acelor care vor avea un sistem al calității bazat pe colectarea de date și interpretarea lor cu ajutorul inteligenței artificiale.

În urma aplicării metodologiei lui Markov rezultă un vector al stărilor de lungime „n”. Fiecare element al vectorului reprezintă probabilitatea ca aeronava să se afle în fiecare stare după un anumit interval de timp.

În prezentul studiu s-au identificat 4 posibile stări ale unei aeronave prin combinarea stărilor a 2 instalații (instalația hidraulică și instalația de combustibil). S-a calculat vectorul probabilităților celor 4 stări după 3 iterații.

Având o perspectivă a comportamentului aeronavei în timp se poate realiza o planificare eficientă a activităților de mentenanță, luând în calcul și misiunile planificate.

Acest prim capitol conturează un cadru general de managementul mentenanței într-o organizație de întreținere aeronave și reprezintă un punct de plecare pentru cercetările viitoare.

Capitolul 2

2. Managementul volumelor mari de date în industria aeronautică – “Big Data”

2.1. Introducere

Noțiunea de “Big Data” este din ce în ce mai prezentă în zilele noastre. Este o realitate pe care industriile sunt obligate să o îmbrățișeze și să găsească metodele optime pentru o adaptare cât mai rapidă, direct proporțională cu ascensiunea acestor date. Acest domeniu atrage după sine o serie de întrebări cu privire la definiția acestui concept, modul în care este afectată industria, principiile care stau la baza acestor date, instrumentele folosite și nu în ultimul rând cum poate industria aeronautică să beneficieze de pe urma acestei realități.

Prezentul capitol se încheie cu prezentarea unei soluții inovative de stocare și gestionare a datelor rezultate din operarea și întreținerea aeronavelor folosind tehnologia Blockchain. Având în vedere, complexitatea acestei tehnologii noțiunile teoretice sunt aplicate într-un program dezvoltat în limbajul de programare Python. Acesta evidențiază principiul de funcționare al unei rețele Blockchain care înregistrează orelor de zbor, aterizările și lucrările de mentenanță ale unei aeronave.

Metodologia și soluția tehnică propusă revoluționează industria aeronautică din temelii și deschide noi oportunități pentru companiile din domeniu. Revoluția din industrie este prefigurată de revoluția tehnologiilor de comunicație, stocare și analiză a datelor, după cum se poate înțelege din subcapitolele următoare.

Datele mari, sau cu alte cuvinte, informațiile de dimensiuni extreme, diverse și complexe guvernează în jurul oricărei organizații moderne din ziua de azi. Fie că vorbim de angajații care

produc o multitudine de date (e-mailuri, rapoarte, înregistrări, social media etc) sau de furnizorii și clienții care la rândul lor generează diverse date prin natura acțiunilor pe care le întreprind , datele sunt produse pe tot lanțul valoric al unei companii.

Provocarea constă în existența accesului la aceste informații, rapiditate cu care sunt accesate, modul în care sunt structurate și ușor de înțeles și în folosirea unei puteri de calcul pentru interpretarea și stocarea acestora.

2.2. Stocarea înregistrărilor tehnice ale unei aeronave folosind tehnologia Blockchain

2.2.1. Introducere

Obiectivul acestei lucrări a fost validarea conceptului de stocare a datelor folosind tehnologia Blockchain în lumea aviației, cu accent pe îmbunătățirea trasabilității activităților de mentenanță ale unei aeronave. Este cunoscut faptul că industria aviației gestionează sisteme incredibil de complexe, în care eșecul nu este o opțiune. Această industrie are nevoie de tehnologia Blockchain nu numai din considerente de siguranță aeronautică, dar și pentru definirea unui nou model de afaceri, în care companiile aeriene pot oferi clienților mai multă încredere și mai multă transparență.

În prezent, pasagerii care practic sunt clienții finali în fluxul transportului aerian, nu pot evalua o companie aeriană din punct de vedere al mentenanței. Întreținerea necorespunzătoare sau incompletă sunt premise pentru un accident nedorit. Mai mult, în caz de catastrofă aeriană, anchetatorii sau echipele de audit întâmpină dificultăți în înțelegerea modului în care o aeronavă a fost operată. Din punct de vedere al metenanței predictive, modelele de întreținere predictivă nu pot fi dezvoltate dacă datele nu sunt cu adevărat precise și disponibile. Toate acestea pot fi rezolvate odată cu implementarea unei infrastructuri bazate pe tehnologia Blockchain.

Pe lângă explicațiile teoretice, scopul acestui capitol a fost să evidențiez principalele caracteristici ale tehnologiei Blockchain prin dezvoltarea la o scară mică, a unei aplicații descentralizate, folosind limbajul de programare Python. Programul a fost proiectat să ruleze pe un localhost și să stocheze înregistrările de mentenanță și o serie de parametrii relevanți în procesul de urmărire a duratei de viață a unui avion într-un lanț de blocuri interconectate.

Prin urmare, abordarea tradițională în managementul datelor nu mai este de mult o opțiune pentru industria aviației.

2.2.2. Descrierea tehnologiei

Tehnologia Blockchain a fost inițial dezvoltată pentru industria criptomonedelor, dar această tehnologie poate aduce plus valoare în aproape orice industrie.

Blockchain este o bază de date distribuită între membrii unei rețele private sau publice.

Nu există o autoritate centrală responsabilă cu manipularea datelor. Orice tranzacție de date se realizează în baza unui protocol, care a fost în prealabil acceptat de către toți participanții. Rezultă astfel un registru digital, securizat și format dintr-un număr nesfârșit de blocuri interconectate. [5] Fiecare bloc este legat de cel precedent printr-un hash criptografic, rezultând un

lanț de înregistrări sortate cronologic. Conexiunea dintre două blocuri consecutive se realizează datorită faptului că orice bloc stochează hash-ul blocului anterior. Baza de date rezultată are un caracter permanent, ceea ce înseamnă că datele nu pot fi sub nicio formă modificate sau alterate. [6]

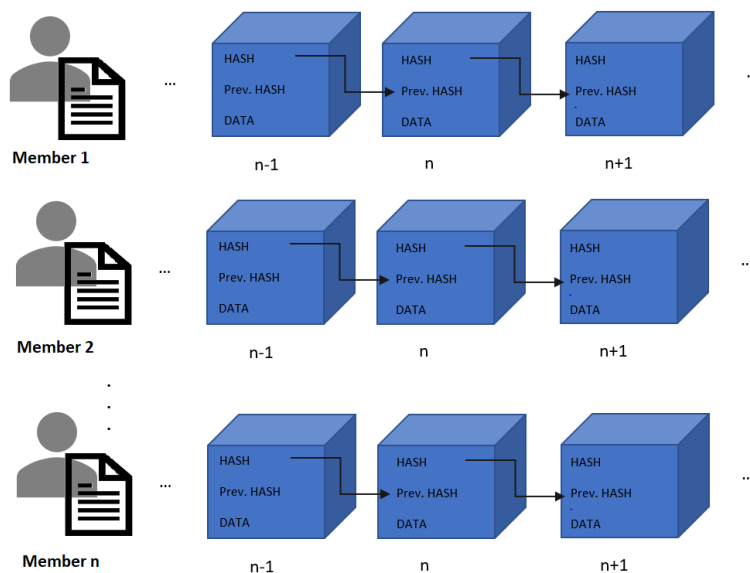


Figura 2.1 Conexiune între blocuri [7]

La baza, protocolul de consens este un algoritm care se asigură că datele interschimbate în cadrul rețelei sunt validate de către toți membrii.

Conceptul de Blockchain este despre sporirea încrederii utilizatorilor prin crearea unui registru precis și descentralizat cu multiple nivele de securitate. Semnătura digitală a fiecărui bloc este una dintre cele importante caracteristici ale unui blockchain care implică utilizarea semnăturii criptografice. Un hash este ca o amprentă pentru un document digital. Tehnologia Blockchain folosește un algoritm de siguranță de hashing. Cel mai comun algoritm de acest gen este „SHA256“, care este extrem de util deoarece acesta poate genera un hash unic într-o singură direcție. Această caracteristică înseamnă că este imposibil să inversăm procesul criptografic și să revenim la documentul original. În plus, SHA256 îndeplinește proprietățile efectului de avalanșă care afirmă că la schimbarea unui singur bit în fișierul ce urmează a fi criptat, algoritmul va declanșa o serie de modificări, asemenea unei avalanșe, iar hash-ul rezultat va fi radical diferit față de hash-ul documentului neschimbat. [8]

Un alt nivel de securitate, care face ca tehnologia Blockchain să fie atât de puternică, este conceptul de „dovadă a muncii”. [9] Adăugarea unui bloc nou în lanț este posibilă numai după ce un puzzle de calcul a fost rezolvat. În plus, se verifică validitatea sistemului Blockchain prin verificarea corectitudinii blocurilor noi adăugate.

2.2.3. Dezvoltarea unei aplicații blockchain - folosind limbajul de programare Python

Metodologia pentru crearea unei aplicații Blockchain presupune parcurgerea următoarelor etape:

1. Prima dintre ele a fost construirea mediului de dezvoltare Python folosind programul Spyder, disponibil prin platforma Anaconda
2. Al doilea pas a fost organizarea structurii de fișiere compuse astfel:
 - a. Trei fișiere Python - un script pentru fiecare nod ce corespunde părților implicate în rețea . Fiecare script este diferit de celălalt doar prin portul pe care rulează aplicația;
 - b. Un fișier json cu o listă de adrese de noduri ;
 - c. Un fișier json cu cinci elemente cheie („ FlightHours ” , „ Landings ” , „ AircraftEfficiencyStatus ” , „ StartMaintenanceTask ” , „ EndMaintenanceTask”), care vor fi necesare de fiecare dată când un eveniment al aeronavei va fi înregistrat în Blockchain. Programul actual a fost dezvoltat pentru două tipuri de evenimente:
 - i. Eveniment de zbor care înseamnă că o aeronavă tocmai a finalizat un zbor și sunt disponibile informații relevante despre ciclurile sale de funcționare pentru a fi adăugate în Blockchain ;
 - ii. Eveniment de întreținere, ceea ce înseamnă că o aeronavă tocmai a început sau a încheiat o sarcină de întreținere.
3. Următorul pas a fost dezvoltarea scriptului principal cu următoarea structură:
 - a. Importarea bibliotecilor necesare
 - b. Construirea unei clase „Blockchain”;
 - c. Crearea unei aplicații web
 - d. Descentralizarea rețelei Blockchain
 - e. Rularea aplicației și interpretarea rezultatelor

2.3. Concluzii

În acest capitol se prezintă un mod inovativ de stocare și utilizare a înregistrărilor mentenanței în aviație, folosind tehnologia Blockchain. Totodată, a fost analizat impactul tehnologiei Blockchain asupra organizațiilor implicate. Conceptului a fost demonstrat și printr-o aplicație web care evidențiază principalele caracteristici ale acestei tehnologii. În plus, programul înglobează o situație practică și crează un punct de plecare pentru o aplicație ce poate fi utilizată în la scara globală. Cu alte cuvinte, programul dezvoltat, susținut și de noțiunile teoretice prezentate, reprezintă un pas înainte către realizarea unui produs viabil și aplicabil în industria aeronautică.

Mai mult, alegerea implementării tehnologiei Blockchain poate oferi pasagerilor posibilitatea de a evalua o companie aeriană din punctul de vedere al mentenanței flotei.

Stocarea și structurarea datelor referitoare la funcționarea aeronavelor și acțiunilor de mentenanță întreprinse, toate înglobate într-o rețea descentralizată ca Blockchain, va da posibilitatea dezvoltării unor noi concepte inovative.

Mentenanța predictivă și indentificarea de tipare în vederea susținerii unor decizii de siguranță aeronautică vor beneficia din plin de modul în care sunt stocate datele în Blockchain.

În acest context, acuratețea tehnicilor de predicție va crește într-un mod accelerat, fapt ce va propulsa întreaga industrie la următorul nivel de calitate.

Capitolul 3

3. Influența factorului uman în activitatea de mentenanță aeronave. Interpretarea cumulativă a datelor cu ajutorul algoritmilor de machine learning

3.1. Introducere

Abordarea clasică de prevenire și eliminare a riscurilor din activitatea de mentenanță aeronave și-a arătat limitările de-a lungul timpului. Dat fiind faptul că aeronava este un sistem tehnic extrem de complex, iar buna funcționare a acestuia poate să facă diferența între viață și moarte pentru zeci sau chiar sute de persoane, asigurarea calității proceselor de mentenanță este obligatorie.

Având în vedere faptul că algoritmi de machine learning sunt din ce în ce mai utilizați în analiza datelor mari și produc rezultate notabile care nu s-ar fi putut obține cu ajutorul analizelor statistice clasice, acest capitol își propune să evidențieze utilitatea acestor algoritmi în analiza a **3456 de accidente aeronautice** din perioada **2000 – 2020** înregistrate în baza de date ASRS (Aviation Safety Reporting System).

Totodată studiul a analizat în alte **4967 de accidente aeronautice** din aceeași perioadă care au avut la bază ca și cauză principală factorul uman, corespondența dintre tipul de eroare umană și etapa de zbor în care se aflau aeronavele. Toate aceste accidente aeronautice au avut în comun ca și rezultat final distrugerea aeronavei sau necesitatea executării unor reparații. Datele au fost furnizate de către Centrul American Național de analiză a datelor siguranței aeronautice.

În aviație, principiul conform căruia „Failure is not an option”, este bine cunoscut atât la nivel operațional cât și la nivel de management. Siguranța în aviație înseamnă o preocupare permanentă pentru îmbunătățirea tuturor activităților care compun și susțin direct sau indirect activitatea de zbor.

3.2. Studiu de caz privind performanțele algoritmilor de învățare automată

3.2.1. Introducere

Fie că vorbim de greșeli de pilotaj sau probleme tehnice rezultate dintr-o întreținere defectoasă, este bine cunoscut faptul că 80% dintre incidentele aeronautice sunt cauzate de factorul uman [10]. Astfel, experții în domeniu sunt într-o căutare continuă în a identifica noi soluții de îmbunătățirea siguranței aeronautice și metode de a preveni erorile umane. În aceste vremuri dominate de inovație, tehnologia este un atu important în optimizarea activității de mentenanță, exploatarea aeronavelor și chiar a investigării accidentelor aeronautice, cu rezultate fără precedent până acum.

Înțelegerea trecutului pentru a îmbunătăți viitorul este o mentalitate fundamentală ce poate fi aplicată în toate ramurile industriei aeronautice.

Toate informațiile legate de o aeronavă, generate de-a lungul timpului, pot fi incluse într-o bază de date pentru a putea fi analizate în vederea elaborării unor sugestii de mentenanță predictivă. Aceeași abordare poate fi aplicată și în analiza dovezilor și rapoartelor generate după un incident aeronautic. Investigația unui incident aeronautic implică sute de ore de muncă colectivă și examinare de dovezi.

Această studiu își propune să identifice un nou instrument pentru îmbunătățirea procesului de investigare a incidentelor aeronautice cauzate de erori umane. Utilizarea inteligenței artificiale în procesul de investigație pentru a procesa automat cumulul de dovezi și rapoarte rezultate, va scoate la lumină mult mai rapid cauza principală a unui incident. Accelerarea unei investigații înseamnă beneficii imense pentru toate părțile implicate.

În acest sens, a fost dezvoltat un software prototip pentru a sublinia puterea inteligenței artificiale în investigația accidentelor aeronautice. Folosind algoritmi de învățare automată, un program a fost antrenat cu date, pentru a dezvolta o aplicație capabilă să determine în mod automat cauza principală a unui accident pe baza declarațiilor furnizate de martori.

Toate datele au fost extrase din baza de date a sistemului de raportare a siguranței aviației (ASRS) din S.U.A., pentru incidentele care au dus la distrugerea aeronavei sau la acțiuni de întreținere, din perioada 2000 și 2020.

De reținut este faptul ca această aplicație nu se referă doar la automatizarea unei etape în investigației accidentelor aeriene, ci mai degrabă stabilește noi standarde în industria aviației cu ajutorul inteligenței artificiale.

Industria aerospațială, ca multe alte industrii, a fost schimbată datorită automatizării și digitalizării ca parte integrantă a noii revoluții industriale. Necesitatea reducerii implicării factorului uman a condus la dezvoltarea multor aplicații precum fabricarea aditivă, realitatea augmentată, software inteligent și instrumente precise de predicție a datelor.

3.2.2. Automatizarea etapei de determinare a cauzei principale a unui incident aeronautic

Așadar, după un incident sau accident aeronautic anchetatorii strâng în mai multe serii declarații și raporte descriptive pentru a înțelege care au fost cauzele evenimentului.

Automatizarea etapei de parcurgere și analiza a textului ce descrie un incident constă în realizarea unui program, ce are ca date de intrare textul descriptiv al incidentului aeronautic și ca date de ieșire clasa din care face parte.

Scopul programului este să proceseze simultan toate declarațiile și rapoartele existente, să le înțeleagă și să furnizeze cauza principală a incidentului aeronautic, în mai puțin de 1 secundă.

Realizarea acestui program presupune antrenarea unui algoritm cu cât mai multe incidente din trecut despre care știm deznodământul, astfel încât programul să învețe și să fie capabil să clasifice un eveniment nou.

Studiul se continuă cu cea de-a doua etapă, în care din aceeași bază de date se extrag în mod aleatoriu **3455 de incidente din perioada 2000-2020** [11], care au avut la bază atât erori umane cât și alți factori (condiții de mediu, proceduri eronate, defecțiuni tehnice etc).

Accidentele care au avut ca și cauză principală factorul uman se notează cu “1” iar celelalte cu “0”. Obținem astfel un fișier de tip “.csv” cu 2 coloane:

- cauza evenimentului (1/0)
- descrierea incidentului sub formă de text

Tabelul 3.1 Rezultate finale ale algoritmilor utilizați

	Support vector machine	Naive Bayes	Random Forest
Acuratețe	0.7997	0.7777	0.7986

3.3. Concluzii

Influența factorului uman în managementul activităților aeronautice sau de mentenanță este deosebit de importantă. Înțelegerea influenței factorului uman este, de asemenea, necesară în elucidarea investigației unei catastrofe aeronautice. Instrumentele tehnologice actuale ne pot ajuta să simplificăm anumite sarcini dintr-un proces.

Aplicația prezentată în acest capitol nu se referă doar la automatizarea unei etape din cadrul unei anchete a unui accident aeronautic, ci mai degrabă stabilește noi standarde în industria aviației prin folosirea tehnicilor de inteligență artificială.

Totodată, în prezentul capitol au fost analizați principalii algoritmi de învățare automată cu avantajele și dezavantajele aferente. Acești pot fi extremi de utili în funcție de setul de date ce trebuie procesat și obiectivele de performanță.

Capitolul 4

4. Monitorizarea stării de “sănătate” a sistemelor tehnice din industria aeronautică cu ajutorul rețelelor neuronale artificiale

4.1. Introducere

A patra revoluție industrială [12] deschide noi orizonturi pentru modul în care sunt gestionate și administrate sistemele tehnice, indiferent de categoria din care fac parte. Așa cum s-a prezentat și în capitolele anterioare, revoluția industrială 4.0 este caracterizată pe de o parte de interconectarea lumilor digitale, biologice și fizice, precum și de dezvoltarea noilor tehnologii, cum ar fi inteligența artificială, cloud computing, robotică, imprimarea 3D, internetul obiectelor și tehnologii wireless avansate.

În capitolul precedent a fost demonstrată utilizarea algoritmilor de machine learning în analiza accidentelor aeronautice. În cazul transportului aerian, siguranța pasagerului este dată de modul în care sistemul tehnic (aeronava) funcționează. Tehnicile tradiționale de asigurarea calității proceselor de reparație/inspecție sunt depășite într-o industrie guvernată de date, senzori și infrastructuri digitale ce crează o lume nou, intangibilă și aparent invizibilă.

Acestea fiind spuse, prezentul capitol se concentrează pe realizarea unei metodologii de utilizare a datelor rezultate de la aeronave și elaborarea unor instrumente software inovative de monitorizare a stării tehnice a unui sistem, cu posibilitatea de predicție a defectiunilor. În final testarea și validarea acestor instrumente se va face pe un set de date reale, colectate în timp de la motoarele unei aeronave de transport, fabricată după anul 2000.

Totodată, rezultate finale, vor fi susținute și de alte analize pe diverse seturi de date, descărcate de pe portalul public al NASA.

4.2. Sisteme de monitorizare a stării de “sănătatea” unei aeronave

În aceste zile, fiecare aeronavă modernă este echipată cu un așa-numit sistem de evaluare a sănătății aeronavei pentru a monitoriza evenimentele neanticipate și pentru a reduce mentenanța neprogramată și întreruperea activităților aeronautice.

Cuvântul “sănătate” este de obicei asociat cu starea unui organism biologic, în timp ce cuvântul “monitorizare” presupune o serie de acțiuni de verificare și înregistrare a comportamentului unei entități atât din punct de vedere cantitativ cât și calitativ. De aceea, un “sistem de monitorizare a stării de sănătate” are același scop ca și în cazul intuitiv al unui organism uman. Un sistem de monitorizare a sănătății aeronavelor în timp real poate percepe, clasifica și prezice eșecul din timp, fapt ce conduce la o mentenanță predictivă cu costuri reduse și durată de viață totală mult mai mare. În principiu un astfel de sistem se bazează pe o rețea de senzori, canale de comunicații și resurse computaționale de analiză a datelor relevante.

4.3. Dezvoltarea unei rețele neuronale pentru a prezice o defecțiune majoră pentru o serie de motoare turboreactive

4.3.1. Inițierea algoritmului

Setul de date ales pentru acest studiu a fost descărcat de pe portalul NASA [13] și este compus din **22631 de înregistrări a 100 de motoare turboreactive din același tip**, monitorizate până în momentul în care acestea cedează. Baza de date utilizată monitorizează procesul de degradare prin intermediul a 24 de senzori specifici motoarelor analizate:

Scopul algoritmului ce urmează a fi prezentat în continuare constă în identificarea unui comportament diferit, anormal caracterizat de funcționarea celor 24 de senzori, înainte ca defecțiunea să se manifeste. Astfel, pentru acest studiu am împărțit perioadele de funcționare ale motoarelor în două zone:

- zonă de funcționare critică calculată ca fiind ultimii **15%** din perioada de funcționare – **notat cu “0”**;
- zonă de funcționare normală, restul intervalului - **notată cu “1”**;

Așadar, în final algoritmul trebuie să eticheteze un set dat de 24 de senzori, ca aparținând unuia dintre cele 2 intervale.

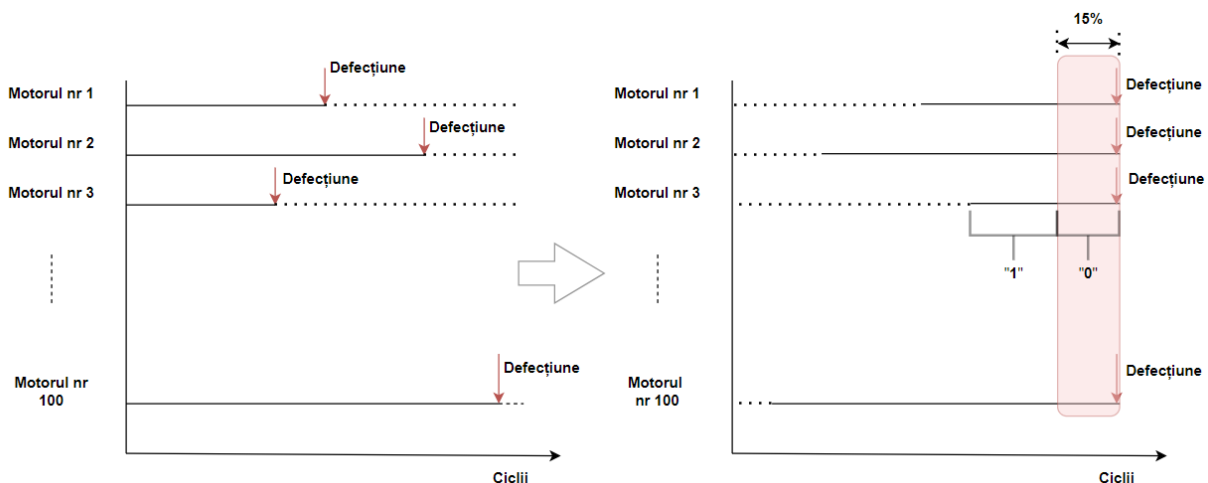


Figura 4.1 Evoluția celor 100 de motoare în timp

Acestea fiind, spuse rezultă o **matrice X** ce înglobează valorile senzorilor celor 100 de motoare. Pentru fiecare ciclu de funcționare rezultă o valoare binară(0/1) în funcție de intervalul din care face parte. Așa cum am prezentat mai sus, dacă setul de senzori corespunde unui ciclu aflat în ultimii 15% din durata de funcționare a motorului atunci o să avem valoarea 0. Considerând aceste ipoteze de lucru, rezultă și **vectorul Y**.

Procesul de propagare înapoi se reprezintă în antiteză cu procesul propagare înainte astfel:

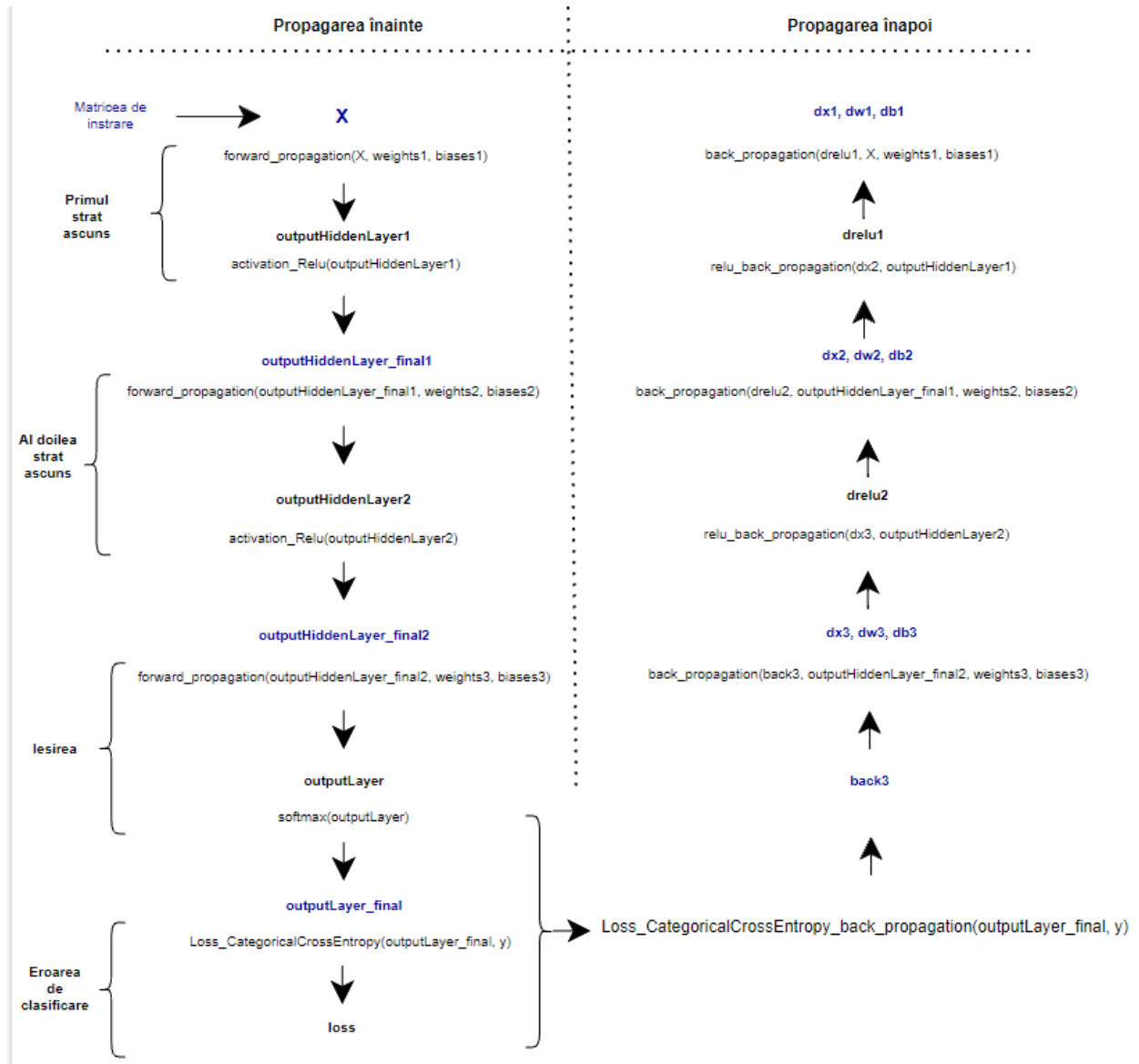


Figura 4.2 Propagarea înainte vs înapoi

4.3.2. Etapa de optimizare cu ajutorul cu ajutorul SGD (Stochastic Gradient Descent) cu Inerție/Moment

Momentul este o extensie a algoritmului de optimizare SGD care facilitează depășirea minimumului local spre atingerea minimumului global.

În această situație procesul de optimizare constă în actualizarea parametrilor de-a lungul celor **150** de epoci folosind formulele specifice algoritmului SGD[12] cu un moment de **0.9**:

Rezultate:

Epocă: 0, Acuratețea: 0.738, Eroarea de clasificare: 0.693, Rata de învățare: 0.900

Epocă: 1, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.524, Rata de învățare: 0.900

Epocă: 2, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.429, Rata de învățare: 0.891

Epocă: 3, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.453, Rata de învățare: 0.882

Epocă: 4, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.512, Rata de învățare: 0.874

Epocă: 5, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.559, Rata de învățare: 0.865

Epocă: 6, Acuratețea: 0.848, Eroarea de clasificare: 0.578, Rata de învățare: 0.857

.

.

.

Epocă: 148, Acuratețea: 0.965, Eroarea de clasificare: 0.080, Rata de învățare: 0.364

Epocă: 149, Acuratețea: 0.965, Eroarea de clasificare: 0.080, Rata de învățare: 0.363

Epocă: 150, Acuratețea: 0.965, Eroarea de clasificare: 0.080, Rata de învățare: 0.361

Timp de execuție: 0:00:24.723129

În concluzie, se poate observa că în această etapă de optimizare valoarea erorii de clasificare, respectiv valoarea acurateții se stabilizează mult mai repede decât în cazul SGD fără moment.

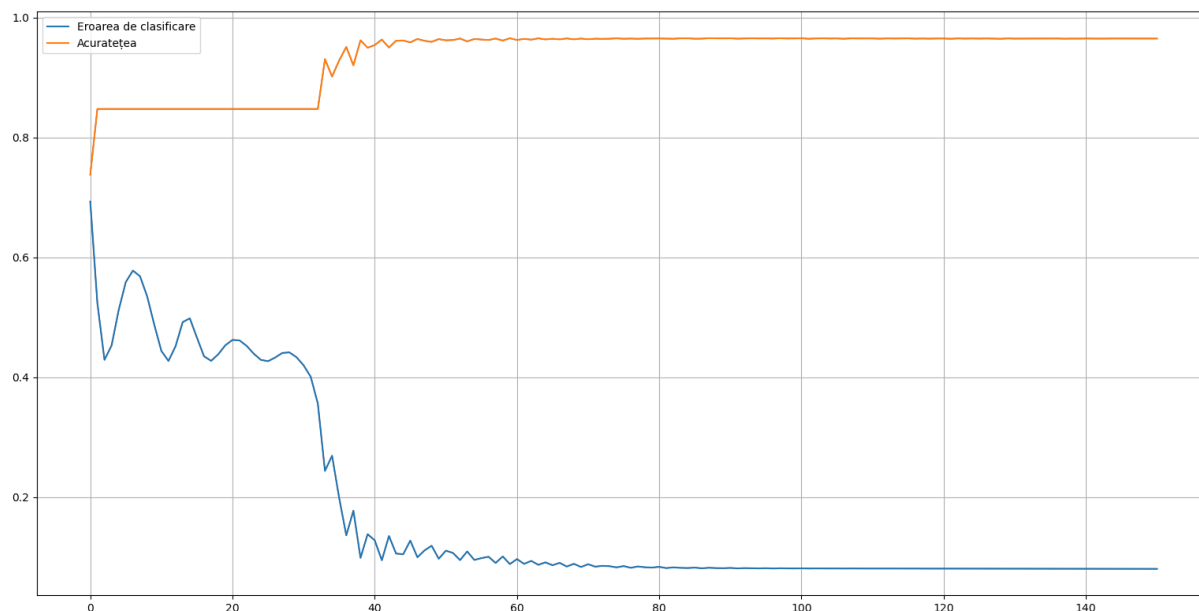


Figura 4.25 Eroarea de clasificare și acuratețea la finalul celor 150 de epoci

4.4. Concluzii

Având în vedere complexitatea arsenalului tehnologic ce echipează aeronavele din prezent este evident faptul că monitorizarea eficientă a comportamentului unui sistem tehnic se poate face doar prin analiza datelor generate de acesta.

Datele rezultate de la sistemele tehnice și soluțiile de interpretare transformă mentenanța preventivă într-o abordare tradițională și chiar inefficientă dacă este predominantă în raport cu mentenanța predictivă.

Așadar se reiterează ideea conform căreia tehnicile tradiționale de asigurarea calității proceselor de reparație/inspecție sunt depășite într-o industrie guvernată de date, senzori și infrastructuri digitale ce crează o lume nou, intangibilă și aparent invizibilă.

Algoritmul de predicție dezvoltat se bazează pe principiul de funcționare al rețelelor neuronale și este destinat situațiilor de clasificare de tip binar. Acesta poate să diferențieze un comportament normal față de unul anormal.

Performanțele unui algoritm de predicție bazat pe rețele neuronale se datorează corelațiilor și conexiunilor pe care le poate realiza pe un set mare de date. Cu cât cantitatea crește, cu atât feedback-ul optimizează algoritmul și acesta devine mai eficient. Practic, acest tip de algoritm imită creierul uman prin capacitatea de a se adapta pe parcurs. Aceste performanțe nu pot fi atinse prin expertiză tehnică umană și nici prin algoritmi clasici cu reguli prestabilite.

Capitolul 5

5. Interoperabilitatea actorilor implicați în activitatea de mentenanță – sistem informatic de managementul mentenanței

5.1. Noțiuni generale

Asigurarea calității procesului de mentenanță în era digitalizării/Big Data implică fără doar și poate un sistem informatic specializat și adaptat sistemelor tehnice implicate. În industria aeronautică, planificarea și urmărirea mentenanței într-un mod eficient se realizează doar prin intermediul unui sistem informatic, bine integrat în cultura organizațională.

În acest capitol se conturează o nouă politică de calitate într-o organizație de întreținere aeronave, în contextul noii revoluții industriale. Această teză de doctorat se încheie cu validarea algoritmului de rețele neuronale dezvoltat anterior și cu dezvoltarea conceptuală a unei aplicații informatice inovative de managementul mentenanței produselor aeronautice.

Caracterul inovativ al acestui sistem informatic este dat în primul rând de utilizarea tehnologiei Blockchain și integrarea algoritmului de rețele neuronale în vederea realizării unor sugestii de mentenanță predictivă.

În plus, în acest capitol se prezintă o metodă de concretizare a activității de cercetare din această teză într-un produs informatic sincronizat cu cerințele din piața de software din România. Viabilitatea produsului și eficiența sa economică se va demonstra prin intermediul unui plan de afaceri.

Implementarea unui sistem de managementul mentenanței face parte din strategia de digitalizare a unei companii aeronautice.

Conform documentației de specialitate “Computerized maintenance management system”, - **C.M.M.S.** sunt soluții software pentru monitorizarea, planificarea și execuția activităților de întreținere a unui sistem tehnic.

Principalele avantaje ale implementării unui CMMS sunt [14]:

- asigură trasabilitatea operațiunilor tehnice
- facilitează conectarea mai multor entități/compartimente într-un ecosistem comun
- oferă utilizatorilor o vizibilitate clară asupra proceselor
- analiza eficienței echipamentelor

5.2. Modulul “Blockchain”

Din punct de vedere al utilizatorului, modulul blockchain va fi un portal către istoricul de mentenanță ale aeronavelor gestionate cu diverse elemente de sortare și căutare. Acestea vor fi afișate sub forma de “blocuri” și vor demonstra **conformarea aeronavei cu programul de mentenanță**.

Prima etapă constă în inițializarea unei inspecții după cum se poate observa în frontend-ul aplicației din figura 5.3:

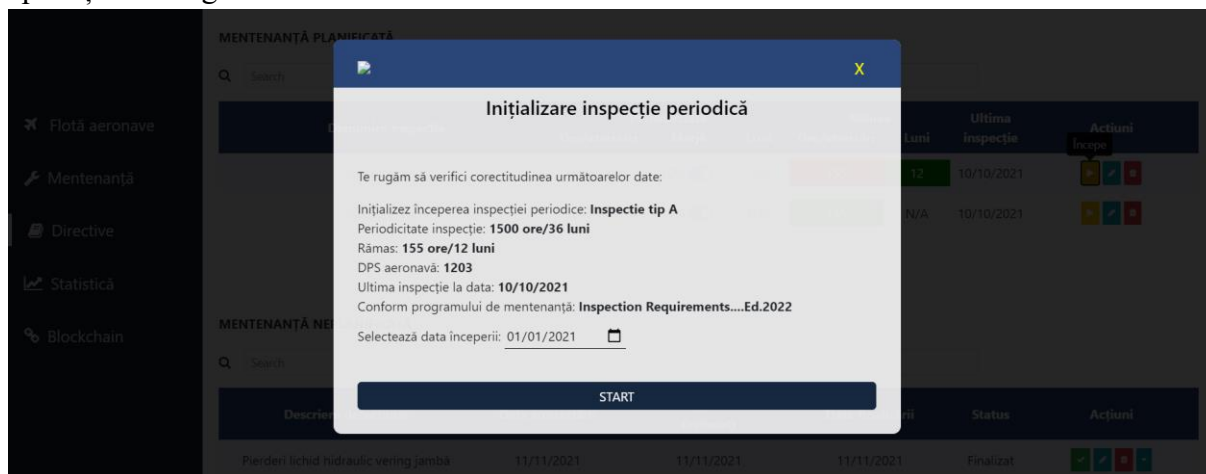


Figura 5.1 Inițializare inspecție periodică

Mai departe echipa tehnică execută inspecția tehnică, timp în care în sistemul informatic această operațiune este în așteptare – “în lucru.” După executarea operațiunilor de mentenanță, conducătorul echipei tehnice va oficializa finalizarea operațiunilor în aplicația informatică. Așa cum se poate observa în figura de mai jos, acesta este momentul în care datele sunt trimise în baza de date iar amprenta lor digitală într-un registru distribuit de tip Blockchain.

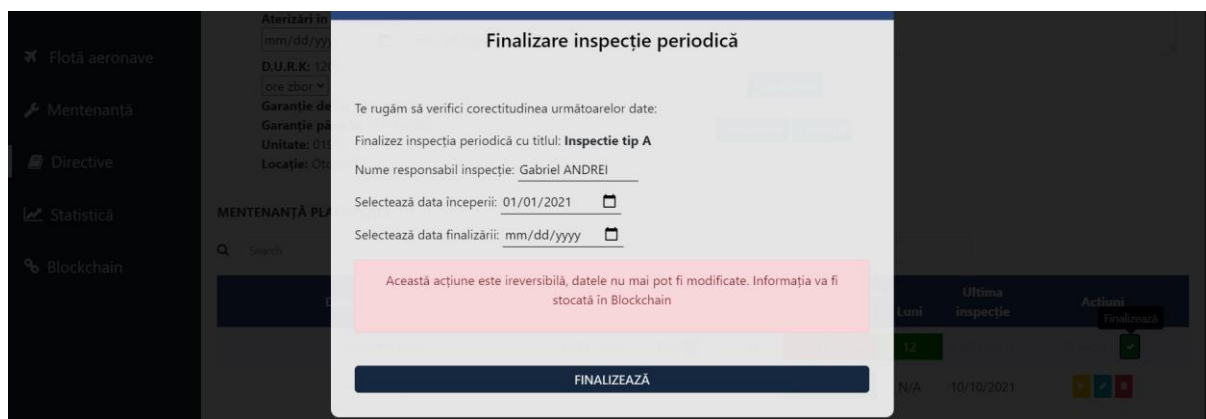


Figura 5.2 Finalizare inspecție periodică

În cazul unei aplicații descentralizate (DApp) [15], lucrurile funcționează diferit deoarece în loc să se conecteze direct la un server, aceasta se va conecta și la o rețea Blockchain [16]. Cu toate acestea, din motivele prezentate mai sus, acest studiu propune o aplicație hibridă care utilizează atât baze de date tradiționale, cât și blockchain.

5.3. Concluzii

Standardizarea, automatizarea, eficientizarea, monitorizarea și sortarea sunt principii fundamentale din managementul calității care, în prezent, **pot fi puse în practică doar prin intermediul unui mediu digital** adaptat la cerințele operaționale contemporane.

Asigurarea calității procesului de mentenanță prin intermediul digitalizării **va crește considerabil siguranța aeronautică**.

Sistemul informatic, configurat în varianta descrisă în acest studiu, constituie un pilon de bază în politica de calitate a unei organizații moderne care înțelege utilitatea datelor mari și nevoia de încredere din perspectiva clienților, acționarilor sau a furnizorilor.

Capitolul 6

6. Oportunitatea economică a sistemului informatic bazat pe tehnologia Blockchain și algoritmi de machine learning

6.1. Rezumatul ideii de afaceri

Firma își propune să realizeze software la comandă pentru managementul mentenanței (în engleză “*Computerized maintenance management system*”, **CMMS**) pentru optimizarea operațiunilor de monitorizare, planificare și execuție a activităților de întreținere. Sistemele de acest tip sunt utile atât în zona de mentenanță cât și zona de producție întrucât cu ajutorul acestora se asigură trasabilitatea operațiunilor tehnice din cadrul companiei. Sistemele CMMS se găsesc în producția de petrol și gaze, generarea de energie electrică, construcții, transporturi și alte industrii în care infrastructura fizică este importantă. Totodată, sistemul informatic permite conectarea mai multor entități/compartimente într-un ecosistem privat comun, ce permite utilizatorilor să aibă o vizibilitate clară asupra proceselor din cadrul companiei.

În perspectiva revoluției industriale 4.0 ce se întrezărește la orizont, caracterizată de dispozitive inteligente interconectate prin intermediul senzorilor, se estimează un potențial ridicat pentru sistemele de tip CMMS.

6.2. Descrierea afacerii propuse

Domeniul de activitate al solicitantului este definit conform codului 6207 – “Activități de realizare a software-ului la comanda (software orientat client)” cu accent pe soluțiile de tip CMMS/ERP (în eng Computerized maintenance management system / Enterprise Resource Planning) cu stocare a datelor într-un protocol Blockchain.

Principalele avantaje, care stau la baza acestui model de afacere sunt calitatea ridicată a produselor rezultate la un preț relativ redus față de competitorii din industrie, care împreună cu posibilitatea de stocare și auditare a datelor într-un protocol Blockchain, vor diferenția societatea față de ceilalți furnizori de produse similare.

6.3. Previziunea Contului de profit și pierdere

Conform planului de afacere, se preconizează vânzări începând cu luna a șasea de activitate. Urmare a publicității efectuate conform planului de marketing, previzionăm să atingem nivelul de 2/3 de produse vândute pe lună.

În acest context, vânzările pentru primul an de activitate vor fi după cum urmează:

- Licență basic – 1 buc în prima lună de vânzări: **:39200 lei**
- Licență basic – 2 buc în a doua și treia lună de vânzări: $78400 \times 2 = \mathbf{156800 \text{ lei}}$
- Licență basic – 3 buc în lunile 4,5 și 6 de vânzări: $117600 \times 3 = \mathbf{352800 \text{ lei}}$
- Licență basic – 2 buc în ultima lună de vânzări (Decembrie): **78400 lei**

Total: 627200 lei

Tabelul 6.1 Previziunea Contului de profit și pierdere

		AN 1 (12 luni)
1	VENITURI AFERENTE CIFREI DE AFACERI (VENITURI DIN VANZAREA BUNURILOR FINITE SI VENITURI DIN SERVICII PRESTATE)	627,200.00
2	Alte venituri din exploatare	-
	VENITURI DIN EXPLOATARE – TOTAL (RD.1+2)	627,200.00
1	Salarii (inclusiv contribuțiile angajatorului)	371,252.00
2	Cheltuieli cu amortizarea imobilizărilor	9,000.00
3	Chirii, redevențe	24,200.00
4	Utilități (energie electrică, termică, apă, comunicații)	5,434.00
5	Costuri funcționare birou (materiale consumabile)	4,250.00
6	Cheltuieli de publicitate, marketing	91,000.00
7	Asigurări	0.00
8	Cheltuieli aferente achizițiilor de servicii specializate necesare functionarii, cheltuieli cu servicii prestate de terti	32,800.00
9	Cheltuieli taxe notariale și traduceri	2,000.00
10	Obiecte de inventar și mobilier	8,050.00
11	Alte cheltuieli aferente funcționării întreprinderilor	18,500.00
	TOTAL CHELTUIELI(RD. 1 la 11)	551,652.00
	PROFITUL SAU PIERDEREA DIN EXPLOATARE	75.548,00
	VENITURI FINANCIARE – TOTAL	-
	CHELTUIELI FINANCIARE - TOTAL	-
	PROFITUL SAU PIERDEREA FINANCIAR(Ă)	-

	VENITURI TOTALE	627.200,00
	CHELTUIELI TOTALE	551.652,00
	PROFITUL SAU PIERDEREA BRUT(Ă):	75.548,00
	Impozitul pe profit/venit	6.272,00
	PROFITUL SAU PIERDEREA NET(Ă):	69.276,00

6.4. Concluzii

Managementul calității unui proces/produs presupune metodologii noi adaptate instrumentelor tehnologice disponibile. Trăim într-o perioadă în care **volumul de date crește exponențial** indiferent de denumirea industriei. Performanța dispozitivelor, care fie sunt un scop, fie sunt un mijloc într-o activitate de producție/mentenanță implică și o cantitate mare de date. Unele companii conștientizează **fenomenul “BigData”** și își optimizează procesul de lucru valorificându-și datele din interiorul organizației. De aceea, afacerea propusă țintește companiile medii și mari care vor să își centralizeze toate datele într-o singură platformă dar paradoxal într-un mod descetralizat.

Capitolul 7

7. Concluzii generale și direcții viitoare de cercetare

7.1. Concluzii generale

Această teză de doctorat se concentrează pe industria aeronautică într-o perioadă în care o nouă revoluție industrială este în plină desfășurare. Cercetarea vizează definirea unui cadru general prin implementarea unei politici de calitate orientată pe utilizarea datelor mari. De la general la particular, prezenta cercetare propune soluții concrete de identificare a defecțiunilor unui sistem tehnic într-un stadiu inițial, cu ajutorul inteligenței artificiale.

Acestea fiind spuse, rezultă următoarele concluzii:

- Capitolul 1

- Industria aeronautică este într-o continuă expansiune, de unde rezultă și necesitatea folosirii unor noi metode de stocare și interpretare a datelor. Asigurarea calității proceselor de mentenanță este dependentă de folosirea tehnologiilor de ultimă generație
- Identificarea componentelor critice este un prim pas în realizarea planului de mentenanță predictivă pentru menținerea unei fiabilități crescute
- Cunoscând istoricul de funcționare al unei aeronave și rolul unor sistemele/componentele critice în menținerea disponibilității de zbor, se poate determina starea de operativitatea după un anumit număr de ore de zbor folosind tehnica lanțurilor lui Markov

- *Capitolul 2*

- În domeniul aviației, cantitatea de date este într-o creștere exponențială, iar detaliile pot face diferența între un zbor în condiții de siguranță și un zbor nesigur. Tehnologia Blockchain este o soluție inovatoare pentru industria aviației și va revoluționa modul în care se asigură trasabilitatea activităților de mentenanță și înregistrarea funcționării aeronavelor.
- În adoptarea unei soluții Blockchain poate părea dificilă implementarea, însă beneficiile sunt importante atât pentru companii, cât și pentru producători, precum și pentru pasageri. Dat fiind faptul că numărul de aeronave noi care zboară crește exponențial, nevoia de încredere este un obiectiv continuu.
- Companiile care vor înțelege beneficiile unei soluții Blockchain vor avea o mai bună urmărire și evidență a proceselor lor, își vor îmbunătăți activitățile și vor deveni mai de încredere pentru clienții lor. Ca urmare, numărul incidentelor de siguranță va scădea, în timp ce veniturile vor crește considerabil.

- *Capitolul 3*

- În prezentul capitol au fost analizați principalii algoritmi de învățare automată cu avantajele și dezavantajele aferente. Acești pot fi extremi de utili în funcție de setul de date ce trebuie procesat și obiectivele de performanță.
- Procesarea tradițională a declarațiilor și dovezilor rezultate în urma unei anchete este depășită având în vedere instrumentele tehnologice disponibile. În general, un incident aeronautic are două cauze principale posibile: greșeală umană sau defecțiune tehnică.
- Clasificarea unui incident aeronautic, într-o etapă incipientă a investigației, nu numai că ar economisi timp și bani în economia unei anchete dar ar elimina subiectivismul și ar da posibilitatea investigatorilor să se concentreze pe detalii și soluții pentru a evita un nou eveniment asemănător

- *Capitolul 4*

- Fenomenul Big Data introduce în managementul comportamentului unui sistem tehnic o capacitate de predicție a defecțiunilor net superioară unei expertize tehnice umane. Algoritmii de machine learning au capacitatea să rezolve problema principală în managementul defecțiunilor și anume identificarea acestora.
- Momentan, identificarea cauzelor care au stat la baza unei defecțiuni nu reprezintă o prioritate pentru această ramură a inteligenței artificiale. Din punct de vedere economic, pentru un operator aerian este mult mai important să prevină o defecțiune decât să înțeleagă cauzele acesteia.

- *Capitolul 5*

- Sistemul de managementul calității dintr-o organizație de mentenanță aeronave, propus în această activitate de cercetare, are în centru principiul interoperabilității. Acesta este pus în practică prin intermediul unui sistem informatic de managementul mentenanței, disponibil tuturor participanților implicați în planificarea și urmărirea fluxului de mentenanță.
- Având în vedere contextul dat de cea de-a IV revoluție industrială, sistemul informatic propus asigură un management inovativ al datelor sensibile, generate de mentenanța și funcționarea aeronavelor din dotare. Acest lucru se realizează datorită tehnologiei Blockchain.
- Sistemul informatic folosește algoritmul de rețele neuronale artificiale, prezentat în capitolul 4, în vederea identificării unor potențiale defecțiuni la sistemele de propulsie ale aeronavelor gestionate.

- *Capitolul 6*

- Acest capitol aduce în prim plan oportunitatea economică a soluției software propusă anterior. Implementarea unui sistem informatic de managementul mentenanței, capabil să ofere un nivel inedit de autenticitate a trasabilității de mentenanță este o abordare inovativă și absolut necesară societății digitalizate în care trăim.
- Din punct de vedere economic acest produs software poate fi un model de afaceri de succes datorită cererii din piața locală și internațională și a caracterului inovativ pe care îl aduce.
- În plus, organizarea sistemului informatic pe module permite dezvoltarea aplicației în platforme consacrate de tip “low-code”. Această abordare aduce un randament financiar superior datorită costurilor de dezvoltare reduse fără a se compromite calitate.
- În urma planului de afaceri prezentat în acest capitolul, antreprenorul își amortizează investiția și iese pe profit încă din primul an de activitate.

7.2. Contribuții originale

1. În urma analizei materialelor bibliografice atât din domeniul managementului calității cât și din domeniul aeronautic și învățării automate am efectuat o analiză comparativă a tehnicilor tradiționale de îmbunătățire a unui proces, în vederea extrapolării pe un flux de mentenanță.
2. Pornind de la analizele fundamentale de fiabilitate ale unui sistem tehnic am realizat un model de mentenanță predictivă cu ajutorul lanțurilor lui Markov. A rezultat un model statistic ce estimează starea tehnică a instalațiilor unei aeronave după un anumit număr de iterații (ore de funcționare).
3. S-a introdus o nouă metodă de certificare a activității de mentenanță într-un ecosistem digital cu ajutorul tehnologiei Blockchain. În acest sens s-a dezvoltat o aplicație de stocare a inspecțiilor de mentenanță, specifice unei aeronave, simulând o rețea descentralizată de trei entități virtuale sub guvernarea unui protocol de tip Blockchain.

4. În urma unui studiu de caz, realizat într-o organizație de mentenanță aeronave, coroborat cu principii de factori umani din literatura de specialitate, am realizat o analiză a riscurilor ce pot conduce la indisponibilizarea unei aeronave. În urma acestei analize a rezultat necesitatea implementării unei strategii de management bazată pe analiza de date.
5. În acest sens, am realizat o analiză comparativă a patru algoritmi de regresie și patru algoritmi de clarificare prin testarea pe diverse seturi de date.
6. În urma analizei celor opt algoritmi de învățare automată, am selectat trei dintre aceștia pentru realizarea unui algoritm capabil să analizeze dovezile de tip text, rezultate în urma unui incident aeronautic, în vederea prezicerii cauzei care a stat la baza aceluia eveniment.
7. De asemenea, tot din perspectiva managementului riscurilor în industria aeronautică am analizat o bază de date cu incidente aeronautice din perioada 2000-2020 cu scopul de a identifica factorii umani care au contribuit la eveniment, în fiecare etapa de zbor a unei aeronave.
8. Am construit un algoritm de rețele neuronale artificiale pentru identificarea potențialelor defecțiuni ale unui motor turboreactiv într-o fază incipientă. Acest algoritm a fost antrenat și testat pe o bază de date compusă din parametrii de funcționare a 100 de motoare turboreactive.
9. Am realizat prototipul unei aplicații web pentru managementul mentenanței aeronavelor, o aplicație ce asigură autenticitatea proceselor de mentenanță cu ajutorul tehnologiei Blockchain și realizează predicții pe baza datelor stocate cu ajutorul algoritmului dezvoltat.
10. Am realizat un plan de afaceri care să demonstreze viabilitatea economică a sistemului informatic dezvoltat.
11. Am propus o politică de calitate pentru o organizație de întreținere aeronave specifică contextului tehnologic actual.

7.3. Direcții viitoare de cercetare

Tehnologia Blockchain și conceptul de aplicații descentralizate împreună cu algoritmi de învățare automată sunt într-o dezvoltare continuă. Aceste tehnologii sunt într-o dinamică permanentă, oferind noi oportunități de cercetare și inovare.

În acest context, ca și direcție viitoare de cercetare, aprofundarea și realizarea unui sistem digital de certificare a activităților de mentenanță și reparație integrat într-un protocol Blockchain și IPFS, reprezintă un obiectiv principal.

În vederea asigurării autenticității activităților de mentenanță și reparație se poate realiza un serviciu de emitere de certificate digitale ce se va conecta la o aplicație de tip C.M.M.S. Pentru aceasta, anumite componente trebuie rafinate și adaptate la cerințele operaționale:

- realizarea unui sistem de autentificare web3, specific pentru accesul într-o aplicație de managementul mentenanței
- rezolvarea limitării spațiului de stocare prin integrarea protocolului IPFS
- simplificarea interacțiunii dintre utilizator și aplicație

Pe de altă parte, o altă direcție viitoare de cercetare este aprofundarea și optimizarea algoritmilor de rețele neuronale artificiale pentru evaluarea gradului de uzură a sistemelor tehnice ale unei aeronave.

7.4. Sinteza articolelor publicate

Doctorandul a publicat **11 lucrări** științifice, din care **6 ca prim autor**, în domeniul ingineriei și management, toate au fost elaborate pe durata studiilor doctorale, astfel:

- 6 (șase) articole/studii publicate în reviste cotate **ISI (din care 3 articole ca prim autor)**;
- 5 (cinci) articole/studii publicate în reviste cotate **BDI (din care 3 articole ca prim autor)**;

8. Bibliografie selectivă

- [1] J. H. Ang, C. Goh, A. A. F. Saldivar and Y. Li, "Energy-Efficient Through-Life Smart Design, Manufacturing and Operation," *Energies*, vol. 10, pp. 610-623, 2017.
- [2] A. d. S. d. România, SR EN ISO 9001:2015, 2015.
- [3] Juran, Planificarea calității, Teora, 2000.
- [4] **A. G. ANDREI**, R. BALASA, M. L. COSTEA, A. SEMENESCU, A new aircraft maintenance approach based on the Markov chains, *Annals of the Academy of Romania Scientist Series on Engineering Sciences*, pp 49-58 Volume 13, Number 1/2021.
- [5] G. Konstantopoulos, "Understanding blockchain fundamentals, part 1: Byzantine fault tolerance," 2017.
- [6] W. Penard and T. v. Werkhoven, "On the Secure Hash Algorithm family (Chapter 1 of Cryptography in Context)," 2018.
- [7] **A. G. ANDREI**, R. BALASA, M. COSTEA and A. SEMENESCU, "Building a blockchain for aviation maintenance records," *Journal of Physics Conference Series* , 2021.
- [8] A. Castor, "A (Short) Guide to Blockchain Consensus Protocols," 2017.
- [9] L. -. S. D. Company, "Blockchain-aviation-better-transparency-trust," [Online]. Available: <https://www.leewayhertz.com/blockchain-aviation-better-transparency-trust/>.
- [10] F. A. Administration, "Human Error and Commercial Aviation Accidents: A Comprehensive, Fine-Grained Analysis Using HFACS," 2006. [Online]. Available: <https://www.faa.gov/>.
- [11] A. S. R. System, "ASRS Database Online," [Online]. Available: <https://asrs.arc.nasa.gov/search/database.html>.
- [12] M. E. Tat and M. C. Kushan, "Impact of industry 4.0 to aircraft maintenance, repair and overhaul," in *Conference: VII International Symposium Engineering Management and Competitiveness* , Zrenjanin, 2017.
- [13] NASA, "NASA Turbofan Jet Engine Data Set," [Online]. Available: <https://ti.arc.nasa.gov/tech/dash/groups/pcoe/prognostic-data-repository/>.
- [14] J. T. Farinha, I. Fonseca, R. Oliveira and H. Raposo, "CMMS – An integrated view from maintenance management to on-line condition monitoring," *Proceedings of Maintenance Performance Measurement and Management*, 2014.
- [15] **A. G. ANDREI**, S. COCHINESCU, R. BĂLAȘA and A. SEMENESCU, "A new paradigm for monitoring the quality of a process in aviation industry - decentralized applications in blockchain," *ACTA TECHNICA NAPOCENSIS, Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, vol. 64, no. 4, 2021.
- [16] Uduak, A. Umoh and N. Enoch, "Web-Based Database Application: An Educational Administrative Management System," *Journal of Natural and Applied Sciences*, vol. 8, no. 1, 2007.
- [17] P. Vries, "The Industrial Revolution," in *Encyclopaedia of the Modern World*, Oxford University Press, 2008, pp. 158-161.